



Regional analys av klimat, vattentillgång och höga flöden

Elforsk rapport 09:83



Sara-Sofia Hellström och Göran Lindström

Februari 2010

ELFORSK

Regional analys av klimat, vattentillgång och höga flöden

Elforsk rapport 09:83

Sara-Sofia Hellström och Göran Lindström

Februari 2010

Förord

Arbetet som beskrivs i denna rapport har utförts vid SMHI:s forskningsenhet, på uppdrag av HUVA, arbetsgruppen för Hydrologiskt Utvecklingsarbete, och med finansiering från Elforsk. Viss finansiering har även erhållits från Nordic Energy Research. Ett varmt tack riktas till alla som har bidragit till arbetet. Särskilt vill vi nämna Hans Alexandersson, som gjort de klimatologiska analyserna, men som tragiskt gick bort under arbetets gång. Vi vill också tacka alla som under årens gång har samlat in den stora informationsmängd som har gjort det möjligt att en göra en studie av detta slag.

Sammanfattning

- Rapporten beskriver långtidsvariationen i nederbörd, temperatur, vattentillgång och höga flöden i Sverige, med särskilt tonvikt på frågeställningar av betydelse för vattenkraftindustrin.
- Utgångspunkten för studien är regionala serier för nederbörd, temperatur och avrinning för tillrinningsområdena till de fyra havsbassängerna i Östersjön och Västerhavet: Bottenviken, Bottenhavet, Egentliga Östersjön och Västerhavet.
- Temperaturen har varit ovanligt hög under senare år, med ett temperaturöverskott runt 1 grad i hela landet.
- Temperaturökningen stämmer väl överens med den som fås i en scenariosimulering.
- Nederbörden har enligt mätningarna ökat i stort sett kontinuerligt sedan mätningarna startade 1860.
- Vattentillgången har varit relativt stabil under de senaste 100 åren.
- Skillnaden mellan nederbörd och avrinning har ökat i stort sett kontinuerligt sedan mätningarna startade 1860. Detta beror troligen framförallt på att nederbörden nu mäts noggrannare. Skogens tillväxt kan vara en del av förklaringen, men någon tydlig effekt har inte kunnat påvisas.
- Avrinningen vintertid har varit hög under senare år, beroende på de milda vintrarna.
- Tidpunkten för när det högsta flödet inträffar under året är relativt oförändrad.
- Storleken och frekvensen av höga flöden är relativt stabil.

Summary

- The report describes long time variation in precipitation, temperature, water supply and floods in Sweden, with special attention to issues of relevance for the hydro power industry.
- The starting point of the study is regional series of precipitation, temperature and run-off of the catchment areas of the Baltic Sea and Västerhavet: Bothnian Bay, Bothnian sea, Baltic Sea and Västerhavet (Östersjön och Västerhavet: Bottenviken, Bottenhavet, Egentliga Östersjön och Västerhavet).
- The temperature has been unusually high in recent years, with a surplus of around 1 degree temperature throughout the country.
- Temperature increase is close to that obtained in a scenario simulation.
- Precipitation has increased, according to measurements in almost continuously since measurements began in 1860.
- Water supply has been relatively stable over the last 100 years.
- The difference between precipitation and runoff has increased almost continuously since measurements began in 1860. This is probably mainly because precipitation is measured more accurately nowadays. Forest growth can be a part of the explanation, but no clear effect of this has been demonstrated.
- The winter run-off has been high in recent years, depending on the mild winters.
- The time when the maximum flow occurs during the year is relatively unchanged.
- The size and frequency of floods is relatively stable.

Innehåll

1	Bakgrund	1
2	Syfte	1
3	Metodik och data	1
4	Resultat och diskussion	5
4.1	Klimat och vattentillgång	5
4.2	Höga flöden.....	14
4.3	Jämförelse med klimatscenarier	17
5	Slutsatser	22

1 Bakgrund

Frågan om variationer och förändringar i klimat och vattentillgång är ständigt aktuell. För vattenkraftindustrin är vattentillgången avgörande för produktionsförmågan, frekvensen av höga flöden avgörande för dammsäkerheten, och temperaturen påverkar elförbrukningen. Flera studier av klimat, vattentillgång och förekomsten av höga flöden i Sverige har gjorts under senare tid, bland annat av Alexandersson (2002), Lindström (2002), Lindström och Bergström (2004) och Lindström och Alexandersson (2004). Den nu använda normalperioden (trettio år) inom klimatologin är 1961-1990. Det har gått drygt en halv trettioårsperiod sedan 1990, och en uppdatering av ovanstående studier har därför gjorts.

2 Syfte

Denna rapport syftar till att beskriva långtidsvariationen i nederbörd, temperatur, vattentillgång och höga flöden i Sverige, med särskilt tonvikt på frågeställningar av betydelse för vattenkraftindustrin.

3 Metodik och data

Utgångspunkten för denna studie är framtagandet av regionala serier för nederbörd, temperatur och avrinning. Regionerna är tillrinningsområdena till de olika havsbassängerna i Östersjön och Västerhavet: Bottenviken, Bottenhavet, Egentliga Östersjön och Västerhavet (figur 1). Det analyserade området stämmer inte exakt överens med Sveriges gränser, men dessa avvikelser försummas i denna rapport. För varje år har regionala medelvärden beräknats för de fyra regionerna. Metodiken beskrivs utförligare av Alexandersson (2002) och Lindström och Alexandersson (2004). Nederbörden och temperaturen, men inte vattenföringen har homogeniserats (se Alexandersson, 2002). Arealerna och antalet stationer som har använts i denna studie anges i tabell 1. I huvudsak har perioden 1901-2005 använts, men ett enklare stationsurval har också gjorts för extrapolationer utanför denna tidsperiod. All regional analys är naturligtvis känslig för vilket urval av stationer som har gjorts. Vid sammanviktning till hela Sverige gjordes arealviktade sammanvägningar av de olika regionerna.

De regionala serierna har i första hand tagits fram för att ge en bild av variationer över tiden. Arealmedelvärdena i de regionala serierna överensstämmer inte exakt med de verkliga arealmedelvärdena. Framförallt gäller detta för nederbörd och temperatur, som ju baseras på observationer i ett fåtal punkter, oftast beläget på lägre höjd än medelhöjden i regionerna. Man måste alltså bland annat ta hänsyn till att temperaturen minskar med höjden och att nederbörden ökar med höjden om man vill erhålla yttre medelvärden. De regionala serierna för nederbörd och temperatur justerades därför så att medelvärdena stämde överens med referensvärdena för respektive region för 1961-1990. Referensvärdena hämtades från en anpassning av HBV-modellen till hela Sverige (se t.ex. Andreasson m.fl.,

2004) som är baserad på nederbörd och temperatur från PTHBV-databasen (Johansson, 2002). För avrinning är problemet något mindre eftersom vattendragen samlar upp avrinningen över stora arealer. Det stationsurval som användes i analyserna av avrinning innebär att ca $\frac{3}{4}$ av hela Sveriges areal är täckt av mätningar. Skillnaden mellan nederbörd och avrinning beräknades och användes som en uppskattning av avdunstningen.

I en del av figurerna och analyserna nedan visas en utjämnad kurva, ett Gauss-filter, som lyfter fram variationer med en tidsskala på tio år. Filtringen innebär att man beräknar löpande medelvärden, men med vikter enligt en centrerad normalfördelning, i stället för med konstanta vikter. Med den använda standardavvikelsen på 3 år motsvarar Gaussfiltret ungefär vanliga rullande medelvärden över 10 år. En fördel med Gaussfiltret är att den utjämnade kurvan blir jämnare och att värdena i centrum ges högre vikt. Trendtester gjordes för klimat och vattentillgång i de fyra regionerna, åren 1911-2005, med hjälp av linjär regression, och signifikansnivån 5%.

Figur 1. Till vänster: den regionindelning som används i denna rapport. Till höger: de flödesstationer som har använts i de regionala analyserna (ej för höga flöden).

Frekvensen av höga flöden undersöktes genom en beräkning av antalet stationer, i en region, som upplevde ett tioårsflöde under ett givet år.

Tioårsflödena beräknades för varje station med hjälp av Gumbelfördelningen, och parametrar skattade för åren 1961-1990. Flöden med tio års återkomsttid är den nivå där SMHI utfärdar varningar för mycket höga flöden (vädervarning klass 2). Analysen av höga flöden baseras på 69 stationer med observationer under minst sextio år (figur 2). Stationsurvalet (tabell 1) är i stort sett detsamma som i Lindström (2002), men kompletterat med några stationer som sedan dess kommit upp i minst 60 års observationer. De utvalda stationerna ligger i avrinningsområden som är helt, eller nästan helt, opåverkade av reglering. Stationsurvalet innebär en viss övervikt åt fjällkedjan inom region 2, och åt de sydligaste delarna inom regionerna 3 och 4. Inga regionala sammanvägningar av höga flöden före 1911 redovisas, eftersom stationsunderlaget är så glest i början av 1900-talet.

Klimatet och vattentillgången under senare år jämfördes även med en simulering från ett klimatscenario utförd vid SMHI. Det använda klimatscenarioet kommer från den regionala klimatmodellen RCA3-modellen, Rosby center, SMHI, (Kjellström *et al.*, 2005) driven av den globala klimatmodellen ECHAM4/OPYC3 från Max-Planck Institute for Meteorology i Tyskland (Räisänen *et al.*, 2003, Roeckner *et al.*, 1999) och med utsläppsscenarioet SRES B2 (Nakićenović, *et al.*, 2000). Simuleringen är transient, dvs. löper utan uppehåll från 1961-2100. Avrinningen har beräknats med hjälp av HBV-modellen där indata är temperatur och nederbörd från klimatscenarioet. Det bör påpekas att man skalar om drivdata så att nederbörden och temperaturen i simuleringen stämmer överens med medelvärdena för 1961-1990 innan man använder nederbörden och temperaturen i HBV-modellen (Rosberg och Andréasson., 2006, Graham *et al.*, 2007).

Figur 2. De flödesstationer som har använts i analyserna av höga flöden.

Tabell 1. Arealer för de använda regionerna och antal stationer i varje region i de olika analyserna. P = nederbörd, T = temperatur och Q = vattenföring.

	Region 1	Region 2	Region 3	Region 4
Area (km²)	129104	181608	85656	76360
Antal P-stationer	20	33	18	16
Antal T-stationer	6	7	11	6
Antal Q-stationer (för avrinning)	6	7	6 ¹⁾	6 ²⁾
Antal Q-stationer (för höga flöden)	18	26	10	15

¹⁾ 4 stationer + Mälaren och Motala ström, som vardera räknades 2 ggr, dvs. fick vikterna 2/8=25% var.

²⁾ 5 stationer + Väneren, som räknades 5 ggr, dvs. fick vikten 0.5.

4 Resultat och diskussion

4.1 Klimat och vattentillgång

Medelvärden för temperatur, nederbörd, avrinning och avdunstning för några olika tidsperioder sammanfattas i tabell 2. Temperaturen under enskilda år avvek som mest ungefär 2 grader upp och ner i förhållande till referensvärdet (figur 3). Motsvarande värden för nederbörd och avrinning är nära 40 % åt båda håll runt medelvärdet. Temperaturen karaktäriseras av två milda perioder: 1930- och 1940-talen, med avbrott för krigsåren 1940-42, samt perioden från och med 1988. Det utjämnade temperaturöverskottet under senare år är ungefär 1 grad. Temperaturökningen för perioden 1911-2005 var signifikant i regionerna 2 och 3. Nederbörden kännetecknas av en tämligen konstant ökning. Ökningen var signifikant i alla regionerna. Avrinningen var hög under 1920-talen, 1980- och 1990-talen. Avrinningen ökade signifikant endast i region 1. Det torraste årtiondet var 1970-talet. Exempel på torra år under senare tid är 1996 och 2003. De enskilt mest extrema åren enligt analysen visas i tabell 3. Tabell 4 sammanfattar avvikelserna från referensperioden för olika årtionden och trettioårsperioder.

Figur 4 visar regionala serier för en region som omfattar hela landet förutom region 1 (Bottenviken). Figuren avser en längre tidsperiod än figur 3, men är baserad på något färre stationer. Förutom osäkerheten som beror av förändringar i sättet att mäta över tiden, är uppskattningen av avrinning särskilt osäker före 1890-talet. Avdunstningen för motsvarande region, här uppskattad som differensen mellan nederbörd och avrinning, visas i figur 5.

Figur 6 visar en regional serie för fjällan. Som fjällregion användes stationer som ligger i det relevanta området och som har en skogsandel som är mindre än 35 %. Denna region lyftes fram eftersom den är av särskilt intresse för vattenkraftindustrin, och eftersom andelen skog, och avdunstningen, är låg i denna region. Sett över hela perioden tycks vattentillgången i fjällan snarast ha minskat. Medelavrinningen är till exempel 4 % lägre för den andra halvan av perioden än för den första halvan.

Tabell 2. Uppskattade långtidsmedelvärden för hela Sverige för nederbörd (P), temperatur (T), avrinning (Q) och avdunstning (E).

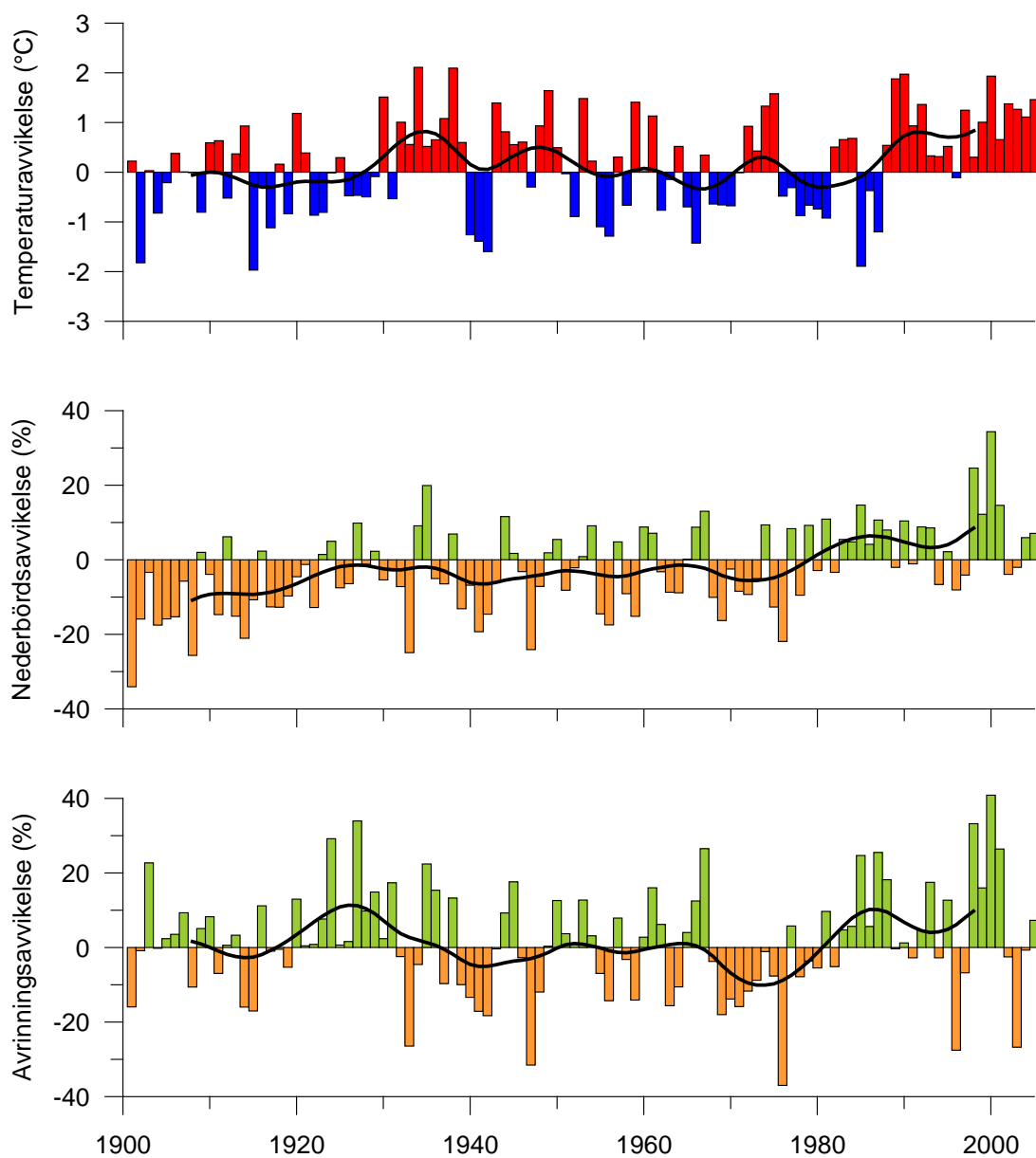
Period	P (mm/år)	T (°C)	Q (mm/år)	E (mm/år)
1901-2005	690	2.2	400	290
1961-1990	710	2.0	390	320
1991-2005	750	3.0	410	340

Tabell 3. Extremåren under 1901-2005, enligt analysen.

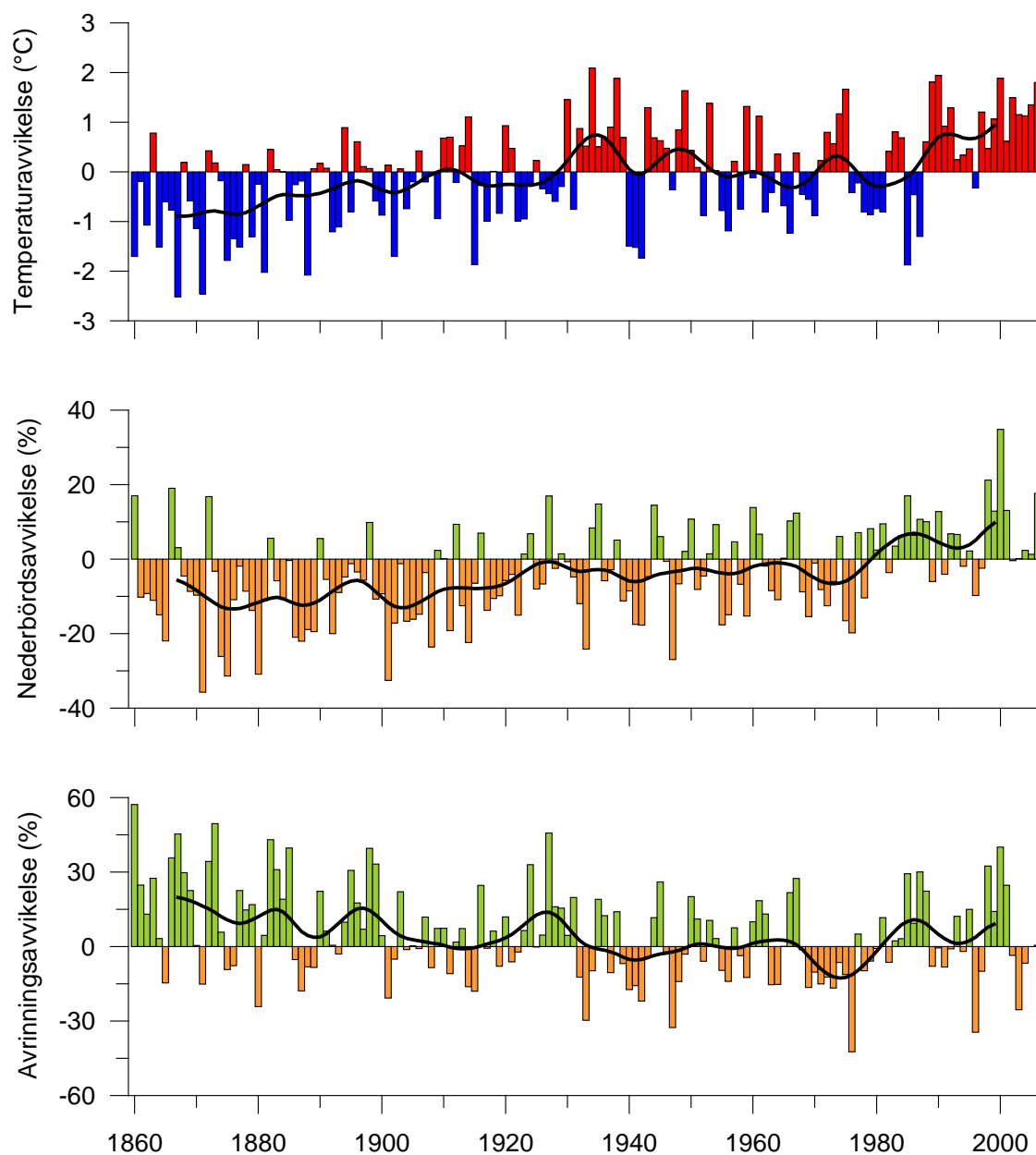
Period	Lägst	Högst
Temperatur	1915	1934
Nederbörd	1901	2000
Avrinning	1976	2000

En uppdelning i regioner visas i figur 7. Perioden före 1911 har utelämnats på grund av det låga antalet stationer inom varje region. Temperaturen varierar på ungefär samma sätt i alla fyra regionerna, men med något större variationer i norr än i söder. Nederbörd och avrinning varierar mer mellan regionerna. Nederbörden är anmärkningsvärt hög efter 1980, i alla regionerna. Detta är mindre framträdande i avrinningen, där det finns tidiga perioder med ungefär lika hög vattentillgång. Skillnaden mellan nederbörd och avrinningen, det vill säga avdunstningen, ökar under hela perioden. Ökningen var signifikant i alla regionerna.

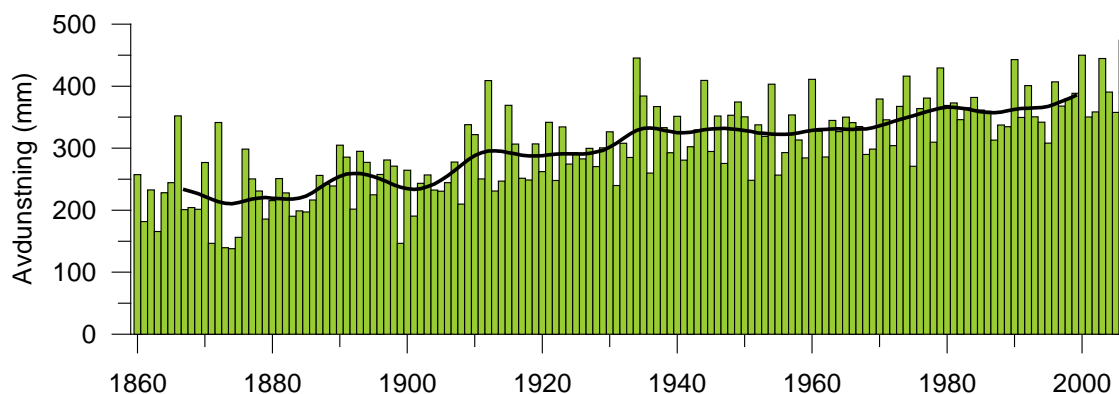
Figur 8 visar hur avrinningen har fördelat sig över året, under olika femtonårsperioder, vid sex stationer: Kukkolankoski i Torneälven, Vindelns i Vindelälven, Ersbo i Västerdalälven, Vattholma i Fyrisån, Rörvik i Lagan och Vassbotten i Enningdalsälven. Under den senaste, milda, femtonårsperioden har vinteravrinningen i de två sydligaste stationerna varit högre än under någon tidigare femtonårsperiod. Den förhöjda vinteravrinningen påpekades även av Hisdal m.fl. (2004) för nordiska vattendrag. Avrinningen vid Vattholma har varit ovanligt låg på senare tid.



Figur 3. Avvikelser (från 1961-90) i temperatur, nederbörd och avrinning, medelvärden för hela landet, 1901-2005, utjämnade med Gaussfilter.



Figur 4. *Avvikelser (från 1961-90) i temperatur, nederbörd och avrinning, medelvärden för hela landet utom region 1, 1860-2006, utjämnade med Gaussfilter. Uppskattningen av avrinning är särskilt osäker före 1890-talet.*

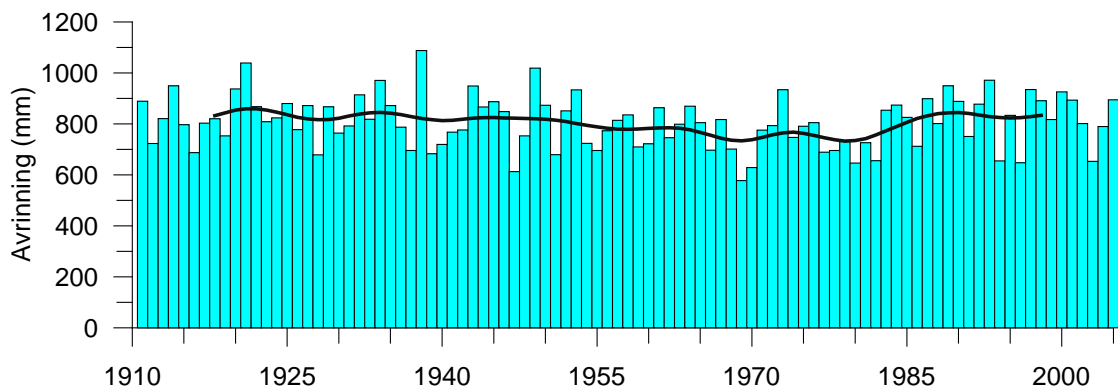


Figur 5. Avdunstning, uppskattad som nederbörd-avrinning, för åren 1860-2006. Medelvärden för hela landet utom region 1, utjämnade med Gaussfilter.

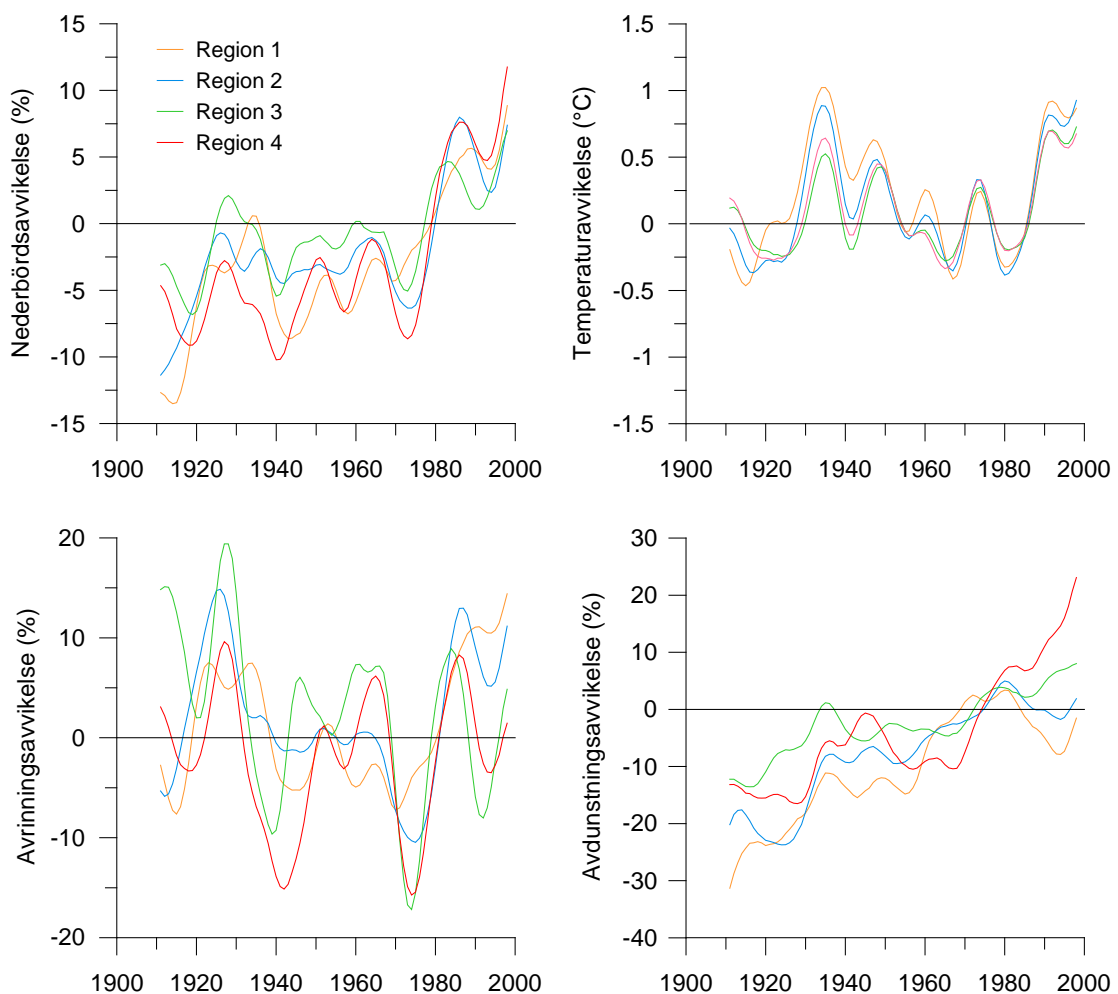
Tabell 4. Avvikelser (från 1961-90) i temperatur, nederbörd och avrinning, under olika årtionden och trettioårsperioder, i medeltal för hela landet. Observera att de sista perioderna är kortare än de övriga, vilket markeras med kursiv text.

Årtionde	Temperatur (°C)	Nederbörd (%)	Avrinning (%)
1901-1910	-0.2	-14	2
1911-1920	-0.1	-9	-2
1921-1930	-0.1	-2	+10
1931-1940	+0.7	-3	0
1941-1950	+0.3	-6	-5
1951-1960	-0.1	-5	-1
1961-1970	-0.3	-2	+1
1971-1980	+0.1	-4	-10
1981-1990	+0.2	+7	+9
1991-2000	+0.8	+7	+8
2001-2005	+1.2	+4	0

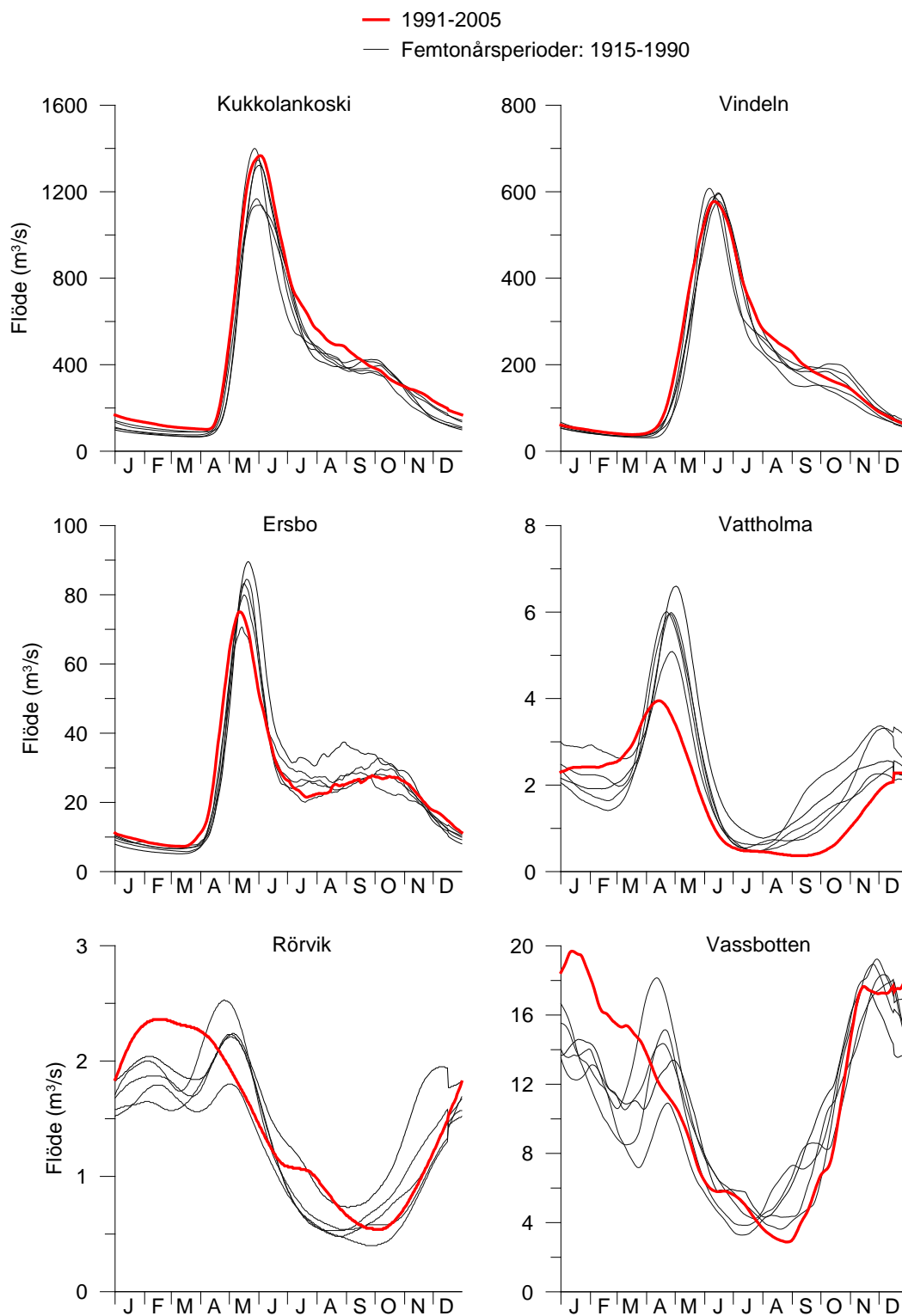
30-årsperiod	Temperatur (°C)	Nederbörd (%)	Avrinning (%)
1901-1930	-0.2	-8	+3
1911-1940	+0.1	-5	+3
1921-1950	+0.3	-4	+2
1931-1960	+0.3	-4	-2
1941-1970	0.0	-4	-2
1951-1980	-0.1	-4	-3
1961-1990	0.0	0	0
1971-2000	+0.4	3	+2
1981-2005	+0.7	6	+6



Figur 6. Avrinningen för fjällregionen, 1911-2005, utjämnad med Gaussfilter.



Figur 7. Gauss-filtrerade avvikelser från 1961-90 i regional nederbörd, temperatur, avrinning och avdunstning.



Figur 8. Avrinningens fördelning över året som medeltal över olika femtonårsperioder för sex utvalda stationer med långa observationsserier.

Att skillnaden mellan uppmätt nederbörd och uppmätt avrinning långsiktigt ökat (se till exempel figurerna 5 och 7) skulle kunna bero på:

- Ökande temperatur
- Ökande biomassa i skogen
- Osäkerheter i mätningarna

Den ökande skillnaden mellan nederbörd och avrinning har analyserats av bland andra Brandt (1992) i Sverige och Walter et al. (2004) i USA. Man kan också se liknande mönster i andra delar av Norden (Lindström et al., 2006).

Ökande temperatur

Temperaturen i sig påverkar inte avdunstningen särskilt starkt, men den kan användas som ett index på den energi som är tillgänglig för avdunstning. Temperaturbaserad beräkning av avdunstningen vid plusgrader har till exempel visat sig fungera lika väl i HBV-modellen som avdunstning beräknad med den mer fysikaliskt baserade Priestley-Taylor-metoden (Gardelin och Lindström, 1997). Figur 9 visar dock att sambandet mellan temperatur och avdunstning är svagt. Temperaturen har dessutom inte ökat entydigt över den studerade perioden på samma sätt som skillnaden mellan nederbörd och avrinning. Dessa argument talar mot att den ökande avdunstningen skulle bero på ökande temperatur. I figur 9 visas temperaturen i form av antalet positiva graddagar, vilket är summan av antalet plusgrader under dagar med plusgrader. Detta är framförallt ett mått på temperaturen under sommaren, då avdunstningen är störst.

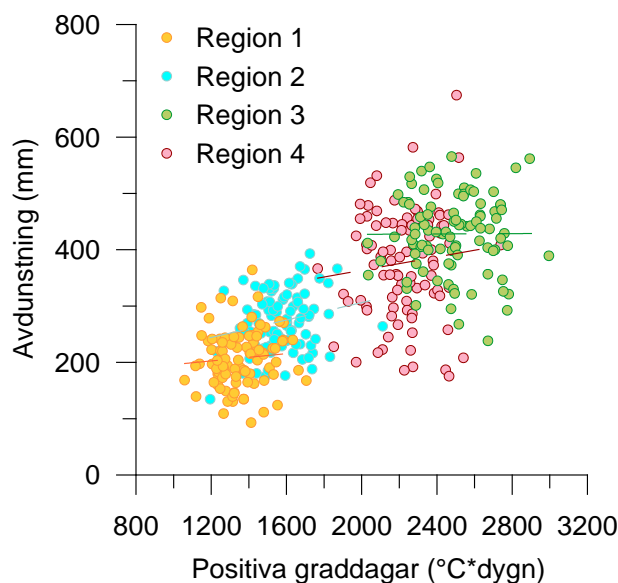
Ökande biomassa i skogen

Skogens biomassa har ökat betydligt under 1900-talet. Figur 10, som visar en bearbetning av uppgifter från Skogsstyrelsens riksskogstaxeringar (www.riksskogstaxeringen.slu.se), illustrerar detta. Taxeringarna har inte gjorts kontinuerligt, utan under längre perioder. Data har bearbetats så att uppskattningarna för en viss mätperiod anges vid periodens mittpunkt. Särskilt tydlig är ökningen i södra Sverige, medan differensen mellan nederbörd och avrinning har ökat på ungefär samma sätt i alla regionerna (figur 7). Differensen mellan uppmätt nederbörd och avrinning ökar även i till exempel norra Norge (se Lindström et al., 2006) där inverkan från skog och avdunstning torde vara liten. Det förefaller alltså inte sannolikt att den ökade biomassan är huvudförklaringen till den ökande skillnaden mellan nederbörd och avdunstning. Inte heller Brandt (1992) fann några övertygande tecken på att den ökande differensen mellan nederbörd och avrinning skulle bero på skogstillväxten.

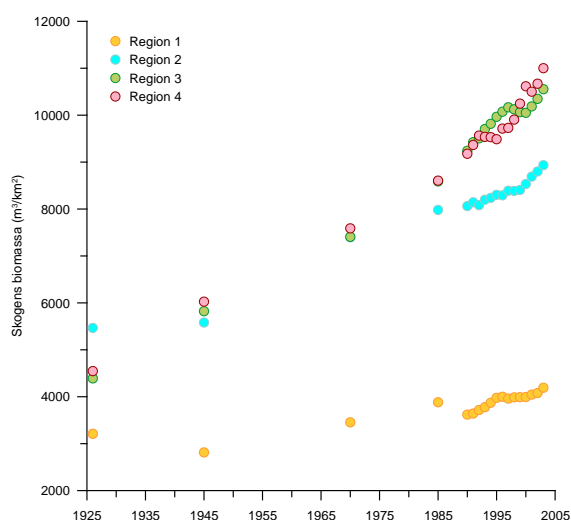
Osäkerheter i mätningarna

Figur 11 visar uppskattad avdunstning mot temperatur, nederbörd, årtal och skoglig biomassa för de tidsperioder för vilka det finns uppskattningar av skogens biomassa. Inga samband är särskilt tydliga i denna figur. Ingen av de tre förklaringarna ovan är därmed särskilt övertygande. Det är mycket möjligt att de olika faktorerna är delar av förklaringen, men den enskilt mest sannolika förklaringen är att ökningen i avdunstning till stor del är skenbar och en effekt av osäkerheter i observationerna. Om nederbörden verkligen

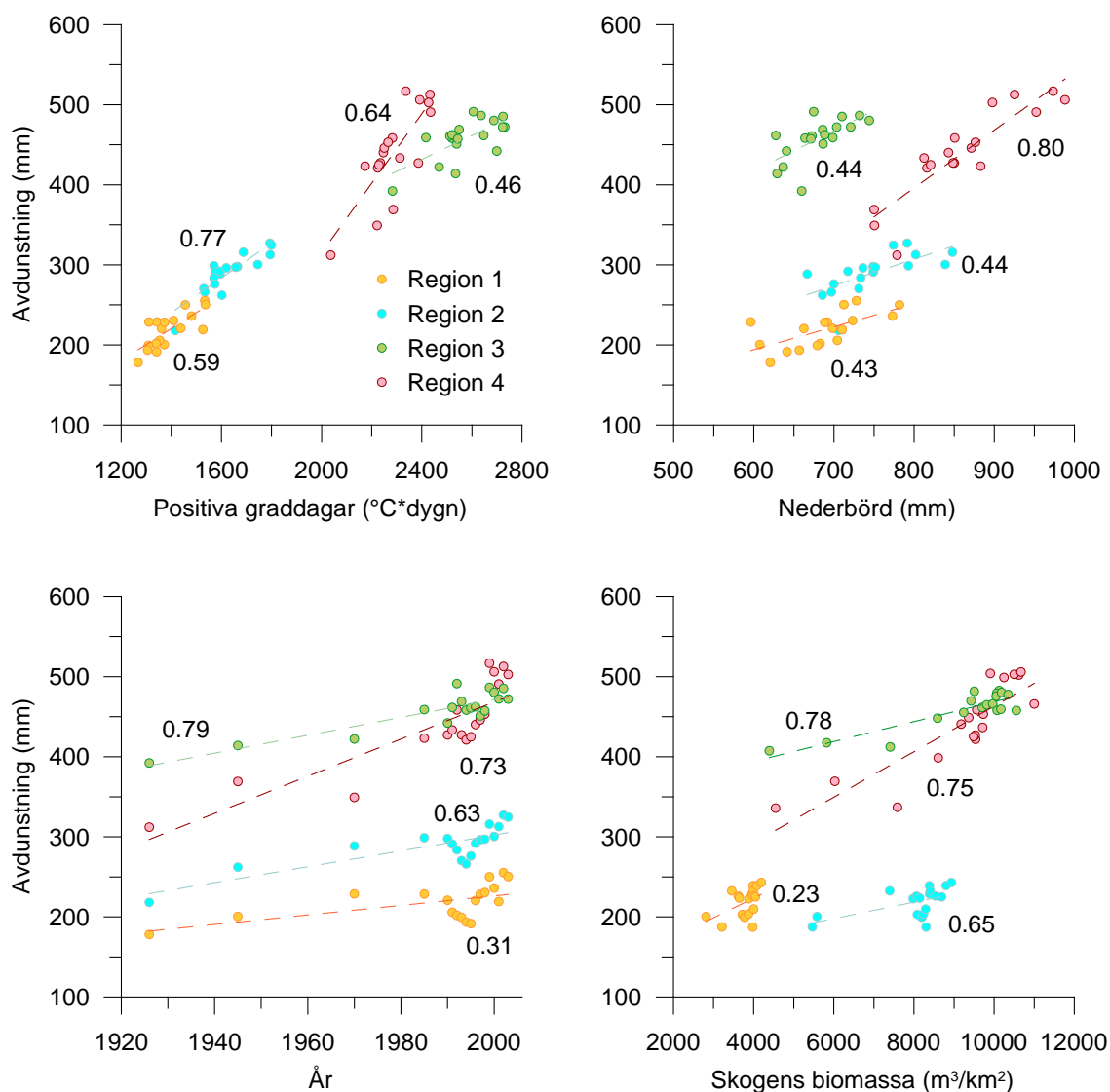
hade ökat så mycket överallt, som i figur 7, borde den ha ökat även i fjällen. I fjällregionen är skogens biomassa liten, och den totala avdunstningen låg. Det faktum att avrinningen i fjällen knappast förändrats under perioden (figur 6) tyder snarast på att nederbörden faktiskt inte har ökat så mycket som vad mätningarna antyder. En möjlig förklaring är att man gradvis gjort bättre mätningar av nederbörden med mindre mätförluster (se även Alexandersson, 2002). Mätförluster orsakas till exempel av olämplig placering av nederbördsräknarna, avdunstning och vindförluster.



Figur 9. Uppskattad avdunstning mot summan av antalet positiva graddagar för åren 1911-2005.



Figur 10. Skogens biomassa inom varje region (bearbetning av uppgifter från riksskogstaxeringar, källa Skogsstyrelsen).



Figur 11. Uppskattad avdunstning mot summan av antalet positiva graddagar, nederbörd, årtal respektive skoglig biomassa för de olika regionerna, men endast för de perioder för vilka det finns uppskattningar av skogens biomassa. Korrelationskoefficienter anges för respektive regressionslinje.

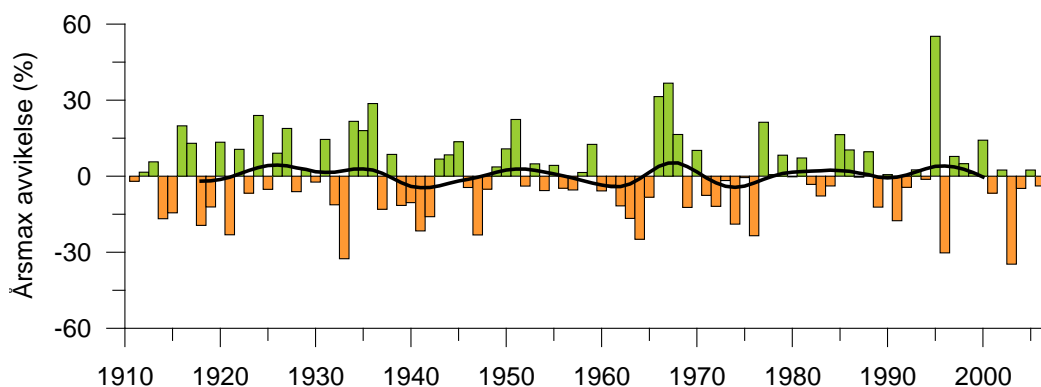
4.2 Höga flöden

Många höga flöden har inträffat i Sverige under senare år, vilket har fått stor uppmärksamhet. Tabell 5 är en sammanställning av inträffade översvämningar och höga flöden, baserad på information från SMHI:s hemsida (www.smhi.se)

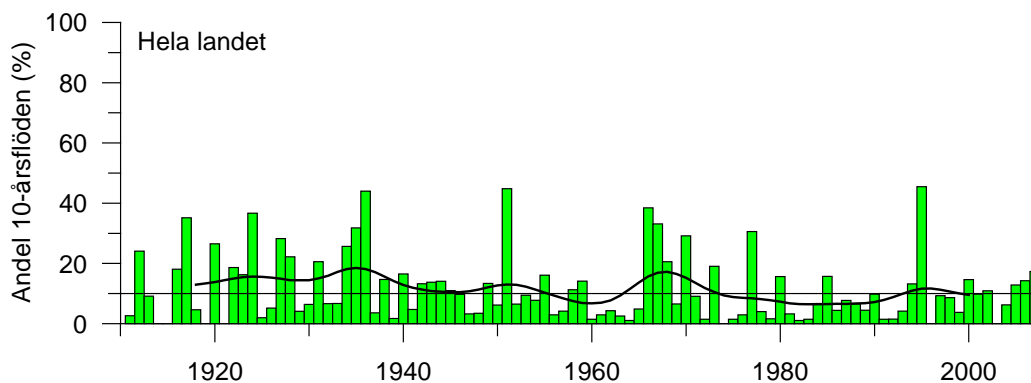
Tabell 5. Några höga flöden och översvämningar i Sverige under perioden 1860-2007 (från SMHI:s hemsida www.smhi.se).

2007	Översvämningar i Götaland under högsommaren Beskedlig vårflood utom i nordöstra Norrland Höstens högflöden fortsatte under januari
2006	Översvämningar och jordskred Skyfall orsakade ras vid Ånn Vårfloden i norra Sverige Vårfloden i södra Sverige
2005	Varmt väder gav intensiv vårflood i fjällen Hög vårflood i Torneälven Höga flöden i stormens spår
2004	Sommarflöden i norr och söder Ett sommarflöde från Kebnekaise till Bottenviken på 6 dygn Skyfall i Värmland
2003	Sommarflöden i Småland
2002	Extrema vattenflöden i södra Götaland
2001	Sommarnederbörden 2001 Översvämningar i Sundsvallstrakten
2000	Sommaröversvämningar i södra Norrland Höstflöde i Värmland och Dalarna (Vänern)
1998	Augustiflöden i Umeälven och Ångermanälven
1997	Ras i Sysseleback (extern länk) Regnkatastrof på Fulufjället Översvämningar i Pitetrakten
1996	Östergötland och nordöstra Småland
1995	1900-talets högsta flöden i ett flertal oreglerade vattendrag i mellersta och norra Sverige Vårflod i södra Sverige
1993	Extrema sommarflöden i reglerade norrlandsälvar
1989	Luleälven
1986	Vårflöde i Dalarna och Hälsingland
1985	Höstflöde i Dalarna och Hälsingland Noppikoskidammen havererar
1984	Svår islossning i Torneälven
1980	Kritiskt vinterflöde i norra Skåne och angränsande delar av landskapen
1977	Extrem vårflood i Bergslagen
1973	Dammolycka i Sysseleback
1968	Torneälven
1966	Södra Sverige och Dalälven
1951	Höga flöden i sydvästra Sverige och Götaland
1938	Spölandskatastrofen i Umeälven
1924	Kraftiga flöden i Södra Sverige
1922	Luleälven
1919	Södra och mellersta Norrlands kusttrakter
1916	1900-talets värsta översvämningar i Dalälven inträffar Klarälven och Karlstad
1905	Tappningskatastrof, Arpojaure/Arpujärvi, Kiruna kommun
1904	Extremt vattenstånd i Mälaren
1900	Översvämning i Fyrisån
1861	Torrläggning av Vuontisjärvi, Norrbottens län
1860	1800-talets värsta översvämningar i Dalälven inträffar

Genomgången av SMHI:s långa mätserier antyder dock inte en lika dramatisk ökning av frekvensen av höga flöden som vad tabell 5 ger ett intryck av. Figur 12 visar medelavvikelsen i nivå för högsta flödet för hela året och för hela Sverige, baserat på 69 stationer med observationer under minst 60 år. Som referens används medelnivån för 1961-1990. Figur 13 sammanfattar andelen tioårsflöden över perioden 1911-2007, baserat på samma material. Vissa år har varit ovanligt flödesrika, till exempel 1936, 1951, 1966 och 1995. Figurerna 12 och 13 visar inte på någon tydlig förändring över tiden i frekvensen av höga flöden.



Figur 12. Medelavvikelsen (från 1961-90) i nivå för det högsta flödet för varje år, hela Sverige, utjämnad med ett Gauss-filter.



Figur 13. Frekvens av 10-årsflöden (andel av stationerna) för hela landet, utjämnade med ett Gauss-filter. Tioårsflödena avser perioden 1961-1990.

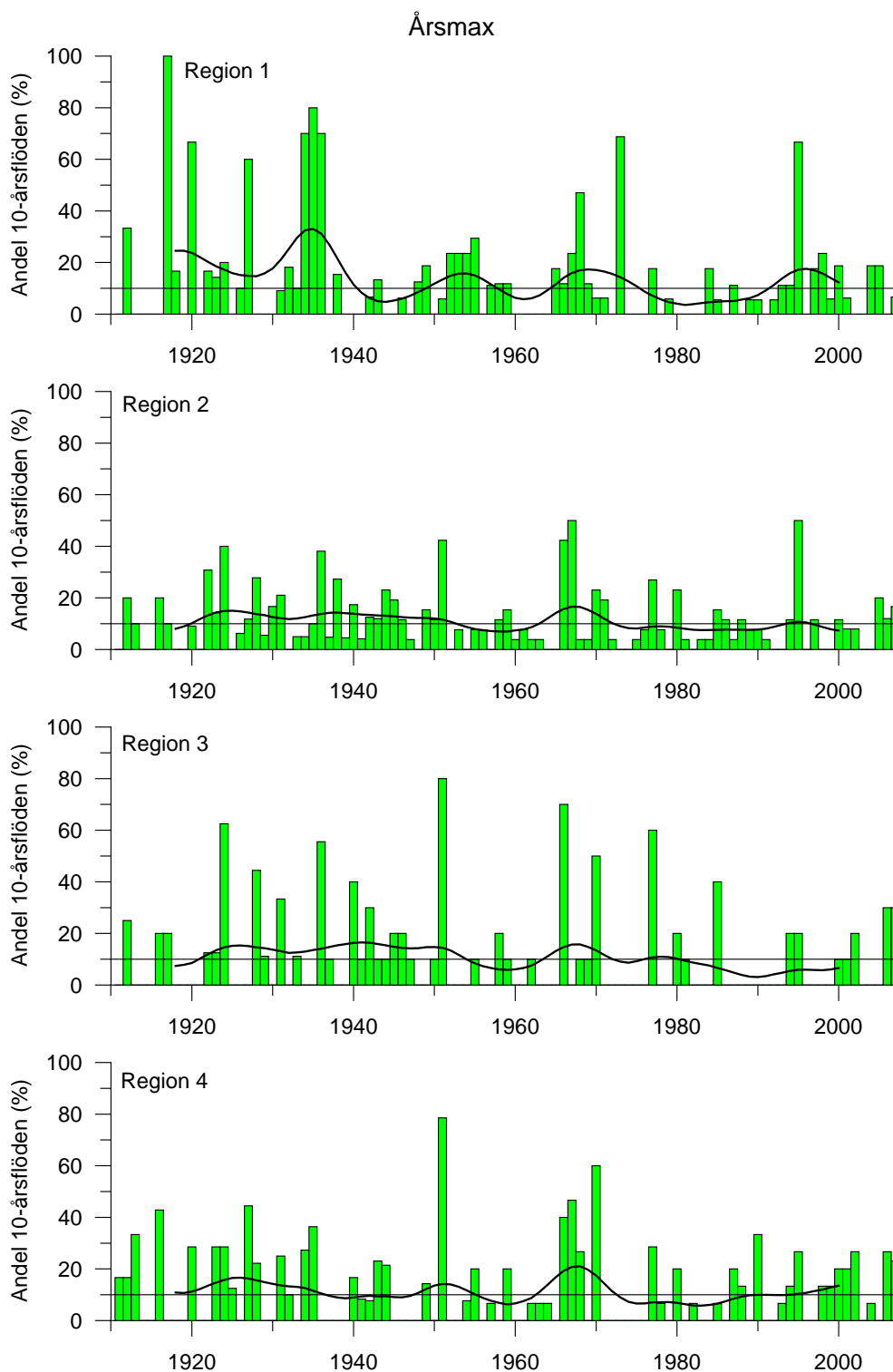
Figurerna 14 och 15 visar motsvarande tioårsflöden för de fyra regionerna, dels för det högsta flödet för varje år och dels för det högsta höstflödet för varje år. Med höst avses här perioden 1 juli till 31 december. Sett över hela landet är vårflödena i allmänhet betydligt högre än höstflödena. Medelvärdet av årsmax för perioden 1961-1990 är till exempel ungefär dubbelt så högt som motsvarande medelvärdet för höstmax. Man kan i figurerna inte se några förändringar av storleken eller frekvensen av höga flöden. Man kan dock notera att det inträffade förhållandevis få höga flöden

(årsmax) under åren 1971-1990. Stationsunderlaget är tyvärr ganska glest i början av analysen.

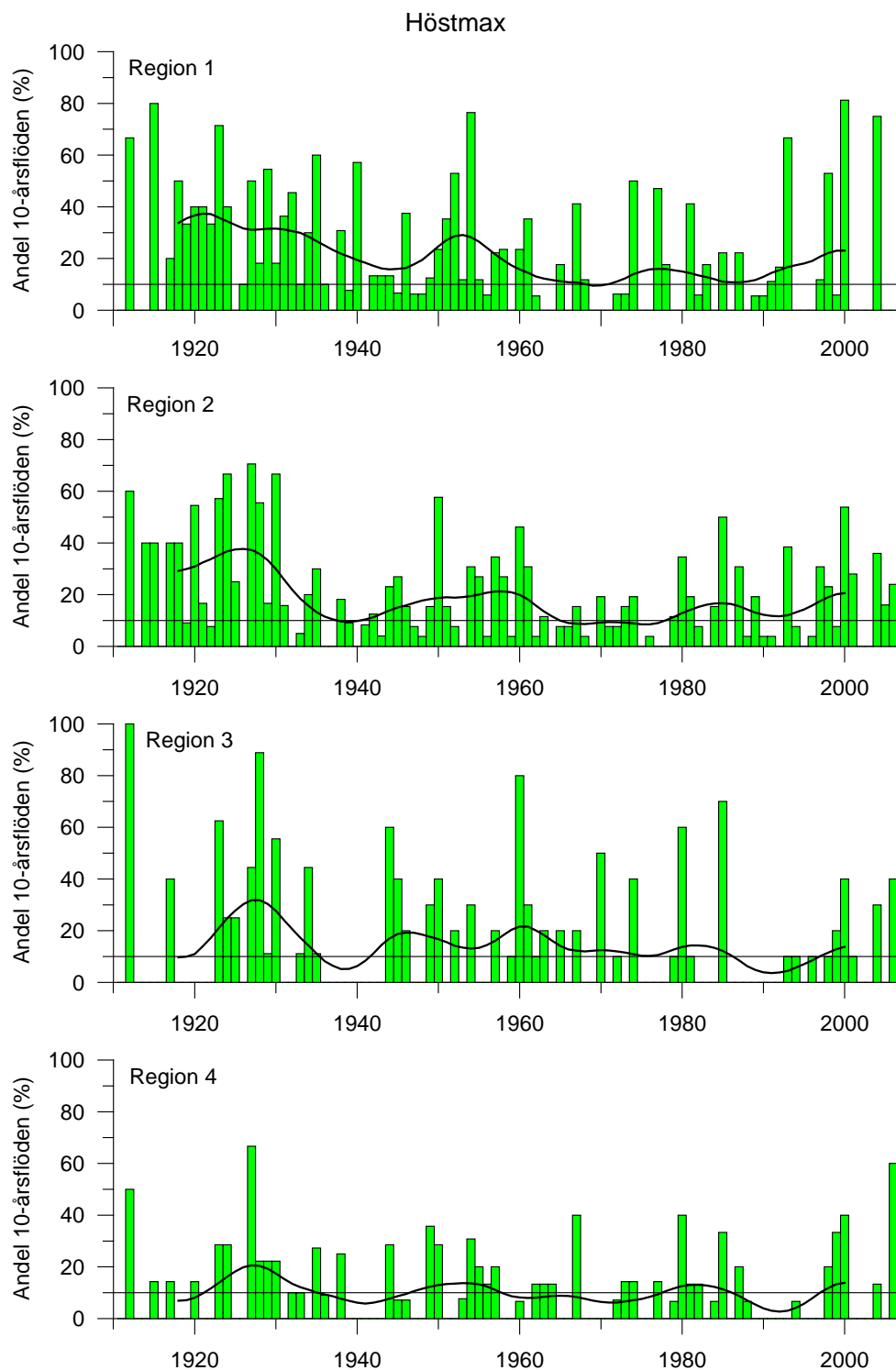
Att översvämningar och höga flöden fått så stor uppmärksamhet under senare år, trots att frekvensen av höga flöden inte ökat på motsvarande sätt enligt de analyserade serierna kan bero på flera faktorer. Dels har samhällets sårbarhet ökat, med mer bebyggelse och infrastruktur, dels följde en mer flödesrik period på det torra 1970-talet, och dels har många av de höga flödena under senare år varit regnflöden. Regnflödena är svårare att prognostisera än snösmältningsflöden, och inträffar därför mer överraskande. Många snösmältningsflöden maskeras också av regleringen i utbyggda vattendrag. Figur 16 visar när under året som årets högsta flöde har inträffat, för ett urval stationer. Figuren visar inga tydliga förskjutningar i tidpunkten för inträffandet av de högsta flödena.

4.3 Jämförelse med klimatscenarier

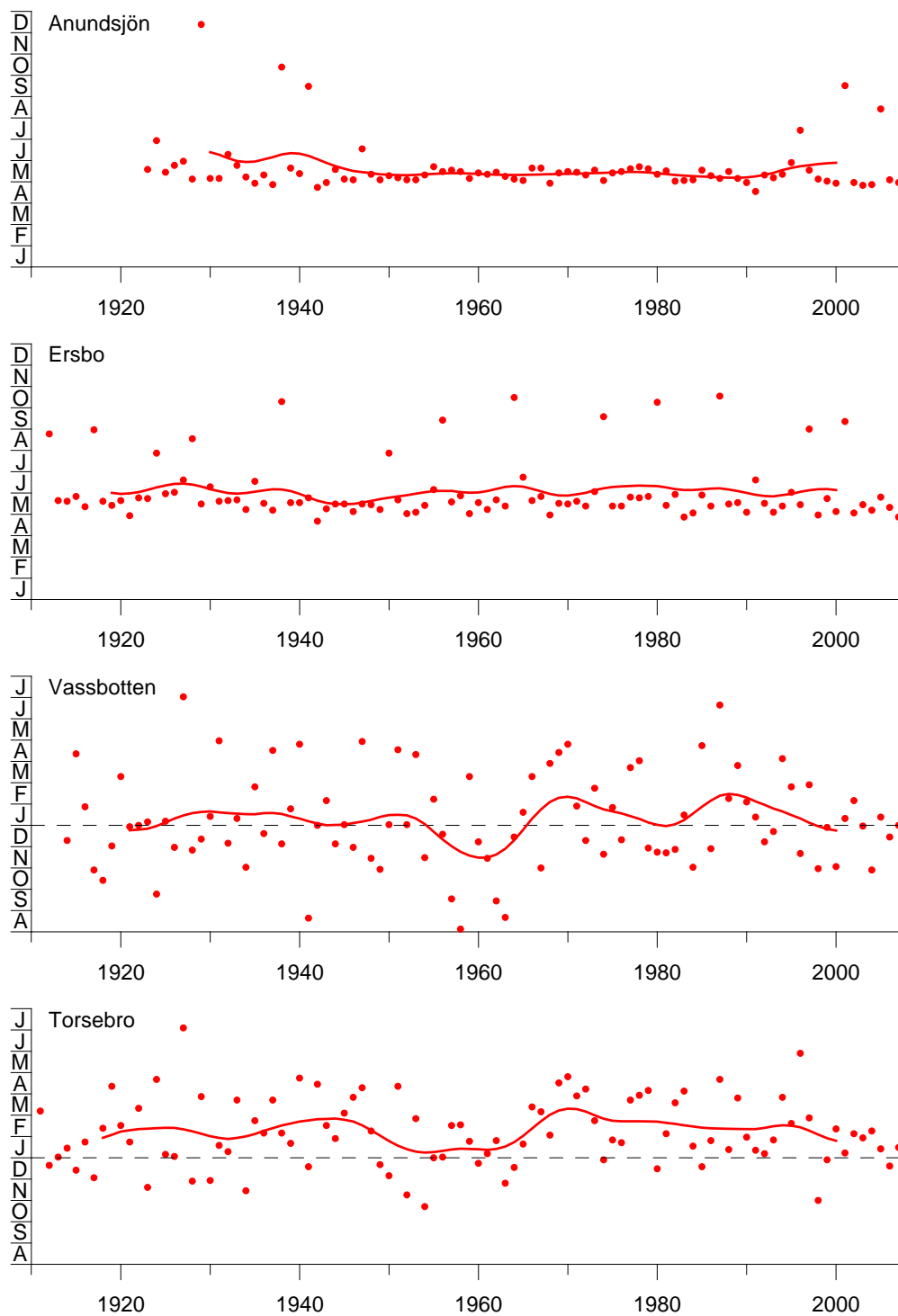
Figurerna 17 och 18 visar hur temperaturen och avrinningen under de milda åren 1991-2005 förhållit sig till åren 1901-1990. Detta jämförs i figuren också med scenarioberäkningarna från RCA3-modellen, driven med den globala ECHAM-modellen. Scenariot gäller för 1961-2100 och innefattar alltså bland annat den redan upplevda 15-årsperioden 1991-2005. Figurerna är en förlängning och regional utvidgning av den analys för norra och södra Sverige som gjordes av Lindström och Alexandersson (2004). Den uppmätta temperaturökningen under 1991-2005, jämfört med 1961-1990, stämmer väl överens med den som fås enligt scenariosimuleringen, i alla regionerna. Även avrinningen under 1991-2005 jämfört med tidigare stämmer relativt väl med scenariosimuleringen, utom möjligen i region 3. Det bör påpekas att klimatmodellens nederbörd och temperatur för 1961-1990 anpassats så att de stämmer överens med motsvarande observationer genom den ovan nämnda skalningen (se t.ex. Graham et al., 2007).



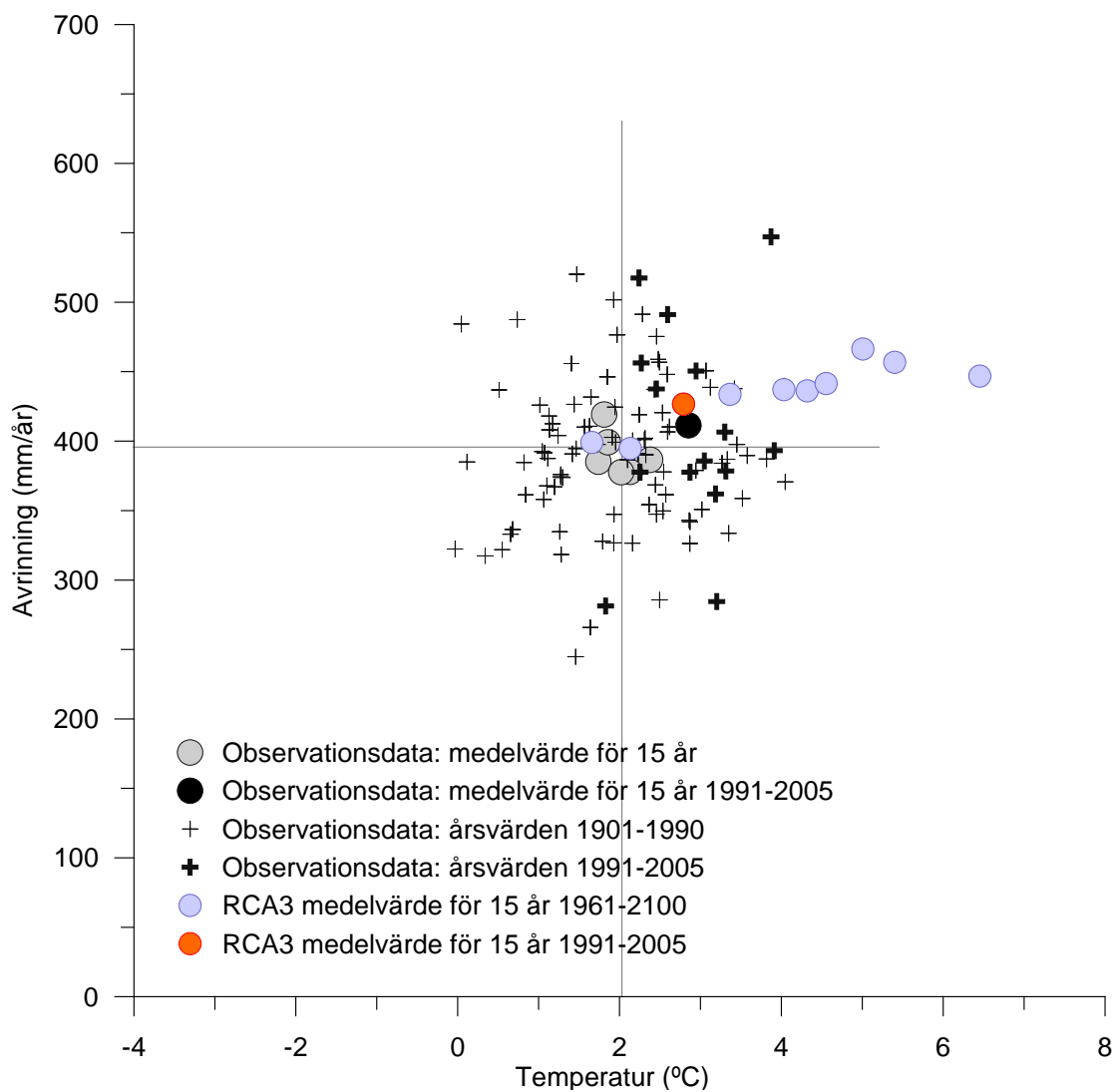
Figur 14. Frekvens av 10-årsflöden, årsmax, (andel av stationerna) för de fyra regionerna, utjämnade med ett Gauss-filter. Tioårsflödena avser perioden 1961-1990.



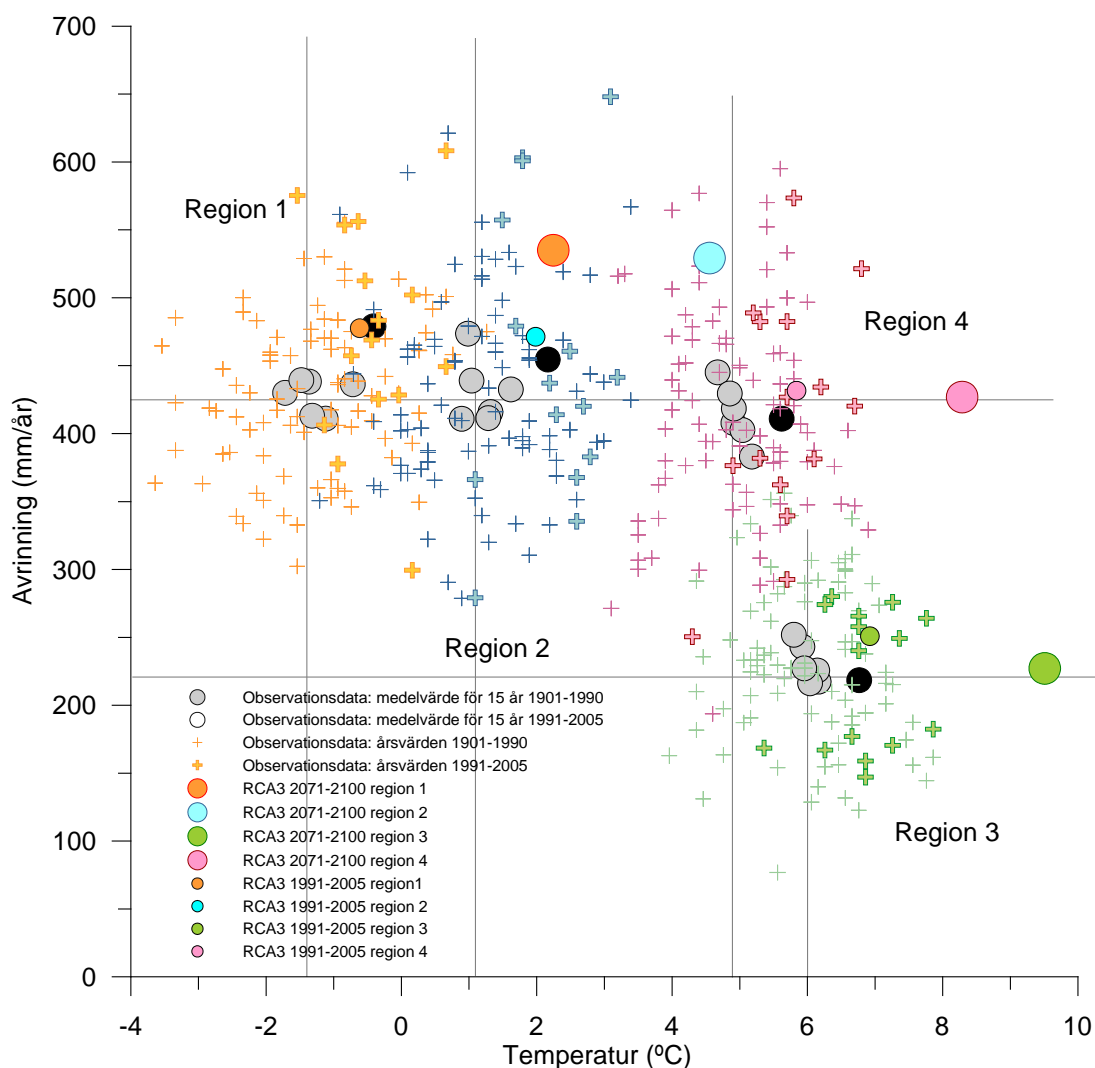
Figur 15. Frekvens av 10-årsflöden, höstmax (juli-december), (andel av stationerna) för de fyra regionerna, utjämnade med ett Gauss-filter. Tioårsflödena avser perioden 1961-1990.



Figur 16. Tidpunkt under året för det högsta uppmätta flödet för fyra utvalda stationer, utjämnade med ett Gauss-filter. Vid de två sydligaste stationerna börjar månadsskalan på 1 augusti, eftersom sommaren där är en torrperiod.



Figur 17. Medelvärden för temperatur och avrinning för hela Sverige, för enskilda år och 15-årsperioder, dels observationer 1901-2005, och dels ett scenario för 1961-2100 baserat på simuleringar med HBV-modellen, med drivdata från RCA3-E/B2.



Figur 18. Medelvärden för temperatur och avrinning för de fyra regionerna, för enskilda år och 15-årsperioder, dels observationer 1901-2005, och dels ett scenario för 1961-2100 baserat på simuleringar med HBV-modellen, med drivdata från RCA3-E/B2.

5 Slutsatser

- Temperaturen har varit ovanligt hög under senare år, med ett temperaturöverskott runt 1 grad i hela landet.
- Temperaturökningen stämmer väl överens med den som fås i en scenariosimulering.
- Nederbörden har enligt mätningarna ökat i stort sett kontinuerligt sedan mätningarna startade 1860.
- Vattentillgången har varit relativt stabil under de senaste 100 åren.
- Skillnaden mellan nederbörd och avrinning har ökat i stort sett kontinuerligt sedan mätningarna startade 1860. Detta beror troligen

framförallt på att nederbörden nu mäts noggrannare. Skogens tillväxt kan vara en del av förklaringen, men någon tydlig effekt har inte kunnat påvisas.

- Avrinningen vintertid har varit hög under senare år, beroende på de milda vintrarna.
- Tidpunkten för när det högsta flödet inträffar under året är relativt oförändrad.
- Storleken och frekvensen av höga flöden är relativt stabil.

Referenser

Alexandersson, H. (2002) Temperatur och nederbörd i Sverige 1860-2001. SMHI Rapporter Meteorologi Nr 104.

Andréasson, J., Bergström, S., Carlsson, B., Graham, L.P. & Lindström, G. (2004) Hydrological Change - Climate Change Impact Simulations for Sweden. *Ambio*, Volume XXXIII, Number 4-5, June 2004, pp. 228-234.

Brandt, M. (1992) Skogens inverkan på vattenbalansen. SMHI Rapport Hydrologi Nr 37.

Gardelin, M. & Lindström, G. (1997) Priestley-Taylor evapotranspiration in HBV-simulations. *Nordic Hydrology*, Vol. 28, No. 4/5, pp. 233-246.

Graham, L.P., Andréasson, J., & Carlsson, B. (2007) Assessing climate change impacts on hydrology from an ensemble of regional climate models, model scales and linking methods – a case study on the Lule River basin. *Climatic Change* 81: 293-307.

Hisdal, H., Holmqvist, E., Kuusisto, E., Lindström, G. & Roald, L.A. (2004) Has streamflow changed in the Nordic countries? Contribution to the Nordic Hydrological Conference in Tallinn, Estonia, August 2004., NHP Report No. 48, pp. 633-643.

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

Kjellström, E., Bärring, L., Gollvik, S., Hansson, U., Jones, C., Samuelsson, P., Rummukainen, M., Ullerstig, A., Willén, U. & Wyser, K. (2005) A 140-year simulation of European climate with the new version of the Rossby Centre regional atmospheric climate model (RCA3). SMHI Reports Meteorology Climatology.

Lindström, G. (2002) Vattentillgång och höga flöden i Sverige under 1900-talet. SMHI, RH Nr 18, 2002. (även Elforsk rapport 02:39, Stockholm).

Lindström, G. & Alexandersson, H. (2004) Recent mild and wet years in relation to long observation records and climate change in Sweden. *Ambio*, Volume XXXIII, Number 4-5, June 2004, pp. 183-186.

Lindström, G. & Bergström, S. (2004) Runoff trends in Sweden 1807-2002. *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 49, No. 1, pp. 69-83.

Lindström, G., Hisdal, H., Holmqvist, E., Jónsdóttir, J.F., Jónsson, P., Kuusisto, E & Roald, L. (2006) Regional precipitation, temperature and runoff series in the Nordic countries. Contribution to the European Conference on Impacts of Climate Change on Renewable Energy Sources, Reykjavik, Iceland, June 5–9, 2006, pp. 155-158.

Nakićenović, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., Jung, T.Y., Kram, T., La Rovere, E.L., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Riahi, K., Roehrl, A., Rogner, H.-H., Sankovski, A.,

Roeckner E, Bengtsson L., Feichter J, Lelieveld J. & Rodhe H. (1999) Transient climate change simulations with a coupled atmosphere-ocean GCM including the tropospheric sulphur cycle. *Journal of Climate* 12, 3004-3032.

Rosberg, J., & Andréasson, J. (2006) From Delta change to Scaling and direct use of RCM output. Contribution to the European Conference on Impacts of Climate Change on Renewable Energy Sources, Reykjavik, Iceland, June 5–9, 2006, pp. 121-124.

Räisänen, J., Hansson, U., Ullerstig, A., Döscher, R., Graham, L.P., Jones, C., Meier, H.E.M., Samuelsson, P., & Willén, U. (2003). European climate in the late 21st century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Climate Dynamics*, published on-line 14 Nov 2003, DOI: 10.1007 / s00382-003-0365-x.

Walter, M.T., Wilks, D.S., Parlange, J.Y. & Schneider, R.L. (2004) Increasing Evapotranspiration from the Conterminous United States. *Journal of Hydrometeorology*, 5, 405-408.

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGSG- OCH UTVECKLINGSG - ELFORSK - AB

**Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 25 30, Telefax: 08-677 25 35
www.elforsk.se**