

Analys av översvämningrisker i Karlstad



Sten Bergström, Jonas German

Pärmbild.

Bilden föreställer inre hamnen i Karlstad den 25/4 2007.

Foto: Sten Bergström, SMHI

Analys av översvämningsrisker i Karlstad

Sten Bergström, Jonas German

Uppdragstagare SMHI 601 76 Norrköping	Projektansvarig Sten Bergström +46 011-4958000 sten.bergstrom@smhi.se
Uppdragsgivare Karlstad Kommun Teknik- och fastighetsförvaltning 651 84 Karlstad	Kontaktperson Jan-Olov Moberg +46 054-29 5334 jan-olov.moberg@karlstad.se
Distribution Karlstad Kommun	
Klassificering () Allmän (x) Affärssekretess	
Nyckelord Analys översvämningsrisker Karlstad	
Övrigt	

Denna sida är avsiktligt blank

1 Innehållsförteckning

1	INNEHÅLLSFÖRTECKNING	1
2	INLEDNING	2
3	NEDERBÖRDSFÖRHÅLLANDEN INOM KLARÄLVENS AVRINNINGSOMRÅDE IDAG OCH I FRAMTIDEN	3
4	BEDÖMNING AV RISKERNA FÖR KRAFTIGARE SKYFALL I FRAMTIDEN	5
5	NÅGRA HISTORISKA UPPGIFTER OM HÖGA FLÖDEN I KLARÄLVEN	7
6	FREKVENSPANALYS AV 100-ÅRSFLÖDEN OCH 20-ÅRSFLÖDEN I KLARÄLVEN I DAGENS KLIMAT	8
7	ÖVERSIKTLIG BEDÖMNING AV HUR EN KLIMATFÖRÄNDRING KAN PÅVERKA 100-ÅRSFLÖDEN OCH 20-ÅRSFLÖDEN I KLARÄLVEN	8
8	DIMENSIONERANDE FLÖDE FÖR KLARÄLVEN UTIFRÅN BEFINTLIGA UPPGIFTER (FLÖDESKOMMITTÉN, KLASS I-FLÖDE).	10
9	ÖVERSIKTLIG BEDÖMNING AV HUR EN KLIMATFÖRÄNDRING KAN PÅVERKA KLASS 1-FLÖDET ENLIGT FLÖDESKOMMITTÉNS RIKTLINJER	10
10	BEDÖMNING AV FÖRÄNDRINGEN AV RISKERNA FÖR HÖGA VÅRFLÖDEN, RESPEKTIVE HÖST- OCH VINTERFLÖDEN I KLARÄLVEN I ETT FÖRÄNDRAT KLIMAT	11
11	SAMMANSTÄLLNING AV BEFINTLIGA BERÄKNINGAR AV RISKERNA FÖR HÖGA VATTENNIVÅER I VÄNERN I DAGENS OCH FRAMTIDENS KLIMAT	12
12	DISKUSSION	18
13	SLUTSATSER	19
14	REFERENSER	20

2 Inledning

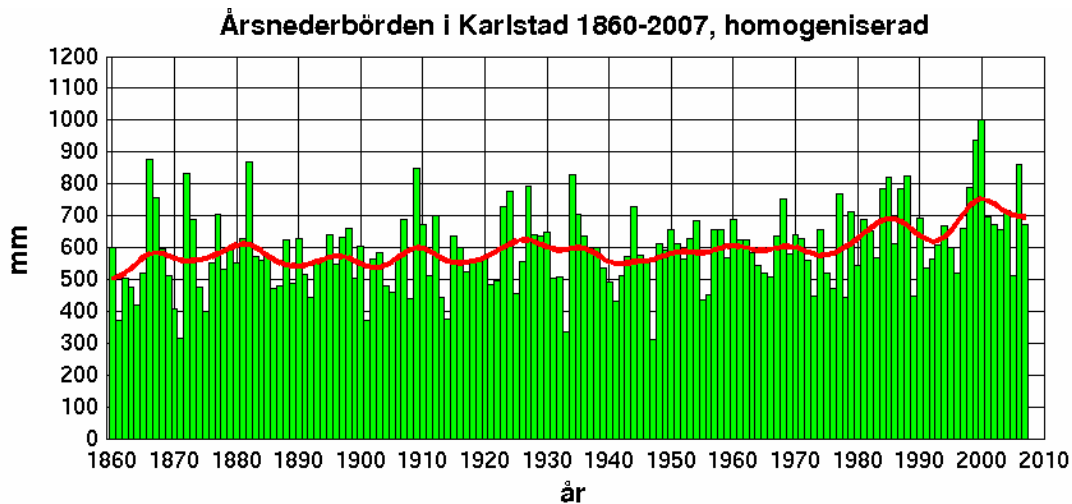
SMHI har fått i uppdrag av Karlstad kommun att genomföra en översiktlig analys av översvämningens riskerna i Karlstad idag och i framtiden. Fokus ligger på Klarälven strax uppströms Karlstad samt på Vänerns vattenstånd. Arbetet är i huvudsak baserat på befintliga utredningar och beräkningar. Vissa kompletteringar av de statistiska beräkningarna och förlängningar av dataserier har dock gjorts. Beträffande effekter av det framtida klimatet bygger analysen i huvudsak på beräkningar gjorda åt Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU, 2006), kompletterade med de senaste bedömningarna av FN:s klimatpanel, IPCC.

Följande förhållanden behandlas

- Beskrivning av nederbördsförhållanden inom Klarälvens avrinningsområde idag och i framtiden.
- Bedömning av riskerna för kraftigare skyfall i framtiden.
- Några historiska uppgifter om höga flöden i Klarälven.
- Frekvensanalys av flöden i Klarälven i dagens klimat (20- och 100-årsflöden).
- Översiktlig bedömning av hur en klimatförändring kan påverka ovanstående flöden.
- Dimensionerande flöde för Klarälven utifrån befintliga uppgifter (Flödeskommittén, klass I-flöde).
- Översiktlig bedömning av hur en klimatförändring kan påverka ovanstående flöde.
- Bedömning av förändringen av riskerna för höga vårflöden, respektive höst och vinterflöden i Klarälven i ett förändrat klimat.
- Sammanställning av befintliga beräkningar av riskerna för höga vattennivåer i Vänern i dagens och framtidens klimat.

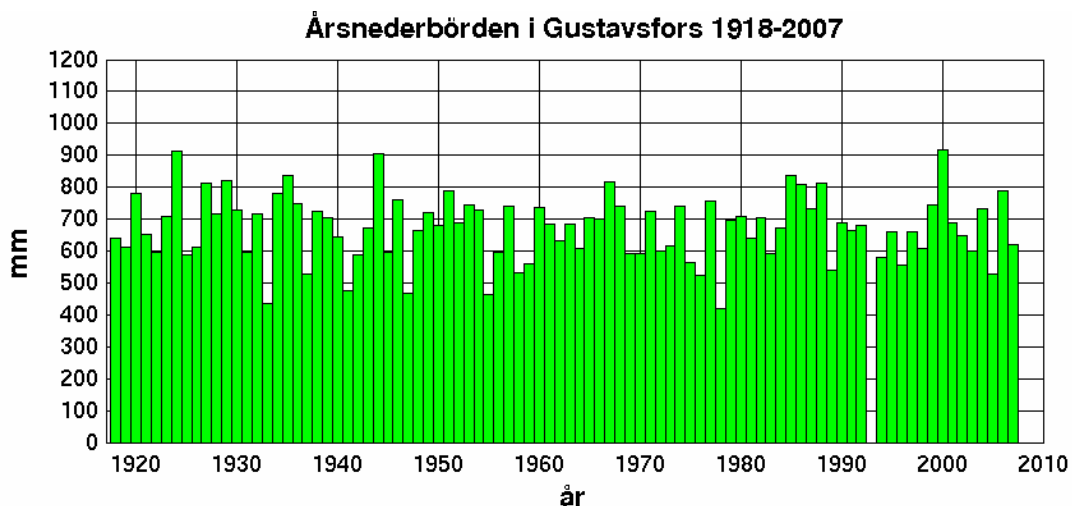
3 Nederbördsförhållanden inom Klarälvens avrinningsområde idag och i framtiden

Årsnederbörden i Karlstad redovisas i figur 1. Där kan man urskilja en svagt uppåtgående trend, 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. Det kan noteras att det saknas år med extremt hög årsnederbörd under perioden 1961-1990, vilket är den period som använd som referens i många sammanhang. Därför blir den uppåtgående trenden mycket kraftig om man bara ser till de senaste 30 åren. Tidsserien i figur 1 är homogeniserad för att korrigera för systematiska skillnader i mätteknik över perioden.



Figur 1. Årsnederbörden i Karlstad för perioden 1860 - 2007. Den utjämnade kurvan är ett Gaussiskt filter motsvarande 10-års löpande medelvärden.

I figur 2 visas årsnederbörden i Gustavsfors strax norr om Hagfors för perioden 1918-2007, som jämförelse. Denna serie visar inte någon egentlig trend, men är heller inte homogeniserad.



Figur 2. Årsnederbörden i Gustavsfors för perioden 1918 - 2007. Data saknas för 1993.

Framtidens nederbörd

För att få en bild av det framtida klimatet i en region krävs resultat från en global klimatmodell och en regional tolkning av dessa. De framtidsscenarioer som används här bygger på regionala klimatscenarioer framtagna vid Rossby Centre vid SMHI:s 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 utsläppsscenarioer som definierats av IPCC använts, de s.k. SRES A2 respektive SRES B2 scenarierna. Dessa tillhör inte de mest extrema, men enligt SRES A2-scenariet ökar utsläppen av växthusgaser betydligt mer än enligt SRES B2. Det är viktigt att komma ihåg att de två utsläppsscenarioerna inte tar hänsyn till effekterna av internationella överenskommelser för att hejda utsläppen av växthusgaser.

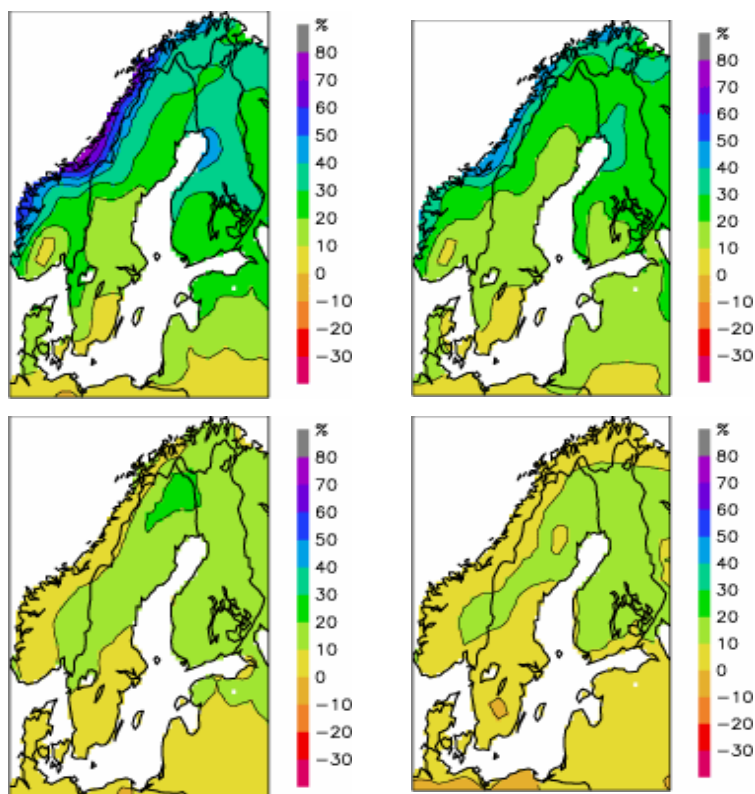
Med de två globala klimatmodellerna, de två utsläppsscenarioerna och med hjälp av den regionala klimatmodellen har följaktligen fyra olika regionala klimatscenarioer erhållits. Vart och ett av dessa scenarioer avser genomsnittliga förhållanden under perioden 2071-2100.

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 SRES A2 respektive SRES B2. Motsvarande benämning för den tyska ECHAM4/OPYC3 modellens scenarioer 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. Det är i huvudsak dessa klimatscenarioer som legat till grund för översvämningsbedömningarna i Klimat- och sårbarhetsutredningen.

Sammanfattningsvis visar de fyra klimatscenarioerna 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).

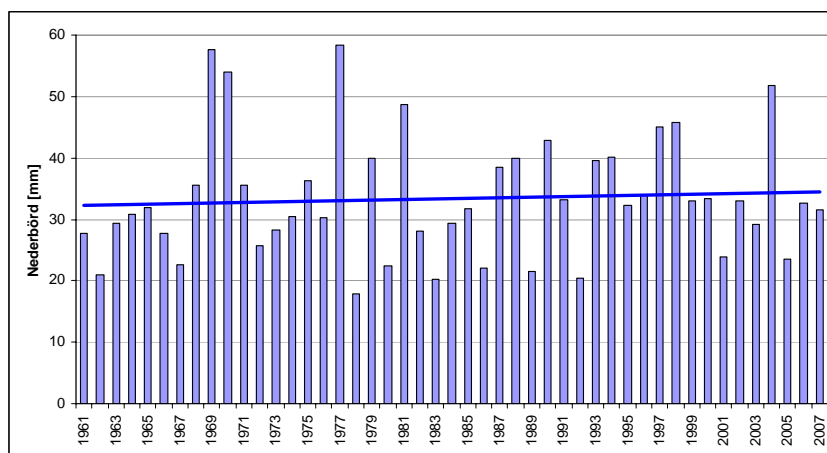
Figur 3 sammanfattar scenarierna för ändrad nederbörd mot slutet av innevarande århundrade, d.v.s. skillnaden mellan perioderna 1961-1990 och 2071-2100. Som framgår av figur 3 beräknas årsnederbörden öka i karlstadsområdet och i hela Klarälvens avrinningsområde, men kan det vara stora skillnader mellan olika klimatscenarioer. Detta gäller speciellt för nederbörd och i ännu högre grad för extrem nederbörd.



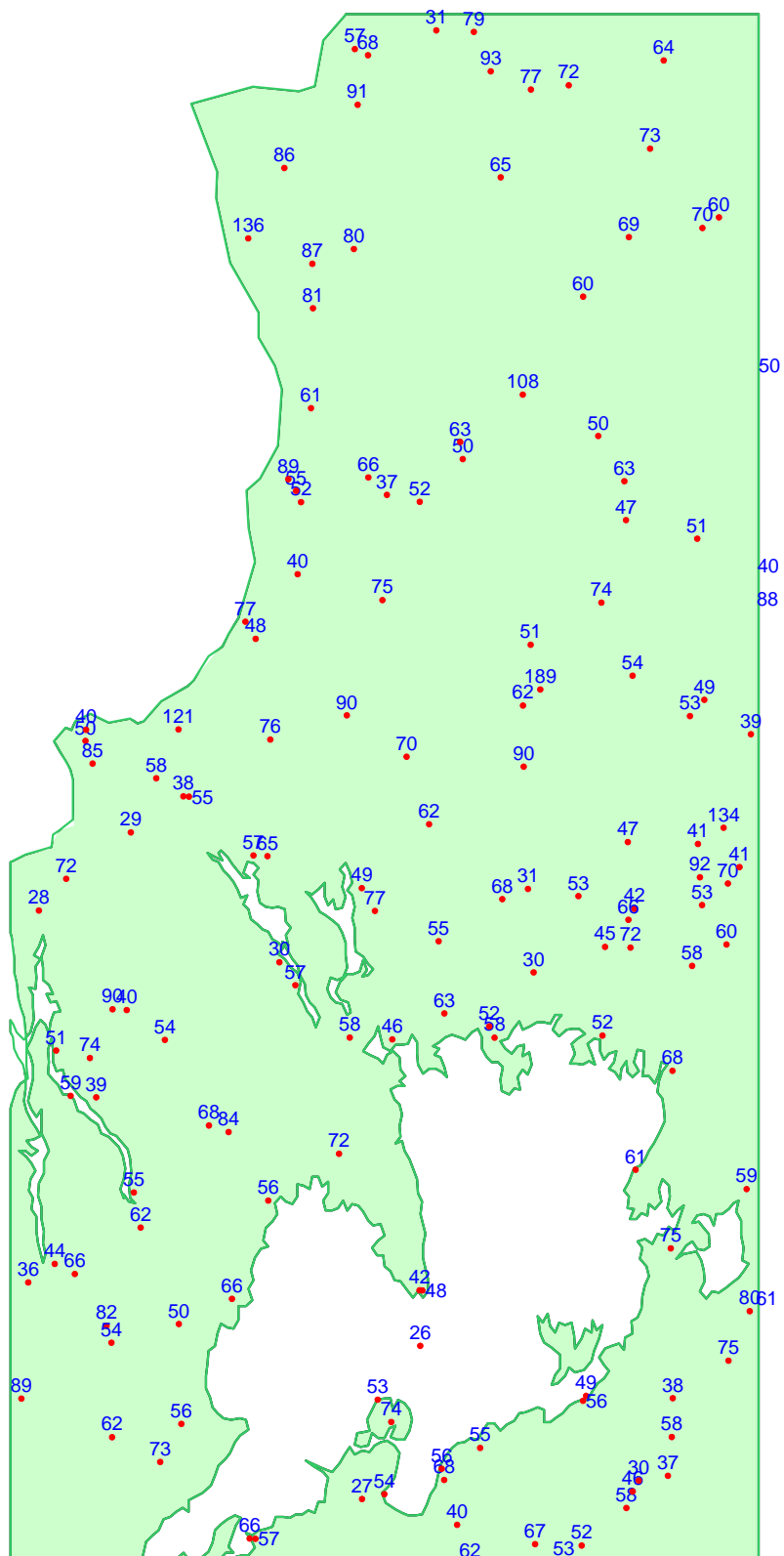
Figur 3. Beräknad skillnad i årsmedelnederbörden i procent för perioderna 1961-1990 och 2071-2100 enligt fyra klimatscenarier.

4 Bedömning av riskerna för kraftigare skyfall i framtiden

I figur 4 och 5 visas en sammanställning av de högsta uppmätta nederbördsmängderna under ett dygn i Karlstad och Klarälvens avrinningsområde. Där kan man speciellt notera det höga värdet från Råda, 188,6 mm, vilket uppmättes den 4 augusti 2004. Det är ett av de högsta nederbördsvärden som uppmätts i Sverige under ett dygn.



Figur 4. De högsta uppmätta nederbördsmängderna i Karlstad under perioden 1961-2007. Mätstationen flyttades till Karlstads flygplats 1998.



Figur 5. Den största uppmätta dygnsnederbörden på respektive mätstation i området runt Karlstad och Klarälven under perioden 1961 - 2007. Observera att de olika stationerna har olika långa mätperioder.

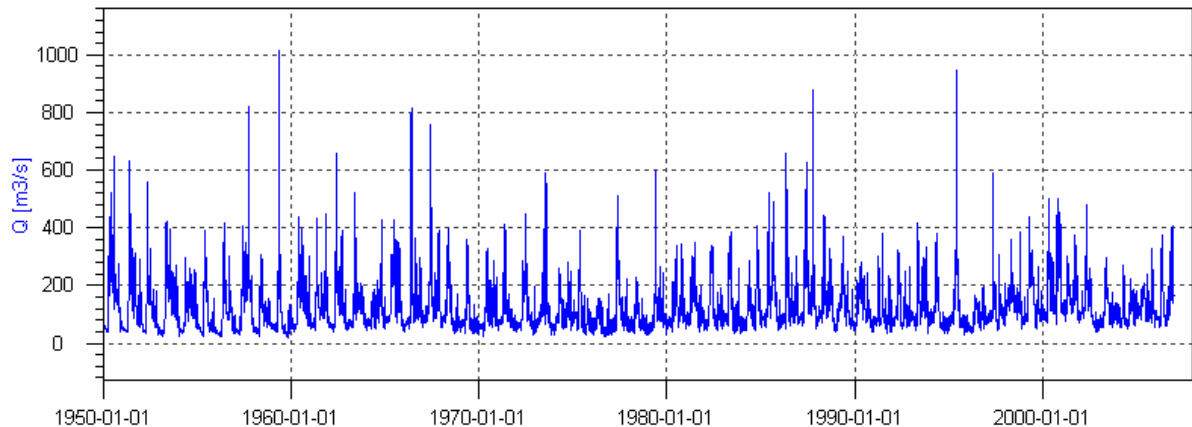
En samlad analys av extrem nederbörd för hela Sverige visar en klar uppgång av såväl frekvens som storlek sedan referensperioden 1961-1990. Denna uppgång är dock inte lika tydlig om hela det senaste århundradet studeras. Liksom för årsnederbörd var perioden 1961-1990 ganska beskedlig, när det gäller extrema nederbördstillfällen.

De flesta bedömningar som gjorts pekar mot att risken för skyfall ökar i ett framtida varmare klimat även om det är mycket svårt att idag kvantifiera denna effekt. Ett beräkningsexempel finns tillgängligt på SMHI:s hemsida på följande adress:

<http://www.smhi.se/cmp/jsp/polopoly.jsp?d=8785&l=sv>

5 Några historiska uppgifter om höga flöden i Klarälven

Klarälven har ibland haft mycket höga flöden, som ställt till med stora översvämningsproblem. Speciellt omtalat är flödet 1916, men även senare års flöden har uppmärksamats, såsom 1959 och 1995. För att ge en bild av flödesvariationerna i Klarälven visas vattenföringen vid Edsforsens kraftverk i figur 6. Den visar att det kan gå långa perioder mellan de högsta flödena, vilket innebär att dessa lätt faller i glömska. Edsforsen har valts som exempel i detta fall, eftersom det finns bra mätserier därifrån tillgängliga vid SMHI, men förhållandena är liknande längre ner i älven. När Klarälven når Karlstad påverkas vattennivåerna dels av vattenflödet och dels av Vänerns aktuella vattenstånd.



Figur 6. Vattenföringen vid Edsforsens kraftverk i Klarälven uppströms Karlstad (dygnsmedelvärden).

6 Frekvensanalys av 100-årsflöden och 20-årsflöden i Klarälven i dagens klimat

På uppdrag av Räddningsverket har SMHI genomfört en översiktlig översvämningskartering längs Klarälven från Höljes till Karlstad (Räddningsverket, 2001). Då beräknades 100-årsflödet i Forshaga till 1373 m³/s. SMHI har senare räknat fram ny statistik för flödet i Klarälven vid utoppet i Vänern. Den redovisas i tabell 1. 20-årsflödet ligger strax under 25-årsflödet. I tabellen redovisas även det s.k. klass I-flödet för Forshaga enligt Flödeskommitténs riktlinjer för dimensionerande flöden, se vidare avsnitt 8.

Tabell 1. Statistik över flödet i Klarälven vid inloppet till Vänern, enligt SMHI:s senaste beräkningar.

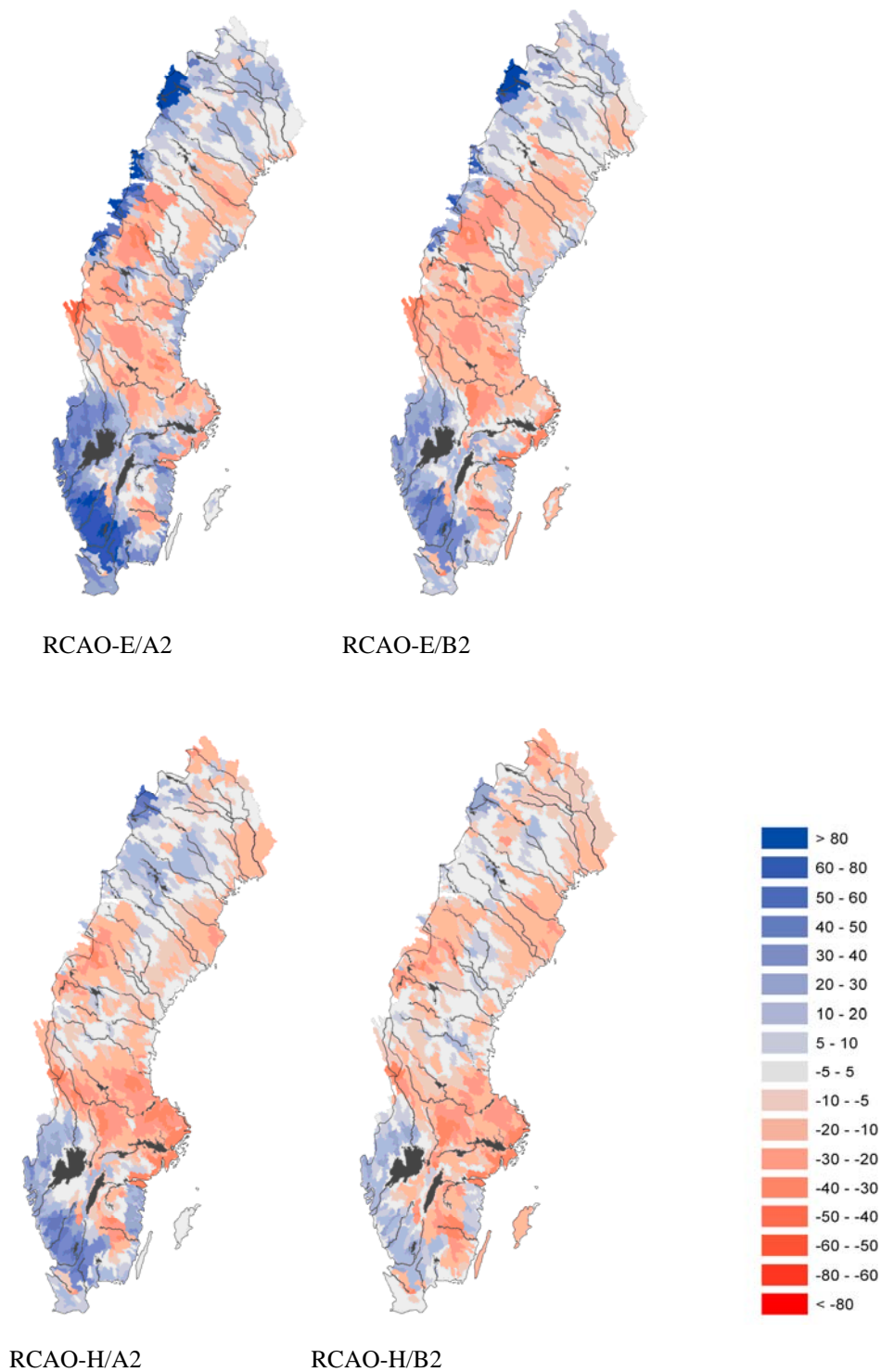
100-årsflödet	1490 m ³ /s
25-årsflödet	1211 m ³ /s
10-årsflödet	1023 m ³ /s
Klass I-flöde i Forshaga	2299 m ³ /s

Höljesdammens ombyggnad

För närvarande planeras omfattande dammsäkerhetshöjande åtgärder för Höljesdammen. Detta kan komma att medföra att dammens förmåga att avbörda vatten ökas till omkring 2000 m³/s. Detta är en kapacitet som kommer att utnyttjas sällan, men som man måste räkna med under extrema år för att säkra dammen mot haveri. Detta kan komma att påverka flödesstatistiken i framtiden samt förändra klass 1 flöden nedströms Höljes.

7 Översiktlig bedömning av hur en klimatförändring kan påverka 100-årsflöden och 20-årsflöden i Klarälven

På uppdrag av Länsförsäkringsbolagens Forskningsstiftelse (Carlsson et al., 2006) 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 den hydrologiska HBV-modellen, som i detta fall är uppsatt för 1001 avrinningsområden för att täcka hela Sveriges yta (Andréasson et al., 2004). Figur 7 visar hur 100-årsflödena förändras enligt beräkningar med de fyra klimatscenarierna.



Figur 7. Beräkning av hur 100-års flöden 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 (Carlsson et al., 2006).

Figur 7 visar 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 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.

En närmare analys av kartorna i figur 7 visar att Klarälvens avrinningsområde i huvudsak ligger i ett rödfärgat område. Det betyder att de framtida översvämningriskerna *inte* förväntas öka på grund av den globala uppvärmningen, snarare tvärtom. Detta gäller troligen även för 20-årsflöden, även om sådana beräkningar ännu inte utförts. Anledningen är att effekten av minskande snömagasinering och därmed lägre vårflod är större än effekten av ökad nederbörd.

Den riskbild som visas i figur 7 är kvalitativ. Det finns stora osäkerheter i klimatscenerierna och denna 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 klimatscenerierna till hydrologiska konsekvenser, där de statistiska förändringarna i scenarierna bättre tas tillvara.

8 Dimensionerande flöde för Klarälven utifrån befintliga uppgifter (Flödeskommittén, klass I-flöde).

Vid den översiktliga översvämningsskarteringen (Räddningsverket, 2001) beräknades det dimensionerande flödet i flödesdimensioneringsklass 1 enligt Flödeskommittén (1990) till 2299 m³/s för Forshaga. Det är svårt att ange någon sannolikhet för detta höga flöde, men den torde vara lägre än 1/10 000 för varje enskilt år. Detta flöde kan komma att påverkas av en utbyggnad av Höljesdammens utskovskapacitet.

9 Översiktlig bedömning av hur en klimatförändring kan påverka klass 1-flödet enligt Flödeskommitténs riktlinjer

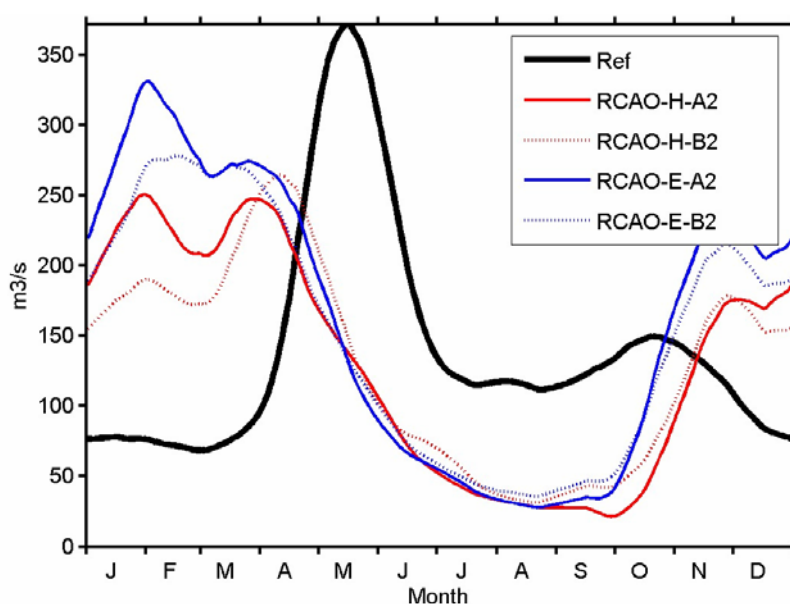
Det är inte självklart hur ett ändrat klimat kommer att påverka de mest extrema flödena i ett vattendrag. Det beror på att dessa ofta uppstår genom en kombination av kraftig snösmältning och regn. Idag finns det inte beräkningar tillgängliga för Klarälven, men en studie av Österdalälven ner till Trängslet har gjorts av Andréasson et al, (2006). Dessutom har hela vänersystemet beräknats på uppdrag av Klimat- och sårbarhetsutredningen (Bergström et al., 2006).

Sammanfattningsvis kan man konstatera att det är svårt att bedöma hur ett klass 1-flöde kommer att påverkas av ett förändrat klimat för just Klarälven. Troligen blir dock inte förändringen så stor som för hela vänersystemet, eftersom de högsta flödena till Klarälven i hög grad styrs av snösmältning. Det är inte omöjligt att vissa klimatscenerier till och med kan komma att ge lägre värden än i dagens klimat.

10 Bedömning av förändringen av riskerna för höga vårflöden, respektive höst- och vinterflöden i Klarälven i ett förändrat klimat

Figur 8 visar en översiktlig beräkning av hur flödena i Klarälvens mynning ändras i på grund av ett varmare klimat. Förutsättningen är de klimatscenarier för perioden 2071-2100, som visades i avsnitt 6, inträffar. Diagrammet avser 30-årsmedelvärden av vattenföringen, som har utjämnats över 30 dagar. Den grövre svarta kurvan visar vattenflödets årsrytm under dagens klimatförhållanden och de blå och röda linjerna avser medelförhållanden för tidsperioden 2071-2100 enligt de fyra scenarier över framtidens klimat som beskrevs i avsnitt 6. Utjämnningen av serierna leder till lägre maxvärden än vad som egentligen är fallet men diagrammen ger ändå en bild av större risk för höga flöden på grund av regn under höst och vinter i framtiden, samtidigt som vårflöden troligen successivt blir allt lägre.

Observera att vattenföringsberäkningen i figur 8 är ganska grov. Den är gjord med den hydrologiska HBV-modellen utan att ta hänsyn till de regleringar som påverkar flödet i Klarälven.

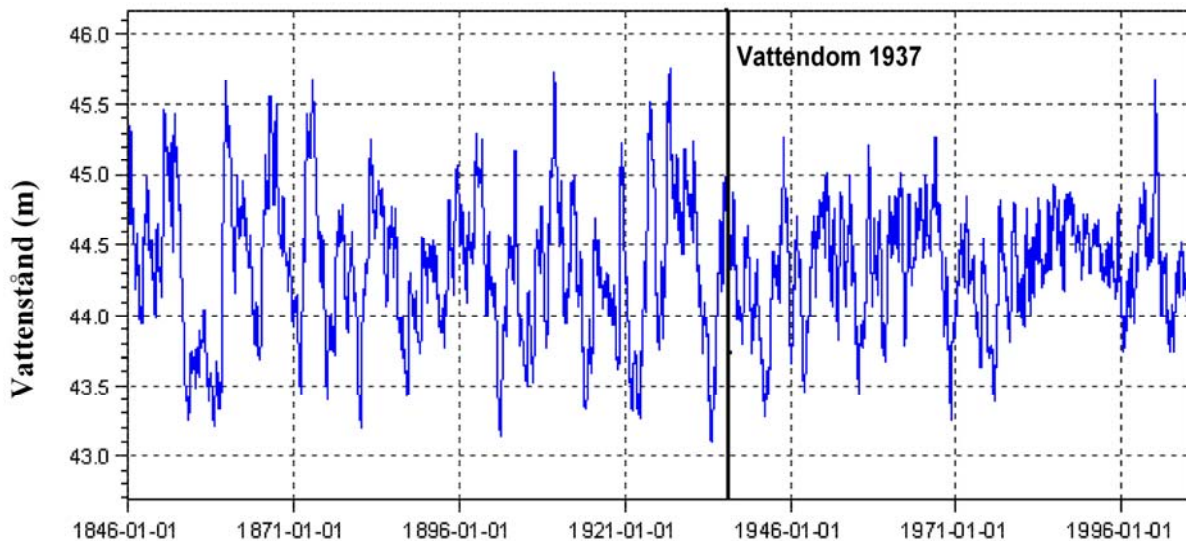


Figur 8. Beräknad förändring av den genomsnittliga vattenföringen i Klarälvens mynning på grund av ett förändrat klimat. Scenarierna är de som visas i figur 2 och avser perioden 2071-2100. Referensperioden är 1961-1990. Beräkningen är gjord utan att ta hänsyn till de regleringar som påverkar flödet i Klarälven.

11 Sammanställning av befintliga beräkningar av riskerna för höga vattennivåer i Vänern i dagens och framtidens klimat

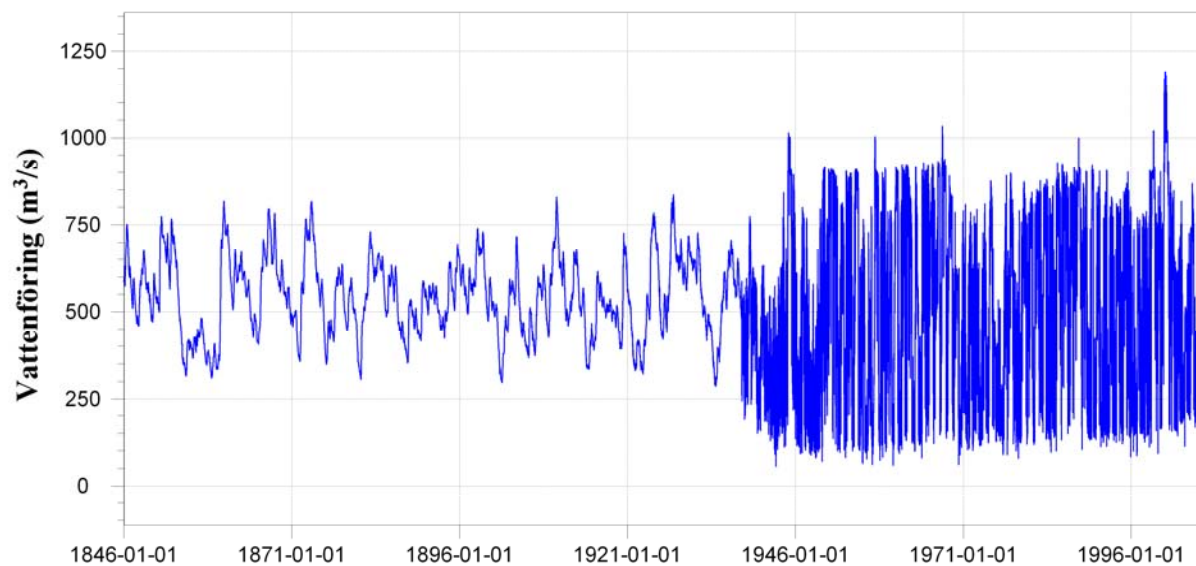
Dagens klimat

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 9. Enligt vad Möller (2002) redovisat finns det flera tillfällen under 1700-talet med mycket höga vattennivåer.



Figur 9. Vattenstånd för Vänern under perioden 1846-2005 (meter i höjdsystem RH00) i Vänern vid Vänersborg. (Bergström et al., 2006).

Regleringen av Vänern enligt vattendomen 1937 var ett stort ingrepp. Den innebar en minskning av de högsta vattenstånden (se figur 9), men mer dramatisk blev effekten på vattenföringen i Göta älv, som nu kom att utnyttjas för vattenkraftproduktion. Detta framgår av figur 10, som visar dygnsvärden på vattenföring i m^3/s för Vänerns utlopp under perioden 1846-2005.



Figur 10. Vattenföring i m³/s vid Vänerns utlopp (Vargöns kraftverk) under perioden 1846-2005. Observera toppvärdet i januari 2001. (Bergström et al., 2006).

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 finns det också bestämmelser som begränsar tappningen vid höga vattenstånd i havet. Det finns också regler vid lågvatten bl.a. för att säkerställa vattenstånden för sjöfartens behov och för att undvika saltvatteninträngning från havet upp i Göta älv.

Bergström et al. (2006) redovisar en översiktlig beräkning av hur mycket Vänerns högsta nivåer skulle kunna sänkas genom en ändrad tappningsstrategi. Denna möjlighet har sedermera varit föremål för ytterligare diskussioner mellan berörda länsstyrelser, Vattenfall, Sjöfartsverket och SMHI. Det mesta tyder på att det skulle kunna vara möjligt att sänka de högsta nivåerna inom ramen för existerande vattendom med ca 30-40 cm utan alltför stora nackdelar för berörda intressenter. En något modifierad strategi, jämfört med exemplet i Bergström et al. (2006) har utvecklats av Vattenfall, som nu har börjat tillämpa denna nya strategi. Ett moment i denna strategi är att regelbundet utnyttja hydrologiska prognoser från SMHI, för att ta hänsyn till de kommande veckornas förväntade tillrinning till Vänern.

Statistik för Vänern

På grund av att Vänerns reglering påverkat vattenstånden så måste statistiken baseras på perioden efter 1937. Men även då finns osäkerheter eftersom regleringsstrategin varierat över tiden. Beträffande den mest extrema nivån, den så kallade dimensionerande nivån i flödesklass 1 enligt Flödeskommittén, så är osäkerheten ännu större. Det har visat sig att riktlinjerna inte är fullt tillämpbara för vänersystemet, som därför undantagits i den nyutgåva av Flödeskommitténs riktlinjer som nyligen utkom (Svenska Kraftnät, Svensk Energi och SveMin, 2007). Den höga nivån 2001 har stor betydelse för statistiken. Efter en korrigering för regleringens betydelse kan vi med stor säkerhet säga att detta var den mest extrema hydrologiska förhållandena i vänerområdet sedan mätningarna inleddes 1807.

Tabell 2 visar SMHI:s senaste beräkningar av vattenståndsstatistiken för Vänern under dagens reglerade förhållanden och dagens klimat. 20-årsnivån ligger strax under 25-årsnivån. Dessa nivåer är officiella beräkningar från SMHI och skiljer sig något från uppgifterna i SOU (2006) där ett tidigare examensarbete av Schröder (2003) refereras. I SOU (2006) har man dessutom lagt på en vindeffekt på 0,6 m.

Tabell 2. Statistik över vattenståndet i Vänern, enligt SMHI:s senaste beräkningar (höjdsystem RH00).

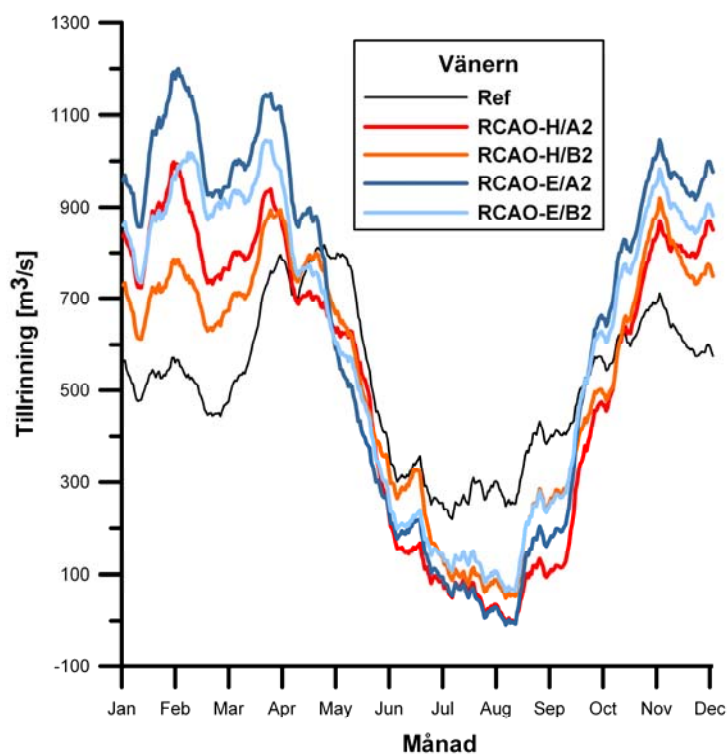
100-årsnivån	45,58 m
25-årsnivån	45,23 m
10-årsnivån	45,00 m

Samtidighet mellan högt flöde i Klarälven och högt vattenstånd i Vänern

Ett högt vattenstånd i Vänern kräver en lång period med hög tillrinning, så som exempelvis skedde hösten och vintern 2000/2001. Klarälven svarar däremot mycket snabbare på regn och snösmältning. Det kan därför inte uteslutas att det blir ett högt flöde i Klarälven samtidigt som Vänern ligger högt. Dammen i Höljes kan dessutom skapa ytterligare överraskningseffekter, genom att dess utskov kommer att användas mycket sällan till full kapacitet. När detta sker inträffar flöden som samhällena nedströms inte är vana vid. En sådan situation, som blev mycket omdiskuterad, uppstod 1995.

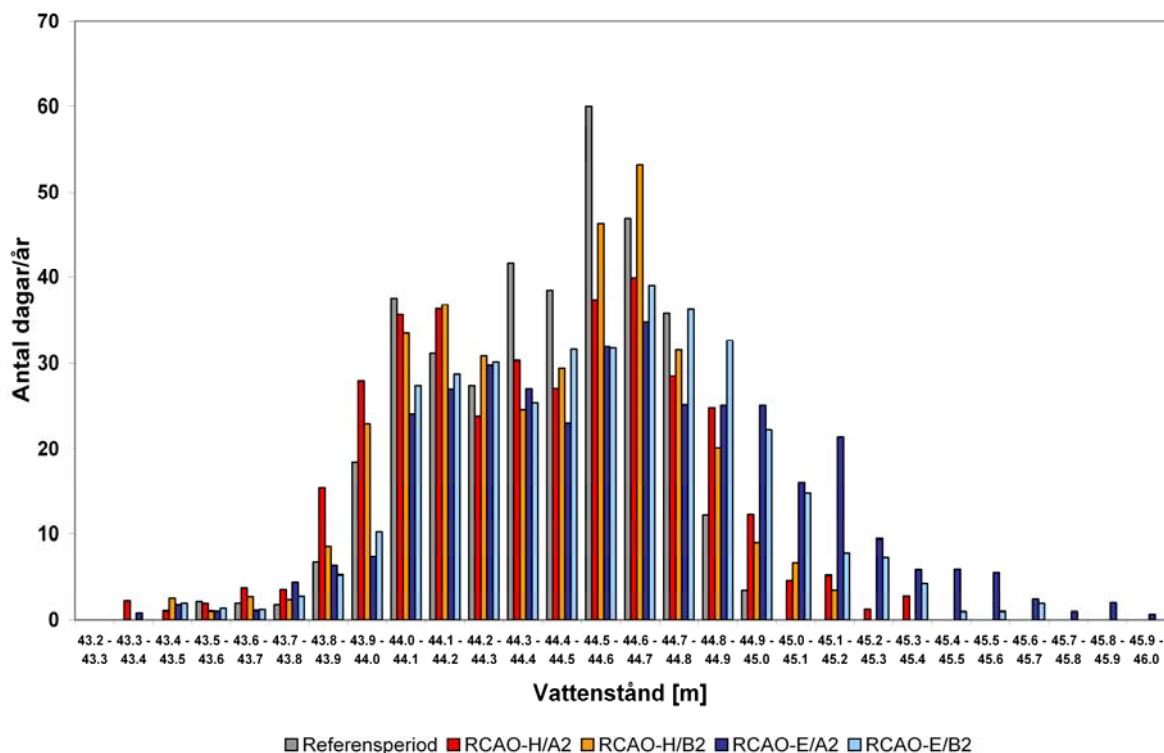
Framtidens klimat förändrar tillrinningen till Vänern

Effekterna på Vänerns vattenstånd av ett framtida förändrat klimat har ingående analyserats av Bergström et al. (2006). Påverkan beräknades med utgångspunkt från perioden 1964 – 1990, varvid det framtida klimatet beskrevs enligt de fyra i avsnitt 2 redovisade klimatscenarierna. Figur 11 visar en beräkning av hur tillrinningen till Vänern i genomsnitt förändras om klimatet ändras i enlighet med dessa klimatscenarier. 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 tillrinnande årsvolym varierar enligt beräkningarna mellan +1 % och +22 %.



Figur 11. Genomsnittlig förändring av tillrinningen till Vänern enligt fyra klimatscenarier

Den nuvarande tappningsstrategin 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 vattenståndet i Vänern visas i figur 12.



Figur 12. Statistisk fördelning av vattenstånden i Vänerns i dagens klimat och om klimatet ändras i enlighet med de fyra scenarierna (höjdsystem RH00).

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 12 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 pekar alltså klimatscenierna mot en ökad variabilitet i Vänerns vattenstånd, beroende på blötare vintrar och torrare somrar med högre avdunstning.

Förändring av 100-årsnivåerna för Vänern

En beräkning av återkomsttider, som genomförts med Gumbelfördelningen visas i tabell 3. Den visar att 100-årsnivåerna i Vänern, enligt de fyra klimatscenierna i figur 3, kan väntas öka med mellan 21 och 98 cm om dagens tappningsstrategi tillämpas även i framtiden. Tabell 3 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. Som påpekas av Bergström et al. (2006) är dock osäkerheterna i dessa uppskattningar ganska stora. De ändrade återkomsttiderna bör därför inte tas alltför bokstavligen även om tendensen är rimlig.

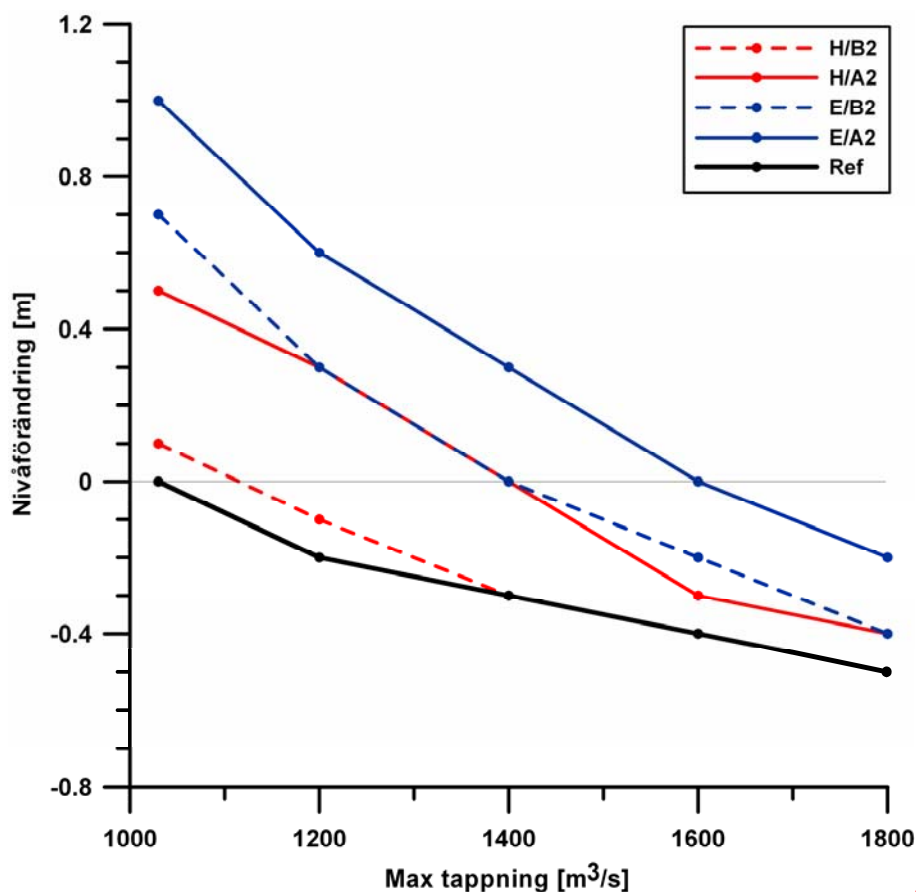
Tabell 3. Förändrade 100-års nivåer och ändrade återkomsttider för vattenstånden i Vänern mellan perioderna 1964-1990 och 2071-2100, enligt de fyra klimatscenarierna.

	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

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 för dimensionerande flöden för dammar. Vattenståndsutvecklingen för Vänern har 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 13.

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 klimatscenarierna 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 13. Ändringen av Vänerns högsta vattenstånd vid olika tappningskapacitet och ett klass-1 flöde enligt Flödeskommittén mellan perioderna 1964-1990 (Ref) och 2071-2100 enligt fyra scenarier från Rossby Centre beskrivna i avsnitt 1.

Figur 13 visar å andra sidan att en bibehållen tappningskapacitet på 1030 m³/s skulle medföra att Vänerns vattenstånd, i genomsnitt för de fyra klimatscenerierna, 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.

Sammanfattningsvis visar beräkningar med fyra klimatscenerier att såväl 100-årsnivån som den dimensionerande nivån enligt Flödeskommitténs flödesdimensioneringsklass 1 i genomsnitt kommer att stiga med ca 50 cm om dagens regleringsstrategi tillämpas för Vänern. Variationerna är dock stora mellan effekterna av dessa klimatscenerier. Man kan också förvänta sig en viss påverkan på grund av att landhöjningen är högre i Vänerns nordliga del än i den södra delen. Denna skillnad uppgår till ca 10 cm under en 100-årsperiod.

12 Diskussion

Klimat- och sårbarhetsutredningen analyserade riskerna ingående för Vänern i sitt delbetänkande från 2006 (SOU, 2006). I kapitlet *Förslag till åtgärder för Vänern* föreslår

utredningen att nybyggnation kring Vänern ska undvikas under nivån ca + 47,4 m. Denna siffra är framtagen genom en kombination av den dimensionerande nivå som Vattenfall räknar med, en ökning med 50 cm på grund av klimatförändringar i slutet av århundradet och snedställning på grund av kraftig vind på ca 60 cm.

Denna nivå motsvarar i stort sett vad Flödeskommittén rekommenderar för dammar där ett haveri skulle medföra stora konsekvenser med risk för människoliv och stor ekonomisk och miljömässig skada, så kallade klass 1-flöden. Detta är en mycket extrem situation. Om man bortser från effekten av en klimatförändring, och alltså drar bort 50 cm, torde sannolikheten för att denna nivå inträffar i dagens klimat vara lägre än 1/10 000 för varje enskilt år.

Klimatscenerierna är inga exakta framtidsberäkningar. De skall mer tolkas som exempel på hur känsligt systemet är. Det kommer nya klimatscenerier i framtiden, som kan leda till nya slutsatser. Det är därför viktigt att fortsatt följa framtida resultat från klimatforskningen. Det är också viktigt att vara medveten om att de scenarier som hittills använts inte tar hänsyn till effekterna av internationella överenskommelser för att hejda utsläppen av växthusgaser. Det bör också noteras att dessa scenarier avser en period i slutet av innevarande sekel, och att den globala uppvärmningen med stor sannolikhet fortskrider även därefter.

På grund av klimatfrågan står svensk vattenkraftindustri och gruvindustrin inför liknande problem som Karlstads kommun när det gäller planering under osäkra förutsättningar. Detta har uppmärksammats i den nyttgåva av Flödeskommitténs riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammar som nyligen utkom (Svenska Kraftnät, Svensk Energi och SveMin, 2007). Där förs en diskussion om klimatfrågan och det påpekas speciellt att de osäkerheter som klimatfrågan tillfört bör mötas med flexibla lösningar och större marginaler i planeringsarbetet.

13 Slutsatser

Vänernområdet är ett av de områden i Sverige som är mest utsatta för effekterna av ett framtida ändrat klimat. Detta påverkar också Klarälven och Karlstad. Samtidigt har erfarenheterna visat att även dagens klimatförhållanden skapar stora problem. Detta har föranlett en diskussion om åtgärder, som kan komma att ändra förhållandena avsevärt i framtiden. Framförallt kan en ändrad regleringsstrategi och en ökad tappningsförmåga från Vänern få betydelse för Karlstad.

En ny tappningsstrategi har nu börjat tillämpas och den kan förväntas minska de mest extrema nivåerna i Vänern med några decimeter. Detta är dock långt ifrån tillräckligt för att säkra systemet mot framtida översvämningssproblem. Det är också viktigt att beakta vad utökningen av tappningskapaciteten för Höljesdammen kan komma att innebära.

Karlstadsområdet utsatthet motiverar stor försiktighet vid etableringen av ny bebyggelse och annan infrastruktur samtidigt som skyddsåtgärder kan behöva vidtas för befintliga etableringar.

Klimathotet ökar osäkerheten i alla bedömningar. Det gäller speciellt höga vattenflöden och vattennivåer och lokala översvämningssproblem orsakade av skyfall. Denna nya osäkerhet motiverar att större säkerhetsmarginaler tillämpas vid all planering som påverkas av nederbörd.

14 Referenser

- 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.
- Andréasson, J., Gardelin, M., Hellström, S.-S. och Bergström, S. (2006). Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer i ett framtida förändrat klimat. Elforsk rapport 06:80, Stockholm.
- Bergström, S., Hellström, S.-S. och Andréasson, J. (2006). Nivåer och flöden i Vänerns och mälarens vattensystem – Hydrologiskt underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen. SMHI, Reports Hydrology, No. 20, Norrköping.
- Carlsson, B., Bergström, S., Andréasson, J. och Hellström, S.-S. (2006). Framtidens översvämningsrisker. SMHI, Reports Hydrology, No. 19, Norrköping.
- 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.
- Möller, Å. (2002). Väner svämmar 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.
- Räddningsverket (2001). Översiktlig översvämningskartering längs Klarälven – sträckan från Höljes till Karlstad. Rapport nr 2, version 2, 2001-03-21.
- Schröder, E. (2003). Översvämnningar i Sverige – orsakssammanhang och fördjupad frekvensstudie för Väner och Mälaren. Magisteruppsats från Miljövetareprogrammet, Linköpings Universitet, Institutionen för tematisk utbildning och forskning, Campus Norrköping.
- SOU (2006). Översvämningshot. Risker och åtgärder för Mälaren, Hjälmaren och Väner. Delbetänkande från Klimat- och sårbarhetsutredningen, SOU 2006:94, Stockholm.
- Svensk Energi, Svenska Kraftnät och SveMin (2007). Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar – Nyutgåva 2007.



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