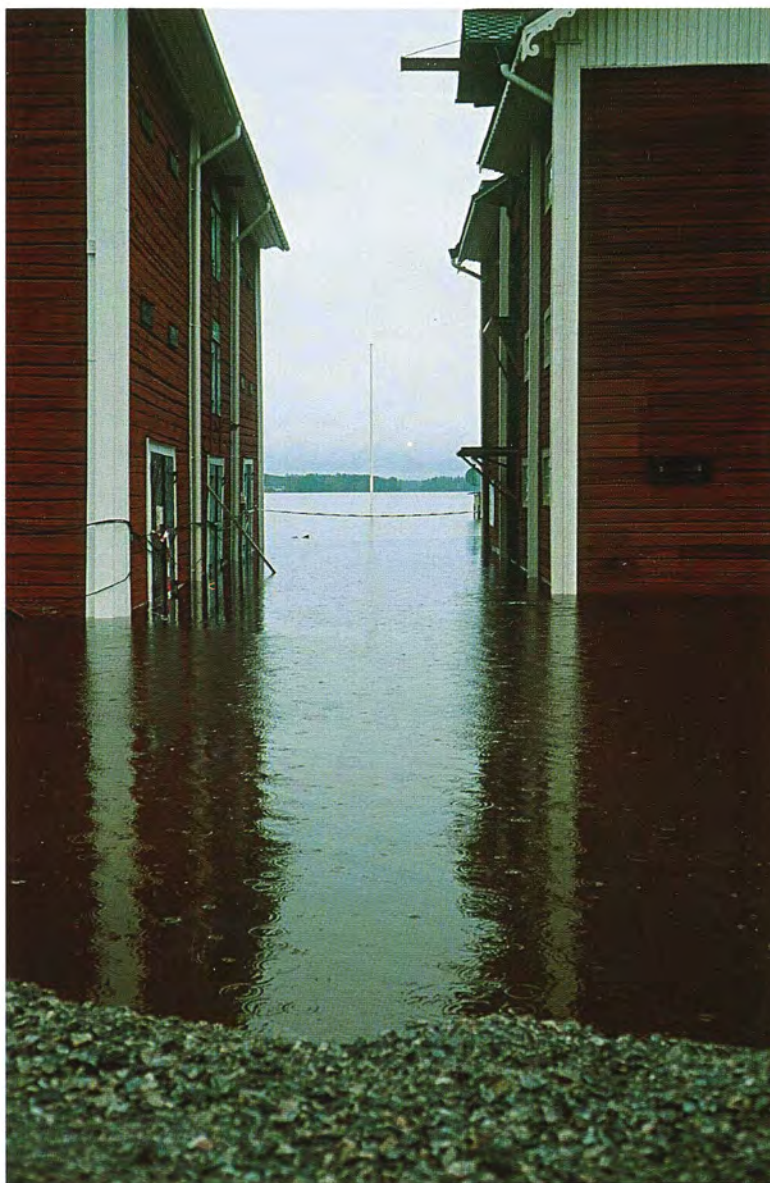
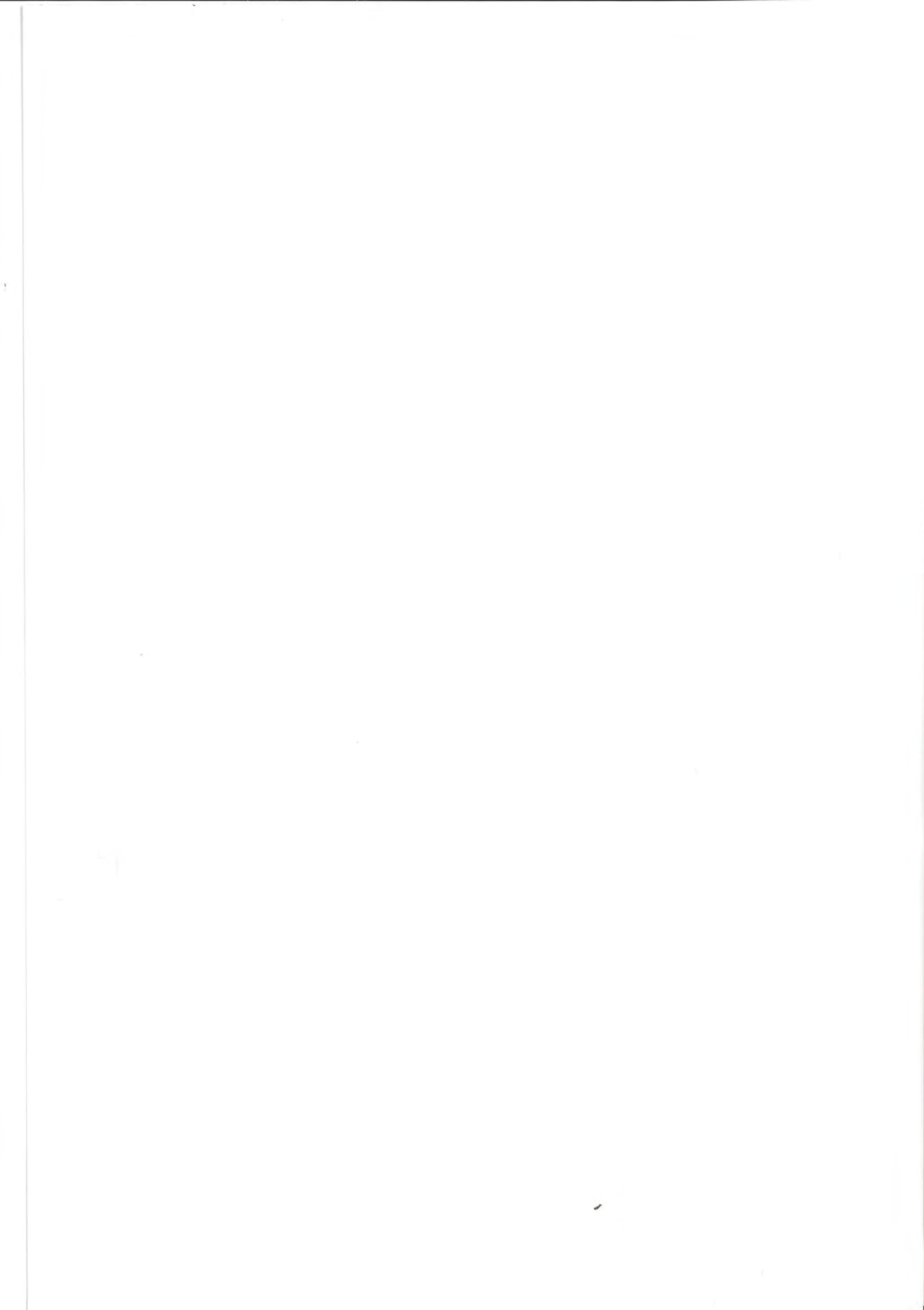




Vattentillgång och höga flöden i Sverige under 1900-talet

Vattentillgång och höga flöden i Sverige under 1900-talet

Göran Lindström



Report Summary / Rapportsammanfattning

Issuing Agency/Utgivare Swedish Meteorological and Hydrological Institute S-601 76 NORRKÖPING Sweden	Report number/Publikation RH No. 18 Report date/Utgivningsdatum December 2002	
Author (s)/Författare Göran Lindström		
Title (and Subtitle)/Titel Vattentillgång och höga flöden i Sverige under 1900-talet Water resources and floods in Sweden during the 20th century		
Abstract/Sammandrag Water resources and floods in Sweden were studied with respect to trends and occurrence, with emphasis on the period 1901-2000. Two periods stand out when it comes to annual runoff: the 1920s, and the two last decades in the study period, with a runoff anomaly compared to the whole century of about +8%. The 1970s was the driest decade, with a runoff about 9 % below the century average. The most deviating 30-year period was 1951-80 with an anomaly of -5 % compared to 1901-2000. The few records that are available from the 19 th century indicate an even higher runoff, but at lower temperatures. A linear regression to the runoff during the whole 20 th century gives an increase of 4 %, but the change was not statistically significant. The analysis of flood peaks suffers from uncertainties in the data. Flood peaks in old data were probably underestimated, since readings were made less frequently than today. A linear regression to annual flood peaks during the period 1911-2000 indicates an increase with about 10 %. This increase is almost significant at the 95 % level. The clearest increase was, however, found in basins with the less reliable observations. A smaller increase was obtained for an alternative selection of stations, which were considered to be more reliable. No significant trend was found in the selection of more reliable data. Seen in a shorter perspective, the autumn floods increased considerably during the period 1970-2000. Similar autumn floods, were, however, experienced in the 1920s. No increased frequency of very high floods, with a return period of at least 10 years, could be determined.		
Key words/sök-, nyckelord Water resources, floods, peaks, trend, frequency		
Supplementary notes/Tillägg	Number of pages/Antal sidor 38	Language/Språk Swedish/Svenska
ISSN and title/ISSN och titel 0283-1104 SMHI Reports Hydrology		
Report available from/Rapporten kan köpas från: SMHI SE-601 76 NORRKÖPING Sweden		

Innehållsförteckning

1.	BAKGRUND.....	1
2.	SYFTE	3
3.	METODIK OCH DATA.....	3
4.	RESULTAT.....	5
4.1	ÅRSMEDELAVRINNING	5
4.2	VÅRA LÄNGSTA SERIER	12
4.3	REGIONAL ANALYS.....	14
4.4	SÄSONGSFÖRDELNING	17
4.5	HÖGA FLÖDEN	20
4.6	AVRINNING OCH TEMPERATUR	32
5.	DISKUSSION	33
6.	SLUTSATSER.....	35
7.	REFERENSER	35
8.	APPENDIX	38

Förord

Arbetet som beskrivs i denna rapport har utförts vid SMHI:s forskningsenhet, i anslutning till det svenska programmet för regional klimatmodellering (SWECLIM). Arbetet har finansierats gemensamt av Elforsk, Svenska Kraftnät och SMHI, och utgör ett bidrag från svensk vattenkraftindustri till SWECLIM. Rapporten utkommer även som Elforsk rapport nr 02:39. Ett varmt tack riktas till alla som har bidragit till arbetets genomförande.

1. Bakgrund

Frågan om vilken vattentillgång som är normal är ständigt aktuell i Sverige. Efter det torra 1970-talet uppstod en debatt om vilken vattenkraftproduktion som egentligen är normal, och om de då använda siffrorna skulle justeras ner. Nu är situationen den omvända. De senaste 15 åren har varit anmärkningsvärda i Sverige och Norge, med ovanligt hög vattenkraftproduktion och flera översvämningar. I Norge har man nyligen höjt de normalvärden för vattenkraftproduktion som används. Man har justerat upp sin tidigare normalproduktion baserad på perioden 1931-1990 med 4 % genom att övergå till perioden 1970-1999. Frågan har ställts ifall användandet av normalperioden 1961-1990 inte kan leda till underskattningar av framtida vattentillgång i Sverige, särskilt mot bakgrund av en eventuell klimatförändring orsakad av ökade utsläpp av växthusgaser.

År 2000 blev det nederbördsrikaste året som mätts upp i Sverige, med två spektakulära flödestillfällen. De höga juliflödena i södra Norrland finns utförligt beskrivna av Losjö (2001). Översvämningen i Glafs fjorden i Arvika i november ledde till en av de mest omfattande räddningsinsatserna någonsin i Sverige i samband med en översvämning. År 1998 var det näst nederbördsrikaste året. Det är dock inte helt enkelt att studera långa tidsserier av nederbörd eftersom medvetenheten om betydelsen av mätplatsens exponering, vindskydd runt mätarna etc., gradvis har ökat.

Förutom nederbördsrekord och god vattentillgång har det inträffat ovanligt många höga flöden och översvämningar under senare år. Tabell 1 visar ett urval av de höga flöden som har inträffat i Sverige under perioden 1860-2000. Sammanställningen i tabellen ger intrycket av att frekvensen av höga flöden har ökat, men detta är naturligtvis delvis en effekt av att vi fortfarande har de senaste årens händelser i färskt minne. Översvämningar har inträffat även tidigare. Till exempel är flödena i Dalälven 1916, mellersta Norrlands kusttrakter 1919, och 1938 i Umeälven väl dokumenterade av Engström (1916), Eriksson (1919) och Svenska Vattenkraftsföreningen (1939). Frågeställningen om hur ofta höga flöden uppträder är inte heller ny. Svenska Kraftverksföreningen kom således efter "Spölandskatastrofen" 1938 fram till att det inträffade flödet egentligen inte var så exceptionellt högt:

"Det mest anmärkningsvärda i detta resultat är väl, att flödet vid Vännäs, där största skadan uppstod, hade en så stor sannolikhet som ca 1:25. Om detta är riktigt, borde liknande flöde ha uppträtt tidigare i mannaminne. Så är också förhållandet. Endast ett fåtal uppgifter å höga vattenstånd föreligga före den tidpunkt, då regelbundna observationer igångsattes. Emellertid synes ett högt vattenstånd ha förekommit i Ume älv, 1819, och vid byn Granön vid Ume älv 8 mil norr om Umeå var högvattenståndet 1863 ungefär samma som 1938. I Vindelälven torde högvattenståndet 1876 ha närmast sig högvattenytan 1938. --- Dessa uppgifter synes giva ett relativt gott belägg för riktigheten av slutsatsen, att 1938 års flöde ingalunda var ovaligt sällsynt vad beträffar vattenföringens storlek. --- Det må även nämnas att HÜLPHER i sina »Samlingar till en beskrivning över Norrland», Stockholm 1771-1797, meddelar att vårfloderna i Ume älv voro särskilt stora åren 1721, 1749, 1756, 1763, 1785 och 1787."

Även från andra platser finns det dokumentation över historiska flöden. Ett exempel från centrala Falun visas i figur 1. Endast ett flöde från senare år, 1985 års höstflöde, finns markerat. De högsta nivåerna är från 1764, 1860 och 1916.

Tabell 1. Några höga flöden i Sverige under perioden 1860-2000.

År	Plats
1860	Dalälven
1916	Dalälven
1919	Mellersta Norrlands kusttrakter
1922	Luleälven
1924	Mälaren, Emån, m.m.
1938	Umeälven, Spölandskatastrofen
1951	Södra Sverige
1959	Västerdalälven
1966	Södra och mellersta Sverige, Dalälven
1968	Torneälven
1977	Bergslagen, södra Norrland, sydsvenska högländet
1980	Helge å, Lagan
1981	Voxnan, Ljusnan
1983	Indalsälven
1985	Roxen
1985	Voxnan, Dalälven
1985	Helge å
1986	Dalälven, Voxnan, Gavleån, Jädraån
1987	Ångermanälven
1988	Dalsland
1989	Luleälven
1990	Västkusten
1993	Luleälven, Umeälven, Ångermanälven, m.fl.
1995	Norrlandsälvarna
1997	Värmland, Piteå, Fulufjället
1998	Ångermanälven
2000	Södra Norrland
2000	Arvika/Vänern



Figur 1. Högvattenmärken i Faluån, centrala Falun.

En mer objektiv analys krävs för att ge perspektiv till flödena under senare år. Den senaste studien av trender i vattentillgången i Sverige gjordes av Jutman (1991), medan Lindström (1993 och 1999) analyserade förekomsten av trender i höga flöden i Sverige. Studier av trender i avrinningsserier i de nordiska länderna är t.ex. Hisdal et al. (1995), Roald (1999), Førlund et al. (2000) och Bering Ovesen et al. (2000). I Storbritannien har långa avrinningsserier studerats av Robson et al. (1998). Gustard *et al.* (1989) analyserade förhållandena i ett flertal länder i Europa inom FRENDO-projektet. Flera studier pekar på att årsavrinningen har ökat, men man har haft svårt att visa att frekvensen av översvämningar har ökat, trots de många uppmärksammade flödena i Europa på senare tid.

2. Syfte

Syftet med denna rapport är att ge en bild av långtidsvariationen i vattentillgången och höga flöden i Sverige och därmed ge svar på följande frågeställningar:

- Vilken vattentillgång är normal på lång sikt?
- Hur stor är variabiliteten?
- Går det att fastställa några förändringar?

3. Metodik och data

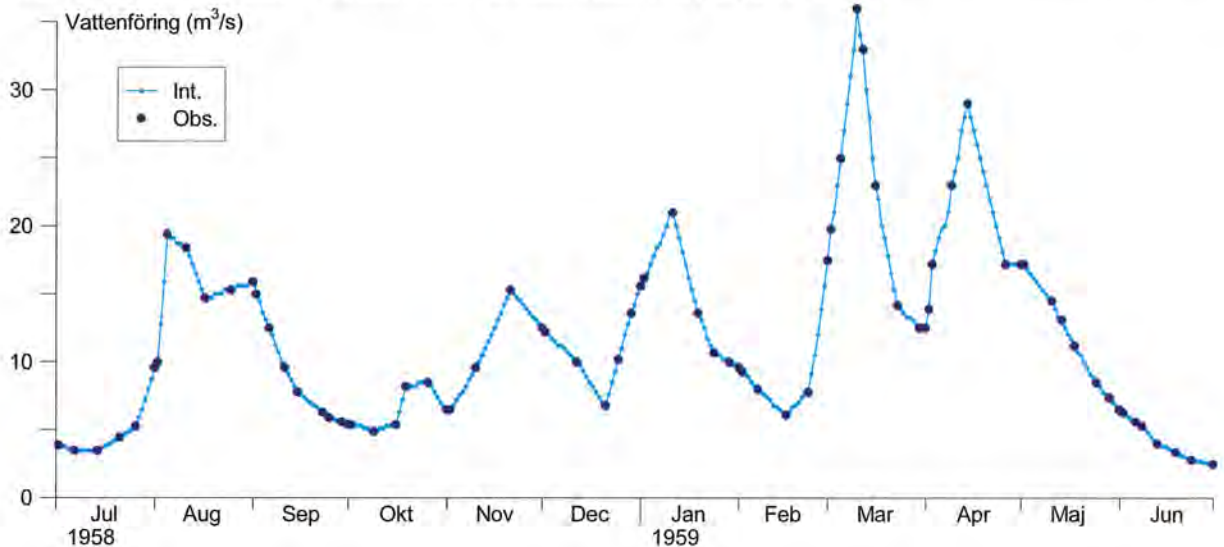
Systematiska vattenföringsmätningar har bedrivits i Sverige sedan 1807, då mätningar i Vänerens utlopp började. De flesta av de stora vattendragen är dock mer eller mindre påverkade av reglering. Den längsta kontinuerliga mätserien från ett område som ännu idag är oreglerat är från Öster-Noren nära Duved i Jämtland, där mätningar finns från och med 1901.

Även om mätdata mestadels är av god kvalitet finns det ett antal felkällor som påverkar en analys av långsiktig vattentillgång och frekvensen av höga flöden även för oreglerade stationer, exempelvis:

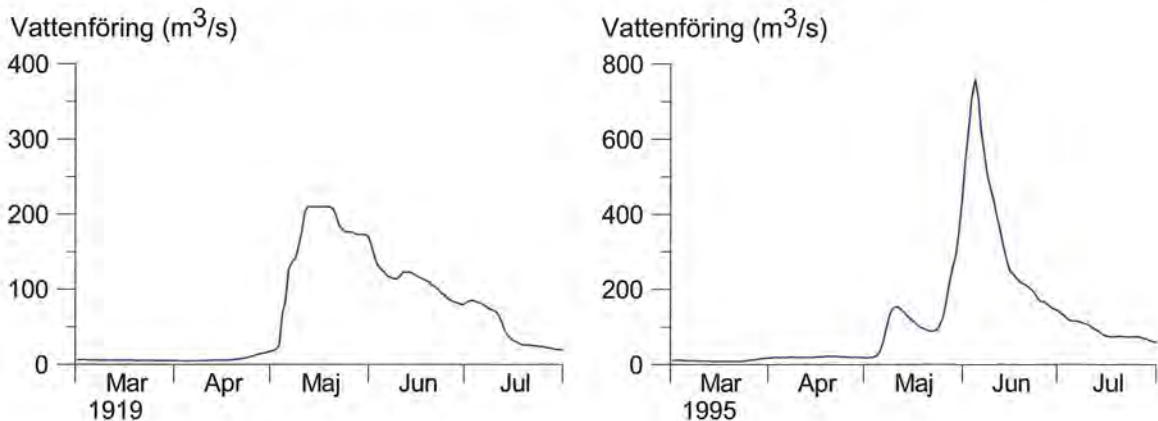
- Problem på grund av isdämning etc. vid mätplatsen.
- Luckor i mätdata.
- Förändrad mätteknik och mätfrekvens.
- Osäkert bestämd avbördningskurva, särskilt för höga flöden.
- Byte av mätplats eller avbördningskurva.

Före 1970 skedde nästan alla mätningar manuellt på en pegel med centimeterskala, vanligen en gång om dagen. Vid många sjöutlopp gjordes dock avläsningarna ännu mera sällan, t.ex. någon gång i veckan. Mätfrekvensen var dock inte konstant. Ibland läste man av tätare vid flödestillfällen. Kontinuerlig registrering av vattenståndet har gradvis införts och idag är praktiskt taget alla stationer utrustade med registerande mätare, vilket efter omräkning ger dygnsmedelvärden på flödet. Originaldata lagras i SMHI:s dataarkiv. Luckor har fyllts i för att skapa en komplett databas. En kod i databasen anger om ett visst mätvärde är en originalmätning eller om det har fyllts i eller korrigerats på grund av isdämning etc. I äldre data har mätvärden ofta sammanbundits linjärt i tiden då mätningar har saknats (se t.ex. figur 2). Detta leder till en systematisk underskattning av toppvärdena. Koderna är inte heller alltid helt tillförlitliga i äldre data.

De högsta flödena under året är de allra mest osäkert bestämda, då dessa ofta bygger på extrapolation av avbördningskurvan. Det är inte helt enkelt att plocka bort år med särskilt osäkra data, eftersom man då riskerar att sortera bort höga flödestillfällen. Ett exempel, hämtat från stationen Öster-Noren i Indalsälven, på ett flöde där toppen bör ha underskattats visas i figur 3. Flödet ligger konstant på maxvärdet under åtta dagar, men är ändå inte kodat som linjär interpolation. Osäkerheten i maxvärden är särskilt stor i äldre data, även om situationen i allmänhet är bättre än vad som visas i figurerna 2 och 3.



Figur 2. Exempel på vattenföringsserie med glesa observationer, sammanbundna genom linjär interpolation, stationen Vassbotten i Enningdalsälven, 1958/59.



Figur 3. Exempel på en flödestopp som sannolikt är underskattad, högsta flödet 1919 (till vänster), samt högsta flödet i hela tidserien, 1995 (till höger). Öster-Noren i Indalsälven.

Under de höga flödena år 2000 gjorde SMHI ett stort antal högflödesmätningar i de områden som drabbades av höga flöden. Dessa mätningar har i vissa fall lett till att man har reviderat avbördningskurvor och räknat fram nya vattenföringsdata för en längre eller kortare period bakåt i tiden.

Med tanke på osäkerheterna i data lades stor vikt vid urvalet av stationer. Alla data ritades upp med dygnsupplösning och granskades visuellt. Mätserier och tidsperioder med många saknade

värden, iskorrektioner och andra osäkerheter valdes bort i möjligaste mån. För att uppnå en så bra arealtäckning som möjligt togs emellertid serier av mer tveksam kvalitet med i vissa regioner.

Många av uppritningarna kompletterades med en utjämning med hjälp av Gauss-filter. Gauss-filtreringen innebär att man beräknar löpande medelvärden, men med vikter enligt en centerad normalfördelning, i stället för med konstanta vikter. De använda standardavvikelserna 3 och 9 år motsvarar närmast vanliga rullande medelvärden över 10 respektive 30 år, med skillnaden att värdena i centrum ges högre vikt. I fortsättningen av rapporten kallas de filtrerade värdena för enkelhets skull för Gauss-viktade medelvärden över 10 respektive 30 år. I många av figurerna finns även långtidsmedelvärdet markerat.

Trendtester gjordes dels med regression (linjär och logaritmisk) och dels med det fördelningsfria Mann-Kendall-testet (se t.ex. Maidment, 1992). Regression är det starkaste testet om villkoren om normalfördelning är uppfyllda. Regression efter logaritmering kan vara lämpligt om värdena är ungefär lognormalfördelade, såsom t.ex. maxvärden. Det fördelningsfria testet bygger på rangordningen mellan värdena och kan användas även när data ej är normalfördelade. Det påverkas ej av storleksordningen i enstaka extrema värden. Signifikansnivån sattes allmänt till 95%. De olika trendtesterna gav oftast samma resultat beträffande signifikansnivån. Eftersom inte värdena inte är oberoende av varandra i tiden, blir signifikansnivån dock endast ungefärlig.

Då säsongsvärden studerades, användes perioden 1 januari-30 juni genomgående som vår, och 1 juli-31 december som höst. Det som i texten kallas för höst innehåller alltså även flöden orsakade av sommarregn, såsom t.ex. flödet i juli 2000 i södra Norrland. Å andra sidan kan flödena i juli i t.ex. övre Luleälven ha ett betydande inslag av snösmältning. Kalenderår användes genomgående, för att förenkla bearbetningen av data och presentationen av resultaten. Lindström (1993) använde en indelning i hydrologiska år men fann att resultaten påverkades ganska lite av detta jämfört med en indelning i kalenderår.

4. Resultat

4.1 Årsmedelavrinning

Figur 4 visar avrinningen under 1900-talet i sex av de största älvarna i landet. Tillsammans omfattar de sex älvarnas avrinningsområden en area lika stor som 40 % av Sveriges yta. Dessa älvar bör vara tämligen representativa för landet som helhet. Den höga avrinningen under senare år framgår i figuren, särskilt i norr.

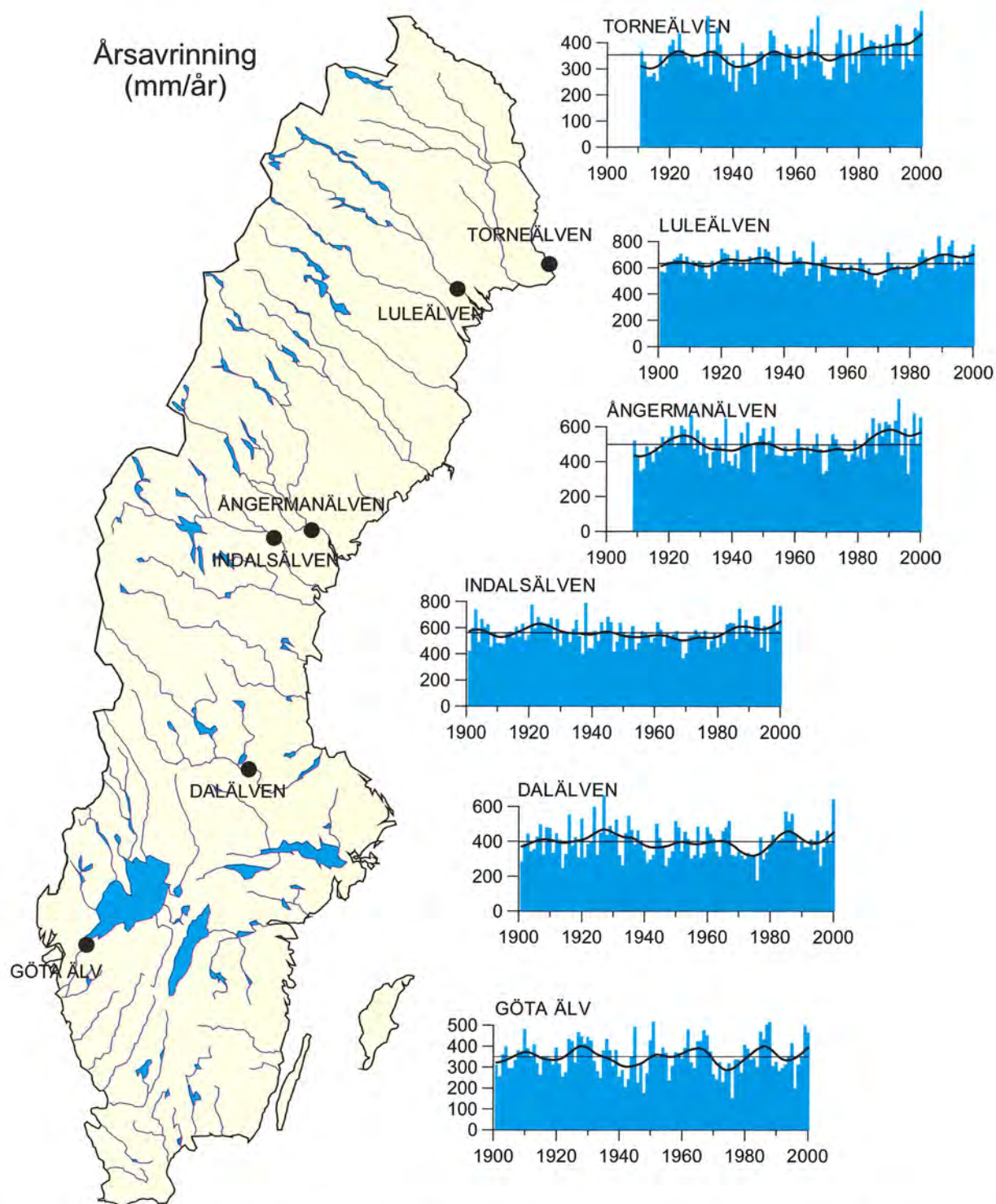
En mer ingående analys av avrinningen i medeltal över hela landet gjordes genom att två, av varandra oberoende, avrinningsserier togs fram för hela perioden 1901-2000. Den första av dessa två serier baserades på 20 långa, oreglerade serier från relativt små områden, mindre än 3000 km². Den andra serien baserades på 15 långa, delvis reglerade, serier från så stora avrinningsområden som möjligt. Den sammanlagda arean som täcktes in av de 15 stora områdena var 333 000 km², motsvarande drygt 70% av Sveriges yta. För att skapa avrinningsserier som sträckte sig över hela 1900-talet, förlängdes de serier som var för korta med hjälp av längre serier. Härvid utnyttjades kvoten mellan avrinningen under den längsta gemensamma perioden för respektive stationer. Även nedlagda stationer utnyttjades. Principen

bygger på Alexanderssons (2001) arbete med att uppskatta nederbörd och temperatur för hela Sverige, från 1860 och framåt, baserat på 20 respektive 10 serier. Härigenom skapades jämförbara material för nederbörd, temperatur och vattenföring. När det gäller vattenföring är det dock mindre meningsfullt att gå tillbaka till 1800-talet eftersom det endast finns ett fåtal mätstationer med data därifrån.

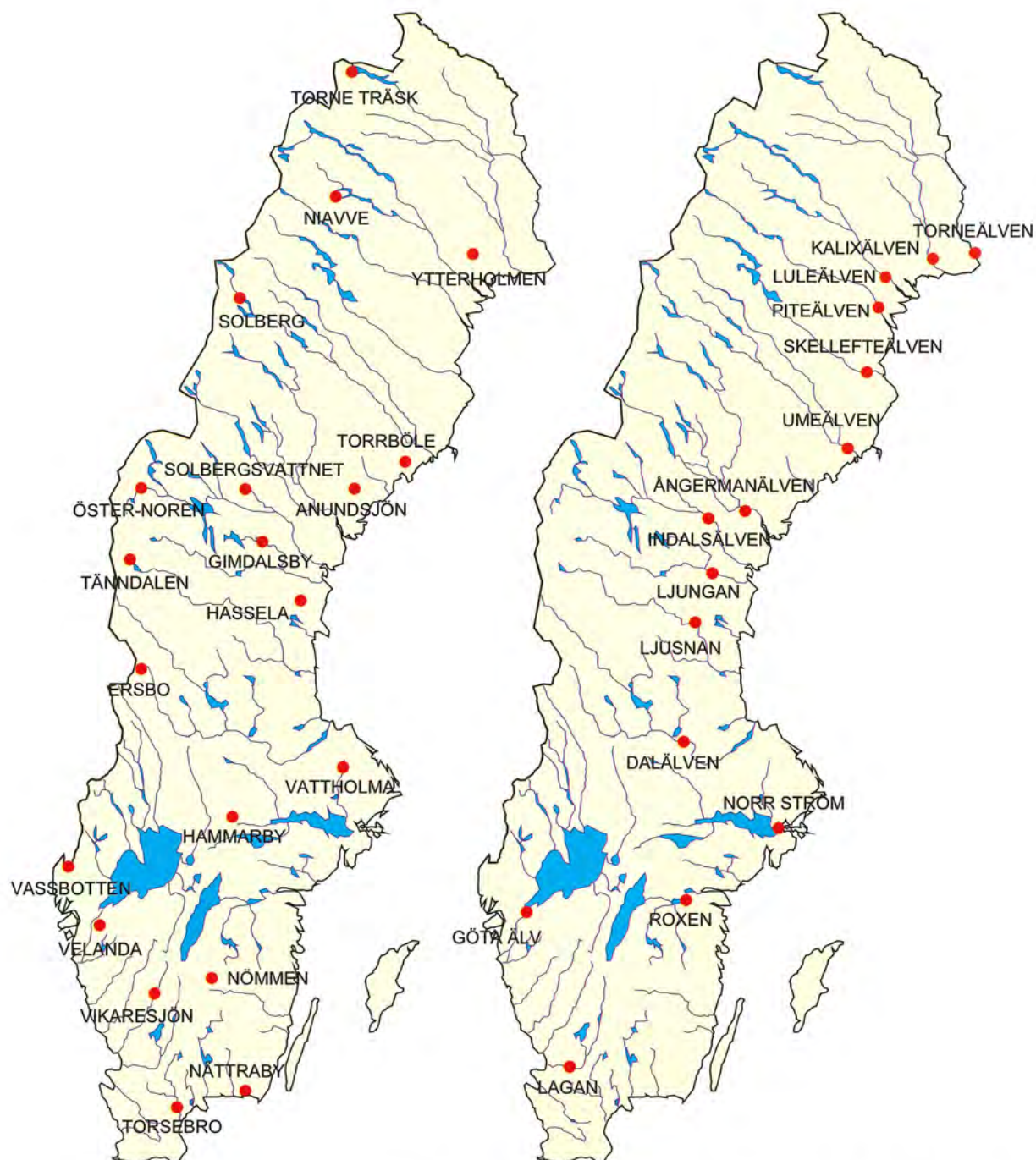
Stationstäckningen vad gäller vattenföring är dålig även för åren 1901-1910. För dessa år gjordes urvalet av ersättningsstationer så att ingen ingående station skulle ges alltför stor vikt. Vid urvalet valdes så långt som möjligt stationer i samma vattendrag, eller om inte detta var möjligt, den bäst korrelerade stationen i närheten. Ingen mätserie utnyttjades i båda uppskattningarna, utan serierna togs fram helt oberoende av varandra. I serien baserad på 20 oreglerade stationer utnyttjades endast oreglerade data även för förlängningen av data. En förenklad homogeniteskontroll enligt principerna för Alexanderssons test (Alexandersson och Moberg, 1997) gjordes också och utnyttjades vid urvalet av stationer. Urvalen gjordes för att uppnå en god täckning över landet, och är en kompromiss mellan antal stationer och de ingående stationernas längd. Alla stationerna gavs samma vikt. Antalet stationer måste därför hållas nere för att inte övervikta vissa regioner där det finns gott om långa serier, t.ex. i fjällen. Avsikten var inte i första hand att göra en korrekt uppskattning av arealmedelvärdet, utan att studera förändringar över tiden.

Både de 20 oreglerade serierna och de 15 reglerade serierna justerades så att arealmedelvärdet för perioden 1961-1990 stämde överens med det arealmedelvärde som beräknades av Brandt et al. (1994) för avrinningskartan för Sverige. Serien baserad på de 15 stora områdena behövde justeras mycket mindre än serien med de 20 områdena. Figur 5 visar urvalen av de 20 respektive 15 stationerna.

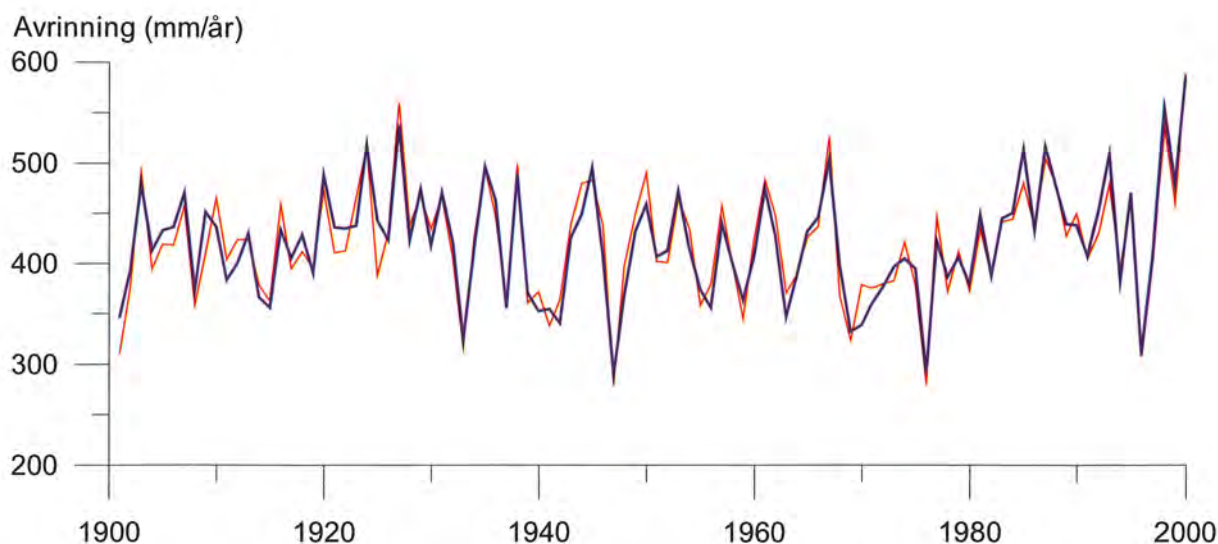
Efter normaliseringen mot avrinningskartan var de två uppskattningarna av medelavrinning relativt lika över tiden (figur 6). Av de två uppskattningarna torde den baserad på 15 stora områden vara mest tillförlig. För det första är arealtäckningen större. För det andra var känsligheten för val av ingående stationer mindre i denna uppskattning än i serien baserad på 20 oreglerade stationer. De 15 respektive 20 serierna delades t.ex. in i två delmängder vardera, med hälften av serierna i varje delmängd. På så vis erhöles två olika uppskattningar baserade på de 15 stora områdena (med 7 resp. 8 serier) och motsvarande för de 20 mindre områdena (med 10 serier i varje). De två uppskattningarna baserade på de 15 stora områdena var mer lika varandra än vad uppskattningarna från de 20 områdena var.



Figur 4. Några långa mätserier för stora avrinningsområden, tillsammans med Gauss-viktade rullande medelvärden över 10 år.

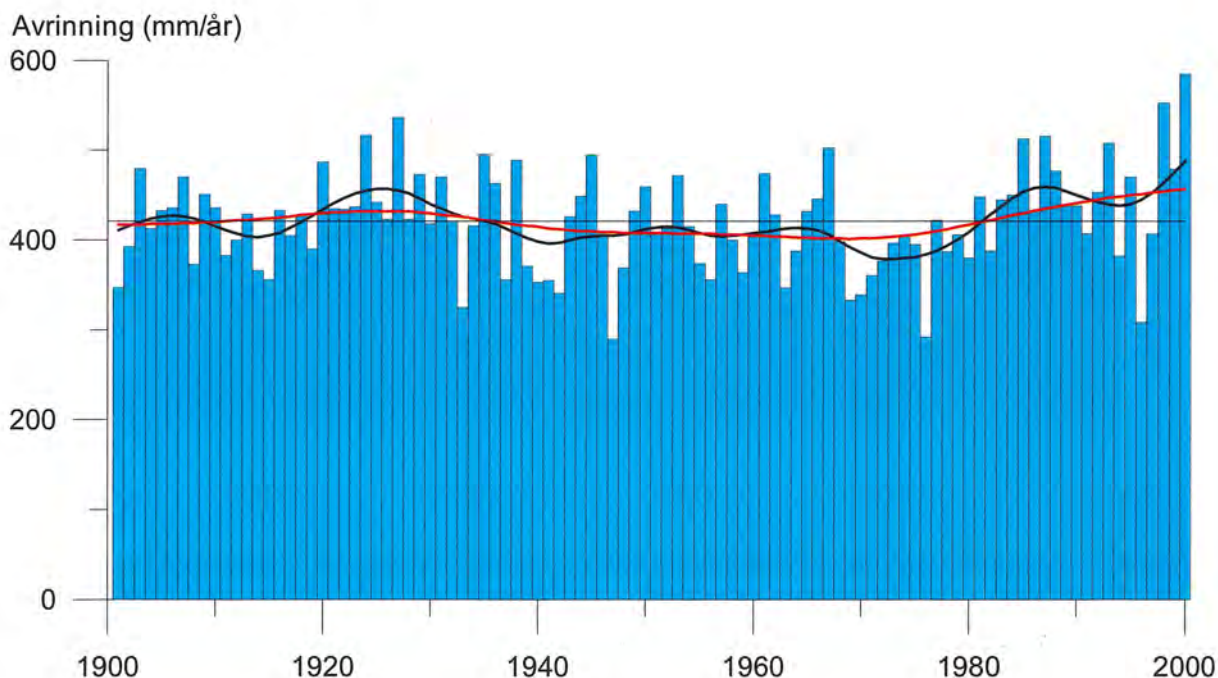


Figur 5. Urvalen av 20 mindre, oreglerade avrinningsområden (t.v.) och 15 större, delvis reglerade avrinningsområden (t.h.), för uppskattning av avrinningen under perioden 1901-2000.



Figur 6. Två oberoende uppskattningar av avrinningen i Sverige under 1900-talet, baserat på 20 mindre, oreglerade avrinningsområden (tunn röd kurva) respektive 15 större områden (fet blå kurva).

Figur 7 visar avrinningen under 1900-talet enligt de 15 stora områdena. Figuren bekräftar att de senaste åren har varit ovanligt vattenrika. Tendensen är dock mindre dramatisk i ett 100-årsperspektiv. Även 1920-talet var en period av hög avrinning. Några enskilda år som utmärker sig i figur 6 är rekordåret 2000, men även t.ex. 1927 och 1998 som var ovanligt vattenrika. Några torrår som utmärker sig är 1947, 1976 och 1996, med 1947 som det allra torraste året enligt analysen.

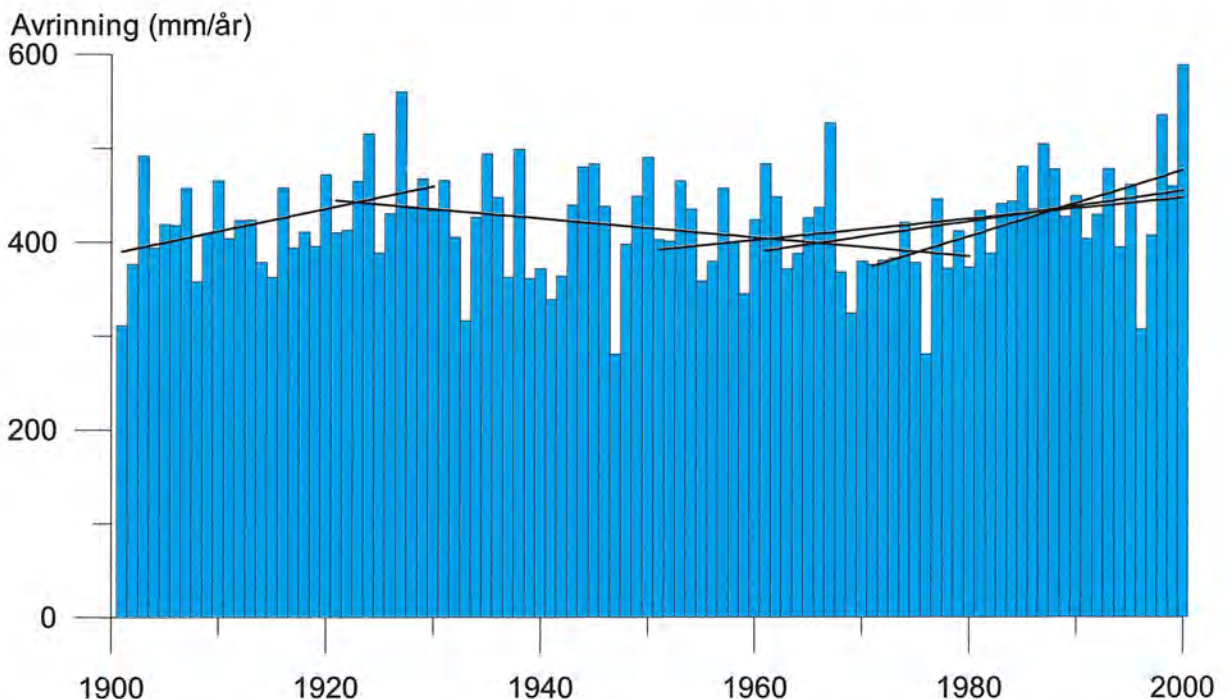


Figur 7. Uppskattning av avrinningen i Sverige under 1900-talet, baserat på 15 större avrinningsområden, samt Gauss-viktade rullande medelvärden över 10 respektive 30 år.

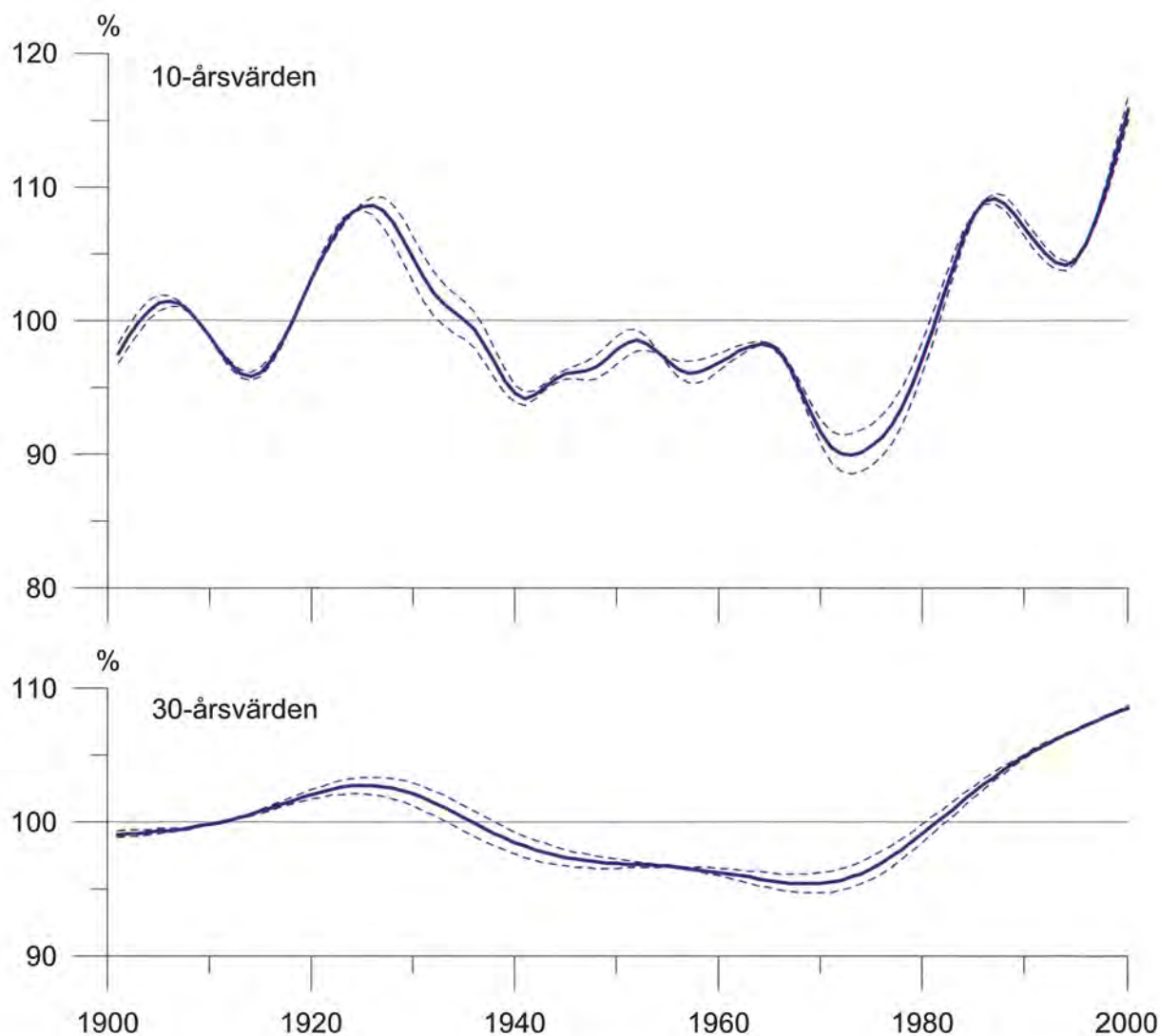
Trendtester för avrinningen från hela Sverige under 1900-talet gjordes för uppskattningen baserad på de 20 mindre områdena, eftersom avrinningen från de större områdena uppvisade en signifikant autokorrelation från år till år. Sett över hela 1900-talet erhöles ingen signifikant trend. Regressionslinjen för hela århundradet lutade med knappt 0.4 % per årtionde, eller 4% över hela seklet, men lutningen var långt ifrån att vara signifikant skild från noll. Däremot går det att finna delperioder under seklet för vilka trendtesterna antyder signifikanta trender (figur 8). Valet av period har alltså avgörande betydelse.

Figur 9 visar avrinningens variation över tiden i procent av medelvärdet för hela 1900-talet, utjämnad med Gauss-filter, baserat på de 15 större områdena. De två deluppskattningarna från 7 respektive 8 områdena visas i figurerna för att ge en uppfattning om noggrannheten i analysen.

Tabell 2 sammanfattar på motsvarande sätt avrinningen under de olika årtiondena under 1900-talet. Mest avvikande från hela århundradet är 1970-talets torrperiod. 1920-talet, 1980-talet och 1990-talet avviker å andra sidan relativt kraftigt uppåt. Tabellen visar även motsvarande siffror för 30-årsperioder. Perioden 1951-80 är här den som avviker mest, med 5% lägre avrinning än under seklet som helhet. Något anmärkningsvärt är kanske att perioden 1971-2000 inte avviker med mer än 2 procent från långtidsmedlet, men medelvärdet dras här ner av det torra 70-talet.



Figur 8. Uppskattning av avrinningen i Sverige under 1900-talet, baserat på 20 mindre, oreglerade avrinningsområden, samt regressionslinjer, över minst 3 årtionden, som är signifikanta på nivån 95%.



Figur 9. Uppskattning av avrinningen i Sverige i procent av medelvärdet för hela 1900-talet, baserat på 15 större avrinningsområden (fet kurva) och två delmängder av detta material (tunna kurvor). Gauss-viktade rullande medelvärden över 10 respektive 30 år.

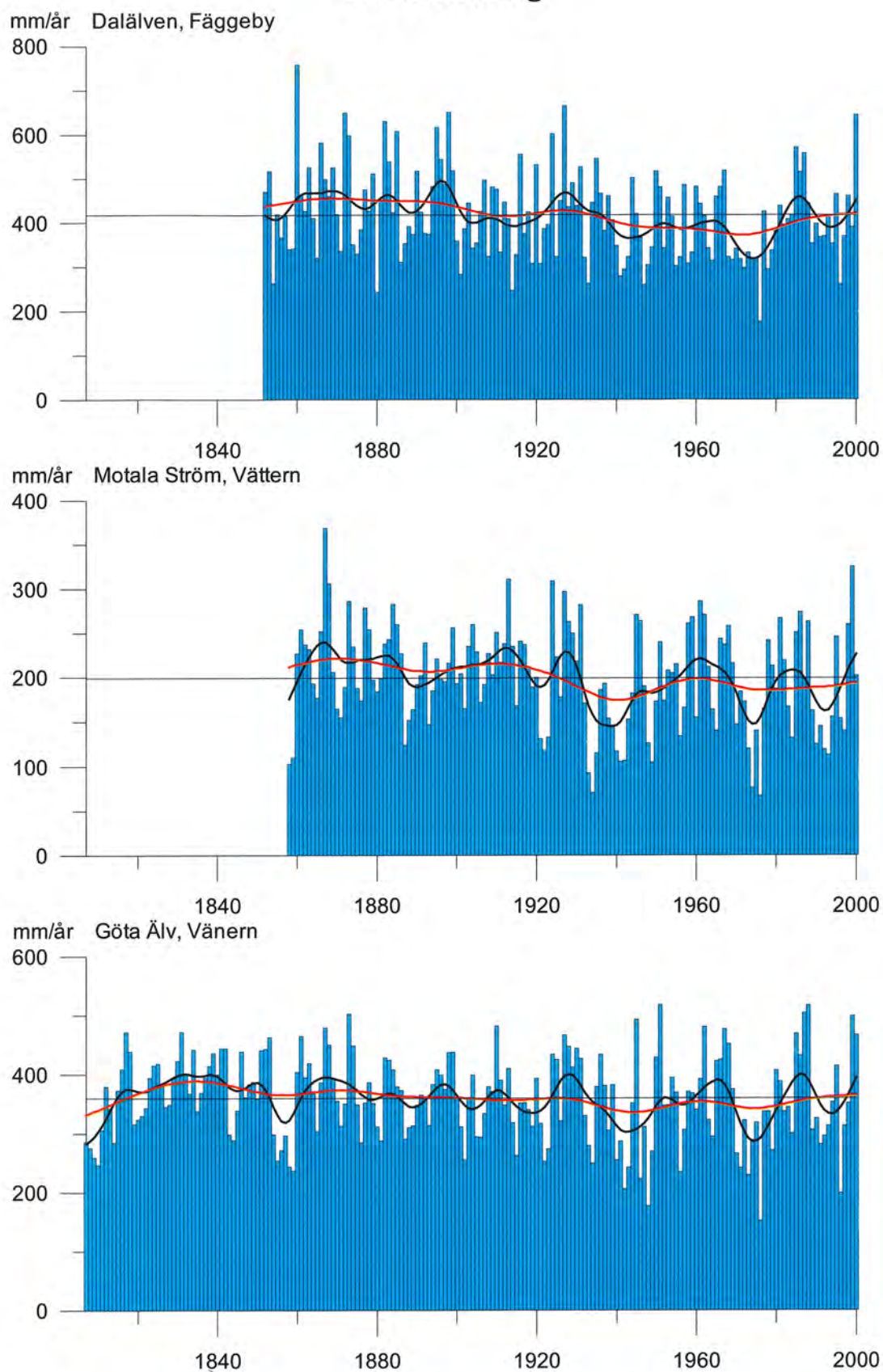
Tabell 2. *Medelavrinningens avvikelse från långtidsmedelvärdet för hela 1900-talet, under de olika årtiondena, samt olika 30-årsperioder, baserat på de 15 större områdena.*

Årtionde	Avvikelse (%)	30-årsperiod	Avvikelse (%)
01-10	+1		
11-20	-3		
21-30	+8	01-30	+2
31-40	-1	11-40	+1
41-50	-4	21-50	+1
51-60	-4	31-60	-3
61-70	-3	41-70	-4
71-80	-9	51-80	-5
81-90	+8	61-90	-1
91-00	+8	71-00	+2

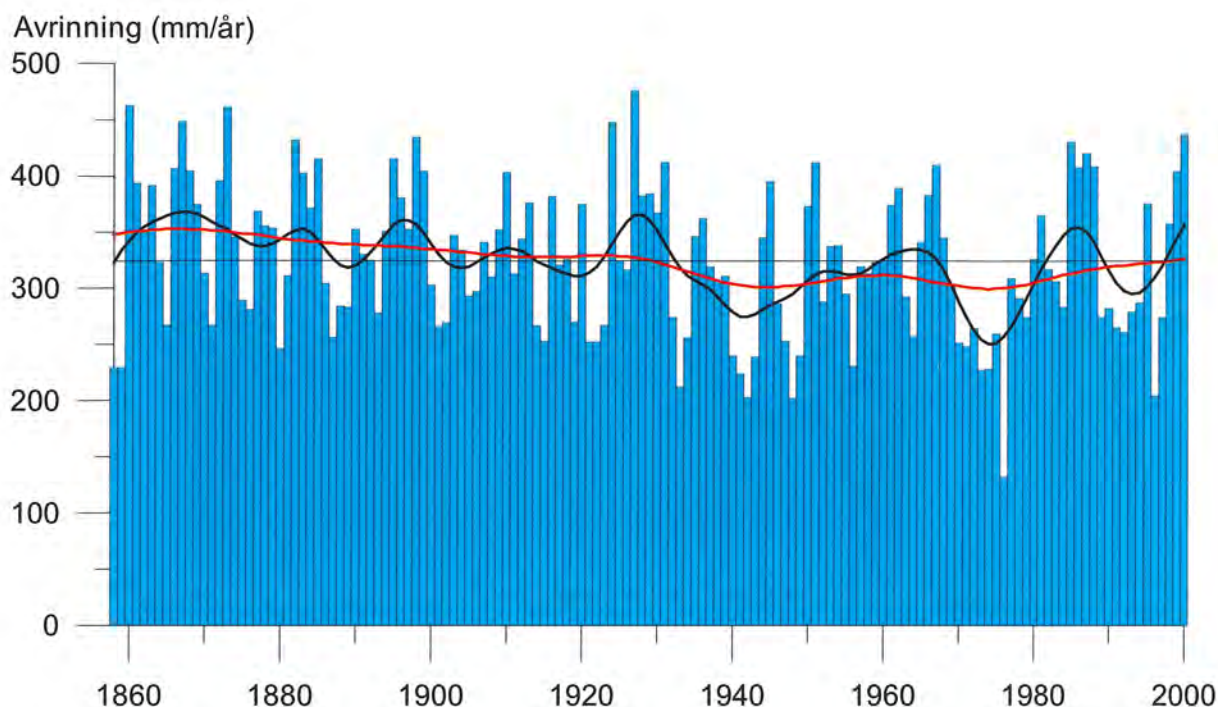
4.2 Våra längsta serier

Figur 10 visar de längsta serierna i SMHI:s arkiv; Dalälven, Motala Ström och Göta Älv, som alla sträcker sig in på 1800-talet. Inte heller här syns någon långsiktigt ökande tendens, utan det finns snarare en sjunkande tendens i både Dalälven och Motala Ström på ca 1 % per årtionde. Denna tendens blev dock inte signifikant på nivån 95 %, då man i trendtesterna tog hänsyn till autokorrelationen mellan årsvärden genom att vartannat år hoppades över. Om man väger samman de tre längsta serierna fås en grov uppskattning av avrinningen från hela södra Sverige (figur 11). I det långa perspektivet antyder sammanställningen snarast en nedåtgående tendens. Uppgången under senare år finns där, men är inte lika iögonfallande som då enbart 1900-talet studeras. Mest avvikande från övriga år är torråret 1976. Det blötaste året var här 1927.

Årsavrinning



Figur 10. Årsavrinning enligt SMHI:s längsta vattenföringsserier, med Gauss-viktade rullande medelvärden över 10 respektive 30 år.

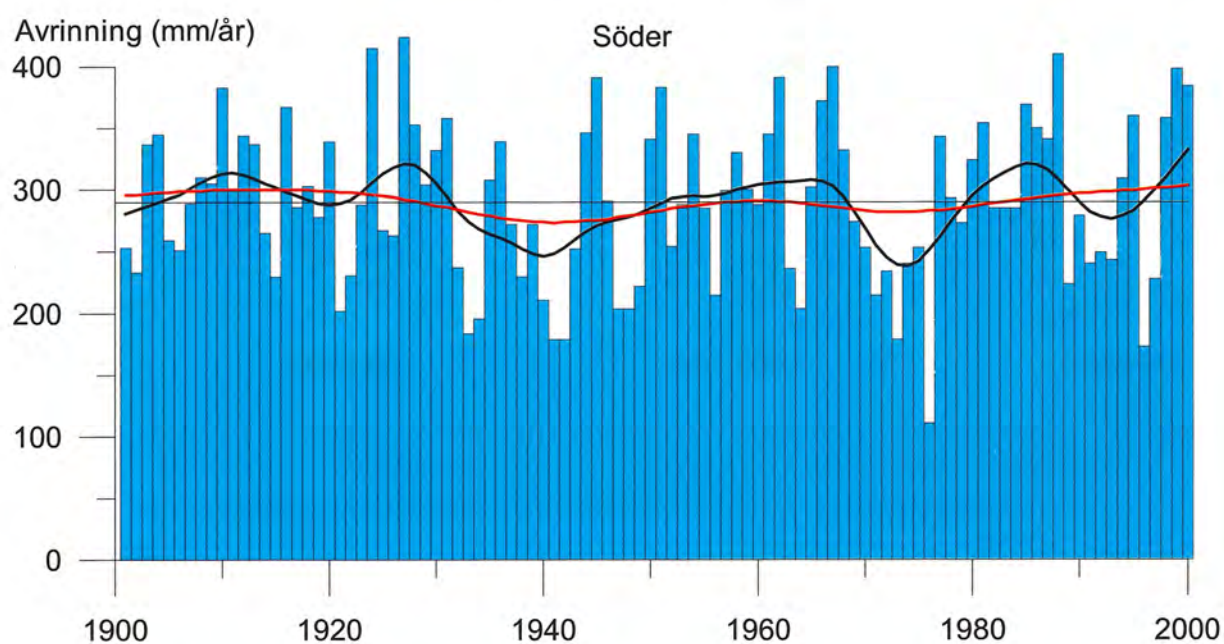
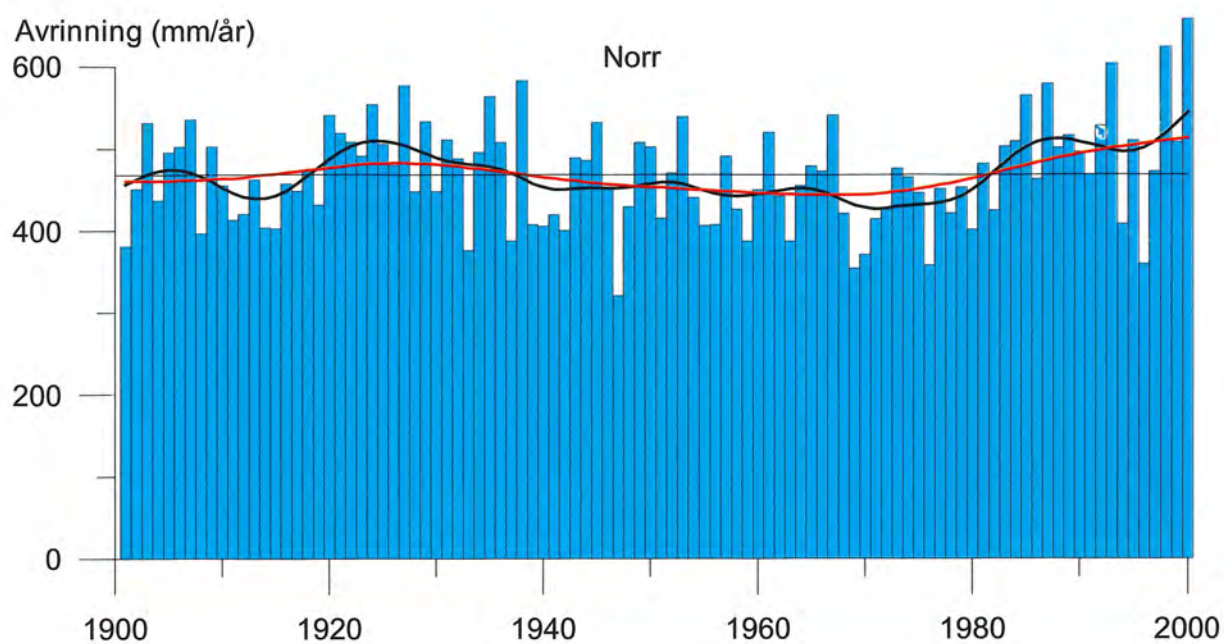


Figur 11. Medelavrinningen för SMHI:s 3 längsta vattenföringsserier: Dalälven vid Fäggeby, Motala Ström vid Vätterns utlopp, Göta Älv vid Vänerns utlopp, samt Gauss-viktade rullande medelvärden över 10 respektive 30 år.

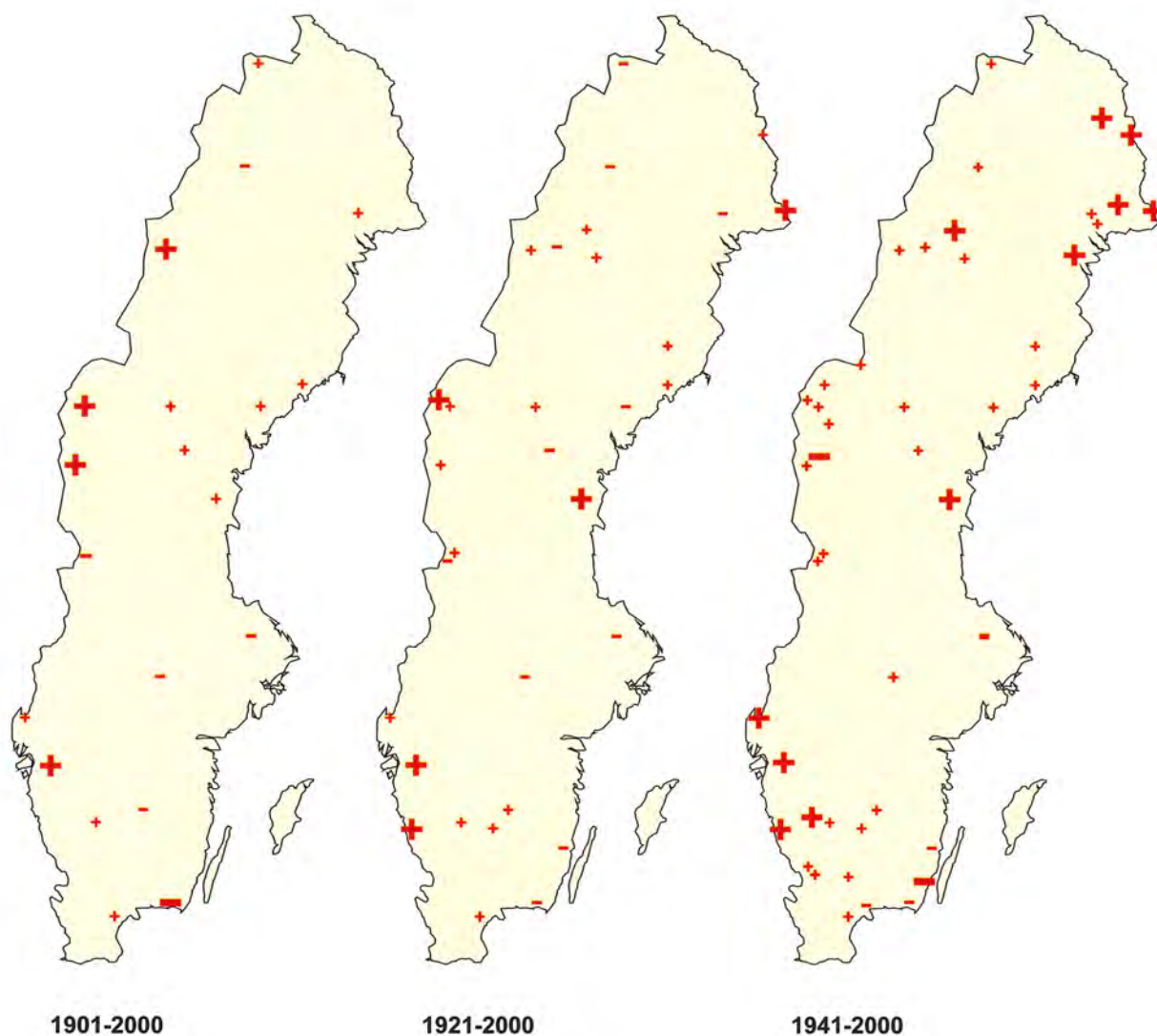
4.3 Regional analys

Figur 12 visar avrinningen i norra respektive södra Sverige under 1900-talet, baserat på de 15 större avrinningsområden. Dalälven utgör här gränsen, så att de elva nordliga områdena räknas till norra Sverige och de fyra sydliga till södra Sverige. Den rika vattentillgången under senare år är som synes mest framträdande i norr, även om torrperioden under 1970-talet går igen både i norr och i söder.

Stationsvis trendanalys för årsmedelavrinning visas i figur 13. I figuren har de 20 oreglerade serierna ovan kompletterats med serier från analysen av höga flöden (avsnitt 4.5). Analysen omfattar därmed totalt 45 områden. I norra Sverige återfinns mestadels positiva tendenser för avrinningen, liksom i sydvästra Sverige. Flera stationer i sydost uppvisar negativa trender. Signifikanta trender erhöles för åtskilliga stationer. Signifikansnivån berodde dock på den valda tidsperioden. Flest trender erhöles för perioden 1941-2000, men många av dessa försvagades då serierna förlängdes bakåt till att även innefatta det blöta 1920-talet.



Figur 12. Uppskattning av avrinningen i norra respektive södra Sverige under 1900-talet, baserat på 15 större avrinningsområden, 11 i norr och 4 i söder, samt Gauss-viktade rullande medelvärden över 10 respektive 30 år.

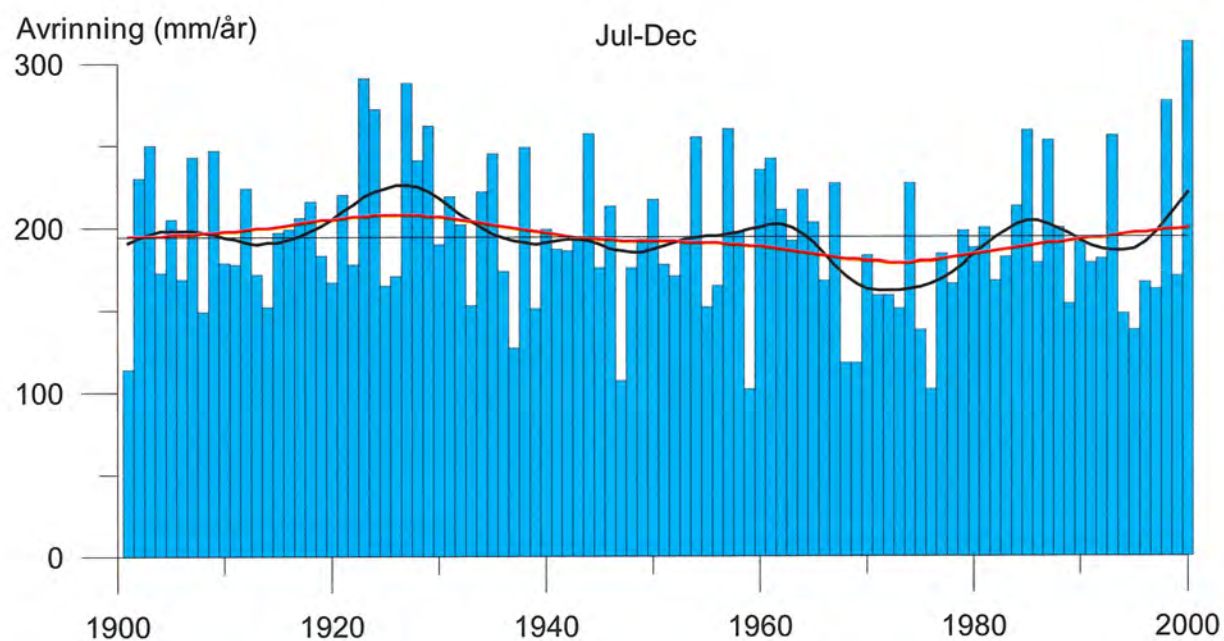
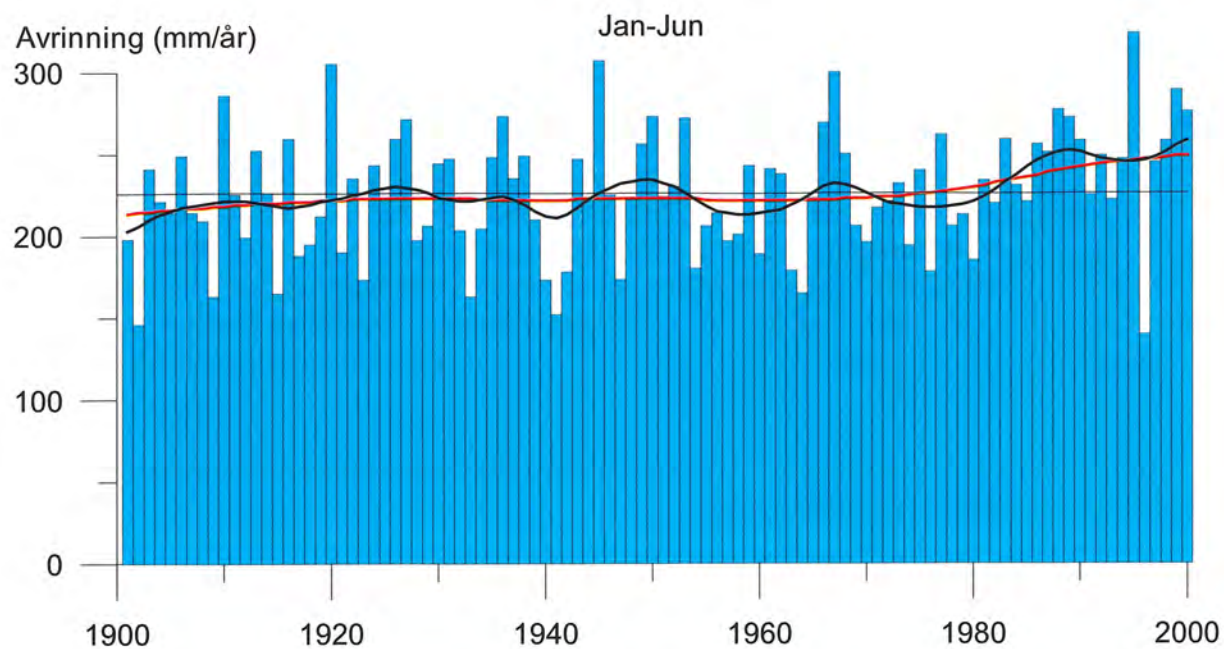


Figur 13. Resultat från stationsvis trendanalys med linjär regression, 45 oreglerade områden. Tecknet anger lutningen på regressionslinjen, oavsett om denna är signifikant eller ej. De större symbolerna markerar en signifikant trend på nivån 95 %.

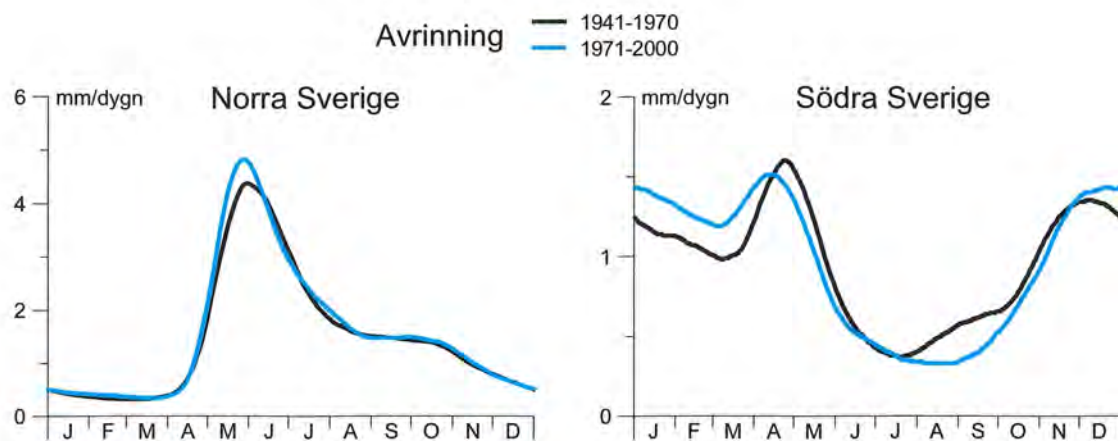
4.4 Säsongsfördelning

Figur 14 visar avrinningen under perioderna 1 januari-30 juni, som domineras av snösmältning, och 1 juli-31 december, som domineras av sommar- och höstregn. Analysen bygger på de 20 oregrerade serierna, eftersom de reglerade serierna påverkas av omfördelning av vatten mellan årstider. Fördelningen mellan årstider är något mer osäker under första årtiondet eftersom flera stationer där bygger på ersättningsstationer. Uppgången under senare år är som synes tydligare under första halvåret än under andra halvåret. Andelen sommar- och höstavrinning tycks snarare minska än öka, vilket kan vara en aning förvånande mot bakgrund av de många uppmärksammade sommar- och höstflödena under senare år. De scenarier som tas fram över hur framtida vattenresurser kan komma att påverkas av växthuseffekten (t.ex. Bergström et al., 2001, Gardelin et al., 2002), pekar också i allmänhet på en förskjutning av flödena från våren till övriga tider på året.

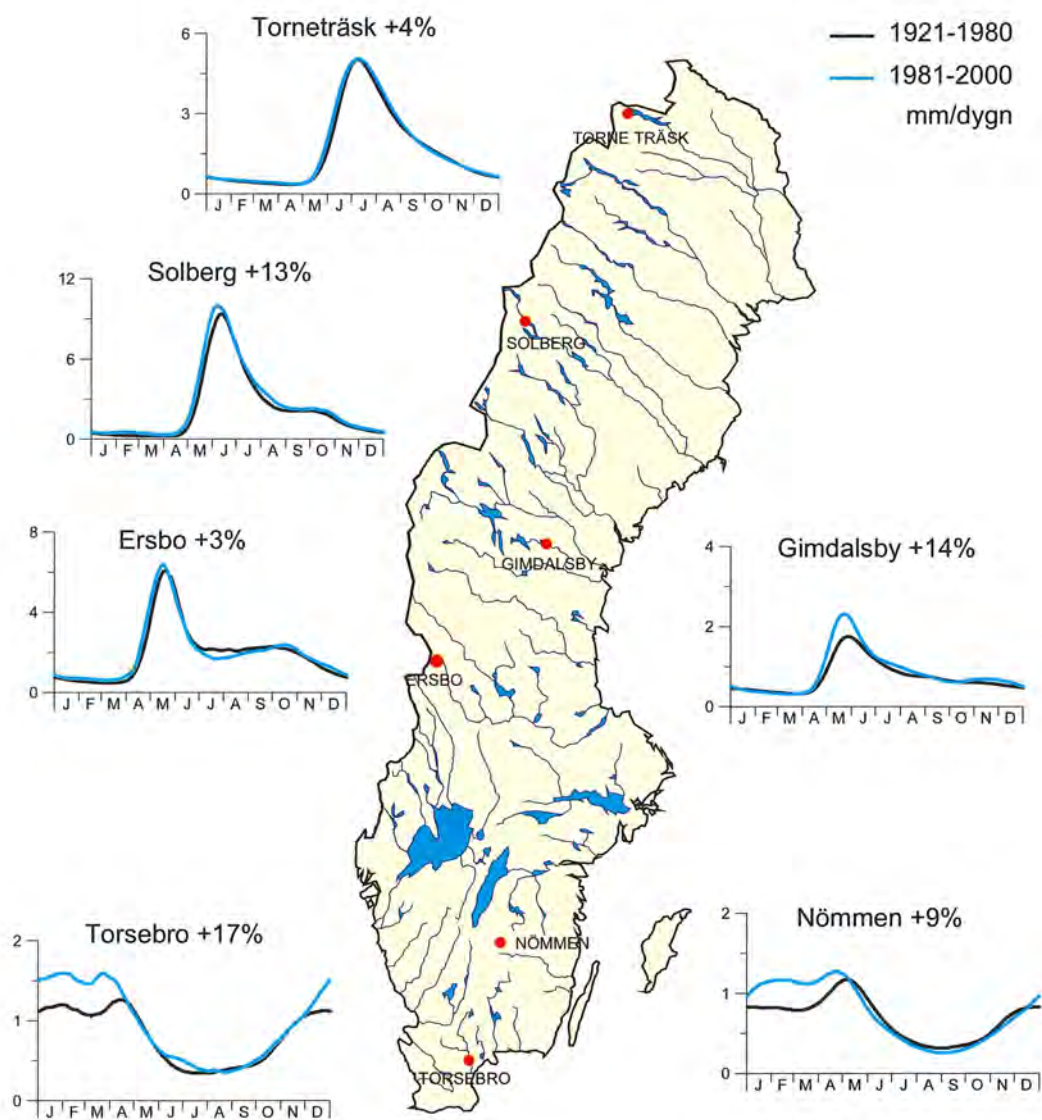
Avrinningens fördelning över året under de två 30-årsperioderna 1971-2000 och 1941-1970 visas i figur 15 för norra respektive södra Sverige. Hur den höga avrinningen under den senaste 20-årsperioden fördelade sig över året, jämfört med tidigare år, visas i figur 16. Klimatscenarierna pekar på att vårflödena i norra Sverige skulle reduceras betydligt, genom en omfördelning till andra årstider. Någon sådan effekt syns knappast i figurerna 15 och 16. I söder var vinterflödena högre och sommarflöden lägre under de senaste åren, än tidigare, vilket kvalitativt är i överensstämmelse med klimatscenarierna. Vid jämförelse med framtids-scenarier bör man dock hålla i minnet att dessa avser förhållanden cirka 100 år framåt i tiden.



Figur 14. Avrinningen under månaderna januari-juni, samt juli-december, baserat på de 20 oreglerade serierna, samt Gauss-viktade rullande medelvärden över 10 respektive 30 år.



Figur 15. Avrinningens fördelning över året under 1971-2000 jämfört med 1941-1970 för norra respektive södra Sverige, baserat på de 20 mindre avrinningsområdena.



Figur 16. Avrinningens fördelning över året under 1981-2000 jämfört med 1921-1980 för ett urval avrinningsområden.

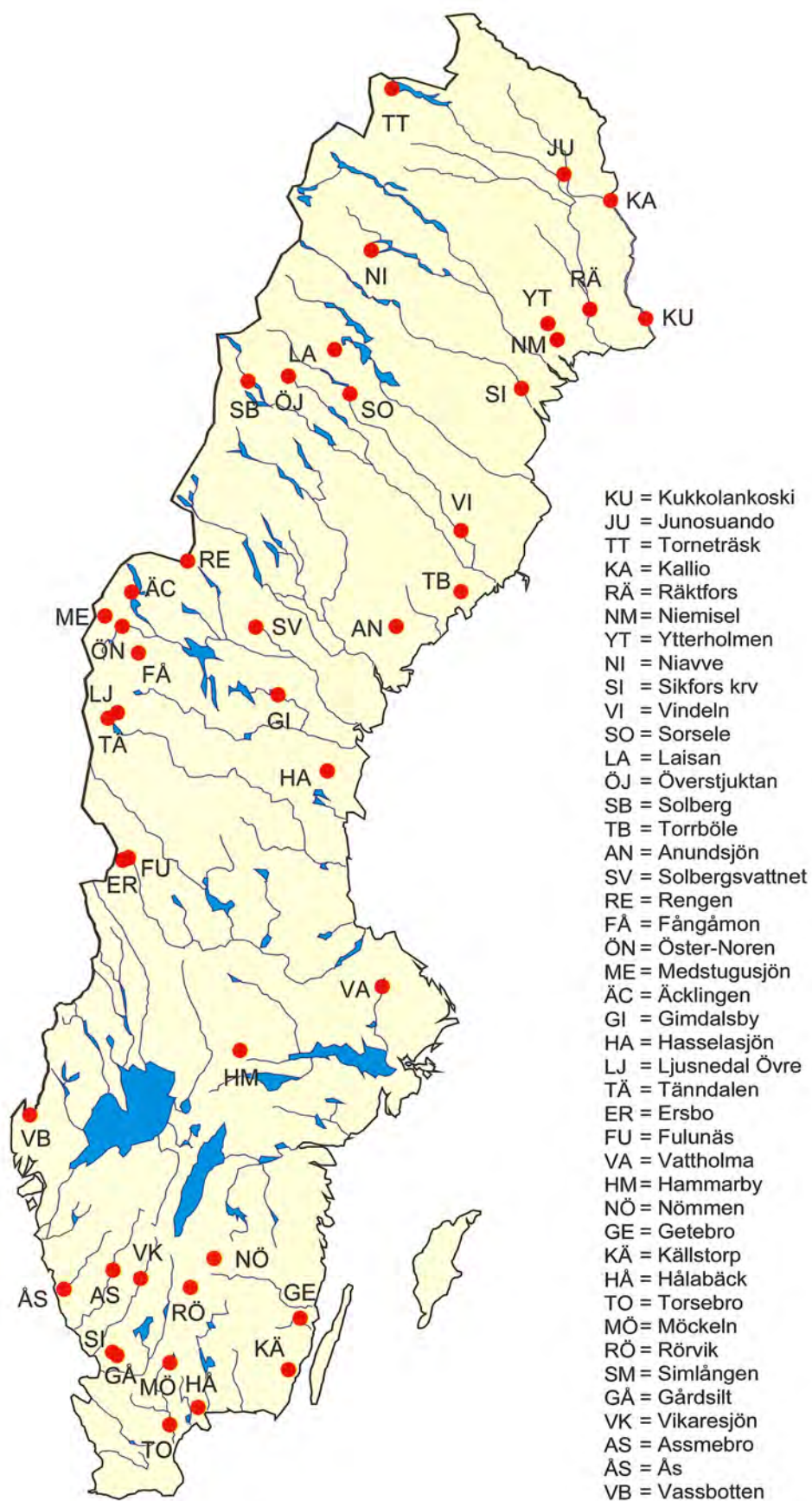
4.5 Höga flöden

Många av de längsta serierna i Sverige är påverkade av reglering, och därför olämpliga för extremvärdesanalys. Totalt utnyttjades 43 i det närmaste oreglerade stationer, om minst 60 år, som fanns tillgängliga t.o.m. år 2000 (figur 17). Stationerna beskrivs utförligare i appendix. Endast perioder utan luckor användes. Totalt omfattade analysen 3426 stationsår, i medeltal 80 år per station. Serierna är dock beroende av varandra. Figur 18 visar de högsta flödena under varje år vid de 43 stationerna, efter Gauss-filtrering över 30 år. Skillnaderna mellan stationerna är stora, och någon entydig tendens finns inte. I norra Sverige finns en antydning till en svag ökning av flödesnivån, men ett minimum runt 1950 syns i flera serier. Å andra sidan finns det även serier med en kontinuerlig ökning över hela seklet, t.ex. Gimdalsby, Medstugusjön och Öster-Noren. I sydost finns ett antal serier med kraftigt sjunkande tendens.

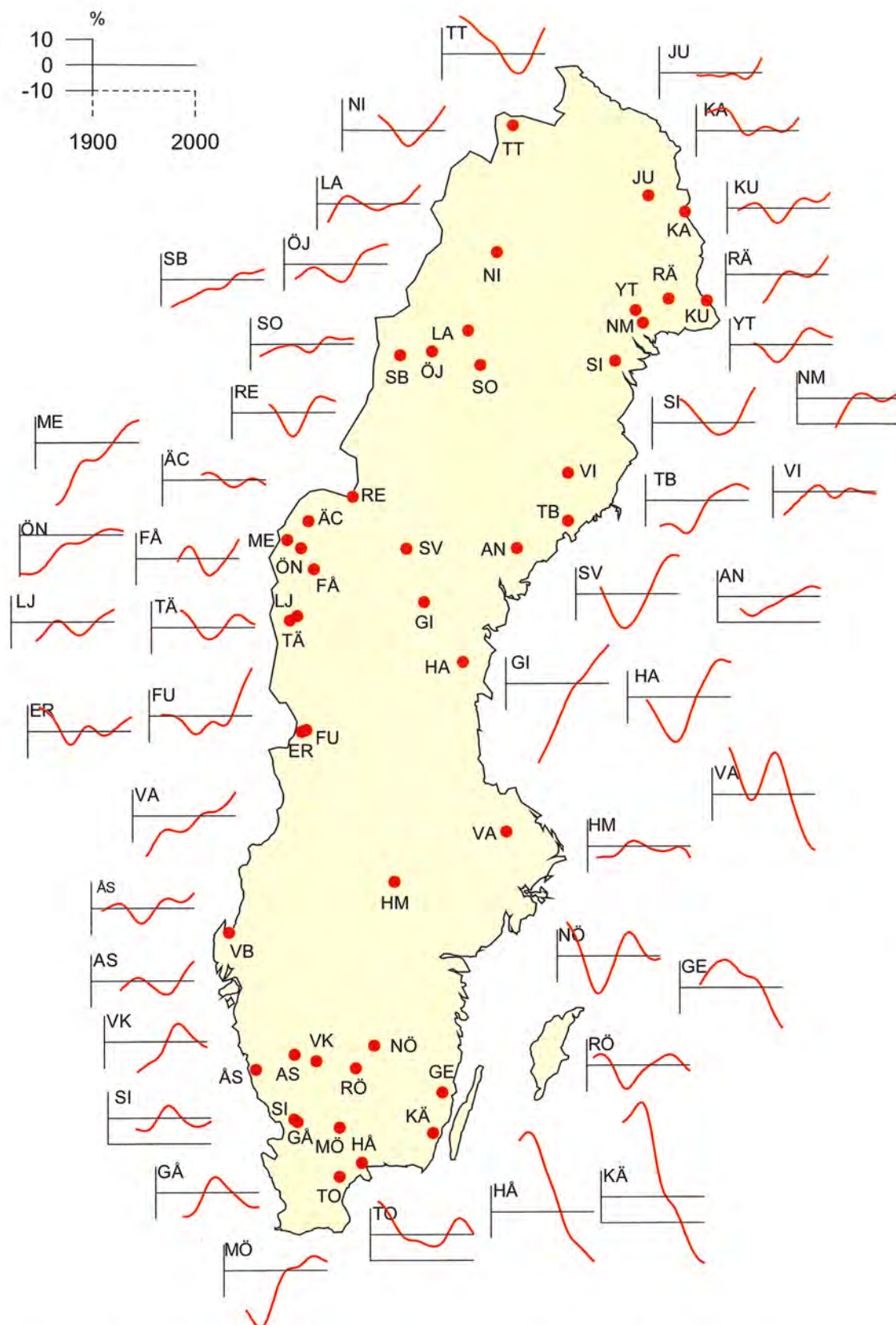
Figur 19 visar när det högsta flödet under den gemensamma perioden 1941-2000 inträffade, samt återkomsttiden för detta flöde uppskattat med hjälp av Gumbelfördelningen. Sett till återkomsttid kan juni-flödet 1995 i Umeälven sägas vara det mest extrema. Till exempel var de högsta uppmätta flödena vid stationerna Solberg och Överstjuktan 65 respektive 55 % högre än de näst högsta under perioden. Flödet 1995 var också speciellt i och med att det berörde en mycket stor del av landet. Även flödet i juni 1951 i Fångåmon, Indalsälven, utmärker sig. Det var 53 % högre än något annat flöde, och hade en uppskattad återkomsttid på 800 år. Slutligen kan nämnas vårflödet 1977 i Bergslagen (stationen Hammarby) som var 50 % större än det näst högsta flödet och hade en uppskattad återkomsttid på 500 år.

Återkomsttiderna för de högsta flödena (figur 19) kan egentligen inte uppskattas med någon tillfredsställande noggrannhet. Å andra sidan ökar flödet mycket långsammare med återkomsttiden än vad man i allmänhet tänker sig. Så var exempelvis 100-årsflödena i genomsnitt 9 % högre än 50-årsflödena i de 43 områdena. 1000-årsflödena var i genomsnitt 28 % högre än 100-årsflödena. En dubbling av återkomsttiden ger med andra ord en ökning av flödena med i runda tal 10 %. Vid 30 av de 43 stationerna (70%) överträffade återkomsttiden för det högsta flödet observationsperiodens längd, dvs 60 år. Detta stämmer ungefär med vad som kan förväntas, eftersom risken att det under 60 år skall inträffa ett 60-årsflöde är 64% (se t.ex. Chow et al., 1988). Motsvarande antal 100-årsflöden var 22 av 43 (51%), mot förväntade 45 %, och för 500-årsflöden 4 av 43 (9 %) jämfört med de 11 % som kan förväntas.

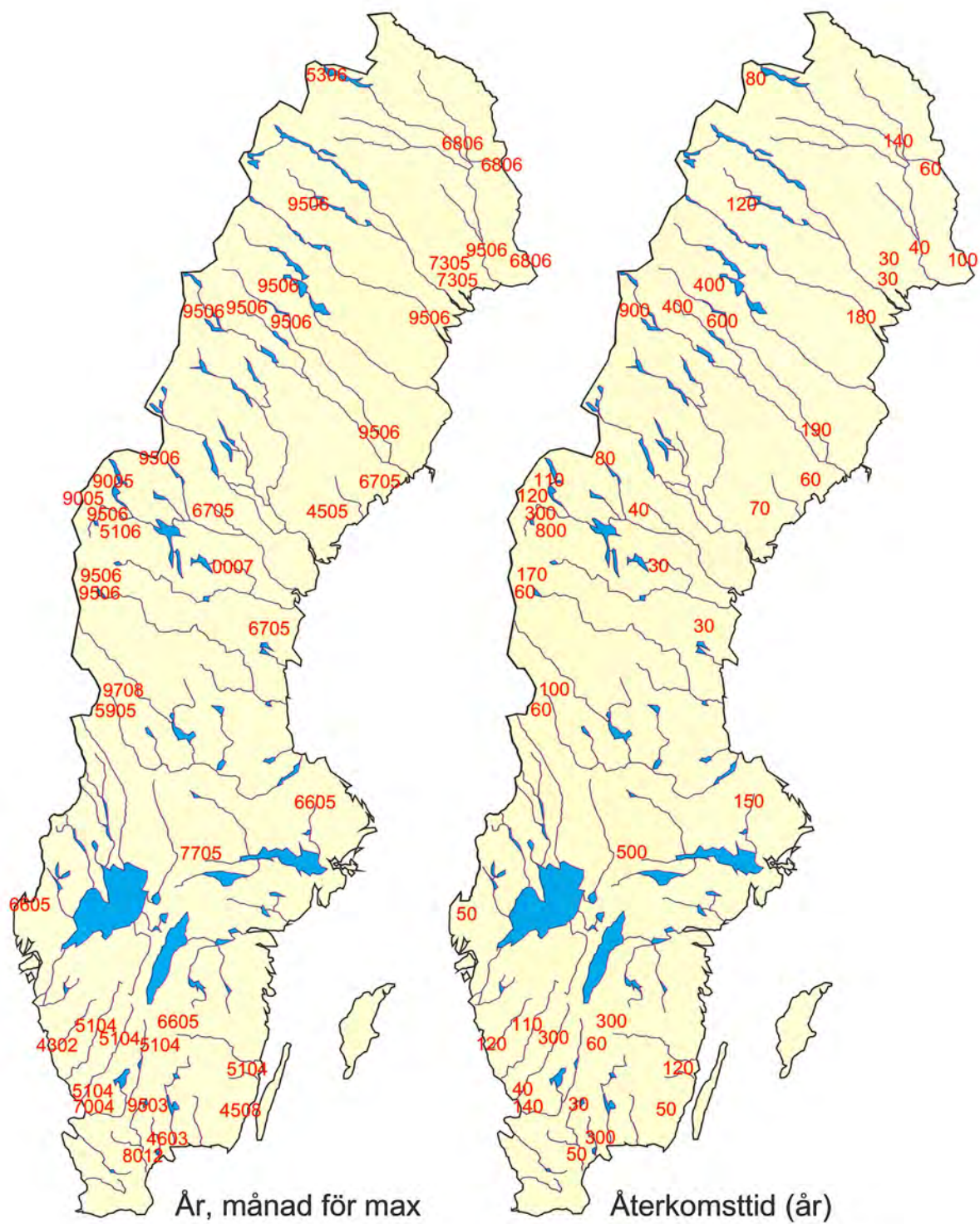
Då avsikten är att detektera eventuella förändringar i nivån för extremvärdena är det viktigt att man inte inför fiktiva förändringar som beror av byte av mätmetod. De felkällor som diskuterades i inledningen kan påverka resultatet av en extremvärdesanalys. Ett exempel på detta är det faktum att en del flödestoppar i äldre data sannolikt har underskattats på grund av glesa avläsningar. Avbördningskurvan är särskilt osäker i höga registrena. Två urval ur de 43 stationerna gjordes därför. Ett urval stationer, 14 stycken, som bedömdes som minst behäftade med ovanstående osäkerheter valdes som en delmängd av de totalt 43 stationerna i analysen. Det högsta flödet för varje år vid dessa 14 stationer visas i figur 20. Trendtester för alla de 43 stationerna redovisas i figur 21. Två regioner utmärker sig, liksom i figur 18; södra Norrland, med ökande tendenser, och sydöstra Götaland, med fallande tendenser. De 14 serierna med mest tillförlitliga observationer är i figuren markerade med svart, och de mindre tillförlitliga med grått. Man kan lägga märke till att de stationer för vilka trendtestet visar på en signifikant förändring alla är sådana som bedömts som mindre tillförlitliga. Flera av de stationer som bedömdes som mest osäkra är även sådana som avviker i figur 18.



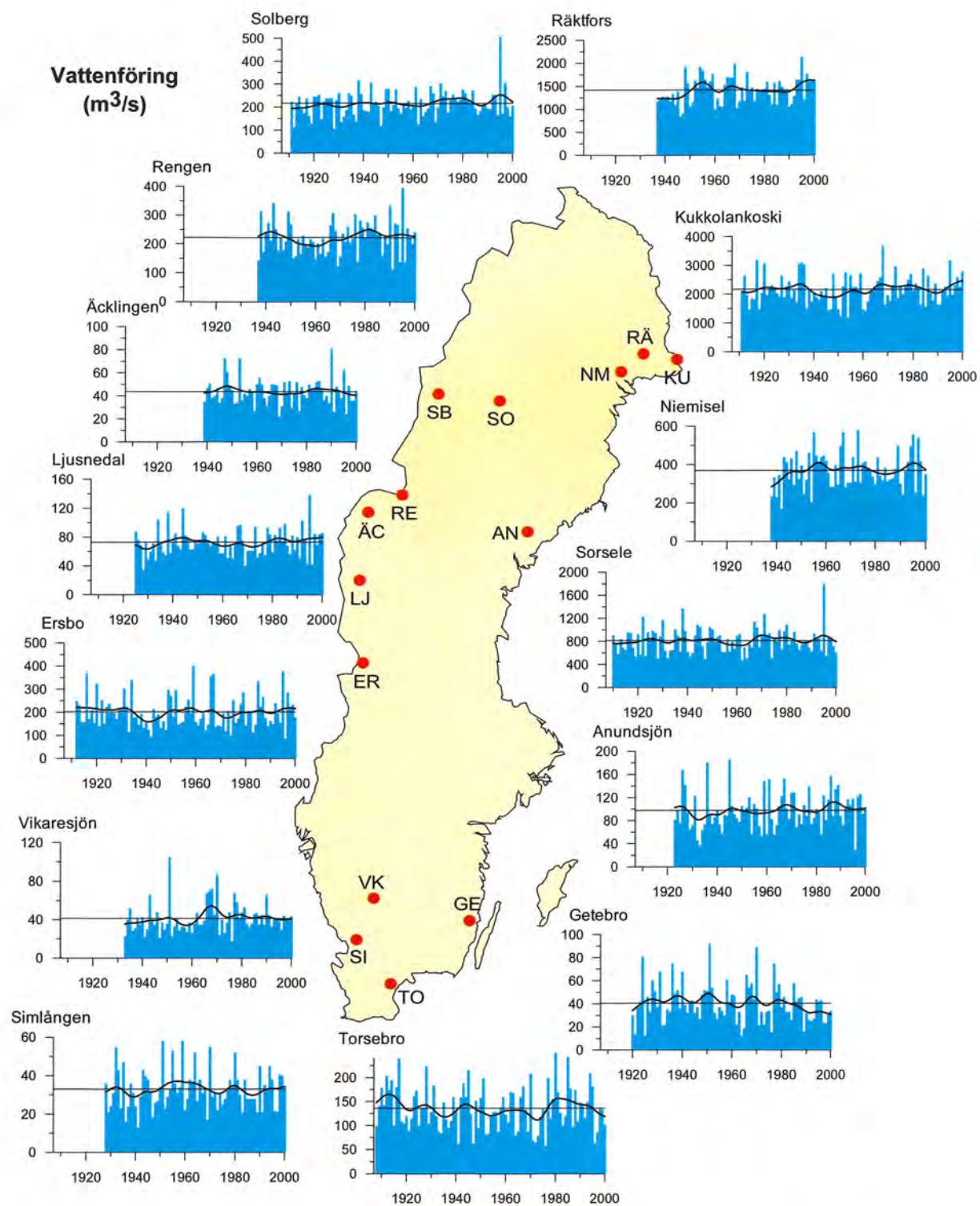
Figur 17. Stationsurval för analysen av höga flöden, 43 stationer.



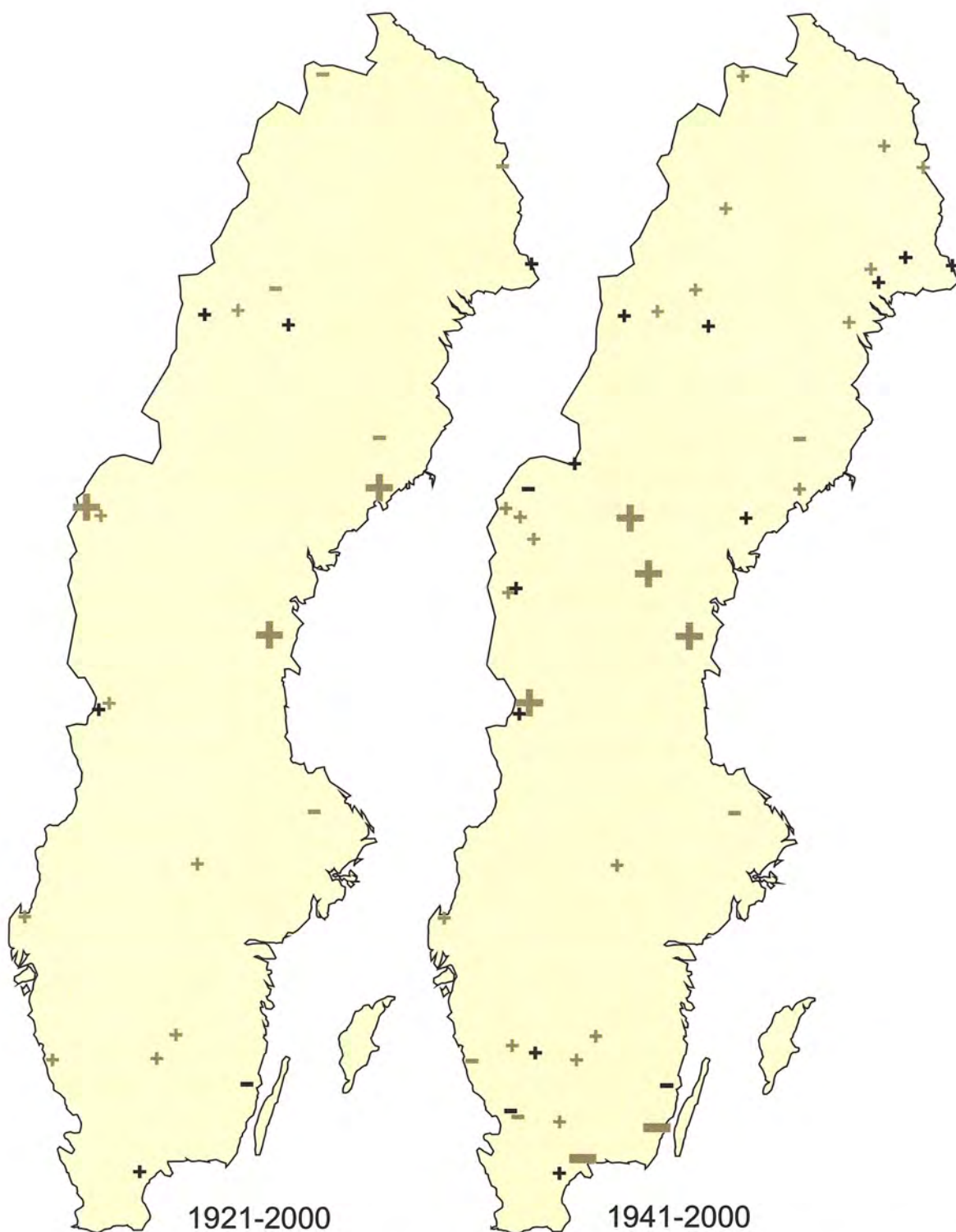
Figur 18. Avvikelsen från långtidsmedelvärdet för 1941-2000, i procent, för årsmax, 43 stationer. Gauss-viktade rullande medelvärden över 30 år.



Figur 19. År och månad för högsta flödet under den gemensamma perioden 1941-2000 (t.v.) och tillhörande uppskattade återkomsttid (t.h.).



Figur 20. Årsmax (m^3/s) från de 14 områdena med mest tillförlitliga data, samt Gauss-viktade rullande medelvärden över 10 år.



Figur 21. Resultat från trendanalys med linjär regression för årsmaxvattenföring, 43 områden. Tecknet anger lutningen på regressionslinjen, oavsett om denna är signifikant eller ej. De 14 mest tillförlitliga serierna markeras med svart, övriga med grått. De större symbolerna markerar en signifikant trend på nivå 95 %.

Förutom stationsvis analys av extremer gjordes sammanvägda analyser för norra respektive södra Sverige. Dalälven användes som gräns mellan norr och söder, med 28 områden i norr och 15 i söder. En sammanvägning av serier försvåras av att extremvärdena är helt olika fördelade vid olika stationer. Det enklaste sättet att normalisera extremvärden så att de blir mer jämförbara är att använda indexflöden, vilket innebär att man delar alla observationerna med medelvärdet. Denna metod förekommer i regional frekvensanalys. Serierna kommer naturligtvis inte att vara helt jämförbara efter denna normalisering, eftersom varianserna dessutom skiljer sig mellan områdena. Fördelen med metoden är att den är enkel. Medelindexflödet definierades för varje serie som det högsta flödet varje år delat med långtidsmedelvärdet (över perioden 1941-2000) av dessa årshögsta. Medelvärdet av dessa stationsvisa flödesindex beräknades för norra och södra Sverige (figurerna 22 och 23).

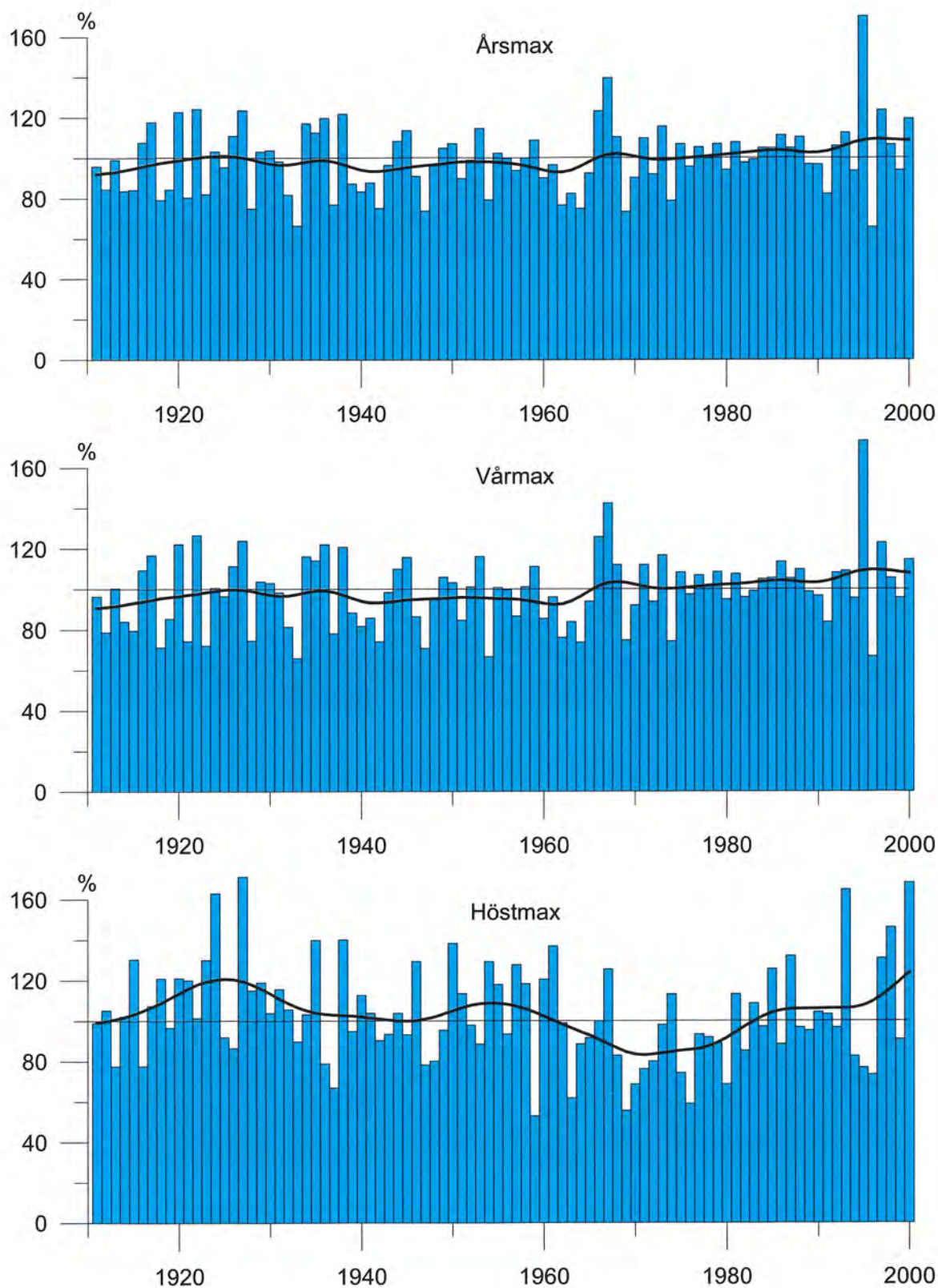
Nivån på de högsta flödena under året i norra Sverige, vanligen vårfloden i oreglerade vattendrag, har enligt analysen varit ovanligt hög under senare år, och tendensen är ökande från ungefär 1940. 1995 års flöde var anmärkningsvärt högt och kan utnämnas till århundradets flöde (se även figur 19). Även 1967 var ett höglödesår. I södra Sverige syns ingen tendens till ökande flöden (figur 23). 1924 och 1951 var här år med höga flöden.

Höstflödena varierar mer år från år. Ofta är det just höstflödena som ställer till problem i reglerade älvar, eftersom magasinen då kan vara fyllda och den naturliga magasineringen i det som tidigare var en sjö är borta. Runt 1970 kan man se ett minimum i höstflödesnivå i norr (figur 22). Från och med denna tidpunkt har vattenkraftssystemet inte byggts ut i särskilt stor omfattning. Det är alltså först under senare år som det fullt utbyggda vattenkraftssystemet utsatts för höga höstflöden, efter en lugnare period än normalt under 1970-talet. De senaste åren har varit flödesrikare än långtidsmedlet, men även 1920-talet bjöd på en period liknande den nu upplevda.

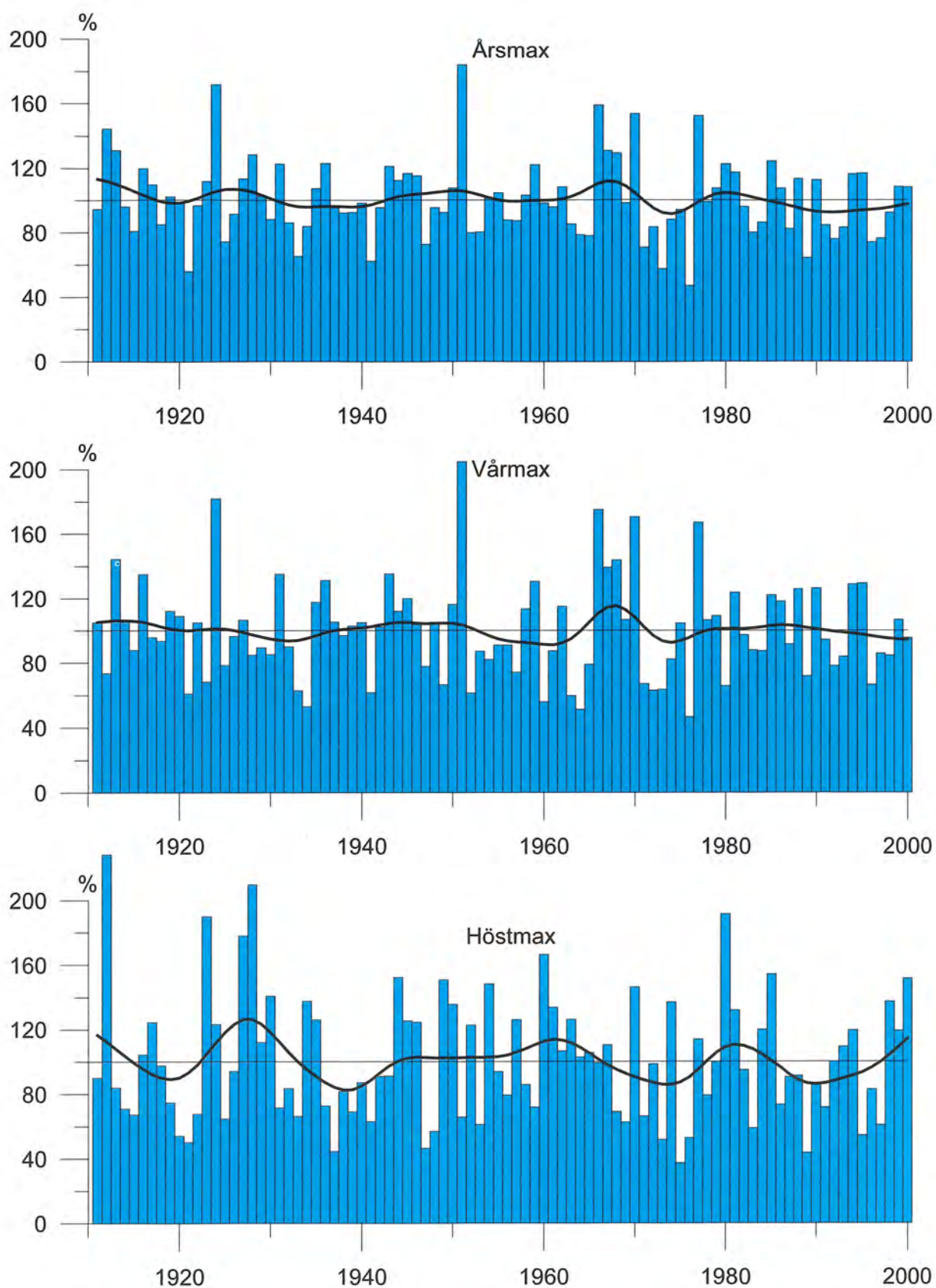
Resultatet var känsligt för urvalet av stationer. För att ge en rättvisande bild bör stationerna vara jämnt fördelade, vilket skapar problem eftersom det finns mycket få stationer i vissa delar av landet. Olika urval ger olika vikt för olika regioner. Därför testades olika urval. För norra Sverige valdes dels alla 28 stationerna, dels de 10 som bedömdes som mest tillförlitliga, och i södra Sverige motsvarande med 15 respektive 4 stationer. I södra Sverige fås en övervikt åt den sydligaste delen då endast 4 stationer väljs. Den allmänna tendensen var densamma, men ordningen mellan de individuella åren skiftade. Uppgången i medelindexflödet i norra Sverige blev svagare då endast de 10 bästa stationerna valdes än när alla 28 stationerna ingick (figur 24). Den linjära anpassningen till medelindexflödet i norr ökade med 12 % för perioden 1901-2000 baserat på alla 28 stationerna, men med bara 8 % för de 10 bästa stationerna. Trendtest med linjär regression baserat på sammanvägningen av de 28 stationerna pekade på en signifikant ökning med mellan 90 och 95 % konfidens. Resultatet påverkades dock betydligt av att det blöta 1990-talet kommer sist i den analyserade perioden. Om analysen avslutas 1990 fås ett mildare utslag. Flera delperioder som uppvisar signifikanta trender går att välja ut om år 2000 väljs som slutpunkt. Till exempel kan uppgången i höstflöden mellan 1970 och 2000 sägas vara signifikant enligt trendtest, men signifikansen upphör om man går längre tillbaka i tiden. Då medelindexflödet för endast de 10 bästa serierna beräknades erhöles ej någon signifikant ökning på nivån 90 %.

Sammanvägningen ovan är en aning förenklad eftersom de normaliserade serierna fortfarande har olika varians. Som en känslighetstest gjordes en alternativ normalisering genom att man från varje värde drog bort medelvärdet och sedan dividerade med standardavvikelsen. Flödena i olika vattendrag blir efter denna normalisering jämförbara med varandra, med inte bara

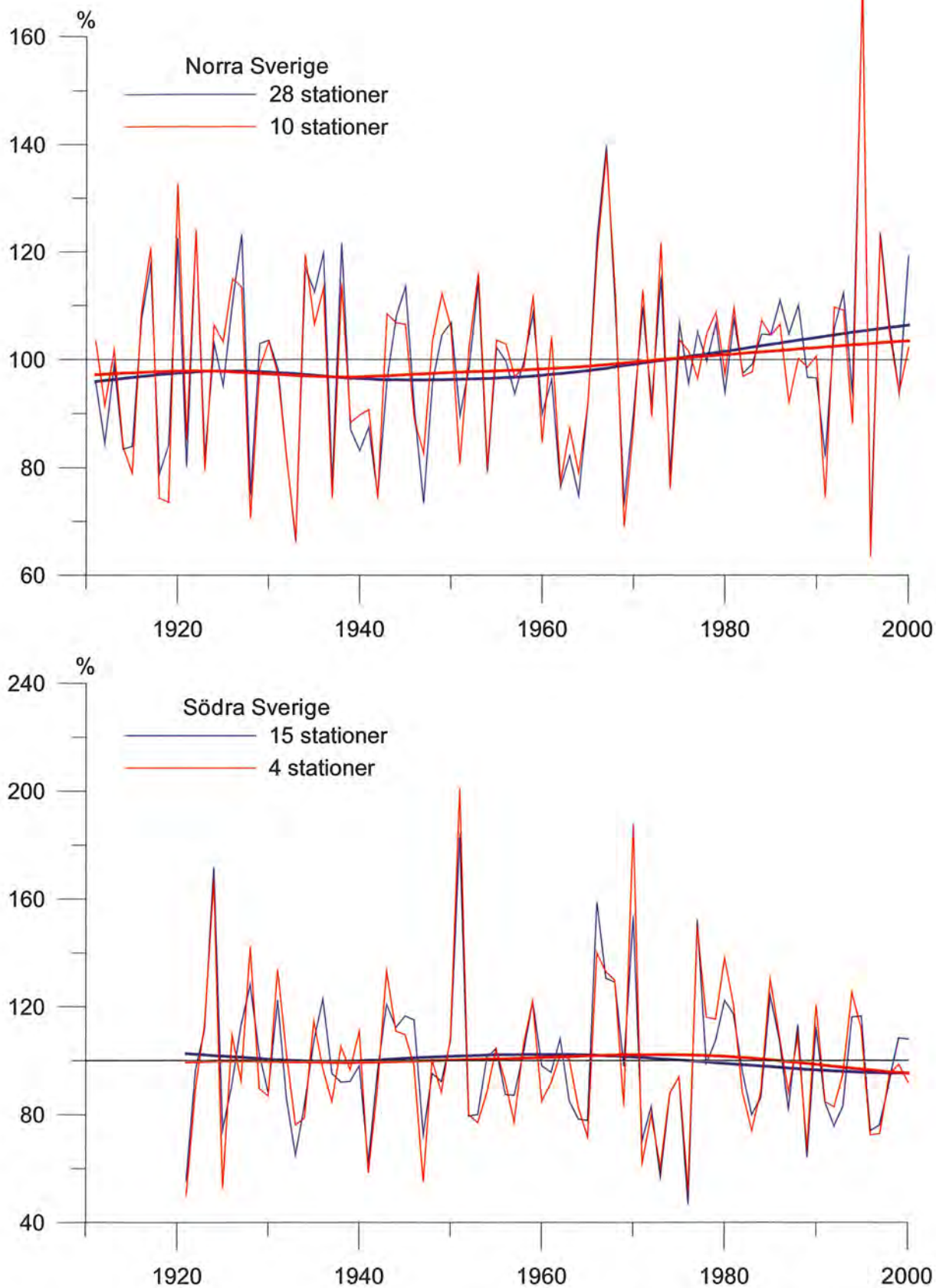
samma medelvärde (0) utan även samma varians (1). De årsvisa medelvärdena för dessa normaliserade flöden visas i figur 25. Mönstret går igenom från den enklare beräkningen av medelindexflödet (figur 24).



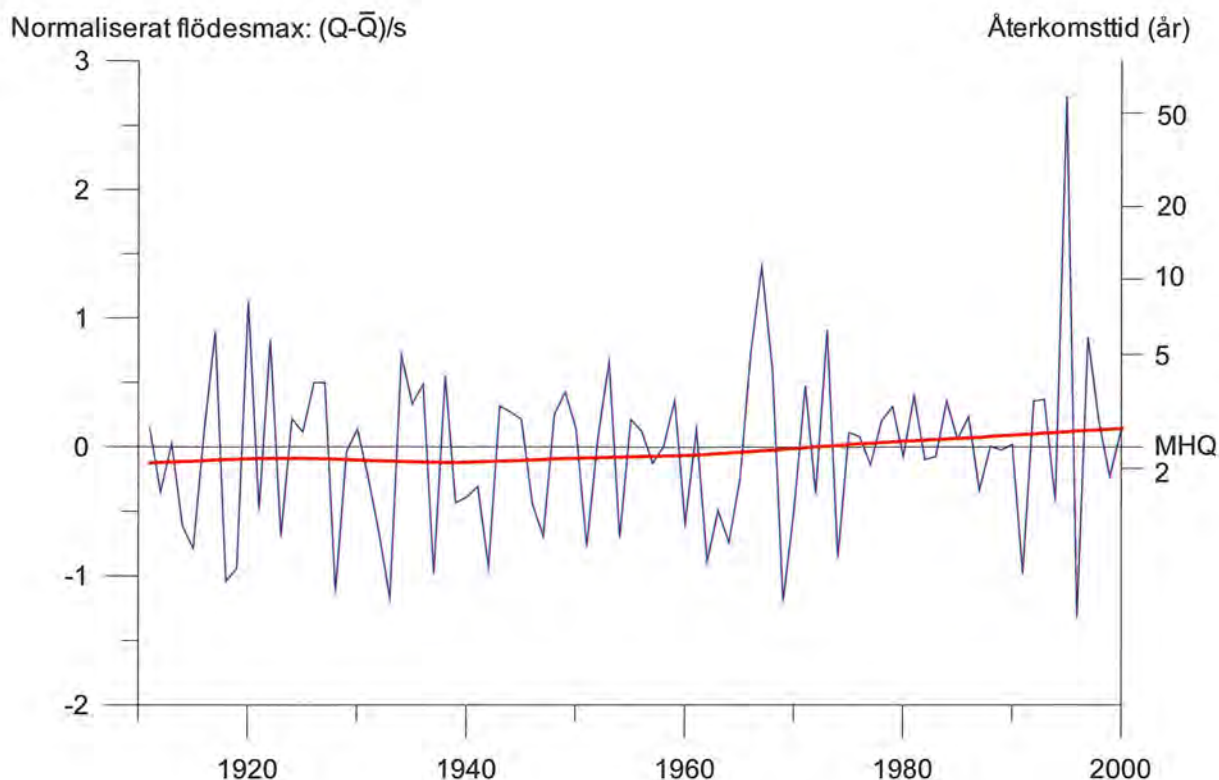
Figur 22. Medelindexflöden för norra Sverige, enligt 28 områden, med 1941-2000 som referensperiod (100%), samt Gauss-viktade rullande medelvärden över 10 år.



Figur 23. Medelindexflöden för södra Sverige, enligt 15 områden, med 1941-2000 som referensperiod (100%), samt Gauss-viktade rullande medelvärden över 10 år.

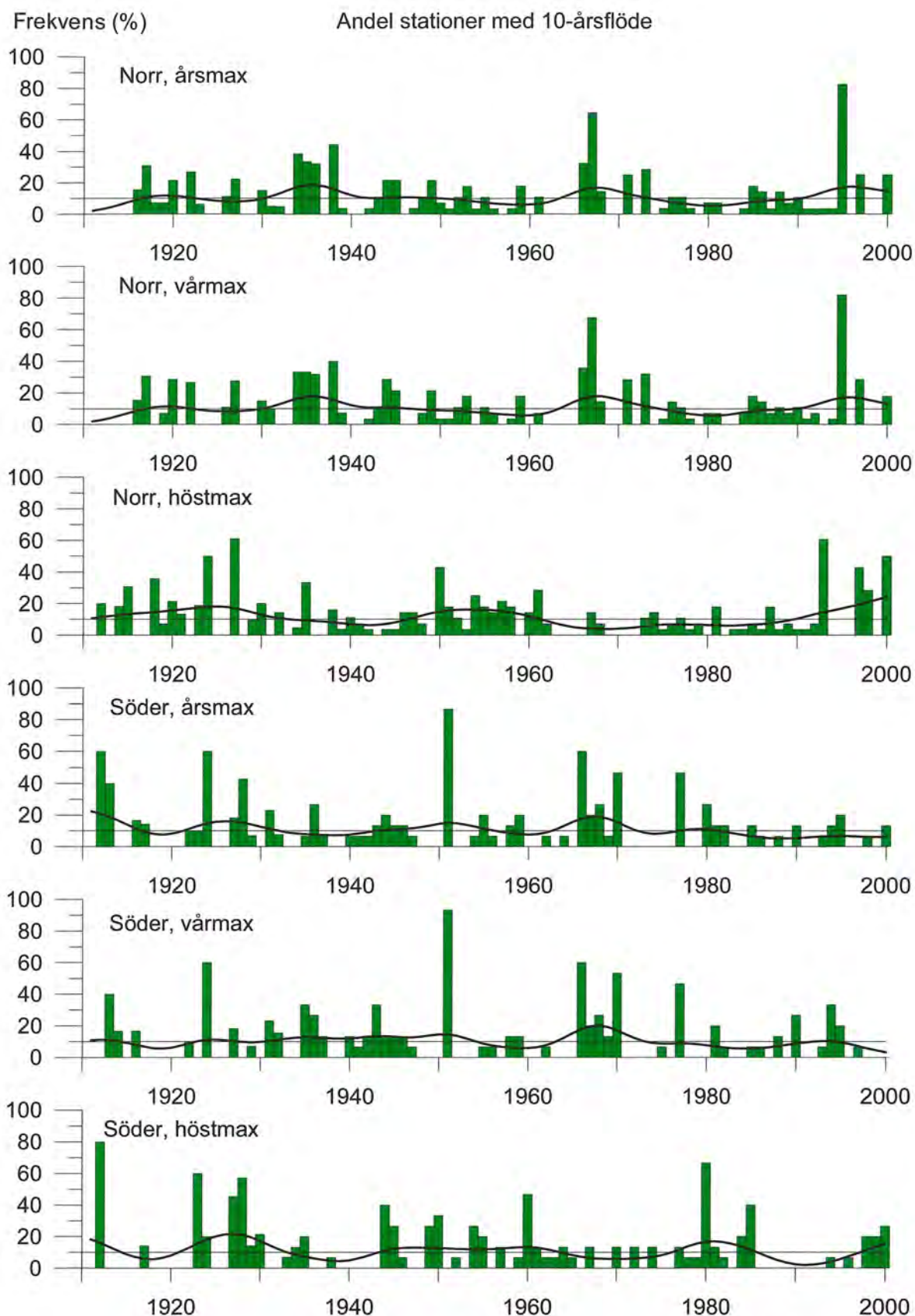


Figur 24. Medelindexflöden för norra och södra Sverige, dels enligt alla stationerna (28 resp. 15), och dels enligt de mest tillförlitliga (10 resp. 4), samt Gauss-viktade rullande medelvärden över 30 år. 1941-2000 är referensperiod i båda fallen.



Figur 25. Medelvärdet av de normaliserade årsmaxflödena för de 10 mest tillförlitliga områdena i norra Sverige (samt motsvarande återkomsttider enligt Gumbelfördelningen), tillsammans med Gauss-viktat rullande medelvärde över 30 år. 1941-2000 är referensperiod för skattning av medelvärdet $\bar{Q}$ (MHQ) och standardavvikelsen s .

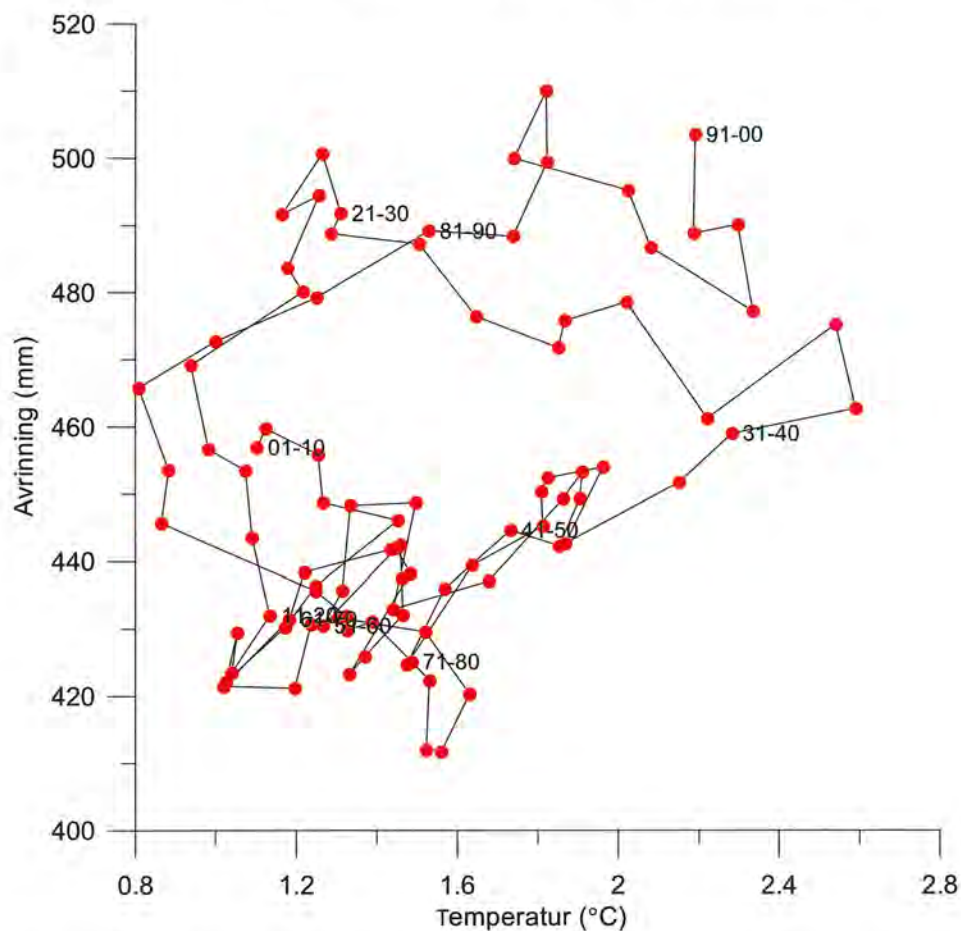
Den ovanstående analysen av extremvärden utgår från de högsta flödena varje år, eller säsong, och eventuella förändringar i medelnivån för dessa studeras. Figur 26 sammanfattar i stället hur de allra högsta flödena har fördelat sig över perioden 1911-2000. Här avses flöden med en återkomsttid om minst 10 år. Vid denna nivå utfärdar SMHI varningar för vad man kallar mycket höga flöden (varningsnivå 2). I figur 26 har perioden 1941-2000 valts som referensperiod för bestämning av 10-årsflödet (genom rangordning). En gruppering av 10-årsflöden syns under senare år, särskilt höstflöden i norr, t.ex. åren 1993, 1997, 1998 och 2000. Det gick dock inte att fastställa några signifikanta förändringar av frekvensen av så sällsynta händelser. Samma flödesår som i de andra analyserna framträder, t.ex. 1967 och 1995 i norr och 1951 i söder.



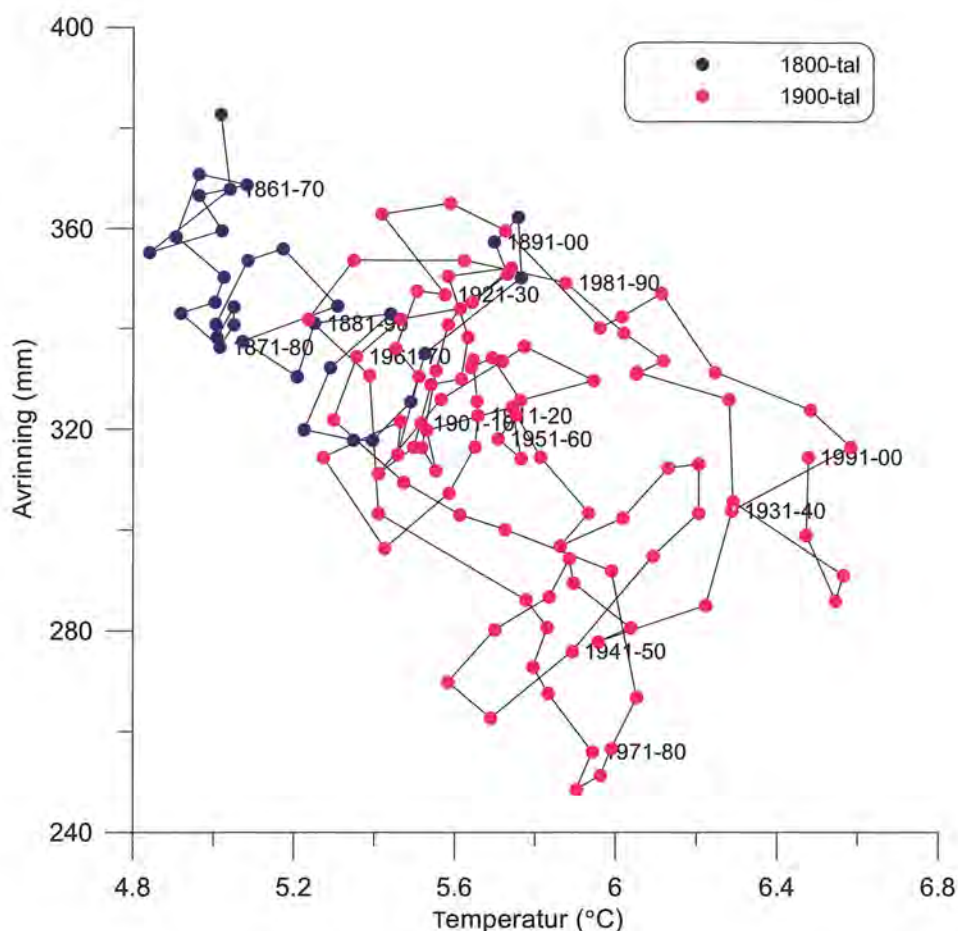
Figur 26. Frekvens av 10-årsflöden (andel av stationerna) för 28 områden i norra Sverige och 15 områden i södra Sverige, samt Gauss-viktade rullande medelvärden över 10 år. Tioårsflödena baseras på perioden 1941-2000.

4.6 Avrinning och temperatur

Nederbörd och temperatur har mätts i nämnvärd omfattning över landet sedan 1860. För att ge ytterligare perspektiv på de senaste årens avrinning gjordes en samtidig analys av avrinningen och temperaturen. Temperaturdata erhöles från Alexandersson (2001). Denna jämförelse visas för norra Sverige, åren 1901-2000, i figur 27. Punkterna anger medelvärdet över de senaste 10 åren utav både temperatur och avrinning. Avrinningen avser medelvärdet för de 10 nordligaste stationerna i figur 5, dvs från och med Ljusnan och norrut. Motsvarande jämförelse för södra Sverige visas i figur 28. Här kan man gå tillbaka ändå till 1860, med hjälp av den summerade avrinningen för Dalälven, Göta Älv och Motala Ström.



Figur 27. Löpande 10-årsmedelvärden av temperatur och avrinning för norra Sverige, åren 1901-2000. Punkterna markerar medelvärdet för de senaste 10 åren.



Figur 28. Löpande 10-årsmedelvärden av temperatur och avrinning för södra Sverige, åren 1860-2000. Punkterna markerar medelvärdet för de senaste 10 åren.

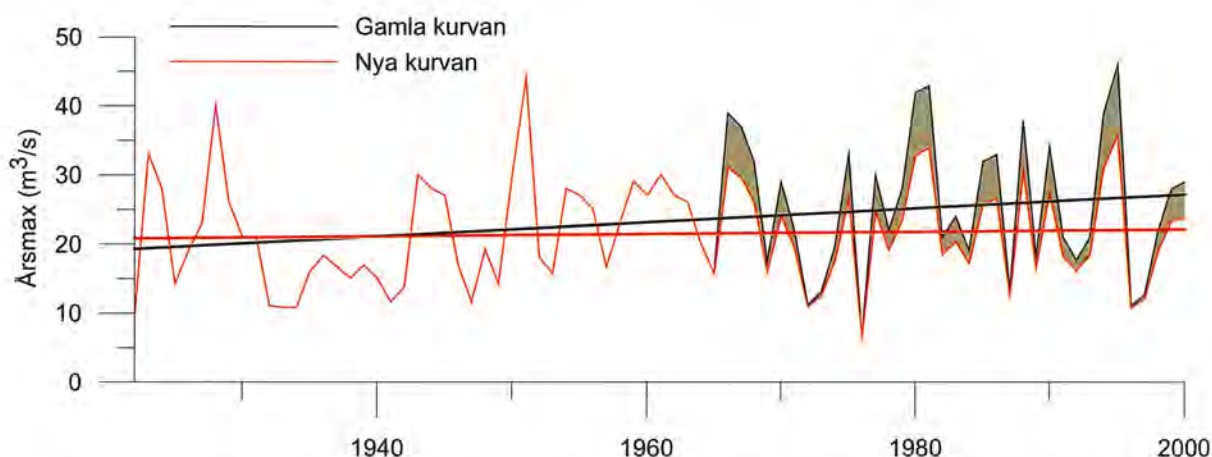
I norra Sverige utmärker sig de senaste 10 åren genom en kombination av hög temperatur och hög avrinning. Den höga avrinningen är jämförbar med avrinningen under 20-talet, då temperaturen dock var väsentligt lägre. I söder påminner förhållandet under 90-talet om 30-talet, ovanligt mildt men med en mer normal avrinning. 1800-talets höga avrinning skedde i kombination med kallt väder, vilket är särskilt tydligt under 1860-talet. 1970-talet var å andra sidan extremt torrt. Man kan notera att de senaste 10 årens förhöjda avrinning, jämfört med långtidsvärdet, är av samma storleksordning som vad klimatscenerierna för framtiden anger (t.ex. Bergström et al., 2001, Gardelin et al., 2002). Temperaturöverskottet är dock bara någon grad.

5. Diskussion

Under de sista 20 åren på 1900-talet var avrinningen betydligt högre än under seklet som helhet, med ett överskott på cirka 8 %. Detta följde på en torrperiod på 1970-talet som var den torraste i den period för vilken vi har mätningar. Sammantaget blev vattentillgången under perioden 1971-2000 därför bara 2 % högre än medelvärdet för hela 1900-talet. Avrinningen under 1920-talet var fullt jämförbar med den under de två senaste årtiondena. Om man väljer ut en delperiod från ungefär 1920-1980 finner man en fallande tendens, men från 1950 kan denna tendens sägas vända. Att lägga till år 2000 i analysen hade en betydande inverkan, både i trendtester och i det visuella intrycket. Om man ser över hela seklet, 1901-2000, ökade

avrinningen enligt en linjär anpassning med 4 %. Förändringen är dock inte signifikant. De få observationsserierna som löper in på 1800-talet visar att avrinningen var lika hög eller ännu högre då, men vid lägre temperaturer.

De analyserade extremvärdena uppvisar en något tydligare uppgång än årsavrinningen. Den tydligaste uppgången finns i södra Norrland, som drabbades av översvämningar sommaren 2000. I sydöstra Götaland finns sjunkande tendenser. Mönstret följer årsavrinningen, men 1920-talets höga värden slår igenom mindre än i årsavrinningen. Mättekniken har dock förändrats över åren, och mätfrekvensen har ökat gradvis. Mätdata är allmänt mindre tillförlitliga under tidigare år, och detta gäller särskilt extremvärden. Extremvärdena bygger ofta på extrapolation av avbördningskurvan till vattenstånd över dem för vilka man har gjort vattenföringsmätningar. Osäkerhet vid denna extrapolation är betydande. Ett exempel på detta visas i figur 29. En ny avbördningskurva upprättades för sjön Möckeln i Småland efter flödet år 2000. Den nya kurvan infördes att gälla från och med 1966 och innebär en sänkning av årshögsta med i medeltal 17%. Trendlinjen förändrades från att vara signifikant ökande till att vara praktiskt horisontell (figur 29). Ytterligare exempel på hur olika resultat som kan fås vid upprättande av avbördningskurvor beskrivs av Jónsson et al. (2002).



Figur 29. Maxflödet för varje år 1922-2000, enligt den gamla avbördningskurvan och enligt den nya kurva som upprättades efter flödet år 2000, tillsammans med linjära anpassningar.

Man kan slå fast att vi befinner oss i en mild och blöt period, som uppvisar slående likheter med scenarier över framtida klimat. Även 2001 var ett år med mycket hög avrinning. Dock överträffar den höga avrinningen det som enligt klimatscenerierna borde gälla för motsvarande tid. Speciellt uppseendeväckande är den kraftiga uppgången i avrinningen sedan 1970-talet, vilket är den period som upplevts av idag yrkesverksamma hydrologer. På grund av den stora naturliga variationen råder det stor osäkerhet om huruvida den höga tillrinningen under senare år är bestående eller ej.

En förklaring till en eventuell förändring i avrinningen skulle kunna vara att vi ser de första tecknena på ett förändrat klimat. Analys av enbart avrinningsdata ger knappast tillräckligt underlag för en extrapolation av den tendens till ökad avrinning som man ser från ungefär 1950. Klimatscenerier tillsammans med andra informationskällor kan vara ett stöd vid en framtidsblick.

6. Slutsatser

Slutsatserna från analysen av årsavrinning kan sammanfattas i följande punkter:

- Två blöta perioder utmärker sig: 1920-talet och 1980- och 90-talen, med avrinningsöverskott på runt 8 % jämfört med hela seklet. 1970-talet var det i särklass torraste årtiondet, med en avrinning ungefär 9 % under genomsnittet för hela 1900-talet.
- Den mest avvikande 30-årsperioden var 1951-80, med en avrinning 5 % under långtidsvärdet för 1901-2000. Perioden 1971-2000 var endast 2 % blötare än långtidsvärdet, på grund av det torra 1970-talet.
- De få mätserier som sträcker sig långt tillbaka visar på en ännu högre avrinning under 1800-talet, men vid lägre temperatur.
- En linjär anpassning till avrinningen under hela 1900-talet ger en ökning med 4 %, men förändringen är inte signifikant.

Analysen av höga flöden försvåras av osäkerheter i data, och förändringar i både avläsningsmetoder och avläsningsfrekvens. Flödestoppar har sannolikt underskattats i äldre data, bland annat på grund av att observationerna gjordes glesare i tiden. Slutsatserna för höga flöden kan sammanfattas enligt:

- En linjär anpassning till nivån för de högsta flödena varje år för perioden 1911-2000 ger en ökad medelnivå av i runda tal 10 %. Denna förändring är nästan statistiskt signifikant på 95% nivån. Ökningen är dock inte entydig i alla områden. Tydligast ökning fanns i områden med mindre tillförlitliga data. I ett mindre urval stationer, som bedömdes som mer tillförlitliga, erhöles en lägre uppgång. Trendtester pekade inte på någon signifikant ökning i urvalet med bäst data.
- Sett i ett kortare perspektiv ökade höstflödena i Norrland kraftigt under perioden 1970-2000. Ungefär lika höga höstflöden upplevdes dock på 1920-talet.
- Ingen ökad frekvens av mycket höga flöden, med en återkomsttid om minst 10 år, kunde konstateras.

Denna studie omfattar förhållandena till och med år 2000. Även 2001 och 2002 har bjudit på höga flöden, bland annat i Sundsvallstrakten sommaren 2001 och i Kristianstad i början av år 2002. Årsavrinningen år 2001 i hela landet var nästan lika hög som år 2000. Det finns all anledning att följa upp utvecklingen vad gäller vattentillgång och höga flöden framöver.

7. Referenser

Alexandersson, H. (2001) Homogenisation of climate data, difficult but necessary. Detecting and modelling regional climate change. (Eds.) Brunet India, M. & Lopez Bonillo, D. Springer Verlag, 651, 3-12.

Alexandersson, H. & Moberg, A. (1997) Homogenization of Swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for linear trends. *International Journal of Climatology*, 17, 25-34.

Bergström, S., Carlsson, B., Gardelin, M., Lindström, G., Pettersson, A. & Rummukainen, M. (2001) Climate change impacts on runoff in Sweden - assessments by global climate models, dynamical downscaling and hydrological modelling. *Climate Research*, 16, 101-112.

Bering Ovesen, N., Legard Iversen, H., Larsen, S., Müller-Wohlfeil, D.I. & Svendsen, L. (2000) Afstrømningsforhold i danske vandløb. Faglig rapport fra DMU, nr. 340. Miljø- og Energiministeriet. Danmarks Miljøundersøgelser.

Brandt, M., Jutman, T. & Alexandersson, H. (1994) Sveriges Vattenbalans. Årsmedelvärden 1961-1990 av nederbörd, avdunstning och avrinning. SMHI Hydrologi 49, Norrköping.

Chow, V.T., Maidment, D.R. & Mays, L.W. (1988) Applied Hydrology. McGraw-Hill, New York, USA.

Engström, E.O. (1916) Flodvågen i Dalälven våren 1916. Särtryck ur Teknisk Tidskrift, Väg- och Vattenbyggnadskonst, 1916, Häfte 11.

Eriksson, J.V. (1919) Översvämningarna i Mellersta Norrlands kusttrakter i maj 1919. Ur Ymer, Tidskrift utgiven av Svenska sällskapet för antropologi och geografi, Årg. 1919, H. 2 o. 3., 181-191.

Førland, E., Roald, L.A., Tveito, O.E. & Hanssen-Bauer, I. (2000) Past and future variations in climate and runoff in Norway. DNMI Report No. 1900/00 KLIMA. ISSN 0805-9918.

Gardelin, M., Andréasson, J., Carlsson, B., Lindström, G. & Bergström, S. (2002) Modellering av effekter av klimatförändringar på tillrinningen till vattenkraftsystemet. Elforsk rapport 02:27, Stockholm.

Gustard, A., Roald, L.A., Demuth, S., Lumadjeng, H.S., & Gross, R. (1989) Flow regimes from experimental and network data (FRIEND). Institute of Hydrology, Wallingford, UK, ISBN 0 948540 117.

Hisdal, H., Erup, J., Gudmundsson, K., Hiltunen, T., Jutman, T., Bering Ovesen, N. & Roald, L.A. (1995) Historical runoff variations in the Nordic countries. NHP Report No. 37, 99 p. The Nordic Co-ordinating Committee for Hydrology/Norwegian Hydrological Council, Oslo.

Jónsson, P., Petersen-Øverleir, A., Nilsson, E., Edström, M., Legard Iversen & Sirvio, H. (2002) Methodological and personal uncertainties in the establishment of rating curves. Proceedings XXII Nordic Hydrological Conference in Røros, 4-7 August 2002, NHP-Report No. 47, 35-44.

Jutman, T. (1991) Analys av avrinningens trender i Sverige. SMHI, Hydrologi 30, Norrköping.

Lindström, G. (1993) Floods in Sweden - Trends and occurrence. SMHI RH 6, 1993, Norrköping.

Lindström, G. (1999) Trends and Variability in Swedish Floods. Contribution to the IAHS Symposium on Hydrological Extremes: Understanding, Predicting and Mitigating. IAHS at IUGG, Birmingham, July 1999. IAHS Publ. No 255, IAHS Press, Wallingford, U.K., 91-98.

Losjö, K. (2001) Höga flöden juli år 2000. Sammanställning av hydrologiska förhållanden, skador, räddningsåtgärder och problem vid dammar. Uppdragsgivare: Svenska Kraftnät. Rapport Nr. 15

Maidment, D.R. (1992) Handbook of Hydrology. McGraw-Hill, New York.

Roald, L.A. (1999) Analyse av lange flomserier. HYDRA-rapport nr. F01, NVE, Oslo.

Robson, A.J., Jones, T.K, Reed, D.W. & Bayliss, A.C. (1998) A study of national trends and variation in UK floods. International Journal of Climatology, 18, 165-182.

Svenska Vattenkraftsföreningen (1939) 1938 års högflod i Ume älv – Har den något att lära oss? Inledningsanförande av Ingeniör Bo Hellström jämte Diskussion vid Svenska Vattenkraftsföreningens årsmöte den 20 April 1939. Svenska Vattenkraftsföreningens Publikationer 325 (1939:6).

8. Appendix

Urval av oreglerade serier, om minst 60 år, för extremvärdesanalys. ^{R)} = något påverkad av reglering.

Station	Älv Nr.	Station Nr.	Area (km ²)	Sjö%	Period	Antal år
Kukkolankoski Övre	1	16722	33930	5	1911-2000	90
Junosuando Tornegr.	1	50002	4351	7	1939-2000	62
Torneträsk	1	50145	3346	15	1918-2000	83
Kallio	1	50148	14477	3	1911-2000	90
Räktfors	4	17	23103	4	1937-2000	64
Niemisel	7	20	3781	3	1938-2000	63
Ytterholmen	7	1123	1012	3	1924-2000	77
Niavve	9	591	1718	6	1936-2000	65
Sikfors krv ^{R)}	13	1788	10816	9	1928-2000	73
Vindeln	28	50023	11851	7	1911-2000	90
Sorsele	28	50131	6056	6	1910-2000	91
Laisan	28	50149	1774	6	1911-2000	90
Överstjuktan	28	50130	418	11	1911-2000	90
Solberg	28	436	1081	7	1911-2000	90
Torrböle	30	50107	2860	3	1915-2000	86
Anundsjön	36	50027	1465	5	1923-2000	78
Solbergsvattnet	40	50068	2428	6	1924-2000	77
Rengen	40	1341	1110	6	1937-2000	64
Fångåmon	40	50062	164	7	1941-2000	60
Öster-Noren	40	50058	2384	8	1901-2000	100
Medstugusjön	40	50059	224	12	1921-2000	80
Äcklingen	40	1309	156	6	1939-2000	62
Gimdalsby	42	97	2164	13	1932-2000	69
Hasselasjön	44	50109	651	4	1919-2000	82
Ljusnedal Övre	48	1169	340	1	1925-2000	76
Tännålen	48	1223	227	7	1929-2000	72
Ersbo	53	654	1104	1	1912-2000	89
Fulunäs	53	655	883	2	1913-2000	88
Vattholma	61	50110	294	5	1917-2000	84
Hammarby ^{R)}	61	50115	891	11	1910-2000	91
Nömmen	74	50090	157	15	1910-2000	91
Getebro	75	855	1333	6	1920-2000	81
Källstorp	77	50091	342	2	1922-2000	79
Hålabäck	86/87	736	5	1	1928-2000	73
Torsebro ^{R)}	88	2191	3665	5	1908-2000	93
Möckeln	88	1069	1026	11	1922-2000	79
Rörvik	98	200	159	18	1907-2000	94
Simlängen	100	50097	260	5	1928-2000	73
Gårdsilt	100	1207	55	2	1928-2000	73
Vikaresjön	101	50098	826	4	1933-2000	68
Assmebro ^{R)}	103	1166	653	4	1934-2000	67
Ås ^{R)}	105	50102	2160	6	1909-2000	92
Vassbotten	112	751	624	11	1914-2000	87

SMHI's publications

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

Names of the Series

Published since

RMK (Report Meteorology och Climatology)	1974
RH (Report Hydrology)	1990
RO (Report Oceanography)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985

Earlier issues published in serie RH

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

16. Charlotta Pers (2002)
Model description of BIOLA - a
biogeochemical lake model.
17. Malva Ahlkrona (2002)
Phosphorous in a Biogeochemical Lake
Model.



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