

Modellering av effekter av klimatförändringar på tillrinningen till vattenkraftsystemet

Elforsk rapport 02:27

Modellering av effekter av klimatförändringar på tillrinningen till vattenkraftsystemet

Elforsk rapport 02:27

**Marie Gardelin, Johan Andréasson, Bengt Carlsson
SMHI
Göran Lindström och Sten Bergström**

Juni 2002

Modellering av effekter av klimatförändringar på tillrinningen till vattenkraftsystemet

Elforsk rapport 02:27

Innehållsförteckning

1	INLEDNING.....	1
1.1	BAKGRUND.....	1
1.2	MÅL	1
1.3	AVGRÄNSNINGAR.....	1
2	METODER.....	2
2.1	KLIMATMODELLER.....	2
2.2	HYDROLOGISK MODELL.....	2
2.3	GRÄNSSNITT	3
2.4	FREKVENSANALYS AV EXTREMVÄRDEN	5
3	DATABAS.....	6
4	RESULTAT	8
4.1	DE SEX URSPRUNGLIGA AVRINNINGSOMRÅDEN	8
4.2	LULEÄLVEN	14
4.3	VÄNERNOMRÅDET	15
5	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	18
6	SLUTORD	19
7	REFERENSER.....	20

Inledning

1.1 Bakgrund

Klimatstudier som sammanställts inom FNs klimatpanel (IPPC, 2001) tyder på att mänsklig påverkan genom ökade utsläpp av växthusgaser kan medföra en förstärkt växthuseffekt, vilket kan leda till global uppvärmning. Globala klimatmodeller, vilka baseras på antaganden om framtida utsläpp av växthusgaser, används för att producera tänkbara scenarier för utvecklingen av det globala klimatet. Inom det svenska forskningsprogrammet för regional klimatmodellering, SWECLIM (Rummukainen m fl, 2000), studeras olika konsekvenser för Sverige av en sådan framtida klimatförändring. Vid Rossby Centret på SMHI har en regional klimatmodell utvecklats, vilken utnyttjar scenarier från olika globala klimatmodeller och producerar regionala klimatscenarier med högre upplösning som är anpassade till nordiska förhållanden. På 100 års sikt visar de regionala scenarierna en genomsnittlig temperaturökning i Sverige med 3-4°C och en ökning av nederbörden i vissa delar av landet med upp till ca 25%.

Scenarier för konsekvenserna på de svenska vattenresurserna har inom SWECLIM tagits fram genom att data från de regionala klimatscenierna använts som indata till simuleringar med en hydrologisk avrinningsmodell. Liknande studier för Sverige har tidigare genomförts inom ett nordiskt samarbetsprojektet om klimatförändringar och energiproduktion (Saelthun m fl, 1998). Resultaten från detta projekt pekade på förändringar i flödenas årsrytm, med generellt minskande vårflöden och ökande flöden under resten av året.

1.2 Mål

Syftet med arbetet har varit att sammanställa de vattenresursscenarier som producerats inom SWECLIM, vilka berör konsekvenserna för tillrinningen till det svenska vattenkraftssystemet, samt att ge en bild av osäkerheten i scenarierna. Målsättningen har varit att beskriva såväl förändrade medelförhållanden som förändrad frekvens av extremflöden.

1.3 Avgränsningar

Rapporten beskriver resultat från de vattenresursscenarier som utförts inom SWECLIM under år 2000-2001 och som främst berör effekter av en framtida klimatförändring på tillrinningen till det svenska vattenkraftssystemet.

Metoder

1.4 Klimatmodeller

De vattenresursscenarier som tagits fram inom SWECLIM har byggts på modellberäkningar med hjälp av globala klimatmodeller, en regional klimatmodell och en hydrologisk avrinningsmodell. Den regionala klimatmodell som använts, RCA-modellen (Rossby Centre Regional Atmospheric Climate Model; Rummukainen m fl, 2001) har utvecklats från den meteorologiska prognosmodellen HIRLAM (Källén, 1996). Den regionala klimatmodellen har högre horisontell upplösning än de globala klimatmodellerna och innefattar en mer detaljerad beskrivning av hur t ex fjällkedjan, insjöar och Östersjön påverkar klimatet regionalt. RCA-modellen har hittills drivits av globala klimatscenarier från HadCM2 från Hadley Centret i Reading (Johns m fl, 1997) och ECHAM4 från Max Planck Institutet för Meteorologi i Hamburg (Roeckner m fl, 1996; Oberhuber, 1993a;b). Simuleringarna har omfattat två tidsperioder om vardera 10 år vilka representerar dagens klimat (kontrollsimulering) och ett framtida klimat påverkat av ökade CO₂-halter i atmosfären (scenariosimulering). Simuleringar har utförts med olika horisontell upplösning (88 km respektive 44 km) av den modellversion som benämns RCA1. Scenarierna baserade på HadCM2 har här kallats RCA88-H och RCA44-H, och motsvarande scenarier för ECHAM4 har kallats RCA88-E och RCA44-E.

1.5 Hydrologisk modell

Vattenresursscenarierna har tagits fram med hjälp av HBV-modellen (Bergström, 1995; Lindström m fl, 1997). Modellen är en begreppsmässig avrinningsmodell som ursprungligen utvecklades på SMHI för hydrologiska prognoser och som sedan använts i många andra tillämpningar i Sverige och utomlands. För studier av klimatförändringar har modellen tidigare använts främst i de nordiska länderna av t ex Vehviläinen and Huttunen (1997) och Saelthun m fl (1999). Modellen innehåller rutiner som beskriver snöackumulation och snösmältning, mark- och grundvattenmagasinering samt flödesdämpning i sjöar och vattendrag. Som indata till modellen används normalt dygnsvärden på nederbörd och lufttemperatur, samt ofta även månadsmedelvärden på potentiell avdunstning.

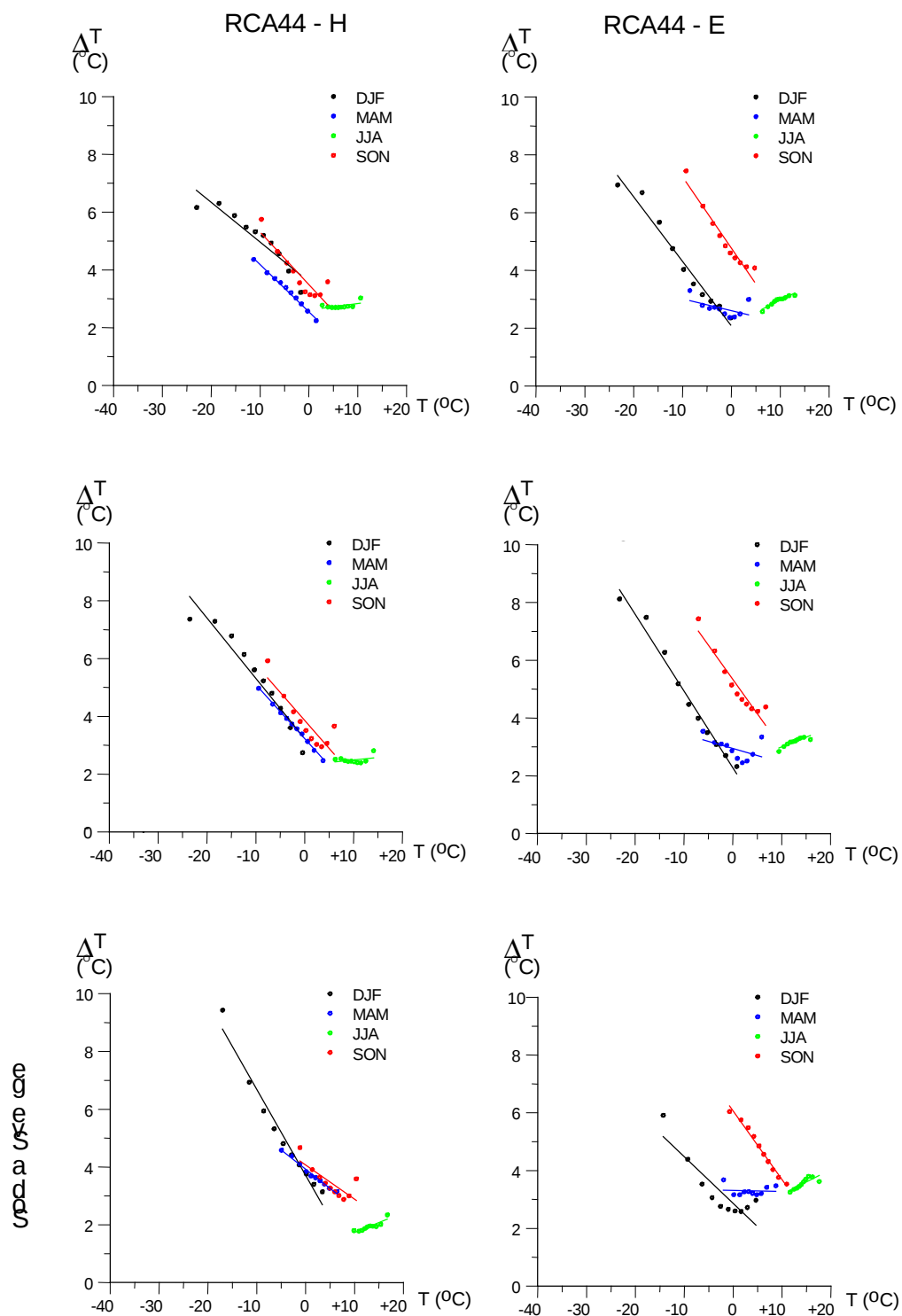
För de hydrologiska simuleringarna inom SWECLIM har två olika metoder utnyttjats för att bestämma den potentiella avdunstningen. I den modellversion som kallas HBV-a, har avdunstningen både i dagens klimat och i det framtida klimatet beräknats med en enkel temperaturindexmetod (Lindström m fl, 1994) som innehåller en säsongsberoende faktor enligt Saelthun m fl (1998). I simuleringarna med HBV-b har avdunstningen i dagens klimat beräknats utifrån månadsmedelvärden beräknade med Penmans formel enligt Eriksson (1981). Avdunstningen i det framtida klimatet har i dessa simuleringar bestämts utifrån den avdunstningsförändring som erhållits i RCA-modellens scenarier. Den potentiella avdunstningen justerades därigenom på så sätt att avdunstningsförändringen i HBV-modellen i genomsnitt var lika stor som avdunstningsförändringen i RCA-modellen.

1.6 Gränssnitt

Den metod som hittills utnyttjats inom SWECLIM för att simulera effekter på vattenresurserna av en framtida klimatförändring innebär att de förändringar av klimatet som ges av RCA-scenarierna överförs till en observerad klimatdataserie som sedan utnyttjats i de hydrologiska simuleringarna. Skillnader i temperatur ($^{\circ}\text{C}$), nederbörd (%) och i vissa fall avdunstning (%), mellan en scenariosimulering och en kontrollsimulering, adderas på så sätt till den klimatserie som används som indata till HBV-modellen. Osäkerheterna i den regional klimatsimuleringen bedöms fortfarande vara för stora för att utdata direkt ska kunna användas som indata till den hydrologiska modellen. Metoden att på liknande sätt överföra endast skillnader i meteorologiska variabler har tidigare använts i ett flertal studier som beskrivs av t ex Arnell (1999), Kaczmarek m fl (1996), Lemmelä och Helenius (1998), Lettenmaier m fl (1999), Saelthun m fl (1998 och 1999) samt Vehviläinen och Huttunen (1997).

Strategin för hur RCA-scenarierna överförs till den hydrologiska modellen har vidareutvecklats under arbetet med de olika scenarioversionerna, vilket innebär att bearbetningen av data i gränssnittet mellan modellerna skett på olika sätt i olika scenarier (Bergström m fl, 2000 och 2001; Gardelin m fl, 2001). I RCA88-scenarierna extraherades klimatmodellens data från gridrutor över det aktuella testområdet, medan data från RCA44-scenarierna integrerades över större regioner i landet. I detta fall användes tre regioner; 1) norra Sverige – fjälltrakterna, 2) norra Sverige – kusten och inlandet och 3) södra Sverige. En betydelsefull skillnad i gränssnittet mellan modellerna gäller överföringen av temperaturförändringen. I RCA88-scenarierna överfördes denna förändring med hjälp av fasta månadsvärden för temperaturhöjningen (i $^{\circ}\text{C}$), vilka sedan adderades till den observerade temperaturen under alla dagar av scenariosimuleringen. Analys av temperaturförändringen i klimatmodellens scenarier visar emellertid att temperaturhöjningen förväntas vara störst vid låga temperaturer på ett sätt som inte korrekt kan beskrivas med hjälp av fasta månadsvärden. Därför infördes i RCA44-scenarierna istället ett temperaturberoende samband för att beskriva ökningen av temperaturen i det framtida klimatet (se figur 2.1). Denna metod medför att klimatförändringens inverkan på snöackumulation och snösmältning minskar något jämfört med scenarier där fasta månadsvärden används.

Förändringen av nederbörd och avdunstning i RCA-scenarierna överfördes till den hydrologiska simuleringen på samma sätt i RCA88 som i RCA44. Nederbördsförändringen överfördes som fasta månadsvärden (i %), vilka multiplicerades med den observerade nederbörden i dataserien. Detta innebär att samma relativa nederbördsförändring antagits för alla år av scenariosimuleringen och för såväl små nederbördsmängder som för extrema nederbördstillfällen. Antalet nederbördsdagar antogs därmed också vara oförändrat i det framtida klimatet. I de scenarier där avdunstningen inte antagits vara temperaturberoende, överfördes avdunstningsförändringen i RCA-scenarierna till den hydrologiska simuleringen som en årlig procentuell förändring. Hänsyn har inte tagits till eventuella avdunstningsförändringar som kan bero av t ex förändrad vegetationsutbredning eller växternas förändrade vattenupptag till följd av ökande koldioxidhalter i atmosfären.



Figur 2.1. Samband mellan temperaturförändring (ΔT) och temperatur i dagens klimat (T) i RCA44-H och RCA44-E för tre regioner i Sverige och för olika årstider. Punkterna visar frekvensfördelningen i steg om 10% och linjerna visar den linjära anpassning som utnyttjats vid överföring av temperaturberoendet till de hydrologiska simuleringarna.

1.7 Frekvensanalys av extremvärden

Frekvensen av höga flöden och höga vattenstånd har analyserats såväl i simuleringarna för dagens klimat som i scenariosimuleringarna. Analysen har baserats på Gumbels fördelningsfunktion och har utförts för årsmaxima, samt separat för vårmaxima och maxima under sommar/höst. Generellt har vårperioden definierats som månaderna januari-juli och resten av året har definierats som sommar/höst. För analysen i Väneren och Glafs fjorden har vårperioden definierats som januari-juni.

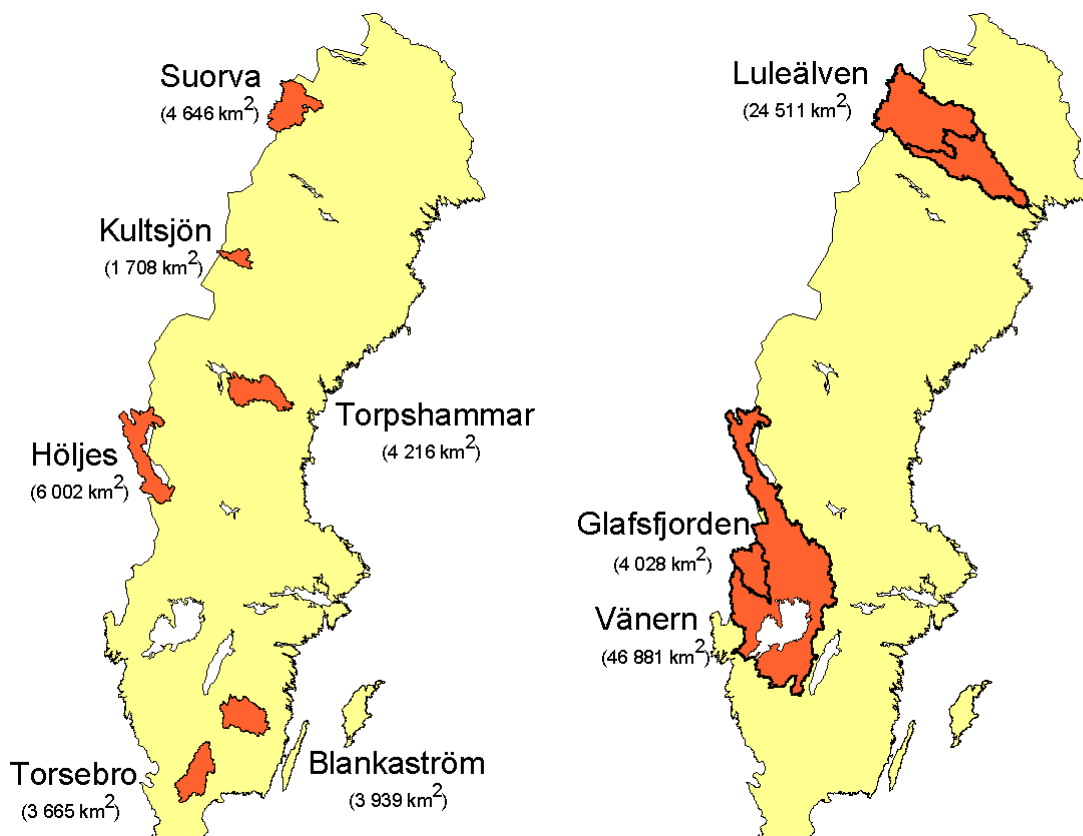
Databas

Vid de inledande vattenresursscenarierna inom SWECLIM studerades sex avrinningsområden av storleksordningen 2000-6000 km², vilka representerar olika hydrologiska regimer och olika geografiska lägen i landet (se figur 3.1). HBV-modellen kalibrerades med en automatisk rutin (Lindström, 1997) mot uppmätt vattenföring för perioden 1967-97 och samma period användes sedan som basperiod för scenariosimuleringarna.

Under 2001 utvidgades studien till att även omfatta två testområden av betydligt större storlek. Scenarier togs därigenom fram för hela Luleälvens tillrinningsområde (ca 24 500 km²). På grund av det komplicerade systemet av regleringar i älven gjordes scenarioberäkningarna på den totala tillrinningen till älven. Vid beräkningarna delades tillrinningsområdet upp i en övre del (ca 15 000 km²) och en nedre del (ca 10 000 km²) (se figur 3.1). Modellen kalibrerades för perioden 1982-98, som också användes som basperiod för scenariosimuleringarna.

Mot bakgrund av de dramatiska översvämningarna under 2000 inkluderades senare även Vänerns tillrinningsområde bland testområdena. Den kraftiga nederbörden under hösten 2000 orsakade att Vänerns vattenstånd steg 1,5 meter över det normala och i Glafs fjorden vid Arvika nådde vattennivån nära 3 meter högre än normalt. För Väner och Glafs fjorden producerades därför, förutom tillrinningsscenarier, även scenarier för vattenstånd. Vänerns tillrinningsområde är mycket stort (ca 47 000 km²) och utgör ca 10% av Sveriges hela yta (se figur 3.1). Glafs fjordens tillrinningsområde (ca 4 000 km²) utgör ett delområde inom Vänerns tillrinningsområde, som inför scenariosimuleringarna kalibrerades separat. HBV-modellen kalibrerades för åren 1971-90 och perioden 1971-2000 användes som basperiod för scenariosimuleringarna.

I tabell 3.1 sammanfattas den genomsnittliga förändringen av temperatur och nederbörd i de fyra olika RCA-scenarier som använts som indata till simuleringarna med HBV-modellen. För de sex ursprungliga avrinningsområdena gjordes simuleringar baserade på alla dessa klimatscenarier med hjälp av de två versionerna av HBV-modellen, vilket alltså resulterade i 8 olika hydrologiska scenarier. För Luleälven och Väner gjordes simuleringar baserade endast på RCA-44 och HBV-b, vilket alltså resulterade i två olika hydrologiska scenarier.



Figur 3.1. Testområden som använts för vattenresursberäkningar inom SWECLIM.

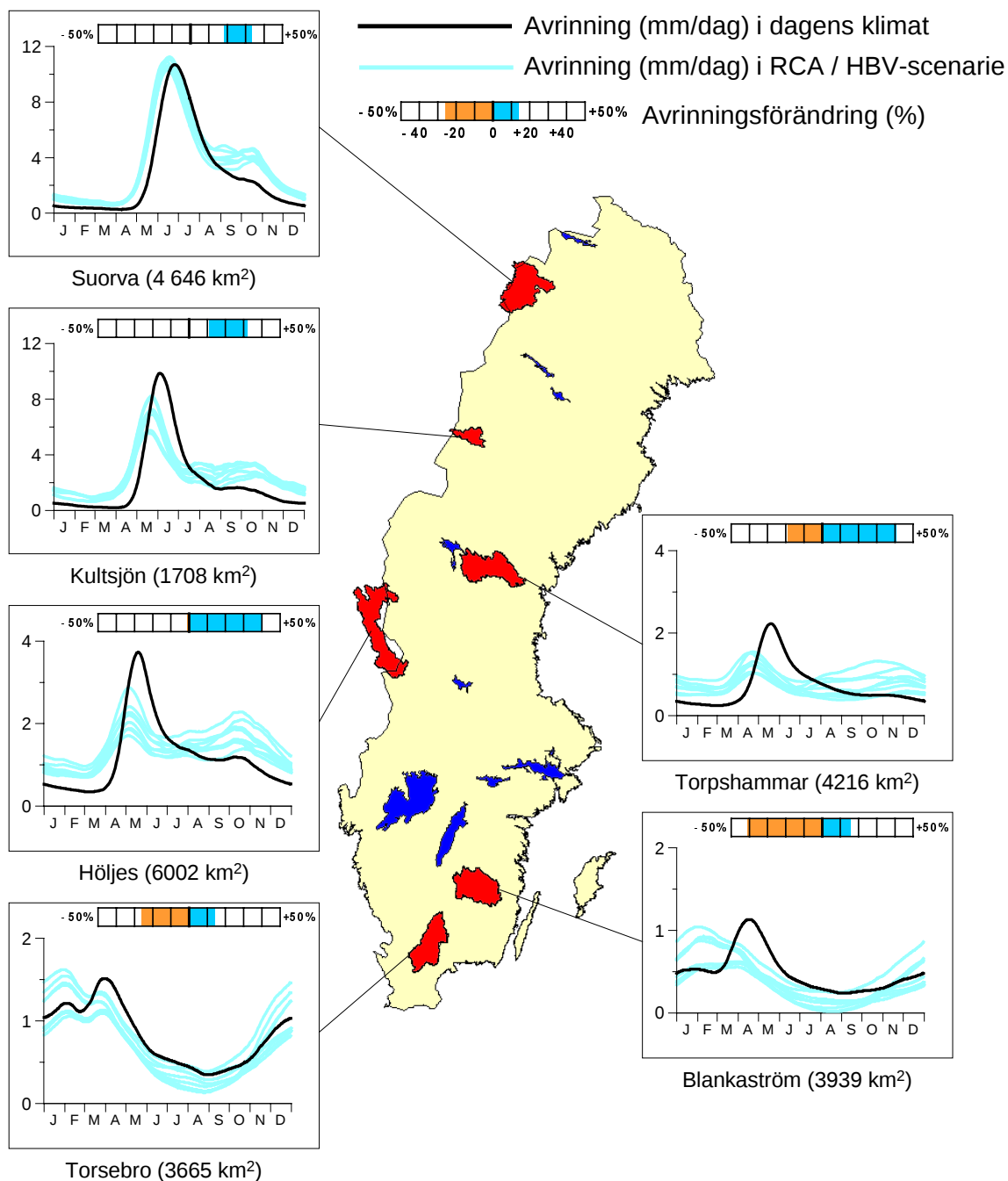
Tabell 3.1. Medelförändringen av temperatur och nederbörd i Sverige i de olika regionala klimatscenarioer som använts för vattenresursscenarier.

	RCA88-H	RCA88-E	RCA44-H	RCA44-E
Temperatur (°C)	+3.2	+3.5	+3.7	+3.8
Nederbörd (%)	+13	+7	+18	+8

Resultat

1.8 De sex ursprungliga avrinningsområdena

I figur 4.1 sammanfattas de genomsnittliga avrinningsförändringar som erhållits i de olika scenarierna för de 6 testområdena. Resultaten beskrivs också av Bergström m fl (2001) och Gardelin m fl (2001). Scenarierna har märkbar inverkan på flödets årsrytm i alla de studerade avrinningsområdena. I de nordliga områdena minskar vårflödena på grund av minskad snöackumulation, medan flödena istället ökar under resten av året på grund av den ökade nederbörden. Generellt inträffar vårflodens start tidigare i scenariosimuleringarna. Även i det allra nordligaste området, Suorva, sker en förskjutning i tiden, men storleken på vårflödestoppen är där i det närmaste oförändrad. I södra Sverige sker också en minskning av vårflödena, medan de olika scenarierna ger varierande resultat när det gäller flöden under resten av året. Spridningen av scenariokurvorna kan tolkas som ett mått på osäkerheten i scenarierna. Allmänt sett är spridningen av resultaten större i södra Sverige än i norra Sverige och i alla områden är osäkerheten särskilt stor när det gäller sommar- och höstflöden.



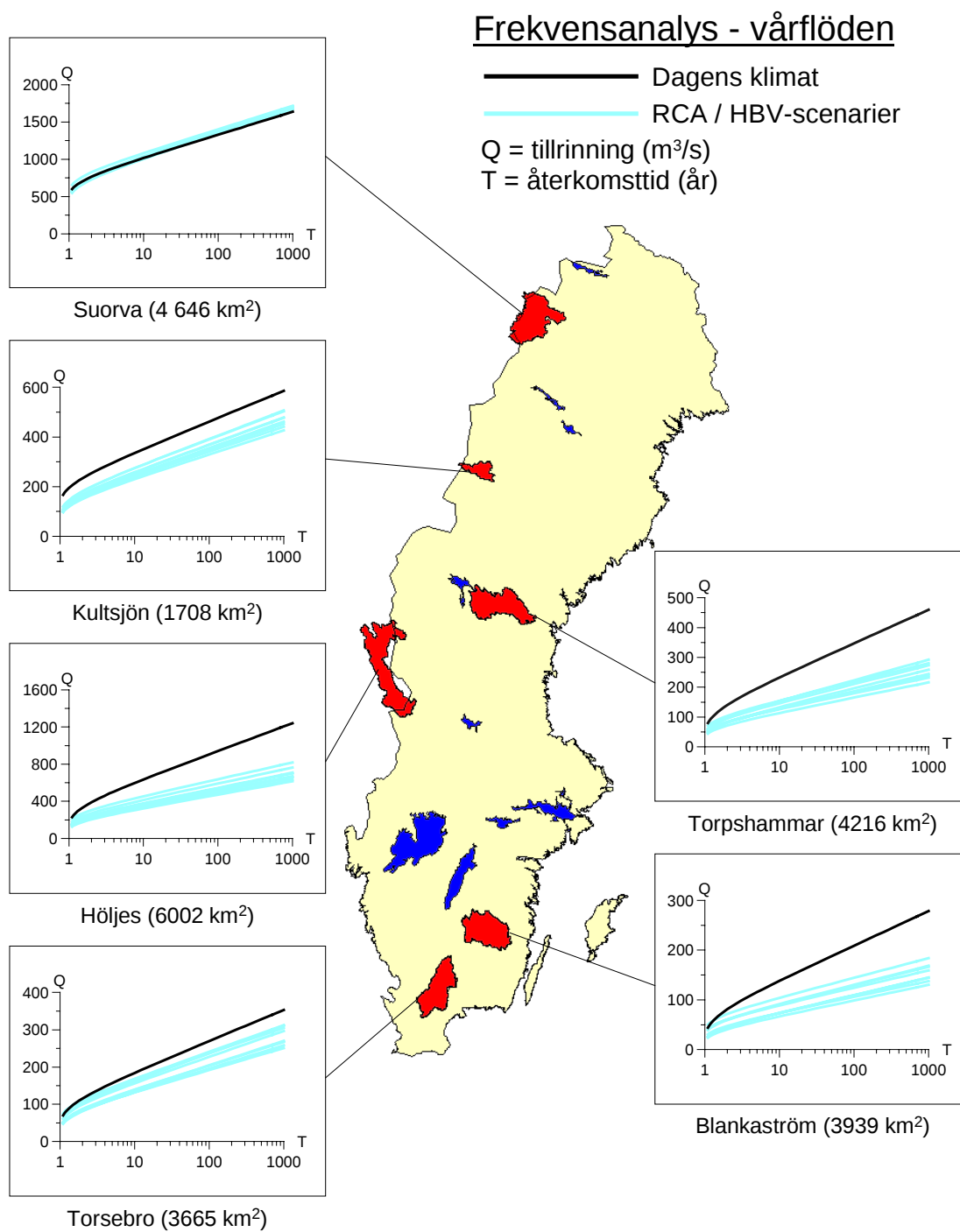
Figur 4.1. Scenarier över framtida vattentillgång i sex avrinningsområden i Sverige enligt de beräkningar som gjorts inom SWECLIM. Avrinningsförändringen anges som genomsnittlig förändring av årscykelns samt som volymförändring i procent.

I tabell 4.1 anges den genomsnittliga procentuella förändringen av årsavrinningen i de olika scenarierna. Generellt sett förväntas vattentillgången öka i norra Sverige och minska i södra Sverige. I de 4 nordliga områdena erhålls i genomsnitt en årlig ökning av avrinningen med mellan 10-25%, medan avrinningen minskar med i genomsnitt 10-20% i de två sydligaste områdena. Spridningen är emellertid betydligt större i de sydligare områdena. De största förändringarna av årsavrinningen erhålls i allmänhet i de simuleringar med HBV-b som baserats på RCA44-H.

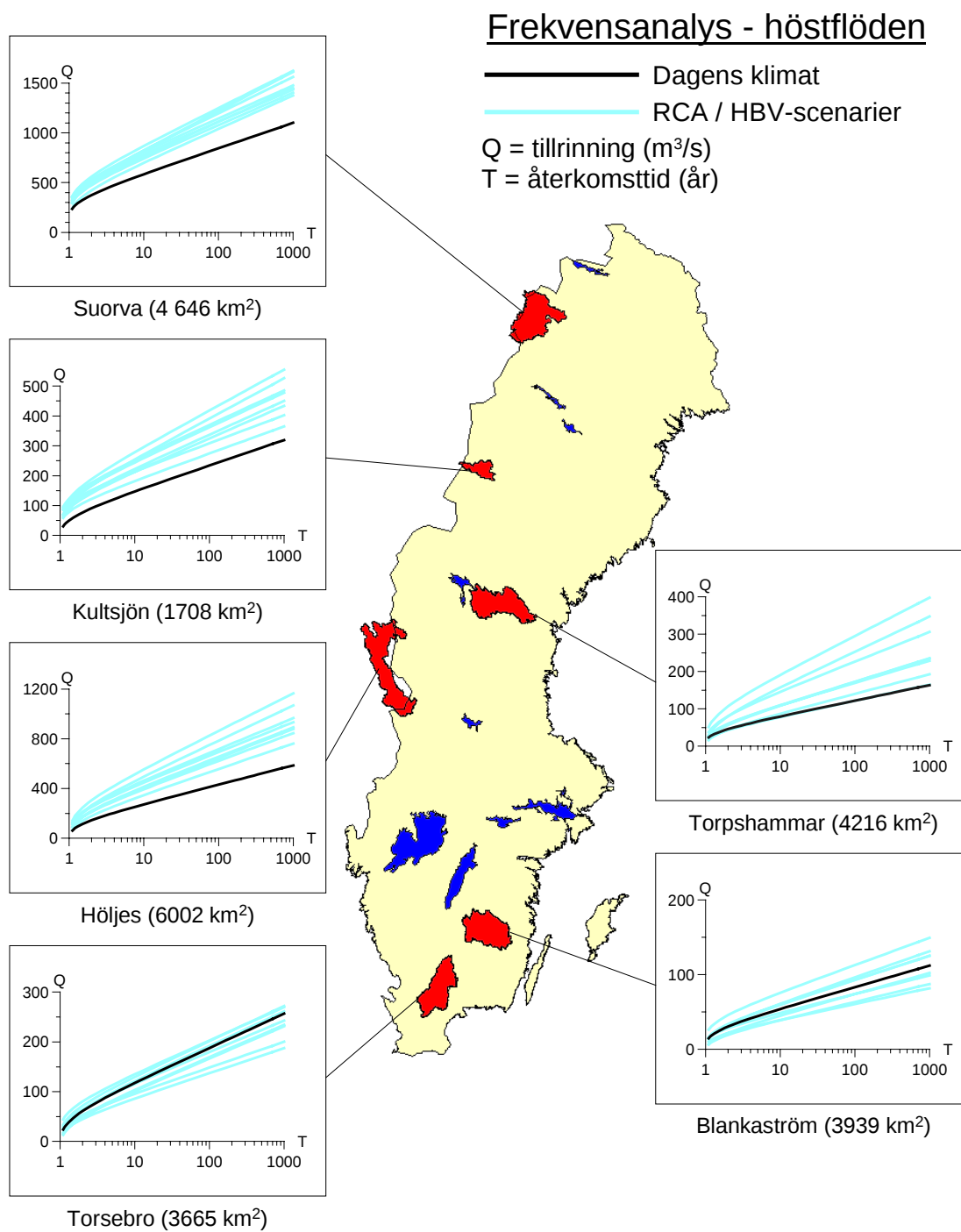
Tabell 4.1. Beräknad procentuell förändring av avrinningen i 6 områden enligt 8 olika scenarier framtagna med hjälp av HBV-modellen. H och E anger scenarier baserade på två olika globala klimatmodeller (HadCM2 respektive ECHAM4). RCA1-88 och RCA1-44 anger olika upplösning på den regionala klimatmodellen (88 km respektive 44 km). HBV-a och HBV-b anger olika metoder att behandla avdunstningen i HBV-modellen. I tabellen redovisas även äldre resultat från det nordiska samarbetsprojektet (Saelthun m fl, 1998).

		RCA1-88		RCA1-44		Nordiska projektet
		HBV-a	HBV-b	HBV-a	HBV-b	
Suorva	H	+25	+30	+29	+33	+10
	E	+23	+28	+18	+28	
Kultsjön	H	+13	+23	+22	+32	+1
	E	+11	+22	+14	+24	
Torpshammar	H	+10	+38	+5	+41	-11
	E	-19	+2	-12	+14	
Höljes	H	+1	+14	+16	+40	-6
	E	-1	+12	+5	+29	
Blankaström	H	-41	-10	-21	+16	-21
	E	-38	-21	-34	-22	
Torsebro	H	-21	+3	-15	+14	-12
	E	-26	-11	-26	-13	

En sammanfattning av resultaten från frekvensanalys av höga flöden i dagens klimat och i det förväntade framtida klimatet visas i figurerna 4.2 och 4.3. Generellt är spridningen av scenariernas frekvenskurvor större för sommar- och höstflöden än för vårfloeden. I tabell 4.2 redovisas procentuell förändring av 100-årsflödet i ett framtida klimat. Av tabellen framgår att vårfloeden med en återkomsttid på 100 år förväntas minska (mellan ca10-50%) i det framtida klimatet i hela landet utom i de allra nordligaste fjällområdena. Motsvarande flöden under sommar och höst ökar i norra Sverige. De största ökningarna återfinns i simuleringarna med HBV-b baserade på RCA44-H. I södra Sverige ger analysen skiftande resultat, men de flesta scenarierna tyder på minskande 100-årsflöden under sommar och höst. I tabell 4.2 anges även återkomsttider för dagens 100-årsflöde i det framtida klimatet. Återkomsttiden för vårfloeden ökar till långt över 100 år i alla områden utom i Suorva, medan återkomsttiden för flöden under resten av året i allmänhet minskar i norra Sverige och ökar i södra Sverige.



Figur 4.2. Frekvensanalys av vårflöden (januari-juli) enligt 8 olika scenariosimuleringar.



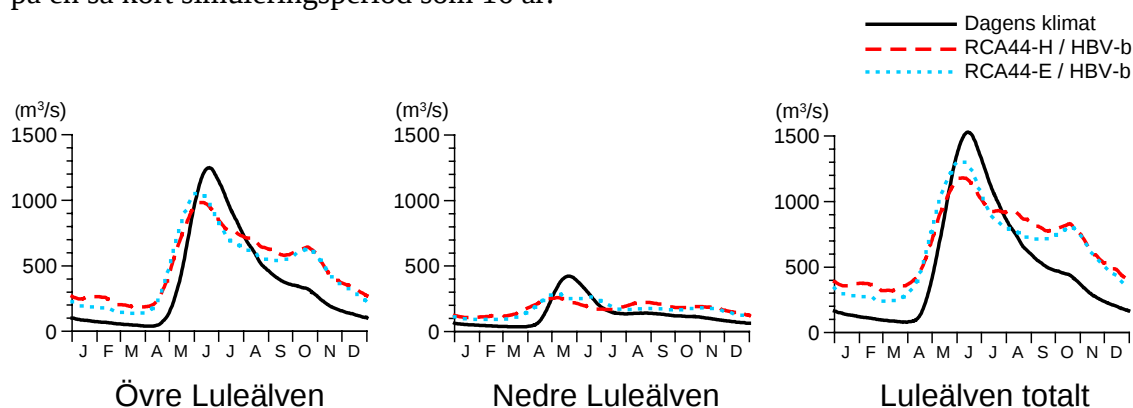
Figur 4.3. Frekvensanalys av höstflöden (augusti-december) enligt 8 olika scenario-simuleringar.

Tabell 4.2. Sammanställning av procentuell förändring av 100-årsflödet och återkomsttider för dagens 100-årsflöde i ett framtida klimat enligt SWECLIMs scenarier. H och E anger scenarier baserade på de globala klimatmodellerna HadCM2 respektive ECHAM4. RCA1-88 och RCA1-44 anger regionala scenarier med den areella upplösningen 88 km respektive 44 km. HBV-a och HBV-b anger två modellversioner av HBV-modellen.

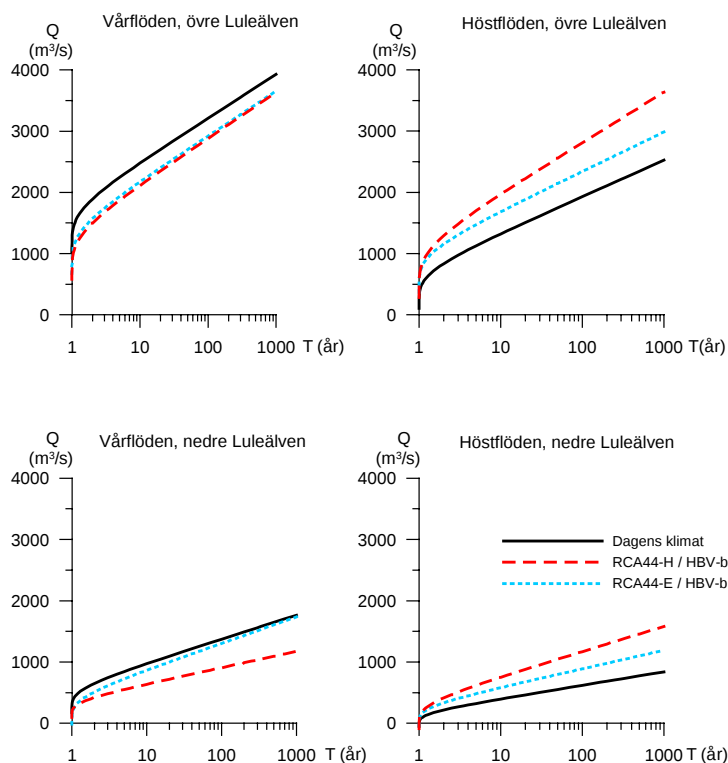
		Förändring av 100-årsflödet (%)				Återkomsttid för dagens 100-årsflöde i det framtida klimatet			
		RCA88		RCA44		RCA88		RCA44	
		HBV-a	HBV-b	HBV-a	HBV-b	HBV-a	HBV-b	HBV-a	HBV-b
Vårflöden (januari-juli):									
Suorva	H	0	0	+2	+2	100	100	80	80
	E	-1	-1	+1	+5	110	110	90	60
Kultsjön	H	-28	-25	-20	-17	>1000	>1000	710	500
	E	-24	-22	-15	-12	>1000	870	400	300
Torpshammar	H	-44	-37	-47	-37	>1000	>1000	>1000	>1000
	E	-51	-46	-43	-36	>1000	>1000	>1000	>1000
Höljes	H	-48	-44	-42	-36	>1000	>1000	>1000	>1000
	E	-46	-43	-43	-31	>1000	>1000	>1000	>1000
Blankaström	H	-51	-35	-49	-28	>1000	>1000	>1000	>1000
	E	-46	-32	-48	-36	>1000	>1000	>1000	>1000
Torsebro	H	-21	-7	-29	-10	700	170	>1000	230
	E	-20	-8	-27	-13	640	190	>1000	320
Sommar- och höstflöden (augusti-december):									
Suorva	H	+31	+36	+45	+49	20	10	10	10
	E	+27	+32	+23	+42	20	20	30	10
Kultsjön	H	+36	+48	+44	+56	20	10	10	5
	E	+13	+28	+17	+31	50	20	40	20
Torpshammar	H	+58	+82	+41	+88	10	5	20	5
	E	-12	+7	0	+41	240	70	100	10
Höljes	H	+27	+40	+50	+92	30	20	10	5
	E	+21	+35	+29	+74	30	20	20	5
Blankaström	H	-33	-5	-11	+21	>1000	140	240	30
	E	-22	-2	-27	0	550	110	>1000	100
Torsebro	H	-23	-8	-21	+1	600	170	570	90
	E	-24	-12	-27	-10	670	230	>1000	210

1.9 Luleälven

I figur 4.4 redovisas den genomsnittliga förändringen av tillrinningen till Luleälvens övre respektive nedre del, samt till Luleälven totalt som erhålls vid HBV-simuleringar baserade på RCA44-H och RCA44-E. Resultaten beskrivs även av Carlsson m fl (2001). Där görs även en historisk jämförelse av samvariationen mellan tillrinning och kraftproduktion (1982-1997). På grund av minskad snöackumulation med mellan 35-40% i den övre delen av avrinningsområdet och med mellan 50-55% i den nedre delen, ger scenarierna en märkbar minskning av vårflödena. I båda delområdena inträffar vårflodens start cirka en månad tidigare i scenarierna än i dagens klimat. Den totala tillrinningsvolymen ökar i båda scenariosimuleringarna. Simuleringen som baserats på RCA44-H ger en ökning med cirka 34% medan RCA44-E ger en ökning med cirka 28%. Frekvensanalys av höga flöden (figur 4.5) visar att i scenarierna minskar återkomsttiden för dagens 100-års höstflöde till storleksordningen 10 år i både övre och nedre delen av området. Denna analys är emellertid mycket osäker eftersom den baserats på en så kort simuleringsperiod som 16 år.



Figur 4.4. Tillrinning till Luleälvens övre respektive nedre del (enligt uppdelningen i figur 3.1.) samt till Luleälven totalt i dagens klimat och enligt två olika klimatscenarier.

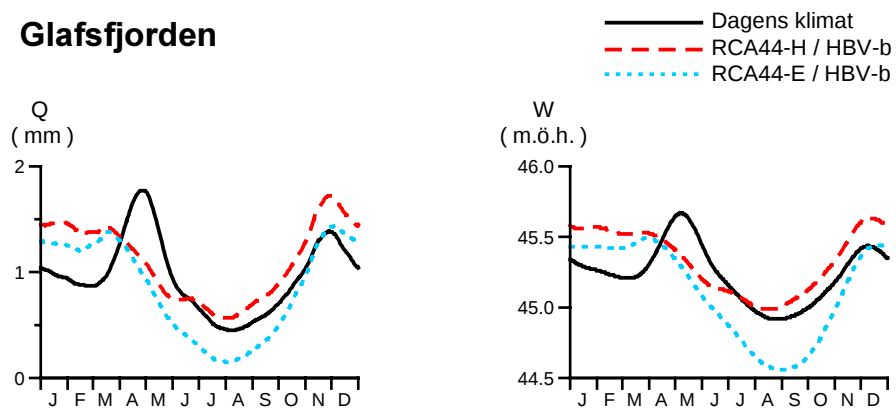


Figur 4.5. Frekvensanalys av vår- och höstflöden i Luleälvens övre och nedre del i dagens klimat och enligt två olika klimatscenarier.

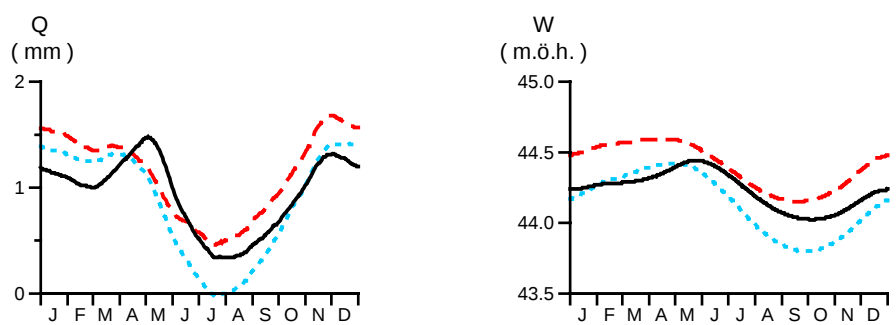
1.10 Vänerområdet

Figur 4.6 visar genomsnittligt inflöde och vattenstånd i Glafs fjorden och Vänern i dagens klimat och enligt simuleringar baserade på två olika klimatscenarier. Resultaten beskrivs även av Andréasson m fl (2001). Nederbörd och avdunstning skiljer sig betydligt åt i de två klimatscenarierna, vilket medför att HBV-simuleringarna i denna region ger skiftande resultat. Det totala nettoinflödet till de båda sjöarna ökar med cirka 15-20% i simuleringarna som baserats på RCA44-H, medan flödet istället minskar med cirka 9-12% i simuleringarna som baserats på RCA44-E. I båda scenarierna minskar emellertid inflödet under våren medan flödet vintertid ökar. Under sommaren ger RCA44-H en liten ökning av inflödet medan RCA44-E ger en tydlig minskning av inflödet. Eftersom vattenstånden även påverkas av avdunstning direkt från sjöytorna, betonas skillnaderna mellan de två scenarierna när vattenstånden jämförs. Genomsnittligt ger RCA44-H en höjning av vattenståndet i Glafs fjorden med cirka 10 cm, medan RCA44-E ger en lika stor sänkning. Även i Vänern påverkas vattenståndet på liknande sätt. Frekvensanalys av inflöden och vattenstånd (figur 4.7 och 4.8) visar minskande risk för höga inflöden och höga vattenstånd under våren i båda scenarierna. Under hösten ger emellertid RCA44-H ökande risk för höga inflöden och vattenstånd, medan RCA44-E ger en något minskad risk även för höstflöden.

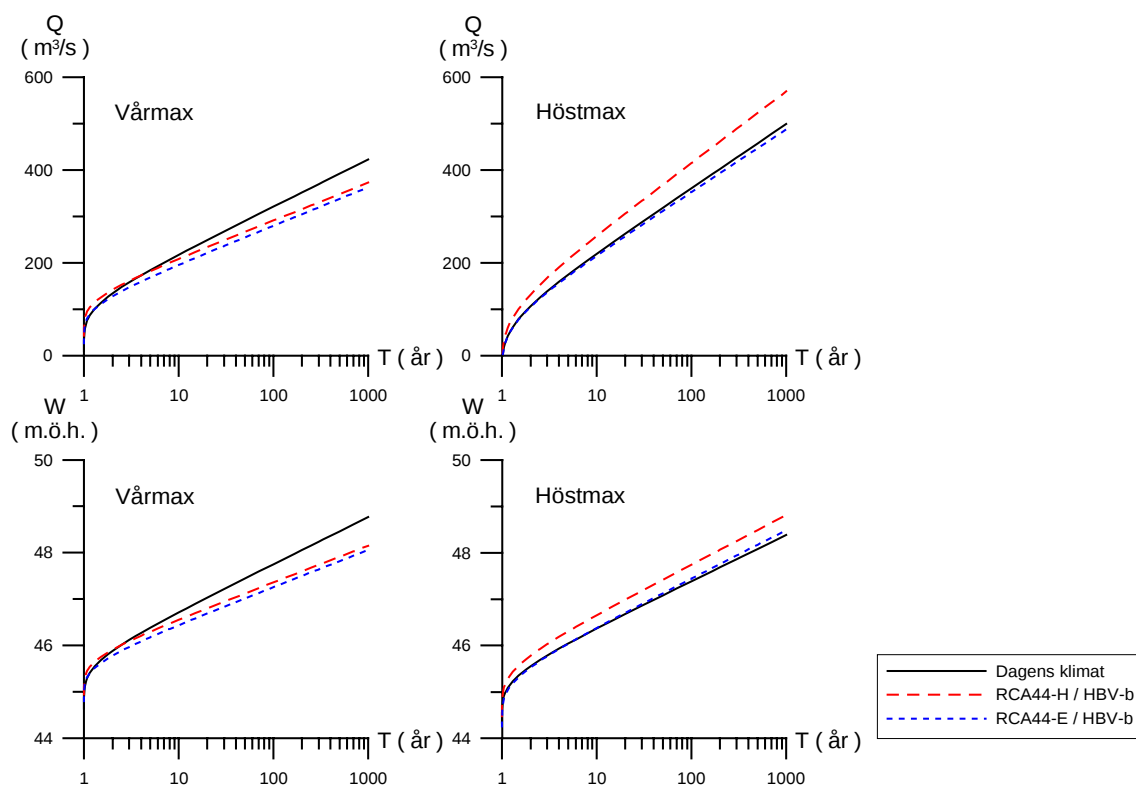
Glafs fjorden



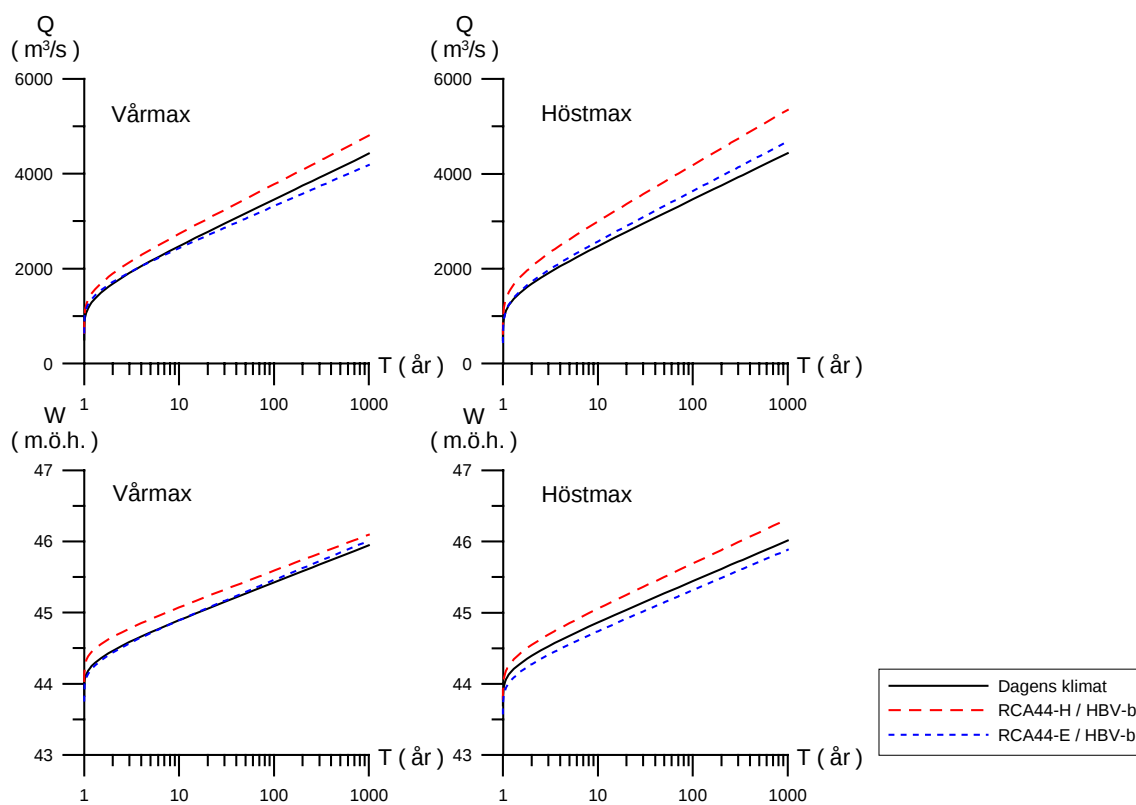
Vänern



Figur 4.6. Inflöde och vattenstånd i Glafs fjorden och Vänern i dagens klimat och enligt två olika klimatscenarier.



Figur 4.7. Frekvensanalys av inflöde och vattenstånd i Glafs fjorden.



Figur 4.8. Frekvensanalys av inflöde och vattenstånd i Vänern.

Diskussion och slutsatser

De vattenresursscenarier som hittills tagits fram inom SWECLIM pekar på tydliga förändringar i flödenas årsrytm, med generellt minskande vårflöden och ökande flöden under resten av året. Resultaten visar även att vårflodens start i allmänhet inträffar tidigare i scenarierna än i dagens klimat. Scenarierna tyder på en allmän ökning av vattentillgången i norra Sverige, medan en minskning av vattentillgången är mer trolig i södra Sverige. I större delen av landet visar scenarierna minskad sannolikhet för höga flöden, framförallt beroende på minskad vårflod. Sannolikheten för kraftiga sommar- och höstflöden ökar dock i norra Sverige.

Osäkerheterna i vattenresursscenarierna är emellertid stora. Förutom de osäkerheter som härrör från de grundläggande antagandena om framtida koldioxidutsläpp och användandet av olika globala och regionala klimatmodeller, finns osäkerheter också i den hydrologiska bearbetningen. En viktig källa till osäkerhet är den metod som används för att överföra klimatmodellens scenarier till den hydrologiska modellen, eftersom klimatets variabilitet och extremvärden i scenarierna är betydelsefulla. I de scenarier som hittills presenterats har antalet nederbördstillfällen antagits vara oförändrat i det framtida klimatet och samma relativa nederbördsförändring har antagits vid såväl små som kraftiga nederbördstillfällen. Metoden för att bestämma avdunstningen i det framtida klimatet har, särskilt i södra Sverige, stor inverkan på beräkningsresultaten. Hänsyn har heller inte tagits till effekter av eventuell förändrad vegetationsutbredning eller förändrade vattenupptag på grund av ökande koldioxidhalt i atmosfären. Vidare tillkommer osäkerheter som beror av t ex parameterintervall i HBV-modellen och val av referensperiod för simuleringarna.

Ett sätt att beskriva några av osäkerheterna i simuleringarna har här varit att redovisa ensembler av flera olika scenarier som baserats på olika beräkningsmetoder. Allmänt sett är spridningen av resultaten, och därmed osäkerheten, större i södra Sverige än i norra Sverige och osäkerheten är särskilt stor när det gäller sommar- och höstflöden. En närmare beskrivning av hur olika osäkerhetsfaktorer påverkar resultaten ges av Gardelin m fl (2001). I tabell 4.1 redovisades även avrinningsförändringar i de sex ursprungliga testområdena från en tidigare klimatstudie (Saelthun m fl, 1998). Detta gjordes för att möjliggöra en jämförelse med tidigare beräknade effekter på den svenska vattenkraftproduktionen, som baserats på dessa avrinningsförändringar. I det framtida arbetet inom SWECLIM och andra klimatforskningsprogram, som t ex det EU-finansierade PRUDENCE, betonas betydelsen av att beskriva osäkerheten i scenarierna genom att använda flera olika globala klimatmodeller som utgångspunkt för vattenresurssimuleringarna. Förhoppningen är också att osäkerheterna i framtiden kan minskas genom att de regionala klimatmodellerna vidareutvecklas på så sätt att det blir möjligt att använda utdata direkt från klimatmodellerna för vattenresursscenarier.

Slutord

De globala klimatscenarierna tillhandahölls av Hadley Centret i Reading och Max-Planck Institutet i Hamburg. De regionala klimatscenarierna producerades vid Rossby Centret på SMHI. Arbetet inom SWECLIM finansieras gemensamt av MISTRA och SMHI. Ekonomiskt stöd till vattenresurssimuleringarna har erhållits från Elforsk, Svenska Kraftnät och Räddningsverket.

Referenser

- [1] Andréasson, J., Gardelin, M. och Bergström, S. (2002) Modelling hydrological impacts of climate change in the Lake Vänern region in Sweden. VATTEN 58, 25-32
- [2] Arnell, N.W. (1999) The effect of climate change on hydrological regimes in Europe: a continental perspective. Glob Environ Change 9, 5-23
- [3] Bergström, S. (1995) The HBV model. I: Singh VP (ed) Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, 443-476
- [4] Bergström, S., Carlsson, B., Gardelin, M., Lindström, G. och Pettersson, A. (2000) Water resources simulations based on climate change scenarios within SWECLIM. XXI Nordic Hydrological Conference. NHP Report No. 46, 315-322
- [5] Bergström, S., Carlsson, B., Gardelin, M., Lindström, G., Pettersson, A. och 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
- [6] Carlsson, B., Gardelin, M., Lindström, G. och Bergström, S. (2001) Climate change and hydropower production in Northern Sweden. Northern Research Basins 13th International Symposium and Workshop – Finland/Russia, 19-24 augusti 2001
- [7] Eriksson, B. (1981) Den potentiella evapotranspirationen i Sverige. SMHI RMK Nr. 28, Norrköping
- [8] Gardelin, M., Bergström, S., Carlsson, B., Graham, L.P. och Lindström, G. (2002) Climate change and water resources in Sweden – analysis of uncertainties. I: Beniston, M. (ed), Climatic Change - Implications for the Hydrological Cycle and for Water Management, Advances in Global Change Research, Kluwer Academic Publishers, 189-207
- [9] IPCC (2001) Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds: Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K. och Johnson, C.A. Cambridge University Press. Cambridge och New York
- [10] Johns, T.C., Carnell, R.E., Crossley, J.F., Gregory, J.M., Mitchell, J.F.B., Senior, C.A., Tett, S.F.B. och Wood, R.A. (1997) The second Hadley Centre coupled ocean-atmosphere GCM: model description, spinup and validation. Clim Dyn 13, 103-134
- [11] Kaczmarek, Z., Strzepek, K.M., Somlyódy, L. och Priazhinskaya, V. (Eds) (1996) Water Resources Management in the Face of Climatic/Hydrologic Uncertainties. Water Science and Technology Library. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- [12] Källén, E. (ed) (1996) HIRLAM documentation manual. System 2.5, Norrköping
- [13] Lindström, G. (1997) A simple automatic calibration routine for the HBV model. Nord Hydrol 28, 153-168

-
- [14] Lindström, G., Gardelin, M. och Persson, M. (1994) Conceptual modelling of evapotranspiration for simulations of climate change effects. SMHI RH 10, Norrköping
 - [15] Lindström, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M. och Bergström, S. (1997) Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model. J Hydrol 201, 272-288
 - [16] Lemmelä, R. och Helenius, N. (eds) (1998) Proceedings of the Second International Conference on Climate and Water, Espoo, Finland, 17-20 augusti
 - [17] Lettenmaier, D.P., Wood, A.W., Palmer, R.N., Wood, E.F. och Stakhiv, E.Z. (1999) Water resources implications of global warming: A U.S. regional perspective. Climatic Change 43, 537-579
 - [18] Oberhuber, J.M. (1993a) Simulation of the Atlantic circulation with a coupled sea ice-mixed layer-isopycnal general circulation model. Part I: Model description. J Phys Oceanogr 23, 808-829
 - [19] Oberhuber, J.M. (1993b) The OPYC ocean general circulation model. Tech. Rep., 7, Deutsches Klimarechenzentrum GmbH, Hamburg
 - [20] Roeckner, E., Arpe, K., Bengtsson, L., Christoph, M., Claussen, M., Dümenil, L., Esch, M., Giorgetta, M., Schlese, U. och Schulzweida, U. (1996) The atmospheric general circulation model ECHAM-4: Model description and simulation of present-day climate. Max-Planck-Institut für Meteorologie, Report No 218, Hamburg
 - [21] Rummukainen, M., Bergström, S., Källén, E., Moen, L., Rodhe, J. och Tjernström, M. (2000) SWECLIM – The first three years. SMHI RMK, Nr. 94, Norrköping
 - [22] Rummukainen, M., Räisänen, J., Bringfelt, B., Ullerstig, A., Omstedt, A., Willén, U., Hansson, U. och Jones, C. (2001) A regional climate model for northern Europe - model description and results from the downscaling of two GCM control simulations. Clim Dyn 17, 5/6, 339-359
 - [23] Saelthun, N.R., Aittoniemi, P., Bergström, S., Einarsson, K., Jóhannesson, T., Lindström, G., Ohlsson, P.-E., Thomsen, T., Vehviläinen, B. och Aamodt, K.O. (1998) Climate change impacts on runoff and hydropower in the Nordic countries. Final report from the project "Climate Change and Energy Production" Tema Nord 1998, 552, Oslo
 - [24] Saelthun, N.R., Bergström, S., Einarsson, K., Jóhannesson, T., Lindström, G., Thomsen, T. och Vehviläinen, B. (1999) Potential impacts of climate change on floods in Nordic hydrological regimes. I: P. Balabanis, A. Bronstert, R. Casale och P. Samuels (Eds), Proceedings from the Ribamod - River Basin Modelling, Management and Flood Mitigation Concerted Action - Final Workshop. Wallingford, UK, 26-27 februari 1998, 103-115
 - [25] Vehviläinen, B. och Huttunen, M. (1997) Climate change and water resources in Finland. Boreal Environment Research 2, 3-18

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS – 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