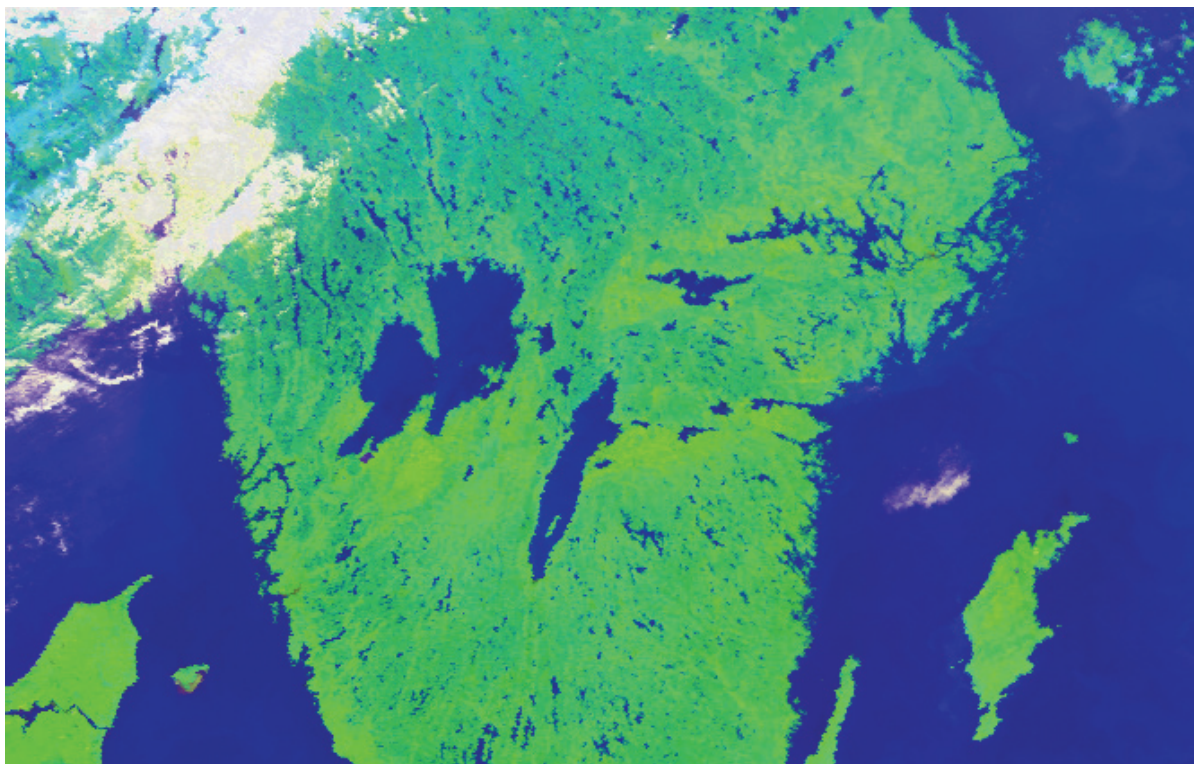




Nivåer och flöden i Vänerns och Mälarens vattensystem –Hydrologiskt underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen

Sten Bergström, Sara-Sofia Hellström och Johan Andréasson

Omslagsbild: De stora mellansvenska sjöarna, registrerade av NOAA-18 satelliten den 13 september 2006 klockan 14.00 svensk tid. Bilden är bearbetad av Karl-Göran Karlsson på SMHI:s forskningsavdelning.

Nivåer och flöden i Vänerns och Mälarens vattensystem –Hydrologiskt underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen

Sten Bergström, Sara-Sofia Hellström och Johan Andréasson

Report Summary / Rapportsammanfattning

Issuing Agency/Utgivare Swedish Meteorological and Hydrological Institute S-601 76 NORRKÖPING Sweden		Report number/Publikation RH No. 20	
		Report date/Utgivningsdatum November 2006	
Author (s)/Författare Sten Bergström, Sara-Sofia Hellström och Johan Andréasson			
Title (and Subtitle/Titel) Water levels and flow in the river systems of Lake Vänern and Lake Mälaren – Background material for the Swedish Commission on Climate and Vulnerability. Nivåer och flöden i Vänerns och Mälarens vattensystem - Hydrologiskt underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen			
Abstract A hydrological background material concerning flood risks in the river systems of Lake Vänern and Lake Mälaren has been elaborated by SMHI on behalf of the Swedish Commission on Climate and Vulnerability. The report presents the hydrological conditions and more in depth studies for Lake Vänern, River Göta älv, Lake Mälaren and Lake Hjälmaren both as concerns problems related to today's climate and impacts of climate change. In particular have changing flood risks over time been studied due to river regulation and decrees by the water court as well as impacts of global warming on these risks. The results show that there are great problems related to high water levels and high flows around Lake Vänern, Lake Mälaren, Lake Hjälmaren and along River Göta älv already under present climate conditions. Concerning the future climate, as it is pictured by existing climate scenarios, the problems seem to be aggravated around Lake Vänern and along River Göta älv. The problems related to the most extreme levels around Lake Mälaren and Lake Hjälmaren do not seem to change a lot, but high floods of somewhat lower return periods may become more frequent. It is shown that the problems related to Lake Vänern and River Göta älv can be alleviated by use of a new strategy for release of water, still within the framework of the existing decree by the water court. The report ends with an overview of flooding problems in other locations in Sweden			
Sammanfattning På uppdrag av den statliga Klimat och sårbarhetsutredningen har SMHI utarbetat ett underlagsmaterial rörande översvämningsproblematiken i Mälarens och Vänerns vattensystem. Redovisning innehåller hydrologiska bakgrundsbeskrivningar och fördjupade studier för Vänern och Göta älv respektive Mälaren och Hjälmaren både vad avser problem under dagens klimat och konsekvenser av en klimatförändring. Speciellt studeras hur översvämningsriskerna förändrat genom tiden på grund av regleringar och vattendomar samt hur riskerna kan komma att påverkas av den globala uppvärmningen. Resultaten visar att det finns stora problem med höga vattenstånd och flöden runt Vänern, Mälaren och Hjälmaren och längs Göta älv redan under dagens klimatförhållanden. Beträffande framtidens klimat, som det beskrivs av tillgängliga klimatscenarier, så förefaller problemen förvärras runt Vänern och längs Göta älv. För Mälaren och Hjälmaren ändras inte problembilden vad avser de allra mest extrema nivåerna speciellt mycket, men höga flöden med kortare återkomsttider kan komma att bli betydligt vanligare. För Vänern och Göta älv påvisas att problemen kan lindras genom tillämpningen av en ny tappningsstrategi inom ramen för existerande vattendom. En mer översiktlig redovisning lämnas också för översvämningsproblem på andra håll i Sverige.			
Key words/sök-, nyckelord Klimat- och sårbarhetsutredningen, Vänern, Göta älv, Mälaren, Hjälmaren			
Supplementary notes/Tillägg		Number of pages/Antal sidor 53	Language/Språk Swedish/Svenska
ISSN and title/ISSN och titel ISSN-0283-1104 SMHI Reports Hydrology			
Report available from/Rapporten kan köpas från: SMHI S-601 76 NORRKÖPING Sweden			

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förord.....	1
1. Metodik.....	2
1.1 Klimatscenarier för Sverige	2
1.2 Hydrologiska scenarier för hela landet.....	3
1.3 Flödeskommitténs riktlinjer för dimensionerande flöden	5
1.4 Begreppen dämningssgräns och sänkningsgräns	6
1.5 Begreppen återkomsttid, risk och sannolikhet	6
2. Vänern och Göta älv	7
2.1 Vänerns och Göta älvs avrinningsområden.....	7
2.2 Vänerområdets klimat	9
2.3 Vänerns vattennivåer och dess reglering.....	10
2.4 Översvämningarna hösten och vintern 2000-2001.....	11
2.5 Beräkning av Vänerns vattenstånd	13
2.6 Beräknad effekt av sänkta dämningssgränser för Vänern	16
2.7 Beräknad effekt av en ändrad strategi för vattenkraftproduktion och tappning i Göta älv	18
3. Framtidsscenarier för Vänern	23
3.1 Beräknad förändring av Vänerns framtida tillrinning, tappning och vattenstånd	23
3.2 Beräknad förändring av de mest extrema vattenstånden i Vänern.....	25
3.3 Kontinuerlig förändring av klimatet.....	26
4. Mälaren och Hjälmaren.....	28
4.1 Mälarens och Hjälmarens avrinningsområden	28
4.2 Mälalområdets klimat	30
4.3 Mälarens vattennivåer och dess reglering	32
4.4 Översvämningarna i Mälaren hösten och vintern 2000-2001	33
4.5 Hjälmarens vattennivåer och dess reglering.....	33
5. Framtidsscenarier för Mälaren och Hjälmaren.....	36
5.1 Beräknad förändring av Mälarens tillrinning och vattenstånd	36
5.2 Beräknad förändring av de mest extrema vattenstånden i Mälaren	39
5.3 Kontinuerlig förändring av klimatet.....	39
5.4 Beräknad förändring av Hjälmarens vattenstånd	41
5.5 Beräknad förändring av de mest extrema vattenstånden i Hjälmaren.....	43
6. Översvämningssrisker i övriga Sverige	43
6.1 Historiska händelser	43
6.2 Speciellt utsatta områden i Sverige	45
6.3 Reglerade älvar.....	45
6.4 Dalälven	46
6.5 Kristianstad och andra städer nära kusten	46
6.6 Framtidsscenarier över översvämningssrisker	46
7. Diskussion.....	50
8. Referenser	52

Förord

Enligt överenskommelse mellan Klimat och sårbarhetsutredningen och SMHI den 1 december 2005 rörande utredningar kring översvämningsproblematiken i Mälaren och Vänern skall SMHI ta fram hydrologiska underlag för redovisning av översvämningsrisker, avtappningsmöjligheter och åtgärdsförslag rörande Hjälmaren, Mälaren, Vänern och ytterligare områden där konsekvenserna kan bli stora. Följande redovisning inleds med en allmän beskrivning av den metodik som använts. Därefter följer hydrologiska bakgrundsbeskrivningar och fördjupade studier för Vänern och Göta älv respektive Mälaren och Hjälmaren både vad avser problem under dagens klimat och konsekvenser av en klimatförändring. En mer översiktlig redovisning lämnas också för översvämningsproblem på andra håll i Sverige.

Föreliggande underlag har finansierats av Klimat- och sårbarhetsutredningen och SMHI. Betydande bidrag har också tillförts genom projektet *Framtidens översvämningsrisker* som finansierats av Länsförsäkringsbolagens forskningsfond (Carlsson et al., 2006) och projektet *Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer i ett framtida förändrat klimat*, finansierat av Elforsk och Svenska Kraftnät (Andréasson et al., 2006). Resultat från det nordiska CE-projektet (*Climate and energi*), med finansiering från Nordisk Energiforskning, kraftindustrin i de nordiska länderna samt de nationella hydrologiska instituten, har också bidragit. Vi vill också tacka alla som engagerat sig i tillkomsten av detta underlag, såväl kollegor inom SMHI som deltagare i Klimat- och sårbarhetsutredningens olika arbetsgrupper.

1. Metodik

1.1 Klimatscenarier för Sverige

För att skapa scenarier för det framtida klimatet i en region krävs resultat från en global klimatmodell och en regional tolkning av dessa. De framtidsscenarier som använts i detta arbete bygger på regionala klimatscenarier framtagna vid Rossby Centre vid SMHIs forskningsavdelning. Dessa har i sin tur utnyttjat globala klimatberäkningar, en från Max-Planck institutet för meteorologi i Tyskland och en från Hadley Centre i England. För att ytterligare belysa osäkerheten i scenarierna har de globala klimatmodellerna körts med två olika antaganden om hur framtidens utsläpp av växthusgaser kommer att utvecklas. Därvid har två utsläppsscenarier som definierats av IPCC använts, de s.k. SRES A2 respektive SRES B2 scenarierna. Med de två globala klimatmodellerna, de två utsläppsscenarierna och med hjälp av den regionala klimatmodellen har följaktligen fyra olika regionala klimatscenarier erhållits. Vart och ett av dessa scenarier avser genomsnittliga förhållanden under perioden 2071-2100.

Den globala klimatmodellen från Hadley Centre har benämningen HadCM3/AM3H och den från Max-Planck institutet benämns ECHAM4/OPYC3. De fyra scenarierna har för enkelhets skull i den fortsatta texten givits benämningarna H/A2 respektive H/B2 för Hadley Centres modell med tillämpad utsläppsscenario A2 respektive B2. Motsvarande benämning för den tyska ECHAM4/OPYC3 modellens scenarier är E/A2 och E/B2. Den regionala klimatmodellen från Rossby Centre, som används för tolkning av de globala modellernas resultat till svenska förhållanden, benämns RCAO-modellen.

Sammanfattningsvis visar de fyra klimatscenarierna för Sverige en temperaturhöjning mellan ca 2,5 och ca 4,5 grader för perioden 2071-2100 i jämförelse med 1961-1990. Störst är temperaturhöjningen vintertid och de riktigt låga temperaturerna stiger mest. Nederbörden beräknas öka framförallt på hösten, vintern och våren. Speciellt mycket ökar nederbörden i norra Sverige samt i de västra delarna av Svealand och Götaland.

Scenarierna från de två globala klimatmodellerna skiljer sig ganska mycket åt, speciellt beträffande den framtida nederbörden i Sverige. Detta beror på att dessa två modeller ger ganska skilda bilder av hur den storskaliga atmosfäriska cirkulationen kommer att utvecklas i framtiden. Enligt ECHAM4/OPYC3 modellen ändras den storskaliga cirkulationen så att den blir mer västlig medan HadCM3/AM3H modellen ger en framtida storskalig cirkulation som mer liknar dagens. Mer detaljer i de olika scenarierna finns beskrivna av Rummukainen et al. (2004).

Förutom med de fyra ovan beskrivna scenarierna har vissa studier gjorts med ett klimatscenario som kontinuerligt beskriver utvecklingen från dagens klimat fram till 2100. I detta fall bygger beräkningarna på den tyska globala ECHAM4/OPYC3 modellen med utsläppsscenario B2 tolkad till svenska förhållanden med en senare version av den regionala klimatmodellen från Rossby Centre, benämnd RCA3-modellen. Med denna kontinuerliga regionala beräkning kan klimatförändringens utveckling i tiden följas mer i detalj.

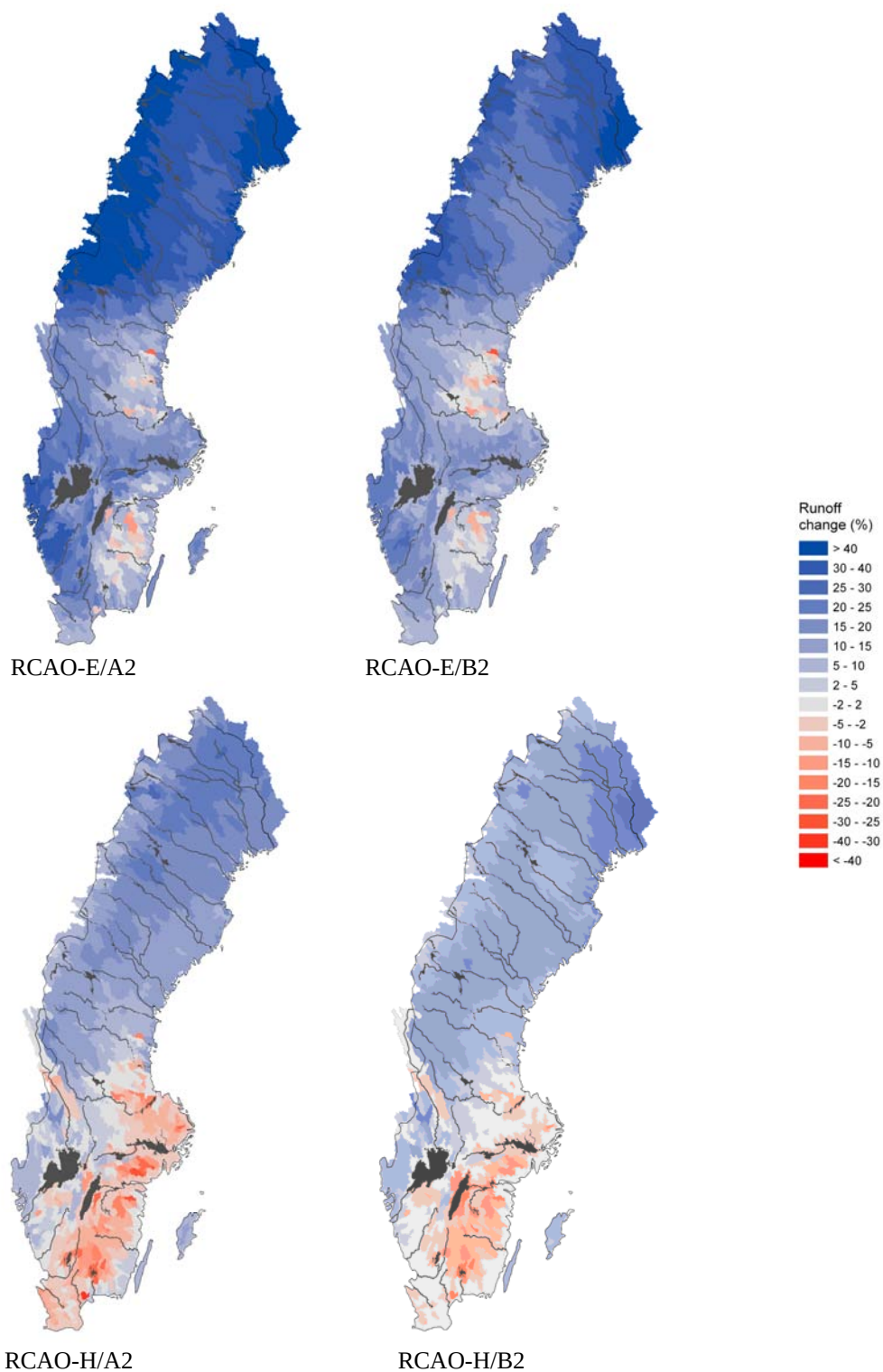
1.2 Hydrologiska scenarier för hela landet

De hydrologiska beräkningarna har baserats på den så kallade HBV-modellen. Det är en hydrologisk beräkningsmodell som ursprungligen utvecklats för prognoser av flöden i vattendrag, men som numer ofta även används för dimensioneringsberäkningar och analyser av effekterna på vattenresurserna av ett ändrat klimat.

Kopplingen mellan en klimatmodell och en hydrologisk modell kan göras på fler än ett sätt. I första hand har en enkel metod använts som bygger på att den förändring av klimatet som klimatscenarierna anger överförs till en observerad klimatserie över en viss period. Därefter görs hydrologiska beräkningar med såväl den ursprungliga klimatserien som den förändrade och skillnaderna analyseras. Denna metod är den som oftast används för att beräkna påverkan av klimatförändringar på vattenresurserna (se t.ex. Andréasson et al., 2004). Den passar bäst för beräkningar av medelförhållanden och flöden som inte är alltför extrema. Inom ramen för det nordiska CE-projektet (*Climate and energi*) har den använts för att ta fram gemensamma nordiska kartor över hur vattenresurserna kan komma att påverkas. För Sveriges del redovisas dessa beräkningar i figur 1.1.

Figur 1.1 visar att de olika klimatscenarierna ger ganska skilda resultat men att det också finns gemensamma drag. Störst skillnad är det mellan de resultaten som baseras på skilda globala modeller medan valet av utsläppsscenario spelar något mindre roll. Anledningen till de stora skillnaderna mellan de globala modellernas resultat är främst olikheter i hur den storskaliga cirkulationen utvecklas och därmed nederbördens utveckling. Ett mer samstämmigt resultat mellan scenarierna är att de största ökningarna av vattentillgången visas i norra Sverige och i västra Svealand och västra Götaland, medan förhållandena är mer varierade i övriga delar av landet. I sydost bidrar den ökande avdunstningen till att vattentillgången kan minska. Totalt sett ökar vattentillgången enligt de olika scenarierna med 5-25 % i genomsnitt för hela landet. Lokalt blir det dock minskningar.

Påverkan av den globala uppvärmningen i Sverige visar likheter med vad som kan förväntas för övriga Norden men skiljer sig markant från övriga Europa. Speciellt i södra Europa kan stora problem förväntas på grund av mycket höga sommartemperaturer och minskad nederbörd som kan leda till svår vattenbrist.



Figur 1.1. Beräkning av hur vattentillgången (avrinningen) kan komma att förändras enligt fyra klimatscenarier och hydrologisk modellering. De två översta kartorna avser E/A2 och E/B2 scenarierna medan de två nedre avser H/A2 respektive H/B2. I samtliga fall har RCAO-modellen använts för den regionala tolkningen. Resultat från projekten Framtidens översvämningsrisker och Climate and Energy.

1.3 Flödeskommitténs riktlinjer för dimensionerande flöden

1990 antogs nya riktlinjer för bestämning av dimensionerade flöden för dammanläggningar av den svenska vattenkraftindustrin och SMHI. Dessa riktlinjer hade utarbetats av Flödeskommittén (1990). De innebar en skärpning av kraven på vilka flöden som skall kunna hanteras vid en damm. Sedan dess pågår en genomgång av praktiskt taget alla kraftindustrins dammar av betydelse. Ett stort antal ombyggnader har genomförts eller planeras. Flödeskommitténs beräkningsmetod har blivit praxis inom vattenkraftindustrin och tillämpades även för den översiktliga översvänningskartering som genomförts av Statens Räddningsverk.

De mest extrema flödena i Sverige uppstår ofta genom en kombination av snösmältning och extrema regn. Flödeskommitténs riktlinjer för så kallade klass 1-dammar, d.v.s. de anläggningar där ett haveri skulle medföra allra störst konsekvenser, går ut på att beräkna den mest kritiska kombinationen av de faktorer som sammantaget skapar de allra högsta flödena. Beräkningarna baseras på en simulering över en tioårsperiod med en dimensionerande nederbördssekvens som tillåts inträffa när som helst under denna period. En annan förutsättning är att varje vinter under denna period antas ha ett maximalt snötäckande som inträffar eller överträffas en gång på 30 år, något som har stor betydelse för den beräknade vattenståndsutvecklingen i de stora sjöarna.

Flöden för klass 1- dammar enligt Flödeskommittén är mycket extrema. Även om det egentligen inte går att ange någon återkomsttid så uppger Flödeskommittén att denna i genomsnitt ligger över 10 000 år, vilket innebär att sannolikheten är mindre än 1 % att flödet överträffas under en period av 100 år. Detta antas även ofta internationellt vara en rimlig säkerhetsnivå för de viktigaste dammanläggningar, där haverier skulle få katastrofala konsekvenser.

Översvämningarna 2000-2001 analyserades ingående av Svenska Kraftnäts analysgrupp (Svenska Kraftnät, 2001). En av slutsatserna av detta arbete blev att Flödeskommitténs riktlinjer för dimensionerande flöden (Flödeskommittén, 1990) bör ses över vad gäller stora sjöar. Därför tillsattes 2002 en kommitté kallad *Kommittén för komplettering av Flödeskommitténs riktlinjer* med ledamöter från vattenkraftindustrin, Svenska Kraftnät, gruvindustrin genom SveMin och SMHI. Kommittén konstaterade i sin slutrapport (Elforsk, 2005) att Flödeskommitténs riktlinjer inte kan tillämpas kategoriskt för Väner. Därmed utgör Väner det hittills enda undantaget från den praxis som utvecklats för beräkning av dimensionerande flöden i Sverige.

En annan viktig begränsning i Flödeskommitténs riktlinjer är att dessa förutsätter att klimatet inte ändras. Därför har Elforsk och svenska Kraftnät initierat projektet *Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer i ett framtida förändrat klimat*. Inom detta projekt har ny teknik utvecklats för att analysera hur de dimensionerande flödena för klass 1-dammar skulle kunna förändras i ett ändrat klimat (Andréasson et al., 2006). Beräkningar med denna teknik har bl.a. gjorts för Väner och för Klimat och sårbarhetsutredningen har dessa kombinerats med olika tappningsalternativ, för att se hur systemet som helhet fungerar under de mest extrema tänkbara flödena. Motsvarande beräkningar har för Klimat och sårbarhetsutredningen också gjorts för Mälaren och Hjälmaren.

Trots att den beräkningsmetod som föreskrivs för klass 1-dammar av Flödeskommittén är noggrant specificerad så kan olika beräkningar på samma damm ge resultat som skiljer sig åt. Beräkningsresultaten beror dels på vilken databas som används men också på valet av

hydrologisk modell för beräkningar av flöden. Beträffande databasen så föreskriver Flödeskommittén att en tioårsperiod skall användas vid simuleringen ”baserade på senast tillgängliga års klimatförhållanden”. Det innebär att olika perioder kan ha använts, beroende på när i tiden arbetet utförts. Man kan också ha använt olika tidsperioder vid frekvensanalysen av snö, som ligger till grund för att fastställa 30-år värdet. Av praktiska skäl har de forskningsprojekt som ligger till grund för materialet till Klimat och sårbarhetsutredningen använt en standardiserad period och en griddad databas i stället för punktvärden, som är det vanliga vid dimensionering.

Beträffande val av hydrologisk modell föreskriver Flödeskommittén bara att ”Förloppet av det dimensionerande flödet skall simuleras med tillämpning av vedertagen hydrologisk modellteknik” utan att närmare specificera vilken modell.

På grund av ovan beskrivna osäkerheter vid tillämpningen av Flödeskommitténs riktlinjer redovisas i föreliggande underlag till Klimat och sårbarhetsutredningen inte absolutnivåer utan bara skillnader mellan dagens och framtidens klimat i de avsnitt som rör den globala uppvärmningens påverkan på dimensionerande flöden.

1.4 Begreppen dämningssgräns och sänkningsgräns

I de domar och vattenhushållningsbestämmelser som gäller vid vattenreglering förekommer ofta begreppen dämningssgräns och sänkningsgräns. Detta är nivåer i respektive regleringsmagasin eller sjö som styr regleringen, och inom vilka reglering av vattenståndet och avtappningen lagligen får ske. Det är inte ovanligt att såväl dämningssgräns som sänkningsgräns varierar över året. I vissa fall, såsom exempelvis för Väneren, Mälaren och Hjälmaren föreskriver domen vilken tappning som skall gälla vid olika nivåer i sjöarna, bl.a. vid tillrinning som medför att vattenståndet når över dämningssgränsen. Det innebär att dämningssgränsen kan komma att överskridas under våta år och att sänkningsgränsen kan underskridas under torrår utan att vattenhushållsbestämmelserna överträds.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att innebörden av begreppen dämningssgräns och sänkningsgräns inte är helt entydiga utan kan bero på hur regleringsbestämmelserna är formulerade. För de domar som gäller för vattenkraftssystemet i de mest utbyggda älvarna i norra Sverige är dock det vanliga att dessa gränser har en mer strikt betydelse.

1.5 Begreppen återkomsttid, risk och sannolikhet

Begreppen återkomsttid, risk och sannolikhet skapar ibland missförstånd. Med en händelses återkomsttid menas att den inträffar eller överträffas i genomsnitt en gång under denna tid. Det innebär att sannolikheten för exempelvis ett 100-års flöde är 1 på 100 för varje enskilt år. Eftersom man exponerar sig för risken under flera år blir den ackumulerade sannolikheten avsevärd. För ett hus som står i 100 år i ett område som endast är skyddat mot ett 100-års flöde, är sannolikheten för översvämning under denna tid hela 63 %. Detta är skälet till att man för större dammar ofta sätter gränsen vid, eller t.o.m. bortom, 10 000-årsflödet. Då blir ändå sannolikheten under 100 års exponering ca 1%. Tabell 1.1 visar sambandet mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikheten.

Tabell 1.1. Sambandet mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikhet i procent.

Återkomsttid (år)	Sannolikhet under 50 år (%)	Sannolikhet under 100 år (%)
100	39	63
1000	5	9,5
10 000	0,5	1

Beräkningen av återkomsttider sker med en teknik som kallas frekvensanalys. Denna är dock behäftad med ganska stora osäkerheter, vilket gör att exempelvis ett 100-årsflöde ofta ändras i takt med att nya data flyter in. Beräkningarna försvåras speciellt om dataserierna är korta eller om de är påverkade av regleringar i vattendraget.

2. Väneren och Göta älv

2.1 Vänerns och Göta älvs avrinningsområden

Vänern är Europas tredje största sjö efter Ladoga och Onega i västra Ryssland. Dess avrinningsområde är 46 880 km² (inklusive sjön) och sträcker sig från Trysilälvens norra delar i Norge till Vänersborg i söder (figur 2.1; tabell 2.1). Klarälven är det största av de vattendrag som rinner till Väneren. Andra viktigare vattendrag är Upperudsälven, Byälven, Norsälven, Gullspångsälven, Tidan, Lidan och Nossan. Nedströms Vänerns utlopp i Vänersborg fortsätter Göta älv till havet. Avrinningsområdets storlek vid mynningen i havet är då 51 120 km² och medelvattenföringen ca 550 m³/s. Det gör Göta älv till Sveriges största vattendrag.

Flera av de vattendrag som rinner till Väneren är utbyggda för vattenkraftändamål. Den sammanlagda volymen av alla större regleringsmagasin i Vänerns tillrinningsområde är ungefär 1 864 miljoner m³ (Statens naturvårdsverk, 1972). Om hela denna volym skulle stå till förfogande att utnyttjas för flödesdämpning vid ett enskilt tillfälle så motsvarar det en vattenståndsförändring för Väneren på ca 33 cm.



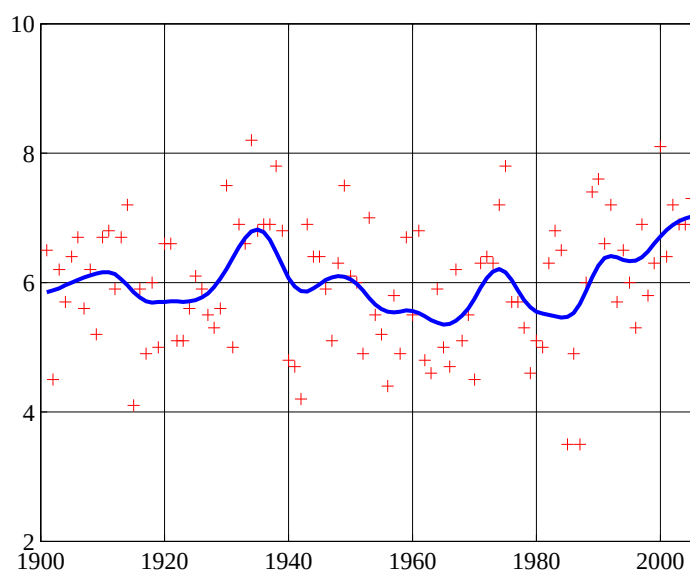
Figur 2.1. Vänern och Göta älvs avrinningsområde.

Tabell 2.1. Grundläggande data om Vänern (källor: SNA 2004; Bergström, 1994; Schröder, 2003; Svenska Kraftverksföreningen och Vattenfall, 1987; SMHI, 2000). Observera att dessa uppgifter kan variera något beroende på från vilken källa de hämtas. Höjdsystem RH00.

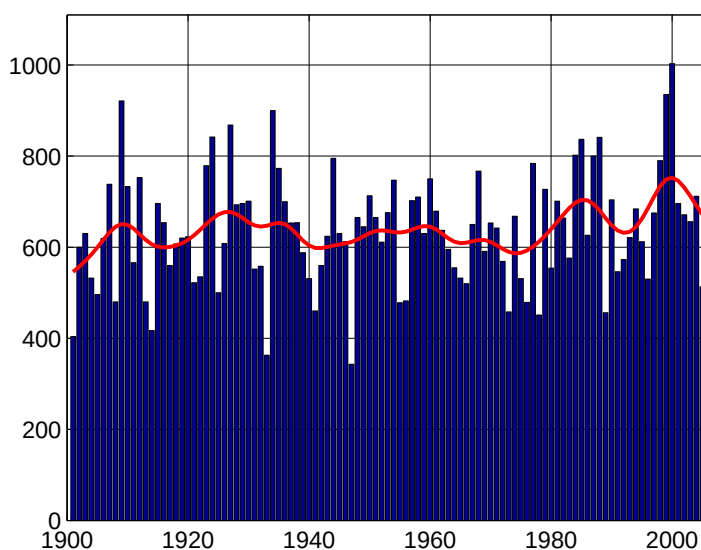
Avrinningsområdet för Vänern (inkl. sjön)	46 880 km ²
Avrinningsområdet för Göta älv	51 120 km ²
Vänerns areal	5 650 km ²
Vänerns volym	153 km ³
Vänerns största djup	106 m
Vänerns regleringsamplitud	1,7 m
Regleringsmagasinets volym	9,38 km ³
Göta älvs medelvattenföring	550 m ³ /s
Högsta kända tappning från Vänern (januari 2001)	1190 m ³ /s
Högsta vattenstånd under reglerad tid (januari 2001)	45,67 m
Medelvattenstånd under reglerad tid (1938-2005)	44,34 m
Lägsta vattenstånd under reglerad tid (april 1970)	43,25 m
Referensnivån på sjökortet för Vänern	43,80 m

2.2 Vänerområdets klimat

Eftersom Vänerns avrinningsområde är så stort och utsträckt från söder till norr så varierar klimatet avsevärt inom området. De norra delarna kännetecknas av stabila vintrar och en tydlig vårflood, medan de södra delarna uppvisar instabila vintrar med mycket regn och kortvariga perioder av snö och avsmältning. Årsnederbörden är ca 800 mm, avdunstningen ca 450 mm vilket ger en årsavrinning på ca 350 mm (SMHI, 2000). Figur 2.2 visar årsmedeltemperaturen i Karlstad för perioden 1901- 2005. Motsvarande nederbördsserie visas i figur 2.3. Temperaturserien är någorlunda homogen även om det kan misstänkas att sommartemperaturerna är något höga fram till 1942 medan nederbördsmätningarna kan vara något underskattade under perioden 1962-1997 (Alexandersson, muntlig information). Eftersom Karlstad ligger relativt centralt i området så är mätningar därifrån lämpliga för att ge en överblick över områdets klimat, även om de lokala avvikelserna kan vara stora.



Figur 2.2. Årsmedeltemperaturen i Karlstad för perioden 1901- 2005. De utjämnade kurvorna är ett Gaussiskt filter, motsvarande 10-års löpande medelvärden.



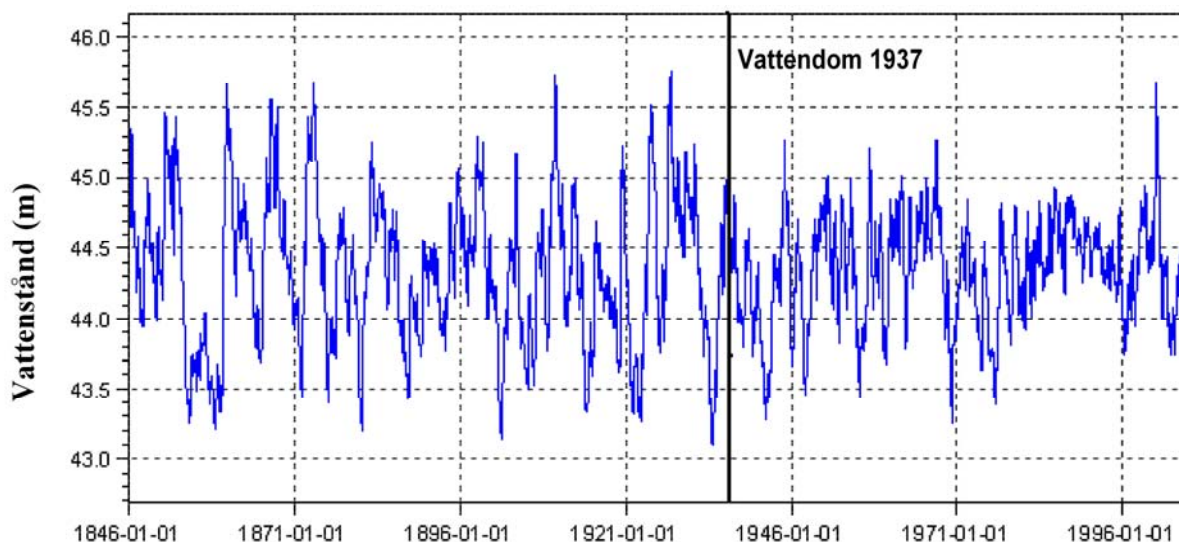
Figur 2.3. Årsnederbörden i Karlstad för perioden 1901- 2005. De utjämnade kurvorna är ett Gaussiskt filter motsvarande 10-års löpande medelvärden.

Temperaturen för Karlstad uppvisar en uppgång under början av 1900-talet, en nedgång från det varma 1930-talet och därefter en markant uppgång ungefär från 1980. Det är i stort sett samma ett mönster som för landet som helhet. För nederbörden kan man urskilja några mycket blöta år under 1900-talets första hälft samt det extrema året 2000, vilket ledde till stora problem med översvämningar bl. a. i Arvika.

Mer detaljerade uppgifter om Vänerns klimat, hydrologi och vattenbalans kan hämtas från Gottschalk (1978).

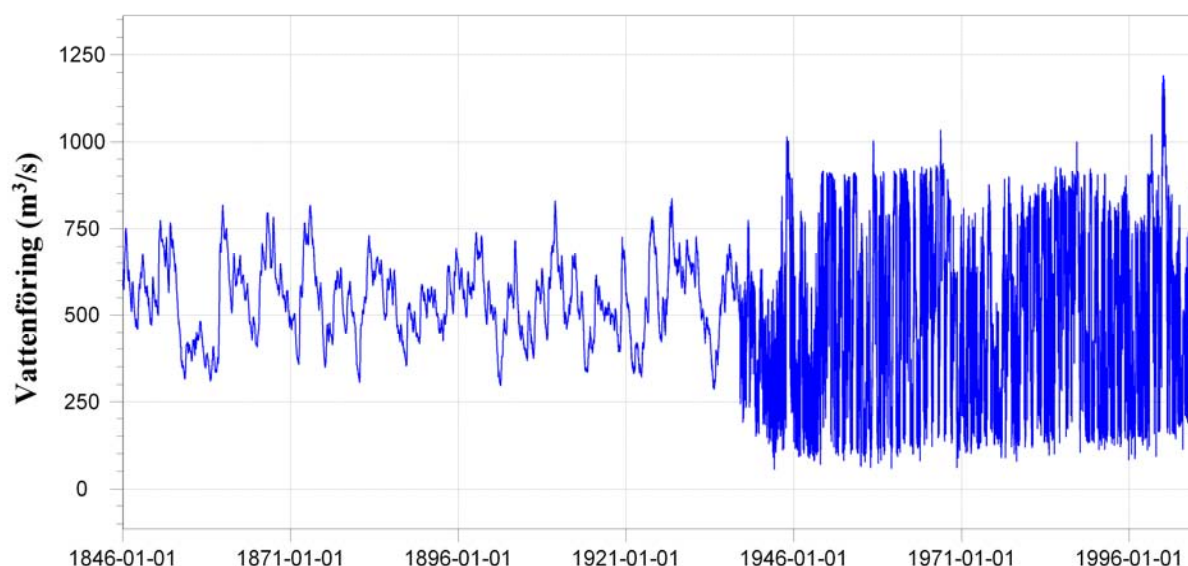
2.3 Vänerns vattennivåer och dess reglering

I Vänern finns en av världens längsta kontinuerliga observationsserier av vattenstånd. Någorlunda tillförlitliga observationer finns sedan 1807 och dessförinnan finns en del sporadiska noteringar från högvattentillfällen. Vänerns vattenstånd har i stort sett varit opåverkat av mänskliga ingrepp fram till 1937 då sjön reglerades och dammarna i dess utlopp togs i bruk. Vattennivåerna för Vänern för perioden 1846-2005 visas i figur 2.4. Enligt vad Möller (2002) redovisat finns det flera tillfällen under 1700-talet med mycket höga vattennivåer.



Figur 2.4. Vattenstånd för Vänern under perioden 1846-2005 (meter i höjdsystem RH00) i Vänern vid Vänersborg.

Regleringen av Vänern enligt vattendomen 1937 var ett stort ingrepp. Den innebar en minskning av de högsta vattenstånden (se figur 2.4), men mer dramatisk blev effekten på vattenföringen i Göta älv, som nu kom att utnyttjas för vattenkraftproduktion. Detta framgår av figur 2.5, som visar dygnsvärden på vattenföring i m^3/s för Vänerns utlopp under perioden 1846-2005.



Figur 2.5. Vattenföring i m³/s vid Vänerns utlopp (Vargöns kraftverk) under perioden 1846-2005. Observera toppvärdet i januari 2001.

Vattendomen för Vänern innehåller en rad bestämmelser om hur vattenhushållningen skall skötas. Såväl dämningssgräns som sänkningsgräns varierar över året. En viktig regel är en begränsning av den högsta tappningen i Göta älv till drygt 1000 m³/s. Avsikten med tappningsbegränsningen är att undvika skador av skred och översvämningar längs älven. Detta är en unik bestämmelse, som gör att Vänerns vattenstånd kan stiga mycket högt under långvarig hög tillrinning. Det vanliga är att tappningsförmågan hos en sjö ökar efterhand som nivån stiger, men så är alltså inte fallet för Vänern.

För att undvika översvämningssproblem nedströms Lilla Edet (se figur 2.1.) finns det också bestämmelser som begränsar tappningen vid höga vattenstånd i havet. Det finns också regler vid lågvatten bl.a. för att säkerställa vattenståndet för sjöfartens behov och för att undvika saltvatteninträngning från havet upp i Göta älv.

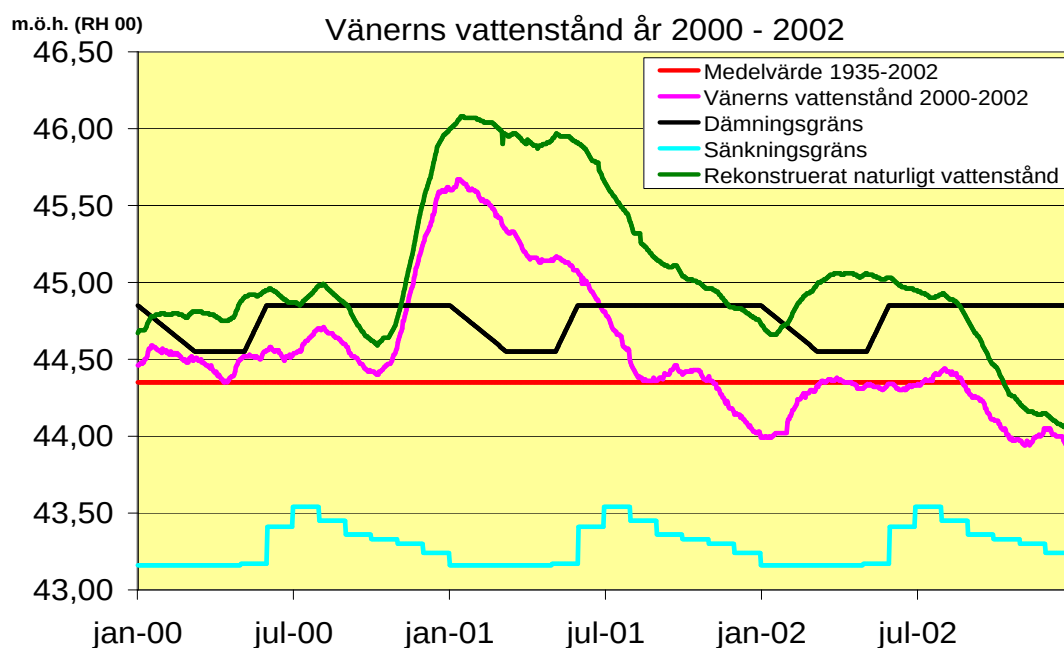
Idag har samhället anpassat sig till de tappningsförhållanden och den minskning av vattenståndsvariationerna i Vänern som tillämpningen av vattendomen medfört. Man har dock tvingats konstatera att domens regelverk inte kan förhindra problem runt Vänerns stränder vid höga flöden liknande de som inträffade vintern 2000-2001. Domen från 1937 utgör en avvägning mellan uppströms- och nedströmsintressen, baserad på den tidens kunskap. Ändrade förhållanden och nya erfarenheter kan peka på behov av att se över domen.

2.4 Översvämningarna hösten och vintern 2000-2001

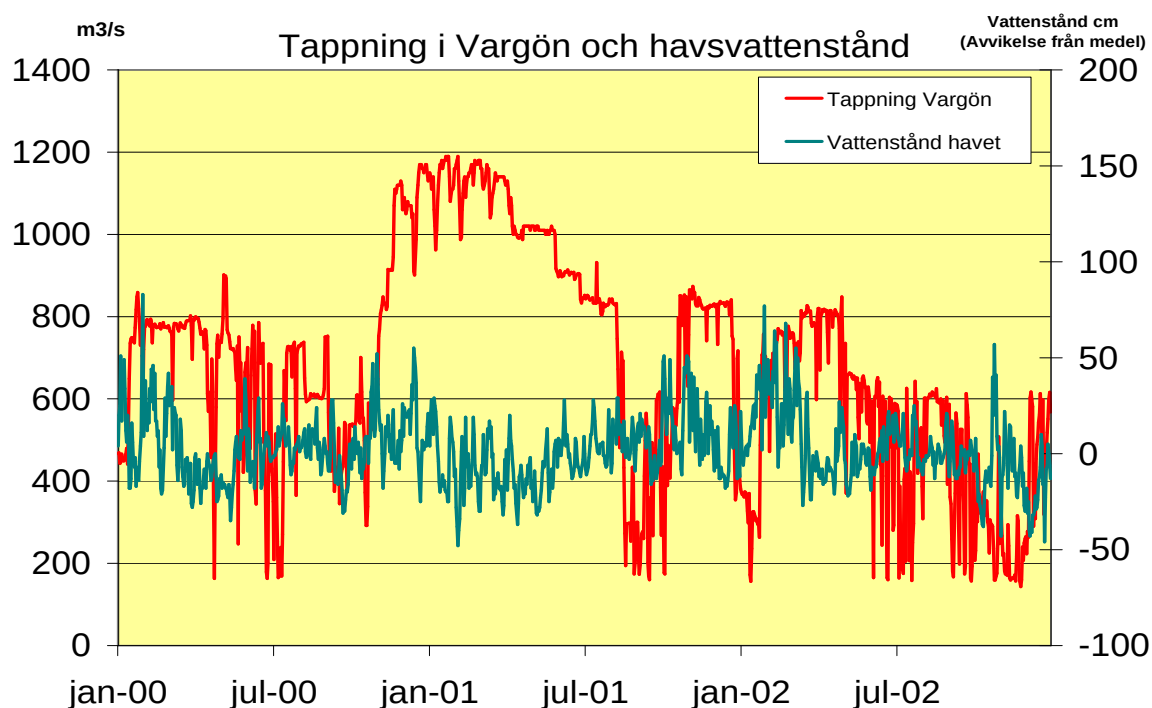
I juli 2000 inträffade kraftiga översvämningar i södra Norrland och i norra Svealand och under november 2000 – januari 2001 drabbades Dalsland och Värmland. I Arvika genomfördes en av de största insatserna någonsin av en räddningstjänst i Sverige när Glafs fjorden steg nästan tre meter över sin normala nivå. Vänern kulminerade i mitten av januari 2001 på sin högsta nivå sedan år 1927. Omfattande förebyggande insatser fick genomföras runt stränderna, men skadorna blev ändå stora.

Figur 2.6 visar vattenståndsutvecklingen i relation till Vänerns dämningss- och sänkningsgränser under flödet 2000-2001. Där visas också dämningssgränsen och

sänkingsgränsens årstidsvariationer samt en rekonstruktionsberäkning av vattenståndet, som det hade utvecklats om Vänern inte varit reglerad. Figur 2.7 visar motsvarande figur för tappningen i Göta älv och vattenstånden i havet.



Figur 2. 6. Vattenståndsutvecklingen i Vänern under 2000-2002.



Figur 2.7. Tappning från Vänern och vattenstånd i havet under 2000-2002.

I figur 2.4 kan man ana att Vänerns reglering inneburit en viss kontroll av de höga vattennivåerna, men samtidigt att denna inte räckt till under flödet åren 2000-2001. Rekonstruktionsberäkningen i figur 2.6 visar att nivåerna blivit ca 40 cm högre om sjön inte

varit reglerad under detta flöde. Det innebär att detta troligen var den mest extrema hydrologiska situationen i Vänern under den tid som regelbundna observationer finns tillgängliga, d.v.s. under nästan 200 år. Figur 2.7 visar hur tappningen från Vänern i vissa fall reducerats när vattenståndet i havet varit högt.

Under den kritiska perioden hösten 2000 och vintern 2001 tog Länsstyrelsen den 18 november över ansvaret för tappningen från Vänern, med stöd av Räddningstjänstlagen, och ålade Vattenfall att öka tappningen till mer än vad vattendomen medgav. Detta syns tydligt i figur 2.5 och 2.7.

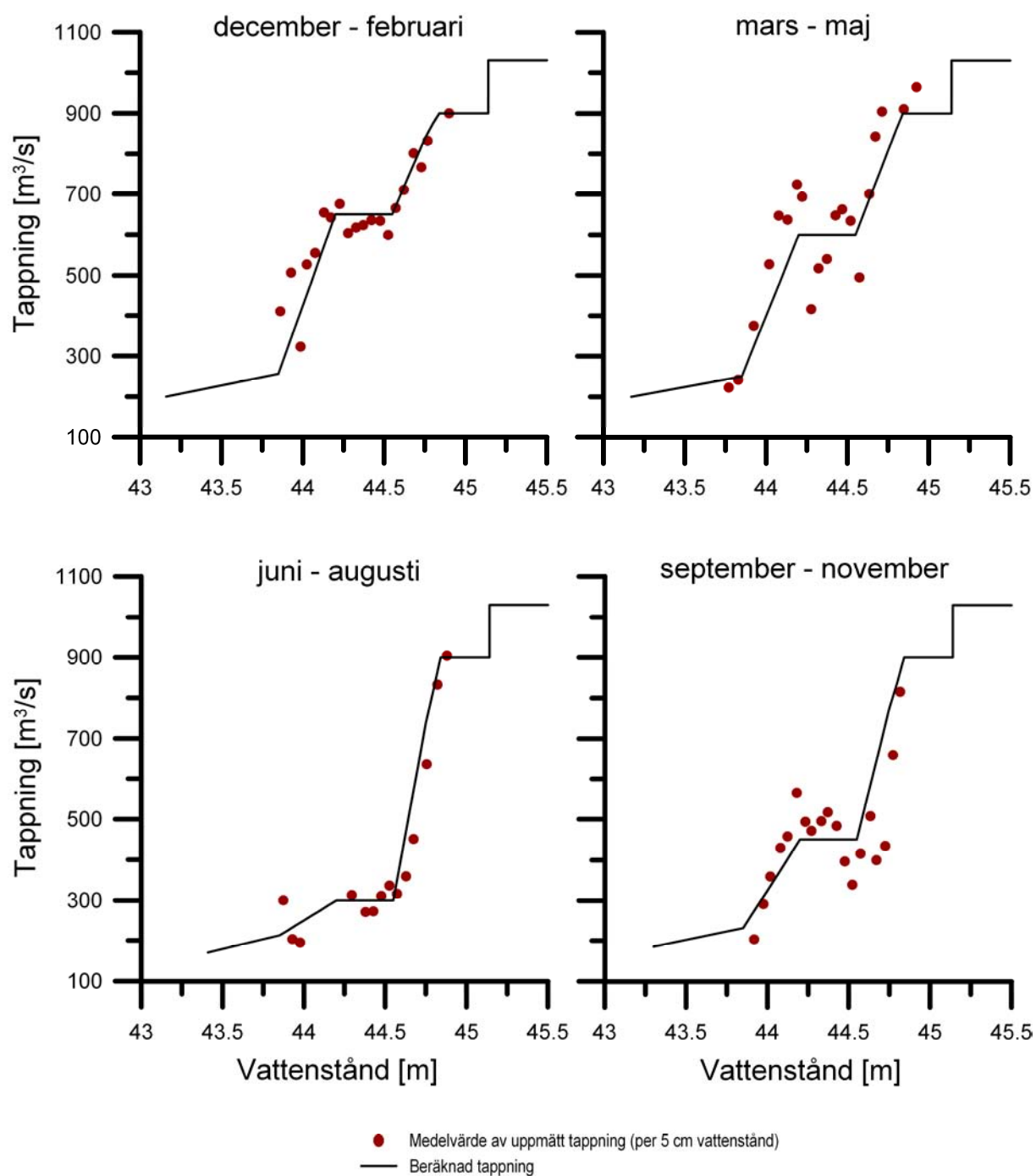
Översvämningarna 2000-2001 i Vänern visade att det finns säkerhetsproblem vid dammen i Vargön vid mycket höga flöden och höga vattenstånd i Vänern. Vattenfall, som äger dammen, genomför för närvarande en projektering för att åtgärda detta.

2.5 Beräkning av Vänerns vattenstånd

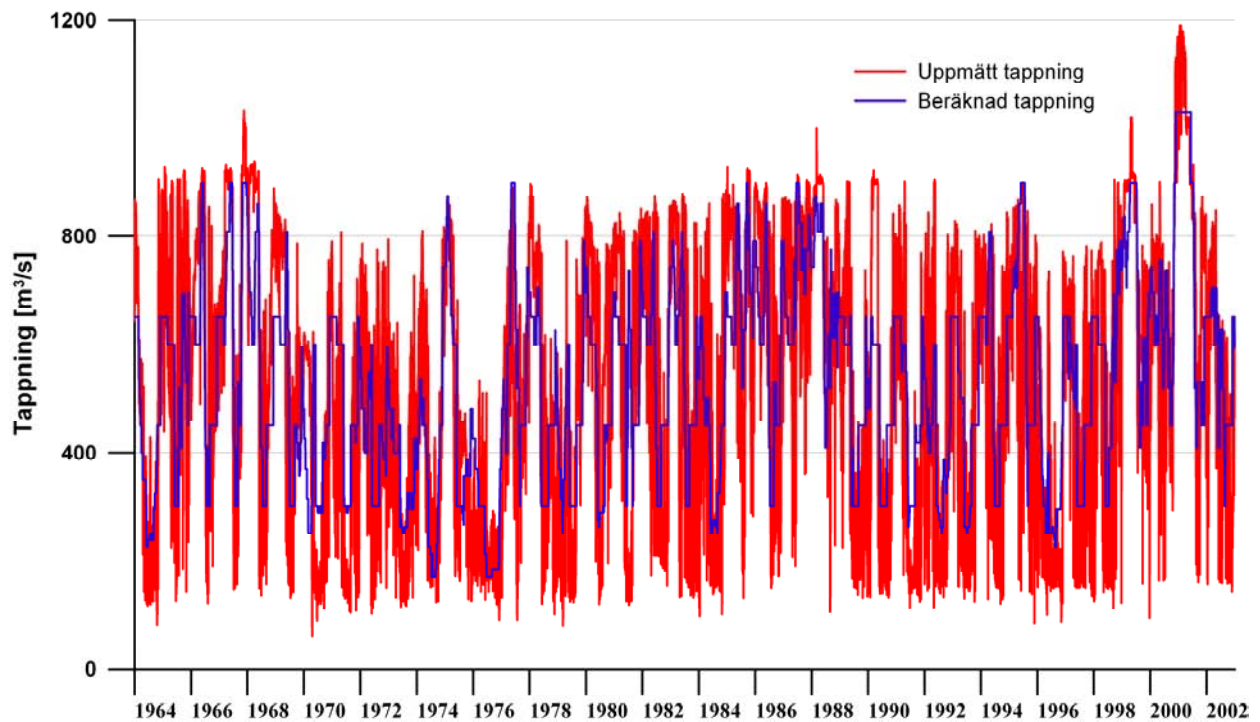
Den valda tappningsstrategin är helt avgörande för vilka nivåer och flöden i Göta älv som de hydrologiska beräkningarna för Vänern leder till. Som framgår av figur 2.6 så varierar såväl Vänerns dämningssgräns som sänkningsgräns över året. Vattendomen i Vänern innebär bl.a. att tappningen skall ökas till $900 \text{ m}^3/\text{s}$ (+ $30 \text{ m}^3/\text{s}$) när dämningssgränsen nås. Vid 30 cm över dämningssgräns tappas max, dvs $1030 \text{ m}^3/\text{s}$. 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 $1030 \text{ m}^3/\text{s}$.

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 2.8.

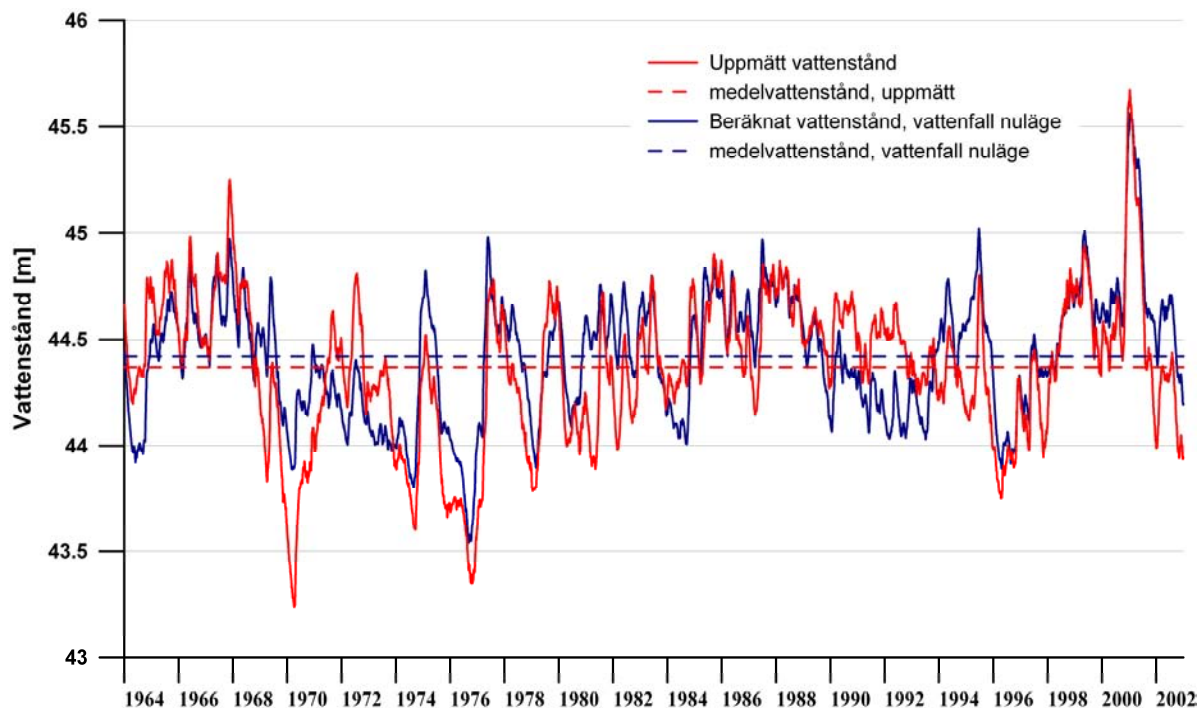
Figur 2.9 och 2.10 visar att det går att någorlunda väl beskriva tappningen och vattenstånden för Vänern med tappningsstrategin baserad på diagrammen i figur 2.8. Visserligen syns stora avvikelser under enskilda perioder. Dessa går inte att förutse, men det viktiga i dessa beräkningar är att i medeltal få en rimlig utveckling av nivån. Medelnivån av observationer för perioden är 44,37 m medan den i motsvarande beräkning blev 44,42 m. Beräknad vattenståndsstatistik visas i figur 2.11. Det är speciellt uppmuntrande att det högsta vattenståndet under januari 2001 beskrevs så väl trots att tappningsstrategin är ganska schablonartad. Det högsta beräknade vattenståndet blev 45,56 m att jämföra med det högsta uppmätta på 45,67 m.



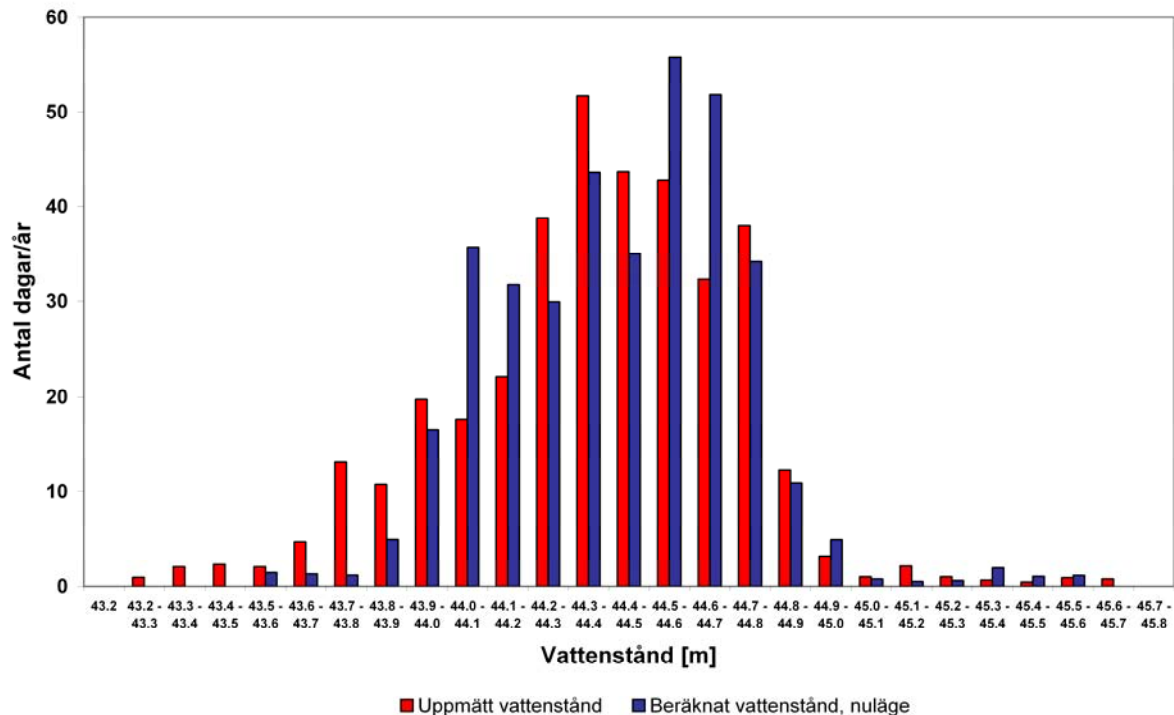
Figur 2.8. Säsongsvisa samband mellan Vänerns vattenstånd och tappning. Punkterna visar klassindelade observationer för perioden 1964-1990.



Figur 2.9. Observerad tappning från Vänern under perioden 1964-2002 och resultat med den antagna tappningsstrategin och den hydrologiska tillrinningsberäkningen med HBV-modellen för samma period.



Figur 2.10 Observerade vattenstånd för Vänern under perioden 1964-2002 och resultat med den antagna tappningsstrategin och den hydrologiska tillrinningsberäkningen med HBV-modellen för samma period.

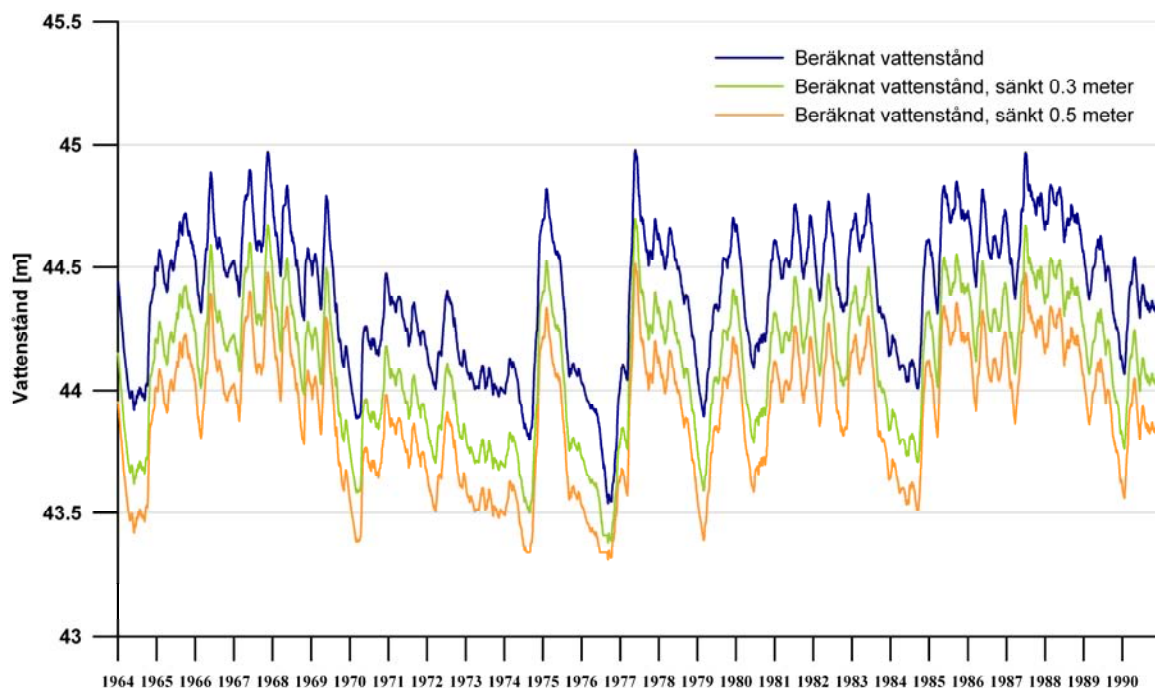


Figur 2.11 Observerad statistik över Vänerns vattenstånd för perioden 1964-2002 och motsvarande beräkning med den förenklade tappningsstrategin och den hydrologiska tillrinningsberäkningen med HBV-modellen.

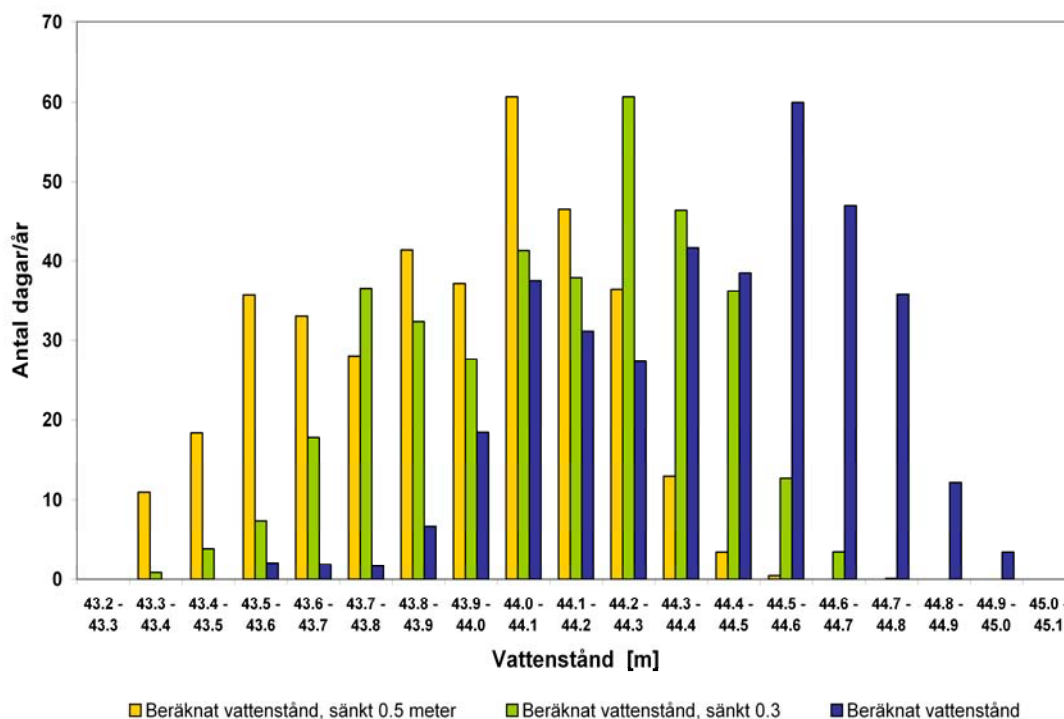
2.6 Beräknad effekt av sänkta dämningssgränser för Vänern

För att studera möjligheterna att påverka Vänerns vattenstånd med en ändring i vattendomen gjordes en simulering med en sänkning av dämningssgränsen med 30 respektive 50 cm. Därvid användes den tidigare beskrivna strategin för tappning för vattenkraftproduktion när Vänern ligger mellan dämningssgräns och sänkningsgräns. Tillrinningen beräknades som tidigare med HBV-modellen. Resultatet, i form av tidsserier och statistik över vattenstånd i Vänern, visas i figur 2.12 och 2.13. Där syns tydligt att en sänkning av dämningssgränsen påverkar hela Vänerns vattenståndsregister, d.v.s. även de lägsta nivåerna.

Efter ändring av dämningssgränsen med 50 cm blev medelnivån 43,92 m, vilket betyder att sänkningen av dämningssgränsen ger en genomsnittlig sänkning med 48 cm om man i övrigt bibehåller den tappningsstrategi som tidigare tillämpats av Vattenfall.



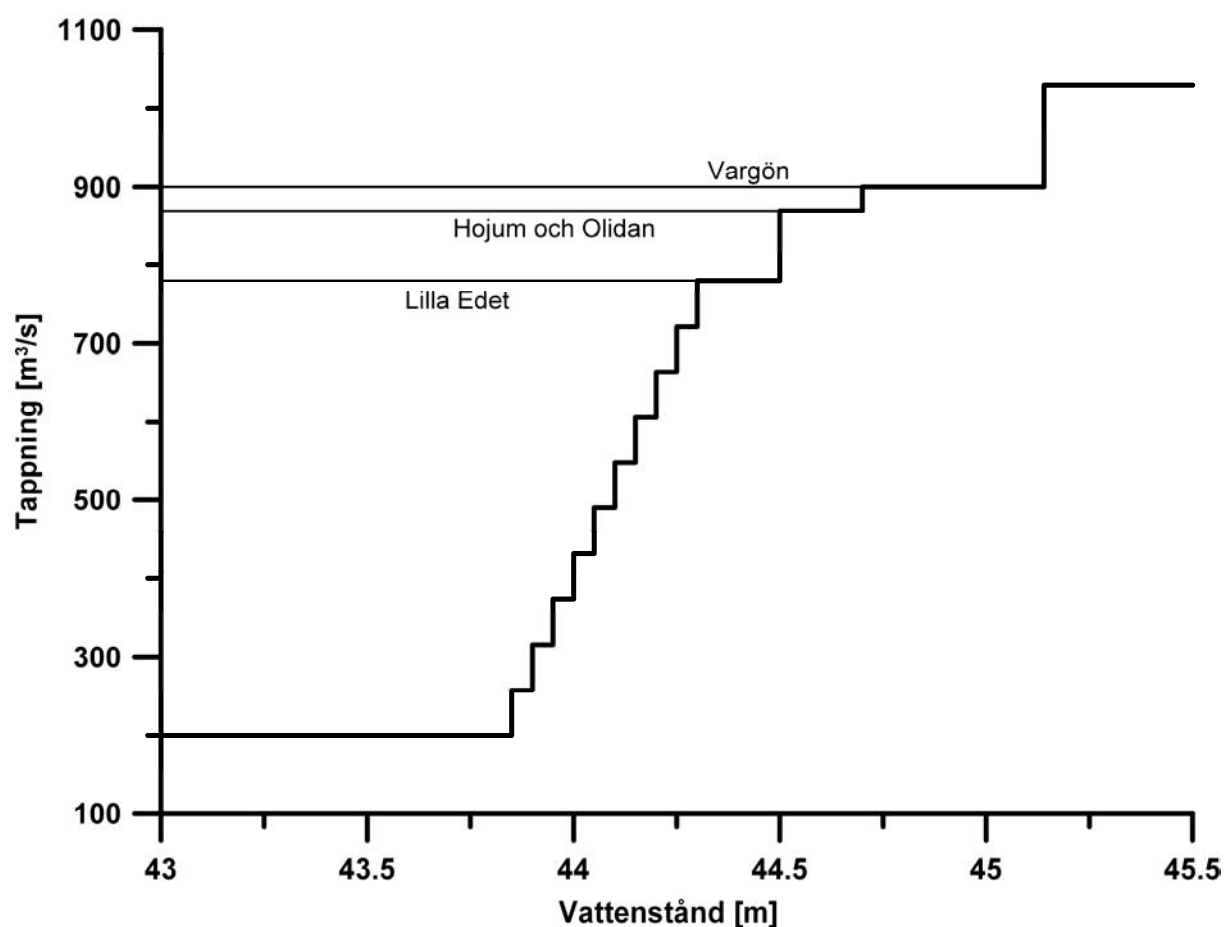
Figur 2.12. Tidsserier över Vänerns vattenstånd för perioden 1964-1990 (blå linje) och motsvarande beräkning med en antagen sänkning av dämmningsgränsen med 30 cm (grön linje), respektive 50 cm (gul linje).



Figur 2.13. Beräknad statistik över Vänerns vattenstånd för perioden 1964-1990 (blå staplar) och motsvarande beräkning med en antagen sänkning av dämmningsgränsen med 30 cm (gröna staplar), respektive 50 cm (gula staplar).

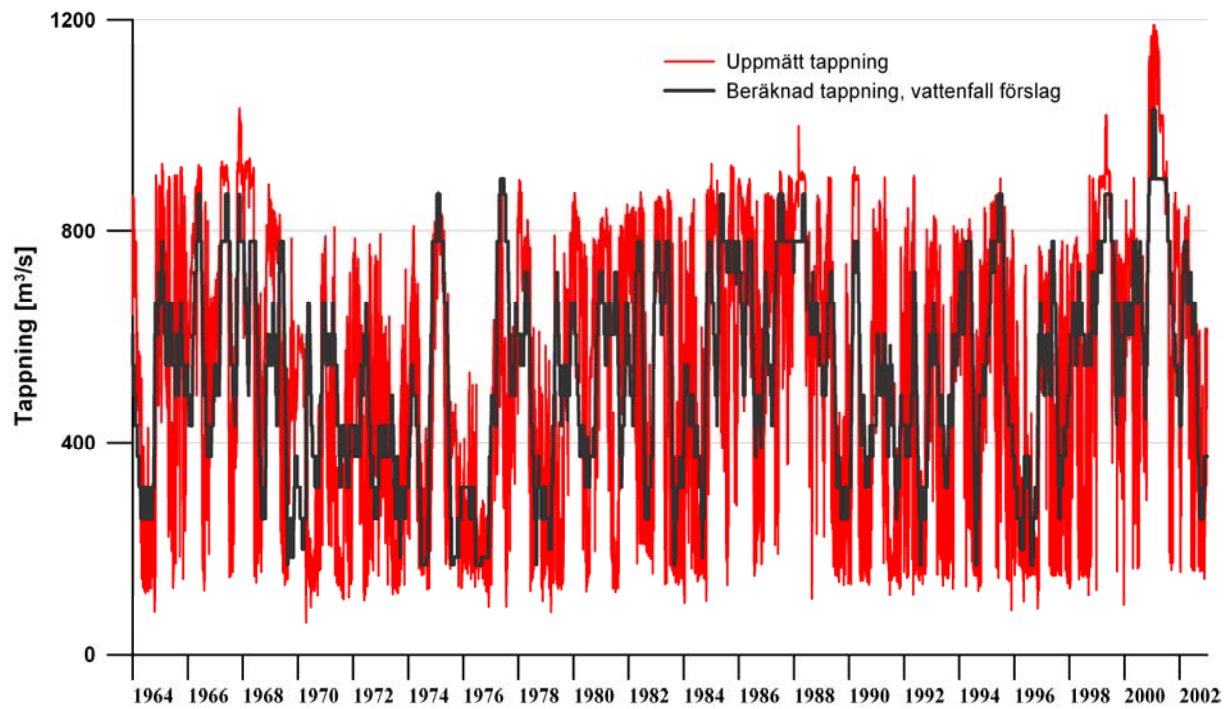
2.7 Beräknad effekt av en ändrad strategi för vattenkraftproduktion och tappning i Göta älv

På förslag från Vattenfall har en modifierad tappningsstrategi prövats i de fall nivån i Vänern ligger mellan dämningssgränsen och sänkingsgränsen. Detta är det intervall inom vilket Vattenfall till stor del själv kan råda över tappningen. Den nya strategin har ingen årstidsindelning och bygger på att tappningen anpassas till nuvarande utbyggnadsvattenföringar i Göta älvs kraftverk, men att också visst spill accepteras. Tanken är att tillämpa en minimitappning på 200 m³/s när vattennivån i Vänern ligger under 43,80 m. Ovanför denna nivå ökas tappningen gradvis så att den når Lilla Edets utbyggnadsvattenföring (780 m³/s) vid nivån 44,3 m i Vänern. Tappningen ökas till Hojums och Olidans utbyggandsvattenföring (870 m³/s) vid nivån 44,5 och att går upp till Vargöns kapacitet (900 m³/s) när Vänern ligger på Nivån 44,7 m. Den resulterande strategin visas i Figur 2.14.

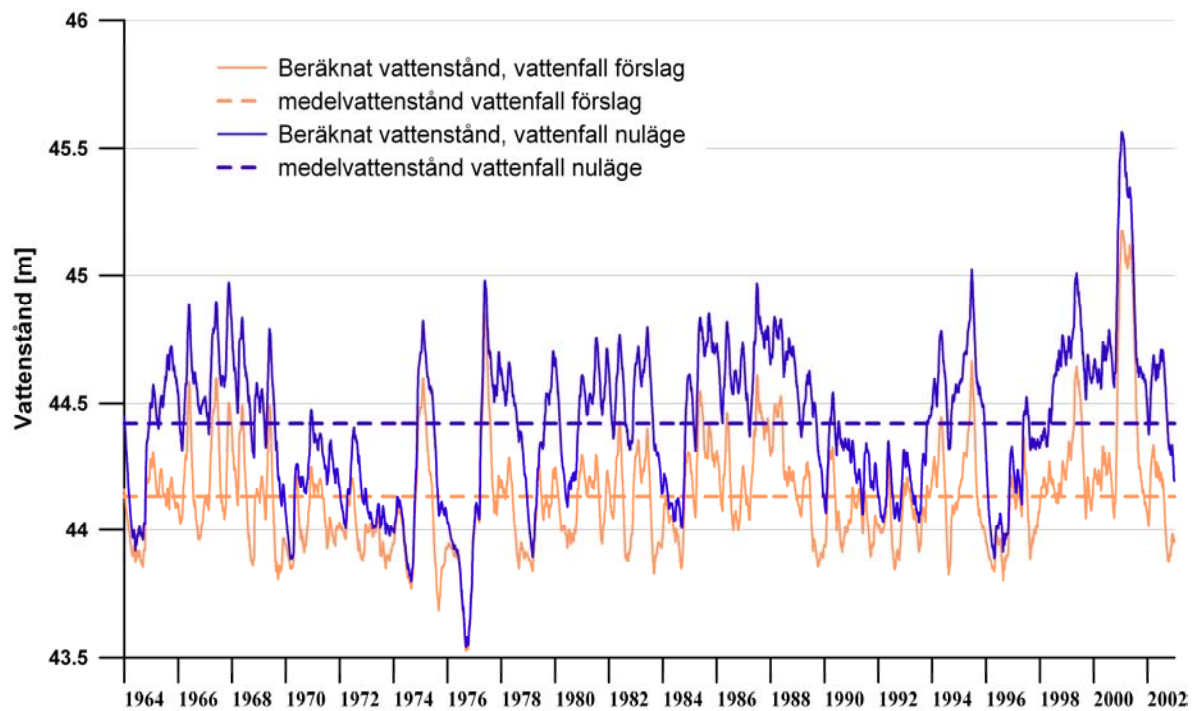


Figur 2.14. Sambandet mellan Vänerns vattenstånd och tappning i Göta älv enligt det nya förslaget till tappningsstrategi.

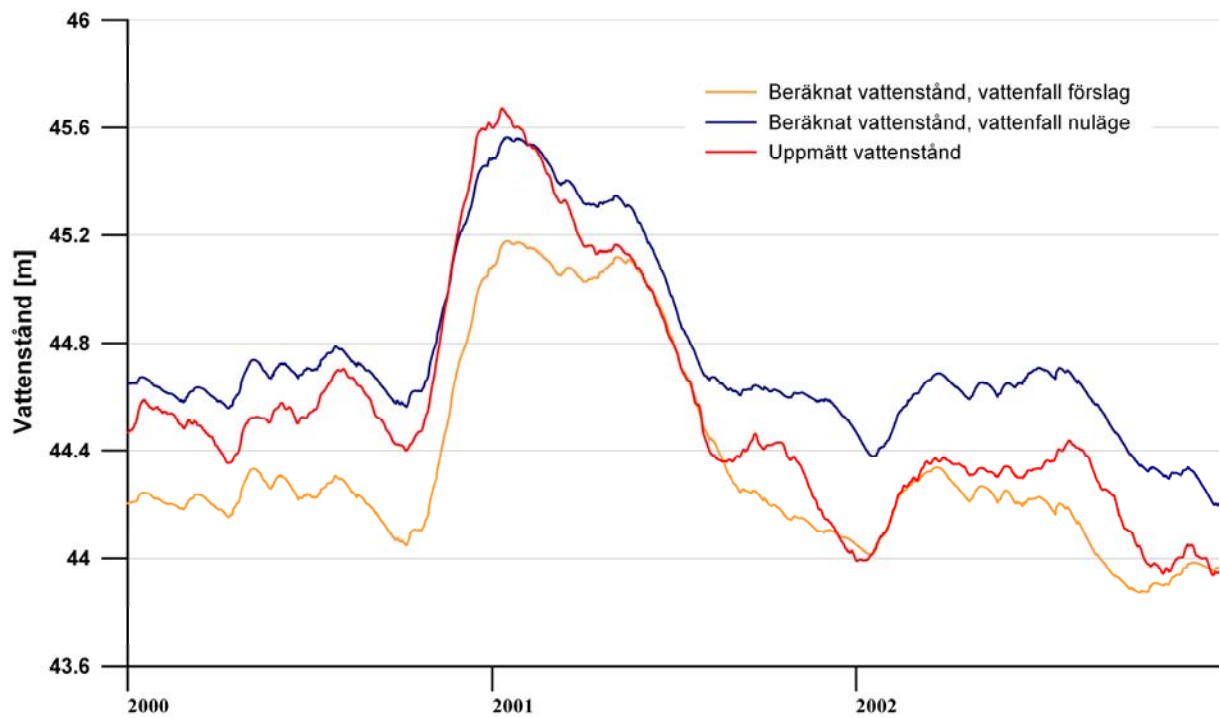
Med den föreslagna nya tappningsstrategin beräknades vattenståndsutvecklingen och tappningen i Göta älv för perioden 1964-2002 på motsvarande sätt som i föregående avsnitt. Tidsserier över den beräknade tappningen visas i figur 2.15 medan påverkan på nivåerna i Vänern redovisas i figur 2.16 och 2.17. Motsvarande statistik redovisas i figur 2.18 och 2.19.



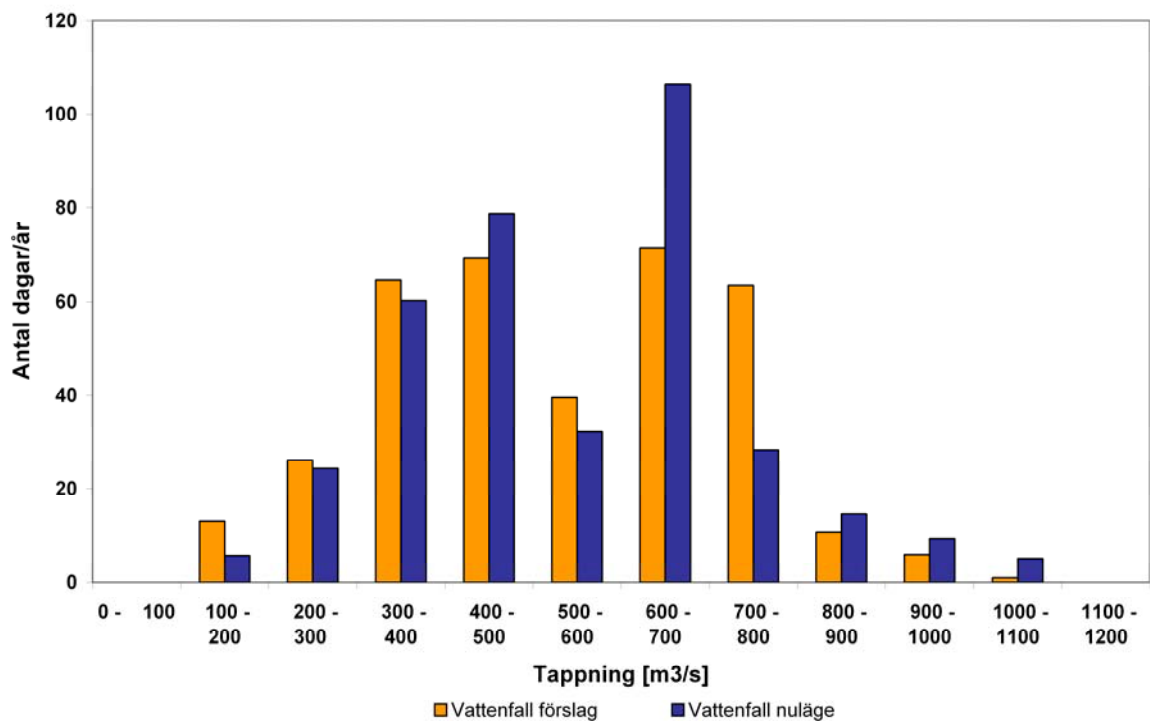
Figur 2.15. Observerad tappning från Vänern under perioden 1964-2002 och resultat beräknade med den föreslagna tappningsstrategin.



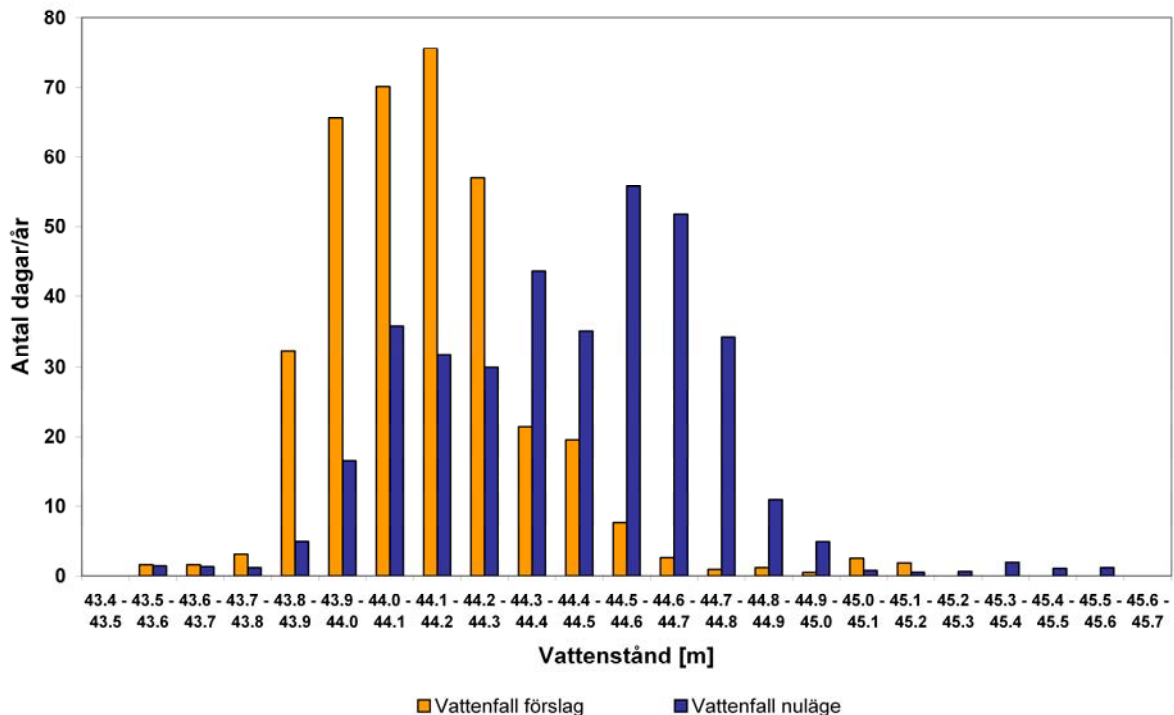
Figur 2.16. Vänerns vattenstånd beräknade med dagens tappningsstrategi (blå linje) och den föreslagna tappningsstrategin (gul linje) för perioden 1964-2002.



Figur 2.17. Vänerns vattenstånd under perioden 2000-2002. Röd linje visar observationer, blå linje den beräknade utvecklingen enligt dagens strategi och den gula linjen motsvarande utveckling om den föreslagna ändrade strategin tillämpas.



Figur 2.18. Statistik över tappningen i Göta älv för perioden 1964-2002 beräknad med dagens tappningsstrategi (blå staplar) och den föreslagna tappningsstrategin (gula staplar).

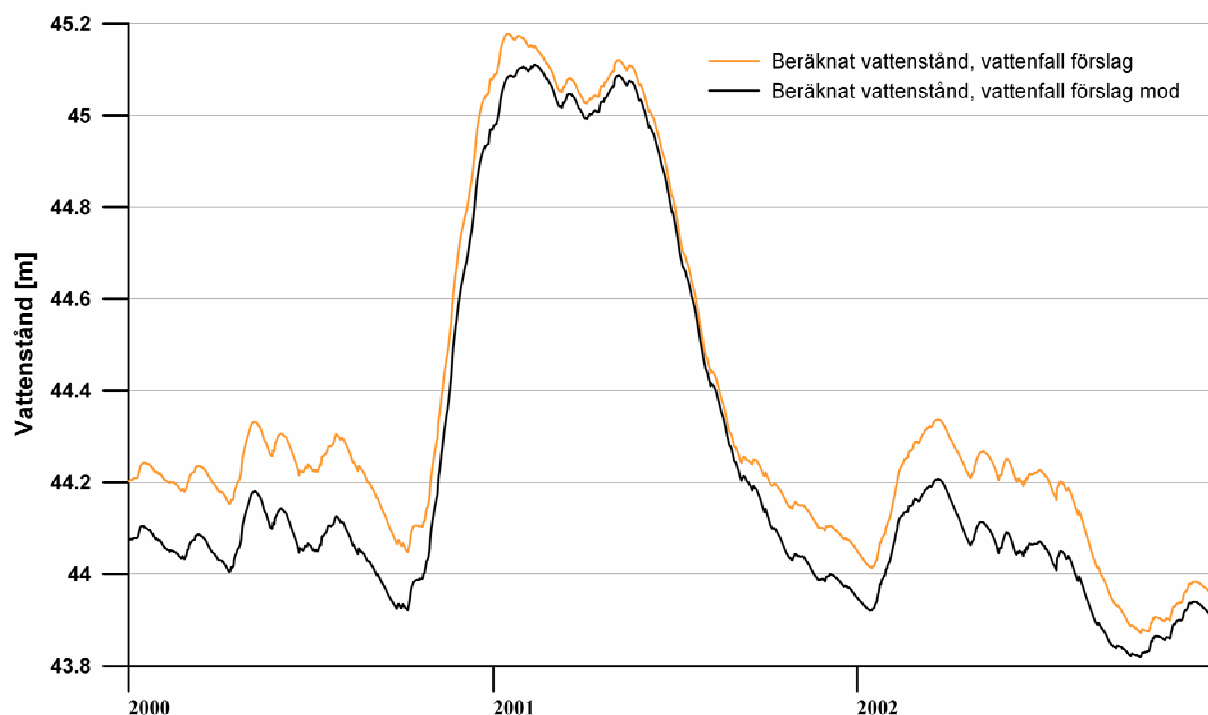


Figur 2.19 Statistik över Vänerns vattenstånd för perioden 1964-2002 beräknad med dagens tappningsstrategi (blåa staplar) och den föreslagna tappningsstrategin (gula staplar).

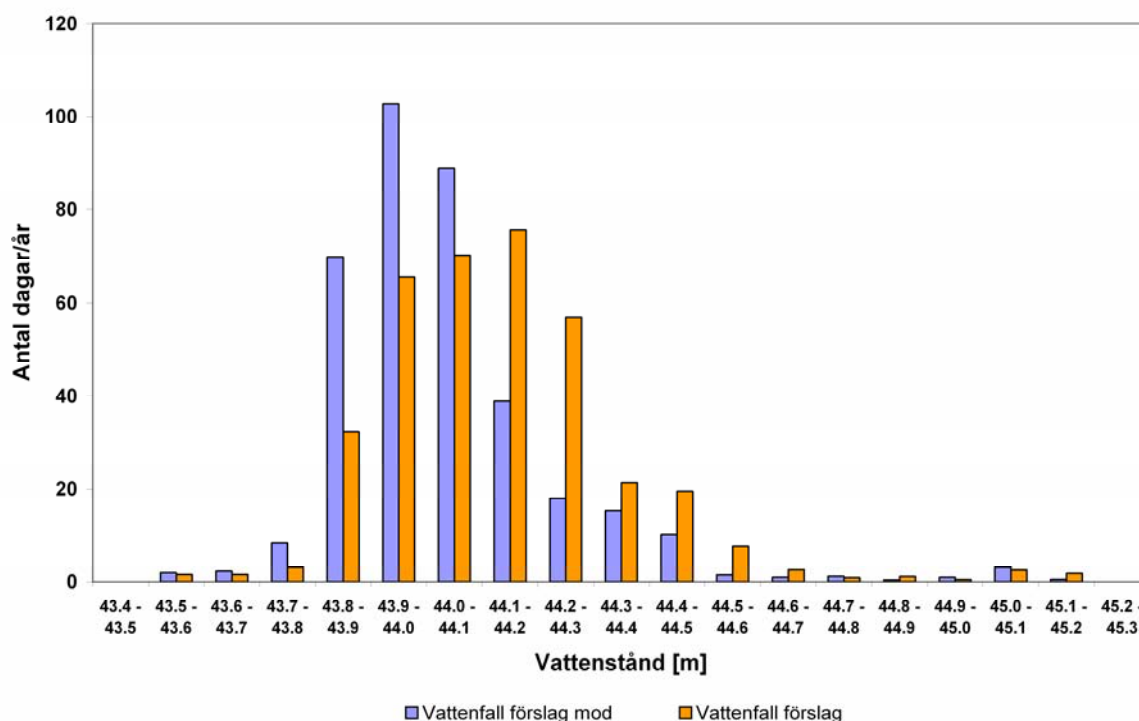
Resultaten i figur 2.16-2.19 visar tydligt att det går att uppnå stora förändringar av de högsta vattenstånden i Vänern utan att de lägsta nivåerna påverkas speciellt mycket och utan att vattendomen behöver ändras. Det beräknade medelvattenståndet för perioden 1964-2002 sänks med 29 cm från 44,42 till 44,13 m (det uppmätta medelvattenståndet är för samma period 44,37 m). För den högsta nivån i januari 2001 blir den beräknade sänkningen 38 cm.

Även tappningarna från Vänern påverkas, om än i mindre omfattning. Figur 2.18 visar att den föreslagna tappningsstrategin medför att de allra högsta tappningarna blir betydligt mindre vanliga, medan antalet dagar med låga tappningarna ökar något.

För att ytterligare belysa hur känsligt Vänerns vattenstånd är för en ändrad tappningsstrategi genomfördes en beräkning där gränsen från när full produktion i Lilla Edet sänktes med 20 cm från 44,3 m till 44,1 m. I övrigt var strategin identisk med den som redovisats i figur 2.14. Figur 2.20 visar vilken ytterligare effekt som denna modifiering skulle ha fått på vattenstånden under flödet 2000-2001 och figur 2.21 visar statistik över effekten av ändringen för hela perioden 1964-2002. Sammanfattningsvis sänks den högsta nivån i Vänern 2001 med ytterligare 7 cm medan Vänerns medelnivå för perioden 1964-2002 sänks med 9 cm jämfört med Vattenfalls förslag i figur 2.14.



Figur 2.20. Vänerns vattenstånd under perioden 2000-2002. Gul linje visar den beräknade utvecklingen enligt Vattenfalls förslag till ändrad strategi och svart linje visar utvecklingen om gränsen vid vilken full produktionstappning sker vid Lilla Edet sänks ytterligare 20 cm.



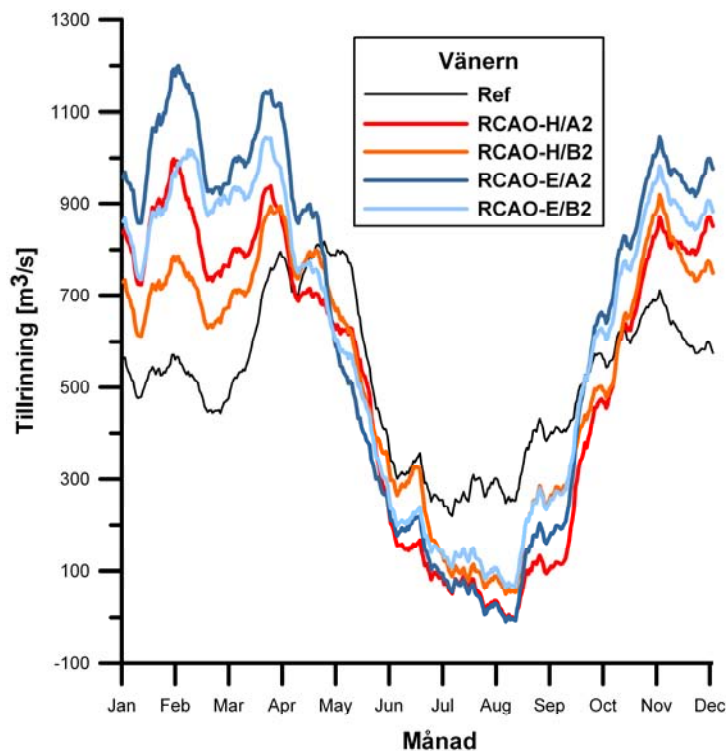
Figur 2.21 Statistik över Vänerns vattenstånd för perioden 1964-2002 beräknad med Vattenfalls förslag till tappningsstrategi (gula staplar) och utvecklingen om gränsen vid vilken full produktionstappning sker vid Lilla Edet sänks ytterligare 20 cm (blåa staplar).

3. Framtidsscenarier för Vänern

Effekterna av ett ändrat klimat på Vänerns vattenstånd har studerats inom ramen för två forskningsprojekt vid SMHI. Stiftelsen Länsförsäkringsbolagens Forskningsfond har finansierat projektet *Framtidens översvämningssrisker* och Elforsk och Svenska Kraftnät har finansierat projektet *Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer i ett framtida förändrat klimat*. Tack vare dessa två projekt, som slutredovisas under 2006, har ett underlag tagits fram som kunnat vidarebearbetas för Klimat-sårbarhetsutredningen för studier av flöden i Göta älv. Ytterligare studier av klimatpåverkan på vattenkraftssystem och dammsäkerhet görs inom det Nordiska CE-projektet, *Climate and Energy*, med finansiering från Nordisk Energiforskning, kraftindustrin i de nordiska länderna samt de nationella hydrologiska instituten. CE-projektet avslutas under 2006.

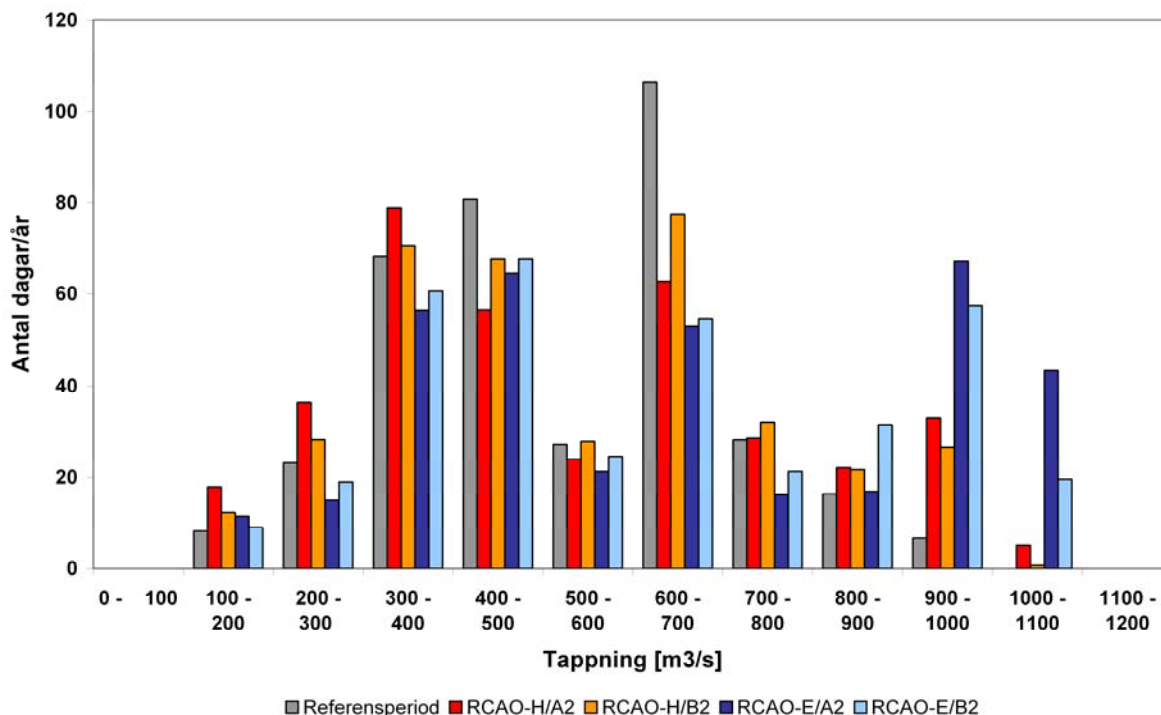
3.1 Beräknad förändring av Vänerns framtida tillrinning, tappning och vattenstånd

Effekterna av ett förändrat klimat på flöden i Göta älv och nivåerna i Vänern beräknades med utgångspunkt från perioden 1964 – 1990 varvid det framtida klimatet beskrevs enligt de fyra, i avsnitt 1, redovisade klimatscenarierna. Figur 3.1 visar hur tillrinningen till Vänern, beräknad med HBV-modellen, i genomsnitt förändras om klimatet ändras i enlighet med klimatscenarierna. Uppvärmningen ger en ny årstidsrytm med mer instabila vintrar och högre vintertillrinningar, samtidigt som tillrinningen sommartid blir lägre än idag. Som synes är skillnaderna mellan de fyra scenarierna ganska stora. Förändringen i årsvolym varierar enligt beräkningarna från +1 % till +22 %.

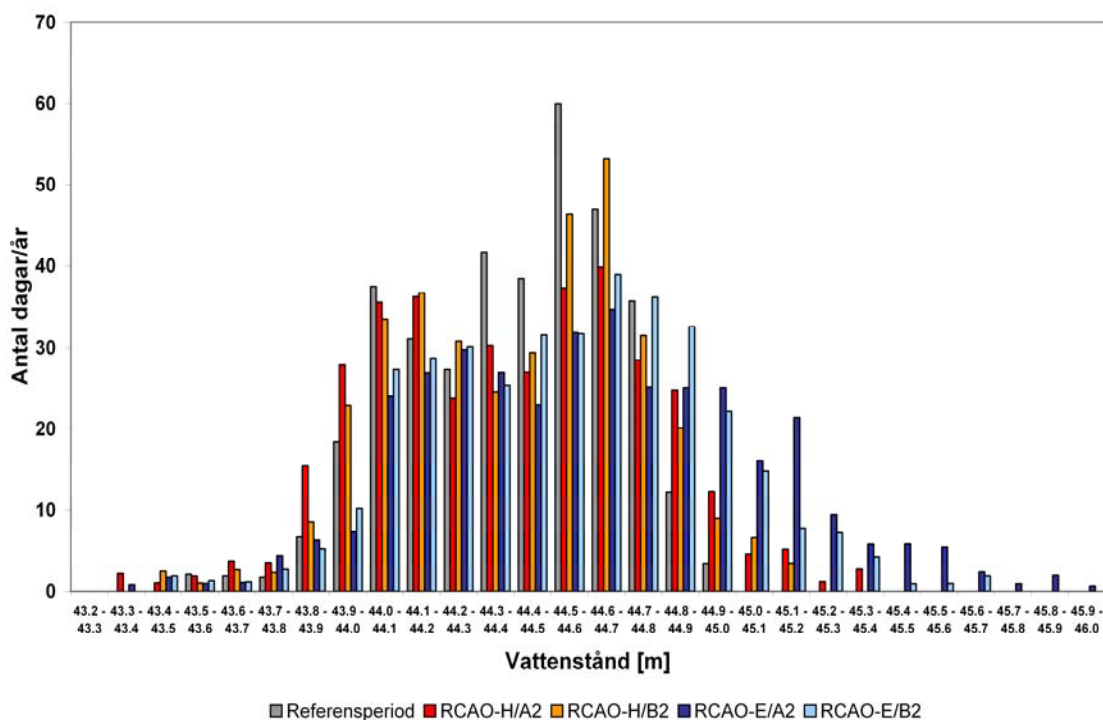


Figur 3.1. Genomsnittlig förändring av tillrinningen till Vänern enligt fyra klimatscenarier

Den nuvarande tappningsstrategin, som beskrevs i figur 2.8 användes för att beräkna motsvarande tappning i Göta älv och vattenståndet i Vänern om klimatet utvecklas i enlighet med de fyra scenarierna. Resultat i form av statistik över tappningen visas i figur 3.2 och motsvarande för vattenståndet visas i figur 3.3.



Figur 3.2. Statistisk fördelning av tappningen från i Vänerns i dagens klimat och om klimatet ändras i enlighet med de fyra scenarierna.



Figur 3.3. Statistisk fördelning av vattenståndet i Vänerns i dagens klimat och om klimatet ändras i enlighet med de fyra scenarierna.

Figur 3.2. 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 3.3. visar att det genomgående blir en ökning av antalet dagar vid de högsta vattenstånden i Vänern medan antalet dagar i intervallet 44,50-44,60 minskar. Även antalet dagar vid de lägsta nivåerna ökar. Sammanfattningsvis så pekar alltså klimatscenarierna mot en ökad variabilitet i Vänerns vattenstånd, beroende på blötare vintrar och torrare somrar med högre avdunstning.

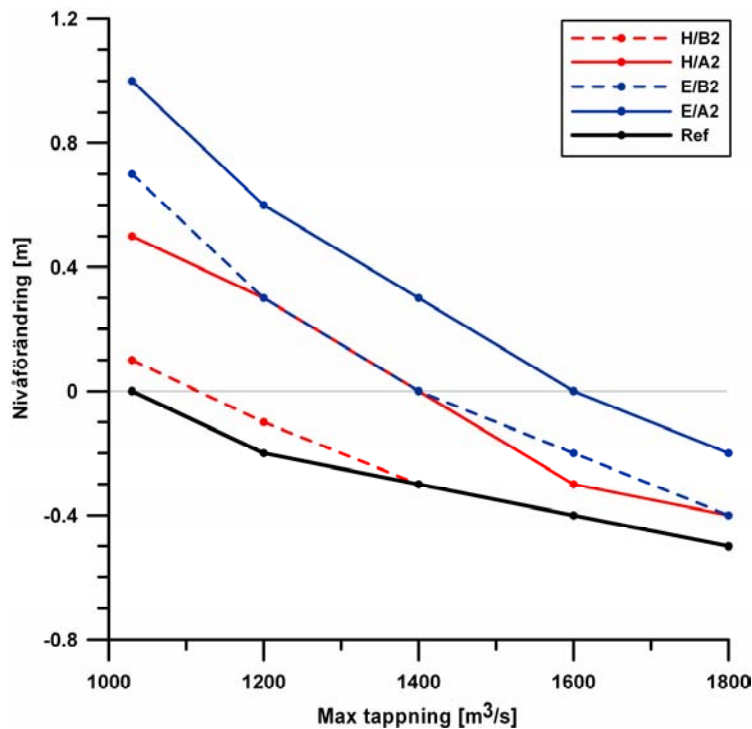
En beräkning av återkomsttider som genomförts med Gumbelfördelningen visas i tabell 3.1. Den visar att 100-års nivåerna i Vänern, enligt de fyra klimatscenarierna, kan väntas öka med mellan 21 och 98 cm om dagens tappningsstrategi tillämpas även i framtiden. Tabell 3.1. visar också att det vattenstånd som idag beräknas ha en återkomsttid på 100 år får en ny återkomsttid på allt emellan 5 till 40 år i det nya klimatet. Det bör dock betonas att osäkerheterna i dessa uppskattningar är ganska stora. Det förändrade nederbördsmönstret från klimatmodellen överförs till den hydrologiska modellen på ett schablonartat sätt, som inte tar hänsyn till att antalet dagar med nederbörd kan förändras inte heller att extrem nederbörd kan komma att ändras i annan omfattning än mer måttliga värden. De ändrade återkomsttiderna bör därför inte tas alltför bokstavligt även om tendensen är rimlig.

Tabell 3.1. Förändrade 100-års nivåer och ändrade återkomsttider för vattenstånden i Vänern enligt de fyra klimatscenarierna.

	Förändring i 100-årsnivå	Återkomsttid för dagens 100-årsnivå
RCAO – H/A2	+ 37	25
RCAO – H/B2	+ 21	40
RCAO – E/A2	+ 98	5
RCAO – E/B2	+ 57	11

3.2 Beräknad förändring av de mest extrema vattenstånden i Vänern

För att kunna bedöma hur Vänern och Göta älv klarar av de mest extrema situationerna har en beräkning gjorts av s.k. klass 1 flöden enligt Flödeskommitténs riktlinjer. vattenståndsutvecklingen för Vänern har därvid beräknats för dagens klimat och för fyra framtidsscenarier tillsammans med de maximala tappningsalternativen 1030, 1200, 1400 respektive 1600 m³/s . Motsvarande ändring av det maximala vattenståndet i Vänern redovisas för respektive klimatscenario i figur 3.4.



Figur 3.4. Ändringen av Vänerns högsta vattenstånd vid olika tappningskapacitet och ett Klass-1 flöde enligt Flödeskommittén under dagens klimat (Ref) och ett framtida klimat enligt fyra scenarier från Rossby Centre.

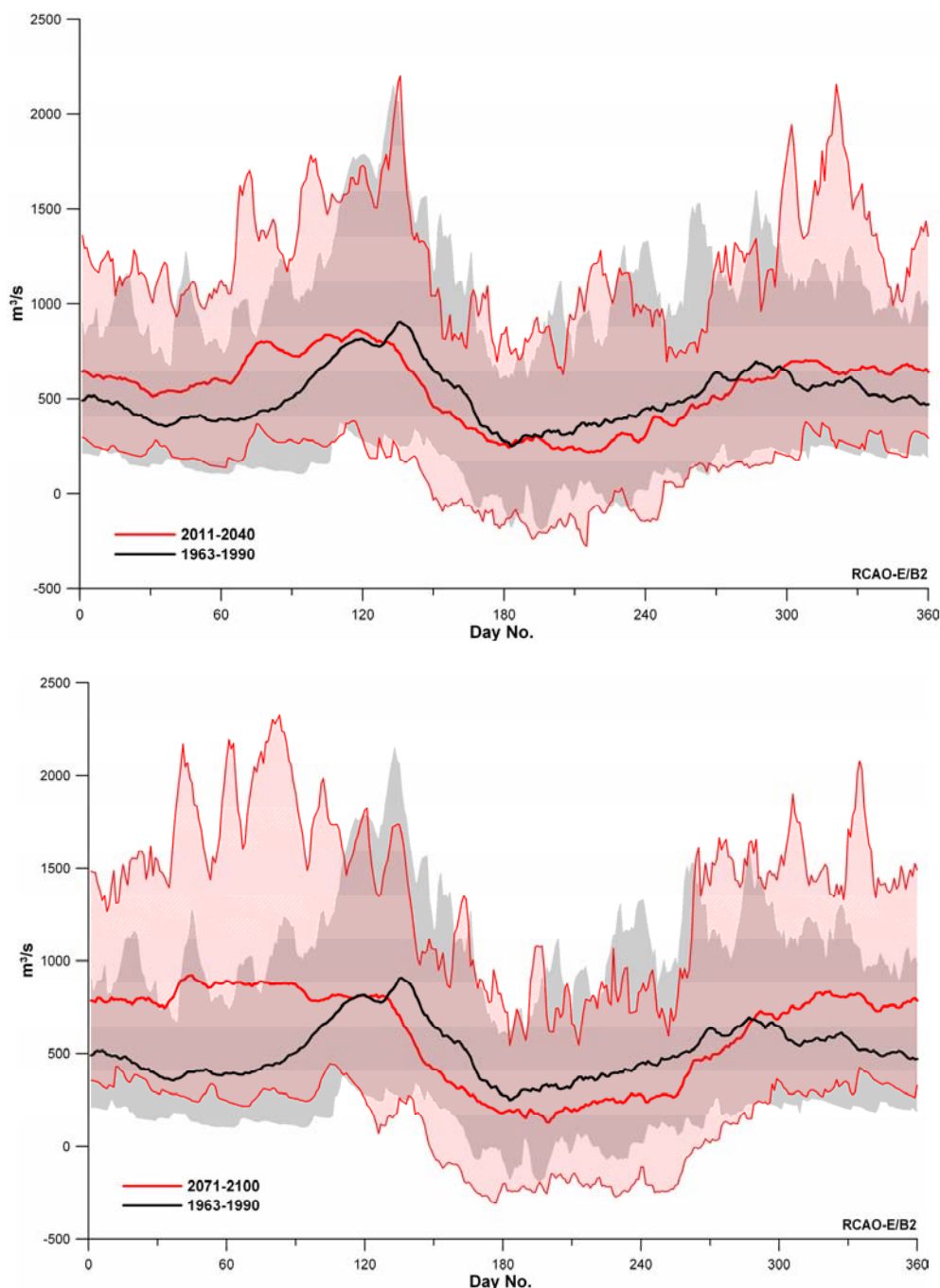
Trots att Flödeskommitténs riktlinjer enligt Elforsk (2005) inte visat sig vara fullt ut tillämpbara för Vänern och trots att de prövade tappningsalternativen inte är realistiska under dagens förhållanden ger beräkningarna ändå en bild av hur känsligt systemet är för en klimatförändring. De visar att det skulle behövas en avsevärd ökning av kapaciteten i Göta älv i framtiden i den mest extrema hydrologiska situationen (dimensionerande flöden för klass 1-dammar enligt Flödeskommittén), om klimatet utvecklas enligt de regionala klimatscenarier som tagits fram vid Rossby Centre. I genomsnitt för de fyra klimatscenierna rör det sig om att en kapacitet på ca 1400 m³/s skulle vara nödvändig för att bibehålla dagens säkerhetsnivå under de förhållanden som kan komma att råda under perioden 2071 – 2100. Detta värde skall jämföras med dagens värde på 1030 m³/s. För det mest extrema scenariet, RCAO-E/A2, skulle kapaciteten behöva ökas till ca 1600 m³/s, medan ett klimat enligt scenario RCAO-H/B2 skulle kräva en ganska liten ökning av tappningskapaciteten för att bibehålla dagens säkerhetsnivå.

Figur 3.4 visar å andra sidan att en bibehållen tappningskapacitet på 1030 m³/s skulle medföra att Vänerns vattenstånd, i genomsnitt för de fyra klimatscenierna, stiger med ytterligare ca en halv meter vid Klass 1- flöden enligt Flödeskommittén. Enligt RCAO-E/A2-scenariet blir motsvarande höjning ca en meter medan RCAO-H/B2-scenariet endast ger en höjning av ca 10 cm.

3.3 Kontinuerlig förändring av klimatet

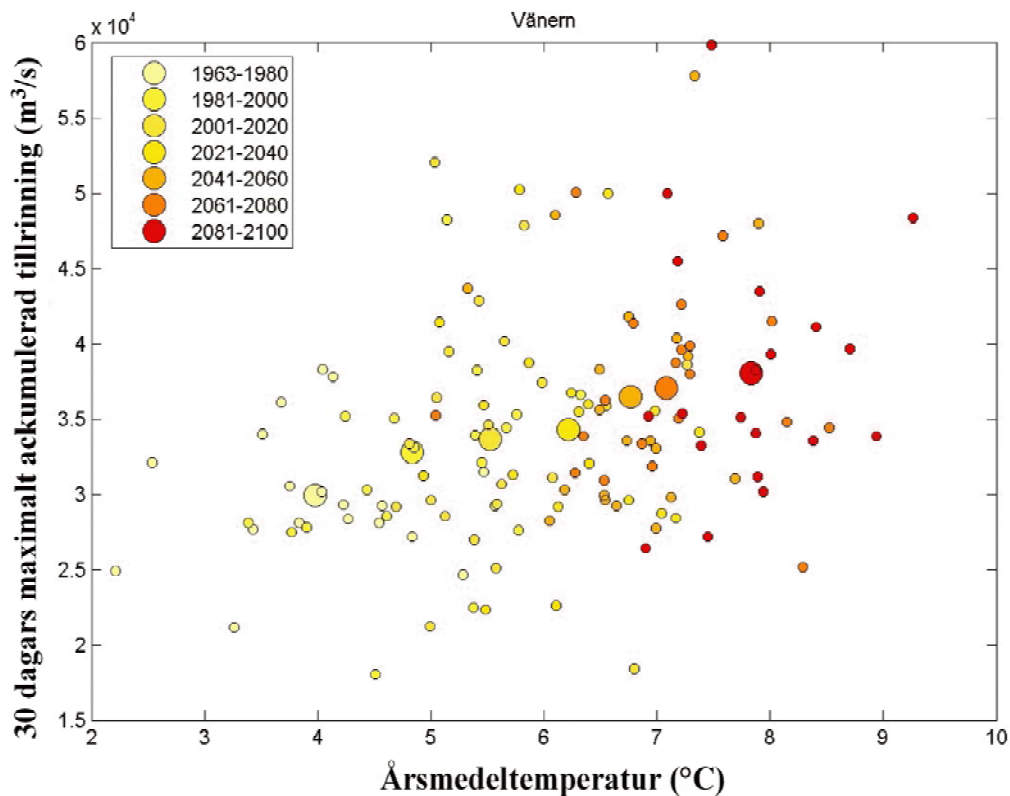
För att mer i detalj studera tidsförloppet av förändringen av tillrinningen till Vänern under det kommande seklet har en kontinuerlig klimatsimulering från Rossby Centre använts. Beräkningarna bygger på den tyska globala ECHAM4/OPYC3-modellen med

utsläppsscenario B2, Rossby Centres regionala klimatmodell, RCA3, samt den hydrologiska HBV- modellen. I figur 3.5 presenteras en sammanfattning av dessa beräkningar för två tidsperioder, 2011-2040 samt 2071-2100. Som framgår av figuren, sker efterhand en förskjutning av flödena mot vinter och höst samtidigt som den totala volymen ökar och sommartillrinningen minskar. Observera att året antagits ha 360 dagar i beräkningarna i figur 3.5, för att anpassa dessa till data från klimatscenerierna.



Figur 3.5. Beräknad förändring i årsdynamiken i tillrinningen till Vänern enligt RCA3-E/B2-scenariet. Sammanfattning för de två tidsperioderna 2011-2040 respektive 2071-2100 (rödskuggade områden) i jämförelse med 1963-1990 (gråskuggade områden). De yttre begränsningarna avser det högsta och lägsta värdet för respektive dag på året.

I figur 3.6. visas hur förloppet, uttryckt i maximal tillrinning under en längre period, 30 dagar, utvecklas efterhand som temperaturen stiger. De större cirklarna är medelvärden för olika 20-års perioder och de mindre avser enskilda år. Denna längre periods tillrinning är mer betydelsefull för vattenståndsutvecklingen i Vänern än några enstaka dagar med hög tillrinning.



Figur 3.6. Kontinuerlig beräkning av den maximala tillrinningen till Vänern, under 30 dagar, under olika 20-års perioder baserad på RCA3-E/B2-scenariet. De större cirklarna är medelvärden för de angivna 20-års perioderna och de mindre avser enskilda år.

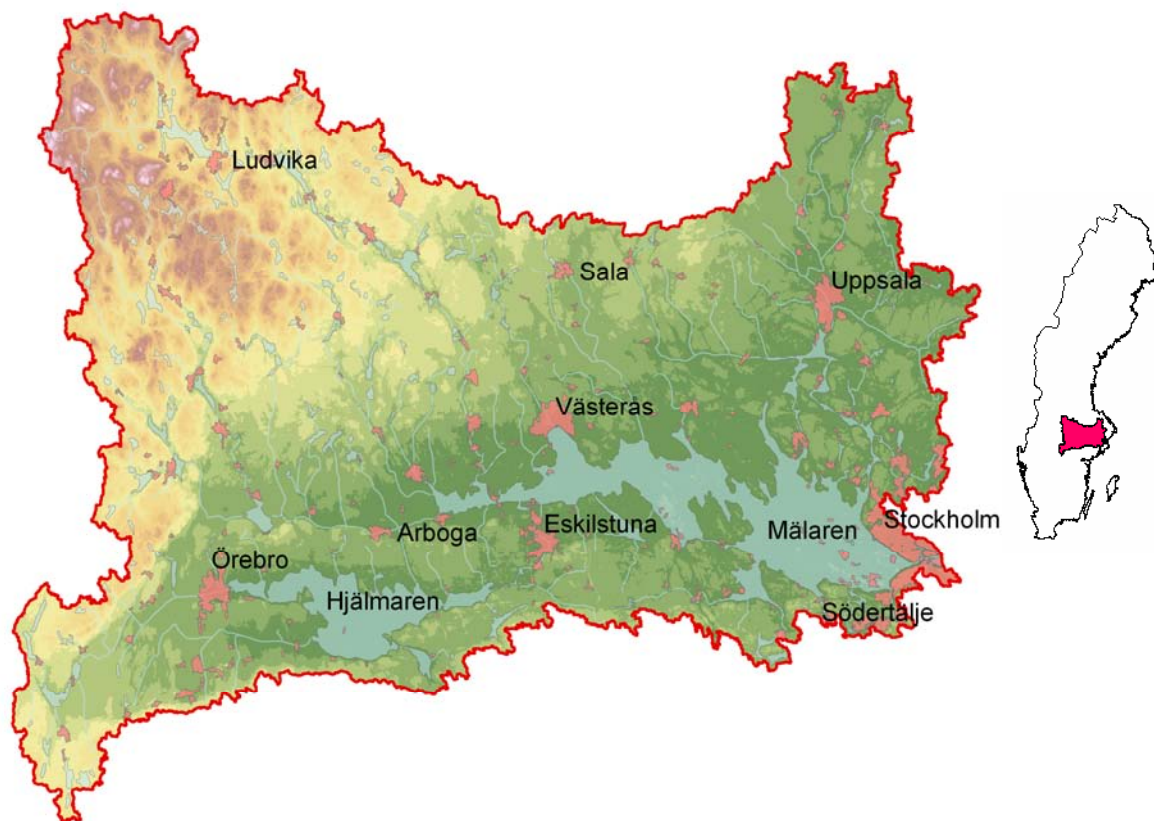
Figur 3.6 visar att den beräknade förändringen i den maximala tillrinningen under 30 dagar till Vänern under perioden är nästan linjär, men att spridningen tenderar att öka något efterhand. Det bör dock observeras att denna analys bara baseras på ett klimatscenario.

4. Mälaren och Hjälmaren

4.1 Mälarens och Hjälmarens avrinningsområden

Mälaren och Hjälmaren är Sveriges tredje och fjärde största sjö. Deras avrinningsområde är 22 650 km² (inklusive sjöarna) och sträcker sig från Bergslagen i väster till Norrström i centrala Stockholm. (figur 4.1; tabell 4.1). Via Mälaren avvattnas större delarna av Uppland, Västmanland, Närke samt södra delarna av Dalarna och de norra delarna av Södermanland (Ehlert, 1970). Hjälmarens avrinningsområde är 4 045 km². Avrinningen sker via Eskilstunaån, som är det näst största enskilda biflödet till Mälaren efter Arbågaån. Övriga viktigare vattendrag som rinner till Mälaren är Fyrisån och bergslagsåarna Arbågaån, Hedströmmen och Kolbäcksån. Det finns två åar som benämns Svartån, den ena mynnar i Hjälmaren i Örebro (Närkes Svartå), den andra i Mälaren i Västerås.

Medelvattenföringen till havet från Mälaren är ca 162 m³/s varav ca 6 m³/s går via Södertälje kanal. Via avloppsreningsverk direkt till havet rinner ca 5 m³/s.



Figur 4.1. Mälarens och Hjälmarens avrinningsområde.

Tabell 4.1. Grundläggande data om Mälaren och Hjälmaren (källor: SNA 2004; Bergström, 1994; Ehlert, 1970, SMHI, 2001; SMHI, 2003). Observera att dessa uppgifter kan variera något beroende på från vilken källa de hämtas.

Mälaren (nivåer i Mälarens höjdsystem)	
Avrinningsområdet för Mälaren (inkl. sjön)	22 650 km ²
Mälarens areal	1 120 km ²
Mälarens volym	14,3 km ³
Mälarens största djup	66 m
Norrströms och Södertälje kanals medelvattenföring	162 m ³ /s
Högsta nivå under reglerad tid (december 2000)	4,73 m
Medelvattenstånd under reglerad tid (1968-2004)	4,17 m
Lägsta nivå under reglerad tid (oktober 1976)	3,72 m
100-års nivå vid översvämningskarteringen	4,80 m
Dimensionerande nivå vid översvämningskarteringen	5,63 m
(Klass 1-nivå enligt Flödeskommitténs riktlinjer)	

Observera att nivåer i Mälarens höjdsystem ligger 3,84 cm över motsvarande värden i RH00-systemet.

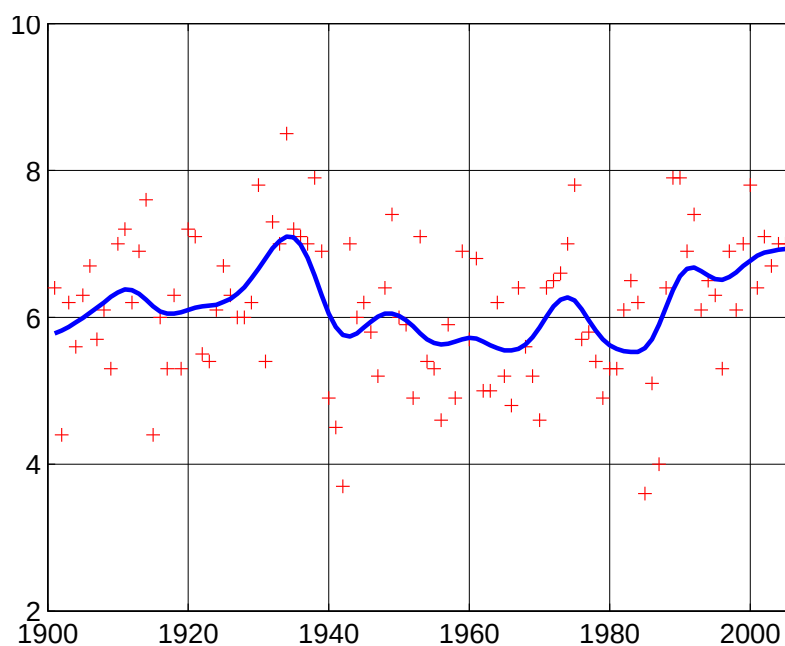
Hjälmaren (nivåer i höjdsystem RH00)	
Avrinningsområdet för Hjälmaren (inkl. sjön)	4 045 km ²
Hjälmarens areal	480 km ²
Hjälmarens volym	3 km ³
Hjälmarens största djup	20 m
Medelvattenföring i Eskilstunaån	24 m ³ /s
Dämningsgräns	22,10 m
Sänkningsgräns	21,62 m
Högsta nivå under perioden 1922-2005 (maj 1924)	22,48 m
Medelvattenstånd under perioden 1922-2005	21,84 m
Lägsta nivå under perioden 1922-2005 (oktober 1976)	21,15 m
100-års nivå vid översvämningskarteringen	22,48 m
Dimensionerande nivå vid översvämningskarteringen	23,49 m
(Klass 1-nivå enligt Flödeskommitténs riktlinjer)	

I Bergslagen finns en hel del vattenmagasin som används för produktion av vattenkraft. Dessa är belägna i Hedströmmen, Gisslarboån, Kolbäcksån, Arbogaån och Svartån. Magasinens sammanlagda volym är ca 550 miljoner m³ (uppgifter från Göran Algroth, Mälarenergi), vilket motsvarar en regleringshöjd på ca 49 cm omräknat till hela Mälarens yta.

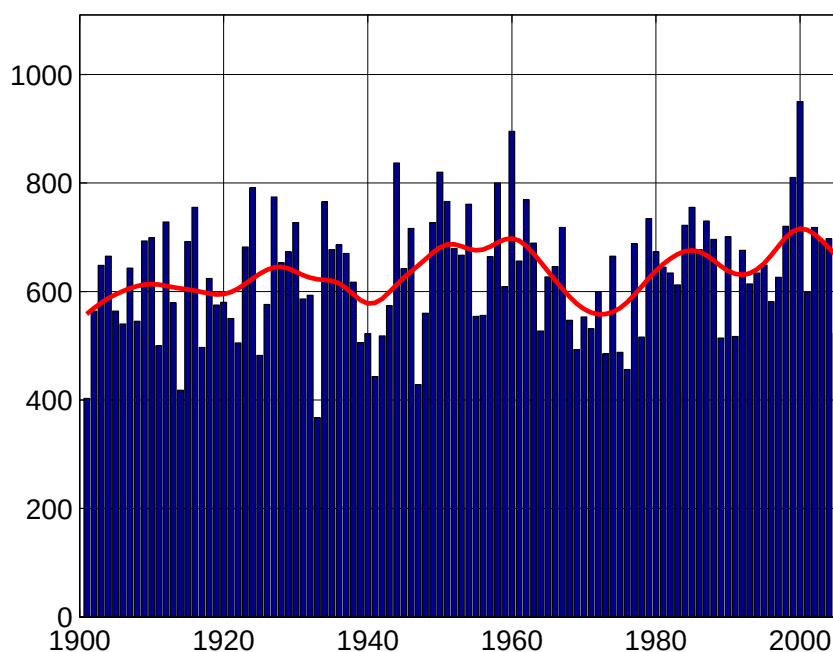
Vattenmagasin av betydelse i Hjälmarens avrinningsområde finns i Svartån. Den totala volymen av dessa uppgår till 80 miljoner m³, vilket motsvara en regleringshöjd på ca 17 cm i Hjälmaren (Styrelsen för Hjälmarens och Kvismarens sjösänkingsbolag, 1977).

4.2 Mälarområdets klimat

Inom Mälarens avrinningsområde varierar klimatet mindre än inom Vänerns avrinningsområde. I bergslagsområdet är dock vintrarna mer stabila och vårloden mer utpräglad än i övriga delar av området. Årsnederbörden är ca 650 mm, avdunstningen ca 420 mm vilket ger en årsavrinning på ca 230 mm (SMHI, 2003). Figur 4.2. visar årsmedeltemperaturen i Örebro för perioden 1901- 2005. Motsvarande nederbördsserie visas i figur 4.3.



Figur 4.2. Årsmedeltemperaturen i Örebro för perioden 1901- 2005. De utjämnade kurvorna är ett Gaussiskt filter motsvarande 10-års löpande medelvärden.

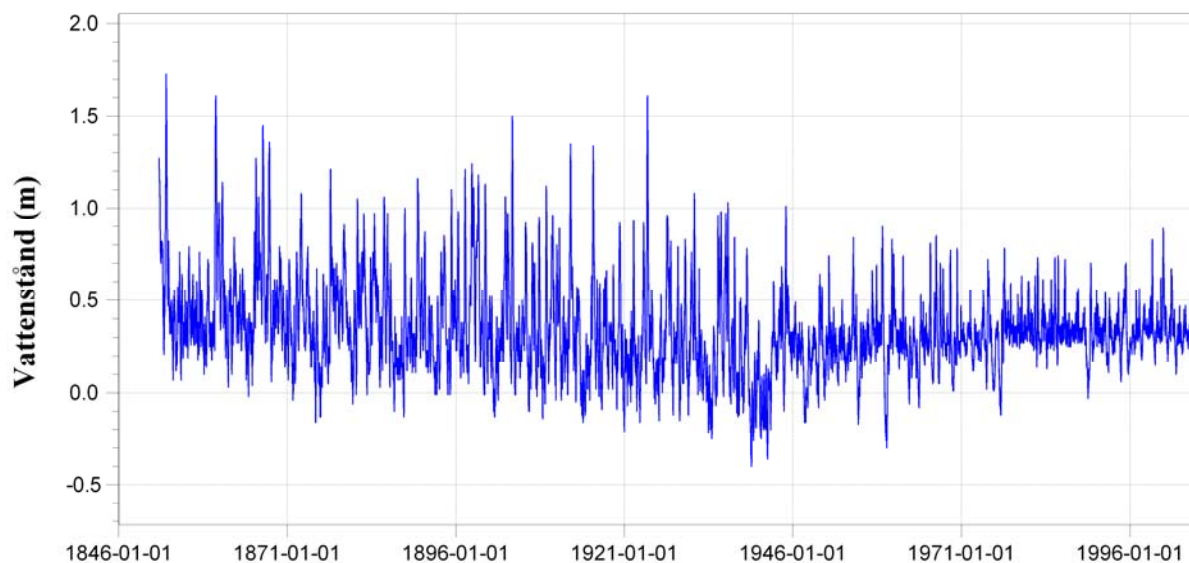


Figur 4.3. Årsnederbörden i Örebro för perioden 1901- 2005. De utjämnade kurvorna är ett Gaussiskt filter motsvarande 10-års löpande medelvärden.

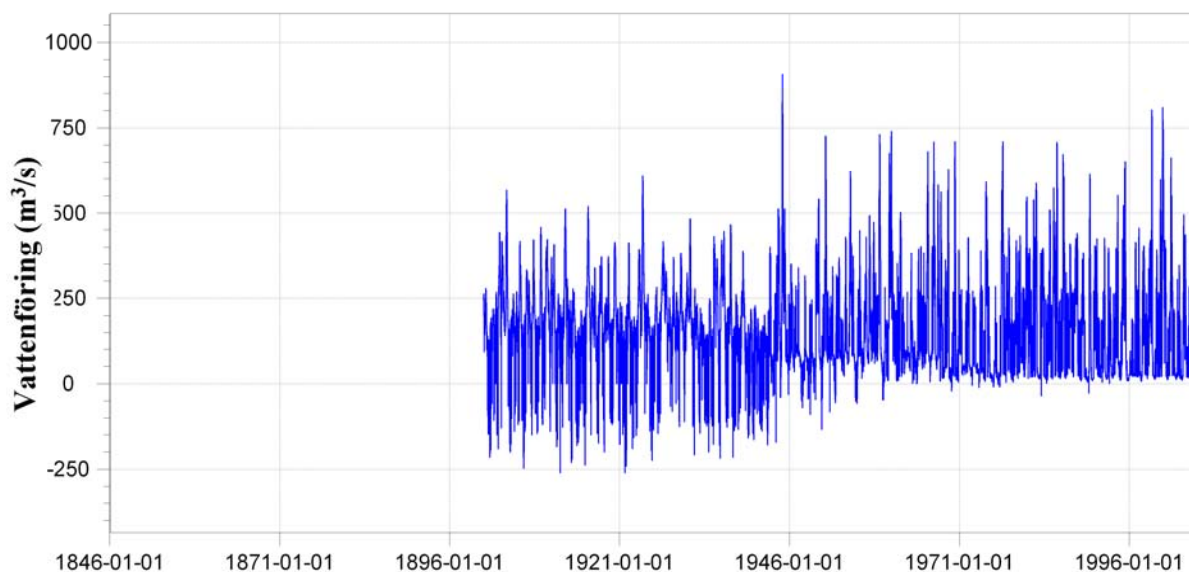
Liksom för Karlstad i Vänerns avrinningsområde uppvisar temperaturen för Örebro en uppgång under början av 1900-talet, en nedgång från det varma 1930-talet och därefter en markant uppgång ungefär sedan 1980. Det vill säga, i stort sett samma ett mönster som för landet som helhet. För nederbörden kan man urskilja några mycket blöta år under mitten av 1900-talet samt det extrema året 2000, vilket ledde till problem med höga vattennivåer i Mälaren.

4.3 Mälarens vattennivåer och dess reglering

För att motverka översvämningar av jordbruksmark, men även för att gynna sjöfarten, genomfördes en reglering av Mälaren enligt en dom från 1941. Denna reglering togs i bruk 1943. Effekten av regleringen blev inte riktigt vad man tänkt sig. Avsänkningen av högvattenstånden blev ungefär de avsedda, men lågvattenstånden blev betydligt lägre än väntat. Därför har nya regleringsbestämmelser börjat tillämpas från mars 1968 (Ehlert, 1970). I figur 4.4 visas observerade vattennivåer i Mälaren från mitten av 1800-talet till 2005. Motsvarande data över vattenföringen vid Mälarens utlopp under den tid det finns data redovisas i figur 4.5. Observera att mätserien i figur 4.4. uppvisar en trend som beror på att landhöjningen påverkat referenspunkten.



Figur 4. 4. Vattenstånd för Mälaren (meter i höjdsystem RH00) i Mälaren vid Stockholm under perioden 1852-2005 (mätserien uppvisar en trend som beror på att landhöjningen påverkat referenspunkten).



Figur 4.5. Vattenföring i m³/s (dygnsmedelvärden) i Mälarens utlopp under den tid det finns data lagrade vid SMHI.

Effekterna av Mälarens reglering syns tydligt i såväl vattenstånd som vattenföring. Den mest uppenbara effekten är att de högsta vattenstånden minskat och att de allra lägsta flödena försvunnit samtidigt som det genom regleringen blivit vanligare med höga flöden från Mälaren.

4.4 Översvämningarna i Mälaren hösten och vintern 2000-2001

De kraftiga översvämningarna i Sverige under 2000-2001 påverkade också Mälaren, även om de inte blev lika dramatiska som i Dalsland och Värmland. I Mälaren uppmättes i december 2000 det högsta vattenståndet under reglerad tid. Betydligt högre nivåer har dock noterats innan regleringen. Ett av de värsta åren var 1924, från vilket bilden i figur 4.6 är hämtad.



*Figur 4.6. Mälartorget i Gamla Stan i Stockholm vid översvämningen våren 1924.
Foto: S. Ernfors.*

Situationen år 2000 i Mälaren visade att det finns säkerhetsproblem som bland annat kan komma att beröra centrala Stockholm. Stockholms tunnelbana kan komma att påverkas, liksom vägar, tunnlar, ventilationssystem, elektriska installationer och annan infrastruktur.

4.5 Hjälmarens vattennivåer och dess reglering

Liksom är fallet för Väneren och Mälaren har Hjälmarens vattenstånd påverkats kraftigt av mänskliga ingrepp. För att vinna åkermark genomfördes 1880-1888 en sjösänkning som kom att bli Sveriges största sjösänkingsföretag. Medelvattenytan sänktes med 1,3 meter. Samtidigt byggdes regleringsdammen vid Hyndevad och Täljeån kanalisades (Kvismare kanal), varvid sjön Kvismaren nästan helt torrlades (Ehlert, 1970; Skoghäll, 1999; Karlsson och Winnfors, 2005). Enligt Waldén (1940) beräknades Hjälmarens yta före sänkningen till

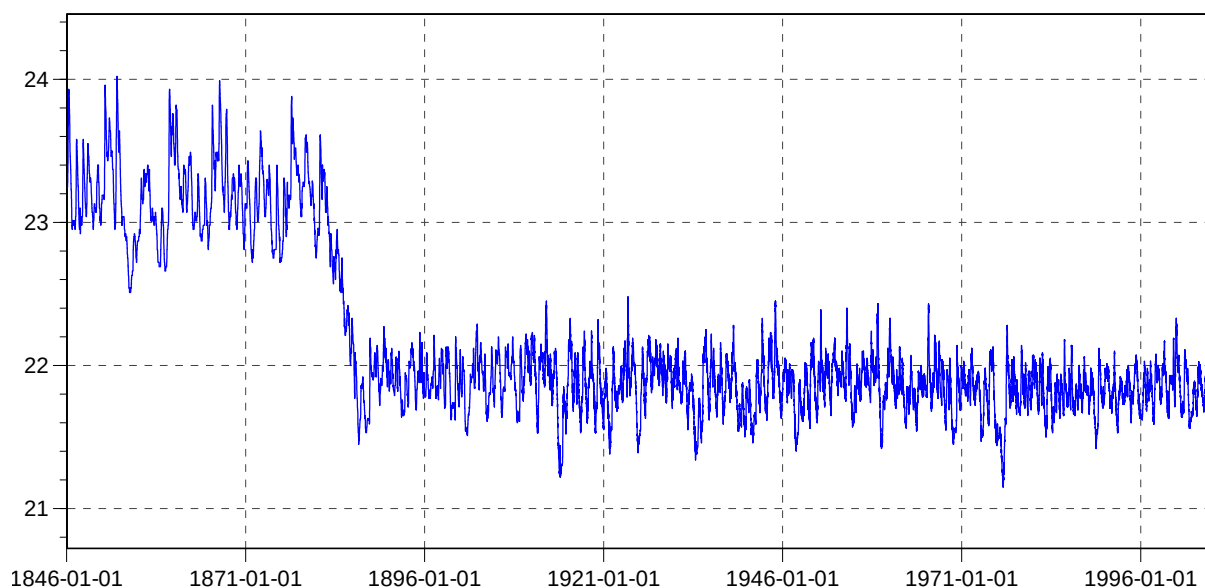
495 km² vid lågvatten och under översvämningar vid högvatten till 653 km². Efter sänkningen varierar ytan inte så mycket och uppgår till ca 480 km².

Avsikten med sänkningen av Hjälmaren var att sänka högvattennivån med 6 fot och lågvattennivån med 4 fot vilket skulle ge en regleringshöjd av 0,6 m. I verkligheten har dock den högsta vattenstandsvariationen varit ca 1,3 m (Styrelsen för Hjälmarens och Kvismarens sjösänkingsbolag, 1977). Detta har medfört att man vid flera tillfällen haft fortsatta problem med översvämningar runt Hjälmaren, åren 1913, 1924, 1944, 1954, 1959, och 1966 har nivåerna uppnått eller överträffat 22,40 meter. Översvämningen 1924 illustreras i figur 4.7.

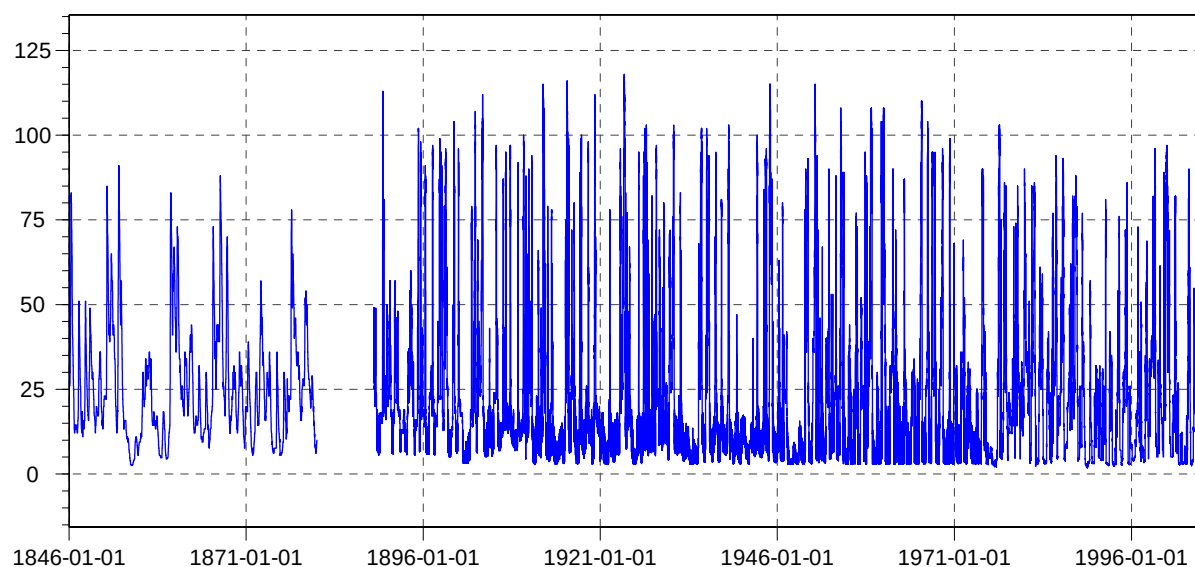


Figur 4.7. Översvämning av Kvismarens slätt 1924. Jämför med figur 4.6 från Stockholm samma år (Källa: Styrelsen för Hjälmarens och Kvismarens sjösänkingsbolag, 1977, publicerad med tillstånd från Hjälmarens vattenförbund).

Figur 4.8 och 4.9 visar Hjälmarens vattenstånd respektive vattenföringen under perioden 1846-2005. Data över tappningen saknas för en period på 1800-talet.

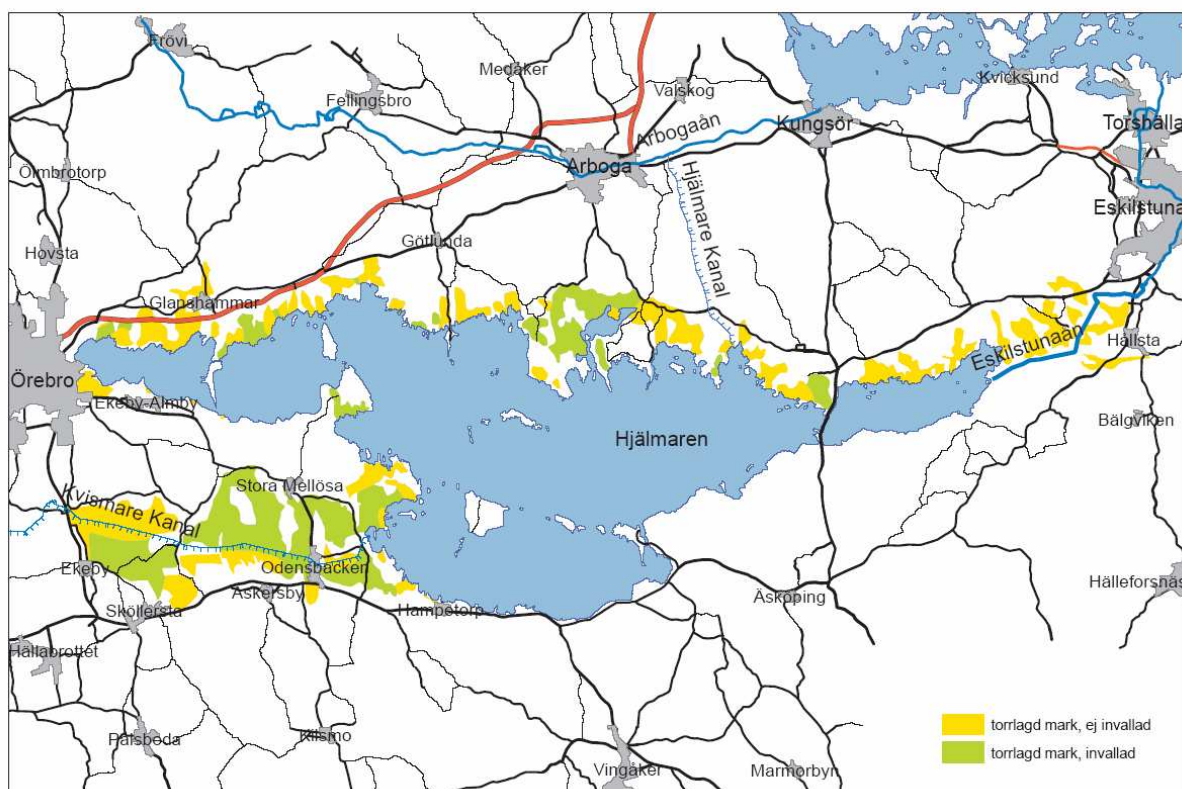


Figur 4.8. Vattenstånd (meter i höjdsystem RH00) i Hjälmarén vid Notholmen under perioden 1846-2005.



Figur 4.9. Vattenföring (m³/s) vid Hjälmaréns utlopp under perioden 1846-2005.

Figur 4.8 visar den drastiska sänkningen av Hjälmarén och att denna ledde till mindre vattenståndsvariationer genom den ökade tappningsförmågan vid Hyndevad. Som framgår av figur 4.9 innebar detta ingrepp också större vattenföringsvariationer i Hjälmaréns utlopp och därmed också i Eskilstunaån. Vad avsänkningen betydde för torrläggning av området visas i figur 4.10, som är hämtad från Styrelsen för Hjälmaréns och Kvismarens sjösänkingsbolag (1977). Där framgår även vilka områden som skyddades av invallningar 1976.



Figur 4.10. Torrlagd mark runt Hjälmaren, förhållanden 1976 (Källa: Styrelsen för Hjälmarens och Kvismarens sjösänkingsbolag, 1977, digitaliserad av SMHI).

5. Framtidsscenarier för Mälaren och Hjälmaren

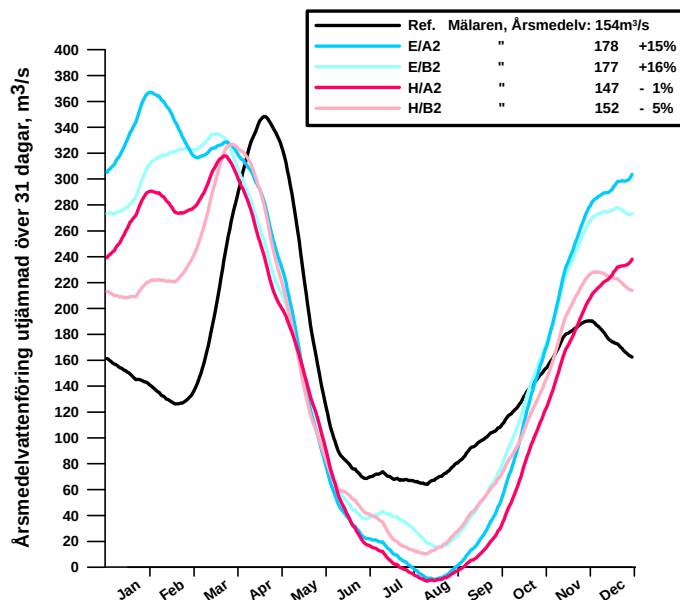
Effekterna av ett ändrat klimat på Mälarens vattenstånd har studerats inom ramen för det EU-finansierade SEAREG-projektet (Meier et al., 2006) samt inom forskningsprojektet *Framtidens översvämningsrisker* vid SMHI som finansieras av Stiftelsen Länsförsäkringsbolagens Forskningsfond. Metodik för analys av dimensionerande flöden har utarbetats inom projektet *Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer i ett framtida förändrat klimat* med stöd av Elforsk. Därmed finns ett underlag som kunnat utnyttjas i arbetet åt Klimat- och sårbarhetsutredningen vad avser Mälaren och Hjälmaren.

5.1 Beräknad förändring av Mälarens tillrinning och vattenstånd

Effekterna av ett förändrat klimat på nivåerna i Mälaren beräknades på samma sätt som för Vätern med de klimatscenarier som beskrevs i avsnitt 1. Utgångspunkt är perioden 1961 – 1990 och det framtida klimatet beskrevs enligt fyra regionala scenarier, benämnda RCAO-H/A2; RCAO-H/B2, RCAO-E/A2 respektive RCAO-E/B2. Förutom med de fyra ovan beskrivna scenarier har ett klimatscenario som kontinuerligt beskriver utvecklingen från dagens klimat fram till 2100 använts. Detta bygger beräkningarna på den tyska globala ECHAM4/OPYC3 modellen med utsläppsscenario B2 och den regionala RCA3 modellen. De hydrologiska konsekvenserna är, liksom för Vätern, beräknade med HBV-modellen.

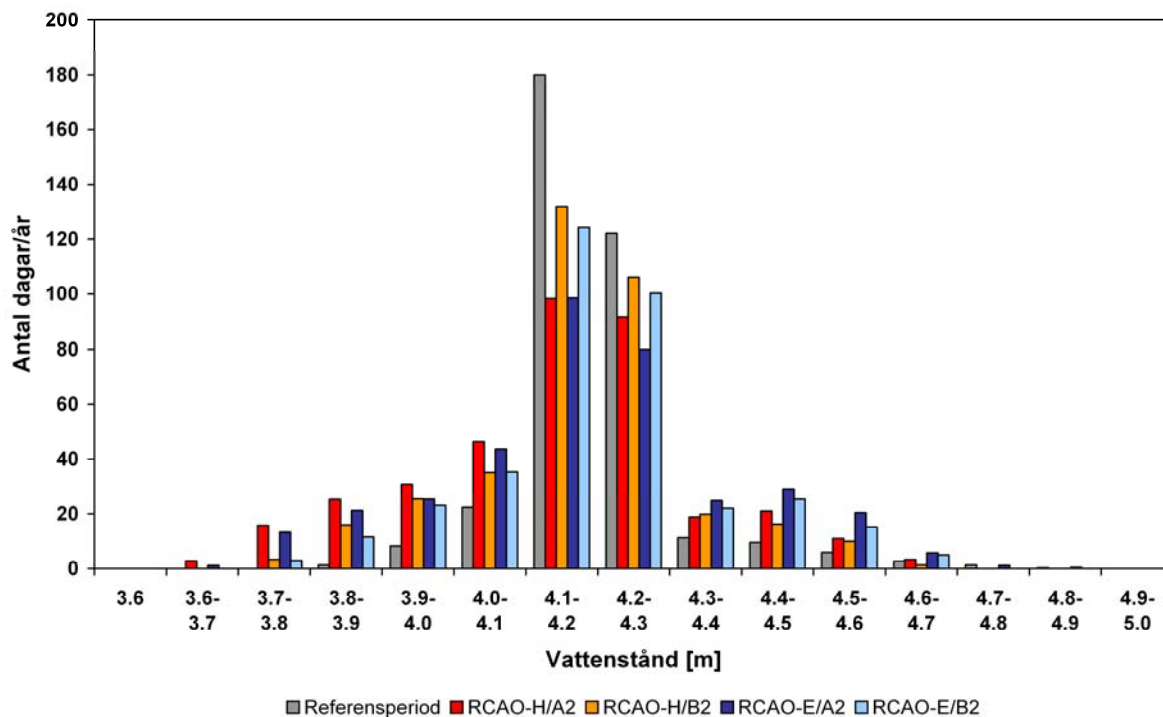
Figur 5.1 visar hur tillrinningen till Mälaren i genomsnitt förändras om klimatet ändras i enlighet med klimatscenarierna. Liksom för Vätern (figur 3.1.) är skillnaderna stora mellan de fyra scenarierna. Förändringen i tillrinningens årsvolym till Mälaren varierar enligt

beräkningarna från -5 % till + 16 %. Uppvärmningen beräknas ge mindre stabila vintrar och högre vintertillrinningar, samtidigt som tillrinningen sommartid blir lägre än idag. Detta liknar i viss mån situationen under senare års vintrar, även om att sommartillrinningen ännu inte visat någon minskande tendens.



Figur 5.1. Genomsnittlig förändring av tillrinningen till Mälaren enligt fyra klimatscenarier.

Med en förenklad metod har vattenståndsutvecklingen för Mälaren beräknats för respektive klimatscenario. Dessa beräkningar sammanfattas statistiskt i figur 5.2 och Tabell 5.1. Tolkningen av denna figur är att spridningen i mälarens vattenstånd ökar. Såväl de medelhöga som de låga vattennivåerna blir vanligare enligt scenarierna medan antalet dagar vid mellannivåerna minskar. De höga nivåerna kommer företrädesvis att inträffa vintertid medan de lägsta nivåerna kan väntas under sommaren. De allra högsta nivåerna blir något lägre för tre av de fyra klimatscenarierna. RCAO-E/A2-scenariet ger en viss ökning av antalet dagar i de högsta nivåerna.



Figur 5.2. Beräknat antal dagar med olika vattennivåer i Mälaren enligt dagens förhållanden och fyra klimatscenarier.

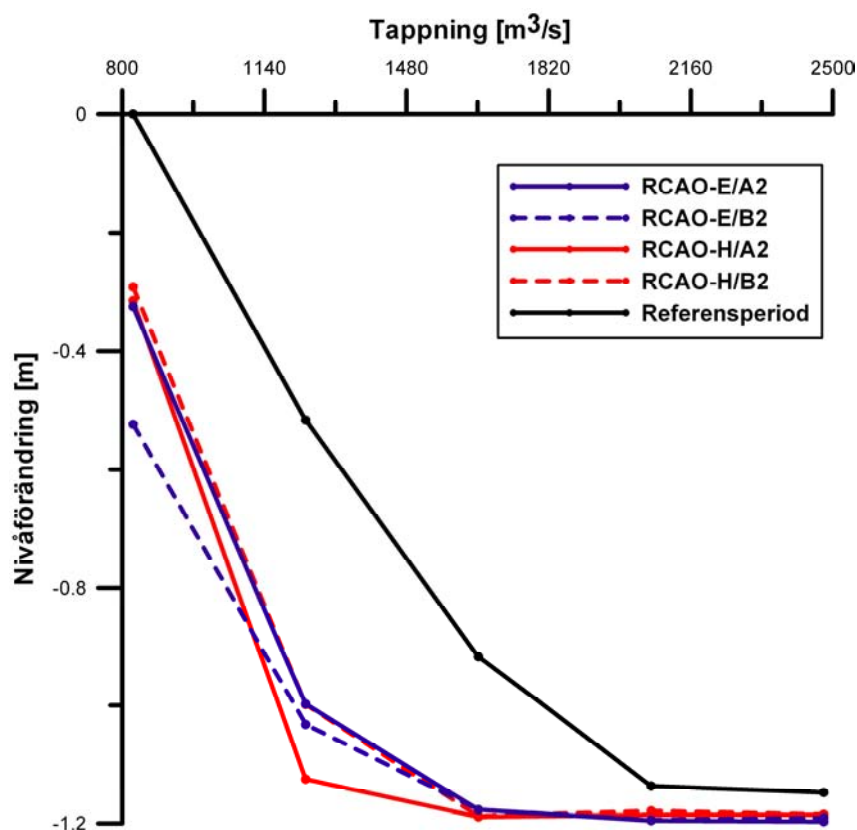
Tabell 5.1. Beräknat antal dagar med olika vattennivåer i Mälaren enligt dagens förhållanden och fyra klimatscenarier.

	Referensperiod	RCAO - H/A2	RCAO - H/B2	RCAO - E/A2	RCAO - E/B2
3.6	0	0	0	0	0
3.6 - 3.7	0	84	0	37	0
3.7 - 3.8	0	475	101	399	89
3.8 - 3.9	41	758	478	638	347
3.9 - 4.0	248	924	762	761	694
4.0 - 4.1	672	1391	1054	1311	1061
4.1 - 4.2	5399	2950	3956	2956	3729
4.2 - 4.3	3662	2747	3182	2399	3009
4.3 - 4.4	340	566	596	745	660
4.4 - 4.5	286	631	486	871	761
4.5 - 4.6	179	331	299	614	456
4.6 - 4.7	80	99	42	175	150
4.7 - 4.8	41	0	0	38	0
4.8 - 4.9	8	0	0	12	0
4.9 - 5.0	0	0	0	0	0

5.2 Beräknad förändring av de mest extrema vattenstånden i Mälaren

På samma sätt som för Vänern (avsnitt 3) har den beräkningsteknik som tagits fram inom projektet *Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer i ett framtida förändrat klimat* tillämpats för Mälaren för Klimat och sårbarhetsutredningen. Därvid har en mer detaljerad tappningsberäkning, utvecklad inom SEAREG-projektet (Meier et al., 2006), använts.

Flödesutvecklingen har beräknats för dagens klimat och för fyra framtidsscenarier. Dessutom har olika värden prövats på den maximala tappningskapaciteten motsvarande dagens förhållanden, samt en ökning med 50, 100, 150 och 200 %. Motsvarande ändring av det maximala vattenståndet i mälaren redovisas för respektive klimatscenario i figur 5.3.



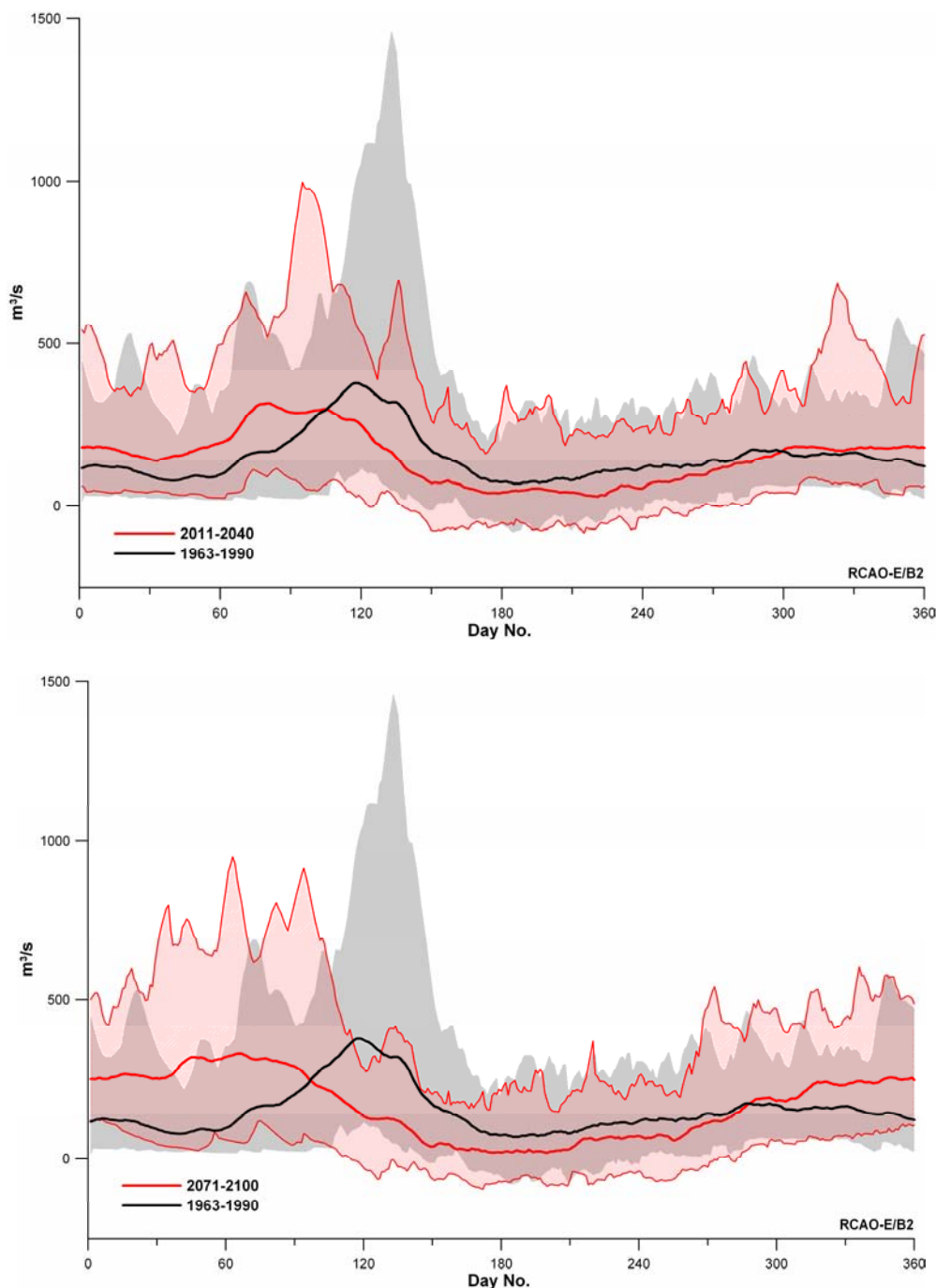
Figur 5.3. Ändringen av Mälarens högsta vattenstånd vid olika tappningskapacitet och ett Klass-1 flöde enligt Flödeskommittén under dagens klimat (Ref) och ett framtida klimat enligt fyra scenarier från Rossby Centre.

Figur 5.3 visar att de dimensionerande flödena för klass 1-dammar blir lägre enligt alla fyra klimatscenarier än för dagens klimatförhållanden. Det beror främst på att snömagasinet blir lägre när klimatet blir varmare, men också på att avdunstningen beräknas öka.

5.3 Kontinuerlig förändring av klimatet

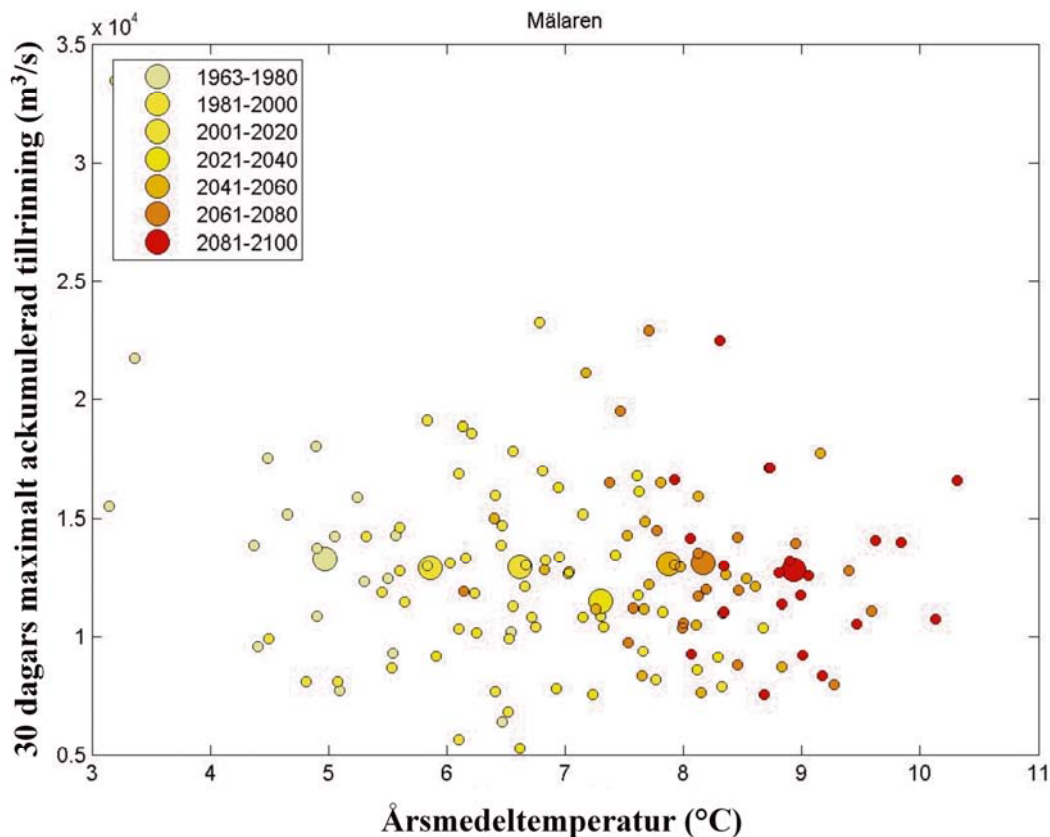
På samma sätt som för Vänern har en kontinuerlig klimatsimulering från Rossby Centre använts för att studera tidsförloppet av klimatpåverkan på tillrinningen till Mälaren. Beräkningarna bygger på den tyska globala ECHAM4/OPYC3-modellen med utsläppsscenario B2, Rossby Centres regionala klimatmodell, RCA3, samt den hydrologiska

HBV-modellen. Figur 5.4 visar mer i detalj hur den beräknade årsdynamiken i tillrinningen beräknas förändras efterhand som den globala uppvärmningen fortskrider. Figuren visar tydligt hur vårfloden gradvis ersätts med höga vinterflöden samtidigt som de mest extrema tillrinningarna tenderar att minska. Liksom för beräkningarna för Vänern har året antagits ha 360 dagar i beräkningarna i figur 5.4 för att dessa skall passa till data från klimatscenarierna.



Figur 5.4. Beräknad förändring i årsdynamiken i tillrinningen till Mälaren enligt E/B2-scenariet. Sammanfattning för de två tidsperioderna 2011-2040 respektive 2071-2100 (rödsuggade områden) i jämförelse med 1963-1990 (gråsuggade områden). De yttre begränsningarna avser det högsta och lägsta värdet för respektive dag på året.

I figur 5.5 visas hur förloppet, uttryckt i maximal tillrinning under en period av 30 dagar, utvecklas efterhand som temperaturen stiger. De större cirklarna är medelvärden för olika 20-års perioder och de mindre avser enskilda år.



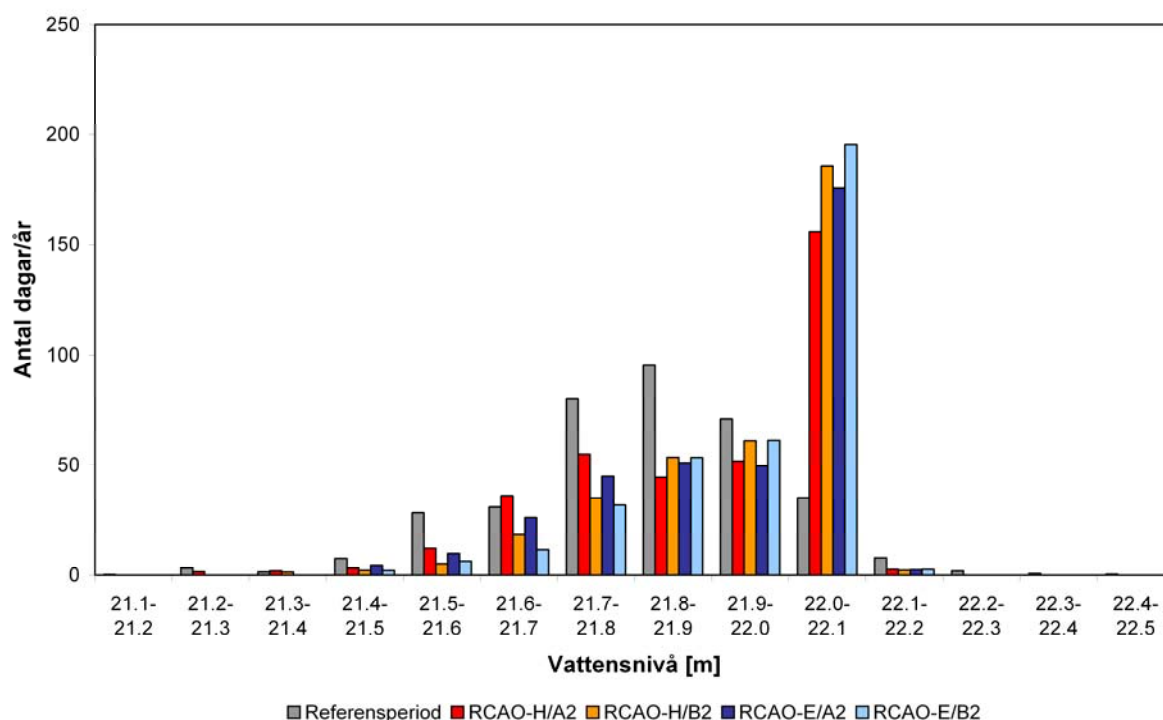
Figur 5.5. Kontinuerlig beräkning av den maximala tillrinningen, under 30 dagar, till Mälaren under olika 20-års perioder baserad på E/B2-scenariet. De större cirklarna är medelvärden för de angivna 20-års perioderna och de mindre avser enskilda år.

Figur 5.5 visar att medelvärdena av den maximala tillrinningen under 30 dagar till Mälaren under perioden är ganska stabila, möjligen med en tendens till högre extremer i mitten av perioden. Det bör dock observeras att denna analys, liksom tidigare för Vänern, bara baseras på ett klimatscenario.

5.4 Beräknad förändring av Hjälmarens vattenstånd

Effekterna av ett förändrat klimat på nivåerna i Hjälmaren beräknades på samma sätt som för Vänern och Mälaren med de fyra klimatscenarierna som beskrevs i avsnitt 1. Utgångspunkt är perioden 1961 – 1990 och det framtida klimatet beskrivs enligt fyra regionala scenarier, benämnda RCAO-H/A2, RCAO-H/B2, RCAO-E/A2 respektive RCAO-E/B2. De hydrologiska konsekvenserna är, liksom för Vänern och Mälaren, beräknade med HBV-modellen.

Med en förenklad metod har vattenståndsutvecklingen för Hjälmaren beräknats för respektive klimatscenario. Dessa beräkningar sammanfattas statistiskt i figur 5.6 och i Tabell 5.2. Det är uppenbart att ett förändrat klimat enligt de fyra scenarierna skulle leda till stora förändringar för Hjälmaren. Framförallt skulle det bli vanligare med vattenstånd i intervallet 22,0-22,1 m medan de allra högsta och de allra lägsta nivåerna skulle bli mer sällsynta.



Figur 5.6. Statistisk fördelning av vattenstånden i Hjälmaren enligt dagens förhållanden och fyra klimatscenarier.

Tabell 5.2. Beräknat antal dagar med olika vattennivåer i Hjälmaren enligt dagens förhållanden och fyra klimatscenarier.

	Referensperiod	RCAO - H/A2	RCAO - H/B2	RCAO - E/A2	RCAO - E/B2
21.1	0	0	0	0	0
21.1 - 21.2	7	0	0	0	0
21.2 - 21.3	98	48	0	0	0
21.3 - 21.4	47	60	42	0	0
21.4 - 21.5	229	97	69	139	65
21.5 - 21.6	852	368	156	298	192
21.6 - 21.7	931	1082	553	788	349
21.7 - 21.8	2407	1652	1052	1352	959
21.8 - 21.9	2864	1337	1609	1534	1605
21.9 - 22.0	2133	1557	1834	1493	1838
22.0 - 22.1	1057	4673	5570	5275	5868
22.1 - 22.2	237	82	71	77	80
22.2 - 22.3	59	0	0	0	0
22.3 - 22.4	22	0	0	0	0
22.4 - 22.5	13	0	0	0	0
22.5 - 22.6	0	0	0	0	0

5.5 Beräknad förändring av de mest extrema vattenstånden i Hjälmaren

På samma sätt som för Vänern och Mälaren har den beräkningsteknik som tagit fram inom projekten *Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer i ett framtida förändrat klimat* och *Framtidens översvämningsrisker* för Klimat och sårbarhetsutredningen tillämpats på Hjälmaren. Flödesutvecklingens högsta nivå vid ett klass 1-flöde enligt Flödeskommittén, har beräknats för dagens klimat och fyra framtidsscenarioer. De framräknade maximala vattenstånden för Hjälmaren redovisas i tabell 5.3.

Figur 5.3. Förändringen av Hjälmarens beräknade högsta vattenstånd vid ett klass-1 flöde enligt Flödeskommittén, i ett framtida klimat i relation till dagens klimat, enligt fyra scenarier från Rossby Centre.

Klimatscenario	Vattenståndsförändring (m)
RCAO-H/A2	+ 0,2
RCAO-H/B2	± 0
RCAO-E/A2	+ 0,1
RCAO-E/B2	+ 0,1

Tabell 5.3 visar att nivåerna i Hjälmaren vid dimensionerande flöden för klass 1-dammar blir något högre eller lika höga som för dagens klimatförhållanden.

6. Översvämningsrisker i övriga Sverige

6.1 Historiska händelser

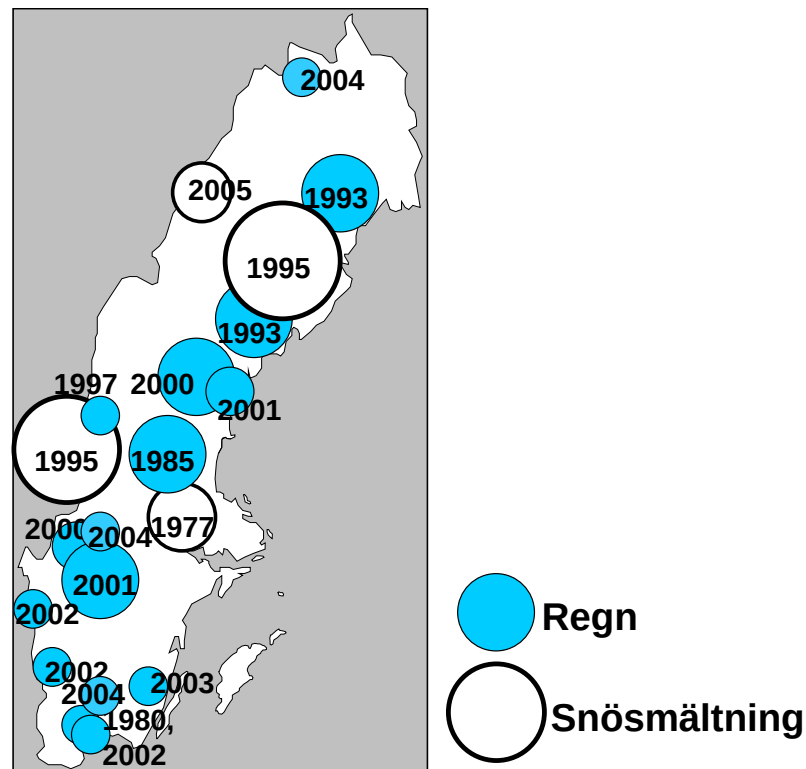
Det är ganska vanligt med översvämningar i Sverige även om konsekvenserna inte brukar bli så dramatiska som i mer utsatta länder. I tabell 6.1 sammanfattas några av de mest uppmärksammade händelserna under de senaste 100 åren. Tabellen kan skenbart ge intryck av att problemen har förvärrats under senare år, men det beror åtminstone delvis på att vi minns senare händelser bättre. Figur 6.1. ger en bild av de översvämningar som inträffat sedan 1970.

Tabell 6.1. Betydande översvämningar i Sverige sedan 1900. Sammanställningen bygger på den information om översvämningar som finns på SMHI och urvalet har påverkats av vilken dokumentation som finns tillgänglig. Senare års översvämningar har därför mer detaljerade beskrivningar, medan äldre års händelser kan vara knapphändigt eller ofullständigt beskrivna.

1900	Översvämning i Uppsala vid kraftigt vårflöde i Fyrisån.
1904	Extremt högt vattenstånd i Mälaren med översvämningar i Stockholm.
1905	Tappningskatastrof vid sjösänkingsarbeten vid Arpojaure i Lappland.
1916	Vårfloden orsakar 1900-talets värsta översvämningar vid Dalälven, även översvämningar längs Klarälven.
1919	Översvämningar i södra och mellersta Norrlands kusttrakter efter kraftiga regn i maj.
1924	Höga flöden i samband med vårfloden i södra Sverige. Översvämningar framförallt i Mälarenregionen och i Östergötland (se figur 4.6).

- 1932 Dammras vid sjön Avakkajaure vid Högträsk i Jokkmokks kommun.
- 1938 Häftig vårflood i Umeälven och Vindelälven medför i kombination med regn omfattande översvämningar vid den s.k. Spölandskatastrofen.
- 1943 Höga flöden på västkusten i februari med översvämningar vid Viskan.
- 1951 Höga flöden och översvämningar i samband med vårflooden i bl.a. Emån och många vattendrag i södra Sverige.
- 1966 Höga flöden och översvämningar i samband med vårflooden i bl.a. Motala Ström och många vattendrag i södra Sverige.
- 1968 Översvämningar i nedre delen av Torneälven vid snabbt stigande vårflood.
- 1973 Dammras vid Sysseleback.
- 1977 Översvämningar i Bergslagen och södra Norrland till följd av extrem vårflood.
- 1980 Mycket höga vinterflöden i norra Skåne och angränsande delar av Småland och Halland, kritiskt högt vattenstånd i Kristianstad.
- 1984 Svår islossning orsakar översvämningar längs Torneälven.
- 1985 Översvämningar längs Dalälven och Voxnan efter intensivt höstregn i Dalarna och Hälsingland. Kraftverksdammarna vid Noppikoski och Hansjö i Oreälven havererar. Svår islossning orsakar översvämningar längs Torneälven.
- 1993 I de reglerade norrlandsälvarna Luleälven, Skellefteälven, Umeälven och Ångermanälven orsakar riklig nederbörd extrema sommarflöden med omfattande översvämningar som följd.
- 1995 1900-talets högsta flöden i ett flertal oreglerade vattendrag i mellersta och norra Sverige i samband med kraftig vårflood och regn.
- 1997 Översvämningar i Värmland med jordskred i Sysseleback efter kraftiga regn i maj. Extrem nederbörd ger översvämningar i Pitetrakten i juli och århundradets största regnmängder orsakar regnkatastrofen vid Fulufjället i augusti.
- 1998 Höga flöden i augusti med översvämningar i bl.a. Ångermanälven.
- 2000 Stora regnmängder i juli ger omfattande översvämningar i många vattendrag i södra Norrland. Riklig höstnederbörd ger höga flöden i Värmland och Dalsland och högt vattenstånd i Mälaren och Väneren. Stora översvänningsproblem i Arvika och kring Väneren i slutet av året.
- 2001 Intensiva regnoväder i augusti och september orsakar översvämningar i Sundsvallstrakten.
- 2002 Rikligt med regn i kombination med snösmältning ger höga vinterflöden i södra och västra Götaland, med översvämning i Hässleholm och kritiskt högt vattenstånd i Kristianstad.
- 2004 Sommarregn ger svåra översvämningar i Småland.

Närmare beskrivningar av översvämningarna och ytterligare exempel före år 1900 återfinns på SMHI:s hemsida (www.smhi.se).



Figur 6.1. Svåra översvämningar i Sverige 1970-2005. Fyllda blå cirkelar markerar regnflöden och ofyllda cirkelar markerar snösmältningsflöden.

6.2 Speciellt utsatta områden i Sverige

Utöver de i föregående avsnitt redovisade problemen med de stora sjöarna kan översvämningar i stort sett inträffa var som helst i landet. Speciellt gäller det problem som orsakas av lokala skyfall och som främst drabbar dagvattensystem, vägar och järnvägar. Dessa skapar även miljöproblem och problem för vattenförsörjningen om reningsverk tvingas bredda orenat vatten i närheten av ytvattentäkt. Skyfall är en naturlig del av vårt klimat, men de blir mest uppmärksammade när de inträffar i större städer.

Längs kusterna är höga vattenstånd i havet och erosion problem för låglänta områden i samband med stormar. Detta gäller speciellt i södra Sverige som är mer exploaterat, mer utsatt för stormar från väster och delvis har mer erosionsbenägna stränder. I ett framtidsperspektiv kan södra Sveriges kuster inte heller dra fördel av landhöjningen, på samma sätt som är fallet längre norrut.

Beträffande de större vattendragen varierar problembilden mellan årstider och mellan olika landsdelar. I det följande diskuteras några mer kända problemområden relaterade till dessa vattendrag.

6.3 Reglerade älvar

I de älvar som innehåller stora regleringsmagasin är flödesbilden mycket komplex. Regleringen innebär oftast att vårfloden blir mindre eller uteblir helt i älvens nedre delar, åtminstone om det ligger normala snömängder i avrinningsområdet. Smältvattnet magasineras i stället i regleringsmagasinen. Detta behöver dock inte innebära att översvämningens riskerna minskar. Ibland blir man tvungen att tappa vattnet förbi magasinen. Flödena återkommer då

mer oregelbundet, vilket ökar överraskningsmomentet för de som bor längs stränderna. Sommar- och höstflödena kan till och med bli större än före regleringen. Denna problemställning är störst längs norrlandsälvarna och har diskuterats mer utförligt av Bergström (1999) och i Svenska Kraftnäts analys efter översvämningarna 2000-2001 (Svenska Kraftnät, 2001).

Under senare år har frågan om regleringarnas påverkan på flöden varit speciellt aktuell åren 1993, 1998 och 2000.

I reglerade älvar är dammsäkerheten en mycket viktig fråga. Som nämnts tidigare (avsnitt 1), pågår en omfattande översyn av vattenkraftanläggningarnas förmåga att klara höga flöden. Det pågår också forskning om hur en framtida klimatförändring kan komma att påverka dessa beräkningar. På uppdrag av Elforsk och Svenska Kraftnät genomför SMHI en känslighetsanalys av hur Flödeskommitténs riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar kan komma att stå sig i ett framtida förändrat klimat och inom det Nordiska CE projektet (Climate and Energy, <http://www.os.is/ce>) studeras påverkan av klimatförändringar på den nordiska vattenkraften. Bägge dessa projekt slutredovisas under 2006.

6.4 Dalälven

Dalälven är ett speciellt problemområde, på grund av att det är en stor älv i bitvis ganska tätbefolkade trakter. Av utsatta orter är Vansbro och Falun de mest uppmärksammade. I Dalälven finns det två väl dokumenterade extrema flöden, ett 1860 och ett 1916. Den dag som dessa upprepas eller överträffas kommer konsekvenserna att bli mycket stora på många platser längs älven. Dalälven var också mycket aktuell i september 1985, när bl.a. dammen i Noppikoski havererade i ett av dess biflöden, Oreälven. Dalälven är ett av de områden som specialstuderats av SMHI i projektet *Framtidens översvämningsrisker* (Carlsson et al., 2006).

6.5 Kristianstad och andra städer nära kusten

Förhållandena i Kristianstad är mycket speciella eftersom staden till stora delar är belägen under havets nivå och omges av Helgeå och Hammarsjön. Därmed påverkas riskerna för översvämningar både av vattenflöden från det Småländska höglandet och av höga vattenstånd i Hanöbukten. Höga flöden och höga vattenstånd i Hammarsjön 1980 och 2002 bekräftade farhågorna om att skyddsvallarna är otillräckliga. För närvarande pågår omfattande förstärkningar av dessa, bl.a. med stöd av Räddningsverket.

Även om Kristianstads problem är unika i Sverige så finns det liknande frågor som kan uppstå vid exploatering av lågt liggande områden nära havet. Speciellt gäller detta i södra Sverige, som praktiskt taget saknar den landhöjning som delvis kan kompensera för ett stigande världshav.

6.6 Framtidsscenarier över översvämningsrisker

Frågan om den globala uppvärmningen och översvämningsrisker i Sverige har studerats inom projektet *Framtidens översvämningsrisker*. Arbetet berörde främst Väneren, Mälaren samt Dalälven, men en del rikstäckande analyser redovisas också. Resultaten från projektet sammanfattades i följande punkter (citrat från Carlsson et.al., 2006):

- **Extrema regn**

Den beräknade förändringen av extrema regn och skyfall i ett framtida klimat uppvisar en ganska splittrad bild med stora skillnader mellan de olika klimatscenarierna. Det är dock mer som tyder på en ökning än en minskning av riskerna i ett framtida klimat. Detta medför en ökning av de översvämningsrisker som är kopplade till dagvattensystem och annan direkt avrinning av regnvatten i stort sett i hela landet.

- **Dagens översvämningsrisker**

Översvämningsriskerna är stora på många håll i Sverige redan idag. Situationen har efterhand förvärrats genom att den fysiska planeringen och utbyggnaden av infrastrukturen inte fullt ut tagit hänsyn till översvämningsriskerna. Regleringar av vattendrag och sjöar har gjort det svårare att överblicka riskbilden och i många fall förstärkt överraskningseffekten vid extrema händelser.

- **Allmänt om översvämningsrisker i Sverige i framtiden**

För Sverige som helhet ökar risken för översvämnningar främst i de västra fjälltrakterna, i västra Götaland och i västra Svealand. I övriga delar av landet minskar riskerna snarare något. Det finns ingenting som tyder på att de geografiska områden som drabbas samtidigt skulle bli större i framtiden. Riskexponeringen kan ändå öka genom att tätbefolkade områden drabbas av mer intensiva regn.

- **Vänern, Mälaren och Hjälmaren**

Riskerna för översvämnningar runt Vänern förväntas öka i ett förändrat klimat. Detsamma gäller riskerna i samband med höga tappningar av vatten i Göta älv. För Mälaren och Hjälmaren ändras inte problembilden vad avser de allra mest extrema nivåerna speciellt mycket, men mer måttliga översvämnningar blir betydligt vanligare.

- **Dalälven**

Riskerna för översvämnningar i Vansbro, Falun och stränderna kring sjön Runn på grund av höga flöden i Dalälven beräknas förbli oförändrade eller minska något i ett framtida förändrat klimat. Resultaten är dock inte helt entydiga. Dessa områden är utsatta för betydande risker redan under dagens klimatförhållanden. För Dalälven innebär älvens reglering, som ju kan ändras om så krävs, att beräkningarna är något osäkrare än för övriga områden.

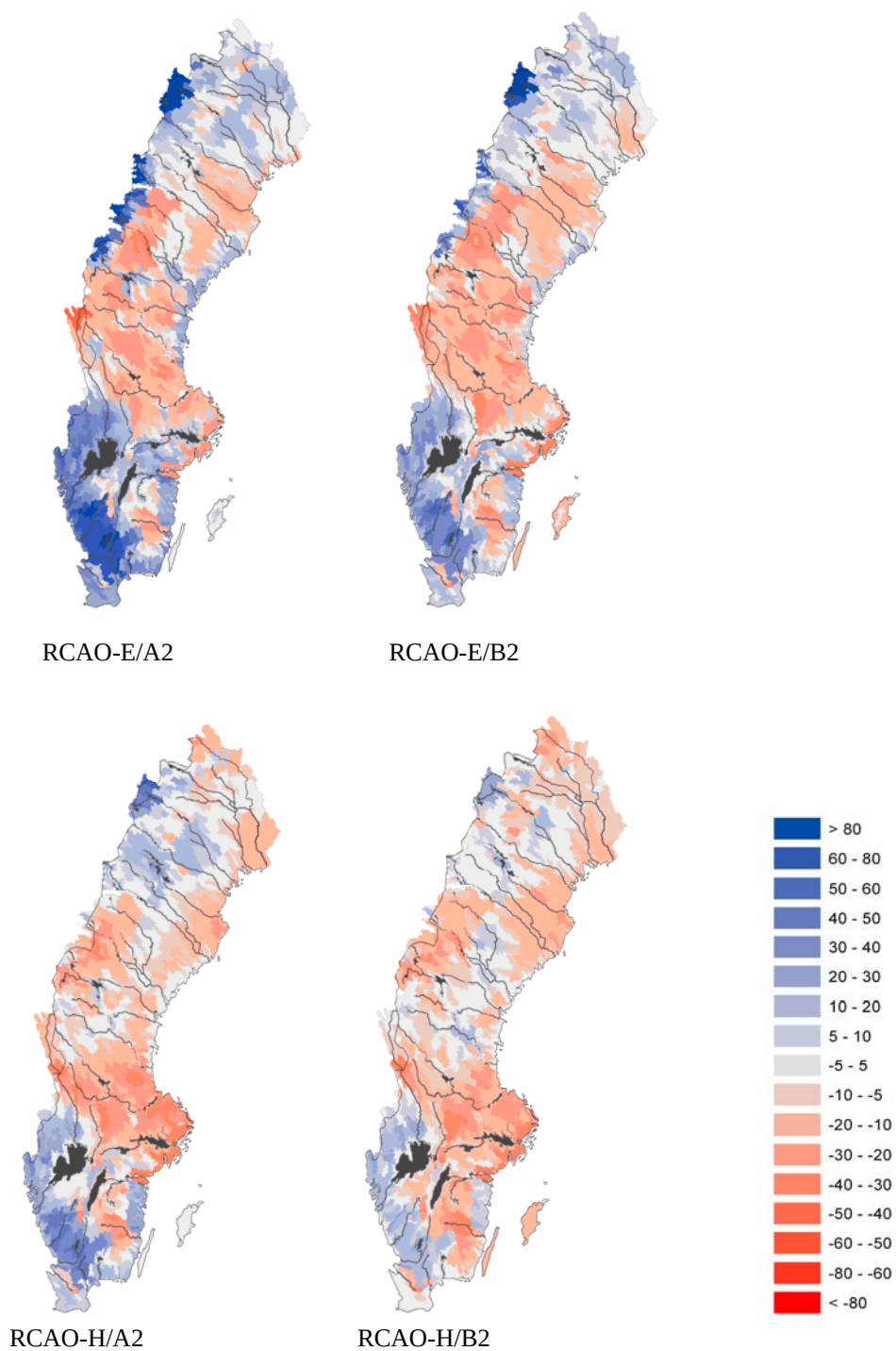
Det bör betonas att ytterligare studier av de mest extrema regnen förstärker bilden av att dessa kan komma att försvåras i framtidens klimat (se t.ex. Andréasson et al., 2006). Detta bekräftas också av den sammanställning av klimatscenarier över kraftig nederbörd, som levererats separat av Rossby Centre till Klimat- och sårbarhetsutredningen.

På uppdrag av Klimat- och sårbarhetsutredningen och projektet *Framtidens översvämningsrisker* har SMHI:s forskningsavdelning tagit fram rikstäckande kartor över hur översvämningsrisken kan förändras på grund av den globala uppvärmningen. Utgångspunkt är perioden 1961 – 1990 och det framtida klimatet beskrevs enligt fyra regionala scenarier, benämnda RCAO-H/A2, RCAO-H/B2, RCAO-E/A2 respektive RCAO-E/B2 och gäller för

perioden 2071-2100. De hydrologiska konsekvenserna är beräknade med HBV-modellen, som i detta fall är uppsatt för 1001 avrinningsområden för att täcka hela Sveriges yta (Andréasson et al., 2004). Figur 6.2 visar hur 100-års flödena förändras enligt beräkningar med de fyra klimatscenarierna.

Liksom vid tidigare redovisade beräkningar för Vänern och Mälaren visar figur 6.2 att de scenarier som bygger på den tyska globala klimatmodellen är betydligt mer nederbördsrika och ger mer avrinning än de som bygger på modellen från Hadley Centre. Men det finns gemensamma drag. Alla fyra scenarier visar en ökning av risken för översvämningar främst i de västra fjälltrakterna, i västra Götaland och i västra Svealand. I övriga delar av landet minskar riskerna snarare något, framför allt på grund av att risken för kraftiga snösmältningsflöden minskar.

Den riskbild som visas i figur 6.2 är kvalitativ. Det finns stora osäkerheter i klimatscenarierna och osäkerheten är speciellt stor när det gäller extrem nederbörd i framtidens klimat. Den metod som använts vid framtagandet av kartorna förutsätter också att nederbördens variationsmönster i flera avseenden liknar dagens. Det gäller exempelvis antalet dagar med regn och fördelningen mellan extremt regn och måttligt regn. Det pågår arbete med att ta fram mer nyanserade sätt att omsätta klimatscenarierna till hydrologiska konsekvenser, där de statistiska förändringarna i scenarierna bättre tas tillvara.



Figur 6.2. Beräkning av hur 100-års flödena kan komma att förändras enligt fyra klimatscenarier och hydrologisk modellering. Kartorna representerar skillnaden mellan förhållanden 2071-2100 och 1961-1990 i %. De två översta kartorna avser RCAO-E/A2 och RCAO-E/B2 scenarierna medan de två nedre avser RCAO-H/A2 respektive RCAO-H/B2. Resultat från projekten Framtidens översvämningsrisker.

7. Diskussion

De tre stora sjöarna Vänern, Mälaren och Hjälmaren är ganska olika till sin karaktär. Trots detta så uppvisar de en problembild med gemensamma drag. Denna är kopplad till försök att kontrollera sjöarnas vattenstånd genom regleringar och vattendomar samtidigt som samhällets fortsatta utbyggnad snabbt anpassat sig till förhållanden, där man tror sig ha de högsta nivåerna under kontroll. Generellt sett har vattenståndsvariationerna minskat genom regleringarna men detta har skett på bekostnad av att flödesvariationerna i vattendragen nedströms ökat. I Hjälmarens fall har dessutom en drastisk sänkning av vattennivån genomförts.

Gemensamt för de tre sjöarna är att deras strandområden på flera platser är exponerade för stora problem i samband med höga vattenstånd redan under det klimat som råder idag. Det har också visat sig att regleringarna inte utgör någon garanti mot höga vattennivåer. En hel del av bebyggelsen och annan infrastruktur hamnar i riskzonen om flöden av den högsta riskklassen enligt Flödeskommittén skulle inträffa. Sannolikheten är visserligen låg för flöden på den nivån, men konsekvenserna blir stora. Erfarenheterna från översvämningarna 2000-2001 visade dessutom att stora problem uppstår redan vid flöden som är betydligt mer vanligt förekommande.

Det är tydligt att det finns stora problem med höga vattenstånd och flöden runt Vänern, Mälaren och Hjälmaren och längs Göta älv under dagens klimatförhållanden. Beträffande framtidens klimat, som det beskrivs av tillgängliga klimatscenarier, så förefaller problemen förvärras runt Vänern och längs Göta älv. För Mälaren och Hjälmaren ändras inte problembilden vad avser de allra mest extrema nivåerna speciellt mycket, men höga flöden med kortare återkomsttider kan komma att bli betydligt vanligare. På grund av den ändrade tillrinningen och ökad avdunstning kan en minskad vattentillgång bli ett problem sommartid för Mälaren i framtidens klimat.

På grund av utbyggnaden av samhällsstrukturen och de geologiska och geotekniska stabilitetsförhållandena är problematiken runt Vänern och längs Göta älv betydligt mer svårlöst än för Mälaren och Hjälmaren. Vattendomen för Vänern lämnar dock ett ganska stort handlingsutrymme så länge som Vänerns nivå ligger mellan dess dämningssgräns och sänkningsgränsen. Det gör att det går att åstadkomma en förhållandevis stor sänkning av de högst vattenstånden i Vänern, genom en ändrad tappningsstrategi, inom ramen för de vattenhushållningsbestämmelser som föreskrivs i vattendomen. De lägsta nivåerna behöver bara påverkas marginellt av en sådan ändring. Däremot kan både produktionen i Göta älvs kraftverk och igenväxningsproblemen runt Vänerns stränder komma att påverkas negativt.

Regleringar för vattenkraftproduktion innebär stora ingrepp som skapar helt nya flödesförhållanden. Detta gäller speciellt i de utbyggda norrlandsälvarna men också för ett flertal vattendrag i södra Sverige. För Vänern är detta speciellt tydligt. Regleringarna gör att höga flöden återkommer mer oregelbundet, något som kan leda till en falsk säkerhetskänsla hos dem som berörs av vattendraget. Därmed blir överraskningsmomentet större när ett flöde väl inträffar. Utbyggnaden av vattenkraften i en älv medför inte att risken för översvämningar upphör.

Att utnyttja vattenmagasin för att dämpa flöden är en metod som då och då diskuteras (se t.ex. Svenska Kraftnät, 2001). Detta brukar benämnas aktiv flödesdämpning och är en metod som är möjlig i teorin, men svårare i praktiken. Det kräver att det finns stora magasineringsmöjligheter tillgängliga i just rätt ögonblick, d.v.s. när flödet är på väg att

kulminera. Det reglerbara innehållet i samtliga magasin uppströms Vänern motsvarar en nivå för Vänern på ca 33 cm. Motsvarande siffra för Mälaren, om man bortser från Eskilstunaån med Hjälmaren, är ca 49 cm. För Hjälmaren motsvarar volymen i uppströms liggande magasin ca 17 cm. Det är knappast realistiskt att kunna utnyttja mer än en mycket liten del av dessa magasin för att med säkerhet kunna dämpa flöden i en kritisk situation. Det troliga är att flera magasin redan fyllts på i flödets inledningsfas, såsom var fallet under flödena 2000-2001. Aktiv flödesdämpning påverkar också vattenkraftproduktion, eftersom en del av magasinerna måste reserveras för dämpningen.

Klimatfrågan har tillfört en ny dimension till det hydrologiska dimensioneringsarbetet. De hydrologiska scenarierna visar att det kan vara riskabelt att inte ta hänsyn till den globala uppvärmningen. Samtidigt är skillnaderna mellan resultat baserade på olika klimatscenarioer stora och nya beräkningar förväntas komma fram efterhand som forskningen framskrider. Detta skapar en svår beslutssituation, speciellt i ett läge då omfattande säkerhetshöjande arbete redan pågår. För Sveriges del gäller detta främst för den nu pågående översynen av dammsäkerheten i landet, men resultatet av den översiktliga översvämningskarteringen påverkas också, liksom andra skyddsåtgärder mot översvämningar.

När *Kommittén för komplettering av Flödeskommitténs riktlinjer* bildades 2002 fick den som tilläggsuppgift att diskutera en övergripande strategi för hur klimatfrågan bör hanteras, även om det inte ansågs realistiskt att fastställa riktlinjer i detta avseende. I kommitténs slutrapport förs också en diskussion om detta (Elforsk, 2005). En slutsats som kommittén drar är att anpassning till Flödeskommitténs riktlinjer måste ha fortsatt hög prioritet och inte får bromsa upp på grund av diskussionen om ett förändrat klimat. Det vore en mycket olycklig utveckling. När det gäller strategi för hantering av klimatfrågan förslås att frågan fortlöpande bevakas och att flexibilitet och marginaler skapas där så är lämpligt. Detta innebär att en lämplig åtgärd kan vara att ta till en extra marginal när man ändå är på plats och genomför säkerhetshöjande åtgärder.

Lokala skyfall leder då och då till bräddning av dagvattenssystemen, ett problem som främst påverkar vattenkvaliteten i de stora sjöarna. De orsakar också stora skador på fastigheter och kan rasera vägar och järnvägar. Hittills gjorda analyser visar att en ökning av intensiva regn är en ganska rimlig följd av den globala uppvärmningen, även om de klimatmodeller som används ännu är ganska osäkra när det gäller väderfenomen på en så liten skala.

8. Referenser

Andréasson, J., Gardelin, M., Hellström, S.-S. och Bergström, S. (2006). Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer i ett framtida förändrat klimat. Elforsk rapport (trycks under 2006).

Andréasson, J., Bergström, S., Carlsson, B., Graham, L. P. and Lindström, G. (2004). Hydrological Change – Climate Change Impact Simulations for Sweden. *Ambio* 33:4-5, 228-234.

Bergström, S. (1994). Sveriges hydrologi – grundläggande hydrologiska förhållanden SMHI/Svenska Hydrologiska Rådet.

Bergström, S. (1999). Höga vattenflöden i reglerade älvar. SMHI fakta nr 5 (tidigare nr 1). Norrköping.

Carlsson, B., Bergström, S., Andréasson, J. och Hellström, S.-S. (2006). Framtidens översvämningsrisker. SMHI, Reports Hydrology, No. 19, Norrköping.

Ehlert, K. (1970). Mälarens hydrologi och inverkan på denna av alternativa vattenavledningar från Mälaren SMHI Serie hydrologi: Nr 8.

Elforsk (2005). Dammsäkerhet – Dimensionerande flöden för stora sjöar och små tillrinningsområden samt diskussion om klimatfrågan. Elforsk Rapport 05:17, Stockholm.

Flödeskommittén (1990). Riktlinjer för bestämning av dimensionerade flöden för dammanläggningar - Slutrapport från Flödeskommittén Statens Vattenfallsverk, Svenska Kraftverksföreningen, Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut.

Gottschalk, L. (1978). Hydrologi – vattenbalans Kapitel 3 i Vänern en naturresurs SNV Rapport Nordstedts Tryckeri Stockholm, 29-38.

Karlsson, H. och Winnfors, E. (2005). Den stora sjösänkningen (i Boken om Hjälmaren). Ohlson och Winnfors AB, Örebro.

Meier, M., Andréasson, J., Broman, B., Graham, L.P., Kjellström, E., Persson, G. and Viehhauser, M. (2006). Climate change scenario simulations of wind, sea level, and river discharge in the Baltic Sea and Lake Mälaren region – a dynamical downscaling approach from global to local scales. SMHI Reports Meteorology and Climatology, No. 109, Norrköping.

Möller, Å. (2002). Vänern svämmas över- Ullervad och Leksbergs hembygdsförening-Medlemsblad Nr 28 utgivet 2002 Vadsbro Tryck, Mariestad 2002.

Rummukainen, M., Bergström, S., Persson, G., Rodhe, J. and Tjernström, M. (2004). The Swedish Regional Climate Modelling Programme, SWECLIM: A review. *Ambio* 33:4-5, 176-182.

Schröder, E. (2003). Översvämnningar i Sverige – orsakssammanhang och fördjupad frekvensstudie för Vänern och Mälaren. Magisteruppsats från Miljövetareprogrammet,

Linköpings Universitet, Institutionen för tematisk utbildning och forskning, campus Norrköping.

Skoghäll, L. (1999). Red. Från bergslag och bondebygd 1999, Hjälmaren. Årsbok för Örebro hembygdförbund och Stiftelsen Örebro läns museum. Kumla.

SMHI (2000). Vattenståndsmätningar i Vänern. Väder och Vatten 11/2001.

SMHI (2001). Vattenståndsmätningar i Hjälmaren. Väder och Vatten 11/2001.

SMHI (2003). Vattenståndsmätningar i Mälaren. Väder och Vatten 11/2003.

SNA (1995). Klimat, sjöar och vattendrag. Sveriges nationalatlas, andra utgåvan. Bokförlaget Bra Böcker, Höganäs.

Statens naturvårdsverk (1972). Fakta om vänerområdet. Statens naturvårdsverk, publikationer 1972:6, Stockholm.

Styrelsen för Hjälmarens och Kvismarens sjösänkingsbolag (1977). Den stora sjösänkningen, del II. Kommanditbolaget Kumla tryckeri, Kumla.

Svenska Kraftnät (2001). Analys av översvämningarna under sommaren och hösten 2000 samt vintern 2001 Rapport Nr 1. 2001, BE 90. Bromma Tryck AB, Stockholm.

Svenska Kraftverksföreningen och Vattenfall (1987). Hydropower in Sweden, Stockholm.

Waldén, B. (1940). Den stora sjösänkningen. Minnesskrift med anledning av Hjälmarens och Kvismarens Sjsänkingsbolags 75-årsjubileum. Aktiebolaget Littorin Rydén boktryckeri, Örebro.

SMHIs publications

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

Names of the Series	Published since
RMK (Report Meteorology och Climatology)	1974
RH (Report Hydrology)	1990
RO (Report Oceanography)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985

Earlier issues published in serie RH

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

16. Charlotta Pers (2002)
Model description of BIOLA - a
biogeochemical lake model.
17. Malva Ahlkrona (2002)
Phosphorous in a Biogeochemical Lake
Model.
18. Göran Lindström (2002)
Vattentillgång och höga flöden i Sverige
under 1900-talet.
19. Bengt Carlsson, Sten Bergström, Johan
Andréasson, Sara-Sofia Hellström (2006)
Framtidens översvämningsrisker



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