

ELFORSK



DAMMSÄKERHET

Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer i ett framtida förändrat klimat – Andra upplagan kompletterad med analyser för Umeälven

Rapport 07:15

Dammsäkerhet

**Känslighetsanalys av
Flödeskommitténs riktlinjer i
ett framtida förändrat klimat –
Andra upplagan kompletterad
med analyser för Umeälven**

Förord

Denna rapport är ett delresultat inom Elforsk ramprogram Dammsäkerhet.

Kraftindustrin har traditionellt satsat avsevärda resurser på forsknings och utvecklingsfrågor inom dammsäkerhetsområdet, vilket har varit en förutsättning för den framgångsrika utvecklingen av vattenkraften som energikälla i Sverige.

Målen för programmet är att långsiktigt stödja branschens policy, dvs att:

- Sannolikheten för dammbrott där människoliv kan vara hotade skall hållas på en så låg nivå att detta hot såvitt möjligt elimineras.
- Konsekvenserna i händelse av dammbrott skall genom god planering såvitt möjligt reduceras.
- Dammsäkerheten skall hållas på en god internationell nivå.

Prioriterade områden är Teknisk säkerhet, Operativ säkerhet och beredskap samt Riskanalys.

Ramprogrammet har en styrgrupp bestående av: Jonas Birkedahl – Fortum, Malte Cederström - Vattenfall Vattenkraft, Anders Isander – E.ON, Lennart Markland – Vattenregleringsföretagen, Urban Norstedt - Vattenfall Vattenkraft, Gunnar Sjödin – Vattenregleringsföretagen, Olle Mill Svenska Kraftnät samt Lars Hammar - Elforsk

Detta projekt har finansierats av Elforsk och Svenska Kraftnät och har genomförts av SMHIs hydrologiska forskningsenhet. Uppdraget var att göra en känslighetsanalys av hur beräkningar enligt Flödeskommitténs riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar kan komma att påverkas av ett framtida förändrat klimat. Arbetet påbörjades hösten 2004 och projektet avslutades hösten 2006. Resultatet av uppdraget beskrivs i denna rapport.

Författarna vill i första hand rikta ett tack till Elforsk och Svenska Kraftnät som tillsammans har finansierat projektet. Ett tack riktas också till Göran Lindström och Judith Olofsson på SMHI för att de delat med sig av sina erfarenheter av dammdimensioneringsberäkningar. Personalen på Rosby Centre tackas för leverans av data från de regionala klimatscenarierna och Kjell-Åke Bergsten på Fortum tackas för uppgifter om Trängsletdammen. Ett speciellt tack riktas till projektets referensgrupp, som bestått av Lars Hammar, Olle Mill, Tina Fridolf och Peter Calla.

Till sist vill vi uppmärksamma att detta projekt har haft fördelen av att kunna utnyttja synergieffekter med det av Länsförsäkringsbolagens Forskningsfond finansierade projektet *Framtidens översvämningsrisker* (Carlsson m.fl., 2006), det nordiska projektet *Climate- and Energy* (Andréasson, m.fl. 2006; Hellström, m.fl., 2006) samt SMHIs utredningsuppdrag åt Klimat- och sårbarhetsutredningen (Bergström m.fl. 2006).

Norrköping, december 2006

Johan Andréasson

Sten Bergström

Marie Gardelin

Sara-Sofia Hellström

Tillägg till andra upplagan, september 2007

I en tilläggsbeställning från Elforsk och Klimat- och sårbarhetsutredningen har beräkningar genomförts även för Umeälven. Utöver känslighetsanalys av förändringar i det dimensionerande klass 1 flödet har här även klimatförändringars påverkan på 100-årsflödet i den kraftigt reglerade älven studerats.

Sammanfattning

Projektet Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer i ett framtida förändrat klimat initierades av Elforsk och Svenska Kraftnät. Syftet var att göra en känslighetsanalys av hur beräkningar enligt Flödeskommitténs riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar kan komma att påverkas av ett framtida förändrat klimat. Flödesberäkningar för fem dammanläggningar i riskklass I enligt Flödeskommitténs riktlinjer, har analyserats. Beräkningarna har utgått från regionala klimatscenarier som levereras från Rossby Centre med ett tidsperspektiv på perioden 2071-2100.

Strategin för känslighetsstudien har varit att så långt som möjligt försöka göra om de analyser som gjordes vid framtagandet av Flödeskommitténs riktlinjer, men gällande för ett ändrat klimat enligt fyra olika framtidsscenarier. Några sammanfattande slutsatser är:

- Dimensionerande tillrinningar och vattenstånd påverkas av ett förändrat klimat.
- Förändringar i medelklimatet gör bl.a. att det dimensionerande snötäcket minskar enligt alla scenarier. Detta verkar mot lägre dimensionerande tillrinningar och vattenstånd på de flesta platser.
- Extrem nederbörd förväntas öka på de flesta platser i Sverige enligt scenarierna, vilket verkar mot högre dimensionerande tillrinningar och vattenstånd.
- Beroende på hur ändringar i medelklimatet och extremer samspelar kan dimensionerande nivåer både öka och minska beroende på plats och val av scenario.

De osäkerheter som framkommit i denna känslighetsanalys visar på det stora behovet av fortsatta studier om hur dimensioneringsberäkningar påverkas av förändringar av det framtida klimatet. Speciellt kan det vara lämpligt att genomföra känslighetsberäkningar av detta slag i samband med nya dimensioneringsberäkningar baserade på Flödeskommitténs riktlinjer.

Summary

Elforsk and the Swedish Dam Safety authority (Svenska Kraftnät) initiated the project Sensitivity analysis of the Swedish hydrological dam safety guidelines to climate change. The aim of the project was to study the sensitivity of calculations of design floods for dam constructions, according to the guidelines, in a future changed climate. Design flood calculations for five high hazard dams (riskklass I) have been analysed. The calculations were based on regional climate scenarios from Rossby Centre corresponding to the time period 2071-2100.

The strategy has been to redo the analysis that was done in the original work on the Dam safety guidelines as far as possible, however valid for a changed climate according to four different scenarios of the future climate. Some summarizing conclusions are:

- Design inflows and water levels are affected by a changed climate.
- Changes in the mean climate results in smaller design snow pack according to all scenarios. This component acts towards decreased design inflows and water levels at most locations.
- Extreme precipitation can be expected to increase at most places in Sweden according to the scenarios. This component acts towards increased design inflows and water levels at most locations.
- Depending on how changes in the mean climate and in the extremes interact, the change in design inflows and water levels can be either an increase or a decrease depending on location and choice of scenario.

The uncertainties that have been revealed in this study underline the need for further studies on how design flood calculations are affected by changes in future climate. It can be suitable to do this kind of sensitivity analysis when new calculations of design floods according to the guidelines are made.

Innehåll

1	BAKGRUND.....	1
1.1	SYFTE	1
1.2	KÄNSLIGHETSANALYSENS GENOMFÖRANDE	2
2	METODER	4
2.1	KLIMATMODELLER OCH EMISSIONSSCENARIER	4
2.2	HYDROLOGISK MODELL.....	4
2.3	BERÄKNINGAR AV DIMENSIONERANDE FLÖDEN OCH VATTENSTÅND.....	5
2.4	DELTA-METODEN.....	6
2.5	SCALING-METODEN.....	7
2.6	NEDERBÖRDSANALYS – DIMENSIONERANDE SEKVENSS.....	8
3	DATABAS	12
3.1	TESTOMRÅDEN	12
3.2	METEOROLOGISK DATABAS	14
3.3	KLIMATSCENARIER	14
4	RESULTAT	16
4.1	SCENARIER FÖR VATTENFÖRING.....	16
4.1.1	<i>Tappningsanalys för Väneren.....</i>	<i>18</i>
4.2	DIMENSIONERANDE SNÖTÄCKE	22
4.3	DIMENSIONERANDE NEDERBÖRDSSEKVENSS.....	22
4.4	EFFEKT AV ÄNDRAT MEDELKLIMAT – PARTIELL DIMENSIONERING	26
4.4.1	<i>Dimensionerande tillrinning.....</i>	<i>26</i>
4.4.2	<i>Dimensionerande vattenstånd.....</i>	<i>26</i>
4.5	EFFEKT AV ÄNDRAT MEDELKLIMAT OCH ÄNDRAD EXTREMNEDERBÖRD – FULLSTÄNDIG DIMENSIONERING.....	27
4.5.1	<i>Dimensionerande tillrinning.....</i>	<i>27</i>
4.5.2	<i>Dimensionerande vattenstånd.....</i>	<i>28</i>
4.5.3	<i>Känslighetsanalys av glaciärer.....</i>	<i>29</i>
4.6	EFFEKT AV OLIKA METODER FÖR ÄNDRAT MEDELKLIMAT PÅ DIMENSIONERINGSRESULTAT	29
5	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	31
6	REFERENSER.....	34

- Bilaga 1.** Höga flöden i Umeälven i ett framtida förändrat klimat
- rapport till Elforsk och Klimat- och sårbarhetsutredningen

1 Bakgrund

För att möta riskerna för höga flöden har vattenkraftindustrin inlett en översyn av dammsäkerheten och då framförallt av dammanläggningarnas förmåga att klara extrema situationer. Detta arbete inleddes 1990 efter det att nya beräkningsriktlinjer lagts fram av den s.k. Flödeskommittén (Flödeskommittén, 1990). Flödeskommitténs föreslagna beräkningsmetod har också utgjort en viktig komponent i den översiktliga kartering av riskerna för översvämningar som Räddningsverket finansierat.

Under senare år har världen drabbats av ett stort antal uppmärksammade översvämningar, som väckt frågor om klimatet, fysisk planering och samhällets sårbarhet. Så sent som våren 2006 drabbades länderna längs Donau och under sommaren 2002 drabbades Tyskland och Tjeckien av omfattande översvämningar. För Sveriges del blev år 2000 ett av de mest uppmärksammade åren med översvämningar i södra Norrland, i Arvika och längs Väneren. Även 2002 blev dramatiskt med ett mycket kritisk läge i Kristianstad i februari och ett dramatiskt sommarregn på Orust.

Det stora antalet översvämningar i Sverige och i vårt närområde har väckt frågor om klimatets variationer och om riskerna med en global uppvärmning. Dagens variationer av extremvärden i Sverige har analyserats av Lindström (2002) som kom till slutsatsen att flödena ökat i ett kortare tidsperspektiv, d.v.s. sedan 1970. Sett i ett längre perspektiv är trenden inte tydlig, bl.a. beroende på höga flöden under 1920-talet och under den senare hälften av 1800-talet. Frågan om ifall de senaste årens översvämningar kan kopplas till den globala uppvärmningen diskuteras för närvarande livligt, liksom hur framtiden kan komma att utveckla sig om klimatet ändras.

I Flödeskommitténs riktlinjer står: *"En reservation måste dock göras för den händelse en klimatförändring skulle inträffa, exempelvis på grund av den s.k. växthuseffekten. Riktlinjernas nederbördssekvenser är grundade på klimatet under det senaste seklet; en bestående ändring av nederbördsförhållandena på våra breddgrader nödvändiggör därför en översyn av riktlinjerna"* (Flödeskommitténs riktlinjer, sidan 31). I en nyligen utkommen rapport (Elforsk, 2005), förs en diskussion kring strategi för hantering av klimatfrågans eventuella betydelse vid flödesdimensionering av dammar. I slutsatserna står bland annat: *"Det är inte realistiskt att tro att klimatforskningen skall göra så snabba framsteg att man inom en nära framtid kan ange hur en dimensioneringsberäkning skall utformas för att med tillräcklig säkerhet även omfatta förhållanden som kan orsakas av ett förändrat klimat. ... När det gäller strategi för hantering av klimatfrågan vid flödesdimensionering föreslås att frågan fortlöpande bevakas och att flexibilitet och marginaler skapas där så är lämpligt"*.

Det i denna rapport beskrivna projektet initierades av Elforsk och Svenska Kraftnät och kan betraktas som ett första försök att utröna hur denna typ av framtidsberäkningar kan genomföras, samt i vilken riktning vi kan förvänta oss att en möjlig klimatförändring påverkar dammsäkerheten.

1.1 Syfte

Projektets syfte har varit att göra en känslighetsanalys av hur beräkningar enligt Flödeskommitténs riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för

dammanläggningar kan komma att påverkas av ett framtida förändrat klimat. Flödesberäkningar för dammanläggningar i riskklass I enligt Flödeskommitténs riktlinjer, har analyserats. Projektet har utgått från de klimatscenarier som levereras från Rossby Centre med ett tidsperspektiv på perioden 2071-2100.

1.2 Känslighetsanalysens genomförande

Dimensioneringsberäkningar för dagens förhållanden har gjorts baserade på data för tidsperioden 1981-1990. Denna tidsperiod har valts av två anledningar. Dels utkom Flödeskommitténs riktlinjer 1990, och detta var därmed den senaste tillgängliga 10-årsperioden vid denna tidpunkt, dels ingår denna period i den referensperiod, 1961-1990, som används för klimatsimuleringar. Kalibreringsperiod för den hydrologiska modellen har i de flesta fall varit 1962-1990, utom då data saknats. Det har varit viktigt att resultaten från olika platser och anläggningar ska vara jämförbara, varför stor vikt lagts vid att i möjligaste mån utföra alla kalibreringar och beräkningar på ett enhetligt sätt.

Känslighetsanalysen av dimensionerande nivåer i ett framtida klimat har gjorts med två olika beräkningssätt, vilka benämnts partiell dimensionering och fullständig dimensionering. Med partiell dimensionering avses att enbart medelklimatet, dvs. de 10 års klimatdata som används för att driva den hydrologiska modellen, har förändrats till framtida förhållanden. Fullständig dimensionering innebär att även förändringar i den extrema nederbörden har tagits med i beräkningarna. Tanken var att på detta sätt lättare kunna svara på om den största förändringen i dimensionerande nivåer kommer från medelförändringar i klimatet eller från förändringar i extremnederbörd.

De metoder som används för att beskriva (modellera) en klimatförändrings effekt på hydrologin utvecklas hela tiden. Den hittills vanligaste metoden för att länka samman hydrologiska modeller till klimatmodeller är den så kallade Delta-metoden (se Bergström m.fl., 2003). Denna metod bygger på att en observerad drivdatabas modifieras så att den beskriver ett framtida klimat enligt klimatscenarier. Fördelen är att den alltid ger resultat som kan relateras till verkliga förhållanden. En nackdel med metoden är att den endast beskriver medelförändringar i klimatet medan den inte tar särskild hänsyn till förändringar i extremer. När detta projekt påbörjades var denna metod den allmänt vedertagna metoden för effektstudier, trots dess brist på särskild hänsyn till extremförändringar. Utveckling av en alternativ metod, Scaling-metoden, som bättre tar hänsyn till förändringar även i extremer, pågick, men metoden ansågs ännu för oprövad för att användas i denna typ av analyser. Extrem nederbörd hanteras i dimensioneringsberäkningar av en dimensionerande nederbördssekvens, som torde vara så stor att det enbart är eventuella förändringar av denna som är av intresse för dimensioneringen. Det beslutades därför att basera beräkningarna för framtida förhållanden på Delta-metoden. I ett av testområdena utfördes dock en känslighetsanalys där Scaling-metoden användes.

Då beskrivningen av framtidens tänkbara klimat vilar på resultat från klimatmodeller (klimatscenarier) är det viktigt att framhålla att alla beräkningar utförda inom projektet skall betraktas som känslighetsanalyser. Av denna anledning redovisas inga absoluta nivåer utan endast relativa förändringar av dimensionerande tillrinning och vattenstånd.

Erfarenheter från tidigare studier av klimatförändringars effekter på den svenska hydrologin visar att den ökade nederbörden i stora delar av landet leder till avsevärda ökningar i avrinning (se Andréasson m.fl., 2004). Oavsett om framtidens klimat påverkar de dimensionerande nivåerna för dammanläggningar eller inte så betyder den förväntade ökningen i tillrinning att mer vatten måste avbördas. Detta

kan orsaka problem på nedströmssidan, oavsett om dammsäkerheten påverkas eller inte. För att studera detta närmre har en tilläggsanalys utförts på hur frekvensen av maxtappning ut från Vänern kan komma att förändras i ett framtida klimat enligt scenarierna. Dessa resultat har även publicerats av Carlsson m.fl. (2006) och Bergström m.fl. (2006)

2 Metoder

2.1 Klimatmodeller och emissionsscenarier

Alla beräkningar av ett framtida klimat bygger på antaganden om hur stora utsläpp av växthusgaser som antas ske i framtiden. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) har i en rapport specificerat ett antal olika utvecklingar, bland annat två scenarier som benämns A2 respektive B2 (Nakićenović, m.fl., 2000). Båda scenarierna innebär en ökning av utsläppen, där A2 ger den största förändringen av de två.

Simuleringar av hur det globala klimatet kan komma se ut, om dessa antaganden slår in, görs med globala klimatmodeller. Den horisontella upplösningen i globala klimatmodeller är grov, av storleksordningen 150-300 km. En modellruta (grid) blir därför cirka 25 000-90 000 km², vilket gör att modellerna inte kan beskriva regionala skillnader i klimatet särskilt väl. Av denna anledning används regionala klimatmodeller för att skala ned resultaten från de globala modellerna. På så sätt fås en bättre beskrivning av det regionala klimatet när ökad detaljeringsgrad erhålls.

I denna studie har resultat från Rossby Centres regionala modell, RCAO (Dösher m.fl., 2002), använts. Den horisontala upplösningen på den regionala modellen är cirka 50 km. För att driva RCAO har randvärden från två globala modeller, HadAM3H (Gordon m.fl., 2000) från Hadley Centre och ECHAM4/OPYC3 (Roeckner m.fl., 1999) från Max-Planck Institute använts. Modellresultat har använts för tidsperioden 1961-1990, vilken motsvarar dagens klimat (referens), och den framtida tidsperioden 2071-2100 (scenario).

I en tillämpning har också resultat från en senare version av Rossby Centres regionala modell, RCA3 (Kjellström m.fl., 2006), använts tillsammans med scaling-metoden.

2.2 Hydrologisk modell

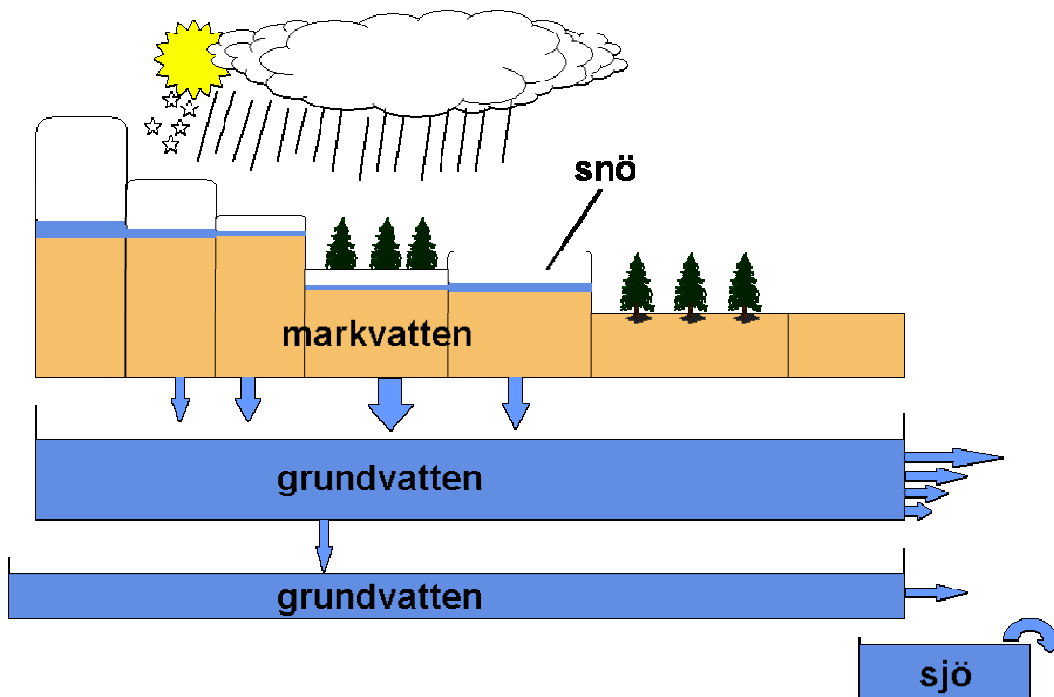
Den hydrologiska avrinningsmodell som använts är HBV-modellen som utvecklades vid SMHI i början av 70-talet (Bergström, 1976) (figur 1). Vidareutveckling av modellen har därefter skett fortlöpande (Bergström, 1995, Lindström, 1997).

HBV-modellen är en semi- distribuerad modell 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. I modellen finns också funktioner för att hantera sjöar och regleringsrutiner.

Genom kalibrering bestäms värden för ett antal fria parametrar. Andra parametrar som beskriver områdets karaktär och dess klimat hålls däremot konstanta under

kalibreringen (Bergström, 1992). Förutom nederbörd och temperatur kan även potentiell avdunstning användas för att driva HBV-modellen.



Figur 1 Schematisk skiss över HBV-modellen

2.3 Beräkningar av dimensionerande flöden och vattenstånd

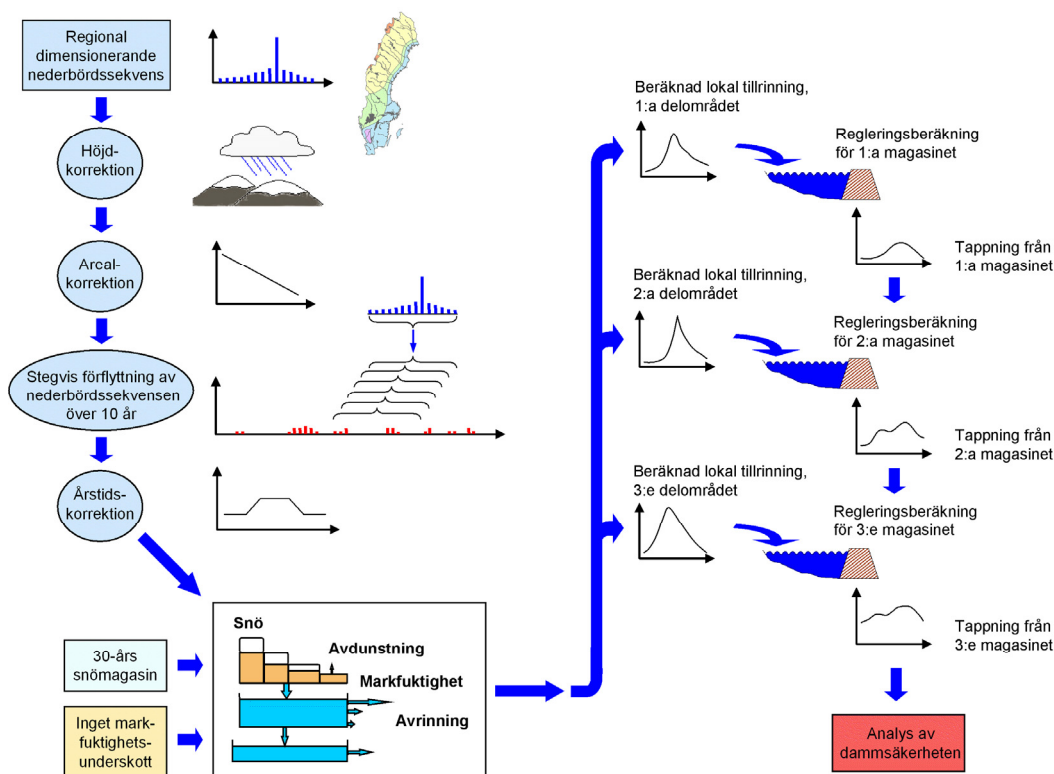
Beräkningarna av de dimensionerande flödena har utförts enligt Flödeskommitténs riktlinjer för dammar i riskklass I (Flödeskommittén, 1990). Metoden bygger på hydrologiska modellsimuleringar som beskriver följderna av att extremt stora nederbördsmängder faller under särskilt ogynnsamma förhållanden. I beräkningarna antas stora nederbördsmängder samverka med effekterna av en snörik vinter.

För beräkningarna har HBV-modellen kalibrerats mot långa tidsserier av tillrinningsdata på ett sådant sätt att särskild vikt lagts vid att beskriva höga flödestoppar så bra som möjligt. Därefter har frekvensanalys gjorts av det modellberäknade snömagasinets årliga maximivärden, och snöns maximala vatteninnehåll med en återkomsttid av 30 år har bestämts. Detta värde på snötäcket läggs i dimensioneringsberäkningarna in på det senaste datum vid vilket snötäcket kulminerat under något av de analyserade åren. I beräkningen antas samma relativa fördelning av snön mellan områdets höjdzoner och delområden, som modellberäkningen uppvisat under det år då snötäcket varit maximalt.

Vid dimensioneringsberäkningens början antas att hela området saknar markvattenunderskott. Enligt riktlinjerna ska regleringsmagasinen antas vara avsänkta till nivåer som bedöms vara rimliga när vårflo den förväntas bli kraftig. I den aktuella känslighetsanalysen har magasinerna i samtliga fall antagits avsänkta till sänkingsgränsen. Produktionstappning har antagits ske i den omfattning som bedömts vara rimlig när en kraftig vårfloed förutses. Förutom

produktionstappningen, antas ingen övrig tappning ske fram tills dess att dämningssgräns uppnås. Vid nivåer över dämningssgränsen antas maximal avbördning ske genom utskoven. När dämningssgränsen uppnåtts, vilket förutsätts ske senast 1 augusti, tillåts magasinen inte avsänkas igen förrän den kritiska flödesperioden är över.

I dimensioneringsberäkningen simuleras de kritiska flöden och vattenstånd som uppstår då den verkliga observerade nederbörden under olika perioder byts ut mot en dimensionerande nederbördssekvens. Den 14 dagar långa nederbördssekvensen ersätter verklig nederbörd vid olika tidpunkter, genom att sekvensens start under beräkningen förskjuts i tiden i steg om ett dygn i taget. Varierande nederbördssekvens används för olika regioner i landet och den dimensionerande nederbörden korrigeras även för höjd över havet och för avrinningsområdets storlek. Dessutom tillkommer en årstidskorrektur som definieras på olika sätt i de olika regionerna. När den mest intensiva nederbörden antas falla (under dygn nio i sekvensen), förutsätts att produktionstappningen faller bort och att avbördning bara kan ske genom utskov. Den mest kritiska magasinutveckling, som på detta sätt simuleras under en 10-årsperiod, blir dimensionerande. Beräkningsgången illustreras schematiskt i figur 2.



Figur 2 Schematisk beskrivning av beräkningsgången vid dimensioneringsberäkningar av ett flöde av riskklass I enligt Flödeskommitténs riktlinjer.

2.4 Delta-metoden

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

modellerade drivdata görs. Ett sätt att hantera detta är att utgå från skillnaden mellan klimatmodellens kontrollsimulering, vilken motsvarar dagens klimat (1961-1990), och scenariosimuleringen som svarar mot ett framtida klimat (2071-2100). I Delta-metoden kombineras skillnaden från klimatmodellen i de hydrologiskt mest relevanta variablerna, nederbörd, temperatur och potentiell avdunstning, 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 olika nederbördsintensiteter 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 blir lika stor som skillnaden mellan kontroll- och scenariosimulering i klimatmodellen.

2.5 Scaling-metoden

Den andra metoden, som använts för att omsätta klimatmodellens resultat till hydrologiska effekter, är den så kallade Scaling-metoden. 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 cirka 400 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.

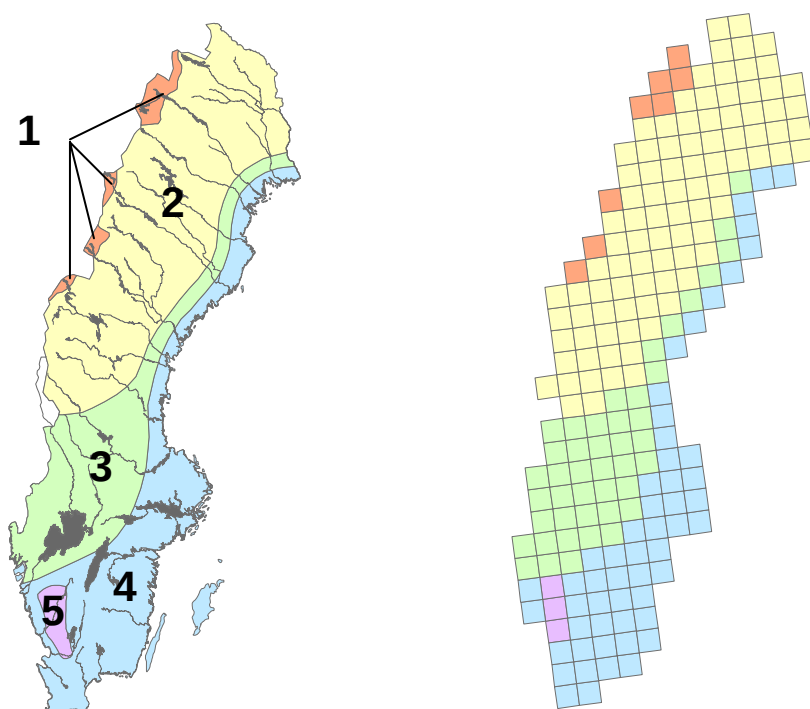
För alla variabler (nederbörd, temperatur och potentiell avdunstning) antogs samma korrekationer, som beräknats för den överlappande tidsperioden mellan observationer och klimatmodell (kontrollsimuleringarna), gälla även för senariosimuleringarna.

2.6 Nederbördsanalys – Dimensionerande sekvens

När de dimensionerande nederbördssekvenserna togs fram av Flödeskommittén (1990) användes data över extrem nederbörd från perioden 1926-1988, det vill säga 63 års data. Tillgängliga data från klimatmodellerna har i denna studie utgjorts av två tidsperioder, 1961-1990, som representerar dagens klimat och 2071-2100, som representerar ett framtida klimat. Dessa tidsperioder består således av 30 års data att jämföra med 63 år för Flödeskommitténs beräkningar.

Flödeskommittén har delat in landet i fem olika regioner baserat på regionala skillnader i nederbördens intensitet och årstidsfördelning (figur 3). För att lättare kunna jämföra hur de gällande riktlinjerna står sig i ett ändrat klimat har inte dessa regionindelningar ändrats i den genomförda analysen. Detta trots att den regionala fördelningen av nederbörd kan tänkas ändras på grund av förändringar i atmosfärens cirkulationsmönster och en förflyttning av temperaturgränser norrut. En sådan ändring av regionindelningen skulle vara komplicerad att införa, eftersom den skulle ändras i de olika scenarierna och dessutom skulle jämförelser försvåras för platser som inte direkt modellerats inom projektet.

Klimatmodellen (RCAO) modellerar Sveriges klimat i ett rutnät som består av cirka 200 rutor. I figur 3 visas detta rutnät och hur det sammanfaller med Flödeskommitténs regionindelning.



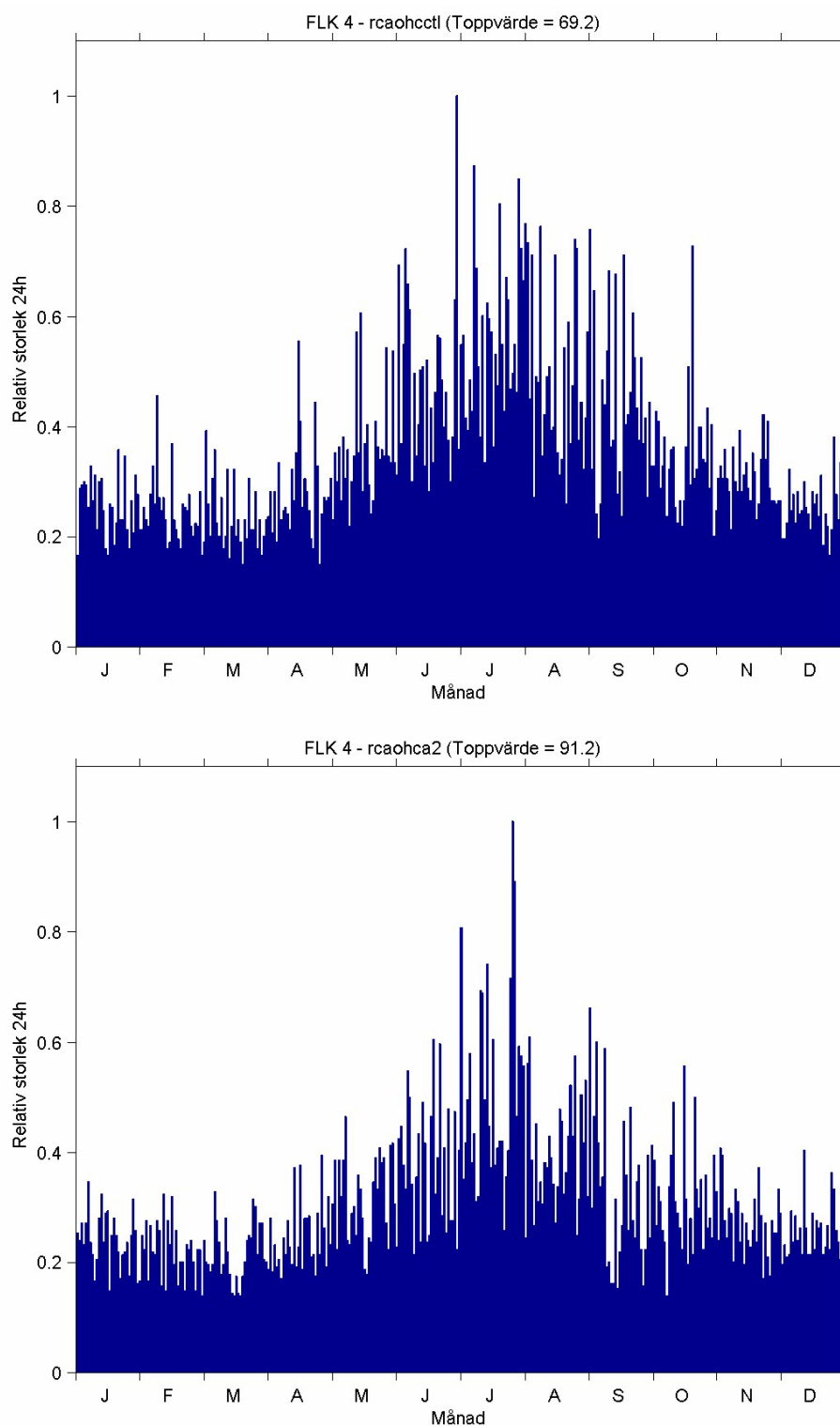
Figur 3 De fem regionerna för dimensionerande nederbördssekvens enligt Flödeskommitténs riktlinjer (till vänster) och motsvarande indelning gjord för klimatmodellens beräkningsrutor (till höger).

Att återskapa de gällande dimensionerande nederbördssekvenserna från analys av klimatmodellens simuleringar för dagens klimat är inte möjligt. Dels är klimatmodellens kontrollsimulering endast 30 år och dels ger inte klimatmodellen riktigt lika stor extremnederbörd som observationer. Istället har en metod inriktad på att modifiera de verkliga dimensionerande nederbördssekvenserna använts.

Den största dygnsnederbörd som förekommit i någon beräkningsruta inom en region under varje dag på året, extraherades för att skapa ett maximalt år för dygnsnederbörd (figur 4). Även 14-dygnsnederbörden extraherades för att på samma sätt skapa ett maximalt år för 14-dygnsnederbörden. Från dessa analyser var det sedan möjligt att få förändring av både dygnsnederbörd och 14-dygnsnederbörd. Att bedöma förändringen utgående från enbart det högsta värdet visade sig dock vara alltför påverkat av chans eller slump för att analysen skulle vara stabil. Istället användes frekvensanalys av varje års högsta nederbörd för att finna förändringen av maximal nederbörd. För detta användes Gumbels fördelning (ibland även kallad Extreme Value Type I) och 100 års återkomsttid. Återkomsttiden 100 år gäller dock för en punkt eller beräkningsruta. I detta fall har analysen tillämpats på flera beräkningsrutor, som exempel 54 beräkningsrutor i region 4, vilket om alla var oberoende av varandra skulle ge en återkomsttid på 54×100 , dvs. 5400 år.

Den relativa förändringen i 100-årsvärdet för dygnsnederbörd användes för att modifiera den dimensionerande nederbördssekvensens toppvärde (dag 9). Då sekvensen ursprungligen är framtagen för att generera ett så högt flöde som

möjligt gjordes inget försök att ändra på fördelningen av nederbörd inom sekvensen. Efter att toppvärdet justerats användes förändringen i 14-dygnsnederbörd till att justera den övriga sekvensen så att rätt totalvolym erhöles.



Figur 4 Exempel på den största modellerade dygnsnederbörden inom Flödeskommitténs region nr 4 för perioden 1961-1990 (RCAO-H/ctrl) överst, samt för perioden 2071-2100 (RCAO-H/A2) underst.

3 Databas

3.1 Testområden

Valet av testområden har baserats dels på geografisk fördelning i landet och inom Flödeskommitténs nederbördsregioner, och dels på varje områdes särskilda egenskaper. Testområdena redovisas i figur 5 och några av områdenas karaktäristika i tabell 1.

Det nordligaste testområdet är Suorva som ligger i nordvästra Lappland. Tillrinningsområdet är cirka 4 600 km² stort och karaktäriseras bland annat av att det finns glaciärer inom området. Glaciärerna utgör cirka 3 % av tillrinningsområdet. Suorva är särskilt intressant eftersom det är Sveriges viktigaste vattenkraftsmagasin. För Suorva har beräkningar gjorts enbart för dimensionerande tillrinning, eftersom det är ett flerårsmagasin med komplicerad regleringsstrategi där aktiv flödesdämpning tillämpas. För att utvärdera glaciärens effekt på dimensionerande nivåer har en känslighetsanalys med olika antaganden om glaciärsavsmältning gjorts med stöd av tidigare klimatstudier utförda för Storglaciären (Radić m.fl., 2006).

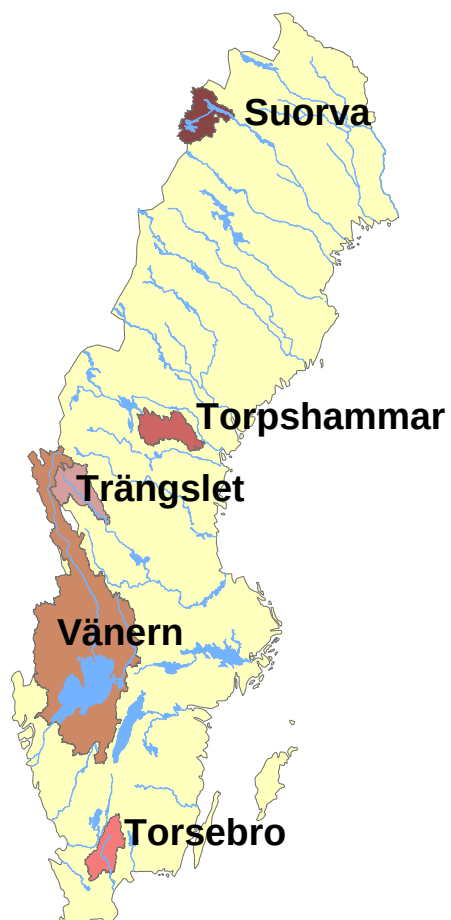
Testområdet Torpshammar representerar förhållandena i skogslandskapen i södra Norrlands inland. Det dimensionerande flödet har bestämts vid Torpshammars kraftverk som ligger vid Grönstadammen i Ljungans största biflöde, Gimån. Tillrinningsområdet är cirka 4 300 km² stort. Regleringsmagasineringsen sker huvudsakligen längre upp i vattendraget, uppströms Leringsforsdammen, i sjön Leringen.

Trängslets tillrinningsområde är cirka 4 500 km² stort och ligger i Dalarnas län, där en del sträcker sig in i Norge. Området är en del av Dalälvens avrinningsområde och utgör den översta delen av Österdalälven. Trängsletdammen är Sveriges högsta damm och dämmer upp den 7 mil långa Trängsletsjön.

Vänerns tillrinningsområde är cirka 46 800 km² stort och med sina dryga 5 600 km², är det Sveriges största sjö och Europas tredjes största sjö. Geografiskt sett är avrinningsområdet utsträckt och sträcker sig från utloppet vid Vänersborg upp genom Värmland till Dalarna och in i Norge. Vänern förbinds med Kattegatt genom Göta älv som mynnar ut i havet vid Göteborg.

I den nyligen utkomna rapporten (Elforsk 05:17) slås det fast att riktlinjerna inte kategoriskt kan tillämpas för Vänern. Detta beror på att tillrinningens varaktighet är viktigare än kortvariga höga tillrinningar, som erhålls vid dimensionering enligt riktlinjerna. Metodiken har ändå bedömts vara av intresse för en känslighetsanalys då inga andra riktlinjer i nuläget föreligger för Vänern. Utöver analyser av dimensionerande tillrinning vattenstånd vid Vargöns kraftverk, har även en tilläggsstudie gjorts för att undersöka hur frekvensen av tillfällen med maximal tappning förändras enbart beroende på förändringar i medelklimatet.

Torsebro kraftverk ligger i Helge å, cirka en mil uppströms Hammarsjön. Tillrinningsområdet är cirka 3 700 km² stort. Höga flöden i Helge å och därmed högt vattenstånd i Hammarsjön har stundtals hotat översvämma det lågt liggande Kristianstad. Påverkan av regleringar i Helge å bedöms vara liten vid högre vattenföringsvärden och vid dimensioneringsberäkningarna har därför inga regleringsstrategier inkluderats.



Figur 5 Testområden för känslighetsberäkningarna.

Tabell 1 Testområdenas karaktäristik i modellberäkningarna.

	Suorva	Torpshammar	Trängslet	Vänern	Torsebro
Antal delområden	3	6	2	8	12
Total area (km ²)	4 647	4296	4 523	46 885	3665
Medelhöjd (m)	1146	347	739	183	120
Sjö (%)	16	11	4	18	5
Skog (%)	8	82	67	54	62
Öppen mark (%)	73	7	29	28	33
Glaciär (%)	3	-	-	-	-
Region	1 och 2	2 och 3	2	3 och 4	4
Sänkningsgräns (m)	423.00	185.20	388.00	43.16- 43.54	-
Dämningsgräns (m)	453.00	185.60	422.95	44.55- 44.85	-
Tätkärnans krön (m)	455.00	186.40	424.95	-	-

3.2 Meteorologisk databas

För simuleringarna som avser dagens klimatförhållanden, har areellt högupplösta meteorologiska data använts som indata till HBV-modellen. Nederbörd och temperatur har hämtats från den databas, PTHBV, som SMHI byggt upp med särskild inriktning på hydrologisk modellering. Databasen innehåller interpolerade värden på nederbörd och temperatur, vilka anges i ett rikstäckande rutnät med upplösningen 4x4 km. Detta skiljer sig från manuell viktning av stationsdata, vilket är den metod som oftast använts tidigare.

Data från SMHIs meteorologiska stationer har interpolerats till gridrutorna med hjälp av en geostatistisk interpolationsmetod som benämns optimal interpolation. Metoden innebär att hänsyn tas både till stationernas avstånd från beräkningsrutan och till deras inbördes korrelation. För att i interpolationen kunna beskriva den rumsliga variationen, utnyttjas höjddata samt (för nederbörd) även information om typisk vindriktning och vindstyrka under olika delar av året och i olika delar av landet. Detaljer om hur interpolationen utförs beskrivs av Johansson (2000) och Johansson och Chen (2003 och 2005). I databasen har den observerade nederbörden även korrigerats för mätförluster, som framför allt orsakas av att en del av nederbörden blåser förbi mätaren. Mätförlusterna har beräknats enligt Alexandersson (2003). I dessa beräkningar tas hänsyn till hur vindutsatt mätstationen är och om nederbörden faller som snö eller regn, vilket avgörs utifrån temperaturen.

3.3 Klimatscenarier

Den ändring av klimatet som i genomsnitt erhålls för respektive testområde när delta-metoden använts tillsammans med klimatscenarierna redovisas i tabell 2. Scenarierna baserade på modellkombinationen RCAO-E resulterar genomgående i större ökningar av både nederbörd och temperatur än RCAO-H. Detta gäller även för förändring i avdunstning i alla områden utom Suorva. För tillämpning med scaling-metoden har ett annat scenario, RCA3-E/B2 använts. Detta scenario resulterar i lite högre nederbördsökning och lite mindre avdunstningsökning än RCAO-E/B2. Det har också en något mindre temperaturökning. Sammantaget ger detta ett blötare scenario.

Tabell 2 **Genomsnittlig förändring av nederbörd (P (%)), temperatur (t (°C)) och aktuell avdunstning (E (%)) från 1961-1990 till 2071-2100 enligt fem klimatscenarier.**

	Suorva			Torpshammar			Trängslet			Vänern			Torsebro		
	P	T	E	P	T	E	P	T	E	P	T	E	P	T	E
RCAO-H/A2	11	3.6	43	13	3.6	16	15	3.5	19	9	3.7	17	2	3.5	8
RCAO-H/B2	7	2.6	26	9	2.5	9	12	2.3	12	6	2.4	10	2	2.2	5
RCAO-E/A2	46	4.2	20	22	4.6	22	21	4.7	24	21	4.7	21	13	4.5	10
RCAO-E/B2	31	3.3	17	16	3.5	15	16	3.5	18	16	3.6	16	10	3.4	8
RCA3-E/B2	-	-	-	-	-	-	18	3.3	15	-	-	-	-	-	-

4 Resultat

4.1 Scenarier för vattenföring

Förändring i vattenföringens säsongsdynamik för respektive testområde redovisas i figur 6. För referensperioden har observationer från tidsperioden 1961-1990 använts för att driva HBV-modellen. Simuleringar för framtidens klimat (2071-2100) har gjorts med hjälp av Delta-metoden.

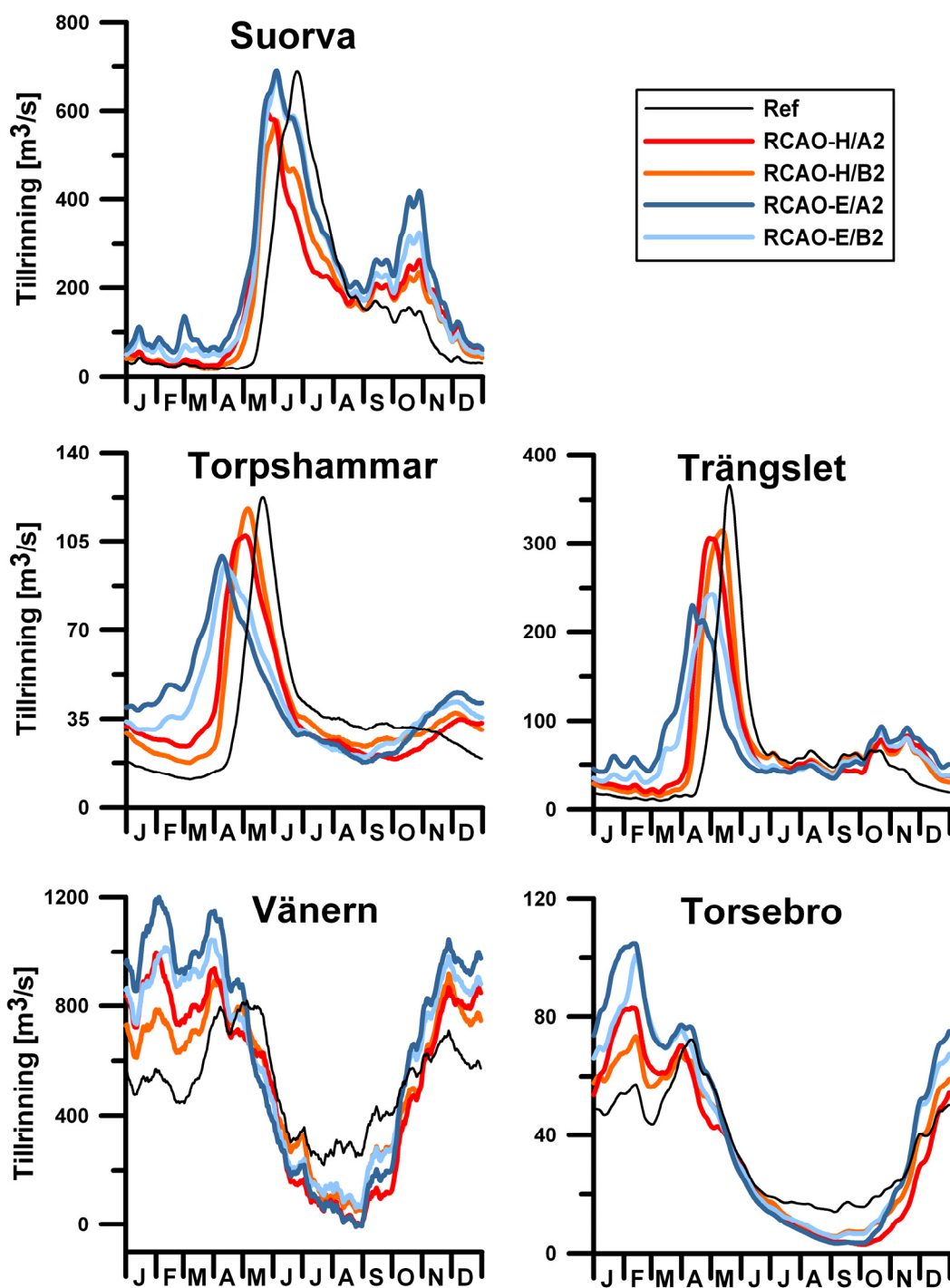
De tre nordligaste områdena, Suorva, Torpshammar och Trängslet, uppvisar med dagens klimat ett liknade säsongsmönster, med tydliga vårfloeden och ett mindre höstflöde. Responsen på de fyra klimatscenarierna liknar varandra med en tidigare och, enligt de flesta scenarier, lägre vårfloed än i dagens klimat. Endast i Suorva, med scenarierna drivna med RCAO-E modellen, hamnar vårfloeden på samma nivåer som dagens. Höstflöden i de tre områdena blir dock högre och mer markerade i scenarierna jämfört med under referensperioden.

De två sydligare testområdena, Vänern och Torsebro, uppvisar i dagens klimat ett annat säsongsmönster med torrare somrar och höga flöden under vinter och vår. I scenarierna förstärks dessa signaler i båda testområdena genom ökade vår- och vinterflöden och lägre sommarflöden.

I alla testområden, förutom Torsebro, visar samtliga scenarier på en ökning av den totala tillrinningsvolymen (tabell 3). För Torsebro ger scenarierna från RCAO-E en ökning, medan RCAO-H i detta område ger en liten minskning av volymen.

Tabell 3 Förändring av medeltillrinning (%) från perioden 1961-1990 till perioden 2071-2100 enligt fyra klimatscenarier.

	Suorva	Torpshammar	Trängslet	Vänern	Torsebro
RCAO-H/A2	+12	+9	+13	+1	- 6
RCAO-H/B2	+8	+10	+12	+3	- 2
RCAO-E/A2	+53	+22	+18	+22	+17
RCAO-E/B2	+35	+17	+15	+16	+12

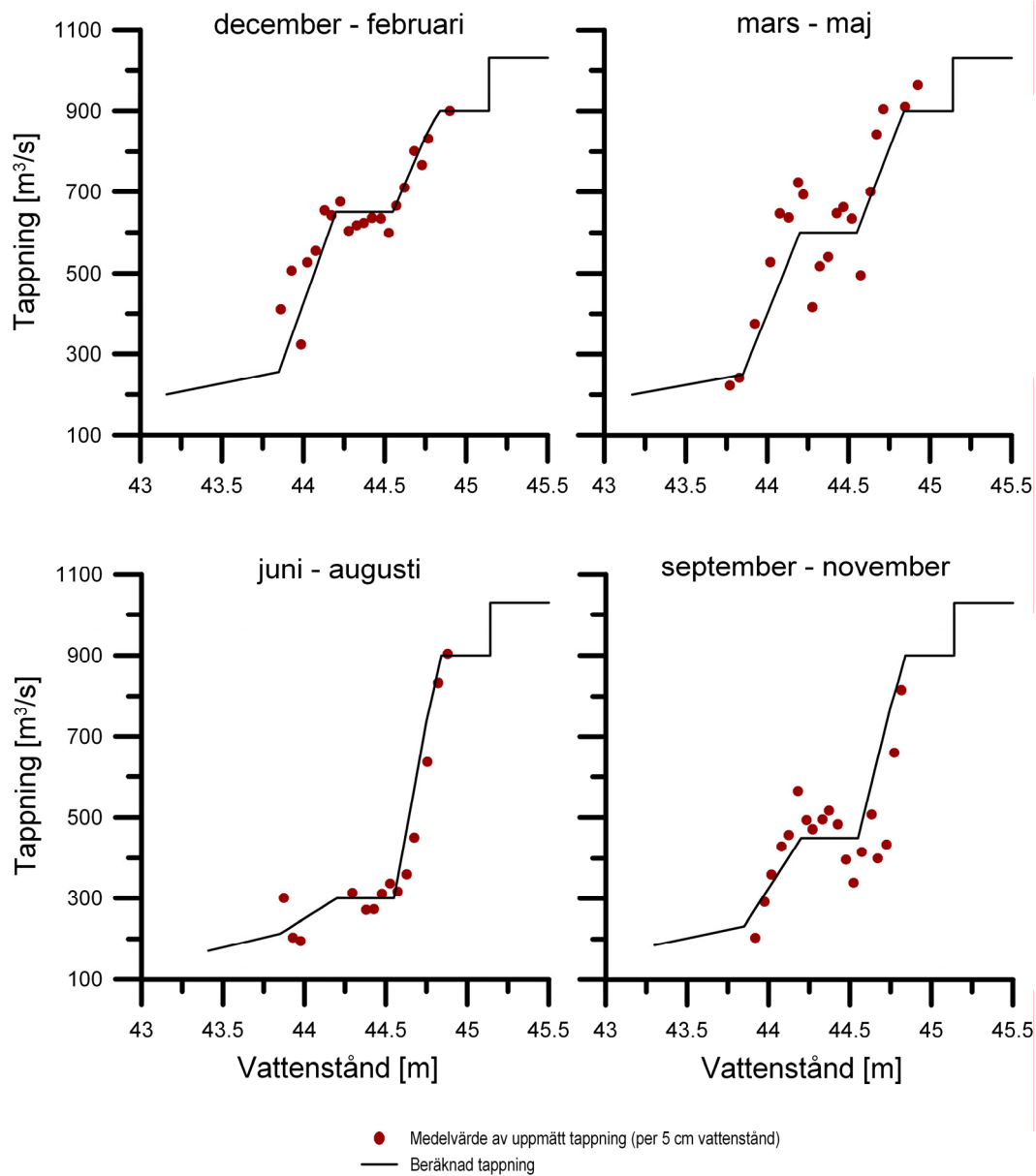


Figur 6 Tillrinningens säsongsdynamik, 30-års medelvärde, för respektive testområde. Referensen (ref) motsvarar perioden 1961-1990 och scenarierna perioden 2071-2100

4.1.1 Tappningsanalys för Vänern

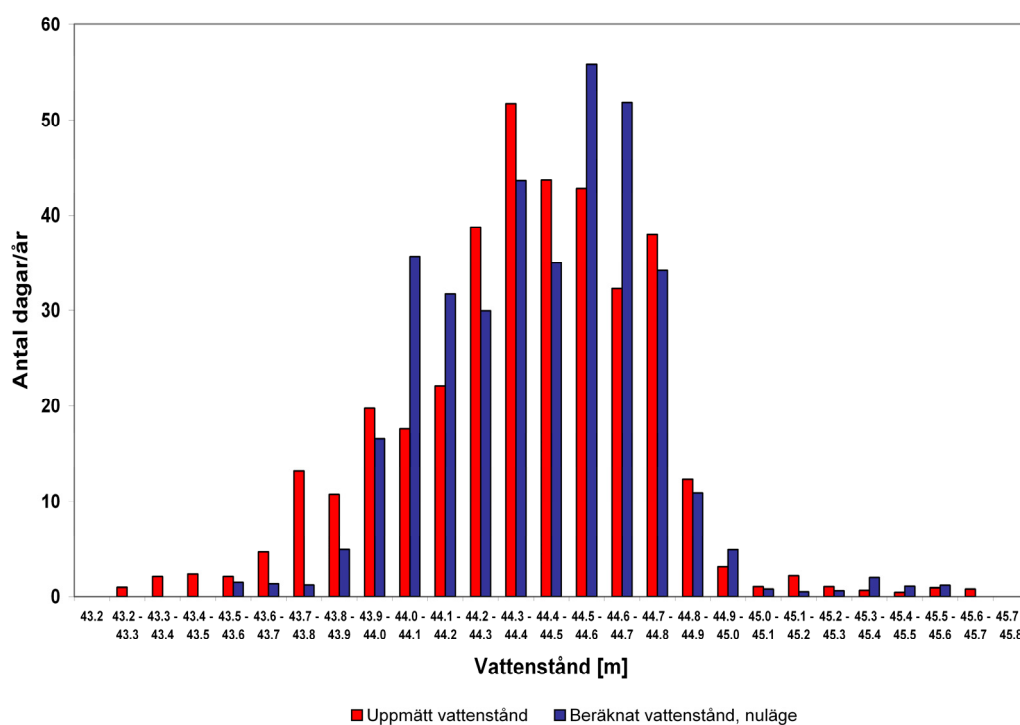
Den valda tappningsstrategin är helt avgörande för vilka nivåer och flöden i Göta älv som de hydrologiska beräkningarna för Vänern leder till. Såväl Vänerns dämningssgräns som sänkningsgräns varierar över året. Vattendomen i Vänern innebär bl.a. att tappningen skall ökas till 900 m³/s (+ 30 m³/s) när dämningssgränsen överskrids. Vid beräkningarna har vattendomens regler kopplats till de tillrinningar som HBV-modellen ger vid de olika klimatologiska förutsättningarna. Därvid har den högsta tappningen från Vänern begränsats till 1030 m³/s.

Den största svårigheten vid en beräkning av Vänerns vattenstånd är att entydigt bestämma hur tappningen blir när Vänerns vattenstånd ligger mellan sänkningsgränsen och dämningssgränsen. Då har Vattenfall stor frihet att bestämma tappningen. Den kan anpassas till Vänerns vattenstånd men också till variationer i kraftpriset eller andra överväganden. Genom en analys av hur tappningen skett under perioden 1964-1990, och efter en dialog med Vattenfall, har en förenklad strategi utarbetats för dessa beräkningar. Den bygger på säsongsvisa samband mellan vattenstånd och tappning enligt figur 7.



Figur 7 Säsongsvisa samband mellan Vänerns vattenstånd och tappning. Punkterna visar klassindelade observationer för perioden 1964-1990 (från Bergström m.fl. 2006).

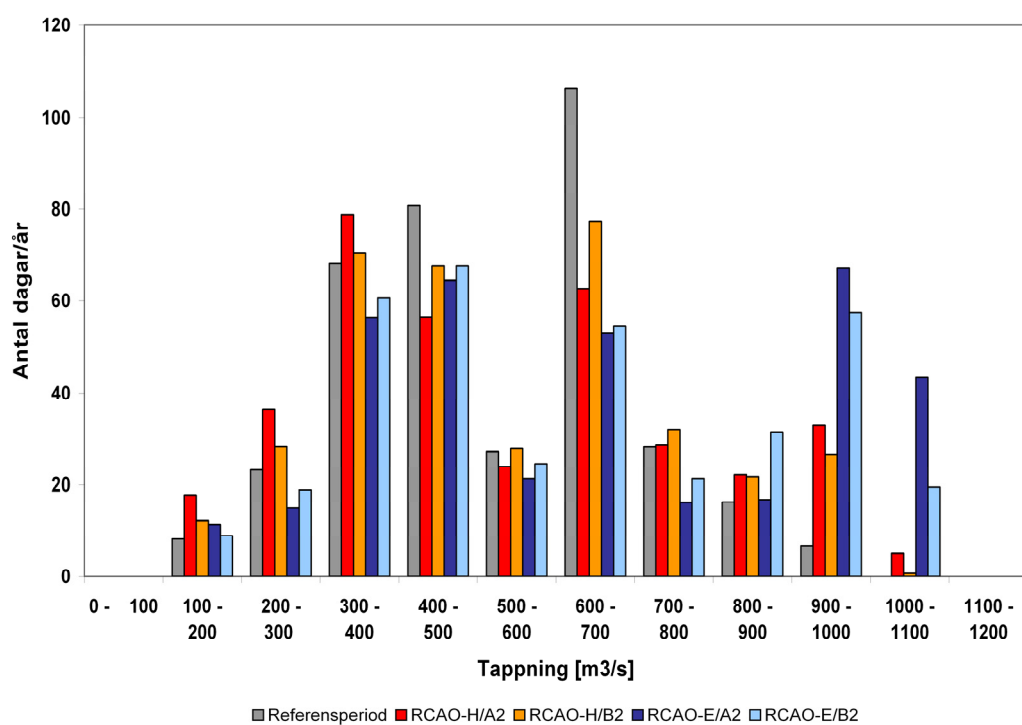
Figur 8 visar att det går att någorlunda väl beskriva vattenstånden för Väneren med tappningsstrategin baserad på diagrammen i figur 7. Medelnivån av observationer för perioden är 44,37 m medan den i motsvarande beräkning blev 44,42 m.



Figur 8 Observerad statistik över Vänerns vattenstånd för perioden 1964-2002 (röda staplar) och motsvarande statistik från tillämpning av den förenklade tappningsstrategin och den hydrologiska tillrinningsberäkningen med HBV-modellen (Blå staplar) (från Bergström m.fl. 2006).

Effekterna av ett förändrat klimat på flöden i Göta älv och nivåerna i Vänern beräknades med utgångspunkt från dagens klimat (1964 – 1990) och det framtida klimatet (2074-2100) enligt de fyra olika klimatscenarierna med delta-metoden. Resultatet i form av statistik över tappningsnivåer, i dagens och i framtidens klimat, med dagens tappningsstrategi visas i figur 9.

Analyserna visar att ett mildare och mer nederbördsrikt klimat kommer att leda till stora förändringar av flödena i Göta älv och vattenstånden i Vänern. Framförallt kommer antalet dagar med mycket höga tappningar i Göta älv att öka kraftigt. Detta gäller för samtliga fyra klimatscenarier.



Figur 9

Fördelning av tappningen från Vänerns i dagens klimat och om klimatet ändras i enlighet med de fyra scenarierna (från Bergström m.fl. 2006).

4.2 Dimensionerande snötäcke

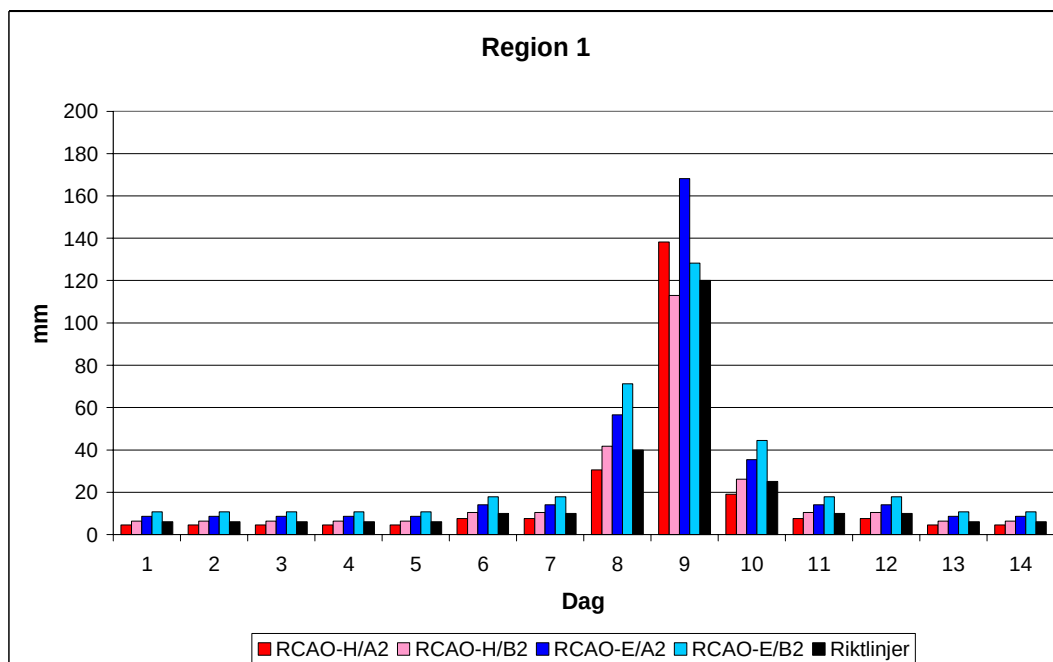
Beräkningen av det dimensionerande snötäcket har baserats på hydrologiska modellsimuleringar för perioden 1961-2002, gällande dagens klimat, och för en scenarieperiod som simulerats med Delta-metoden. Den procentuella förändringen i snöns maximala vatteninnehåll, med återkomsttiden 30 år, för scenariosimuleringarna redovisas i tabell 4. Generellt sett ger scenarierna en minskning av det dimensionerande snötäcket i alla testområden. Det enda undantaget är RCAO-H scenariot för Trängslet, som ger ingen eller obetydlig minskning av snötäcket. Procentuellt sett ter sig minskningen mest dramatisk i de sydligaste testområdena, Torsebro och Vänern. Räknat i vatteninnehåll, är dock minskningen betydligt större i de norra områdena, eftersom det dimensionerande snötäcket där är mycket större.

Tabell 4 Förändring i det beräknade dimensionerande snötäcket enligt fyra klimatscenarier (%).

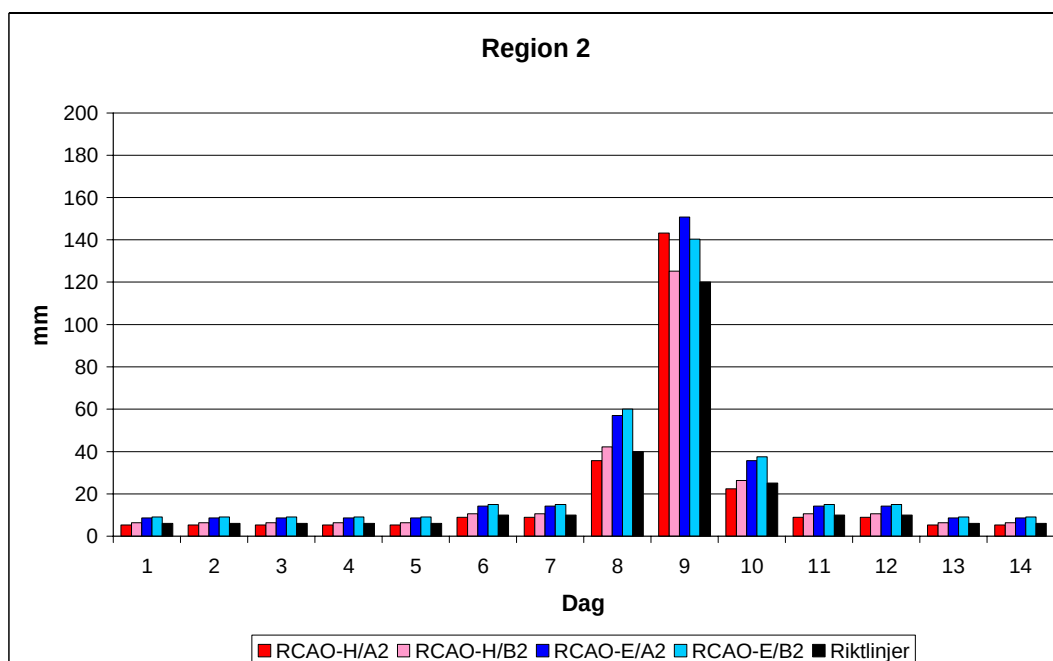
	Suorva	Torpshammar	Trängslet	Vänern	Torsebro
RCAO-H/A2	-41	-11	0	-42	-70
RCAO-H/B2	-33	-3	-1	-34	-54
RCAO-E/A2	-11	-35	-21	-56	-76
RCAO-E/B2	-14	-23	-7	-45	-68

4.3 Dimensionerande nederbördssekvens

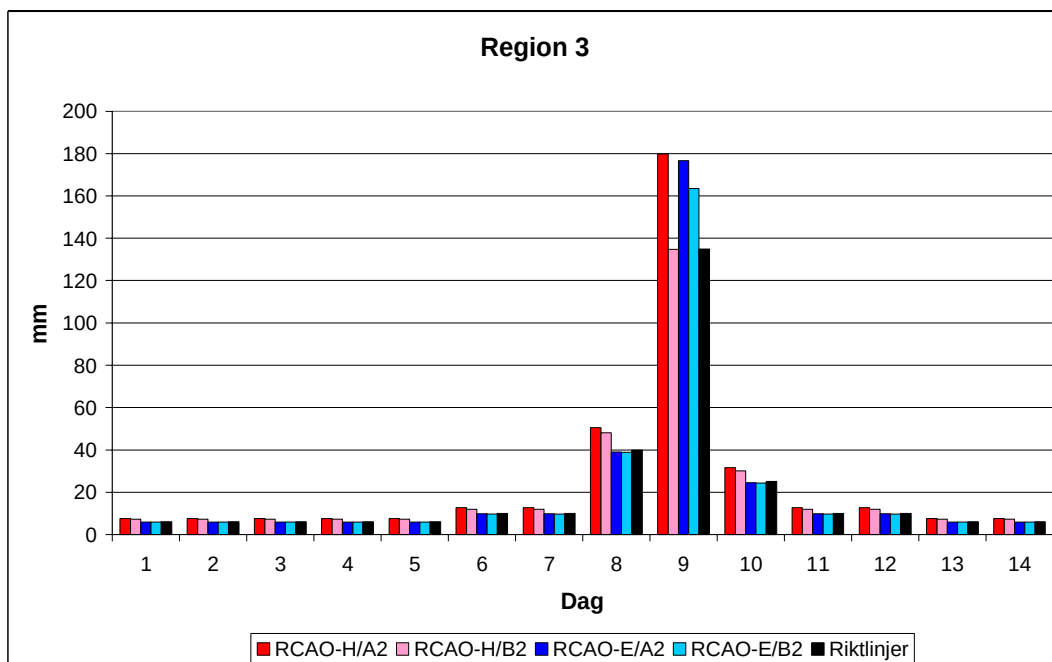
De dimensionerande nederbördssekvenserna enligt riktlinjerna, och efter modifiering enligt de fyra klimatscenarierna, redovisas för respektive region i figur 10-14 nedan. Klimatscenariernas effekt på toppvärdet (dag 9) samt på hela den dimensionerande sekvensens volym redovisas i tabell 5 respektive tabell 6. Klimatscenarierna baserade på utsläppsscenario A2 visar genomgående på en ökning av den mest extrema dygnsnederbörden. För B2- scenarierna är signalen mer splittrad med både ökningar och minskningar. RCAO-E/B2 visar på en ökning överallt utom i region 5. Även RCAO-H/B2 minskar i region 5 och 1. Den totala volymen hos sekvensen ökar i alla regioner för både A2- och B2-scenariot med RCAO-E modellen. Med RCAO-H modellen och A2-scenariot ökar också sekvensens volym, förutom i region 1 där det sker en minskning. RCAO-H/B2 ger förhållandevis små förändringar avseende sekvensens volym med både ökningar och minskningar.



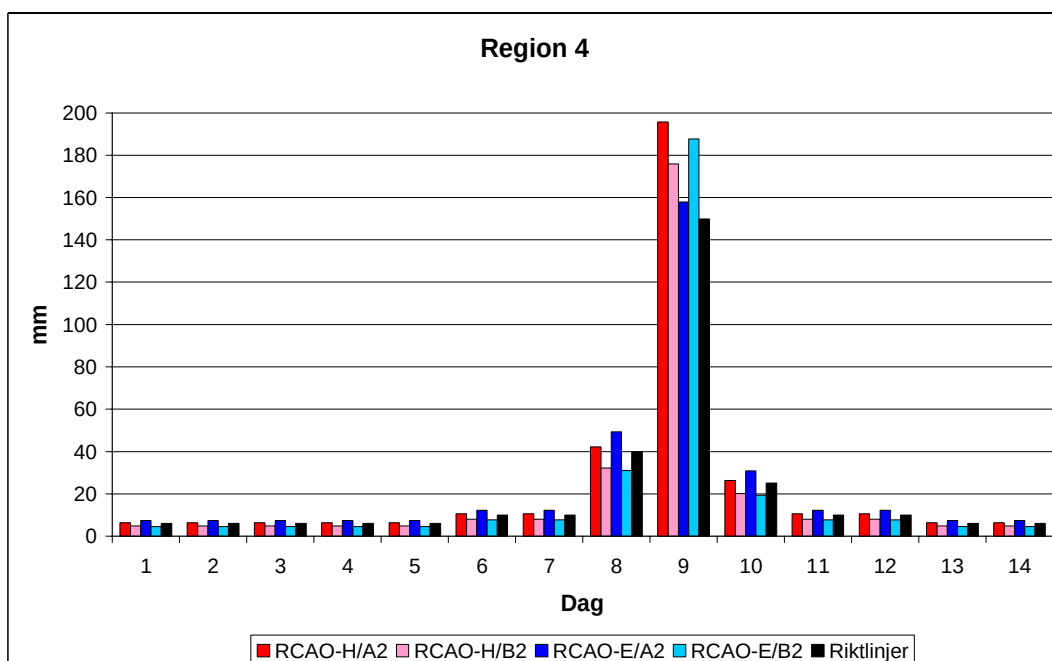
Figur 10 Dimensionerande nederbördssekvens för region 1 enligt riktlinjerna och efter modifiering enligt fyra klimatscenarier.



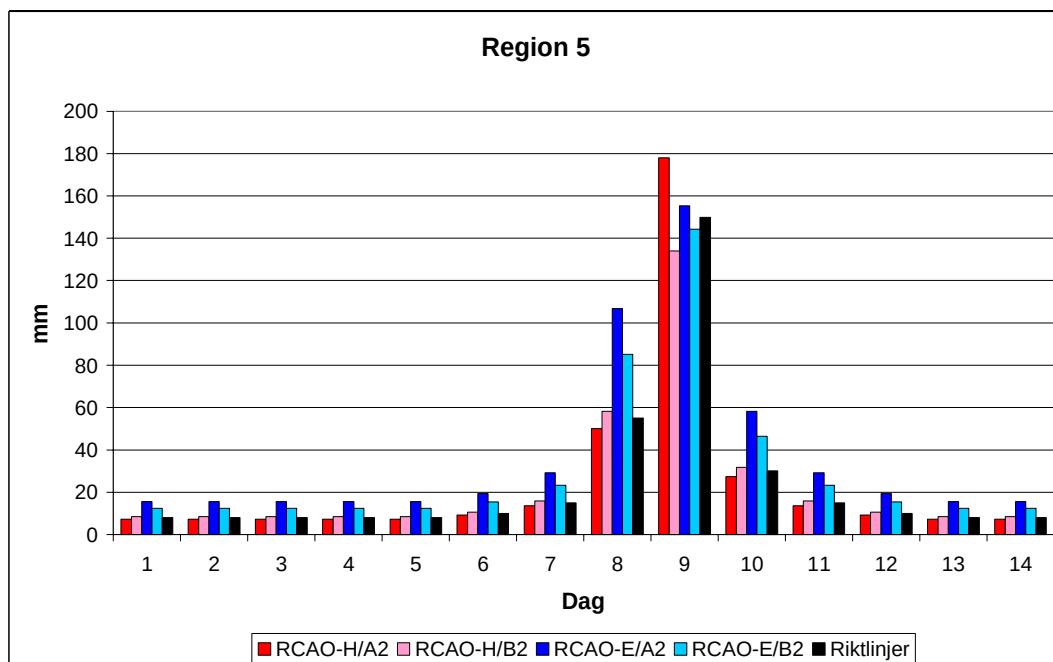
Figur 11 Dimensionerande nederbördssekvens för region 2 enligt riktlinjerna och efter modifiering enligt fyra klimatscenarier.



Figur 12 Dimensionerande nederbördssekvens för region 3 enligt riktlinjerna och efter modifiering enligt fyra klimatscenarier.



Figur 13 Dimensionerande nederbördssekvens för region 4 enligt riktlinjerna och efter modifiering enligt fyra klimatscenarier.



Figur 14 Dimensionerande nederbördssekvens för region 5 enligt riktlinjerna och efter modifiering enligt fyra klimatscenarier.

Tabell 5 Förändring i den dimensionerande nederbördssekvensens toppvärde (%) enligt fyra klimatscenarier.

	Region 1	Region 2	Region 3	Region 4	Region 5
RCAO-H/A2	+15	+19	+33	+30	+19
RCAO-H/B2	-6	+4	0	+17	-11
RCAO-E/A2	+40	+26	+31	+5	+4
RCAO-E/B2	+7	+17	+21	+25	-4

Tabell 6 Förändring i den dimensionerande nederbördssekvensens totalvolym (%) enligt fyra klimatscenarier.

	Region 1	Region 2	Region 3	Region 4	Region 5
RCAO-H/A2	-6	+3	+30	+18	+3
RCAO-H/B2	0	+5	+10	-1	-1
RCAO-E/A2	+41	+35	+14	+14	+54
RCAO-E/B2	+46	+35	+9	+1	+29

4.4 Effekt av ändrat medelklimat – Partiell dimensionering

Förändring av beräknad dimensionerande tillrinning och beräknat dimensionerande vattenstånd mellan referenssimulering för nuvarande klimat (1981-1990) och motsvarande fyra scenarier redovisas i tabell 7 och 8. I samtliga av dessa beräkningar har den dimensionerande nederbördssekvensen som föreskrivs i riktlinjerna använts. För scenarierberäkningarna har det dimensionerande snötäcket som motsvarar respektive scenario använts istället för det som beräknats för nuvarande klimat. Också de meteorologiska drivdata som använts för simuleringen har modifierats i enlighet med klimatscenerierna med hjälp av delta-metoden.

4.4.1 Dimensionerande tillrinning

Samtliga scenarier ger för alla testområden en minskning i den beräknade dimensionerande tillrinningens maxvärden, med undantag för RCAO-H scenarierna i Trängslet. Tecknet på förändringen följer relativt väl resultaten som erhöles för förändring av dimensionerande snötäcke (jfr tabell 4, sid. 22).

Tabell 7 Förändring i den beräknade dimensionerande tillrinningens maxvärde (%) enligt fyra klimatscenarier men med oförändrad dimensionerande nederbördssekvens.

	Suorva	Torpshammar	Trängslet	Vänern	Torsebro
RCAO-H/A2	-11	-3	+11	-13	-25
RCAO-H/B2	-5	-1	+6	-8	-21
RCAO-E/A2	-8	-7	-25	-11	-13
RCAO-E/B2	-4	-5	-13	-11	-28

4.4.2 Dimensionerande vattenstånd

I likhet med beräkningarna av dimensionerande tillrinning så följer förändringen av de beräknade dimensionerande vattenstånden ganska väl förändringen i det dimensionerande snötäcket. Detta gäller dock inte för Vänern. Här är det istället den ökade totala tillrinningen, orsakat av ett blötare klimat, som är mer avgörande. Detta ger upphov till högre dimensionerande vattenstånd, trots att det dimensionerande snötäcket minskar.

Tabell 8 Förändring i det beräknade dimensionerande vattenståndet (m) enligt fyra klimatscenarier men med oförändrad dimensionerande nederbördssekvens.

	Torpshammar	Trängslet	Vänern
RCAO-H/A2	-1.5	+0.2	+0.3
RCAO-H/B2	-0.4	0.0	0.0
RCAO-E/A2	-2.0	-1.5	+1.0
RCAO-E/B2	-2.0	-0.6	+0.6

4.5 Effekt av ändrat medelklimat och ändrad extremnederbörd – Fullständig dimensionering

I beräkningarna av förändringar av dimensionerande tillrinning och vattenstånd som redovisas i tabell 9 och 11 har förutom det dimensionerande snötäcket och medelklimatet även de dimensionerande nederbördssekvenserna ändrats i enlighet med respektive klimatscenario.

4.5.1 Dimensionerande tillrinning

I Suorva ger de två scenarierna baserade på RCAO-H en minskning med mellan 6 och 9 % (tabell 9). Scenarierna baserade på RCAO-E ger däremot en ökning av dimensionerande tillrinning med mellan 16 och 20 %. I just denna del av landet (västra fjällen) skiljer sig resultaten från de två globala modellerna åt väldigt mycket, med stora nederbördsökningar i ECHAM4/OPYC3-scenarierna. Lika stora ökningar i nederbörd fås inte med HadAM3H-modellen. I Torpshammar är förändringarna, oavsett scenario, mycket små vad gäller dimensionerande tillrinning. I Trängslet resulterar tre av scenarierna i en ökning av den dimensionerande tillrinningen med mellan 1 och 14 %. Ett av scenarierna, RCAO-E/A2, ger dock istället en minskning med 14 %. Troligen beroende på en stor minskning av det dimensionerande snötäcket (jfr tabell 4, sid. 22). För Vänern ger alla scenarier utom RCAO-H/B2 ökning med mellan 6 och 16 %. RCAO-H/B2-scenariot ger istället en minskning med 5 % för Vänern. I Torsebro ger samtliga scenarier en minskning av den dimensionerande tillrinningen.

Tabell 9 Förändring i den beräknade dimensionerande tillrinningens maxvärde (%) enligt fyra klimatscenarier (fullständig dimensionering).

	Suorva	Torpshammar	Trängslet	Vänern	Torsebro
RCAO-H/A2	-9	-3	+14	+16	-8
RCAO-H/B2	-6	0	+9	-5	-19
RCAO-E/A2	+20	-3	-14	+13	-10
RCAO-E/B2	+16	-1	+1	+6	-22

I tabell 10 visas skillnaden i förändringen av den dimensionerande tillrinningen när de förändrade dimensionerande nederbördssekvenserna använts jämfört med när riktlinjernas dimensionerande nederbördssekvens använts. Från tabellen kan

utläsas att bidraget från förändringar i den mest extrema nederbörden generellt resulterar i högre dimensionerande tillrinning.

Tabell 10 Förändring i den beräknade dimensionerande tillrinningens maxvärde (%) enligt fyra klimatscenarier enbart beroende på förändring i dimensionerande sekvens (skillnad mellan tabell 7 och 9)

	Suorva	Torpshammar	Trängslet	Vänern	Torsebro
RCAO-H/A2	+2	0	+3	+29	+13
RCAO-H/B2	+1	+1	+3	+3	+2
RCAO-E/A2	+28	+4	+11	+24	+3
RCAO-E/B2	+20	+4	+14	+17	+6

4.5.2 Dimensionerande vattenstånd

I Torpshammar resulterar samtliga scenarier i minskade dimensionerande vattenstånd med mellan 0.2 till 1.4 m (tabell 11). För Trängslet ger alla scenarier utom RCAO-E/A2 en ökning av det dimensionerande vattenståndet med mellan 0.2 och 0.7 m. RCAO-E/A2 ger istället en minskning med 0.3 m till följd av en kraftig minskning av det dimensionerande snötäcket (-21 %). I Vänern ger samtliga scenarier öknings av det dimensionerande vattenståndet med mellan 0.1 till 1 m.

Tabell 11 Förändring i det beräknade dimensionerande vattenståndet (m) enligt fyra klimatscenarier (fullständig dimensionering).

	Torpshammar	Trängslet	Vänern
RCAO-H/A2	-1.4	+0.4	+0.5
RCAO-H/B2	-0.2	+0.2	+0.1
RCAO-E/A2	-1.3	-0.3	+1.0
RCAO-E/B2	-0.4	+0.7	+0.7

I tabell 12 visas skillnaden i förändringen av de dimensionerande vattenstånden när de förändrade dimensionerande nederbördssekvenserna använts jämfört med när riktlinjernas dimensionerande nederbördssekvens använts. Från tabellen kan utläsas att bidraget från förändringar i den mest extrema nederbörden generellt resulterar i högre dimensionerande vattenstånd.

Tabell 12 Förändring i den beräknade dimensionerande vattenståndet (m) enligt fyra klimatscenarier enbart beroende på förändring i dimensionerande sekvens (skillnad mellan tabell 8 och 11).

	Torpshammar	Trängslet	Vänern
RCAO-H/A2	+0.1	+0.2	+0.2
RCAO-H/B2	+0.2	+0.2	+0.1
RCAO-E/A2	+0.7	+1.2	0
RCAO-E/B2	+1.6	+1.3	+0.1

4.5.3 Känslighetsanalys av glaciärer

Det mest troliga scenariot för slutet på detta sekel är att Storglaciären är avsmält till mellan 10-50 % av dagens glaciärvolym (Radić m.fl., 2006). I tabell 13 redovisas förändring i den beräknade dimensionerande tillrinningen med tre olika antaganden om framtida glaciärbredning enligt ett scenario. Analysen visar att glaciärens bidrag till den dimensionerande tillrinningen är försumbart.

Tabell 13 Förändring av den beräknade dimensionerande tillrinningen (%) till Suorva enligt ett klimatscenario och tre olika antaganden om glaciärväsmältning.

	RCAO-E/B2 Oförändrad glaciär	RCAO-E/B2 Halv glaciär	RCAO-E/B2 Ingen glaciär
Förändring	+16 %	+16 %	+16 %

4.6 Effekt av olika metoder för ändrat medelklimat på dimensioneringsresultat

För flertalet analyser i den genomförda studien har delta-metoden använts för att skapa drivdata för scenarioklimaten. För Trängslet har även en jämförelse gjorts med en annan metod, scaling-metoden. Klimatscenariot som använts med delta-metoden är RCAO-E/B2 och med scaling-metoden användes RCA3-E/B2. Referenssimuleringen för dagens klimat (1981-1990) med scaling-metoden ger ett dimensionerande snötäcke som är 5% lägre än motsvarande referenssimulering med observationer. Den beräknade dimensionerande tillrinningen för dagens klimat blev 7% lägre med scaling-metoden jämfört med beräkningen baserad på observerade indata. För det dimensionerande vattenståndet erhöles ett 3 dm lägre vattenstånd med scaling-metoden för referensperioden.

Skillnaderna från referens till scenarioperioden redovisas för respektive metod i tabell 14. Båda metoderna ger samma resultat vad det gäller förändring av det dimensionerande vattenståndet (+0.7 m), men de skiljer sig åt vad det gäller förändringar av det dimensionerande snötäcket och den dimensionerande tillrinningen.

Tabell 14 **Förändring av dimensionerande snötäcke, dimensionerande tillrinning och dimensionerande vattenstånd i Tränglset enligt två olika beräkningsmetoder. Ändringarna utgår från respektive metods referenssimulering.**

	Delta-metoden RCAO-E/B2	Scaling-metoden RCA3-E/B2
Dimensionerande snötäcke	-7 %	+10 %
Dimensionerande tillrinning	+1 %	+13 %
Dimensionerande vattenstånd	+0.7 m	+0.7 m

5 Diskussion och slutsatser

Under arbetets gång har följande fyra frågor identifierats som speciellt viktiga för att avgöra hur känsliga Flödeskommitténs riktlinjer är för ett ändrat klimat.

1. Hur mycket blötare eller torrare visar klimatscenarierna att en framtida 10-årsperiod blir och hur fördelar sig tillrinningen över året?
2. Hur stor kommer framtidens dimensionerande nederbörd att vara?
3. Hur förändras förutsättningarna för att i framtiden få stora snömängder?
4. Hur verkar dessa förändringar tillsammans på nivåerna för dimensionerande tillrinningar och vattenstånd?

Samtliga scenarier ger ökad medelnederbörd för alla testområden, men även ökad avdunstning. Sammantaget ger detta att den genomsnittliga tillrinningsvolymen ökar i norra delen av landet med mellan cirka 10 – 50 %. I södra Sverige ger de olika scenarierna varierande resultat, från en minskning med cirka 5 % till en ökning av den totala volymen med cirka 15 %. Klimatscenarierna ger även tydliga förändringar i vattenföringens årsrytm. Vårflöden och sommarflöden minskar i allmänhet, medan flödena ökar under resten av året.

För Vänern genomfördes en analys av hur denna förändring av tillrinning, både vad gäller volym och fördelning över året, påverkar behovet av maximal tappning ut från sjön. Tillrinningen till Vänern ökar med mellan +1% och +22% beroende på scenario (tabell 3, sid. 16). Tillrinningen fördelar sig dessutom ojämnare över året med betydligt högre höst och vinterflöden och lägre sommarflöden (figur 6, sid. 17). För Vänerns del inträffar de högsta nivåerna efter en period med långvarigt hög tillrinning, liknande den situation som var år 2000/2001. Tappningsanalysen visar att denna typ av händelser blir vanligare när nederbörden ökar och vintrarna blir mindre stabila. Behovet av maximal tappning ut från sjön ökar med upp till drygt 40 dagar om året i det värsta scenariot. En sådan förändring kan i framtiden få stor betydelse för områden nedströms Vänern, vilka är känsliga för ras och skred. Tappningsstudien för Vänern har genomförts i samarbete mellan detta projekt och den statliga Klimat- och sårbarhetsutredningen, inom vilket även studier av nedströmseffekter har genomförts av SGI.

När de dimensionerande nederbördssekvenserna togs fram av Flödeskommittén användes data över extrem nederbörd från perioden 1926-1988, det vill säga 63 års data. Tillgängliga data från klimatmodellerna har i denna studie utgjorts av två tidsperioder, 1961-1990, som representerar dagens klimat och 2071-2100, som representerar ett framtida klimat. Dessa tidsperioder består således av 30 års data att jämföra med 63 år för Flödeskommitténs beräkningar. I ett mindre datamaterial kan man förvänta sig att finna färre extrema händelser än i ett större material. Det är också svårt att med hjälp av modeller beskriva hela den variabilitet som finns i ett observerat klimat, vilket kan leda till att de allra värsta extremerna inte fångas av modellsimuleringar.

Resultaten från nederbördsanalysen visar att förändringarna i den mest extrema nederbörden kan bli avsevärd. Alla scenarier visar på en ökning av den dimensionerande nederbördssekvensens totalvolym i region 2 och 3. RCAO-E gav särskilt stora öknings av nederbördssekvensens totalvolym i region 1, 2 och 5. Den största dygnsnederbörden (motsvarande dag 9 i sekvensen) ökar i region 1-4 för alla scenarier förutom RCAO-H/B2 i region 1. Analysen för region 5 baseras på

enbart tre beräkningsrutor i klimatmodellen, vilket gör att denna är betydligt mer osäker än analyserna för de övriga regionerna.

Det maximala snötäcket som används vid dimensioneringsberäkningar minskar i alla undersökta områden. I södra Sverige försvinner mer än hälften av snötäcket i de flesta scenarierna. I nordligaste Sverige försvinner cirka 10 - 40% av snötäcket beroende på scenario. Mätt i millimeter nederbörd innebär det att minskningen i södra Sverige uppgår till ca 50-80 mm, medan det i norr innebär en minskning med upp till mer än 500 mm i det mest extrema scenariot för Suorva.

Det är ett komplicerat samspel mellan förändringar av årsrytmen, dimensionerande snötäcke och nederbördssekvens som avgör hur resultatet blir för varje enskilt scenario i de olika områdena. Trots att den totala tillrinningsvolymen ökar i de flesta scenarierna gör minskningen av det dimensionerande snötäcket att de dimensionerande flödena minskar i många av scenarierna. Endast för det sydligast belägna området, Torsebro, ger alla fyra scenarierna en signifikant minskning av den dimensionerande tillrinningen. I de nordligare områdena ger de olika scenarierna både minskningar och ökningsar av den dimensionerande tillrinningen.

Om man försöker dela upp framtidens klimatförändringar i ändringar av medelklimatet och på ändringar i extremer så framträder ett tydligt mönster. Bidraget från det generellt varmare och blötare klimat som scenarierna visar på leder med få undantag till en minskning av den dimensionerande tillrinningen (tabell 7). Samma trend ses vad det gäller förändringar i dimensionerande vattenstånd (tabell 8), med undantag för Väneren, vilken diskuterats ovan. När effekten från ändringar av den dimensionerande nederbördssekvensen, dvs. extremerna, urskiljs från beräkningarna (tabell 10 och 12) syns att dessa ändringar leder till genomgående högre dimensionerande tillrinningar och vattenstånd.

Dimensioneringsberäkningar innehåller stora osäkerheter, även utan att särskild hänsyn tas till klimatfrågan. De faktorer som identifierats som särskilt känsliga för resultatet av beräkningarna är:

- Areell upplösning av klimatdata, dvs. stationsdata eller interpolerade värden
- Modellkalibrering
- Tidsperiod för beräkning av dimensionerande snötäcke
- Tidsperiod för dimensioneringsberäkningen
- Beskrivning av regleringar

I denna studie har inga jämförelser med tidigare genomförda dimensioneringsberäkningar gjorts. Historiskt har alltid stationsdata använts för dimensioneringsberäkningar, men i denna studie har istället areella indata använts. En ytterligare anledning till att inte jämföra med tidigare beräkningar är att förenklade regleringsstrategier har tillämpats. Istället redovisas alla resultat som förändringar från det som gäller under dagens dimensioneringsperiod (1981-1990).

Det är många faktorer som påverkar osäkerheten. Osäkerhet finns i de grundläggande antagandena om framtida koldioxidutsläpp och i scenarierna från både de globala och de regionala klimatmodellerna. Vidare finns osäkerheter också i de metoder som använts för att överföra klimatscenerierna till den hydrologiska modellen. Jämförelsen mellan delta-metoden och scaling-metoden (tabell 14, sid. 30) visar att resultaten kan skilja sig åt beroende på val av metod. En del av denna skillnad förklaras av att olika klimatscenerier använts för denna jämförelse.

Strategin för denna känslighetsstudie har varit att så långt som möjligt försöka göra om de analyser som gjordes vid framtagandet av Flödeskommitténs riktlinjer, men

gällande för ett ändrat klimat enligt fyra olika framtidsscenarier. Några sammanfattande slutsatser är:

- Dimensionerande tillrinningar och vattenstånd påverkas av ett förändrat klimat.
- Förändringar i medelklimatet gör bl.a. att det dimensionerande snötäcket minskar enligt alla scenarier. Detta verkar mot lägre dimensionerande tillrinningar och vattenstånd på de flesta platser.
- Extrem nederbörd förväntas öka på de flesta platser i Sverige enligt scenarierna, vilket verkar mot högre dimensionerande tillrinningar och vattenstånd.
- Beroende på hur ändringar i medelklimatet och extremer samspelar kan dimensionerande nivåer både öka och minska beroende på plats och val av scenario.

De osäkerheter som framkommit i denna känslighetsanalys visar på det stora behovet av fortsatta studier om hur dimensioneringsberäkningar påverkas av förändringar av det framtida klimatet. Speciellt kan det vara lämpligt att genomföra känslighetsberäkningar av detta slag i samband med nya dimensioneringsberäkningar baserade på Flödeskommitténs riktlinjer.

6 Referenser

- Alexandersson, H. (2003) Korrektion av nederbörd enligt enkel klimatologisk metodik. SMHI Rapporter Meteorologi Nr. 111.
- 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. Bergström, S. Gardelin, M. and Hellström, S-S. (2006). Climate change effects on dam safety – A sensitivity analysis of the Swedish Hydrological Dam Safety Guidelines. Proc. The European Conference of Impacts of Climate Change on Renewable Energy Sources, Reykjavik, Iceland, June 5-6.
- Bergström, S. (1992). The HBV Model – its structure and applications. SMHI Reports Hydrology Nr. 4.
- Bergström, S. (1995) The HBV Model. In. Singh, V.P. (ed.). Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources publications, Highlands Ranch, Colorado, pp. 443-476.
- Bergström, S., Andréasson, J., Beldring, S., Carlsson, B., Graham, L.P., Jónsdóttir, J.F., Engeland, K., Turunen, M.A., Vehviläinen, B. and Førland, E.J. (2003). Climate Change Impacts on Hydropower in the Nordic Countries - State of the art and discussion of principles. CWE Report no. 1, CWE Hydrological Models Group, Rejkjavik, Iceland.
- 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., Graham, L.P. (2002) The development of the regional coupled ocean-atmosphere model RCAO. *Boreal Environ. Res.* 7, 183-192.
- Elforsk (2005). Dammsäkerhet - Dimensionerande flöden för stora sjöar och små tillrinningsområden samt diskussion om klimatfrågan. Elforsk rapport 05:17.
- Erik Kjellström, Lars Bärring, Stefan Gollvik, Ulf Hansson, Colin Jones, Patrick Samuelsson, Markku Rummukainen, Anders Ullerstig, Ulrika Willén and Klaus Wyser (2006). A 140-year simulation of European climate with the new version of the Rossby Centre regional atmospheric climate model (RCA3). SMHI Reports Meteorology Climatology No. 108.
- Flödeskommittén (1990) Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar. Slutrapport från Flödeskommittén. Statens Vattenfallsverk, Svenska Kraftverksföreningen, Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut

- 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.
- Hellström, S.-S., Andréasson, J., and Bergström, S. (2006). Climate change impacts on large Lakes in Sweden. *Proc. The European Conference of Impacts of Climate Change on Renewable Energy Sources*, Reykjavik, Iceland, June 5-6.
- Johansson, B. (2000) Areal Precipitation and Temperature in the Swedish Mountains. An evaluation from a hydrological perspective. *Nordic Hydrology*, 31, 207-228.
- Johansson, B. och Chen, D. (2003) The influence of wind and topography on precipitation distribution in Sweden: Statistical analysis and modelling. *International Journal of Climatology*, 23, 1523-1535.
- Johansson, B. och Chen, D. (2005) Estimation of areal precipitation for runoff modelling using wind data: a case study in Sweden. *Climate Research* 29, 53-61.
- Lindström, G. (2002). Vattentillgång och höga flöden i Sverige under 1900-talet. *SMHI Reports Hydrology* Nr. 18.
- 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.
- Radić, V. and Hock, R. (in press). Modeling future glacier mass balance and volume changes using ERA40-reanalysis and climate models – A sensitivity study at Storglaciären, Sweden. *Journal of Geophysical Research*.
- Roeckner 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.



Miljö och säkerhet
Sten Bergström
Marie Gardelin
Judith Olofsson
Johan Andréasson

2007-05-22

Höga flöden i Umeälven i ett framtida förändrat klimat - rapport till Elforsk och Klimat- och sårbarhetsutredningen

Under arbete med underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen har frågeställningen om hur ett förändrat klimat kan komma att påverka risken för höga flöden i en större reglerad älv visat sig svår att besvara. Av den anledningen har SMHI fått två uppdrag, ett från Elforsk (Elforsk projekt nr 1875) och ett från Klimat- och sårbarhetsutredningen. Uppdraget från Elforsk bestod i att genomföra en beräkning av ett dimensionerande klass-1 flöde enligt Flödeskommitténs riktlinjer för dimensionerande flöden för dammanläggningar, dels för dagens klimat och dels för ett förändrat klimat enligt den metodik som utvecklats inom projektet "Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer i ett framtida förändrat klimat" (Andréasson et al., 2006). Från Klimat- och sårbarhetsutredningen har SMHI fått i uppdrag att närmare studera hur ett 100-års flöde kan komma att förändras om klimatet ändras i en kraftigt reglerad älv.

Umeälven som testområde

Av praktiska skäl valdes Umeälven ut för båda dessa studier (Fig. 1). Det är en stor älv med stora regleringsmagasin som framgår av den schematiska bilden från Vattenregleringsföretagen (Fig. 2). I figur 3 visas hur regleringarna påverkat de högsta flödena i Stornorrfors längst ner i älven i historisk tid fram till och med 1998. Då ingår även vattenflöden från den oreglerade Vindelälven. Bilden illustrerar svårigheterna att bestämma ett 100-års flöde i en reglerad älv, med gradvis ökande påverkan av regleringar. För Umeälven blir de högsta flödena oftast lägre på grund av regleringen, men dock inte alltid. Höstflöden kan till och med förstärkas, något som var fallet 1981. Denna problematik har diskuterats ingående av Bergström (1999).

Beräkningarna i de nu genomförda uppdragen från Elforsk och Klimat- och sårbarhetsutredningen koncentrerades till Pengfors alldeles ovanför sammanflödet med den oreglerade Vindelälven. På så sätt gavs möjlighet att studera ett hårt reglerat system.



Figur 1. Umeälvens avrinningsområde uppströms Pengfors .

Metodik

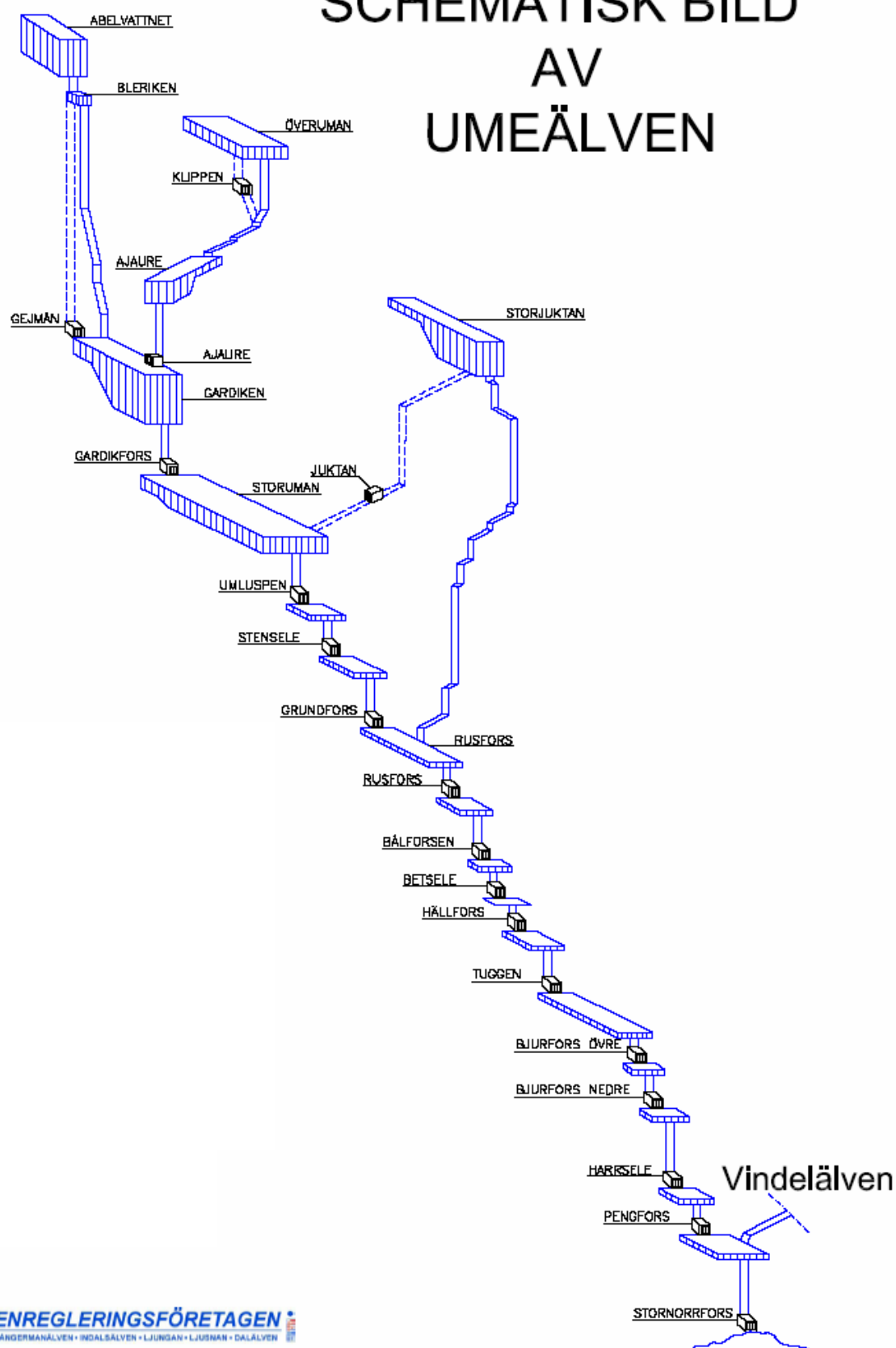
I beräkningarna användes en befintlig hydrologisk prognosmodell som är anpassad till areella meteorologiska indata. Klass-1 flödet beräknades enligt Flödeskommittén riktlinjer och den metod som utvecklats av Andréasson et al. (2006). För scenarieberäkningarna användes resultat från Rossby Centres regionala klimatmodell, RCAO, med en horisontell upplösning på cirka 49 km. För att driva RCAO har randvärden från två globala modeller, HadAM3H från Hadley Centre i England och ECHAM4/OPYC3 från Max-Planck Institutet för Meteorologi i Hamburg använts.

I beräkningarna representerar tidsperioden 1961-1990 dagens klimat (referens) och det framtida klimatet avser tidsperioden 2071-2100 (scenario). Liksom i det tidigare arbetet av Andréasson et al. (2006) användes två scenarier över framtidens utsläpp av växthusgaser, A2 respektive B2. Detta ger sammantaget fyra scenarier, som i den fortsatta texten benämns

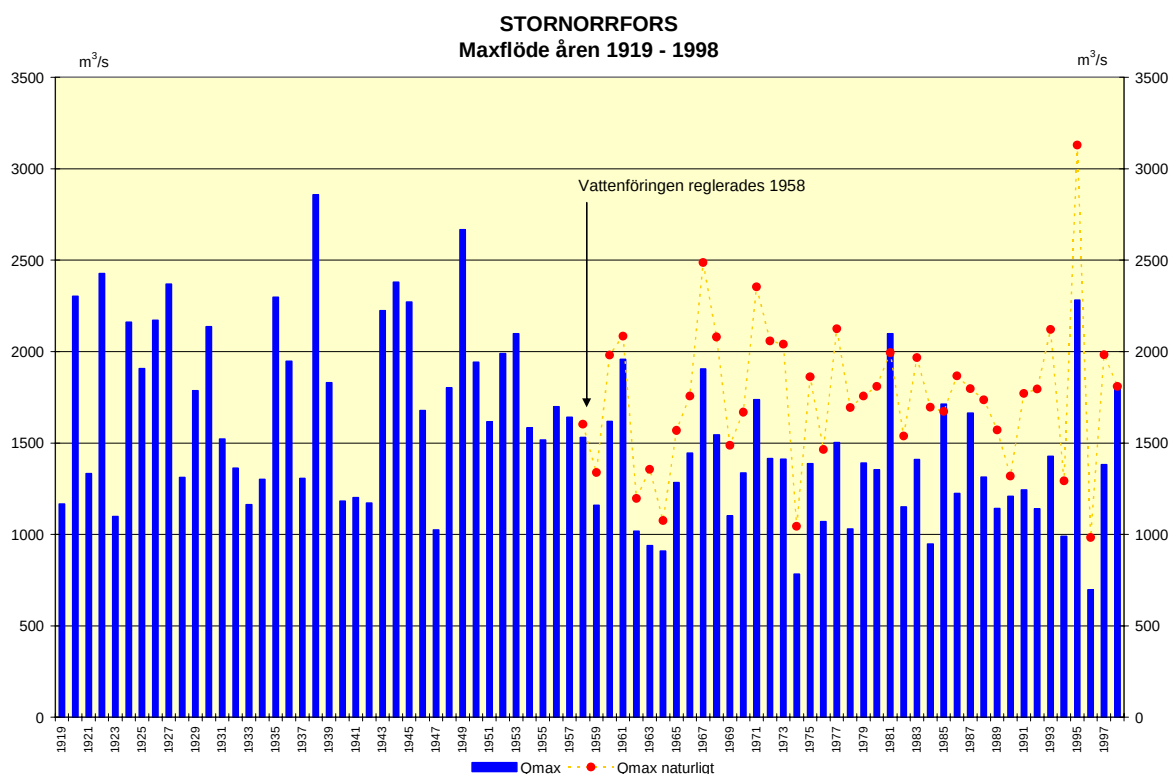
RCAO-H/A2 (Modellen från Hadley Centre, utsläpp A2), RCAO-H/B2, RCAO-E/A2 (ECHAM-modellen, utsläpp A2) respektive RCAO-E/B2.

För beräkning av 100-års flödet användes en regleringsstrategi, som förenklat beskriver de genomsnittliga regleringsförhållandena under perioden 1961-90. På så sätt beräknades först en trettioårserie av reglerade flöden (1961-1990) i dagens klimat och med dagens utbyggnad av älven. Därefter gjordes motsvarande beräkning för flöden i ett förändrat klimat (2071-2100) enligt de fyra klimatscenarier som beskrevs ovan. I denna beräkning gjordes en justering av regleringsstrategierna, som innebär att datumet för starten av påfyllnadsfasen tidigare läggs 4-6 veckor för de viktigaste magasinerna. Genom denna justering undviks de mest orealistiska förhållandena, som annars skulle inträffa i scenarieberäkningarna.

SCHEMATISK BILD AV UMEÄLVEN



Figur 2. Schematisk bild av Umeälven med dess regleringsmagasin och kraftverk.
(Publiceras med tillstånd från Vattenregleringsföretagen)



Figur 3. Sammanställning av maxflöden i Stornorrforss längst ner i Umeälven nedströms sammanflödet med Vindelälven för perioden 1919-1998. Röda prickar visar beräknade rekonstruktioner av de toppflöden, som skulle ha inträffat om älven varit oreglerad. (Publiceras med tillstånd från Vattenregleringsföretagen)

Slutligen genomfördes frekvensanalyser av de beräknade trettioårsserierna för att ta fram 100-års flödet för dagens respektive framtidens klimat. Därvid användes tre olika frekvensfördelningsfunktioner; Gumbel, Lognormal 2 och Lognormal 3.

Resultat

I tabell 1 och tabell 2 redovisas resultatet av beräkningarna av snömagasinet (Gumbelfördelningen) och det dimensionerande klass-1 flödet, tillsammans med de tidigare beräkningarna från Andréasson et al. (2006). Beräkningarna av 100-årsflödet för Pengfors redovisas i tabell 3. Där redovisas även de högsta beräknade flödena i respektive 30-års period samt den månad då de tre högsta beräknade värdena i denna period inträffat.

Som framgår av tabell 1 så minskar det beräknade 30-års snötäcket enligt alla fyra klimatscenarierna. Tabell 2 visar att det dimensionerande klass-1 flödet i stort sett förblir oförändrat enligt beräkningar baserade på HadAM3H medan det sker en ökning på närmare 20 % om beräkningarna baseras på den globala ECHAM4/OPYC3-modellen.

Beträffande 100-års flöden, som redovisas i tabell 3, så ger beräkningarna som baseras på den globala ECHAM4/OPYC3-modellen en ökning av flödet med 14-35 % i framtidens klimat. Det högsta värdet i 30-års perioden minskar något för beräkningarna enligt HadAM3H men trots det ger frekvensanalysen en mindre ökning av 100-års flödet med 0-7 %.

Tabell 1. Förändring i det beräknade dimensionerande snötäcket (30 års återkomsttid, Gumbelfördelningen) enligt fyra klimatscenarier (%).

	Suorva	Torpshammar	Trängslet	Vänern	Torsebro	Umeälven Pengfors
RCAO-H/A2	- 41	- 11	0	- 42	- 70	- 13
RCAO-H/B2	- 33	- 3	- 1	- 34	- 54	- 10
RCAO-E/A2	- 11	- 35	- 21	- 56	-76	- 8
RCAO-E/B2	- 14	- 23	- 7	- 45	- 68	- 8

Tabell 2. Förändring i de beräknade dimensionerande klass-1 flödena (%) enligt fyra klimatscenarier.

	Suorva	Torpshammar	Trängslet	Vänern	Torsebro	Umeälven Pengfors
RCAO-H/A2	- 9	- 3	+ 14	+ 16	- 8	+ 1
RCAO-H/B2	- 6	0	+ 9	- 5	- 19	+ 1
RCAO-E/A2	+ 20	- 3	- 14	+ 13	- 10	+ 19
RCAO-E/B2	+ 16	- 1	+ 1	+ 6	- 22	+17

Tabell 3. Beräknat 100-årsflöde för Pengfors i Umeälven för dagens klimat och enligt fyra klimatscenarier (m³/s respektive %) samt högsta värde och månad då de tre högsta värdena beräknats inträffa för dagens klimat och för respektive scenario. Frekvensanalysen är gjord med tre olika frekvensfördelningar.

	100-års värde Gumbel	100-års värde Lognormal 2	100-års värde Lognormal 3	Högsta värde	Månad för de tre högsta värdena i resp. serie
Dagens klimat	908	854	894	847	aug, aug, juli
RCAO- H/A2	947 (+4%)	911 (+7%)	952 (+7%)	809	nov, nov, aug
RCAO- H/B2	907 (±0%)	866 (+1%)	903 (+1%)	803	aug, nov, nov
RCAO- E/A2	1209 (+33%)	1152 (+35%)	1201 (+34%)	1038	apr, okt, okt
RCAO- E/B2	1034 (+14%)	993 (+16%)	1040 (+16%)	896	okt, nov, okt

Diskussion

De nu redovisade uppdragen har slutförts på mycket kort tid och med utnyttjande av befintliga hydrologiska modeller och med en schematisk beskrivning av vattenhushållningen. Detta gör att beräkningsresultaten bör tolkas med försiktighet. En speciell svårighet vid beräkning av 100-års flödet har varit att justera regleringsstrategin, så att den skall var tänkbar för förhållanden i ett framtida klimat. Det faktum att 100-års flödena i de flesta fall beräknas inträffa under andra årstider i framtidens klimat än vad som är fallet idag, ger anledning till försiktighet i tolkningen. En ny hydrologisk regim får troligen stor påverkan på regleringsstrategin. Justeringen av denna strategi har hittills bara kunnat göras för förhållandena inför vårfloden.

Det är också uppenbart att det kan var helt andra faktorer som styr vattenhushållningen i framtiden, såsom marknadens utveckling, samspelet med andra kraftslag och nya regelverk. Försättningsvis bör därför dessa studier fördjupas och då i ett närmare samarbete med dem som ansvarar för regleringarna än som varit möjligt under den korta tid som stått till förfogande för detta uppdrag.

De beräkningar av klass-1 flöden som genomförts för Umeälven uppvisar likheter med tidigare beräkningar för Suorva såtillvida att valet av global klimatmodell har mycket stor betydelse. Det medför att nya resultat från klimatforskningen kan leda till stora förändringar.

Beräkningarna visar att den stora ökningen av de framtida nederbördsvärden i fjälltrakterna, som erhålles om de regionala klimatberäkningarna baseras på den globala ECHAM4/OPYC3-modellen, också påverkar flödena längre ner i Umeälven. Speciellt stor blir effekten om A2-scenariet antas gälla. Det är dock svårt att avgöra om förhållanden i Umeälven gäller generellt för fler reglerade älvar. För att belysa detta krävs specifika beräkningar för respektive vattendrag och dess reglering.

Referenser

- 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. (1999) Höga vattenflöden i reglerade älvar. SMHI Fakta nr 1,
Norrköping.



ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS - ELFORSK - AB
Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 2530. Telefax 08-677 2535
www.elforsk.se