



Översiktlig kartpresentation av klimatförändringars påverkan på Sveriges vattentillgång

- Underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen

**Johan Andréasson, Sara-Sofia Hellström, Jörgen Rosberg och
Sten Bergström**

**Översiktlig kartpresentation av
klimatförändringars påverkan på
Sveriges vattentillgång**
- Underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen

**Johan Andréasson, Sara-Sofia Hellström, Jörgen Rosberg
och Sten Bergström**

Report Summary / Rapportsammanfattning

Issuing Agency/Utgivare Swedish Meteorological and Hydrological Institute SE-601 76 NORRKÖPING Sweden		Report number/Publikation Hydrologi nr. 106	
		Report date/Utgivningsdatum Oktober 2007	
Author (s)/Författare Johan Andréasson, Sara-Sofia Hellström, Jörgen Rosberg och Sten Bergström			
Title (and Subtitle)/Titel Översiktlig kartpresentation av klimatförändringars påverkan på Sveriges vattentillgång - Underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen Summary of climate change maps of the Swedish water resources - Background material for the Swedish Commission on Climate and Vulnerability			
Sammanfattning Den här rapporten sammanfattar det hydrologiska kartmaterial över förändring i medelavrinning, höga flöden och vattenkraftspotential som har levererats till den statliga Klimat- och sårbarhetsutredningen. Beräkningarna som ligger till grund för kartmaterialet har utförts med modellsystemet HBV Sverige. Dagens klimat har baserats på observerad temperatur och nederbörd för perioden 1961-1990. Beräkningar av hydrologiska förhållanden i framtidens klimat har baserats på resultat från regional klimatmodellering vid Rossby Centre på SMHI. Sammantaget har hydrologiska beräkningar genomförts för fem olika framtidsscenarier, fyra beräkningar för perioden 2071-2100 och en beräkning för hela perioden 1961-2100. I detta arbete har två olika metoder för att omsätta klimatmodellresultaten till hydrologiska effekter använts, delta-metoden och scaling-metoden. Medelavrinningen kommer enligt scenarierna att öka för större delen av Sverige, med undantag för de sydöstra delarna av landet. Vad det gäller höga flöden är bilden mer komplex, men i sydvästra Sverige och fjällen blir, enligt scenarierna, höga flöden betydligt vanligare. Vattenkraftspotentialen förväntas enligt scenarierna att öka avsevärt för Sverige som helhet. Alla resultat från HBV Sverige ska i första hand användas för en översiktlig tolkning och identifiering av var fördjupade studier kan vara av särskilt behov. Beräkningarna baserade på den s.k. scaling-metoden är mer preliminära än de övriga beräkningarna eftersom metoden fortfarande är under utveckling.			
Abstract This report summarizes the water resource maps of changes in mean annual runoff, large floods and hydropower potential that have been delivered to the Swedish Commission on Climate and Vulnerability. The hydrological model simulations that have been used to produce the maps were done using the HBV Sweden modelling system. Simulations for present climate used observed input of precipitation and temperature from 1961-1990. Calculations of future hydrological conditions were based on results from regional climate modelling at the Rossby Centre, SMHI. Five different regional scenarios of future climate have been used, four representing the future period 2071-2100 and one for the whole period 1961-2100. Two different approaches to interface the hydrological model and the climate models have been used, the delta method and the scaling method. The mean annual runoff will, according to the scenarios, increase for most parts of Sweden except for the south-east parts of the country. The picture becomes more complex when it comes to changes in large floods, but they are expected to increase substantially in the south-west parts and in the Swedish mountains according to the scenarios. The total Swedish hydropower potential is expected to increase substantially according to the scenarios. All results from HBV Sweden should only be used for a general interpretation of where more in depth analyses might be of interest. The simulations based on the so-called scaling method are more preliminary than the other simulations, since the method is still under development.			
Key words/sök-, nyckelord Klimat- och sårbarhetsutredningen, HBV Sverige, klimatförändringar, vattentillgång, höga flöden, vattenkraftspotential, kartpresentation			
Supplementary notes/Tillägg		Number of pages/Antal sidor 15	Language/Språk Swedish/Svenska
ISSN and title/ISSN och titel ISSN-0283-7722 SMHI Hydrologi			
Report available from/Rapporten kan köpas från: SMHI SE-601 76 NORRKÖPING Sweden			

FÖRORD	1
1. MODELLREDSKAP	1
1.1 KLIMATSCENARIER FÖR SVERIGE	1
1.2 HBV SVERIGE.....	1
1.3 SMHI HYDRO – ENERGI SVERIGE	2
2. FRÅN KLIMATMODELL TILL HYDROLOGISK MODELL	2
2.1 DELTA-METODEN	3
2.2 SCALING-METODEN	3
3. HYDROLOGISKA BEGREPP.....	4
4. RESULTAT	5
4.1 FÖRÄNDRING I AVRINNING	5
4.2 FÖRÄNDRING I HÖGA FLÖDEN	8
4.3 FÖRÄNDRING I VATTENKRAFTPOTENTIAL	11
5. DISKUSSION OCH SLUTSATSER	13
6. REFERENSER.....	14

Förord

SMHI har under flera år arbetat med att utveckla metodiker för att omsätta utdata från klimatmodeller till indata för hydrologisk modellering. Huvudsakligen har två metoder använts, delta-metoden och scaling-metoden, med olika styrkor och svagheter. Som grund för den hydrologiska modelleringen ligger HBV-modellen som är den operationella hydrologiska modellen som används och har utvecklats vid SMHI. Resultaten som presenteras i rapporten har tagits fram inom flera olika projekt och finns delvis tidigare publicerade i t.ex. Andréasson m.fl., 2004, Bergström m.fl., 2006, Carlsson m.fl., 2006, Andréasson, 2006 och Andréasson m.fl., 2006.

Intresset för klimatets förändring och de hydrologiska konsekvenserna är stort och efterfrågan på information har ökat, speciellt i och med att den statliga Klimat- och sårbarhetsutredningen genomfördes. Vi har därför i denna rapport sammanställt en del av det forskningsmaterial som finns idag och som belyser kunskapsläget. Rapportens syfte är också att underlätta tolkningen av det presenterade kartmaterialet.

1. Modellredskap

1.1 Klimatscenarier för Sverige

Som grund för beräkningarna av hur Sveriges vattentillgång kan komma att påverkas av ett ändrat klimat har regionala klimatscenarier från Rossby Centre, SMHI använts. Dessa klimatberäkningar har hämtats från två olika versioner av den regionala klimatmodellen RCAO (Döscher m.fl., 2002) och RCA3 (Kjellström m.fl., 2005). RCAO är den tidigare av de två versionerna och inkluderar en koppling till Östersjömodellen RCO. RCA3 är en vidareutveckling av RCAO, framförallt vad det gäller markschemat i modellen och parametrisering molnfysiken, men saknar koppling till RCO. Båda dessa regionala modellversioner drivs på ränderna av data från globala klimatmodeller, vilka använder grövre upplösning. Anledningen till att man arbetar på detta sätt är att det vore alltför beräkningskrävande att tillämpa en modell med regional upplösning över hela jordklotet.

Två olika globala klimatmodeller har använts för att driva de regionala nedskallningarna, HadAM3H (Gordon m.fl., 2000) från Hadley Centre och ECHAM4/OPYC3 (Roeckner m.fl., 1999) från Max-Planck Institute. Klimatmodellerna har använt två olika utsläppsscenarier för simuleringarna, A2 och B2, dessa är specificerade i IPCC:s Special Report on Emission Scenarios (Nakićenović m.fl., 2002). Ett mycket omfattande kartmaterial med analyser av de klimatmodellsimuleringar som har använts även för de hydrologiska effektstudierna har tagits fram av Rossby Centre på uppdrag av Klimat- och sårbarhetsutredningen (Persson, m.fl., 2007)

1.2 HBV Sverige

Den hydrologiska avrinningsmodell som använts är HBV-modellen som utvecklades vid SMHI i början av 70-talet (se Bergström, 1976). Vidareutveckling av modellen har sedan dess skett fortlöpande (c.f. Lindström m.fl. 1997). HBV-modellen är semi- distribuerad

vilket innebär att avrinningsområdet delas in i delområden inom vilka höjder och vegetationszoner (skog, öppet landskap, sjöar och glaciärer) klassificeras. Vidare är modellen konceptuell, dvs. en kombination av en fysikalisk och empirisk modell, där fysikaliska lagar används i förenklad form.

HBV-modellen har en enkel struktur och är i grunden uppbyggd av tre huvudmoduler, en för beräkning av snösmältning och snöackumulation, en för beräkning av markfuktighet och den tredje rutinen för beräkning av vattnets vägar genom grundvatten, vattendrag och sjöar. Genom kalibrering bestäms värden för ett antal fria parametrar. Andra parametrar som beskriver områdets karaktär och dess klimat hålls konstanta under kalibreringen. Förutom nederbörd och temperatur behövs även potentiell avdunstning för att driva HBV-modellen. HBV Sverige delar in landet i 1001 delavrinningsområden inom vilka avrinningen beräknas (genomsnittlig storlek på delavrinningsområdena är ca 450 km²). Avrinningen från dessa områden läggs samman (routing) för att representera avrinningen i hela älvar. Denna routing inkluderar även beskrivning av regleringar i sjöar och vattenmagasin. I samtliga resultat som redovisas i denna rapport så har inte denna routing använts utan resultaten gäller för varje enskilt delavrinningsområde (lokal avrinning). Anledningen till att routingen inte använts är att regleringarna är anpassade till dagens klimatförhållanden och därför inte fungerar i ett klimat med förändrad hydrologisk säsongsvariation.

1.3 SMHI Hydro – Energi Sverige

SMHI Hydro – Energi Sverige är en modell för beräkning av total energitillrinning till alla större älvar i det svenska vattenkraftssystemet. Modellen används på SMHI för operationella prognoser över tillrinning, samt snö och markvattentillstånd i GWh. I denna studie har den istället använts för att beräkna förändringen i framtida vattenkraftpotential enligt regionala klimatscenarier. Modellen drivs av hydrologiska simuleringar från HBV Sverige.

2. Från klimatmodell till hydrologisk modell

För att omsätta klimatmodellens resultat till hydrologiska effekter krävs ett gränssnitt mellan klimatmodellen och den hydrologiska modellen, där justeringar görs av den regionala klimatmodellens utdata. Anledningen till denna justering är att klimatmodellerna ännu inte klarar att beskriva det nutida klimatet tillräckligt väl för att resultera i en trovärdig hydrologisk respons.

För att överföra klimatsignalen från den regionala modellen till den hydrologiska modellen har två olika metoder använts, delta-metoden för time-slice scenarier (dvs. uppdelade 30-årsperioder, 1961-1990 och 2071-2100) och scaling-metoden för det kontinuerliga scenariot (dvs. en sammanhängande tidsperiod från 1961-2100).

2.1 Delta-metoden

I den så kallade delta-metoden (figur 1), utgår man från skillnaden mellan klimatmodellens kontrollsimulering, vilken motsvarar dagens klimat (1961-1990), och scenariosimuleringen, som svarar mot ett framtida klimat (2071-2100). Skillnaden från klimatmodellen, i de hydrologiskt mest relevanta variablerna, nederbörd, temperatur och potentiell avdunstning, kombineras med en observerad databas för att skapa drivdata till den hydrologiska modellen, som gäller för ett framtida klimat.

Förändringen i nederbörd hanteras rättframt. Den procentuella förändringen, som erhållits från analysen av klimatmodellens resultat, används för att månadsvis justera den observerade nederbörden. Denna ansats innebär att ingen hänsyn tas till förändringar i antalet nederbördsdagar och inte heller till om nederbördsintensiteten förändras på olika sätt.

Vad det gäller förändringar i temperatur så har dessa gjorts på ett mer sofistikerat sätt. Analyser av klimatmodellens resultat visar att låga temperaturer förändras mer än höga temperaturer. Överföringen av temperaturförändringen görs därför via månadsvisa linjära samband som förändrar temperaturen olika beroende på den aktuella dagens temperatur. Vid låga temperaturer blir därmed ökningen större än vid höga temperaturer.

Överföringen av förändring i potentiell avdunstning har gjorts med en tvåstegsmetod. Först extraheras den absoluta skillnaden i potentiell avdunstning för varje månad och den relativa skillnaden på årsbasis från klimatmodellen. Månadsskillnaden adderas till en tidsserie över potentiell avdunstning som har beräknats via temperaturobservationer. Därefter justeras denna förändrade avdunstningsserie på så sätt att den relativa skillnaden mellan kontroll- och scenariodata på årsbasis blir lika stor som skillnaden mellan kontroll- och scenariosimulering i klimatmodellen.

2.2 Scaling-metoden

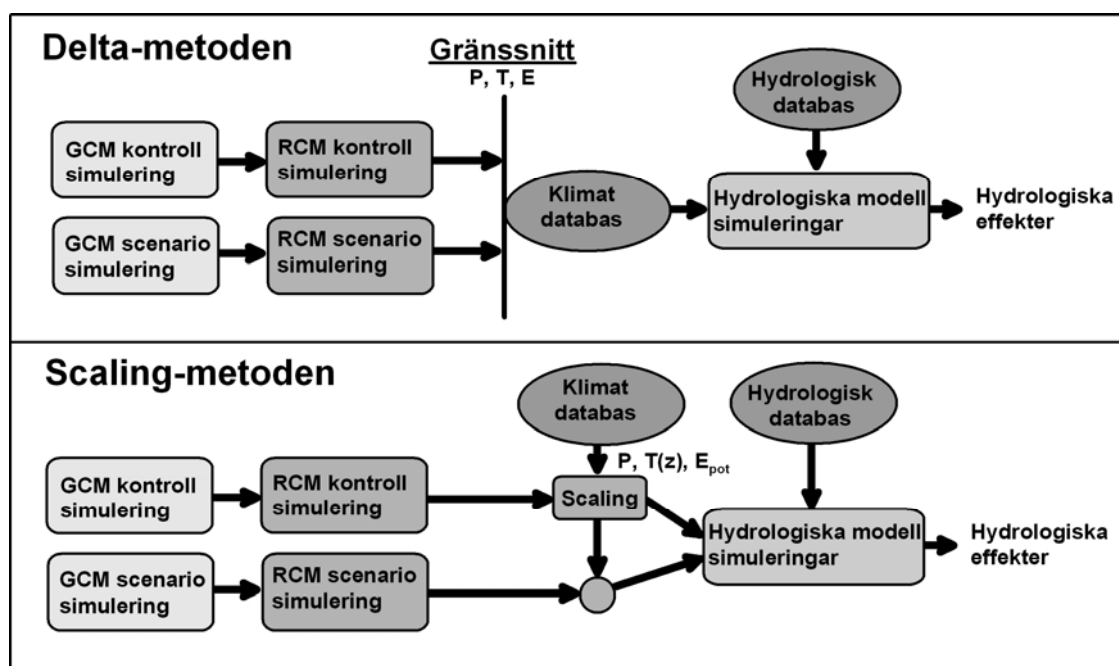
Den andra metoden som använts för att omsätta klimatmodellens resultat till hydrologiska effekter är den så kallade scaling-metoden (figur 1). Denna metod bygger på att modellresultat från klimatmodellen används mer direkt i den hydrologiska modellberäkningen. Istället för att justera observationer så att de beskriver ett framtida klimat enligt klimatmodellen, så används observationerna till att justera klimatmodellens resultat till nivåer som överensstämmer bättre med observationer. Scaling-metoden bibehåller den variabilitet, och även de förändringar i variabilitet, som ges av klimatmodellen.

För att erhålla en realistisk hydrologisk respons måste nederbörden från den regionala klimatmodellen ha liknande egenskaper som observerad nederbörd. När modellerad nederbörd från klimatmodellen jämfördes med areell nederbörd för respektive delområde i den hydrologiska modellen, visade det sig att klimatmodellen överskattar antalet nederbördsdagar. Till viss del beror detta på att i klimatmodellen används en annan upplösning än i den observerade areella nederbördsdatabasen, 2500 km² jämfört med ca 450 km². Klimatmodellen faller även ut regn vid fler tillfällen än det finns i observerade

data. För att få samma antal dagar med nederbörd i klimatmodellens kontrollklimat som i observationer, infördes en tröskel under vilken all nederbörd sattes till noll (cirka 0.5 mm/dygn). Nästa steg i justeringen var en intensitetsberoende skalering av den modellerade nederbörden så att samma antal dagar med en viss intensitet uppnåddes. Denna skalering gjordes för 20 intensitetsklasser av nederbörd.

För temperatur och potentiell avdunstning gjordes justeringarna på ett mer direkt sätt. Jämförelser med observationer användes för att justera klimatmodellens resultat under kontrollperioden så att korrekta månadsmedelvärden erhöles för dessa variabler.

För alla variabler (nederbörd, temperatur och potentiell avdunstning) antogs samma korrekationer, som beräknats för den överlappande tidsperioden mellan observationer och klimatmodell (kontrollsimuleringarna), gälla även för senariosimuleringarna.



Figur 1. Schematisk beskrivning av de två olika metoderna för att överföra modellresultat från klimatmodellsimuleringar till den hydrologiska modellen.

3. Hydrologiska begrepp

Med ett flödes återkomsttid menas att det inträffar eller överträffas i genomsnitt en gång under denna tid. Det innebär att sannolikheten för exempelvis ett 100-årsflöde är 1 på 100 för varje enskilt år. Eftersom man exponerar sig för risken under flera år blir den ackumulerade sannolikheten avsevärd, vilket visas i tabell 1. Om frekvensen av 100-årsflödet skulle ändras så att det istället blir ett 20-årsflöde innebär det att sannolikheten för ett sådant flöde under en 100-årsperiod ändras från 63 % till 99 %.

Tabell 1. Sambandet mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikhet i procent

Återkomsttid (år)	Sannolikhet under 20 år (%)	Sannolikhet under 100 år (%)
20	64	99
50	33	87
100	18	63
500	4	18

4. Resultat

Resultaten som presenteras på kartform visar dels förändringar i långtidsmedel över avrinning och dels förändringar i frekvensen av höga flöden. Alla kartor baseras på beräkningar av den lokala avrinningen från HBV Sverige som har gjorts med fyra olika klimatscenarier för perioden 2071-2100 jämfört med perioden 1961-1990. För dessa beräkningar har delta-metoden använts. De använda klimatscenarierna är RCAO-E/A2, RCAO-E/B2, RCAO-H/A2 och RCAO-H/B2, där RCAO är Rossby Centres regionala klimatmodell, E står för den globala klimatmodellen ECHAM4/OPYC3 och H står för den globala klimatmodellen HadAM3H. Beteckningarna A2 och B2 är de två använda utsläppsscenarierna specificerade i IPCC:s Special Report on Emission Scenarios (SRES).

Utöver dessa fyra scenarier, för perioden 2071-2100, har även en kontinuerlig (transient) klimatsimulering för hela tidsperioden 1961-2100 använts. För denna beräkning har scaling-metoden använts. Denna simuleringen baseras på Rossby Centres regionala modell RCA3, den globala modellen ECHAM4/OPYC3 och utsläppsscenariot B2 (RCA3-E/B2).

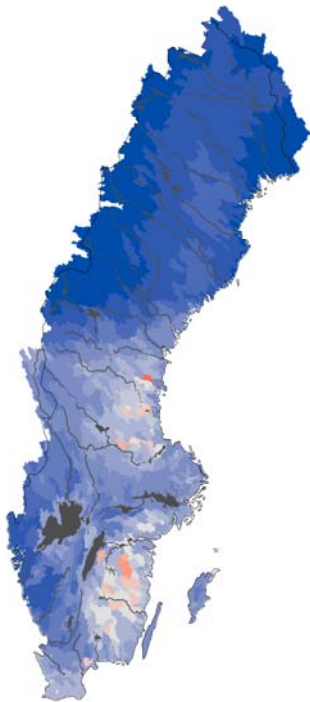
4.1 Förändring i avrinning

Kartorna som visar avrinningens medelförändring utgör ett mått på hur den totala vattentillgången förändras, men de ger ingen närmare information om hur denna förändring fördelar sig över året. Generellt kan sägas att ökningarna i avrinningen (vattentillgången) är störst vintertid och att minskande avrinning, i förekommande fall, är störst sommartid på grund av ökande avdunstning.

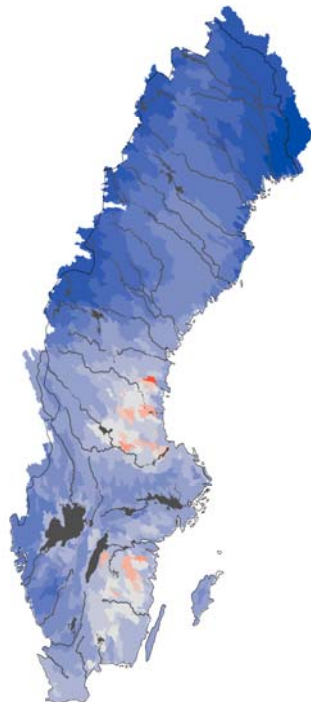
I figur 2 redovisas den lokala avrinningens procentuella förändring enligt fyra scenarier för perioden 2071-2100 jämfört med dagens situation (1961-1990). I figur 3 redovisas den lokala avrinningens procentuella förändring, för fyra framtida 30-årsperioder jämfört med dagens situation (1961-1990), baserat på den kontinuerliga klimatsimuleringen.

Samtliga scenarier pekar på en ökande genomsnittlig vattentillgång för landet som helhet, men med stora regionala skillnader. Norra och sydvästra Sverige får ökande avrinning enligt samtliga scenarier medan sydöstra Sverige ser ut att få torrare förhållanden enligt simuleringarna baserade på RCAO-HadAM3H och RCA3-ECHAM4/OPYC3.

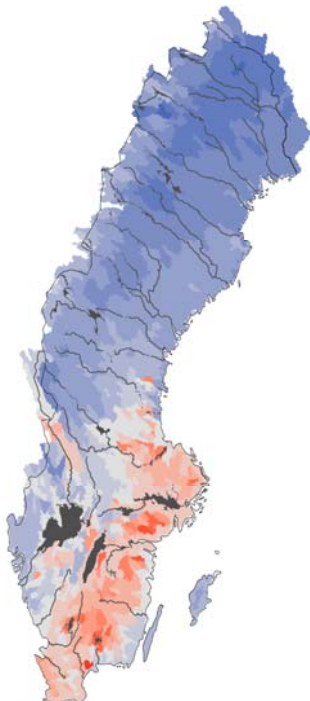
RCAO-E/A2



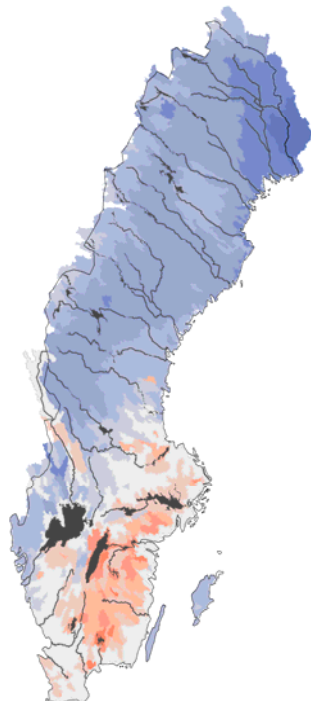
RCAO-E/B2



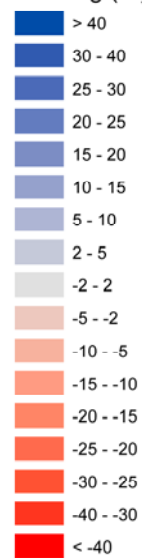
RCAO-H/A2



RCAO-H/B2

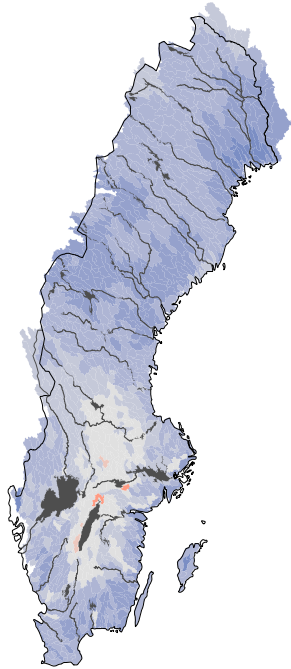


Förändring i
avrinning (%)

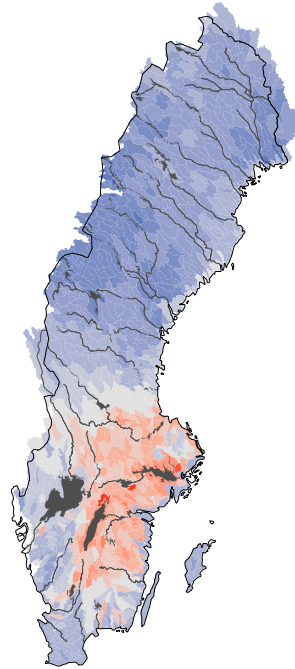


Figur 2. Förändring i avrinning från Sverige för perioden 2071-2100 jämfört med 1961-1990, enligt fyra olika regionala klimatscenarier tolkade genom HBV Sverige med delta-metoden.

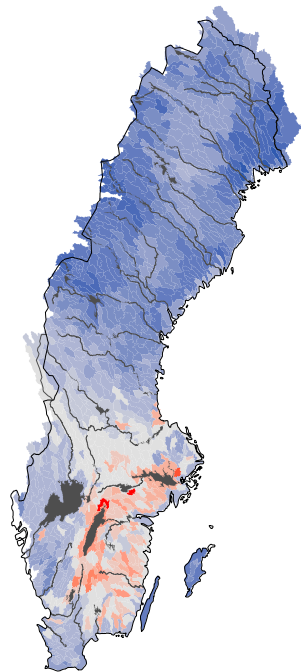
1981-2010



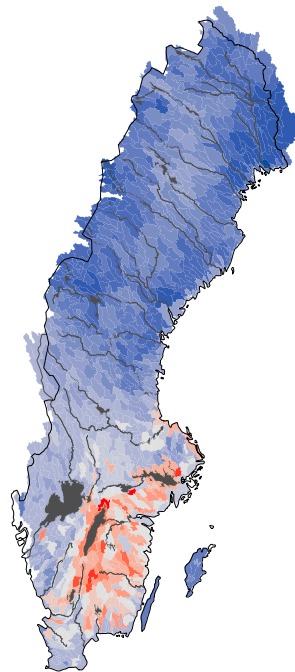
2011-2040



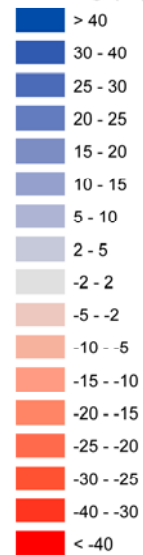
2041-2070



2071-2100



Förändring i
avrinning (%)



Figur 3. Förändring i avrinning från Sverige för fyra framtida tidsperioder jämfört med perioden 1961-1990 enligt scenariot RCA3-E/B2 tolkat med HBV Sverige och scaling-metoden.

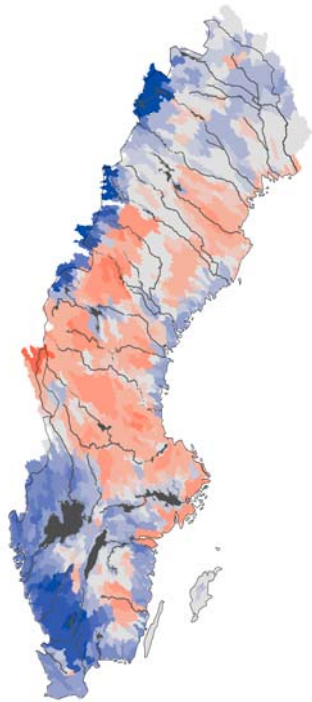
4.2 Förändring i höga flöden

Kartorna över förändringar i höga flöden utgör ett mått på extrema hydrologiska situationer som kan vara viktiga för t.ex. dimensioneringsfrågor och bedömning av översvämningsrisker.

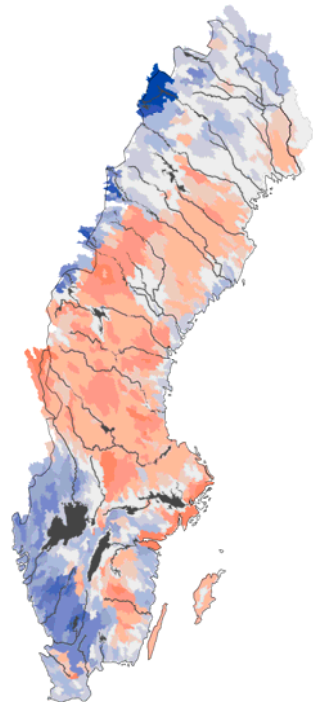
Resultaten från de fyra simuleringarna för perioden 2071-2100 har använts för en statistisk analys av de högsta simulerade flödena. För frekvensanalysen användes den statistiska Gumbelfördelningen, ibland även kallad Extreme Value Type I. Dessa analyser har jämförts med resultat från referenssimuleringen för perioden 1961-1990. Den procentuella förändringen i 100-årsflöden gällande lokal avrinning redovisas i figur 4 på kartformat på samma sätt som förändringskartorna för lokal avrinning. Med lokal avrinning avses avrinningen från varje delavrinningsområde med en genomsnittlig storlek av ca 450 km². Detta innebär att förändringar av höga flöden i större vattendrag inte enkelt kan utläsas från kartorna eftersom de endast visar det lokala bidraget till avrinningen i varje punkt. I figur 5 visas, istället för procentuell ändring, vilken återkomsttid dagens 100-årsflöde skulle motsvara i ett framtida klimat enligt de fyra klimatscenarierna. Figur 6 ger en sammanfattande bild av den kortaste respektive längsta återkomsttid som dagens 100-årsflöde motsvarar i ett framtida klimat, enligt en sammanslagen analys av de fyra klimatscenarierna.

Förändringarna i återkomsttider varierar mellan scenarierna och över landet. Samtliga simuleringar pekar dock på att höga flöden blir vanligare i sydvästra Sverige och i fjällen.

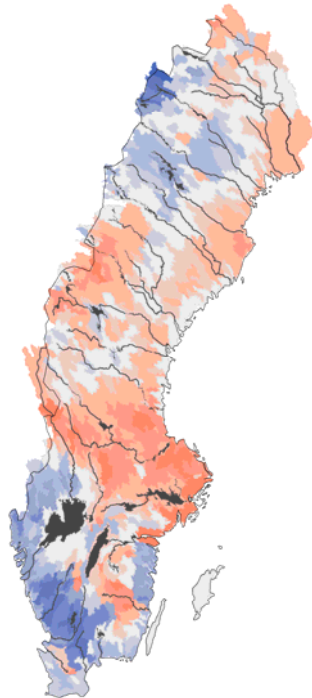
RCAO-E/A2



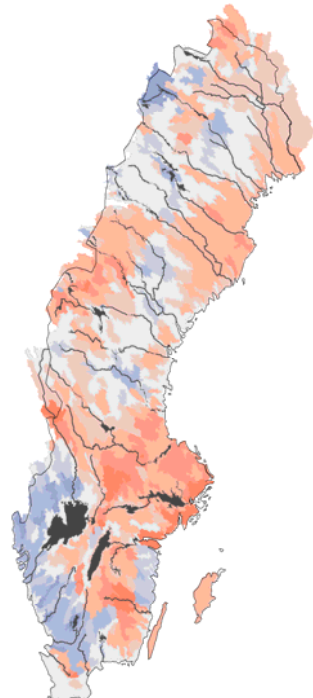
RCAO-E/B2



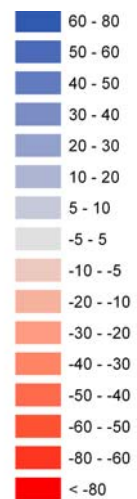
RCAO-H/A2



RCAO-H/B2

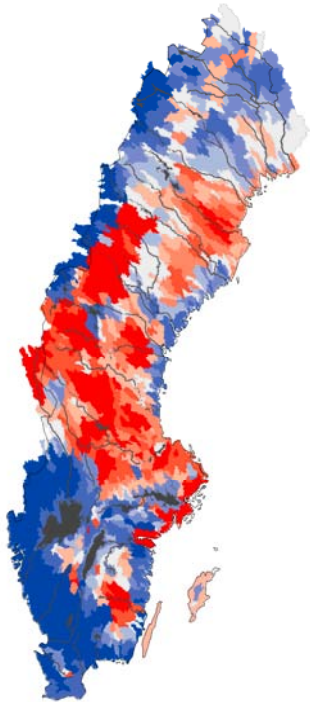


Förändring av
Q₁₀₀

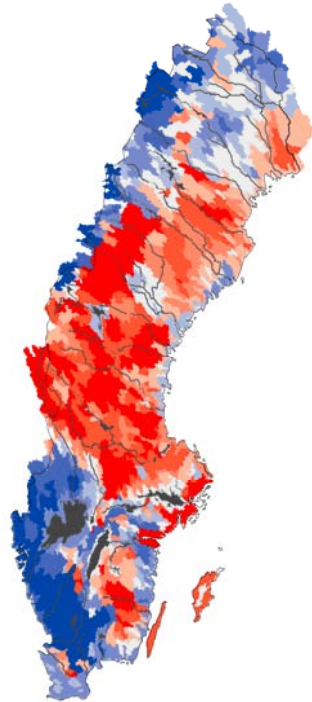


Figur 4. Procentuell förändring av 100-årsflödet för perioden 2071-2100 jämfört med 1961-1990, enligt fyra olika regionala klimatscenarier tolkade genom HBV Sverige med delta-metoden.

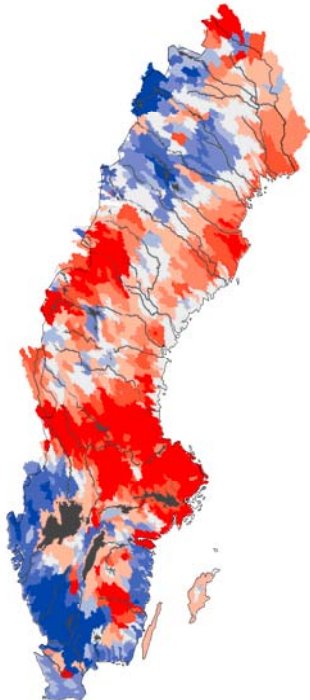
RCAO-E/A2



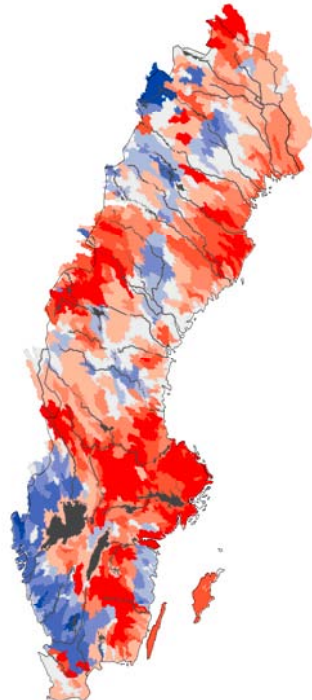
RCAO-E/B2



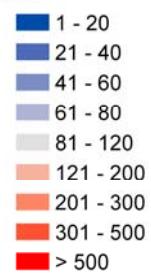
RCAO-H/A2



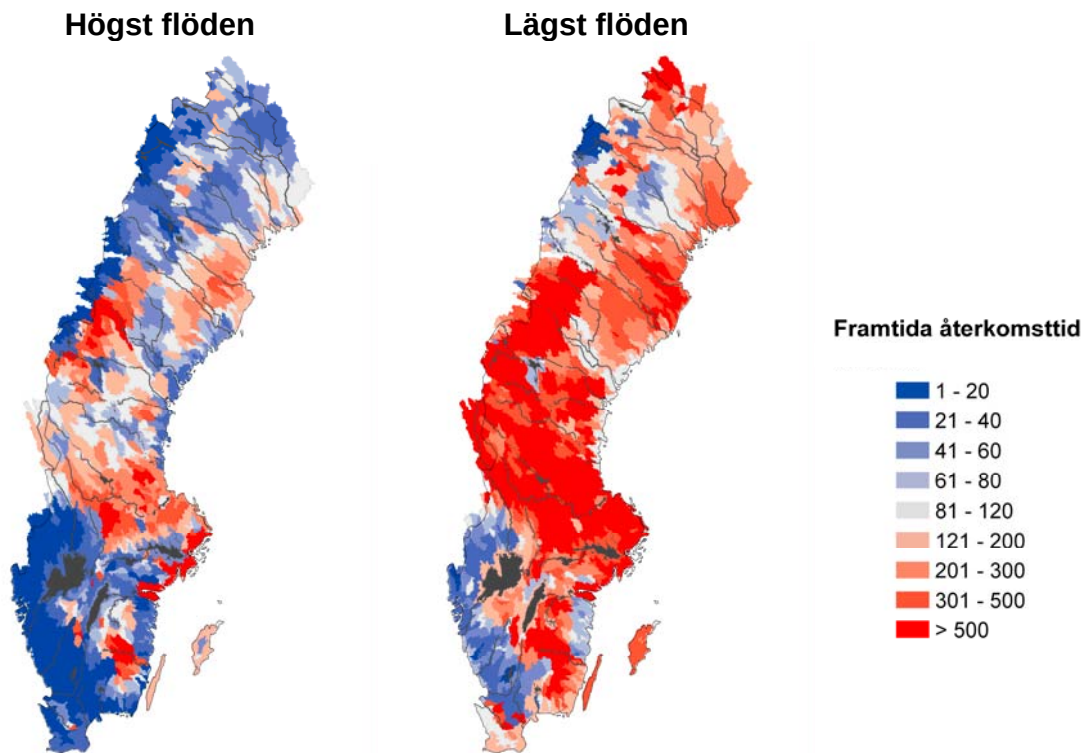
RCAO-H/B2



Framtida återkomsttid



Figur 5. Återkomsttider för dagens 100-årsflöde (1961-1990) i ett framtida klimat (2071-2100) enligt fyra olika regionala klimatscenarier tolkade med HBV Sverige och delta-metoden.

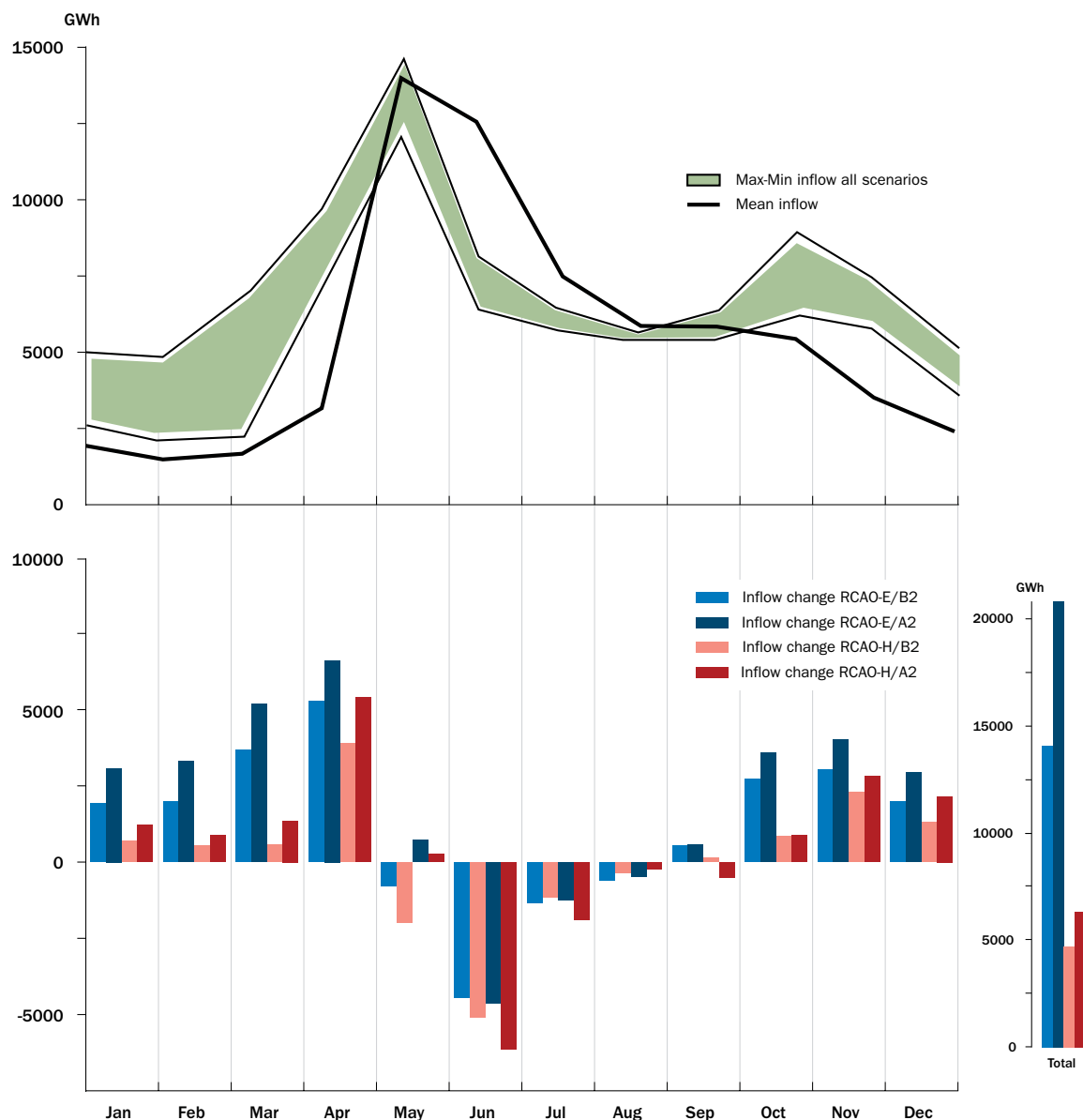


Figur 6. Kortaste respektive längsta framtida återkomsttider för dagens 100-årsflöde (1961-1990) i ett framtida klimat (2071-2100) enligt en sammanslagen analys av fyra olika regionala klimatscenarier tolkat med HBV Sverige och delta-metoden. De fyra klimatscenarierna är RCAO-E/A2 & B2 och RCAO-H/A2 & B2.

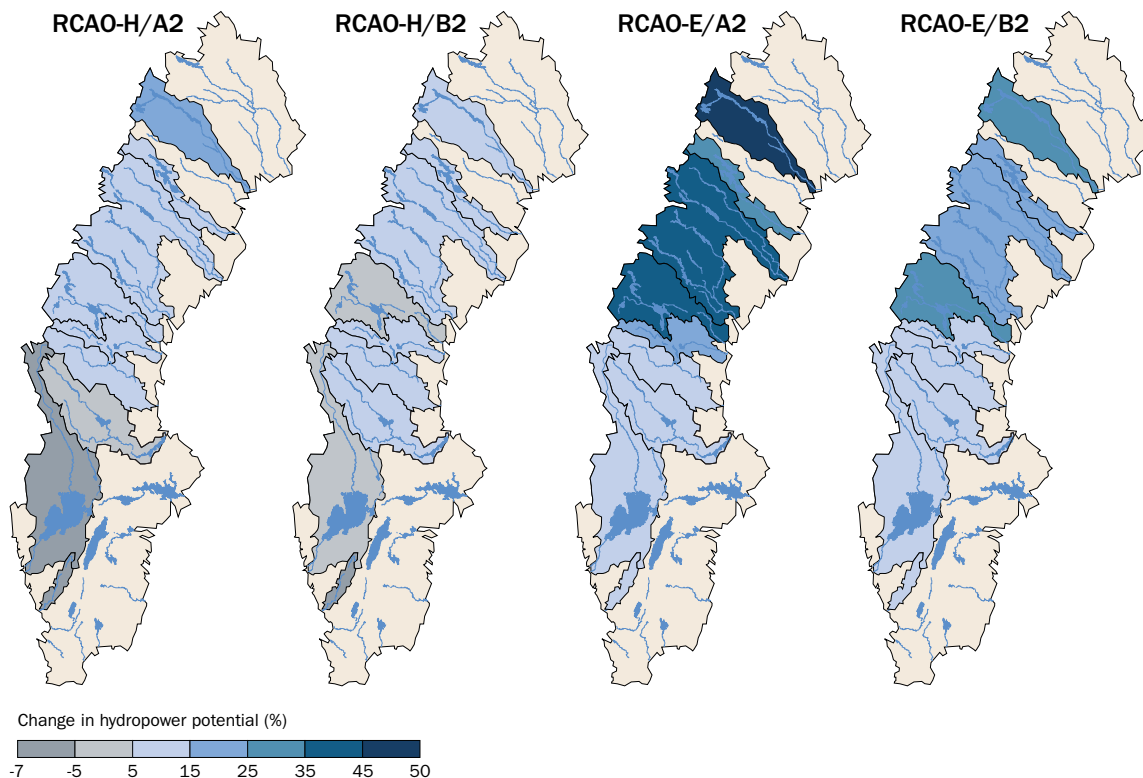
4.3 Förändring i vattenkraftpotential

Framtida förändring i månads- och årstillrinning (GWh) till det svenska vattenkraftssystemet, enligt fyra regionala klimatscenarier, visas i figur 7. Samtliga scenarier resulterar i en ökad medelårstillrinning för perioden 2071-2100 jämfört med 1961-1990. Beroende på val av drivande global klimatmodell och utsläppsscenario varierar ökningen med mellan +5 till +21 TWh per år (+7 till +32%). Samtliga scenarier visar också på förändringar i tillrinningens säsongsmönster, med ökande tillrinning under de kalla månaderna och minskande under de varma månaderna.

Förändring i vattenkraftpotential för enskilda älvar enligt de fyra regionala klimatscenarierna visas i figur 8. Storleken på förändringen skiljer sig åt mellan de olika scenarierna, men mönstret är likartat med de största ökningarna i de nordligaste älvarna. Simuleringarna baserade på den globala klimatmodellen HadAM3H visar på minskande vattenkraftpotential för några av de sydligare älvarna.



Figur 7. I det övre diagrammet visas medeltillrinningen 1961-1990 (svart linje) och medeltillrinningen enligt scenarierna. I det nedre diagrammet visas månads- och årsmedelförändring i energitillrinning (GWh) till det svenska vattenkraftssystemet för perioden 2071-2100 jämfört med 1961-1990, enligt fyra olika regionala klimatscenarier. Resultaten har beräknats med SMHI Hydro - Energi Sverige (tidigare publicerad i CCE no. 3, 2006).



Figur 8. Årsmedelförändring i vattenkraftpotential för enskilda älvar i Sverige, 2071-2100 jämfört med 1961-1990, enligt fyra olika regionala klimatscenarier. Resultaten har beräknats med SMHI Hydro - Energi Sverige. Ljusbula områden ingår inte i modellen (tidigare publicerad i CCE no. 3, 2006).

5. Diskussion och slutsatser

Alla resultat från HBV Sverige ska i första hand användas för en översiktlig tolkning och identifiering av var fördjupade studier kan vara av särskilt behov. Beräkningarna baserade på den s.k. scaling-metoden är mer preliminära än de övriga beräkningarna eftersom metoden fortfarande är under utveckling. Delta-metoden är bäst lämpad för beskrivning av förändringar i medelvärden, vilket kartorna med förändring i medelavrinning är ett exempel på. Detta beror på att ingen särskild hänsyn tagits till att extremer kan ändras på ett annat sätt än medelvärden (ändrad variabilitet). Av denna orsak ska resultaten för extremer (100-årsflöden) tolkas med mycket stor försiktighet. Kartorna kan användas för att se var i landet det enligt scenarierna är troligt att problem uppstår i framtiden. Regioner med minskande höga flöden kan inte med automatik betraktas som säkra i framtiden.

SMHI Hydro – Energi Sverige användes för att beräkna framtidens vattenkraftpotential. Det är dock inte möjligt att utifrån dessa beräkningar säga att den ökade tillrinningen fullt ut kan användas för kraftproduktion. Då analyserna har baserats på simuleringar med delta-metoden har inte heller förändringar av frekvensen våtar och torrår kunnat studeras.

Några sammanfattande slutsatser är:

- Samtliga scenarier pekar på en ökande genomsnittlig vattentillgång för landet som helhet, men med stora regionala skillnader. Norra och sydvästra Sverige får ökande avrinning enligt samtliga scenarier medan sydöstra Sverige ser ut att få torrare förhållanden enligt några scenarier.
- Förändringarna i 100-årsflödets storlek varierar mellan scenarierna och över landet. Samtliga simuleringar pekar dock på att höga flöden blir vanligare i sydvästra Sverige och i fjällen.
- Vattenkraftpotentialen förväntas enligt scenarierna att öka med mellan +7 till +32 % för Sverige som helhet.

6. Referenser

- Andréasson, J., Bergström, S., Carlsson, B., Graham, L.P. and Lindström, G. (2004). Hydrological Change – Climate change impact simulations for Sweden. *Ambio* 4-5, 228-234
- Andréasson, J. (2006) Hydropower production in future climates - an example from Sweden. *Climate Change and Energy* No. 3. SMHI Newsletter.
- Andréasson, J., Gardelin, M., Hellström, S.-S. och Bergström, S. (2006). Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer i ett framtida förändrat klimat. *Elforsk rapport 06:80*. Stockholm
- Bergström, S. (1976). Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. *SMHI RHO* 7, Norrköping.
- Bergström, S., Hellström, S-S. och Andréasson, J. (2006). Nivåer och flöden i Vänerns och Mälarens vattensystem – Hydrologiskt underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen. *SMHI Reports Hydrology* No 20
- Carlsson, B., Bergström, S., Andréasson, J. och Hellström, S-S. (2006) Framtidens översvämningsrisker. *SMHI Reports Hydrology* No 19.
- Döscher, R., Willén, U., Jones, C., Rutgersson, A., Meier, H. E. M., Hansson, U. and Graham, L.P. (2002). The development of the coupled regional ocean-atmosphere model RCAO. *Boreal Environ. Res.* 7, 183-192.
- Gordon, C., Cooper, C., Senior, C.A., Banks, H., Gregory, J.M., Johns, T.C., Mitchell, J.B.F., Wood, R.A. (2000). The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transport in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments, *Clim.Dyn.* 16, 147-168.
- Kjellström, E., Bärring, L., Gollvik, S., Hansson, U., Jones, C., Samuelsson, P., Rummukainen, M., Ullerstig, A., Willén U. and 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 and Climatology*, 108, SMHI, SE-60176 Norrköping, Sweden, 54 pp.
- Lindström, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M. and Bergström, S. (1997). Development and test of the distributed HBV-96 model. *Journal of Hydrology* 201, 272-288.
- 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., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, S., Victor, N., Dadi, Z. (2000). IPCC Special Report on Emission Scenarios. Cambridge Univ. Press, 599 pp.
- Persson, G., Barring, L., Kjellström, E., Strandberg, G. and Rummukainen, M. (2007). Climate indices for vulnerability assessments. Reports Meteorology and Climatology, No 111, SMHI.
- Roockner E, Bengtsson L., Feichter J, Lelieveld J. and Rodhe H. (1999) Transient climate change simulations with a coupled atmosphere-ocean GCM including the tropospheric sulphur cycle. J.Clim 12, 3004-3032.

SMHI ger ut sex rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationell publik och skrivs därför oftast på engelska. I de övriga serierna används det svenska språket.

Seriernas namn	Publiceras sedan
RMK (Rapport Meteorologi och Klimatologi)	1974
RH (Rapport Hydrologi)	1990
RO (Rapport Oceanografi)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985

I serien HYDROLOGI har tidigare utgivits:

- | | |
|--|--|
| <p>1 Bengt Carlsson (1985)
Hydrokemiska data från de svenska fältforskningsområdena.</p> <p>2 Martin Häggström och Magnus Persson (1986)
Utvärdering av 1985 års vårflödesprognoser.</p> <p>3 Sten Bergström, Ulf Ehlin, SMHI, och Per-Eric Ohlsson, VASO (1986)
Riktlinjer och praxis vid dimensionering av utskov och dammar i USA. Rapport från en studieresa i oktober 1985.</p> <p>4 Barbro Johansson, Erland Bergstrand och Torbjörn Jutman (1986)
Skåneprojektet - Hydrologisk och oceanografisk information för vattenplanering - Ett pilotprojekt.</p> <p>5 Martin Häggström (1986)
Översiktlig sammanställning av den geografiska fördelningen av skador främst på dammar i samband med septemberflödet 1985.</p> <p>6 Barbro Johansson (1986)
Vattenföringsberäkningar i Södermanlands län - ett försöksprojekt.</p> <p>7 Maja Brandt (1986)
Areella snöstudier.</p> <p>8 Bengt Carlsson, Sten Bergström, Maja Brandt och Göran Lindström (1987)
PULS-modellen: Struktur och tillämpningar.</p> | <p>9 Lennart Funkquist (1987)
Numerisk beräkning av vågor i kraftverksdammar.</p> <p>10 Barbro Johansson, Magnus Persson, Enrique Aranibar and Robert Llobet (1987)
Application of the HBV model to Bolivian basins.</p> <p>11 Cecilia Ambjörn, Enrique Aranibar and Roberto Llobet (1987)
Monthly streamflow simulation in Bolivian basins with a stochastic model.</p> <p>12 Kurt Ehlert, Torbjörn Lindkvist och Todor Milanov (1987)
De svenska huvudvattendragens namn och mynningspunkter.</p> <p>13 Göran Lindström (1987)
Analys av avrinningsserier för uppskattning av effektivt regn.</p> <p>14 Maja Brandt, Sten Bergström, Marie Gardelin och Göran Lindström (1987)
Modellberäkning av extrem effektiv nederbörd.</p> <p>15 Håkan Danielsson och Torbjörn Lindkvist (1987)
Sjökart- och sjöuppgifter. Register 1987.</p> <p>16 Martin Häggström och Magnus Persson (1987)
Utvärdering av 1986 års vårflödesprognoser.</p> |
|--|--|

- 17 Bertil Eriksson, Barbro Johansson, Katarina Losjö och Haldø Vedin (1987)
Skogsskador - klimat.
- 18 Maja Brandt (1987)
Bestämning av optimalt klimatstationsnät för hydrologiska prognoser.
- 19 Martin Häggström och Magnus Persson (1988)
Utvärdering av 1987 års vårflödesprognoser.
- 20 Todor Milanov (1988)
Frys förluster av vatten.
- 21 Martin Häggström, Göran Lindström, Luz Amelia Sandoval and Maria Elvira Vega (1988)
Application of the HBV model to the upper Río Cauca basin.
- 22 Mats Moberg och Maja Brandt (1988)
Snökartläggning med satellitdata i Kultsjöns avrinningsområde.
- 23 Martin Gotthardsson och Sten Lindell (1989)
Hydrologiska stationsnät 1989. Svenskt Vattenarkiv.
- 24 Martin Häggström, Göran Lindström, Luz Amelia Sandoval y Maria Elvira Vega (1989)
Aplicacion del modelo HBV a la cuenca superior del Río Cauca.
- 25 Gun Zachrisson (1989)
Svåra islossningar i Torneälven. Förslag till skadeförebyggande åtgärder.
- 26 Martin Häggström (1989)
Anpassning av HBV-modellen till Torneälven.
- 27 Martin Häggström and Göran Lindström (1990)
Application of the HBV model for flood forecasting in six Central American rivers.
- 28 Sten Bergström (1990)
Parametervärden för HBV-modellen i Sverige. Erfarenheter från modellkalibreringar under perioden 1975 - 1989.
- 29 Urban Svensson och Ingemar Holmström (1990)
Spridningsstudier i Glan.
- 30 Torbjörn Jutman (1991)
Analys av avrinningens trender i Sverige.
- 31 Mercedes Rodriguez, Barbro Johansson, Göran Lindström, Eduardo Planos y Alfredo Remont (1991)
Aplicacion del modelo HBV a la cuenca del Río Cauto en Cuba.
- 32 Erik Arnér (1991)
Simulering av vårflöden med HBV-modellen.
- 33 Maja Brandt (1991)
Snömätning med georadar och snötaxeringar i övre Luleälven.
- 34 Bent Göransson, Maja Brandt och Hans Bertil Wittgren (1991)
Markläckage och vattendragstransport av kväve och fosfor i Roxen/Glan-systemet, Östergötland.
- 35 Ulf Ehlin och Per-Eric Ohlsson, VASO (1991)
Utbyggd hydrologisk prognos- och varningstjänst.
Rapport från studieresa i USA
1991-04-22--30.
- 36 Martin Gotthardsson, Pia Rystam och Sven-Erik Westman (1992)
Hydrologiska stationsnät 1992/Hydrological network. Svenskt Vattenarkiv.
- 37 Maja Brandt (1992)
Skogens inverkan på vattenbalansen.
- 38 Joakim Harlin, Göran Lindström, Mikael Sundby (SMHI) och Claes-Olof Brandesten (Vattenfall Hydropower AB) (1992)
Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer för dimensionering av hel älv.
- 39 Sten Lindell (1993)
Realtidsbestämning av arealnederbörd.
- 40 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Vattenföring i Sverige. Del 1. Vattendrag till Bottenviken.
- 41 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Vattenföring i Sverige. Del 2. Vattendrag till Bottenhavet.
- 42 Svenskt Vattenarkiv (1993)
Vattenföring i Sverige. Del 3. Vattendrag till Egentliga Östersjön.

- 43 Svenskt Vattenarkiv (1994)
Vattenföring i Sverige. Del 4. Vattendrag till Västerhavet.
- 44 Martin Häggström och Jörgen Sahlberg (1993)
Analys av snösmältningsförlopp.
- 45 Magnus Persson (1993)
Utnyttjande av temperaturens persistens vid beräkning av volymsprognoser med HBV-modellen.
- 46 Göran Lindström, Joakim Harlin och Judith Olofsson (1993)
Uppföljning av Flödeskommitténs riktlinjer.
- 47 Bengt Carlsson (1993)
Alkalinitets- och pH-förändringar i Ume-älven orsakade av minimitappning.
- 48 Håkan Sanner, Joakim Harlin and Magnus Persson (1994)
Application of the HBV model to the Upper Indus River for inflow forecasting to the Tarbela dam.
- 49 Maja Brandt, Torbjörn Jutman och Hans Alexandersson (1994)
Sveriges vattenbalans. Årsmedelvärden 1961 - 1990 av nederbörd, avdunstning och avrinning.
- 50 Svenskt Vattenarkiv (1994)
Avrinningsområden i Sverige. Del 3. Vattendrag till Egentliga Östersjön och Öresund.
- 51 Martin Gotthardsson (1994)
Svenskt Vattenarkiv. Översvämningskänsliga områden i Sverige.
- 52 Åsa Evremer (1994)
Avdunstningens höjdberoende i svenska fjällområden bestämd ur vattenbalans och med modellering.
- 53 Magnus Edström och Pia Rystam (1994)
FFO - Stationsnät för fältforskningsområden 1994.
- 54 Zhang Xingnan (1994)
A comparative study of the HBV model and development of an automatic calibration scheme.
- 55 Svenskt Vattenarkiv (1994)
Svenskt dammregister - Södra Sverige.
- 56 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Svenskt dammregister - Norra Sverige.
- 57 Martin Häggström (1994)
Snökartering i svenska fjällområdet med NOAA-satellitbilder.
- 58 Hans Bertil Wittgren (1995)
Kvävetransport till Slätbaken från Söderköpingsåns avrinningsområde
- 59 Ola Pettersson (1995)
Vattenbalans för fältforskningsområden.
- 60 Barbro Johansson, Katarina Losjö, Nils Sjödin, Remigio Chikwanha and Joseph Merka (1995)
Assessment of surface water resources in the Manyame catchment - Zimbabwe.
- 61 Behzad Koucheiki (1995)
Älvtemperaturers variationer i Sverige under en tioårsperiod.
- 62 Svenskt Vattenarkiv (1995)
Sänkta och torrlagda sjöar.
- 63 Malin Kanth (1995)
Hydrokemi i fältforskningsområden.
- 64 Mikael Sundby, Rikard Lidén, Nils Sjödin, Helmer Rodriguez, Enrique Aranibar (1995)
Hydrometeorological Monitoring and Modelling for Water Resources Development and Hydropower Optimisation in Bolivia.
- 65 Maja Brandt, Kurt Ehlert (1996)
Avrinningen från Sverige till omgivande hav.
- 66 Sten Lindell, Håkan Sanner, Irena Nikolushkina, Inita Stikute (1996)
Application of the integrated hydrological modelling system IHMS-HBV to pilot basin in Latvia
- 67 Sten Lindell, Bengt Carlsson, Håkan Sanner, Alvina Reihan, Rimma Vedom (1996)
Application of the integrated hydrological modelling system IHMS-HBV to pilot basin in Estonia
- 68 Sara Larsson, Rikard Lidén (1996)
Stationstäthet och hydrologiska prognoser.

- 69 Maja Brandt (1996)
Sedimenttransport i svenska vattendrag
exempel från 1967-1994.
- 70 Svenskt Vattenarkiv (1996)
Avrinningsområden i Sverige. Del 4.
Vattendrag till Västerhavet.
- 71 Svenskt Vattenarkiv (1996)
Svenskt sjöregister. 2 delar
- 72 Sten Lindell, Lars O Ericsson, Håkan Sanner,
Karin Göransson SMHI
Malgorzata Mierkiewicz , Andrzej
Kadlubowski, IMGW (1997)
Integrated Hydrological Monitoring and
Forecasting System for the Vistula River
Basin. Final report.
- 73 Maja Brandt, Gun Grahn (1998)
Avdunstning och avrinningskoefficient i
Sverige 1961-1990. Beräkningar med HBV-
modellen.
- 74 Anna Eklund (1998)
Vattentemperaturer i sjöar, sommar och vinter
- resultat från SMHIs mätningar.
- 75 Barbro Johansson, Magnus Edström, Katarina
Losjö och Sten Bergström (1998)
Analys och beräkning av
snösmältningsförlopp.
- 76 Anna Eklund (1998)
Istjocklek på sjöar.
- 77 Björn Bringfelt (1998)
An evapotranspiration model using SYNOP
weather observations in the Penman-Monteith
equation
- 78 Svenskt Vattenarkiv (1998)
Avrinningsområden i Sverige. Del 2
Vattendrag till Bottenhavet.
- 79 Maja Brandt, Anna Eklund (1999)
Snöns vatteninnehåll Modellberäkningar
och statistik för Sverige
- 80 Bengt Carlsson (1999)
Some facts about the Torne and Kalix
River Basins.
A contribution to the NEWBALTIC II
workshop in Abisko June 1999.
- 81 Anna Eklund (1999)
Isläggning och islossning i svenska sjöar.
- 82 Svenskt Vattenarkiv (2000)
Avrinningsområden i Sverige. Del 1.
Vattendrag till Bottenviken.
- 83 Anna Eklund, Marie Gardelin, Anders
Lindroth (2000)
Vinteravdunstning i HBV-modellen -
jämförelse med mätdata
- 84 Göran Lindström, Mikael Ottosson Löfvenius
(2000)
Tjäle och avrinning i Svartberget – studier
med HBV-modellen
- 85 Bengt Carlsson och Göran Lindström (2001)
HBV-modellen och flödesprognoser
- 86 Josef Källgården (2001)
Snow distribution in a mountainous region.
A remote sensing study.
- 87 Johan Andréasson, Anders Gyllander, Barbro
Johansson, Josef Källgården, Sten Lindell,
Judith Olofsson, Angela Lundberg (2001)
Snötaxering med georadar - Bättre
vårflödesprognoser med HBV-modellen?
- 88 Deliang Chen, Barbro Johansson (2003)
Temperaturens höjdberoende – En studie i
Indalsälvens avrinningsområde.
- 89 Agne Lärke, Håkan Sanner, Anna Johnell
(2003)
Utvärdering av SMHI:s prognos- och
varningstjänsts verksamhet under flödena
januari t o m mars 2002 i sydvästra Sverige
- 90 Barbro Johansson, Johan Andreasson och
Johan Jansson (2003)
Satellite data on snow cover in the HBV
model. Method development and evaluation
- 91 Charlotta Pers (2003)
BIOLA – BIOgeochemical LAke Model
Manual
- 92 Carl Granström (2003)
Utvärdering av SMHIs prognos- och
varningstjänsts verksamhet under flödet i
området runt Emån juli 2003
- 93 Carl Granström (2003)
Modell för prognos av tidpunkt och karaktär
för islossningen i Torne älv.

- 94 Maja Brandt och Gun Grahm, SMHI.
Erik Årnfelt och Niclas Bäckman,
Länsstyrelsen Östergötland (2004)
Anpassning av TRK-systemet från nationell
till regional nivå samt scenarioberäkningar
för kväve – Tester för Motala Ström
- 95 Carl Granström (2004)
Utvärdering av SMHIs hydrologiska
prognos- och varningstjänst under flödet i
södra Lappland juli 2004.
- 96 Carl Granström (2004)
Utvärdering av SMHIs hydrologiska
prognos- och varningstjänst under flödet i
Småland juli 2004.
- 97 Carl Granström (2004)
Utvärdering av SMHIs hydrologiska
prognos- och varningstjänst under flödet i
nordvästra Lappland juli 2004.
- 98 Tahsin Yacoub, Ylwa Westman, Håkan
Sanner, Bernth Samuelsson (2005)
Detaljerad översvämningskarta för
Eskilstunaån. Ett projekt inom KRIS-GIS
- 99 Carl Granström (2005)
Utvärdering av SMHIs hydrologiska
prognos- och varningstjänst under vårfloden i
fjällen juni 2005
- 100 Tahsin Yacoub , Håkan Sanner (2006)
Vattenståndsprognoser baserade på
översiktlig kartering. En fallstudie.
- 101 Göran Lindström (2006)
Regional kalibrering av HBV-modellen
- 102 Kurt Ehlert (2006)
Svenskt Vattendragsregister
- 103 Charlotta Pers (2007)
HBV-NP Model Manual
- 104 Barbro Johansson, Göran Lindström, Jonas
Olsson, Tahsin Yacoub, Günter Haase,
Karin Jacobsson, Anna Johnell, Håkan
Sanner (2007)
Översvämningsprognoser i områden med
ofullständiga data. Metodutveckling och
utvärdering.
- 105 Carl Granström, Anna Johnell, Martin
Häggström (2007)
Utvärdering av SMHIs hydrologiska
prognos- och varningstjänst under det höga
flödet i sydvästra Sverige nov 2006–jan
2007



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