

Från Noppikoski till Slussen

Om beräkning av extrema vattenflöden för
dammsäkerhet och klimatanpassning

STEN BERGSTRÖM



NOVEMBER 2021



FRÅN NOPPIKOSKI TILL SLUSSEN

Om beräkning av extrema vattenflöden för
dammsäkerhet och klimatanpassning

STEN BERGSTRÖM

Denna bok är formgiven och tryckt med stöd av Svenska kraftnät som har till uppgift att främja dammsäkerheten i landet. I uppgiften ingår att följa och medverka i utvecklingen i landet i frågor om klimatförändringarnas påverkan på dammsäkerheten samt att verka för att riskerna för en allvarlig störning på samhället genom dammhaveri eller höga flöden i reglerade vattendrag minskar. Boken är publicerad under hösten 2021.

Omslagsbilder: Dammhaveriet i Noppikoski i september 1985 (*Bildkälla: Lantmäteriet*)
och Guldbrons ankomst till Slussen i Stockholm i mars 2020 (*Foto: Shutterstock*).

Formgivning: Detail Produktionsbyrå.

Tryckeri: Taberg Media Group AB.

Copyright: Sten Bergström.

Innehåll

Förord	4
1. Omprövningens tid	6
2. Ett nytt sätt att tänka och räkna	24
3. Klimatfrågan blir alltmer aktuell	46
4. Klimatet och vattenkraften	60
5. Vädret utmanar samhällsplaneringen	76
6. Framtidens frågor	98
Tack!	103
Litteraturlista	105

Förord

Detta är en berättelse som jag länge har velat skriva. Den handlar om hur vi lärde oss att räkna fram dimensionerande vattenflöden för dammar och vad det fick för betydelse för arbetet med att anpassa samhället till såväl dagens som framtidens extrema vattenförhållandet. Berättelsen handlar om frågor som följt mig genom en stor del av mitt yrkesliv.

Det hela inleddes under 1980-talet med att vi började misstänka att vattenkraftssystemet inte var rätt dimensionerat för att tåla extrema vattenflöden. Det som väckte frågan var några bräddfyllda regleringsmagasin i de övre delarna av Indalsälven under hösten 1983. Detta blev startskottet för ett intensivt utredningsarbete, i samarbete mellan kraftindustrin och SMHI, inom den så kallade Flödeskommittén. Målet var att ta fram nya riktlinjer för beräkning av dimensionerande flöden för dammanläggningar. Arbetet blev klart 1990. Sedan dess har vattenkraftindustrin genomfört en landsomfattande uppgradering av sina dammar.

Frågan om dimensionerande flöden intresserade till en början främst vattenkraftindustrin men utvecklades efter hand till en mer allmän fråga om klimatanpassning inom samhällsbyggandet. Fler organisationer och myndigheter började intressera sig för hur vi ska räkna för att skydda oss mot höga flöden och översvämningar. Frågan blev än

mer relevant när diskussionen om konsekvenserna av framtidens klimatiförändringar kom igång.

När jag nu försöker skriva ner denna historia så inser jag hur mycket det finns att berätta. Men det var speciellt två händelser som fick stor så väl praktisk som symbolisk betydelse. Dammraset i Noppikoski i Oreälven i september 1985 bekräftade farhågorna om att vi måste räkna på ett annat sätt när vi bygger dammar. Projekteringen av nya Slussen i Stockholm och den nya regleringen av Mälaren blev ett första exempel på en komplex klimatanpassningsprocess inom samhällsbyggandet, där hänsyn togs till så väl ändrade extrema vattenflöden som stigande havsnivåer. Dessa två händelser är anledningen till valet av titeln *Från Noppikoski till Slussen*.

Trots att jag fått stor hjälp av vänner och kollegor när jag skrivit detta så vill jag betona att det är min egen berättelse från mitt eget perspektiv. Jag har försökt hålla mig till de stora dragen, men det är nog ofrånkomligt att jag ger mig in i detaljer som kanske bara intresserar några få. Jag hoppas att läsaren har överseende med detta, liksom med eventuella brister och felaktigheter i denna berättelse.

Norrköping hösten 2021,
Sten Bergström



Målet var att ta fram nya riktlinjer för beräkning av dimensionerande flöden för dammanläggningar.



Sten Bergström har arbetat som vatten- och klimatexpert på SMHI under nästan hela sitt yrkesliv. Som ung hydrolog var han under 1970-talet ansvarig för utvecklingen av den hydrologiska HBV-modellen, som numera används runt om i världen för beräkning av flöden i vattendrag. Arbetet med hydrologisk modellering ledde till hans doktors-examen 1976. I samarbete med vattenkraftindustrin har Sten Bergström medverkat i utvecklingen av nya beräkningsmetoder för dimensionerande vattenflöden och som SMHI:s forskningschef under åren 1990–2005 var han engagerad i utvecklingen av klimatforskningen på SMHI. Sten Bergström har också deltagit i flera projekt som rör hur samhället ska anpassas till framtidens klimat. Numera är Sten Bergström pensionär men han har under senare år medverkat i naturböcker om Luleälven, Sveriges sjöar och det rinnande vattnet. *Foto: Björn Larsson.*

1. Omprövningens tid

Akkajaure i Stora Lule älv är Sveriges näst största regleringsmagasin. Bara Vänern är större. Akkajaure däms upp av Suorvadammen. Regleringsamplituden är 30 meter. Bilden är tagen i augusti 2016 från Vaisaluokta, med Akkamassivet i bakgrunden. Foto: Sten Bergström.



I mitten av 1980-talet var den storskaliga utbyggnaden av vattenkraften i stort sett färdig. Då visade det sig att man hade ett problem. De mest extrema vattenflödena, som låg till grund för projekteringen av dammar och avbördningsanordningar, var grovt underskattade. Detta innebar risker för dammarnas säkerhet. Det blev dags för en omprövning av beräkningsmetoderna.

Oro i Indalsälven

I november 1983 ringer telefonen på mitt rum på SMHI i Norrköping. Detta är visserligen en efterhandskonstruktion men ungefär så här utspann sig samtalet: "Hej, det är Per-Eric. Har du tid att prata en stund...". Per-Eric Ohlsson var överingenjör på Vattenregleringsföretagen i Räcksta. Han var en viktig uppdragsgivare för SMHI:s arbete med att utveckla hydrologiska prognosmodeller för reglering av älvarna och driften av vattenkraftverken. Per-Eric var inte den som oroade sig i onödan, men nu lät han faktiskt lite stressad. "Har ni några satellitbilder över Indalsälven?" fortsatte han. "Jag vill kolla hur mycket snö som hunnit lägga sig i fjällen nu i höst". "Det blir nog svårt", svarade jag. "Satelliterna kan inte titta genom molnen. Och om det är klart väder så att man ser snön så vet man ändå inte hur djup den är eller hur mycket vatten den innehåller".

Till slut kom det fram att det höll på att uppstå ett krisläge vid några av regleringsmagasinen i Indalsälvens övre delar. Eftersom det var höst var vattenmagasinen fyllda till brädden inför vintern och nu fortsatte nivåerna att stiga trots att alla dammluckor stod på vid gavel. Per-Eric Ohlsson ville veta om smältande snö skulle kunna göra situationen ännu värre och kanske rentav riskera dammarnas säkerhet. Detta telefonsamtal kom att ändra inriktningen på mitt yrkesliv för många år framöver.

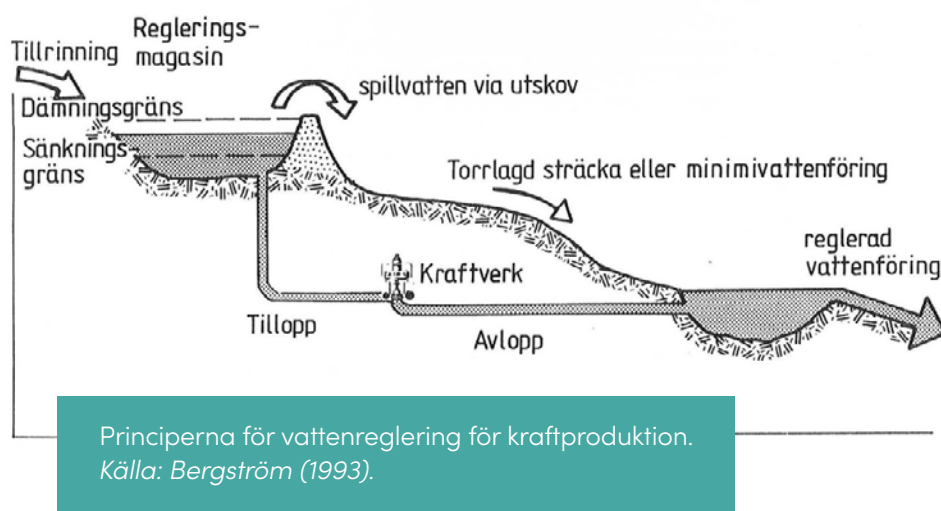
Det som sedan utspelade sig påverkar än idag Sveriges arbete med dammsäkerhet och samhällsbyggnad i anslutning till vatten, alltifrån säkerhetshöjande åtgärder för vattenkraftdammar till översvämningsskydd och byggandet av nya Slussen i Stockholm.

Situationen i Indalsälven lugnade ner sig. En första analys av vad som hänt blev klar i juni 1984. Den presenterades i en anspråkslös promemoria från SMHI med den något svårgenomträngliga titeln *Extrem tillrinning till regleringsmagasin. Diskussion om problemställningen och beräkningsexempel för övre Indalsälven* (Bergström, 1984). Rapporten behandlade de fem regleringsmagasinen Torrön, Juveln, Kallsjön, Stor-Rensjön och Anjan, som är belägna en bit in i fjälltrakterna norr och nordväst om Åre. Slutsatserna var uppseendeväckande. Det fanns stora brister i beräkningen av de vattenflöden som antagits som dimensionerande när dammarna byggdes. Promemorian blev omedelbart sekretessbelagd av SMHI. Efter en remiss till norsk expertis, som bekräftade farhågorna, offentliggjordes det hela i slutet av 1984, men uppmärksamheten blev ganska begränsad. Det var nog inte så många utanför kraftindustrin som insåg vad det handlade om. Men nu var frågan väckt. Kunde det vara så att alla svenska dammar var felräknade? Det fanns ju tusentals dammanläggningar som i så fall kanske måste byggas om.



Kunde det vara så att alla svenska dammar var felräknade? Det fanns ju tusentals dammanläggningar som i så fall kanske måste byggas om.

Resultatet kan utvecklas till en ren katastrof, med översvämmade samhällen, raserad infrastruktur och skadade och döda människor. Brustna dammar hör till världens värsta olyckor.



Utskoven - dammarnas säkerhetsventiler

Vattenkraftens regleringsmagasin används för att lagra vatten och släppa fram det när kraftverken i älven ska producera den elkraft som efterfrågas. Magasinen fungerar i praktiken som elförsörjningens batterier.

Det är enorma volymer vatten som kan lagras i de svenska regleringsmagasinen, totalt ca 50 kubikkilometer. De allra största magasinerna innehåller flera kubikkilometer vatten. Därför är det helt avgörande för samhällets säkerhet att dammkonstruktionerna är säkra och fungerar som de ska.

En viktig funktion är dammens utskov, som fungerar som en säkerhetsventil, med luckor som öppnas så att vattnet kan släppas förbi dammen när vattenmagasin håller på att bli för fullt. Om magasinet är fullt och utskovet inte fungerar, eller har för liten kapacitet, kan vattnet rinna över dammens krön. Det är få dammar som klarar en sådan överströmning utan att rasa. Ett dammraserande leder till en flodvåg som i värsta fall tar med sig

de anläggningar som ligger nedströms, som då också kommer att rasa likt dominobrickor. Resultatet kan utvecklas till en ren katastrof, med översvämmade samhällen, raserad infrastruktur och skadade och döda människor. Brustna dammar hör till världens värsta olyckor.

Utskovens kapacitet att släppa fram vatten är alltså avgörande för vattenkraftssystemets säkerhet. Det var denna kapacitet som man var rädd inte skulle räcka till för regleringsmagasinen i övre Indalsälven under hösten 1983. Men det är också viktigt att det verkligen går att öppna luckorna snabbt när de behövs. Det måste finnas personal som kan rycka ut och reservkraft om det blir strömbrott. Man måste också tänka på hur det ser ut nedanför dammen. Vad händer nedströms när man plötsligt släpper fram en massa vatten? Finns det vägar, broar, byggnader eller kanske människor i vägen? Och klarar själva utskovets konstruktion de enorma krafter som man släpper lös?



Här har de färgglada utskovsluckorna öppnats i Akkats kraftverk i Lilla Lule älv. Sådana här bilder används ofta för att skildra den kraftfulla vattenkraften. Men här produceras ingen kraft. Vattnet spills förbi kraftverkets turbiner.
Foto: Sten Bergström.

Historisk bakgrund

Det skulle visa sig att man hade varit alldeles för naiv när man dimensionerade utskoven i samband med att man byggde ut den svenska vattenkraften. För att förstå hur det kunde bli så måste man tänka på att utbyggnaden, åtminstone i början av 1900-talet, skedde med begränsade hydrologiska data och kanske inte så mycket kunskap och erfarenhet. Och ofta var det stor brådska. Av det första världskriget hade man lärt sig att krig, isolering och vårt beroende av importerat kol kan äventyra den svenska elförsörjningen. En snabb utbyggnad av älvarna sågs som en självklar lösning. Det talades om vattenkraften som det vita kolet.

När man började bygga ut vattenkraften visste man ganska lite om hur mycket vatten som kunde rinna i älvarna. Först när myndigheten Hydrografiska byrån bildats 1908 inleddes systematiska mätningar. Den nya myndighetens instruktion (Svensk författningssamling, 1908) inleds på följande sätt: "Hydrografiska byrån har till ändamål att samla och bearbeta alla uppgifter, som för en uttömmande vetenskaplig och praktisk

kännedom om de svenska färskvattnens hydrografi äro av nöden." Hydrografiska byrån inledde en kartläggning av Sveriges vattenfall som kom att pågå under första hälften av 1900-talet. Resultatet av detta pionjärarbete är idag fritt tillgängligt för alla intresserade via SMHI:s hemsida. Där kan man njuta av noggrant handritade kartor, diagram och tabeller samt detaljerade skriftliga beskrivningar av de vattenfall som idag utgör ryggraden i den svenska elförsörjningen (SMHI, 2013).

1909 bildades Kungl. Vattenfallsstyrelsen, dagens Vattenfall, och 1910 beslöt riksdagen att bygga ut Porjusfallen i Stora Lule älv för att få elektrisk kraft till malmбанan och malmfälten. Den storskaliga utbyggnaden av vattenkraften i norrlandsälvarna var igång! Det mödosamma arbetet i Porjus är väl skildrat av Nils Forsgren (1982).

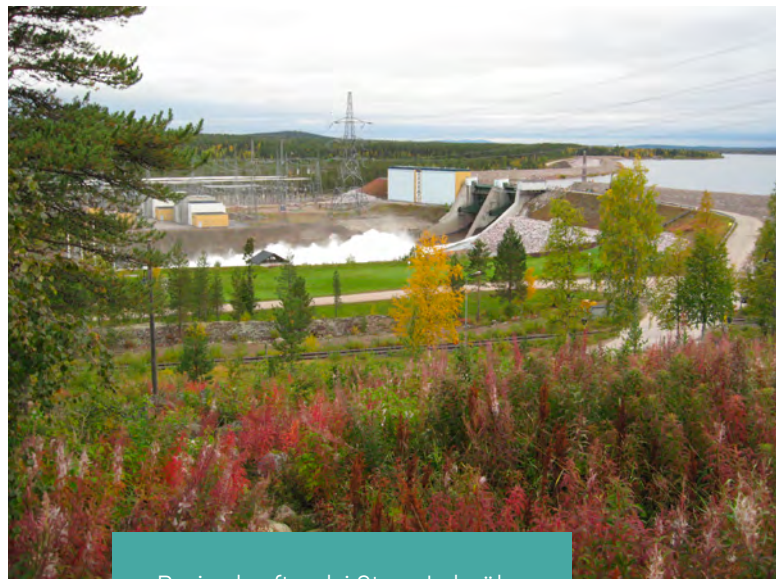
Hydrologiska byrån inledde omfattande mätningar av älvarnas vattenflöden. Men man hade trots detta bara korta mätserier att luta sig mot när man projekterade de första stora dammarna och kraftverken.

Det innebar att beräkningarna av de mest extrema flödena, som skulle vara dimensionerande, blev mycket osäkra.

Genom en sammanslagning med den Meteorologiska Centralanstalten blev Hydrografiska byrån en del av Statens Meteorologisk-Hydrografiska Anstalt, SMHA, 1919. SMHA omvandlades till Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut 1945, dagens SMHI. Sammanslagning av de meteorologiska och hydrologiska tjänsterna i Sverige skulle visa sig mycket framsynt. Samarbetet mellan meteorologer och hydrologer blev avgörande för den framtida hydrologiska tjänstens utveckling vilket i sin tur betydde mycket för vattenkraftindustrin. Detta gynnade bland annat utvecklingen av hydrologiska prognoser och matematisk modellering.

Tack vare närheten till den meteorologiska tjänsten fanns datorer och data tillgängliga, när en hydrologisk beräkningsmodell skulle utvecklas under 1970-talet. Samverkan mellan meteorologer och hydrologer fick också stor betydelse för SMHI:s arbete med dammsäkerhet och senare för studier av klimatets påverkan på vattenkraften. Många utländska hydrologer såg med visst avund på det svenska sättet att samorganisera de meteorologiska och det hydrologiska tjänsterna.

De begränsade mätserierna av vattenflödena i älvarna gjorde de särskilt svårt att veta hur häftiga de allra värsta flödena kunde bli. Detta behövde man veta för att kunna dimensionera dammar, kraftverk och utskov så att de skulle klara de mest extrema situationerna. Det hela blev lite vilda västern. En ganska ogenomtänkt praxis för att beräkna dimensionerande flöden slog rot. Närmast en tumregel. Ofta fick det räcka med att använda det högsta uppmätta flöde som man hade tillgång till i en mätserie och lägga på en säkerhetsmarginal på 10-20 % för att vara på den säkra sidan. Men naturen varierar mycket mer än så! Det skulle senare visa sig att man i genomsnitt underskattat de värsta tänkbara vattenflödena med mer än 100%.



Porjus kraftverk i Stora Lule älv blev ett verkligt pionjärprojekt. Kraftverket invigdes 1915 och har byggts ut efterhand. Idag är Porjus Sveriges fjärde största vattenkraftverk. Den övre bilden togs i september 2007 under en paus i diskussionerna om den närliggande Suorvadammens säkerhet i en konferensbyggnad intill. Den vänstra bilden togs en februaridag 2015.
Foto: Sten Bergström.



Sjöarna är älvarnas stötdämpare. Snabba flöden fyller på sjöarna som då stiger. Sen rinner vattnet vidare i lugnare takt. I en älv med stora sjöar blir vattenflödena därför utjämnade medan de varierar mycket snabbare om det saknas sjöar. Om man reglerar en älv, utan att tänker på sjöarnas dämpande effekt, kan man skapa mycket stora och överraskande flöden. Och det var precis vad man gjorde i flera fall när vattenkraften byggdes ut. Flödena visade sig till och med kunna bli större än de var innan utbyggnaden. Detta inträffar speciellt under blöta höstar. En sådan situation uppstod i Umeälven och Ångermanälven under hösten 1998 vilket ledde till att SMHI gav ut ett speciellt faktablad om höga vattenflöden i reglerade älvar (SMHI, 1999).

När Sverige växte som industrination och rekordåren kom med nya bostäder och hög standard krävdes ännu mer el. Allt större dammanläggningar byggdes efter samma enkla praxis för beräkning av dimensionerande flöden som när vattenkraften började byggas ut. Det var först under 1980-talet, när man använt det färdigbyggda vattenkraftssystemet en tid, som beräkningarna av de dimensionerande flödena började ifrågasättas. Men det fanns fortfarande många inom vattenkraftindustrin som tvivlade på att det kunde vara något problem med beräkningarna. Det var inte heller helt enkelt att gå till den mäktiga kraftindustrin och säga, "Ni har räknat fel". Men det måste göras. En stor dammolycka är ju en av de allra största katastrofer som kan drabba Sverige. Nu måste frågan redas ut ordentligt. Här kom informella diskussioner mellan vattenkraftindustrin och SMHI att spela en avgörande roll. Då var det av stor betydelse att de första larmsignalerna om brister i beräkningarna kommit från industrin själv, efter egna erfarenheter av drift av systemet.



Sjöarna är älvarnas stötdämpare.

2019 gav Svenska kraftnät ut en orienterande skrift om dammar och dammsäkerhet som innehåller mer historik och förklarar terminologi och teknisk utformning på ett lättbegripligt sätt (Svenska kraftnät, 2019). Den är en bra källa för dem som inte har arbetat med vattenkraft eller dammsäkerhetsfrågor men vill lära sig mer.

Flödeskommittén bildas

1985 bildade Statens vattenfallsverk och Svenska kraftverksföreningen tillsammans med SMHI den så kallade Flödeskommittén, som skulle ta itu med problemet med dimensionerande flöden. Uppdraget löd: "att utarbeta förslag till riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden vid kraftverks- och regleringsdammar." Kommittén leddes av före detta vattenrättsdomaren, Lennart av Klintberg. Vattenfall representerades av Karl-Åke Sjöborg och Vattenregleringsföretagen av Per-Eric Ohlsson. Själv representerade jag SMHI, tillsammans med Ulf Ehlin, som vid denna tid vara direktör för den Hydrologiska och oceanografiska avdelningen.

Innan vi var klara med vårt arbete var det väldigt många som hade hjälpt till, såväl inom industrin som på SMHI. Jag vill särskilt lyfta fram några kollegor på SMHI som fick speciellt stor betydelse. Haldor Vedin tog sig an arbetet med den extrema areal-nederbörden. Den rapport som han skrev, tillsammans med Bertil Eriksson, blev en av Flödeskommitténs hörnstenar (Vedin och Eriksson, 1988). Till sin hjälp hade de Ann-Margreth Holst på SMHI, som med stort tålamod helt manuellt gick igenom de miljontals nederbördsobservationer som fanns arkiverade i handskrivna tabeller.

Göran Lindström svarade för programmering och datorsimulering samt deltog i många av kommitténs arbetsmöten. Det var Görans insatser som gjorde det möjligt att basera flödesdimensioneringen på mer eller mindre fullständig hydrologisk modellsimulering.

Flödeskommitténs arbete pågick i fem år. Det första sammanträdet ägde rum den 22 april 1985 och ett slutligt förslag till nya riktlinjer lades fram i maj 1990 (Flödeskommittén, 1990). Riktlinjerna antogs av industrin och SMHI samma år. Då hade vi diskuterat och testat en mängd möjliga metoder. Vi hade rest mycket och diskuterat frågan med kollegor i de nordiska länderna, USA, Frankrike, England och Kanada samt genomfört omfattande hydrologiska och statistiska analyser. Vi började förstå att detta arbete skulle få stora konsekvenser för vattenkraftindustrin, men vi anade inte att betydelsen för övrigt samhällsbyggande skulle bli så stor som den blev.

Flödeskommitténs slutrapport är än idag ett läsvärt dokument. Där finns en detaljerad beskrivning av hur kommittén resonerade och en hel del statistiskt material. Bland annat hittar man en unik sammanställning av Sveriges värsta regn genom tiderna.

Ordföranden och juristen Lennart af Klintbergs kristallklara formuleringskonst präglar språket i rapporten. Vad sägs om följande exempel, som gäller valet av formen på en korrektionskurva (sidan 57 i rapporten)? "Skillnaden mellan kurvorna är i realiteten ganska obetydlig, och i valet mellan dem anser Flödeskommittén, att den räta linjen (figur 4.9) är att föredra, eftersom den är mindre ägnad att ge sken av en exakthet, som ändå inte föreligger." Denna mening är ett bra exempel på den balansgång mellan vetenskap och praktik som präglade kommitténs arbete. Utan en ganska pragmatisk inställning hade det aldrig blivit några

Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar

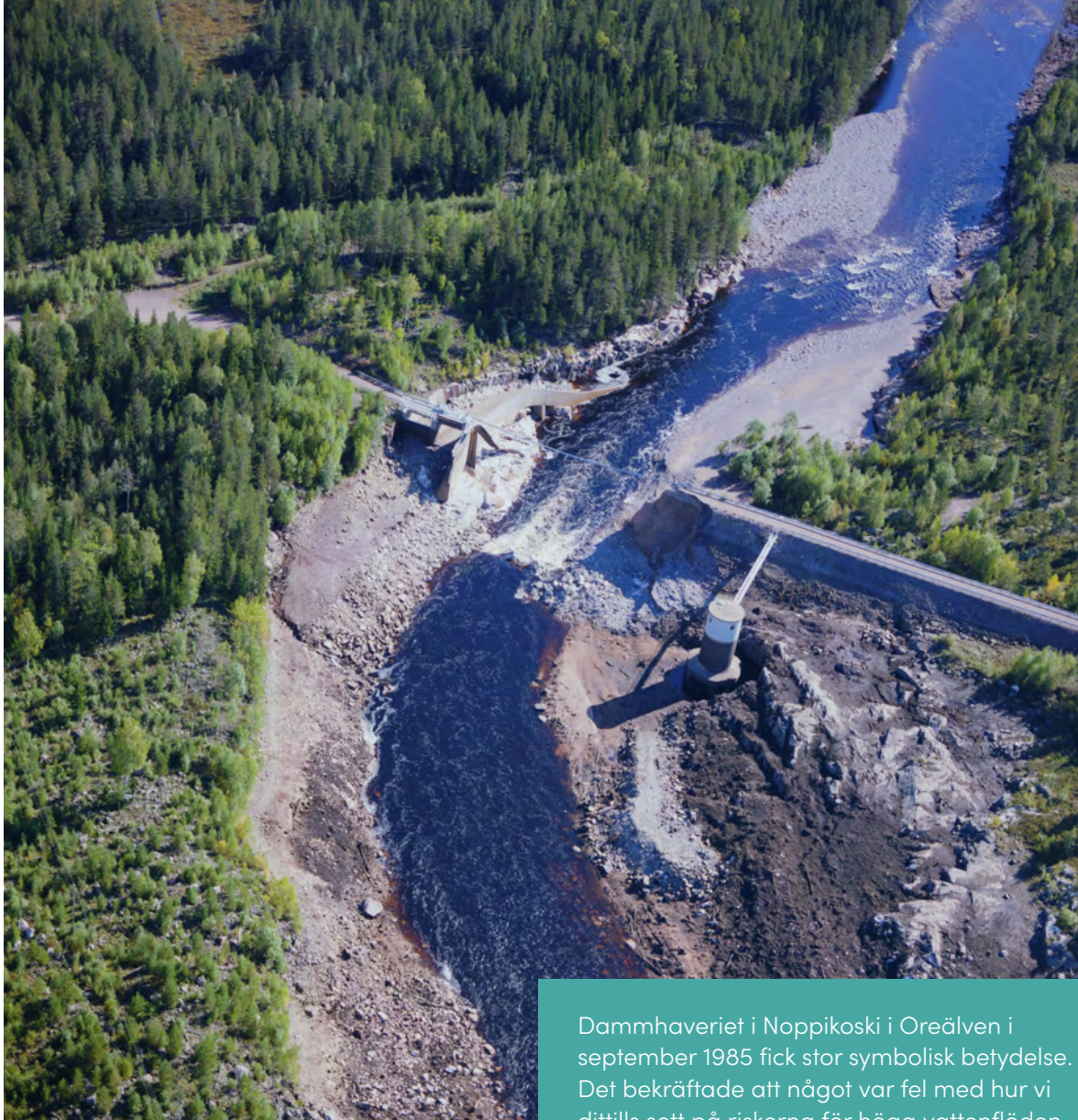


Slutrapport från Flödeskommittén

Statens Vattenfallsverk
Svenska Kraftverksförningen
Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut

Så här såg Flödeskommitténs slutrapport från 1990 ut. Rapporten har kommit ut i nya omarbetade upplagor, men grundtankarna har hållit och påverkar än idag arbetet med klimatanpassning när det gäller extrema vattenförhållanden i Sverige. Omslagsbilden är från Stadsforsens kraftverk i Indalsälven.

riktlinjer. Men det betyder inte att man bortsåg från vetenskapen. Flödeskommitténs arbete resulterade i ett antal vetenskapliga artiklar i internationella tidskrifter (Bergström et al., 1992; Lindström och Harlin, 1992; Norstedt et al, 1992) och i en doktorsavhandling (Harlin, 1992). Arbetet presenterades och försvarades också på flera internationella vetenskapliga konferenser. Det innebar i praktiken en internationell expertgranskning som stärkte oss i vår tro på att detta var en rimlig metod, även om det ställdes frågor om sannolikheter för de högsta beräknade flödena som vi inte kunde svara på.



Damnhaveriet i Noppikoski i Oreälven i september 1985 fick stor symbolisk betydelse. Det bekräftade att något var fel med hur vi dittills sett på riskerna för höga vattenflöden när vi byggt dammar i Sverige. Dammen återuppbyggdes snabbt, nu som en betongdamm. Den är nog en av landets säkraste, eftersom den numera både har större utskov och tål överströmning. Bildkälla: Lantmäteriet.

En passande dammolycka

I september 1985 drabbades Dalarna av ett häftigt regnoväder. Det medförde att dammen i Noppikoski i Oreälven rasade. En av dammens två utskovsluckor hade fastnat vilket ledde till att vattnet rann över dammens krön. En miljon kubikmeter vatten gav sig av nedåt älven, vilket är ganska lite i detta sammanhang, så skadorna blev förhållandevis små. Uppströms Noppikoski ligger Vässinkoskidammen med ett magasin som är 70 gånger så stort. Där uppstod det verkliga hotet. Tillrinningen var som mest ungefär dubbelt så stor som den som var dimensionerande när dammen projekterades. Med nöd och näppe lyckade man förhindra ett haveri, som i jämförelse med det i Noppikoski hade blivit en katastrof.



Med nöd och näppe lyckade man förhindra ett haveri, som i jämförelse med det i Noppikoski hade blivit en katastrof.

I efterhand kan man konstatera att haveriet i Noppikoski var en vältajmad olycka. Dammen, som tagits i drift 1967, strök visserligen med, men ingen människa kom till skada. Eftersom det dimensionerande flödet, som låg till grund för bygget av dammen, överträffades med ungefär 100 procent förstod nu också tvivlarna att det var dags att se över hur svenska dammar är beräknade. Nu vaknade också massmedia. Tidskriften Ny Teknik ägnade en stor del av sitt nummer den 19 september åt dramatiken i Noppikoski och Vässinkoski. Man toppade med rubriken "Expert i hemlig utredning: DAMMARNAS FELBYGGDA" och syftade då på den tidigare nämnda promemoria som skrivits om riskerna för Indalsälvens regleringsmagasin något år tidigare (Bergström, 1984). Ny Teknisk utförliga beskrivning av vad som hände vid Noppikoski och Vässinkoski är än idag mycket läsvärd (Ny Teknik, 1985). Händelserna i Oreälven presenterades senare också vid the International Commission on Large Dams, ICOLD:s kongress i San Fransisco 1988 (Enfors och Eurenus, 1988).

Det var många som hade anledning att vara nöjda med att Flödeskommittén var tillsatt sedan ett halvår när dammen i Noppikoski rasade. Problemet var ju redan uppmärksammat av industrin och SMHI, och det pågick en utredning som tillsatts innan olyckan inträffade. Vi som arbetade med detta var mest nöjda med att SMHI hann offentliggöra den sekretessbelagda rapporten redan i december året innan. Inget smussel här alltså.

Dammsäkerhet och översvämningar

Dammolyckan i Noppikoski var inte den enda varningssignalen. Två år tidigare, 1983, började Sveriges kanske viktigaste damm, Suorvadammen högt uppe i Stora Lule älv,



Ny Teknik den 19 september 1985.

oväntat läcka. Detta hade ingenting med höga flöden att göra, men bidrog till diskussionen om dammsäkerheten. Den vattenmängd som Suorvadammen dämmer upp i sjön Akkajaure är som mest ungefär 6000 gånger så stor som Noppikoski-dammens magasin. Om Suorvadammen rasat hade vi fått den nationella katastrof som många fruktade. Flodvågen skulle ha plöjt ner längs Luleälven och tagit med sig några av Sveriges största kraftverk, dränkt städer och byar och äventyrat den svenska elförsörjningen för lång tid framöver. Ett stort antal människor hade omkommit.

I sin bok, *Överskrida gränser* skildrar Lars Wilhelm Svonni, från ett samiskt perspektiv, en dammkatastrof, som i detta fall orsakats av attentat mot flera av de stora dammarna i Luleälven (Svonni, 2005). I boken *Fallvatten* berättar Mikael Niemi om en liknande fiktiv händelse (Niemi, 2012). Han beskriver hur Sourvadammen kollapsar efter långvarigt

regnande och hur flodvågen drar fram längs hela Lule älvdal. Mikael Niemis drama- tiska skildring är naturligtvis uppdi- ktad och delvis så makaber att känsliga läsare kanske väljer att hoppa över vissa avsnitt. Men den livfulla beskrivningen av enskilda människoöden och deras irrationella bete- enden när katastrofen helt oväntat slår till känns ändå trovärdig på något sätt. Lars Wilhelm Svonnis och Mikael Niemis fantasi- fulla skildringar ger ett annat perspektiv än den torra prosan i tekniska dokument och formella riktlinjer, men de beskriver egentligen samma sak, konsekvenserna för samhället av ett stort dammhaveri.

Internationellt är dammsäkerhetsfrågan högt prioriterad. Den handlar om såväl natur- vetenskap och statistik som om ingenjör- teknik. Tillgängliga sammanställningar visar, oroande nog, att nästan var hundra- de större damm som byggts har rasat och att underskattning av de dimensionerande flödena inte sällan är en viktig bidragande till detta (ICOLD 2020). Dammsäkerheten diskuteras ständigt på de stora konferenser som anordnas av ICOLD, som också sam- manställt internationella beräkningsmetoder (ICOLD, 2018). Där beskrivs även de svenska riktlinjerna.

Det som hände i Indalsälven 1983 och i Dalälven 1985 var bara början. Nya drama- tiska händelser inträffade 1993, 1995, 1998 och år 2000. De bekräftade återigen att extrema vattenflöden var ett underskattat problem. År 2000 sticker ut som det allra mest extrema och konsekvenserna i de reglerade älvarna analyserades ingående av Svenska kraftnät (Svenska kraftnät, 2001; Losjö, 2001). Men hela samhället påverkades. När översvämningar drabbade Mälaren hösten 2000 räckte inte dammluckorna i Slussen till för att släppa ut vattnet till Saltsjön. Vattennivåerna steg oroande i Stockholm och längs Mälarens stränder. Samma år krävdes stora insatser för att skydda Arvika när Glafs fjorden steg och senare under vintern hotade Vänern sina omgivningar.

Myndigheten för samhällsskydd och bered- skap publicerade 2012 en sammanfattning av översvämningar i Sverige under perioden 1901-2010 (MSB, 2012a). Det är intressant läsning som innehåller många aspekter på problemet och nyttiga påminnelser om riskerna. Den ger också perspektiv när nya händelser inträffar.

Visst har detta hänt förr. I bildarkiven finns det gott om påminnelser om riskerna med extrema vattenflöden. Denna bild är från Bollnäs 1916. Bilden är hämtad från SMHI:s bildarkiv.





Ett annorlunda arkiv. Här och var finns det historiska markeringar i landskapet som visar hur högt vattnet stigit i gången tid. Muren vid kyrkan i Torsång i Dalarna vittnar om Dalälvens extremvärden längre tillbaka än det finns officiella mätningar.

Foto: Sten Bergström.

Vilka dammar är farligast?

Det är skillnad på dammar och dammar. Några orsakar en nationell katastrof om de brister, andra skulle bara ställa till med mindre problem. Därför inledde Flödeskommittén sitt arbete med långa diskussioner om hur dammar ska klassificeras. Ordet *riskklass* introducerades och kom att användas under flera år framöver. Så småningom ersattes ordet riskklass av det mer neutrala ordet *flödesdimensioneringsklass*. För att undvika förvirring kommer ordet flödesdimensioneringsklass att användas i fortsättningen av denna text.

Flödeskommittén kom fram till att det var rimligt att i huvudsak göra en indelning i två klasser: Flödesdimensioneringsklass I (riskklass I) innefattar anläggningar som i princip inte får brista. Det räcker inte med att dammar är stora för att de ska tillhöra

flödesdimensioneringsklass I. Även mindre dammar kan ställa till med stor förödelse om de är belägna uppströms tätbefolkade områden eller på andra känsliga platser. Man måste också räkna med att domino-effekten kan medföra att ett dammraser leder till att en eller flera dammar nedströms också rasar. Dammar i flödesdimensioneringsklass I ska tåla den värsta tänkbara flödes-situationen som dessa dammar kan råka ut för.

Till flödesdimensioneringsklass II (riskklass II) räknas dammar som vid ett ras endast orsakar mindre skador av lokal karaktär. Det kan ställas lägre krav på dessa dammar. Flödeskommittén ansåg att det för dessa borde räcka med att man med säkerhet kan hantera ett vattenflöde som i genomsnitt inträffar eller överträffas en gång vart hundra år, ett så kallat 100-årsflöde.

De dammar som i händelse av ras skulle medföra obetydliga eller försumbara konsekvenser ansågs inte beröras av riktlinjerna. De kom senare att klassificeras som dammar i flödesdimensioneringsklass III.

Inledningsvis visste man inte hur många dammar det handlade om i de olika flödesdimensioneringsklasserna, men i efterhand har Svenska kraftnät uppgivit att av landets uppskattningsvis 10 000 dammar kan omkring 500 anses tillhöra flödesdimensioneringsklass I eller II. Det var alltså ett mycket omfattande arbete som väntade för vattenkraftindustrin!

I riktlinjerna formuleras kriterierna för de två flödesdimensioneringsklasserna på ett juridiskt mer korrekt men mindre lättläst sätt. Så här beskrivs klassificeringen i 2015 års utgåva av *Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar* (Svenska kraftnät, Svensk Energi och SveMin, 2015):

"Vid bestämningen av de dimensionerande flödena tillämpas en indelning i flödesdimensioneringsklasser, som bygger på vilka konsekvenser dammbrott skulle kunna medföra i samband med höga flöden. Flödesdimensioneringsklass I tillämpas för dammanläggningar som i händelse av dammbrott skulle kunna medföra förlust

av människoliv eller annan allvarlig personskada, allvarlig skada på infrastruktur, betydande miljövärde eller annan stor ekonomisk skadegörelse. Flödesdimensioneringsklass II tillämpas för dammanläggningar som, i händelse av dammbrott, skulle kunna medföra betydande skador endast på infrastruktur, egendom eller miljövärde. Övriga dammar, som vid dammbrott inte skulle medföra ovan nämnda skador, tillhör flödesdimensioneringsklass III".

Det skulle uppstå en del förvirring när Räddningsverket, senare omstöpt till Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), inledde arbetet med översvämningskartering. Då började begreppet *Beräknat Högsta Flöde (BHF)* användas för att beskriva ett *Flöde av flödesdimensioneringsklass I*. Ibland användes även begreppet *10 000-årsflödet* när man egentligen menade ett flöde av flödesdimensioneringsklass I. Det senare är en feltolkning av Flödeskommitténs riktlinjer. Kommittén angav ingen återkomsttid men en analys som gjorts senare visar att ett flöde i flödesdimensioneringsklass I troligen har en ännu lägre sannolikhet att inträffa under ett år än 1 på 10 000 (Bergström et al., 2008). Det finns alltså en hel del begrepp att hålla reda på när man läser rapporter om höga flöden!



Inledningsvis visste man inte hur många dammar det handlade om i de olika flödesdimensioneringsklasserna, men i efterhand har Svenska kraftnät uppgivit att av landets uppskattningsvis 10 000 dammar kan omkring 500 anses tillhöra flödesdimensioneringsklass I eller II.

Trängsletdammen är med sina 125 meter den högsta av Sveriges alla dammar. Den ska självklart klara av ett dimensionerande flöde av flödesdimensioneringsklass II. Dammens ägare, Fortum, har inlett ett omfattande arbete med att uppgradera dammen till moderna säkerhetskrav. Det innebär bland annat att dammen ska klara de mest extrema vattenflödena, även efter en klimatförändring. Dammens utskov syns till höger i bilden. Bilden är tagen efter den torra sommaren 2018.
Foto: Sten Bergström.

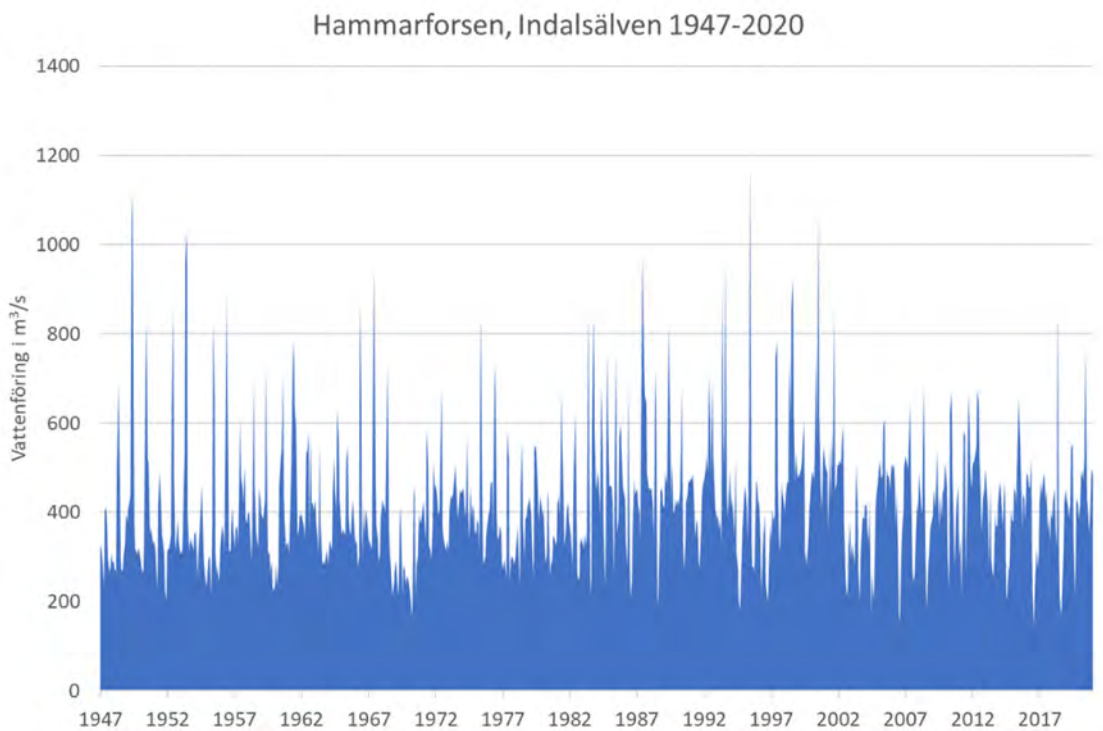


Då och då stöter man på dem. Det finns mängder av små dammar i Sverige som, liksom denna i Hävla i Östergötland, inte berörs av Flödeskommitténs riktlinjer.
Foto: Sten Bergström.

Statistik är roligt!

Finns det något tråkigare än statistik? Jo, väldigt mycket faktiskt. Statistik är kul och väldigt användbart. Och än roligare är sannolikhetssteori. När man pratar om risk och säkerhet kommer man dessutom inte undan. Vårt minne är så kort att vi måste ta stöd av observationer och statistik om vi vill få ett grepp om riskerna för extremvärden. Därför är det nödvändigt att sätta sig in i statistiken.

Låt oss börja med att titta på ett diagram över vattenflödet i Hammarforsen i Indalsälven under drygt 70 år. Här ser man verkligen hur mycket vattenflödena kan svänga hit och dit och hur kort tid som vi överblickar utan tillgång till statistik! Det syns också att de högsta vårflödena dämpas mot slutet av perioden, vilket beror på att vattenkraften då använder vårflodens vatten för att fylla sina magasin. Statistiken hjälper oss att förstå det hela bättre.



Ett diagram över månadsmedelvärden av vattenflödet i Hammarforsen från och med 1947 till och med 2020. Visst är det intressant att det kan variera så mycket både under åren och mellan dem! Statistiken hjälper oss att tolka det vi ser. Nedgången av antalet höga flöden i slutet av perioden är en effekt av ökad reglering för vattenkraftproduktion. Antalet höga flöden minskar men överraskningen blir desto större när de väl inträffar. Så var fallet med det extrema flödet i juli 2000, som kom som en stor överraskning för boende längs Indalsälven. *Data från SMHI.*



Om man tänker på att det finns över 50 000 stora dammar i världen så förstår man varför det då och då inträffar stora dammkatastrofer.

Det kanske händer att vi lite slarvigt slänger oss med uttryck som 100-årshändelsen och tycker att det låter som något väldigt ovanligt. Nästan som att vi måste vänta hundra år på att det ska inträffa. Men det händer jämt. Någonstans i varje fall. Sannolikheten är ett på hundra för *varje enskild plats eller anläggning under ett enskilt år*.

Eftersom det finns mängder av dammar på olika platser och dessa är i drift under lång tid så är det oundvikligt att ett 100-årsflöde någon gång drabbar någon damm. När det gäller våra allra viktigaste dammanläggningar, eller annan samhällsviktig bebyggelse, måste vi försäkra oss om att kunna hantera betydligt ovanligare händelser på ett säkert sätt. Resonemanget kan sammanfattas i en ganska tråkig tabell, som blev den mest använda i hela den långa processen för att förbättra beräkningarna av dimensionerande flöden för dammar. Tabellen visar att riskerna är mycket större än man vanligen föreställer sig när man exempelvis använder begreppet 100-årsvärde. Sannolikheten är då ett på hundra att

detta inträffar under ett enskilt år. Om man väljer att skydda en damm som ska stå i 100 år mot ett 100-årsvärde så är sannolikheten hela 63 procent att den drabbas av denna händelse under sin livstid. Det alltså större sannolikhet att den råkar ut för detta än att den klarar sig undan! När det handlar om de anläggningar som ställer till med riktigt stora katastrofer om de havererar brukar man internationellt försöka skydda dem mot en händelse med en återkomsttid på upp emot 10 000 år. Det låter kanske som en otroligt hög säkerhetsmarginal. Men i praktiken innebär det att risken då blir 1 procent för att det dimensionerande flödet inträffar inom ett sekel. Och dammarna står ofta längre än så. Om man tänker på att det finns över 50 000 stora dammar i världen så förstår man varför det då och då inträffar stora dammkatastrofer.

Beräkning av ett 100-årsflöde

Hur gör man då för att räkna fram ett 100-årsflöde? Ja, det är en vetenskap i sig. Metodiken kallas extremvärdesanalys eller mer allmänt frekvensanalys. Förenklat går

Återkomsttid i år	Sannolikhet för att det inträffar eller överträffas inom 50 år (%)	Sannolikhet för att det inträffar eller överträffas inom 100 år (%)
100	39	63
1000	5	9,5
10 000	0,5	1

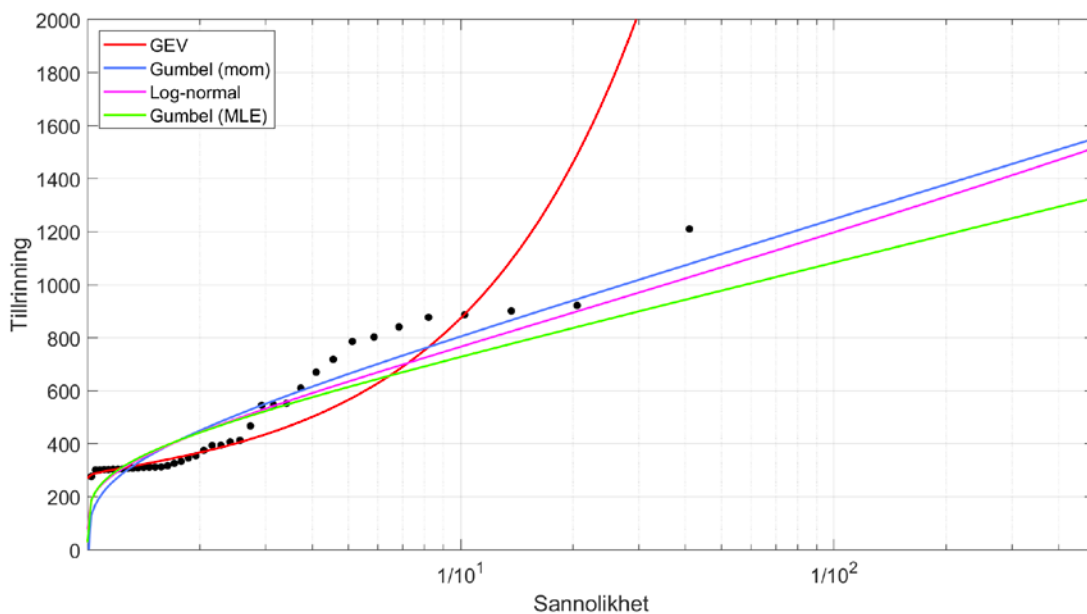
Sambandet mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikhet i procent. Denna tabell används än idag för att beskriva sambandet mellan återkomsttid och sannolikhet.



Man kan likna det vid att skjuta prick med en kortpipig pistol i dimma.

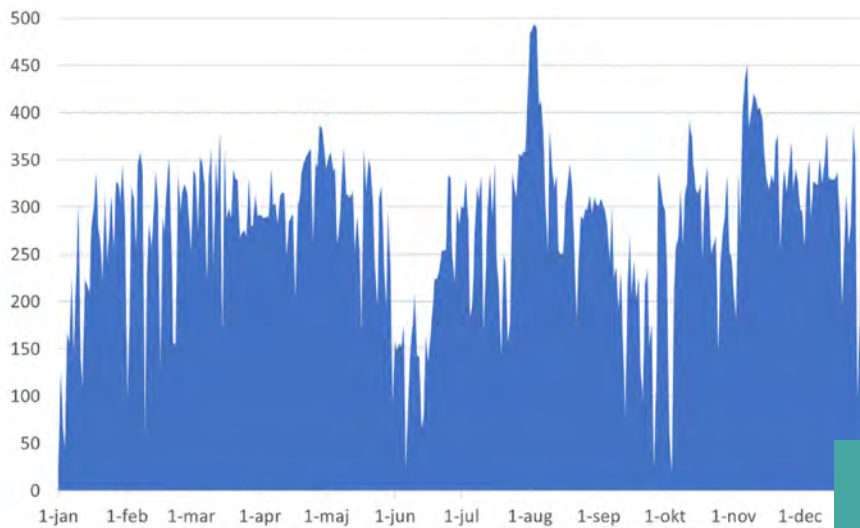
det till så här: Man plockar först fram det högsta mätvärdet för varje år inom den dataserie man har tillgång till. Dessa värden sorteras i storleksordning och ett matematiskt uttryck anpassas som skapar en graf. Sedan kan man läsa av återkomsttiden eller sannolikheten på ena axeln och motsvarande vattenflöde på den andra. Det låter nästan för bra för att vara sant, och det är precis vad det är. Det har visat sig att resultaten spretar alltmer ju extremare värden man räknar fram. Det krävs ju extrapolering långt utanför observationsseriens längd om man vill nå riktigt långa återkomsttider. Ett enda tillkommande mätvärde kan också i hög grad ändra kurvans form.

Det är extra svårt att göra beräkningar av extrema vattenflöden i reglerade vattendrag. Nu är människan med och påverkar flödena. Efterhand som älven byggs ut så kommer regleringen att få allt större betydelse för extremvärdena. Det betyder att man måste veta hur vattenregleringen kommer att påverka vattenflödena även i framtiden om man vill veta hur riskerna för höga flöden utvecklar sig. Och hur kan man egentligen veta detta, när såväl energiförsörjningssystemet som behoven av elkraft ändras?

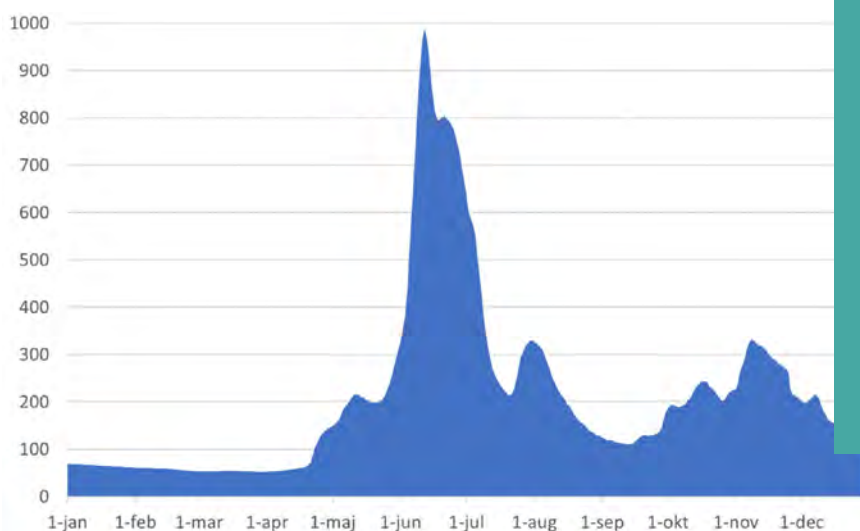


Visst kan frekvensanalysen spreta som här för Bålforsens kraftverk i Umeälven med två olika fördelningsfunktioner och två sätt att anpassa kurvorna till observationerna. Källa: Bilden är framtagen av SMHI till en kommande version av riktlinjerna för flödesdimensionering.

Harrsele, Umeälven, 2020



Granåker, Vindelälven, 2020



Ett bra exempel på skillnaderna mellan vattenflöden i en reglerad älv och en som är oreglerad hittar man om man jämför vattenföringen i den reglerade Umeälven med dess oreglerade biflöde Vindelälven. Harrsele är beläget i Umeälven uppströms de båda älvarnas sammanflöde i Vännäs. Diagrammen avser dygnsvärden på vattenflödena för året 2020. Data från SMHI.

Frekvensanalysens fördelar och brister diskuterades ingående av Flödeskommittén och inte minst med de internationella kollegorna. "Man kan likna det vid att skjuta prick med en kortpipig pistol i dimma", var det någon som uttryckte saken. En pragmatisk tumregel, som många höll sig till, var att man inte ska extrapolera frekvensanalysen längre än till den uppmätta seriens dubbla längd. Det innebär i praktiken att femtio års mätdata räcker till för att med någorlunda

säkerhet räkna fram ett 100-årsflöde. Längre än så bör man nog inte sträcka sig. Det betyder att det är minst sagt svårt att med någon precision räkna fram ett 1000-årsvärde och kanske praktiskt omöjligt att få fram ett 10 000-årsvärde. Alla håller inte med om detta. Extrapolering till långa återkomsttider är en standardmetod i många länder. Flödeskommittén kom fram till att man måste göra på ett helt annat sätt.



2. Ett nytt sätt att tänka och räkna

Här pågår ombyggnadsarbeten för att förse Håckrendammen i Indalsälven med ett nytt utskov och därigenom ytterligare höja säkerheten. Bilden är hämtad från Svenska kraftnät, Svensk Energi och SveMin (2015).
Foto: Vattenregleringsföretagen 2006.



Det skulle krävas ett nytt sätt att tänka och räkna när nya riktlinjer för beräkning av dimensionerande vattenflöden skulle tas fram. Detta var också möjligt, tack vara att det gick att genomföra datorsimuleringar av vattenkraftssystemet med hjälp av modern hydrologisk modellteknik. Men det krävdes också handfast arbete med analys och bearbetning av mätdata. Inte minst gällde det att försöka svara på frågan om hur mycket det egentligen kan regna i Sverige under ett dygn. 1990 lade Flödeskommittén fram ett förslag till riktlinjer för beräkning av dimensionerande flöden för dammanläggningar, som står sig väl än idag. Eftersom andra myndigheter och branscher anslutit sig till Flödeskommitténs resonemang och metodik har Flödeskommitténs föreslagna riktlinjer i praktiken blivit svensk standard när det gäller beräkning av extrema vattenflöden.

Inledande tankar i Flödeskommittén

Flödeskommittén ägnade det mesta av sin tid åt de allra viktigaste dammarna ur säkerhetssynpunkt, de som ska klara av ett flöde i flödesdimensioneringsklass I. Man tog bland annat kontakt med utländska kollegor och experter för att se om det fanns metoder som skulle kunna passa för svenska förhållanden. Ett antal studieresor genomfördes också.

Bland mycket annat som kommittén fick ta ställning till fanns två nyckelbegrepp, som ofta dök upp i olika länders riktlinjer för flödesdimensionering, PMP och PMF. PMP eller *the Probable Maximum Precipitation* är den värsta nederbörd som anses kunna drabba ett avrinningsområde. PMP definieras av den Världsmeteorologiska organisationen, WMO, som: "the greatest depth of precipitation for a given duration meteorologically possible for a design watershed or a given storm area at a particular location, a particular time of year, with no allowance made for long-term climatic trends" WMO (2009). Det finns olika sätt att beräkna detta värde, men man kan aldrig vara helt säker på att man har hittat rätt. Man kan likna frågan om hur mycket det kan det regna med idrottsvärldens klassiska fråga "Hur högt kan man hoppa?". Det finns egentligen ingen övre gräns. Förr eller senare hoppar alltid någon högre, men man kan inte hoppa hur högt som helst. Och man kan naturligtvis diskutera hur man ska tolka det något gåtfulla ordet *probable* i begreppet Probable Maximum Precipitation.

PMF står för *Probable Maximum Flood* och avser det resultat man uppnår när det extrema regnet omräknas till ett vattenflöde. Detta kan göras på många olika sätt och kräver hydrologiska bedömningar av olika slag. Det handlar om att kombinera olika flödesskapande faktorer på ett rimligt sätt. ICOLD uttrycker detta så här: "The details

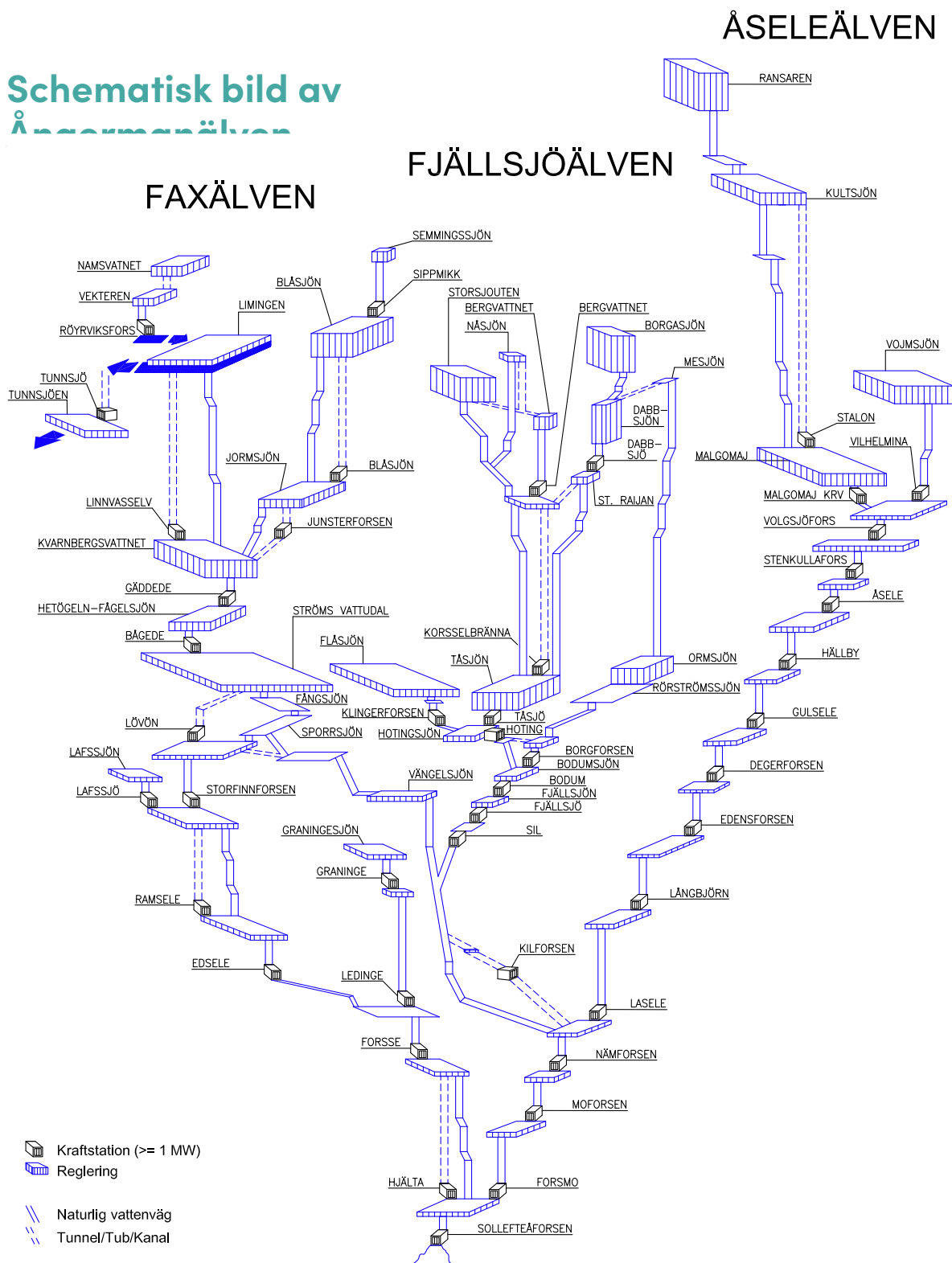


of how PMFs should be estimated vary with region, but a common attribute has been to consider the most severe combination of conditions that are reasonably likely to occur" (ICOLD, 2018). Observera att ordet *reasonably* har insmugit sig, vilket ger utrymme för lokala tolkningar och bedömningar.

Flödeskommittén kom fram till att begreppen PMP och PMF inte gav tillräcklig vägledning i arbetet med att ta fram nya svenska riktlinjer för flödesdimensionering vad avser dammar i flödesdimensioneringsklass I. Kunskapsinsamlingen visade att det saknades en internationellt accepterad standard eller praxis för flödesdimensionering av stora dammanläggningar. Man fann inte heller någon metod som kommittén ansåg vara lämplig för det svenska vattenkraftssystemet, med sitt komplicerade system av dammar och kraftverk och med kraftiga inslag av snösmältning. Till slut beslöt sig kommittén för att försöka utveckla en helt ny metod. Det blev de svenska hydrologiska förutsättningarna och vattenkraftssystemets utformning som avgjorde hur denna metod skulle utformas.

Vattenkraftproduktion görs i ett invecklat system av dammar och kraftverk som samverkar med varandra. För att komma fram till den värsta situation som en enskild damm kan hamna i måste man räkna på en blandning av naturliga extremflöden och reglerade vattenflöden från dammar längre upp i systemet. Man måste också göra antaganden om hur fulla vattenmagasinen var när den extrema flödessituationen drog igång. Det krävs alltså kunskap om hur hela systemet regleras och beter sig i en extrem situation. Man behöver bara ta en titt på den schematiska bilden av Ångermanälvens vattenkraftssystem för att förstå hur komplicerat detta kan bli.

Schematisk bild av Ångermanälven



Denna klassiska bild av Ångermanälvens system av vattenkraftverk och regleringsmagasin visar att vi har att göra med ett komplext system av kraftverk, dammar och överledningar av vatten. Observera att det finns en koppling till det norska vattenkraftssystemet i Faxälvens övre delar. Sjön Limingen i Norge utnyttjas som regleringsmagasin av både den svenska och den norska vattenkraften. Denna bild över Ångermanälven fick stor pedagogisk betydelse i Flödeskommitténs arbete. Källa: Vattenregleringsföretagen.

Det räcker inte med att ta fram enskilda extremvärden utan man måste beskriva hela flödesförlopp. Dessutom måste man ta hänsyn till årstidens betydelse. I en stor älv kan det samtidigt vara vinter längst upp i fjällen, vår någonstans i mitten och sommar närmast kusten. Det behövs alltså en modell som kan beskriva såväl hur naturen fungerar som hur människan reglerar älven.

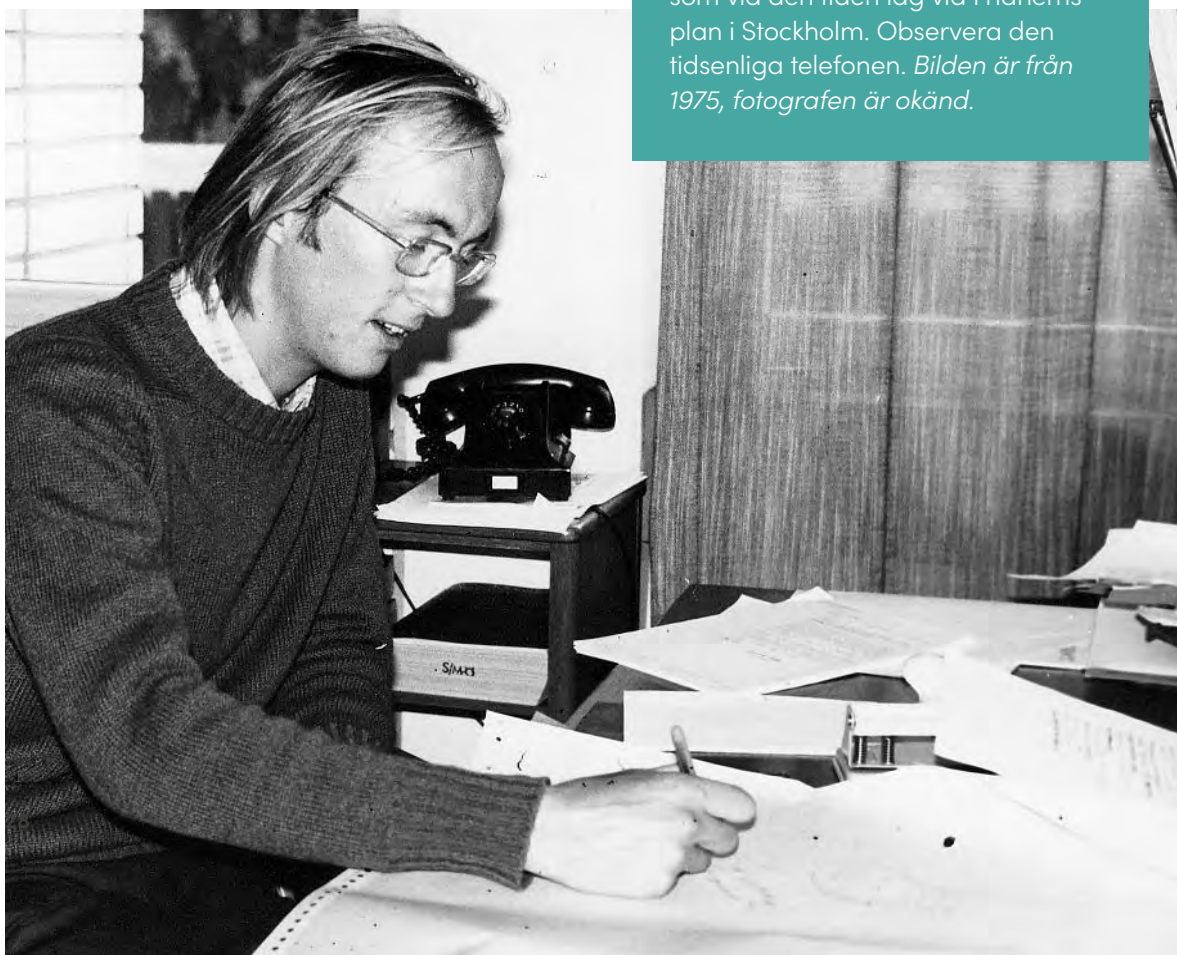
Till en början försökte Flödeskommittén ta en genväg. Man provade ganska förenklade sätt att beräkna extremflöden i vattenkraftsystemet, men resultaten övertygade inte. Flödeskommittén kom till slut fram till att det krävs en mer fullständig dynamisk modellering, baserad på modern hydrologisk modelleringsteknik, för att beskriva systemet. Detta hade då blivit möjligt tack vare framstegen inom hydrologisk modellteknik och datorernas stora beräkningskapacitet.

Dammar som ställer till med mindre skador vid haveri hamnar i flödesdimensioneringsklass II. För dessa nöjde sig kommittén med att föreslå att 100-årsvärdet ska vara dimensionerande. Det uppfattas ändå som ett mycket högt flöde av den som får uppleva det. Som jämförelse kan nämnas att när SMHI, långt senare, började klassificera sin flödesvarningar så motsvarade den högsta varningsklassen, klass 3, vattenflöden som uppkommer i snitt vart femtionde år. Det är inte alls ovanligt att ett sådant flöde inträffar någonstans i Sverige.

Hydrologisk modellteknik

På SMHI fanns sedan 1970-talet en matematisk modell som visat sig kunna räkna fram flöden i vattendragen med god noggrannhet. Det var ett datorprogram där man stoppade in nederbörds- och

Här arbetar författaren för fullt med att utveckla HBV-modellen på Hydrologiska byråns vattenbalansavdelning, som vid den tiden låg vid Fridhemsplan i Stockholm. Observera den tidsenliga telefonen. Bilden är från 1975, fotografen är okänd.

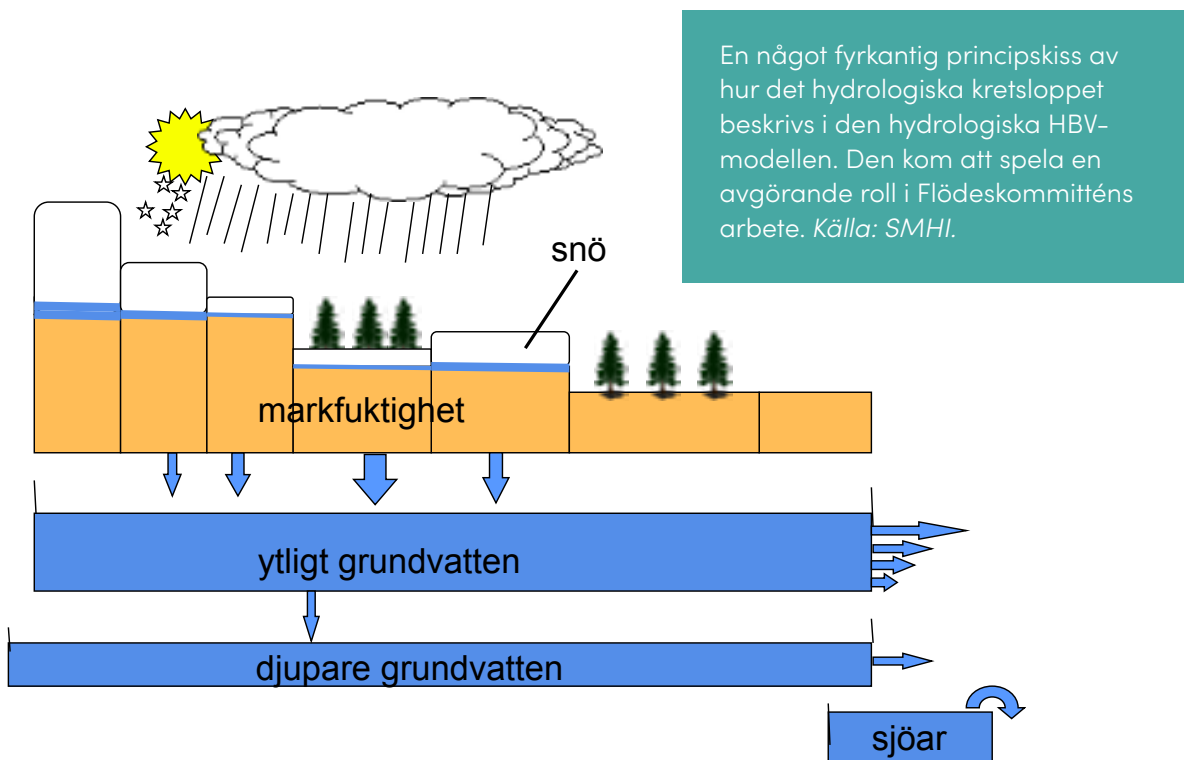


temperaturdata i ena ändan, beräknade avdunstning, markfuktighet och snöförhållanden och simsalabim fick man fram vattenföringen. Det hela var en enkel digital beskrivning av vattnets kretslopp, en hydrologisk modell. På sin tid innebar denna modell ett stort steg framåt för den tillämpade hydrologin.

Utvecklingen av den hydrologiska modellen skedde under första hälften av 1970-talet, en tid när en dator kallades för datamaskin och var jättestor och matades med hålkort eller hålremsor av papper. Modellen fick det lätt obegripliga namnet HBV-modellen, efter namnet på den avdelning på SMHI där den utvecklades (Hydrologiska byråns vattenbalansavdelning, HBV). Modellen var i första hand avsedd att användas för forskningsändamål och för prognoser över vattenflöden. Den första framgångsrika testkörningen med en första version av HBV-modellen skedde 1972 (Bergström, 1972).

Vattenkraftindustrin blev tidigt intresserad av HBV-modellen och i mitten av 1970-talet gjordes de första hydrologiska prognoserna på försök i Ångermanälven (Bergström och Jönsson, 1976; Bergström, 1978). Industrin hade därmed fått ett efterlängtat redskap för att bättre kunna planera regleringen av älvarna och driften av sina vattenkraftverk.

Utvecklingsarbetet skulle fortsätta med allt tätare samarbete med industrin. Ett användarvänligt produktionssystem för hydrologiska prognoser utvecklades (SMHI, 1996) och spridningen av HBV-modellen tog fart. Utanför Sveriges gränser tog Norge, som första land, tidigt till sig HBV-modellen. Där utvecklades efter hand egna modellversioner. Idag är HBV-modellen internationellt välkänd och en standardmetod för hydrologiska prognoser och liknande tillämpningar i en lång rad länder (Bergström 1995).



Att räkna med det värsta

När dammsäkerhetsfrågan dök upp uppstod det en helt ny roll för HBV-modellen. Man kom på att modellen kunde användas för att räkna fram hypotetiska extremflöden med en nivå som vida översteg vad som hittills uppmätts. Flödesskapande faktorer kunde kombineras på ett sådant sätt att man fick fram den allra värsta situation som en damm kan tänkas utsättas för. Inom ramen för Flödeskommitténs arbete togs ett simuleringsverktyg fram, med HBV-modellen i centrum. Det gjorde det möjligt att beräkna mycket extrema flöden men också att räkna fram hur systemet av regleringsmagasin samverkade i den extrema situationen.

Det är inte helt lätt att kortfattat sammanfatta den beräkningsmetod som Flödeskommittén föreslog för dammar i flödesdimensioneringsklass I. En detaljerad beskrivning finns i det officiella dokumenten som beskriver riktlinjerna. Den senaste utgåvan är från 2015 (Svenska kraftnät, Svensk Energi och SveMin, 2015). Principen för beräkningarna är att man låter simuleringsystemet systematiskt leta rätt på den allra värsta flödesituation som en given damm kan utsättas för genom en kombination det värsta regnväder som uppmätts i regionen, kraftigt snösmältning, blöt mark och fyllda vattenmagasin.

Regleringen av älvens vattenmagasin ställde kommittén inför ett dilemma. Skulle man räkna med att magasinerna alltid är fulla eller ska man kunna tillgodoräkna sig att regleringen tar hand om en del av flödena? Det slutade med en kompromiss. Det ansågs orimligt att anta att vattenmagasinen är fulla efter vintern när vårfloden startar. Därför räknade man med en avsänkning av vattenmagasinen inför vårfloden som kan anses vara normal när en kraftigare vårflod väntas. Däremot måste magasinerna antagligen vara fyllda senast den 1 augusti. Den senare



Man kom på att modellen kunde användas för att räkna fram hypotetiska extremflöden med en nivå som vida översteg vad som hittills uppmätts.

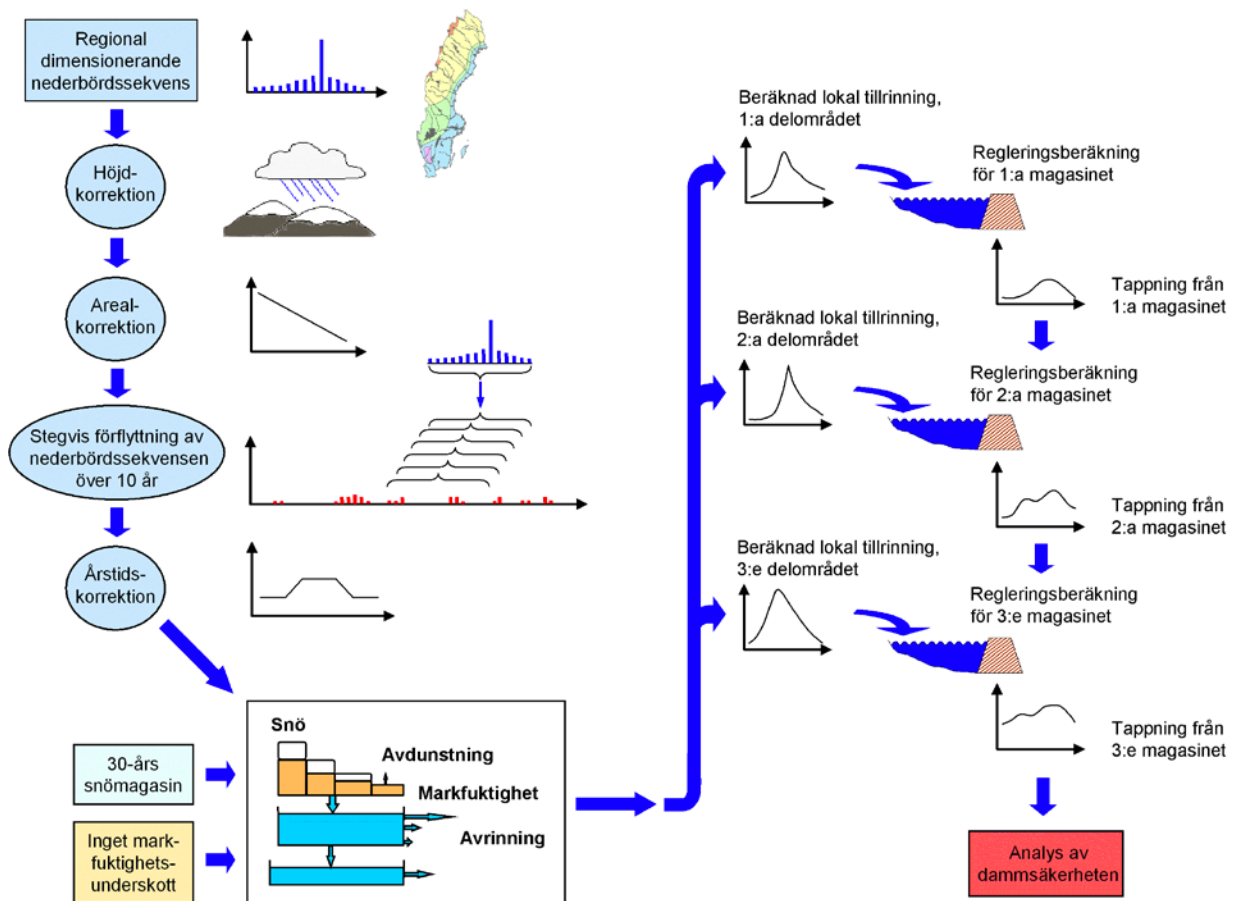
regeln skulle bli mycket omdiskuterad. Den innebär speciellt stränga krav på att dammarna ska kunna avbörda vatten under sensommaren och hösten. Regeln innebär också ett strängare krav för stora vattenmagasin och på de som ligger långt norrut och därför normalt fylls sent på året.

I större vattendrag räcker det oftast inte med ett dygnsregn för att ställa till med flödesproblem. Därför föreskrevs att beräkningarna ska utgå från en dimensionerande nederbördssekvens på 14 dagar. För att ta hänsyn till klimatets regionala skillnader delades landet in i fem regioner som var och en fick sin specifika nederbördssekvens. Under dag 9 i nederbördssekvensen antas det kraftigaste regn som fallit i den aktuella regionen under de senaste drygt 100 åren inträffa igen. Den dimensionerande nederbördssekvensen justeras också efter årstid, avrinningsområdets storlek och dess höjd över havet. Hur dessa justeringar ska gå till föreskrivs i detalj i riktlinjerna.

Hur gör man då med snön? Där låter man HBV-modellen göra jobbet. Med hjälp av modellen kan man räkna fram ett mäktigt snötäcke, som igenomsnitt bara överträffas vart 30:e år. Detta antas inträffa under vart och ett av de år som används när man letar sig fram det värsta flödesscenariot. På så sätt kan man också ta hänsyn till kritiska kombinationer av snösmältning och regn i beräkningarna.

Nu var förutsättningarna klara. Sedan var det bara att systematiskt leta fram i vilket läge, under minst tio år, som en kombination av de flödesskapande faktorerna skulle leda till de värsta konsekvenserna för den analyserade dammen, det dimensionerande tillfället. För att hitta detta krävdes drygt 3 600 modellberäkningar för varje damm. Det låter kanske mycket, men det är ju för att räkna som vi har datorerna. Beräkningarna resulterade i såväl ett dimensionerande vattenflöde som en dimensionerande vattennivå, dim Q respektive dim W, för dammen.

Resultatet av beräkningar av flöden i flödesdimensioneringsklass I blir ofta häpnadsväckande höga vattenflöden, som vida överstiger vad som hittills uppmäts. Men de är ändå inte fysikaliskt orimliga. Var och en av de ingående flödesskapande faktorerna, såsom regn, snötäcke och vattennivåer har ju inträffat, åtminstone någon gång. Men de har hittills aldrig samverkat på detta kritiska sätt. Åtminstone inte så att vi har kunnat observera det. De nya beräknade extremflödena visade sig i genomsnitt vara ungefär 2½ gånger så stora som de flöden som hittills uppmäts i fält.



Schematisk beskrivning av beräkningsgången vid dimensioneringsberäkningar av ett flöde av flödesdimensioneringsklass I enligt Flödeskommitténs riktlinjer. Notera den hydrologiska modellens centrala roll i beräkningarna. Källa: Svenska kraftnät, Svensk Energi och SveMin (2015).

Hur mycket kan det regna?

När arbetet i Flödeskommittén inleddes under våren 1985 dök det upp mängder av frågor. Hur konstigt det än kan låta så fanns det ingen som visste hur mycket det kunde regna i Sverige när det var som värst. Visserligen hade man på SMHI noterat ett antal nederbördsrekord från enskilda mätstationer, men här handlade det om något helt annat. Det gällde att reda ut hur mycket regn som kunde komma över ett helt avrinningsområde under 24 timmar. Området storlek berodde på var i systemet den aktuella dammen befann sig. De minsta områdena kanske hade ett tillrinningsområde på omkring hundra kvadratkilometer medan dammarna nära älvmyningarna kunde ha tillrinningsområden som var större än 10 000 kvadratkilometer.

Sedan slutet av 1800-talet hade SMHI mätt nederbörd på ett flertal platser i Sverige, men det var inte alltid på de platser som är mest intressanta för vattenkraftens anläggningar. Och vad värre var, de flesta observationerna var inte digitaliserade. De förvarades som handskrivna protokoll i pärmar i SMHI:s arkiv. Där fanns ca 20 miljoner mätvärden som behövde gås igenom manuellt. Det blev ett stort arbete att sortera ut de största regnmängder som uppmätts och kartlägga de mest extrema arealmängderna. Allt skedde för hand. Utan klimatologernas entusiasm och tålmodig och samvetsgrann kontorspersonal på SMHI hade det inte blivit något av med detta. Arbetet tog några

år och resulterade i en unik rapport som kanske var en av de sista stora handgjorda klimatstudierna. Rapporten, som skrevs av de två erfarna klimatologerna Haldo Vedin och Bertil Eriksson, hade titeln *Extrem arealnederbörd i Sverige 1881-1988*. (Vedin och Eriksson, 1988) och blev en viktig bilaga till Flödeskommitténs slutrapport. Ett sådant arbete görs inte idag! Det händer fortfarande att det bland kollegor skämtsamt talas om Haldoregn (efter Haldo Vedin) när man avser ett riktigt kraftigt regn över en stor areal.

I nederbördsrapporten redovisas de värsta arealregn som uppmätts under perioden 1881-1988, d.v.s. under drygt 100 år. Författarna koncentrerade sig på arealer som var speciellt intressanta för vattenkraftssystemet, i första hand 1000 kvadratkilometer, men 10 000 kvadratkilometer analyserades också. Det allra värsta regnet som man hittade var 150 millimeter under 24 timmar över en yta av 1000 kvadratkilometer. Det motsvarar 150 miljoner kubikmeter vatten. Detta regntillfälle inträffade den 13-14 augusti 1945 i södra Småland. Lägg detta värde på minnet! Vi återkommer till det.

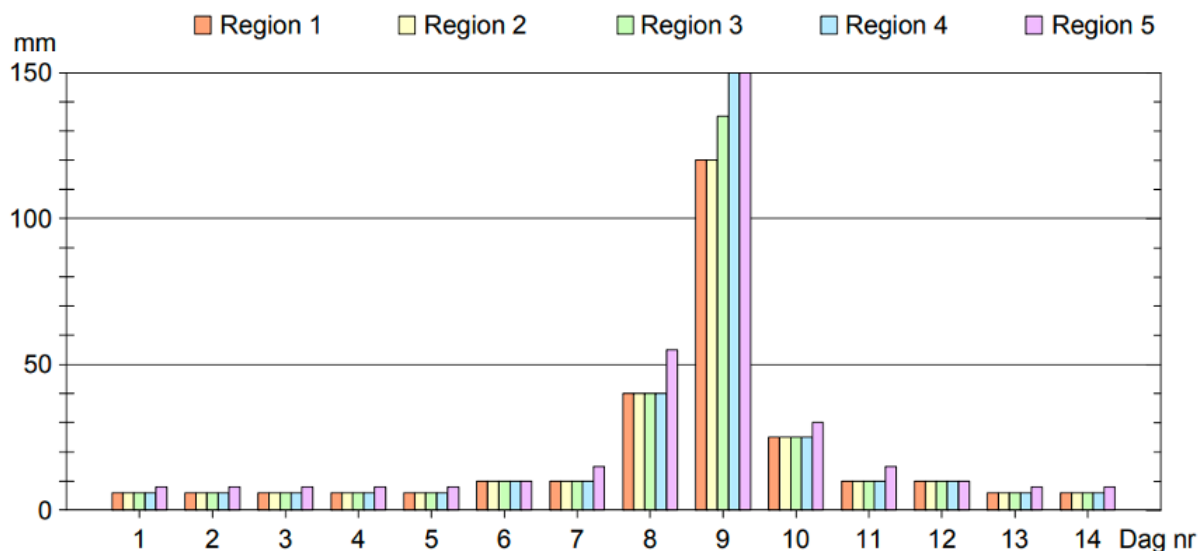
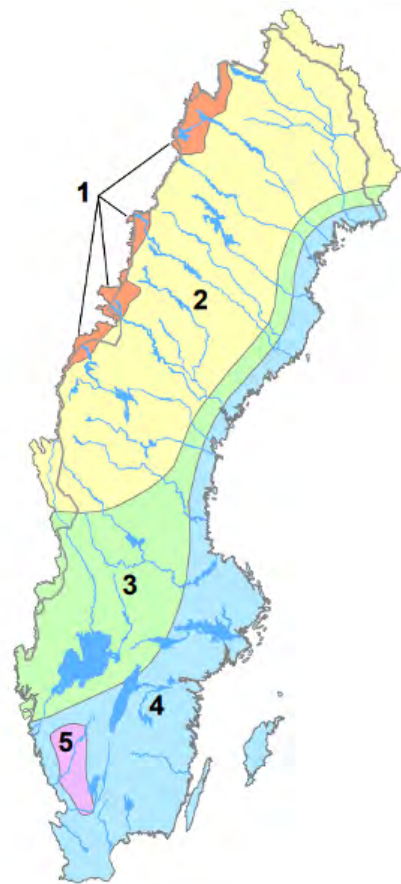
Med rapporten om extrem arealnederbörd hade man en någorlunda fast punkt att hålla sig till. Men många frågor återstod. Det krävdes studier av hur den extrema nederbörden fördelade sig över årstider och hur förhållandena var i olika delar av landet. En annan fråga var hur man skulle korrigera nederbörden för avrinningsområdets storlek



Hur konstigt det än kan låta så fanns det ingen som visste hur mycket det kunde regna i Sverige när det var som värst.

och hur högt över havet som det var beläget. Dessutom krävde den tänkta beräkningsmetoden en dimensionerande nederbördssekvens över en period på 14 dygn. Det var verkligen mycket att tänka på! Inte undra på att Flödeskommittén behövde fem år för att slutföra sitt uppdrag. Till slut satte man ner foten och fastställde vilken nederbörd som skulle vara dimensionerande i olika delar av landet och hur alla korrekationer skulle gå till. Sen var det bara att hoppas att dessa värden inte skulle överträffas alltför ofta när nya regn inträffade.

Regionindelning vid val av dimensionerande nederbördssekvens och årstidskorrektur. Källa: Svenska kraftnät, Svensk Energi och SveMin (2015).



Dimensionerande nederbördssekvenser för olika regioner i landet. Diagrammet avser arealnederbörd över 1000 km² angiven i mm/dygn. Källa: Svenska kraftnät, Svensk Energi och SveMin (2015).

Funderingar på järnvägsstationen i Katrineholm

När vi arbetade som intensivast med att ta fram de nya riktlinjerna för flödesdimensionering av dammar hade vi många diskussioner om hur man ska tolka statistik och beräkna sannolikheter. Vi måste ibland övertyga oss själva om att vi tänkte rätt. En liten minnesvärd episod utspelade sig i väntsalen på järnvägsstationen i Katrineholm under ett tågbyte. Vi var en liten grupp från SMHI som var på väg från Oslo till Norrköping, efter intensiva diskussioner med norska kollegor om flödesdimensionering. Vi var faktiskt inte helt överens med norrmännen. I Norge var man inspirerad av engelska forskare som utvecklat en metod som byggde på att man försökte hitta en teoretisk övre gräns för regnet, d.v.s. PMP, medan vi var inne på att utgå från det värsta regn som uppmätts och i stället fokusera på en kritisk kombination av alla de faktorer som skapar ett flöde.

Nu satt vi alltså i Katrineholm och väntade på tåget till Norrköping. Golvet i väntsalen bestod av fyrkantiga stenplattor. Ungefär så här utspann sig samtalet:

"Hur stor sannolikhet är det att vi får vårt värsta uppmätta regn på 150 mm en gång till någonstans i landet?"

"För varje år borde det väl vara ungefär ett på hundra eftersom det var den tidsperiod vi analyserade när vi hittade regnet".

"Ok, men hur stor sannolikhet är det då att detta regn drabbar just den dammanläggning som vi är intresserade av?"

Vi stirrade på golvets något hundratal lika stora fyrkantiga stenplattor. Vi försöker tänka oss en sverigekarta med samma rutmönster och att regnet skulle antas falla i en av dessa rutor.

"Hm, eftersom Sveriges yta är ca 450 000 kvadratkilometer så blir det ungefär 450 stycken rutor om var och en är 1000 kvadratkilometer stor".

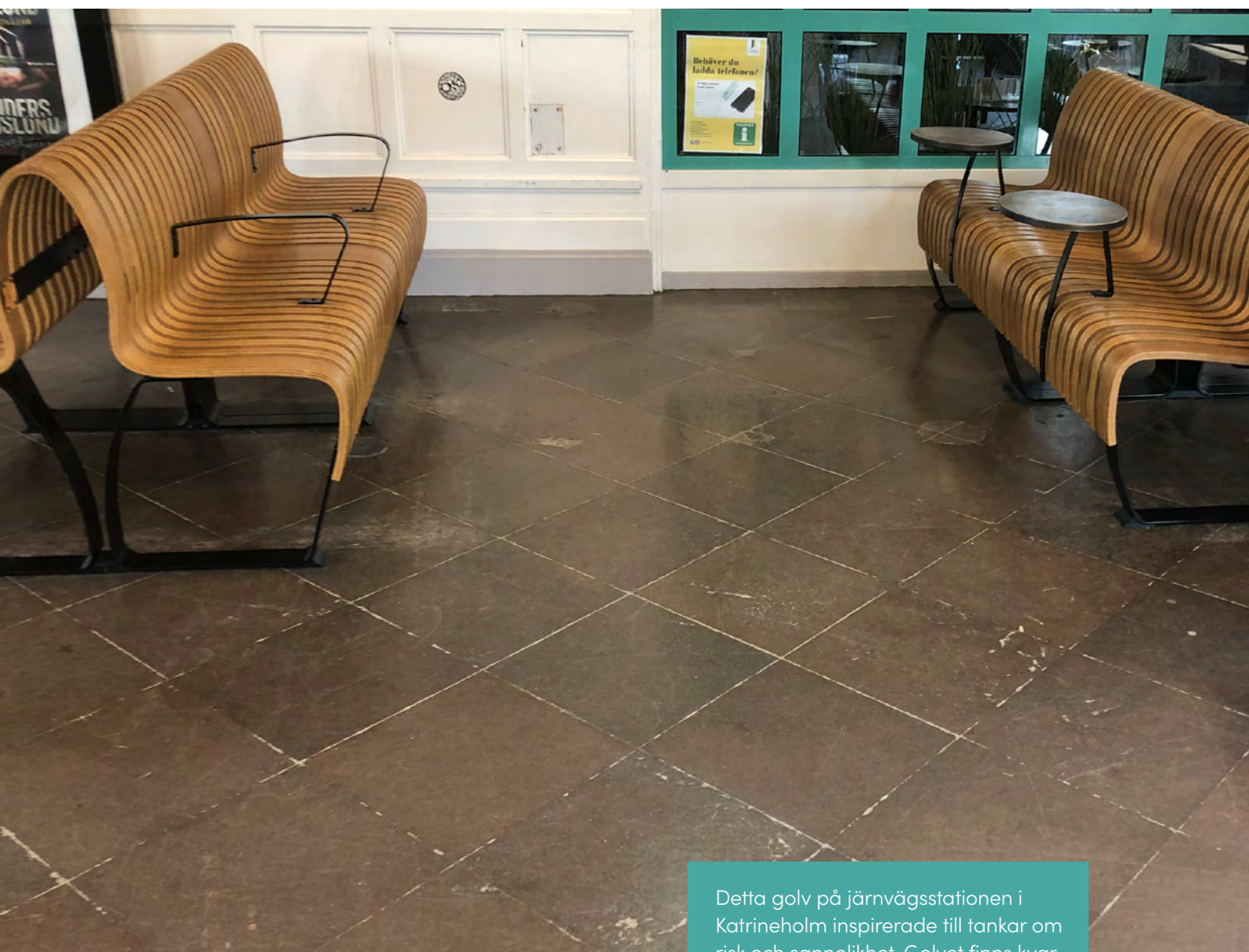
"Det betyder alltså att sannolikheten för att detta rekordregn ska drabba ett enskilt 1000 kvadratkilometer stort avrinningsområde under ett givet år är ca ett på 100 gånger ett på 450, d.v.s. ett på 45 000? Kan man tänka så enkelt?"

"Men det förutsätter naturligtvis att landets klimat är någorlunda likartat överallt, det vill säga att alla rutor är lika sannolika."

"Ok, vi får kolla det."

"I våra beräkningar av det dimensionerande flödet antar vi dessutom att snösmältningen är extrem och att vattenmagasinen ska vara fyllda. Då måste den samlade sannolikheten för att alla faktorer ska inträffa samtidigt vara extremt låg för varje enskild dammanläggning. Eller hur?"

Så där höll vi på och resonerade hit och dit. Frågan förföljde oss. Vi insåg efter hand att man kan uppnå mycket hög säkerhet genom att kombinera flödesskapande faktorer på värsta tänkbara sätt, utan att var och en av dem behöver vara särskilt extrem. En olycklig kombination av dessa faktorer är mer avgörande för hur flödessituationen utvecklar sig än det enskilda extrema regnets storlek. Simuleringsverktyget hjälpte oss att hitta den värsta kombinationen men vi famlade fortfarande när det gäller att beräkna sannolikheten för att denna händelse ska inträffa. Detta funderar vi på än idag.



Detta golv på järnvägsstationen i Katrineholm inspirerade till tankar om risk och sannolikhet. Golvets finns kvar än idag, liksom tankarna.
Foto: Sten Bergström, augusti 2021.



Hur stor sannolikhet är det att vi får vårt värsta uppmätta regn på 150 mm en gång till någonstans i landet?

Klara, men inte färdiga!

1990 blev Flödeskommittén klar med sitt arbete som då pågått i fem år. Slutrapporten godkändes av såväl SMHI som kraftindustrins företrädare. Regeringen informerades om att vattenkraftindustrin från och med nu arbetade efter nya och säkrare riktlinjer för beräkning av dimensionerande flöden för dammanläggningar. Så här i efterhand kan man naturligtvis fråga sig om detta verkligen hade behövt ta så lång tid. Men ibland är det bra att ha tålamod. Den långa utredningstiden gav utrymme för eftertanke. Olika förslag kunde prövas och preliminära resultat kunde diskuteras med vattenkraftindustrin och andra experter. En remiss-utgåva utgavs också. Denna dialog avslöjade

en del svagheter som vi kunde rätta till. Det var först mot slutet av denna process som Flödeskommittén insåg att det rimligaste var att låta riktlinjerna bygga på kompletta hydrologiska beräkningar för hela avrinningsområden. Då hade utvecklingen av den hydrologiska modelltekniken gjort detta möjligt.

Med detta kortfattade brev rapporterade SMHIs generaldirektör Hans Sandebring till regeringen att Flödeskommitténs arbete var slutfört.

"Vattenkraftindustrin, representerade av Vattenfall och Kraftverksföreningen, har i skrivelse till SMHI uttalat att de av Flödeskommittén föreslagna riktlinjerna kan ligga till grund för beräkningar av dimensionerade flöden samt att kraftindustrin kommer att taga ett aktivt ansvar vid tillämpningen av de nya riktlinjerna."

SMHI

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
Hydrologiska/Oceanografiska avd
Handläggare
Direktör Ulf Ehlin, EF

Datum 1990-11-08
En datum
Beteckning 9091-379/323
En beteckning

Till
Regeringen
Kommunikationsdepartementet
103 33 STOCKHOLM

Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden vid kraftverks- och vattenregleringsdammar

SMHI informerade Regeringen i skrivelse 1985-04-01 om att institutet tillsammans med vattenkraftindustrin beslutat tillsätta en kommitté med uppgift att utarbeta förslag till riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden vid kraftverks- och regleringsdammar. Kommittén, som antog namnet Flödeskommittén, har nu slutfört sitt arbete och avlämnat sin slutrapport. En preliminär version av slutrapporten har av kommittén under arbetets gång remitterats till ett antal berörda myndigheter, vattenkraft- och vattenregleringsföretag samt forskningsinstitutioner.

Flödeskommitténs arbete har lett fram till ny kunskap om extrema hydrologiska förhållanden i Sverige. Denna kunskap motiverar betydligt större dimensionerande flöden än vad som tidigare tillämpats vid svenska dammanläggningar och de nya riktlinjerna har utformats med hänsyn härtill.

Vattenkraftindustrin, representerade av Vattenfall och Kraftverksföreningen, har i skrivelse till SMHI uttalat att de av Flödeskommittén föreslagna riktlinjerna kan ligga till grund för beräkningar av dimensionerande flöden samt att kraftindustrin kommer att taga ett aktivt ansvar vid tillämpningen av de nya riktlinjerna.

SMHI informerar nu vattendomstolarna, länsstyrelserna m fl om de nya riktlinjerna och den nya hydrologiska kunskap som de är baserade på. En motsvarande information lämnas även till Vägverket, Banverket och andra organ vars verksamheter påverkas av extrema flöden. Ett exemplar av Flödeskommitténs slutrapport bilägges.

Hans Sandebring

Ulf Ehlin

Kopia till:

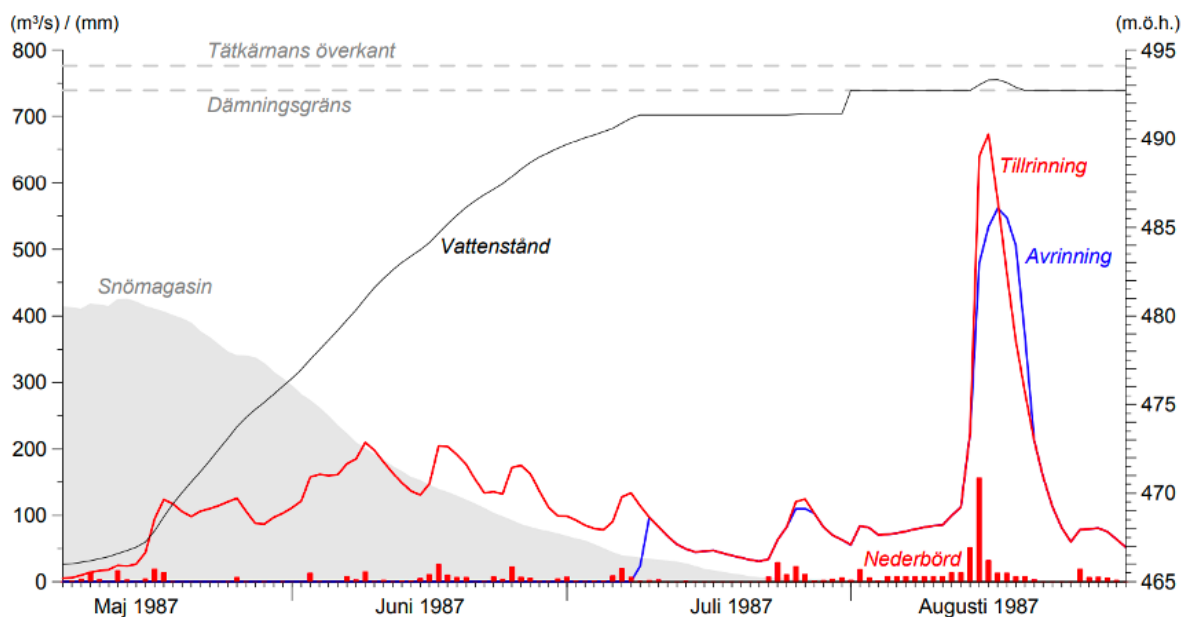
Försvarsdepartementet
Industridepartementet
Miljödepartementet
Vattenfall
Kraftverksföreningen



Kan det verkligen bli så höga flöden i älvarna?

När de första beräkningarna med den nya metoden redovisades var det en och annan som skakade på huvudet. Kan det verkligen bli så höga flöden i älvarna? De extrema år som följde skulle dock visa att beräkningarna var realistiska.

Alltsedan 1990 har de riktlinjer för beräkning av dimensionerande flöden som föreslog av Flödeskommittén, varit grunden vid översynen av säkerheten för Sveriges dammar. Denna översyn pågår än idag. Många miljarder har hittills investerats för att höja dammarnas säkerhet. Eftersom andra myndigheter och branscher anslutit sig till Flödeskommitténs resonemang och metodik så kan man säga att Flödeskommitténs föreslagna riktlinjer för flödesdimensionering numera är svensk standard när det gäller beräkning av extrema vattenflöden och nivåer.



Ett diagram som visar beräknad tillrinning, avrinning och vattenstånd för Håckrendammen i Indalsälven vid det dimensionerande flödet i flödesdimensioneringsklass I. Detta flöde skulle inträffa om Flödeskommitténs föreskrivna förutsättningar, inklusive den dimensionerande regnsekvensen, skulle sammanfalla med 1987 års väder. Källa: Svenska kraftnät, Svensk Energi och SveMin (2015).



Messauredammen i Stora Lule älv är ett av Sveriges allra största byggnadsverk. Den kommer att vara en viktig del av det svenska vattenkraftssystemet långt in i framtiden.
Foto: Sten Bergström.



Leveransen av Flödeskommitténs slutrapport innebar inte att arbetet var avslutat. Det hade bara börjat.

Leveransen av Flödeskommitténs slutrapport innebar inte att arbetet var avslutat. Det hade bara börjat. Nu inleddes en översyn av samtliga aktuella dammar i Sverige, ett gigantiskt beräkningsarbete. Samarbetet mellan SMHI och kraftindustrin i flödesfrågor fortsatte och fördjupades. Man samlades årligen i en arbetsgrupp, med namnet Flödeskonferensen, för att följa upp hur beräkningsarbetet fungerade i verkligheten. Nya extrema naturhändelser kom att påverka detta arbete. Flödeskonferensens arbete ledde till några smärre justeringar och förtydliganden av riktlinjerna men den grundläggande principen kvarstår. En första uppföljningsrapport över genomförda dimensioneringsberäkningar enligt Flödeskommitténs riktlinjer sammanställdes av Brandesten et al., (2006). I rapporten ifrågasattes det antagande som kommit att användas att dammarna inte överströmmas under den extrema situationen. Detta ledde till ändrad praxis vid fortsatta tillämpningar.



2007 gav Svenska kraftnät SMHI i uppdrag att genomföra en uppföljning av genomförda dimensioneringsberäkningar och extrema väderobservationer som tillkommit sedan 1990 för att se hur Flödeskommittén riktlinjer stod sig.

Flödeskommitténs förslag till hur flödesdimensionering ska gå till har fungerat väl även när nyare data blivit tillgängliga, dock med ett viktigt undantag. Det rekordblöta året 2000 och den efterföljande milda vintern, som bland annat ledde till stora översvämningssproblem runt Väneren, avslöjade en svaghet hos metoden. Det visade sig att riktlinjerna var otillräckliga för den stora sjön Väneren. Efter omfattande beräkningar drog man slutsatsen att den dimensionerande nederbördssekvens, som Flödeskommittén föreslagit, var för kort för att beskriva Vänerens problem (Bergström, et al., 2005). Ett undantag för stora sjöar infördes i nyttgåvan av riktlinjerna 2007. De stora sjöarnas översvämningssproblem skulle bli en het potatis under kommande år.

2007 gav Svenska kraftnät SMHI i uppdrag att genomföra en uppföljning av genomförda dimensioneringsberäkningar och extrema väderobservationer som tillkommit sedan 1990 för att se hur Flödeskommittén riktlinjer stod sig. I första hand tittade man på om de fanns anledning att justera den dimensionerande nederbördssekvensen, när nytillkomna data från extrema händelser fanns tillgängliga. Speciellt intressant var en jämförelse med rekordnoteringen från Småland 1945, 150 mm 24 timmar över en yta på 1000 kvadratkilometer. Detta värde är något av arbetets fixpunkt. Sommaren 1997 överträffades detta rekordvärde med 5 mm vid ett regn i Piteå. Annars har alla extrema arealregn som uppmätts i landet sedan 1990 legat lägre än rekordet från Småland 1945.

Samma år som skyfallet i Piteå drabbades Fulufjäll i norra Dalarna av ett skyfall som troligen också överträffar Flödeskommitténs riktvärde. Detta regn har dock inte fångats upp av SMHI:s officiella mätstationer och har därför inte använts i uppföljningen annat än som en notering. SMHI:s utvärdering, som skrevs på engelska, mynnade ut i följande sammanfattande slutsats (Bergström et al., 2008): "Altogether, based on the most recent observations and the present study, there is for the time being no reason to change the basic assumptions in the Swedish guidelines for design flood determination, but the development of extreme events should be monitored and analysed closely even in the future. This is particularly important in the light of the recent warming that is observed both globally and in Sweden". Riktlinjerna håller ett tag till alltså, men håll koll på klimatfrågan!

I samma uppföljning gjordes också ett första försök att svara på den näst intill omöjliga frågan om vilken återkomsttid ett flöde av flödesdimensioneringsklass I har. Visserligen är det orimligt att med frekvensanalys beräkna en händelse med en återkomsttid på 10 000 år om vi bara utgår från en mätserie. Med vad händer om vi använder en stor mängd serier? Martin Häggström på SMHI tog på sig uppgiften. Han utgick från sammanlagt 71 dimensioneringsberäkningar i måttligt reglerade vattendrag och tänjde frekvensanalysen tills den nådde 10 000 år. En enormt lång extrapolering alltså. Sedan jämförde han de 71 beräknade värdena på 10 000-årsflödet med motsvarande

beräknade flödena i flödesdimensioneringsklass I. Den genomsnittliga kvoten mellan 10 000-årsflödet och klass I-flödet blev 0,74, vilket antyder att klass I-flödet i genomsnitt har en längre återkomsttid än 10 000 år. I rapporten formulerades detta, med mycket stor försiktighet, på följande vis: "It seems reasonable to assume that the return period for a design flood for Category I conditions according to the Swedish guidelines on average probably is longer than 10,000 years, but conclusions should not be stretched further than that" (Bergström et al., 2008). Nu har det gått ytterligare ett antal år med väderhändelser och vi har tillgång till mängder av nya beräkningar. Det kanske är dags att göra om Martin Häggströms beräkningar?

2019 publicerades ytterligare en uppföljning av de svenska riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden. Denna gång författad av Katarina Losjö, Johan Södling, Lennart Wern och Jonas German på SMHI som sammanfattade resultatet på följande vis: "Slutsatsen är att inga förändringar av kriterierna i riktlinjerna för beräkning av dimensionerande flöden för dammanläggningar behöver göras i dagsläget." (Losjö et al., 2019).

Det är naturligtvis en glädje, och i viss mån en lättnad, att principer och förutsättningar i Flödeskommitténs riktlinjer visat sig vara rimliga vid de utvärderingar som hittills gjorts. Undantaget är problemet med riktigt stora sjöar, som undantagits i senare utgåvor. En tillkommande fråga är hur man skall ställa sig till den globala uppvärmningen. Den återkommer vi till.



Slutsatsen är att inga förändringar av kriterierna i riktlinjerna för beräkning av dimensionerande flöden för dammanläggningar behöver göras i dagsläget.

HBV-modellens utveckling

Hur gick det då för HBV-modellen? Riktigt bra faktiskt. Den spred sig över världen och har idag prövats för många olika ändamål i omkring 100 länder och har dessutom använts i ett 50-tal doktorsarbeten. Det är många som uppskattar att modellen är enkel att förstå och använda och att den ger goda resultat. Svårare än så behöver det inte vara att omsätta meteorologi till hydrologi! HBV-modellen globala spridning visade att dess grundläggande struktur på ett rimligt sätt tolkar vattnets kretslopp under många olika klimatförhållanden. Detta skulle bli betydelsefullt när modellen så småningom började användas alltmer för studier av vad klimatförändringen kan komma att leda till.

Utvecklingen av HBV-modellen fortsatte och en uppgraderad modellversion lanserades 1997 (Lindström et al., 1997). Den visade sig fungera bättre för extrema vattenflöden och blev en nya standardmodell på SMHI. Alla blev inte lika glada över detta. Ungefär så här kunde informella kommentarer lyda: "Vanudå? Ska ni komma med nya resultat just som vi bestämt oss för hur vi ska bygga om dammarna, baserat på era tidigare beräkningar?" Detta är något som ligger i forskningens natur och som man måste lära sig hantera. Det dök också upp nya modell-

varianter lite varstans i världen. Alla kallades för HBV-modellen, kanske med något tillägg, och man hänvisade artigt till SMHI som ursprungskälla. Men det skiljde sig en del i olika beräkningsdetaljer mellan de olika varianterna.

Så sent som hösten 2021 publicerades en sammanfattning av HBV-modellens 50-åriga historia för en internationell läsekrets (Seibert och Bergström, 2021).

Statens nya roller

Vad såg vi egentligen framför oss när arbetet med flödesdimensionering tog fart under 1980-talet? Alla blev så småningom överens om att de behövdes en metod som skulle vara vägledande för dimensionering av dammanläggningar, men vad skulle denna metod kallas. Var det fråga om regler, normer eller föreskrifter och vilken juridisk status skulle förslaget få? Till slut fastnade Flödeskommittén för det neutrala ordet *riktlinjer*. Det handlade ju i första hand om industrins eget regelverk.

Flödeskommittén formulerade innebörden av benämningen riktlinjer på följande sätt: "Beteckningen riktlinjer innebär, att de inte avses utgöra några juridiskt bindande normer. En sträng enhetlig, normativ dimensioneringsbestämmelse med lika tillämpning för alla dammar är inte tänkbar på grund av de många faktorer, som visserligen samverkar men på olika sätt i skilda dammlägen. Det har emellertid förutsatts, att riktlinjernas tillämpning särskilt vid vattendomstolarnas prövning skall leda till en sådan praxis – fast när det gäller huvudprincipen, men smidig, när det gäller detaljer – att en formell auktorisation i annan ordning kan undvaras." Detta var ännu ett prov på ordföranden Lennart af Klintbergs formuleringskonst, som man nog måste läsa mer än en gång för att förstå vad som

menas. Trots att begreppet riktlinjer användes av Flödeskommittén så kom den föreslagna beräkningsmetoden ändå att bli så gott som juridiskt bindande efterhand som vattendomstolarna, och senare mark- och miljödomstolarna och andra myndigheter, började anamma beräkningar enligt Flödeskommitténs förslag.

En stor fördel med Flödeskommitténs föreslagna beräkningsmetod för flöden i flödesdimensioneringsklass I var att den var noggrant specificerad. De flesta uppgifter som krävs för en beräkning kan hämtas från dokumentet. På så sätt blev det ett vägledande dokument i ordets bästa bemärkelse. Detta var en medveten strategi av kommittén som uttryckte detta på följande sätt: "En strävan vid riktlinjernas tillkomst har varit att ge dem en sådan utformning, att så litet utrymme som möjligt ges för en subjektiv bedömning." Långt senare skulle det visa sig vilken betydelse denna strategi skulle komma att få. Det var många utanför kraftindustrin som letade efter en metod för beräkning av extrema flöden. När arbetet med flödesdimensionering pågick en tid var det många som tog efter. Här fanns ju en färdig och väl dokumenterad metod som SMHI och vattenkraftindustrin tycker är rimlig, så varför inte göra likadant? Flödeskommitténs riktlinjer var på väg att bli en nationell standardmetod.



Flödeskommitténs
riktlinjer var på väg
att bli en nationell
standardmetod.



Kan vattnet verkligen stiga så högt?

Räddningsverket/MSB

Under slutet av 1990-talet inledde Räddningsverket, nuvarande Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), ett omfattande och banbrytande arbete med översiktliga översvämningskarteringar. Det framställdes kartor där var och en med egna ögon kunde studera riskområden för översvämningar där de bodde eller verkade. Beräkningarna genomfördes av olika konsulter, varav SMHI var en. Efterhand förenklades då benämningen från *Beräknat högsta flöde enligt Flödeskommitténs riktlinjer för dammdimensionering (dammar i riskklass I)* till *Beräknat högsta flöde, BHF*.

Till en början hade underlaget till översvämningskartorna låg upplösning varför det betonades att detta var just en *översiktlig* kartering. Efter Lantmäteriets stora karteringsinsatser, som blev en följd av Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU, 2007), blev precisionen mycket bättre och mer detaljer kunde analyseras. Allt har hela tiden publicerats på nätet och det är säkert många som hajat till när de studerat de färgglada kartorna. Kan vattnet verkligen stiga så högt?

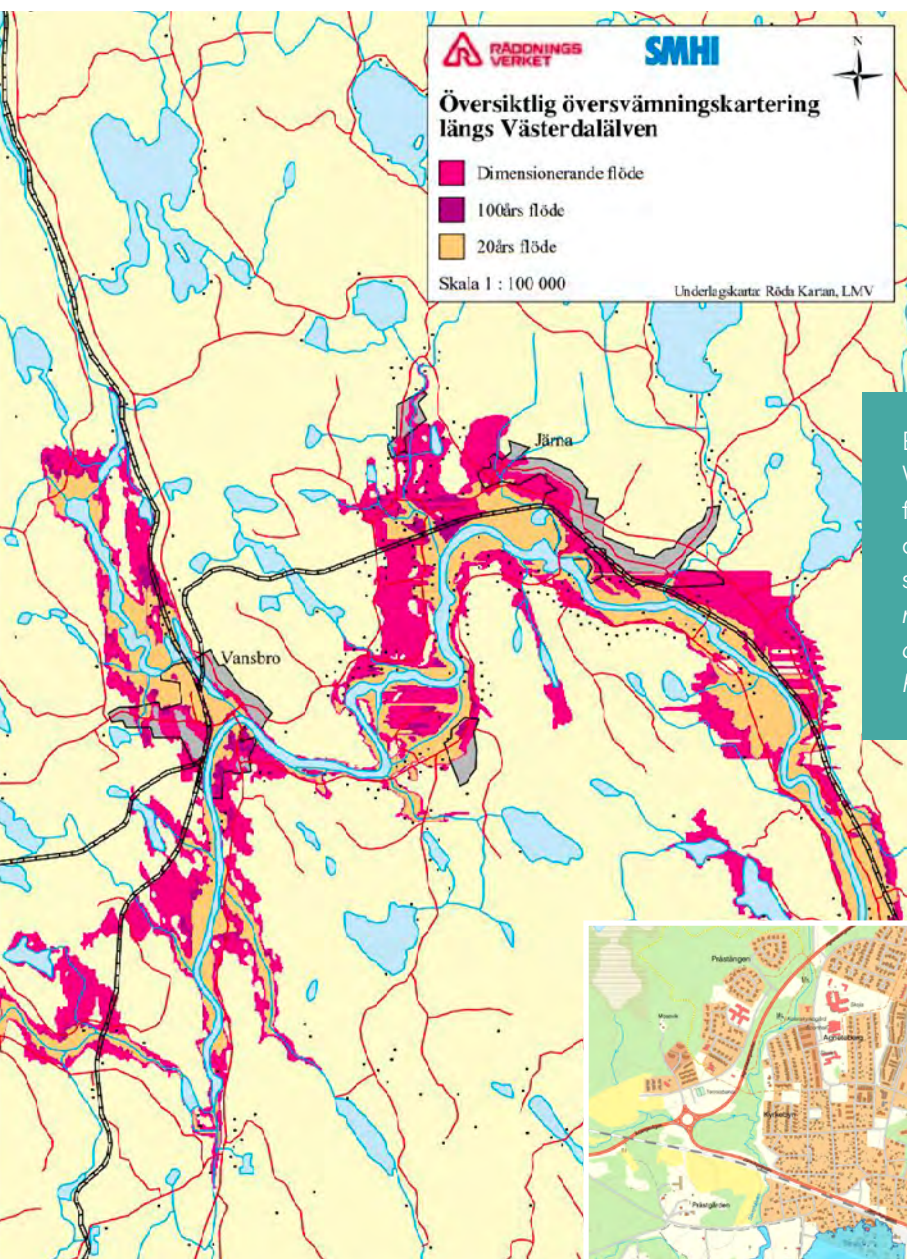
Få insatser har betytt så mycket för samhällets ökade medvetenhet om översvämningsrisker som Räddningverkets/MSB:s karteringsarbete! 2014 gav MSB ut en vägledning som lättfattligt beskriver översvämningskartering av vattendrag (MSB, 2014). Genom att klicka på en sverigekarta på MSB:s hemsida kan vem som helst idag enkelt hitta översvämningskartor över intressanta områden.

Där finns också detaljerade rapporter för många vattendrag. Det var svårt att tänka sig en sådan öppenhet när vi inledde arbetet med dimensionerande flöden i mitten av 1980-talet.

Svenska kraftnät

Efter översvämningarna och de höga vattenflödena 1985 var det allt fler som började undra om det inte var dags för staten att ta ett mer samlat ansvar för dammsäkerhetsarbetet. Dittills hade man i hög grad litat till kraftbolagens egna riktlinjer och egenkontroll, även om länsstyrelserna på pappret var tillsynsmyndighet. Men det var många som tvivlade på att länsstyrelserna verkligen hade den tekniska kompetens och de resurser som krävdes för denna ganska komplicerade uppgift. SMHI hade ett övergripande hydrologiskt uppdrag som var ganska diffust. De initiativ som hittills tagits av SMHI var i första hand ett resultat av engagemang från enskilda tjänstemän utan styrning uppifrån. 1998 tog staten till slut ett mer konkret övergripande ansvar för dammsäkerheten. Då fick myndigheten Svenska kraftnät en central myndighetsroll att främja dammsäkerheten i landet och att vägleda länsstyrelserna i deras tillsyn av dammarna.

Att Svenska kraftnät fick rollen som central ansvarig myndighet inom dammsäkerhet fick stor betydelse för dammsäkerhetsfrågans fortsatta utveckling. På Svenska kraftnät anställde man Olle Mill, som tog sig an fråga med stor entusiasm. Svenska kraftnät såg till att Dammsäkerhetsrådet



En tidig översvämningsskarta för Västerdalälven i Vansbrotrakten från 1998. Vid denna tid var detta ett omdiskuterat riskområde för översvämningar. Kartan publicerades i rapport nr 1 från projektet Översiktlig översvämningsskartering 1998. Källa: Räddningsverket (1998).



Karta över utbredningen av sjön Glafs fjorden och Kyrkviken i Arvika vid 200-årsflödet. Sedan 2020 skyddas Kyrkviken och centrala Arvika av en damm som kan spärra av sundet i söder. Järnvägen genom Arvika förbinder Stockholm med Oslo. Om man hade haft tillgång till denna karta inför hösten 2000 så hade man nog inte blivit så överraskade när översvämningen drabbade Arvika. Källa: MSB



Sten Bergström, Maria Bartsch
och Olle Mill 2007. Fotograf okänd.



Nu hade vi äntligen en statlig partner som hade mandat, kompetens och resurser att på heltid driva frågan.

bildades, med företrädare från industrin och berörda myndigheter och organisationer. För oss på SMHI var detta en stor lättnad. Nu hade vi äntligen en statlig partner som hade mandat, kompetens och resurser att på heltid driva frågan. Samarbetet med Svenska kraftnät blev intensivt och mycket stimulerande. Inte minst bidrog Olle Mills sakkunskap och vänliga personlighet till ett fint samarbetsklimat. Sedan Olle Mills pensionering 2011 leder Maria Bartsch dammsäkerhetsarbetet inom Svenska kraftnät.

Efter diskussioner inom Dammsäkerhetsrådet och vid den årliga uppföljningen av arbetet med tillämpning av riktlinjerna vid Flödeskonferensen startades ett flertal utrednings- och forskningsprojekt. Detta behövdes som underlag för kommande revideringar av riktlinjerna. Särskilda uppdrag gavs till Svenska kraftnät, SMHI och industrin för att gemensamt analysera dammars sårbarhet för klimatförändringar. Inte minst skulle ett banbrytande arbete genomföras för att anpassa riktlinjerna till den pågående klimatförändringen. Vi återkommer till detta längre fram.

Övriga aktörer

Kommunernas planmonopol gjorde att de hade ett stort ansvar för samhällets långsiktiga anpassning till ett förändrat klimat. Men det betydde också att det saknades enhetliga riktlinjer. I några fall gick Länsstyrelserna in och hade synpunkter på kommunernas planer och det hände att MSB ställde skärpta krav för att bidra med pengar till klimatanpassning. Så var fallet när det gällde finansieringen av skyddsvallarna i Kristianstad. Där krävde MSB att beräkningarna av de dimensionerande flödena gjordes enligt Flödeskommitténs riktlinjer för flödesdimensioneringsklass I.

Länsstyrelserna blev alltmer engagerade i klimatfrågan. Som en följd av Klimat- och sårbarhetsutredningen fick de medel för att anställa klimatsamordnare. Dessa bildade ett nätverk med regelbundna träffar för att utbyta erfarenheter. 2011 gav länsstyrelserna i Värmlands och Västra Götalands län ut en handbok för hantering av översvämningsriskerna i den fysiska planeringen (Länsstyrelserna i Värmlands och Västra Götalands län, 2011a). På grund av att

forskningsläget hela tiden förändras så kompletteras handboken efterhand med faktablad där de senaste uppgifterna om rekommenderade nivåer presenteras (Länsstyrelserna i Värmlands och Västra Götalands län, 2011b). 2015 gav länsstyrelserna i Stockholms, Södermanlands, Uppsala och Västmanlands län gemensamt ut ett faktablad med motsvarande rekommendationer för lägsta grundläggningsnivå för ny bebyggelse vid Mälaren (se till exempel: Länsstyrelserna i Stockholms, Södermanlands, Uppsala och Västmanlands län, 2015). I bägge dessa rapporter dyker begreppet beräknad högsta vattennivå eller beräknade högsta nivå upp. De har alltså sina rötter i Flödeskommitténs arbete med flödesdimensionering av dammar. 2015 gav länsstyrelsen i Stockholm län ut ytterligare ett faktablad, denna gång med rekommendationer för lägsta grundläggningsnivå längs Östersjöns kust i Stockholms län (Länsstyrelsen i Stockholms län, 2015).

På Boverkets hemsida hittar man en handbok om plan- och bygglagen som ger ytterligare vägledning (Boverket, 2020). Boverket anger att Beräknad högsta nivå/ Beräknat högsta flöde ska vara den grundläggande utgångspunkter för bedömning av översvämningsrisken för "Ny sammanhållen bebyggelse och samhällsviktig verksamhet". Men Boverket tillägger försiktigtvis att "Utgångspunkterna utgör just utgångspunkter och det krävs en platsspecifik bedömning av risken för översvämning i varje enskilt planärende."

2012 fick SMHI i uppdrag av regeringen att skapa ett nationellt kunskapscentrum för klimatanpassning. Tanken var att kunskapscentret skulle bli spindeln i nätet för att samla in, utveckla och förmedla kunskap om klimatanpassning till olika delar av samhället. Det ledde till ett intensifierat samarbete och mellan kommuner och myndigheter, som hade i uppdrag att arbeta med klimatomställning och klimatanpassning.



Jokkfallet i Kalixälven under vårfloden.
Foto: Sten Bergström.

3. Klimatfrågan blir alltmer aktuell

Denna lyckade bild togs vid ett besök vid Finjasjön utanför Hässleholm vintern 2002. Det nybyggda huset speglar sig i den översvämmande sjön. Tillfälliga skyddsvallar har byggts i all hast. Bilden är en av mina favoriter. Den ger en mer levande bild av vad översvämningsrisker innebär än diagram och kartor. Bilden pryder slutrapporten till projektet Framtidens översvämningsrisker som genomfördes på uppdrag av Länsförsäkringsbolagens Forskningsfond.
Foto: Gunn Persson.



Mot slutet av 1900-talet fick klimatfrågan allt större uppmärksamhet. Klimatforskarna blev tydligare i sina varningar och extrema väderhändelser underströk allvaret. I Sverige startades The Swedish Regional Climate Modelling Programme, SWECLIM, med ett räknecenter för regional klimatmodellering, Rossby Centre. Alltmer detaljerade klimatscenarier för Sverige togs fram och hydrologerna använde dessa för att beräkna effekterna av framtidens klimat på vattentillgången. Så kallade klimatskeptiker och förnekare gav sig till känna, men det hindrade inte att politiker och andra beslutsfattare började ta klimatfrågan på allvar.

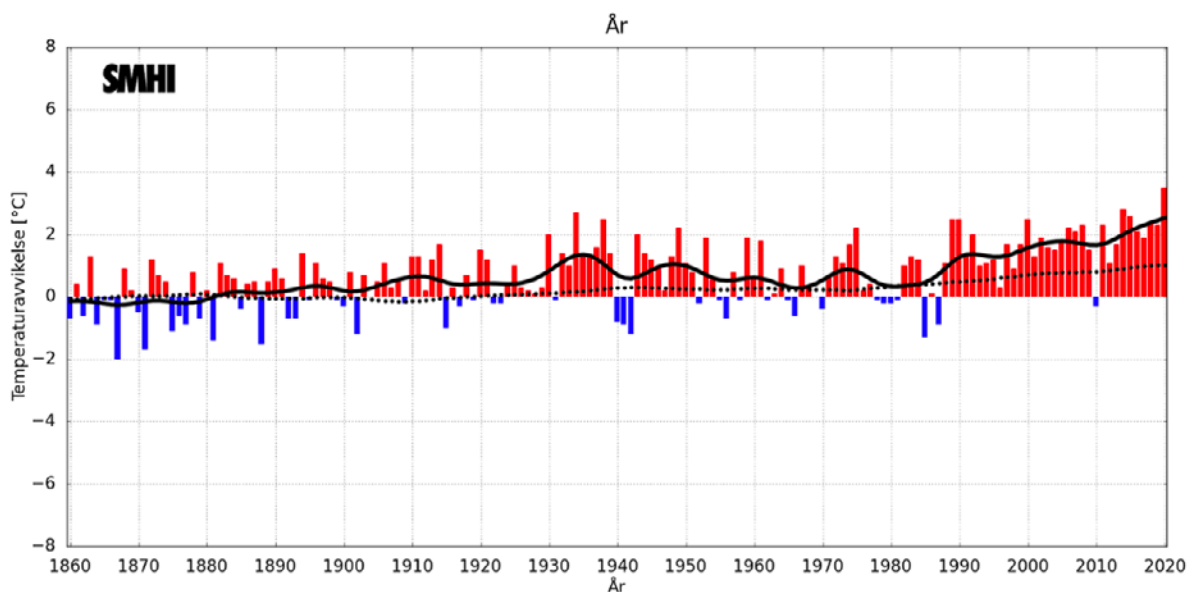
IPCC, SWECLIM och Rossby Centre

När Flödeskommitténs slutrapport blev klar 1990 hade klimatfrågan precis börjat diskuteras på allvar. I kommitténs slutrapport formuleras därför en reservation på följande försiktiga sätt: "En reservation måste dock göras för den händelse en klimätförändring skulle inträffa, exempelvis på grund av den s.k. växthuseffekten. Riktlinjernas nederbördssekvenser är grundade på klimatet under det senaste seklet; en bestående ändring av nederbördsförhållandena på våra breddgrader nödvändiggör därför en översyn av riktlinjerna." Ingen hade en aning om hur denna översyn skulle gå till. Men det rådde ingen tvekan om att beräkningen av ett flöde i flödesdimensioneringsklass I innehåller antaganden och förutsättningar som i alla högsta grad påverkas om klimatet ändras.



Mätningarna stämde med kuslig precision med de slutsatser som forskarna dragit sedan länge.

Snart gick det inte att duka längre. Entydiga mätningar visade att koncentrationen av växthugaser i luften och den globala lufttemperaturen ökade oroväckande och att havsnivåerna steg snabbare än tidigare. Mätningarna stämde med kuslig precision med de slutsatser som forskarna dragit sedan länge. Klimatfrågan utvecklades till en av världens viktigaste framtidsfrågor.



SMHI:s diagram över årsmedeltemperaturens utveckling i Sverige ger perspektiv på den tidsperiod som förflutit sedan Flödeskommittén inledde sitt arbete 1985. Diagrammet visar avvikelser från referensvärdet 1860-1900 och är baserat på 35 mätstationer i Sverige. Den svarta kurvan visar ett utjämnat förlopp ungefär motsvarande tio-åriga medelvärden. Den prickade linjen visar motsvarande utjämnade förlopp för den globala årsmedeltemperaturen (data från Climatic Research Unit vid University of East Anglia, CRU). Årsmedeltemperaturen för Sverige stiger snabbare än de globala mätningarna. 2020 var Sveriges årsmedeltemperatur den högsta som uppmätts sedan rikstäckande observationer inleddes omkring år 1860. Källa: SMHI.

1988 bildades FNs klimatpanel, mer känd som IPCC. Sedan 1990 publicerar IPCC regelbundet tungt vägande vetenskapliga utvärderingar av allt som vi vet om klimatfrågan. Hittills har detta gjorts sex gånger. Varje gång skärptes tonen när riskerna för en klimatiförändring summerades.

I Sverige var det forskare vid den meteorologiska institutionen vid Stockholms universitet som tog ledningen i klimatfrågan. En av pionjärerna var professor Bert Bolin, som också spelade en viktig roll när IPCC bildades. Det skulle ta en tid innan den statliga myndigheten Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, SMHI, vaknade. Här hade klimatforskningen tills dess mest handlat om att samla in observationer, göra statistik och rita diagram. Bland personalen fanns det dessutom olika åsikter om klimatfrågans betydelse. Officiellt låg SMHI lågt. Åtminstone till en början.

Men det skulle bli ändring på SMHI:s inställning till klimatfrågan. Vid en omorganisation 1992 skapades en ny forskningsenhet och ett samarbete kring forskning om klimatet inleddes med universiteten i Stockholm och Göteborg. Man beslöt att söka finansiering från Stiftelsen för miljöstrategisk forskning, MISTRA för att skapa ett regionalt klimatforskningsprogram. Ansökan beviljades och under åren 1996–2003 bidrog såväl MISTRA som SMHI med pengar till forskningsprogrammet, The Swedish Regional Climate Modelling Programme, SWECLIM. Dess förste programdirektör blev Erland Källén, professor vid institutionen för meteorologi vid Stockholms universitet. Inom ramen för SWECLIM skapades ett räknecenter som förlades till SMHI. Där inleddes arbetet med att ta fram de första detaljerade regionala beräkningarna av Sveriges framtida klimat. Centret fick namnet Rossby Centre efter den berömde svensk-amerikanske meteorologen Carl-Gustaf Rossby. Lars Moen, från SMHI, utsågs till Rossby Centres förste chef.

Vid Rossby Centre omräknades de globala klimatberäkningarna till regionala scenarier. Detta gav svenska forskare och beslutsfattare tillgång till detaljerade klimatberäkningar för Sverige men också till de allra senaste beräkningsresultaten från den internationella klimatforskningen. Rossby Centre deltog i samordnade internationella beräkningar vilket gjorde att allt fler klimatscenarier blev tillgängliga. Det gjorde det möjligt att analysera spridningen mellan olika scenarier och att bedöma osäkerheter i beräkningarna.

Praktiskt taget alla klimatberäkningar för Sverige som används av beslutsfattare och forskare kommer idag från Rossby Centre. SMHI:s forskningsavdelning har vuxit sig stark och internationaliserats. Den vetenskapliga nivån har höjts och allt fler forskare rekryteras från utlandet. Efter IPCC:s fjärde klimatrappport 2007 bildades CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment), ett globalt samarbete för att utveckla och tillhandahålla regional klimatinformation. SMHI:s forskare var mycket aktiva i detta initiativ och SMHI utsågs till värdorganisation för det internationella projektkontoret för CORDEX. Vilken utveckling detta var sedan den trevande inledningen av den moderna klimatforskningen på SMHI i början av 1990-talet!

Världspolitiska händelser fick också betydelse för klimatforskningen i Sverige. Sovjetunionens upplösning och Sveriges medlemskap i EU öppnade helt nya möjligheter för forskningssamarbeten inom Europa. Svenska forskare blev alltmer engagerade i olika europeiska forskningsprogram, såsom exempelvis Baltex-programmet. Där samlades europeiska forskare inom meteorologi, hydrologi och oceanografi för att studera klimataspekter på hela Östersjön och dess tillrinningsområde. Baltex första stora vetenskapliga konferens hölls i Visby 1995 (Baltex, 1995). För många av oss fungerade detta möte som en introduktion till den

europiska forskarvärlden. Det var också början på ett närmande mellan forskare från de tre ämnesområdena, meteorologi, hydrologi och oceanografi. Vi hade ju intresset för klimatfrågan gemensamt. Men det skulle komma att krävas både långa och livliga diskussioner innan de tre vetenskapliga kulturerna började förstå varandra. Tack vare Baltex fick vi hydrologer en god inblick i såväl de meteorologiska som de oceano- grafiska beräkningsmodellernas förutsätt- ningar och inre liv. Denna kunskap hade vi stor glädje av när klimatforskningens resultat skulle omsättas i praktisk klimatanpassning. Då handlade det om såväl skyfall, som vattenflöden och stigande havsnivåer i ett framtida klimat.

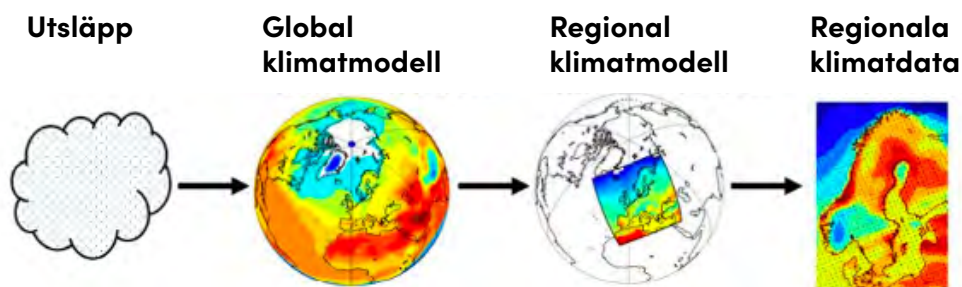
Diskussionerna om klimatfrågans conse- kvenser handlar redan från början mycket om vatten. Tillgången på vatten är ju en förutsättningarna för allt liv på jorden! I Sverige tänkte vi främst på vattenkraften och översvämningar längs med vattendrag och runt sjöar. Dessutom framstod fram- tidens skyfall som ett stort problem för städerna. Och så havet, förstås. Det är som en jättestor termometer som stiger när det blir varmare och sjunker när det blir kallare.

Smältande glaciärer och att varmare vatten utvidgas är huvudskälen till att världshaven stiger. Trots att vi i Sverige kan dra fördel av den pågående landhöjningen efter den senaste istiden kan en stigande havsnivå ställa till med stora problem för södra Sveriges kuster. Ännu värre ser situationen ut för de tätbefolkade deltaområdena och kustnära megastäderna runt jorden.

Framtidens svenska klimat

De inledande diskussionerna inom SWECLIM handlade mycket om hur det skulle gå till att räkna fram Sveriges framtida klimat. Hittills hade man utnyttjat tillgängliga globala beräkningar, som överslagsmässigt tolkats till svenska förhållanden. Upplösningen i de globala beräkningarna var minst sagt grov. Tillgången till datorkapacitet begränsade hur mycket man kunde räkna. SWECLIM antog en strategi som gick ut på att utveckla regionala klimatmodeller för norra Europa, som mer detaljerat kunde beskriva havs- och landkonturer och bergskedjor i begränsade områden. Tanken var att dessa regionala modeller skulle drivas av de globala modellerna på ränderna av deras modelleringsområde. Det betydde att modellernas rutnät gick från en upplösning på tiotals mil i den globala modellen till någon eller några mil i den högupplösta regionala modellen. Denna metod kallades för dynamisk nedskalning. Nu var utbred- ningen av den regionala modellen ändå inte så liten. Den sträckte sig nästan ända från Grönland till Nordafrika.

Illustration av dataflödet mellan en global och en regional klimat- modell. Källa: Sjökvist et al. (2015).



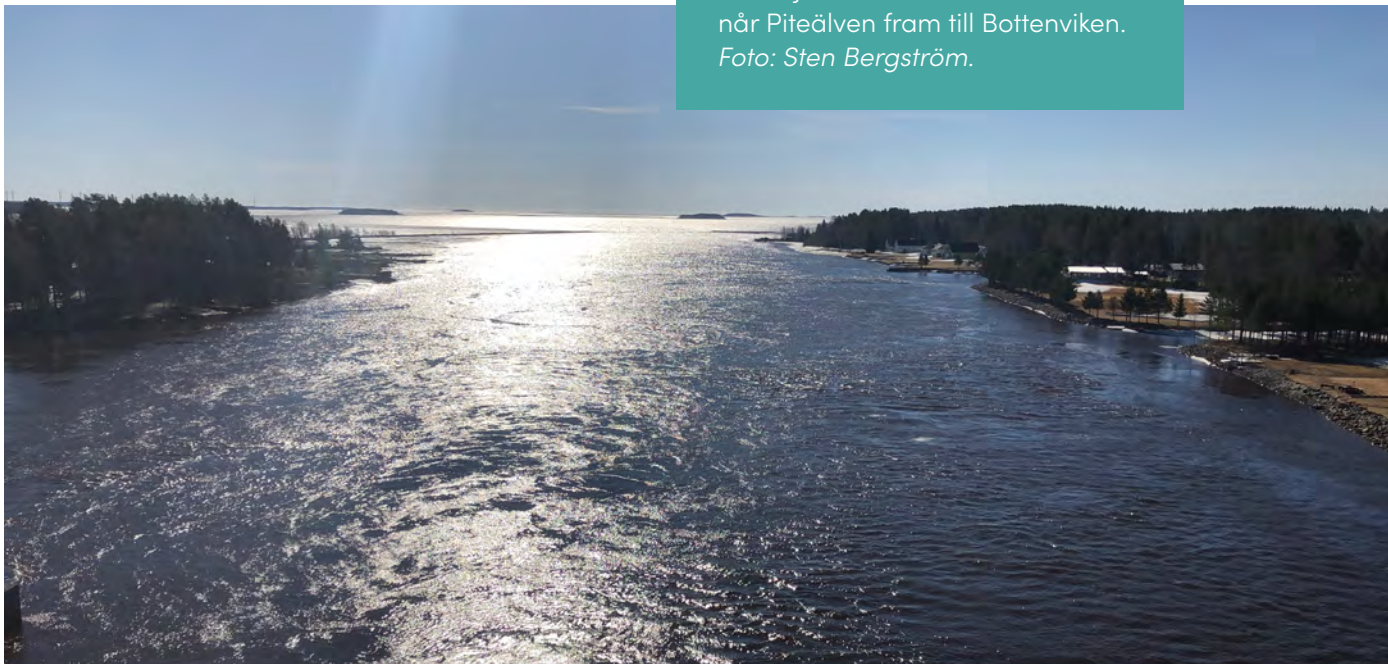
Rosby Centre var under lång tid beroende av vad de internationella klimatforskarna kunde leverera. Det engelska forskningscentret Hadley Centre och Max-Planck institutet för Meteorologi i Hamburg blev inledningsvis de viktigaste leverantörerna av globala klimatscenarier. Senare vidgades denna krets. Så småningom började Rosby Centre också arbeta med global klimatmodellering.

1998 publicerade SWECLIM de första regionala klimatscenarierna för Norden (Rummukainen et al., 1998; SWECLIM och SMHI, 1998). De var baserade på globala klimatscenarier från Hadley Centre i Storbritannien. Den dynamiska nedskalningen gjordes med hjälp av Rosby Centres allra första regionala klimatmodell, RCA. Intressant nog så fanns hydrologiska beräkningar med i bilden redan från start. I den senare av de två rapporterna redovisas beräkningar av hur framtida klimatet kan komma att påverka tillrinningen av sötvatten från floderna runt Östersjön. 2000 publicerades en sammanställning av SWECLIM:s arbete under programmets första tre år (Rummukainen et

al., 2000). Där finns också beräkningar av klimatförändringarnas påverkan på vattenflöden i några svenska vattendrag och beräkningar av 100-årsflöden.

SWECLIM-programmet avslutades formellt 2003, men Rosby Centre finns kvar som en enhet vid SMHI:s forskningsavdelning. 2006 säkrades verksamheten vid Rosby Centre långsiktigt genom förstärkta anslag till SMHI. Den som vill veta mer om resultaten från SWECLIM:s forskningsprogram rekommenderas att ta del av tidskriften Ambios specialnummer, som utförligt sammanfattade SWECLIM-programmet (Ambio, 2004). Här finns mycket att läsa!

Vattenfrågorna var med från början i SWECLIM-programmet. Bland annat beräknades hur det framtida klimatet skulle komma att påverka tillrinning till havet från Östersjöområdets alla floder. Här når Piteälven fram till Bottenviken.
Foto: Sten Bergström.



Framtidens utsläpp av växthusgaser

Utgångspunkten för alla klimatberäkningar är antaganden om hur utsläppen av växthusgaser utvecklas i framtiden. Detta påverkar koncentrationen i atmosfären och därmed växthuseffekten, eller strålningsdrivningen som meteorologerna ofta uttrycker det.

Under hela IPCC-processen har man försökt att skapa framtidsbilder, scenarier, över framtidens växthusgaser, som forskarna ska kunna utgå ifrån. Detta har skett på ett vetenskapligt sätt som inte alltid har varit så lätt att förstå för oss som arbetar med mer ingenjörsmässiga tillämpningar. Det blev inte lättare av att utformningen och definitionen av dessa utsläppsscenarier kom att ändras i och med introduktionen av så kallade RCP-scenarier (Representative Concentration Pathways, van Vuuren et al., 2011) i den 5:e vetenskapliga utvärderingen 2013 (IPCC, 2013). Innan dess använde IPCC så kallade SRES-scenarier från IPCC:s Special Report on Emissions Scenarios om framtidens klimatutsläpp (IPCC, 2000). I den 6:e utvärderingen, som kom så sent som i augusti 2021, ändrades formuleringen av

utsläppsscenarierna ännu en gång (IPCC, 2021). De flesta beräkningarna av klimatets påverkan på vattenresurser i Sverige som hittills gjorts bygger dock på SRES- eller RCP-scenarier.

IPCC:s RCP-scenarier benämns RCP2,6, RCP4,5, RCP6,0 respektive RCP8,5. Siffrorna betecknar den beräknade strålningsdrivningen år 2100. RCP2,6 är det mest optimistiska scenariet. Det förutsätter att vi vidtar mycket kraftiga åtgärder mot utsläppen och att de börjar avta redan nu. Utsläppsscariet RCP8,5 är det mest pessimistiska. Då antas vi i stort sett strunta i klimatfrågan och köra på som vanligt. Det innebär att utsläppen fortsätter att öka under hela det innevarande seklet. RCP4,5 och RCP6,0 ligger någonstans mitt emellan. Skulle vi klara av att minska utsläppen så att vi uppnår RCP4,5 så måste det betraktas som en stor framgång. Vid klimatberäkningar brukar man pröva några olika utsläppsscenarier för att få en bild av vad det betyder om vi minskar utsläppen av växthusgaser. I de flesta tillämpningarna i Sverige har man hittills valt att använda det relativt optimistiska utsläppsscariet RCP4,5 och det pessimistiska RCP8,5.



Utgångspunkten för alla klimatberäkningar är antaganden om hur utsläppen av växthusgaser utvecklas i framtiden.



SSAB i Oxelösund är
en av Sveriges största
utsläppare av koldioxid.
Foto: Sten Bergström.

Det går inte att överskatta hur viktigt det är med en öppen dialog mellan forskare och tillämpare i denna process.



Med hjälp av kedjan av beräkningar från globala klimatmodeller, via regionala modeller, når man så slutligen den upplösning som är intressant för lokala praktiska tillämpningar. Eftersom det finns flera varianter av såväl utsläppsscenarier som globala och regionala klimatmodeller så blir det till slut mängder av beräkningar att ta ställning till. I praktiken betyder detta att alla som arbetar med tillämpningar i slutet av denna händelsekedja i hög grad är beroende av bedömningar och val som forskarna i tidigare led har gjort. Det går inte att överskatta hur viktigt det är med en öppen dialog mellan forskare och tillämpare i denna process. Man måste ju, åtminstone översiktligt, förstå förutsättningarna för de beräkningar man gör och de beslut som man fattar!

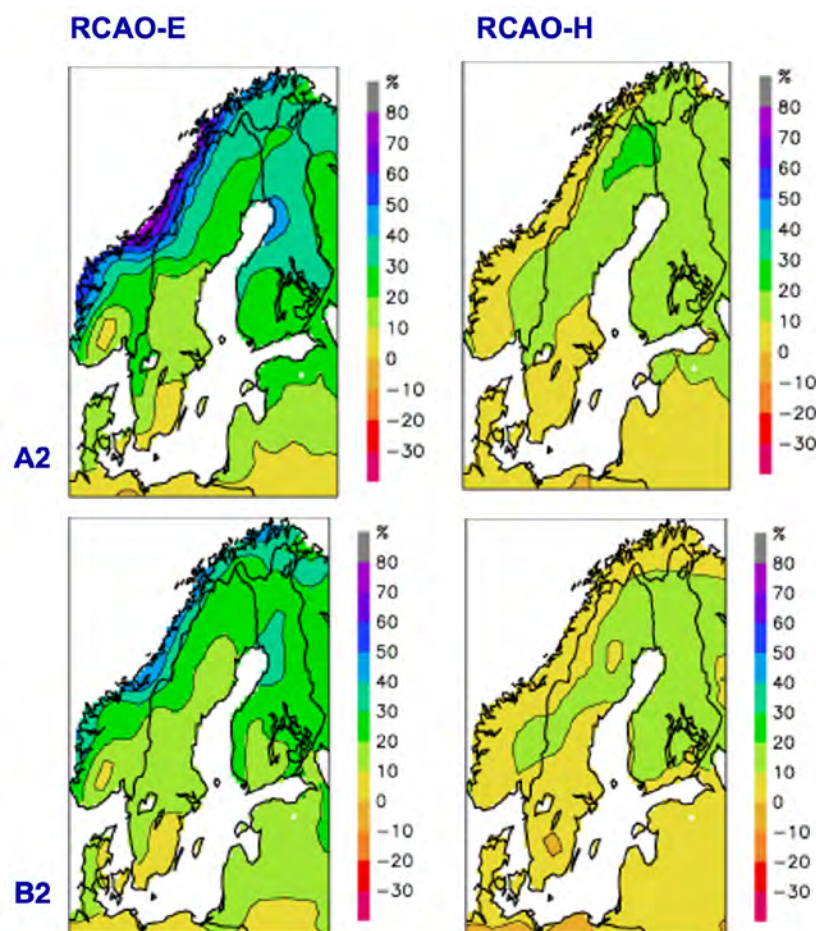
Rossby Centres första klimatscenarier

Ett viktigt krav från MISTRA var att forskningsresultaten skulle komma till praktisk användning. Beslutsfattarna var målgruppen. Detta kändes kanske lite främmande till att börja med, speciellt för de forskare som kom ifrån universitetens forskningsmiljöer. Man var inte riktigt bekväm med mer eller mindre kategoriska uttalanden, utan ville gärna omge budskapet med en rad reservationer. Och visst fanns det vetenskapliga frågetecken, inte minst i hanteringen av gränserna mellan de olika modellerna. Men programchefen Erland Källén drev på och SWECLIM

offentliggjorde sina första regionala klimatscenarier redan 1998. Nu kunde var och en bilda sig en egen uppfattning om vad en framtida global uppvärmning skulle kunna innebära för Sverige. En populärvetenskaplig artikel med titeln *Norrland får skånskt klimat* publicerades något senare i tidskriften *Forskning och Framsteg* (Rummukainen och Bergström, 2000).

En intressant fråga var hur klimatbudskapet skulle formuleras. Forskarna använde sig gärna av begreppen scenarier eller projektioner när de talade om framtidens klimat. Detta försiktiga sätt att uttrycka sig återspeglade den osäkerhet man kände. Det tog helt enkelt emot att kalla detta för prognoser. Men ordvalet scenarier fungerar inte så bra för en beslutsfattare. Hur man än ser på detta så kommer ju resultaten ändå att tolkas som en prognos, om än osäker, när det blir dags att använda beräkningarna i verkliga projekt. Det var också vanligt att massmedia, utan att blinka, använde ordet prognoser när de rapporterade om resultat från klimatforskningen.

Försäkringsbranschen visade tidigt intresse för Rossby Centres klimatberäkningar. 2004–2006 finansierade Länsförsäkringsbolagens Forskningsfond ett projekt med syftet att beräkna framtida översvämningsrisker i Sverige baserade på de nya klimatscenarier som tagits fram av Rossby Centre. Inriktningen var mot försäkringsbranschens



Tidiga resultat från Rossby Centre hämtade från en rapport till Länsförsäkringsbolagens Forskningsfond. Figuren visar förändringen i nederbörd mellan perioderna 1961-1990 och 2071-2100. A2 och B2 representerar två SRES-utsläppsscenarioer. De globala klimatscenarierna har gjorts med ECHAM4/OPYC3-modellen från Max-Planck-institutet för meteorologi (E) respektive Hadley Centres HadAM3H modell (H). RCAO står för Rossby Centres regionala klimatmodell.
Källa: Carlsson et al. (2006).

behov av kunskap för förebyggande åtgärder och minskad riskexponering. Projektet rapporterades 2006 och innehöll såväl regionala klimatscenarier som hydrologiska beräkningar (Carlsson et al, 2006). Så här i efterhand kan man konstatera att huvud dragen i dessa tidiga beräkningar på många sätt bekräftats av senare tiders resultat med mer avancerade metoder.

En liten episod från samarbetet med Länsförsäkringar är värd att berättas. I augusti 2005 hade vi ett projektmöte på Länsförsäkringars huvudkontor i Stockholm. Det var samma dag som New Orleans dränktes av den tropiska orkanen Katrina. Vi följde tillsammans TV-sändningarna från dramatiken i New Orleans samtidigt som vi diskuterade eventuella framtida översvämningsproblem i Sverige.



Försäkringsbranschen visade tidigt intresse för Rossby Centres klimatberäkningar.

Förnekelsens krafter

Inom SWECLIM gjordes en speciell satsning på utåtriktad verksamhet för att nå användare av de nya klimatberäkningarna. Vi var många som reste på föreläsningsturnéer runt landet och pratade om SWECLIM och klimatfrågan. För det mesta möttes vi av stort intresse men visst fanns det tvivlare och skeptiker. Idag kallas dessa för klimatförnekare. I början av 1990-talet var man försiktig med att använda detta ord. Det lät helt enkelt för drastiskt och utpekande.

Vi fick lära oss att bemöta såväl sakliga som tokiga argument. Mer eller mindre löst organiserade skeptiker, som ville sprida en motbild, gav sig in i klimatdebatten. Det var en brokig samling. En del var ganska väl pålästa akademiker, ofta från andra discipliner. Andra kom med egna mer eller mindre påhittade och fantasifulla teorier. En ganska vanlig konspirationsteori var att forskarna drev klimatfrågan för att få pengar till sin egen forskning. Mest känd bland svenska förnekarna var en grupp som kallade sig för Stockholmsinitiativet.

Ibland kunde det räcka med några kalla vinterdagar för att få fart på ifrågasättandet. "Vad säger ni nu då? Nu är det kallt igen".



Vad säger ni nu då?
Nu är det kallt igen.

Men det var kanske mer skämtsamt menat. Sakta men säkert växte ändå insikten om klimatfrågans betydelse hos allt fler. Det hände ofta att vi träffade de som, i motsats till förnekarna, ville skylla alla extrema väderhändelser som inträffade på den globala uppvärmningen. En vanlig föreställning var också att det skulle bli vanligare med kraftiga stormar i framtiden, liknande stormen Gudrun som drabbade södra Sverige i januari 2005. Trots att vetenskapen var ganska tydlig med att det inte gick att dra säkra slutsatser om framtidens stormar i Sverige. När frågan om att bygga om Slussen i Stockholm blev aktuell användes klimatfrågan som ett argument för att försöka stoppa bygget. Då blev vi plötsligt beskyllda för att underskatta problemen med stigande havsnivåer. Detta återkommer vi till längre fram.

Blir stormar vanligare? 2005 bidrog stormen Gudrun till ett ökande politiska intresset för klimatfrågan. Trots det är kopplingen mellan ett varmare klimat och ökande stormar inte självklar på våra breddgrader. Bilden är tagen efter en tromb i norra Östergötland 2018.
Foto: Sten Bergström.



Så här i efterhand är det intressant att gå tillbaka till skeptikernas argument. De sträcker sig alltifrån påståendet att klimatet inte alls håller på att ändras till att det bara är hälsosamt för jorden med mer koldioxid i luften. Vi som jobbade med frågan på SMHI fick vi lägga ner stor möda på att bemöta alla möjliga påståenden och utfall på ett så neutralt och balanserat sätt som man kan begära av en representant för en myndighet. Detta krävde mycket tålamod men var också lärorikt. Men visst blev det dålig stämning ibland.

Det politiska landskapet förändras

Ofta var motreaktionen mot talet om ett klimathot också politiskt grundad. Till en början ansågs nog de flesta klimataktivisterna tillhöra miljörelsen eller den politiska vänstern. Detta ändrades när den borgliga alliansregering tillträdde 2006. Den nya regeringen, under Fredrik Reinfeldt, engagerade sig på allvar i klimatfrågan. Och den regeringen bestod ju varken av miljö-muppar eller marxister. Klimatfrågan blev i fortsättningen ett vanligt tema vid den årliga politikerveckan i Almedalen i Visby där alla utom den yttersta högern visade sitt engagemang för klimatet.

Uppfattningen om allvaret i klimatfrågan påverkades också av konkreta väderhändelser. Runtom i världen inträffade naturkatastrofer som fungerade som väckarklockor. Europa hade en extremt varm sommar 2003 med stor överdödlighet, New Orleans dränktes av stormen Katrina 2005 och New York drabbades av stormen Sandy 2012. Centrala Köpenhamn drabbades av ett förödande skyfall 2011. Detta är bara några exempel. Katastrofer i mer avlägsna delar av världen får inte så stor uppmärksamhet i våra media.

I Sverige blev 2000 ett märkesår. Det var det blötaste året på ett par hundra år, åtminstone i södra Sverige. Kraftiga översvämningar drabbade södra Norrland, Mälaren nådde oroande nivåer, i Arvika fick militär sättas in för att bygga skyddsvallar och Vänern bara steg och steg. I februari 2002 var det dags för Kristianstad att mobilisera när Helgeå och Hammarsjön hotade att bryta in i staden, som för övrigt till stor del ligger under havets nivå. I januari 2005 slog, som tidigare nämnts, stormen Gudrun till i södra Sverige. Mängder av skog blåste omkull och människoliv gick till spillo både under stormen och vid uppröjningsarbetet i skogen.

Efter stormen Gudrun reagerade till slut den socialdemokratiska regeringen, som då leddes av Göran Persson. Man tillsatte den så kallade Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU, 2007). Nu hade frågan nått den högsta politiska nivån. Det blev fart på arbetet med att ta reda på hur utsatt Sverige i själva verket skulle vara om klimatet ändrades. I ett delbetänkande ägnade sig Klimat- och sårbarhetsutredningen åt problemen runt de stora sjöarna Vänern, Mälaren och Hjälmaren (SOU, 2006). SMHI försåg utredningen med underlag i form av beräkningar av framtidens vattennivåer (Bergström et al., 2006).

I USA förlorade vicepresidenten Al Gore kampen om att bli USAs president i valet 2000. Han drog istället igång en världsomfattande föreläsningsturné om klimatfrågan. Han producerade också en uppmärksammas film, *En obekväm sanning*, som spreds över världen. Al Gore lyckades popularisera klimatfrågan på ett sätt så att alla förstod. När IPCC kom med sin fjärde stora utvärdering av kunskapsläget 2007 hade budskapet skärps. Samma år fick IPCC dela Nobels fredspris med Al Gore, för arbetet med klimatfrågan. Frågan var nu global och praktiskt taget alla länder jorden runt engagerade sig.

Hur ska man kunna komma överens om att minska utsläppen?

2009 samlades världens forskare och politiker i Köpenhamn för att ta itu med frågan om att minska de globala utsläppen av växthusgaser. Förväntningarna var stora men mötet blev ett fiasko. Ambitionsnivån var nog för hög och mötet alltför illa förberett. Men det positiva var ändå att världens ledare dök upp. Till och med USAs president, Barack Obama. Äntligen hade USA en president som verkade ta klimatfrågan på allvar!

Det skulle gå betydligt bättre på det internationella klimatmötet i Paris 2015 än i Köpenhamn 2009. I Paris lyckades man enas om att den globala uppvärmningen ska hållas under 2 grader och helst under 1,5 grader. Detta budskap fick enormt genomslag. Förhandlingar om hur detta ska gå till pågår än idag.

2017 antog riksdagen Sveriges nya klimatmål. Det innebär att Sverige senast år 2045 inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären, för att därefter uppnå negativa utsläpp. När detta skrivs är det Sveriges politiska mål. Men man kommer naturligtvis ingen vart om man inte har opinionen med sig.

Glädjen över USAs president Obamas inställning till klimatfrågan varade bara i åtta år. Han efterträddes 2017 av Donald Trump, en klimatförnekare av grävsta slag. Med Donald Trump som president lämnade USA Parisavtalet. Men 2021 var det dags för förändring igen. Efter stor kalabalik fick USA en ny president som sade sig ta klimatfrågan på stort allvar igen. Ett av president Joe Bidens första beslut var att USA skulle återansluta sig till Parisavtalet. Men nu hade världen ett mer närliggande problem att ta itu med, Covid-19.

2018 steg en 15 årig svensk tjej in på arenan med ett lika enkelt som kraftfullt budskap.



Greta Thunberg blev världsberömd med sitt enkla men kraftfulla budskap. "Lyssna på forskarna".
Foto: Sten Bergström, Stockholm i augusti 2021.

”Skolstrejk för klimatet, lyssna på forskarna.

”Skolstrejk för klimatet, lyssna på forskarna”. Hon hette Greta Thunberg och blev snabbt en världskändis som världens ledare inte kunde bortse från. Greta gav nytt hopp och energi i klimatdebatten. Vem kunde säga emot?

När detta skrivs är det hösten 2021. De flesta klimatförnekarna har tystnat. Världen håller på att återhämta sig efter kampen mot Covid-19. Klimatfrågan har levt i dess skugga, men har väckts till liv igen av sommaren extremväder. Otroliga värmerekord har slagits i Kanada och USA. Tyskland, Belgien och Kina har drabbats hårt av översvämningar, bara för att nämna några exempel. Sverige fick en rekordvarm sommar som rundades av med rekordartat skyfall och

översvämmade bostadsområden i Gävle. Enligt media berodde detta på klimatförändringarna. Och visst var det ett häftigt regn! Men skadorna förvärrades nog av brister i dagvattenssystemet och samhällsstrukturen.

Den 9 augusti presenterade IPCC sin sjätte vetenskapliga utvärdering om vad vi numera vet om klimatet (IPCC, 2021). Tonläget skärptes ännu en gång. Nu anser man det vara klarlagt att det är vi människor som orsakar uppvärmningen och dess konsekvenser i form av extremt väder. Vi har mycket kort tid på oss att få stopp på denna utveckling. En intressant iakttagelse är att ordvalet i media har ändrats. Man talar numera inte så mycket om klimatfrågan utan mer om klimatkrisen.

Scenarier, scenarier, scenarier!

Beräkningarna av framtidens klimat har utvecklats till ett av naturvetenskapernas största forskningsområden. Tusentals forskare runt hela jordklotet är engagerade i ett intensivt vetenskapligt samarbete. Rossby Centre har etablerat sig som Sveriges nod i detta arbete. Därifrån levereras en ständig ström av vetenskapliga resultat och nya scenarier. Det börjar bli svårt att orientera sig för den som vill ha praktisk vägledning. Men det ligger i forskningens natur. Man måste acceptera förändringar när nya resultat kommer fram. Lyckligtvis är förändringarna ofta ganska måttliga, åtminstone när det gäller huvuddragen i beräkningsresultaten.

Tillkomsten av Rossby Centre betydde också mycket för utvecklingen av såväl hydrologin som oceanografin på SMHI. Tack vare närheten till kvalificerade klimatforskare och deras internationella kontaktnät fick man en inblick i klimatmodellerna och scenariernas komplicerade produktionskedja. Det var enkelt att springa över till grannkorridoren

på SMHI i Norrköping för att ställa frågor om det var något man inte förstod. Och det blev massvis av frågor! Hela denna process innebar en kunskapsutbyte mellan de tre vetenskaperna meteorologi, hydrologi och oceanografi som vi nog aldrig tidigare gått igenom på SMHI.

När den nya generationen utsläppsscenarier, så kallade RCP-scenarier, presenterades av FN:s klimatpanel 2013 uppstod behov av en enhetlig klimatstudie för hela Sverige, baserat på den senaste forskningen om framtidens klimat. På uppdrag från regeringen genomförde då SMHI enhetliga länsvisa klimatanalyser. Analyserna publicerades i rapporter som blev allmänt tillgängliga via SMHI:s hemsida. Där finns också hydrologiska beräkningar av framtidens vattenflöden för ett urval vattendrag för respektive län. Metodiken för dessa länsanalyser har beskrivits ingående av Sjökvist et al. (2015). Sedan dess har tillgången till klimatscenarier utvecklats vidare. Idag kan vem som helst hitta detaljerade klimatscenarier för Sveriges län, distrikt och avrinningsområden för olika utsläppsscenarier och ett stort antal variabler på SMHI:s hemsida. Där finns också mer översiktliga scenarier för hela världen.

Det blev efterhand många beslutsfattare som drog nytta av, men också blev beroende av, scenarier från SMHI och Rossby Centre. Efterfrågan på kunskap om framtidens klimat var stor. Ett exempel bland många var den statliga Dricksvattenutredningen. Denna gång handlade det om klimatets påverkan på framtidens vattentillgångar (SOU, 2015). Men forskning är som bekant preliminär. Med tiden kommer det alltid nya resultat som också görs allmänt tillgängliga. Därför gör alla som arbetar med klimatanpassning klokt i att hålla sig uppdaterade och rådfråga expertis om de senaste forskningsresultaten innan man sätter igång med nya projekt.

4. Klimatet och vattenkraften

Den 22 september 2009 träffades den nybildade Klimatkommitté på Svenska kraftnät i Sundbyberg. På bilden som är tagen på Svenska kraftnäts takterrass syns, medurs räknat, Sten Bergström (SMHI), Gun Åhrling Rundström (Svensk Energi), Maria Bartsch (Svenska kraftnät) Claes-Olof Brandesten (Vattenfall), Jan Liif (Statkraft), Björn Norell (Vattenregleringsföretagen), Agne Lärke (Fortum), Olle Mill (Svenska kraftnät), Sigrid Eliasson (E.ON), Lars-Åke Lindahl (SveMin), Gunnar Sjödin (Vattenregleringsföretagen) och Johan Andréasson (SMHI). *Fotograf okänd.*





Under 1990-talet tog det internationella forsknings-samarbetet kring klimatets betydelse för vattenkraften och vattenresurserna fart. Ett stort antal internationella projekt startades. I Sverige bildades 2009 en expert-grupp med representanter från kraftindustrin, gruv-industrin, SMHI och Svenska kraftnät för att "analysera och värdera klimatfrågans betydelse för damm-säkerheten med avseende på flödesdimensionering och ta initiativ till att erforderliga studier kommer till stånd." Expertgruppens rapport blev underlag för en justering av riktlinjerna för flödesdimensionering, som därmed inkluderade rekommendationer om hur beräkningarna ska utformas för att ta höjd för ett förändrat klimat.

Det internationella samarbetet

Intresset för vad klimatförändringarna skulle kunna betyda för tillgången på vatten och då speciellt för vattenkraften var stort i hela Norden. Danmark hade intresse av vattenkraft på Grönland. 1991 startades ett första nordiskt samarbetsprojekt rörande klimatet och vattenkraften med stöd av Nordiska ministerrådet. Projektet, som fick namnet *Climate change impacts on runoff and hydropower in the Nordic countries*, leddes från Norge, som är störst på vattenkraft i Norden. Samarbetet underlättades av att det genom Nordisk hydrologisk förening redan fanns ett nätverk, som gjorde att alla inblandade i projektet kände varandra. Dessutom var ett av projektets huvudredskap, den hydrologiska HBV-modellen, stommen i de hydrologiska prognostjänsterna i såväl Sverige som i Norge och Finland.

Slutrapporten från projektet blev klar 1998 (Saelthun et al., 1998). Den pekade på effekter av den globala uppvärmningen vars huvuddrag vi skulle komma att känna igen i en lång rad efterföljande projekt. Vattentillgången och därmed vattenkraftproduktionen beräknades öka betydligt samtidigt som vattenflödenas årsrytm ändras kraftigt med mer vatten på hösten och vintern, kortare tid med lågvatten under vintern och tidigare vårflod. Detta skulle på det hela taget vara gynnsamt för vattenkraftindustrin, eftersom man då skulle kunna producera mer kraft på vintern när efterfrågan är som störst. Samtidigt skulle det medföra att behovet av att lagra vatten i regleringsmagasin minskade.

Efter Sovjetunionens sammanbrott kom de baltiska staterna, Estland, Lettland och Litauen, med i det nordiska hydrologiska samarbetet. Detta förde in nya perspektiv. Vi fick nya vänner och kollegor och lärde oss mycket om de hydrologiska förutsättningarna på andra sidan om Östersjön. Mellan 2001 och 2010 genomfördes inte mindre än tre

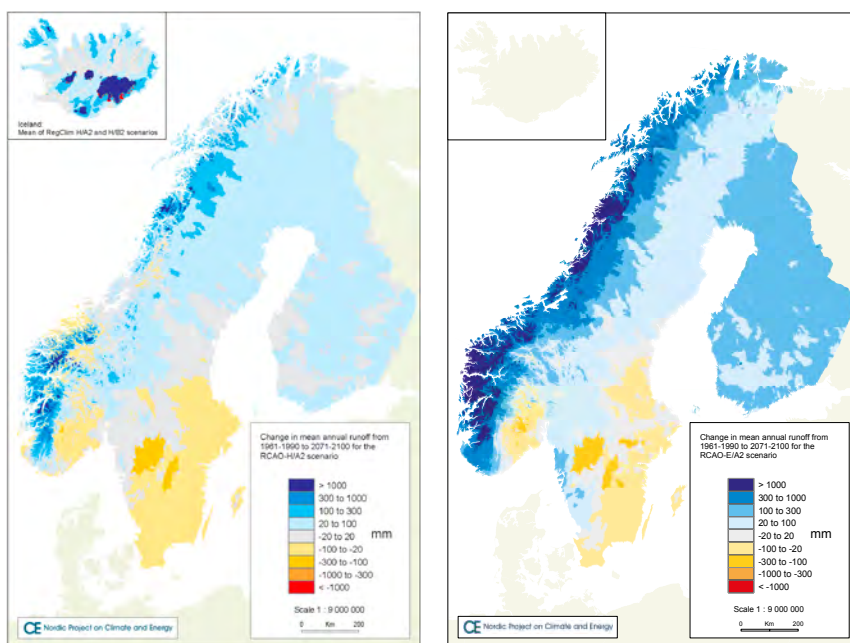
Nordisk-Baltiska samarbetsprojekt kring klimatförändringar och förnybar energi, *Climate Water and Energy* (2001-2002), *Climate and Energy* (2003-2006) och *Climate and Energy Systems* (2007-2010). Projekten byggde vidare på resultat från nationella satsningar i respektive land men tillförde att intressanta jämförelser mellan olika nationella metoder och modellversioner kunde genomföras.

För första gången togs det fram gemensamma kartor över hur vattentillgången beräknades förändras i de nordiska länderna (Beldring et al., 2006; Fenger, 2007). Dessa kartor visade att den nordiska vattenkraften kan få stora ökningar av tillgången på vatten i framtiden men också att det blir stora skillnader i resultaten beroende vilken klimatmodell man använder sig av.

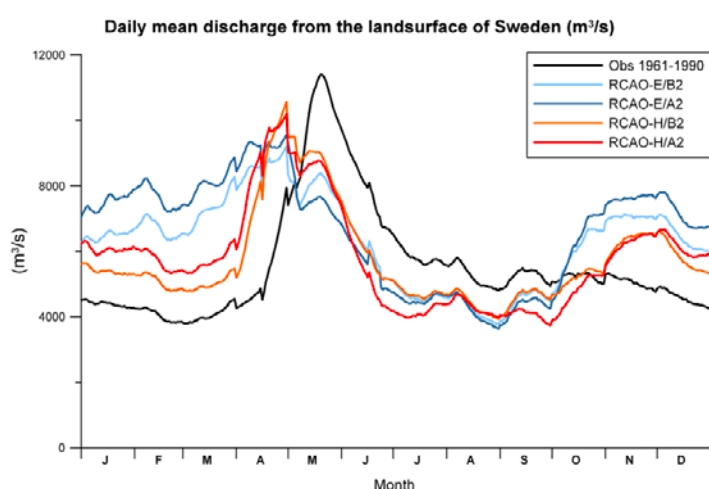
Inom det nordisk-baltiska samarbetet gjordes också beräkningar av den samlade avrinningen från de nordiska ländernas hela landytor. Resultat visade ännu en gång att framtiden kommer att bjuda på stora förändringar i vattenflödenas årsrytm. Om man ser till Sverige som helhet så kommer det framförallt att rinna mer vatten under hösten och vintern samtidigt som vårfloden kommer tidigare och blir mindre markerad. Vattentillgången väntas minska under sommaren.



Resultat visade ännu en gång att framtiden kommer att bjuda på stora förändringar i vattenflödenas årsrytm.



De första kartorna över hur vattentillgången beräknas förändras i de nordiska länderna togs fram inom det nordisk-baltiska projektet Climate and Energy. I figuren till vänster utgick man från den globala klimatmodellen HadAM3H från Hadley Centre i England och i den högra figuren från ECHAM4/OPYC3-modellen från Max Planck institutet för meteorologi i Hamburg. I båda fallen har man räknat med en kraftig ökning av växthusgaserna enligt det så kallade SRES-scenariet med benämningen A2. Den regionala klimatmodellen från Rossby Centre (RCAO) har använts för det nordiska området. Jämförelsen gäller mellan perioderna 1961–1990 och 2071–2100. Källa: *Beldring et al., (2006)*.



Beräknad ändring i säsongsvariationen av avrinningen från hela Sverige, om man utgår från två olika globala klimatmodeller. E står för ECHAM4/OPYC3-modellen från Max Planck institutet för meteorologi i Hamburg och H för HadAM3H från Hadley Centre i England. A2 och B2 representerar två så kallade SRES-scenarier över framtidens utsläpp av växthusgaser där A2 är kraftigast. I båda fallen har den regionala klimatmodellen från Rossby Centre (RCAO) använts. Jämförelsen gäller mellan perioderna 1961–1990 och 2071–2100. Resultat från det nordisk-baltiska projektet Climate and Energy (Fenger, 2007).

Klimatsignalen i de hydrologiska beräkningarna var alltså tydlig med mycket stor påverkan på vattentillgången om klimatet ändras. Men resultaten visade också på en stor spridning mellan beräkningarna beroende på vilka antaganden man gör om framtidens utsläpp och vilken global klimatmodell man utgår ifrån. Valet av regional klimatmodell spelar också in. Frågor om valet av utsläppsscenarioer och klimatmodeller sysselsätter klimatforskarna än idag, speciellt som tillgången på klimatmodeller och klimatscenarioer är mycket större nuförtiden.

Det omfattande nordisk-baltiska samarbetet bjöd också på rikligt med tillfällen att diskutera fördelar och nackdelar med de olika metoder för flödesdimensionering som användes i respektive land. Det gjordes också en del översiktliga jämförande beräkningar mellan dessa länders metoder (Thorsteinsson and Björnsson, 2012).

Parallellt med det nordisk-baltiska samarbetet pågick det europeiska Baltex-programmet, där meteorologer, hydrologer och oceanografer samarbetade inom en rad projekt som rörde östersjöområdet. Där gjordes bland mycket annat beräkningar för tillrinningen till hela Östersjön från dess jättelika avrinningsområde. Det skulle visa sig att den förhållandevis enkla hydrologiska HBV-modellen fungerade utmärkt också vid tillämpning på denna stora skala (Graham, 2004). Det gick att modellera Östersjön som om den vore en flod, i så fall Europas största.

Det gick också att beräkna effekterna av klimatförändringar på denna tillrinning, vilket var intressant för de oceanografer som studerade hur Östersjöns salthalt kan komma att ändras när klimatet blir varmare.

En komplicerad kedja av beräkningar och tusentals forskare

Om man tycker att beräkningen av dimensionerande flöden för dammar enligt de riktlinjer som Flödeskommittén föreslog verkar komplicerad så är det ingenting mot vad det så småningom skulle komma att innebära att räkna fram vad den globala uppvärmningen betyder för vattenflödena. Beräkningskedjan från utsläpp av växthusgaser till vattenflöden innebar ett internationellt samarbete som vi hydrologer aldrig tidigare sett maken till. Tusentals forskare från hela världen var inblandade. De flesta av dessa arbetade med global klimatmodellering, oftast på forskningscentra någonstans långt från Sveriges gränser. Andra forskare, varav många var från Rossby Centre, tog vid när resultaten från den globala klimatmodelleringen skulle tolkas till den regionala skalan med hjälp av högupplösta klimatmodeller för exempelvis det nordiska området.

Därefter var det hydrologernas sak att ta hand om de regionala klimatberäkningarna för att med hydrologiska modeller räkna fram effekterna av ett ändrat klimat på vattenflödena. Här fanns det ett problem.



Tusentals forskare från hela världen var inblandade.



Problemet var att man inte tog vara på klimatsimuleringarnas mer detaljerade information, till exempel om hur klimatets variabilitet och extremvärden påverkas.

Om man använder de klimatdata som klimatmodellerna räknat fram rakt av i hydrologiska modeller får man ganska konstiga resultat. Rentav orimliga. Det beror på att det ofta förekommer systematiska fel i data från klimatmodellerna. Det kan, till exempel, röra sig om att klimatmodellerna systematiskt över- eller underskattar temperaturen i ett område eller att nederbörden är för stor. Det krävdes metoder för att tvätta bort effekterna av dessa systematiska fel. Denna process kallas för skalering (eller biasjustering) och används i gränssnittet mellan klimatmodellerna och de hydrologiska modellerna. Skaleringen betyder att man också anpassar klimatberäkningarnas rutnät till avrinningsområdenas mer oregelbundna former.

Vid de tidigaste beräkningarna av konsekvenser av klimatförändringar använde man en väldigt enkel metod i gränssnittet mellan klimatmodellerna och de hydrologiska modellerna. Man överförde helt enkelt den genomsnittliga förändring som klimatmodellerna räknade fram mellan dagens och framtidens klimat till de indata som användes till den hydrologiska modellen, som därefter räknade fram nya värden på vattenflödena. Metoden fick det något kryptiska namnet delta-change och användes till exempel av Bergström et al. (2001) i en tidig publicering.

Den enkla delta-change metoden kunde möjligen försvaras så länge man bara studerade de stora dragen av vad klimatförändringen skulle innebära. Problemet var att man inte tog vara på klimatsimuleringarnas mer detaljerade information, till exempel om hur klimatets variabilitet och extremvärden påverkas. Detta är ju det verkligt intressanta när man vill studera flödesdimensionering i ett förändrat klimat. Så det var bara att ta nya tag! Med stöd från det stora EU-finansierade ENSEMBLES-projektet, Elforsk, Svenska kraftnät och *the Nordic Project on Climate and Energy Systems* utvecklades en ny metod som gick ut på att ta tillvara de statistiska egenskaperna i klimatdata när man gick från klimatmodellerna till den hydrologiska modellen.

Den nya metoden fick namnet *DBS-metoden* där DBS står för distributionsbaserad skalering (Yang et al., 2010). Det hela blev ganska komplicerat men det var nödvändigt. Tack vare justeringar med hjälp av DBS-metoden kunde man nu tillgodogöra sig mer av den statistiska information om det klimat som klimatmodellerna levererade. Man kan säga att detaljer i klimatsignalen från klimatberäkningen bibehölls i den hydrologiska beräkningen samtidigt som systematiska avvikelser mellan klimatmodellerna och observationerna korrigeras. Detta är en förutsättning för att kunna studera hur framtidens extrema vattenflöden förändras när klimatet blir varmare.



Kukkolankoski i Torneälven. Det har krävts en kedja av tusentals engagerade forskare för att beräkna älvens framtida vattenflöden. I bakgrunden syns Finland. Foto: Sten Bergström.

Utvecklingen av DBS-metoden innebar en stor insats som väldigt många skulle komma att få glädje av. Metoden används numera standardmässigt vid svenska beräkningar av effekten av klimatförändringar och finns beskriven i en lång rad publikationer. Ett exempel är MSB:s forskningsrapport om nederbörd och översvämningar i framtidens Sverige (MSB, 2016). Andra är SMHI:s länsvisa klimatscenarier för Sverige (Sjökvist et al., 2015) och SMHI:s underlag till den statliga Dricksvattenutredningen (Eklund et al., 2015; SOU, 2016). Tillgången till DBS-metoden blev också avgörande för arbetet med att anpassa flödesdimensioneringen till ett förändrat klimat.

Som framgår av litteraturlistan var det många som var inblandade i arbetet med att utveckla metoder för att omsätta resultaten från klimatmodellerna till hydrologiska beräkningar. En nyckelperson var Johan Andréasson, som och också deltog i

Utvecklingen av DBS-metoden innebar en stor insats som väldigt många skulle komma att få glädje av.

diskussionerna med våra uppdragsgivare. Johan blev en viktig person inte minst genom sin förmåga att alltid räkna rätt. Johans insatser blev avgörande för arbetet med klimatanpassning av riktlinjerna för dimensionering och även för utarbetandet av ett nytt förslag för reglering av Mälaren (Andréasson, et al., 2011a; Andréasson, et al., 2011b).

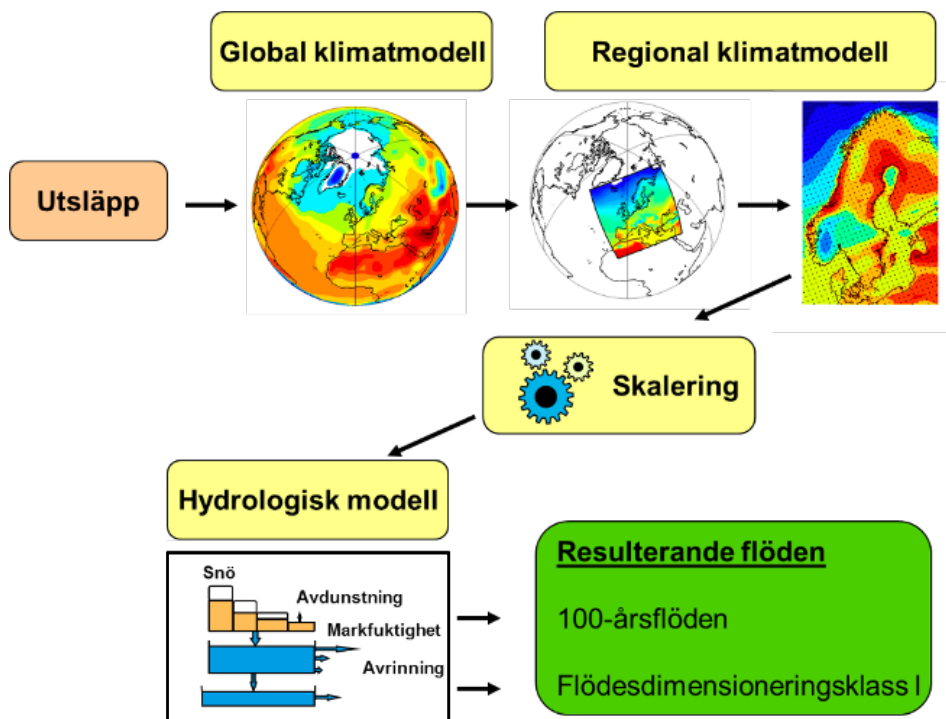


Illustration av kopplingen mellan en global- och en regional klimatmodell samt en hydrologisk modell vid studier av klimat-effekter på hydrologin. Källa: Andréasson *et al.* (2011a).

Dags för en Klimatkommitté

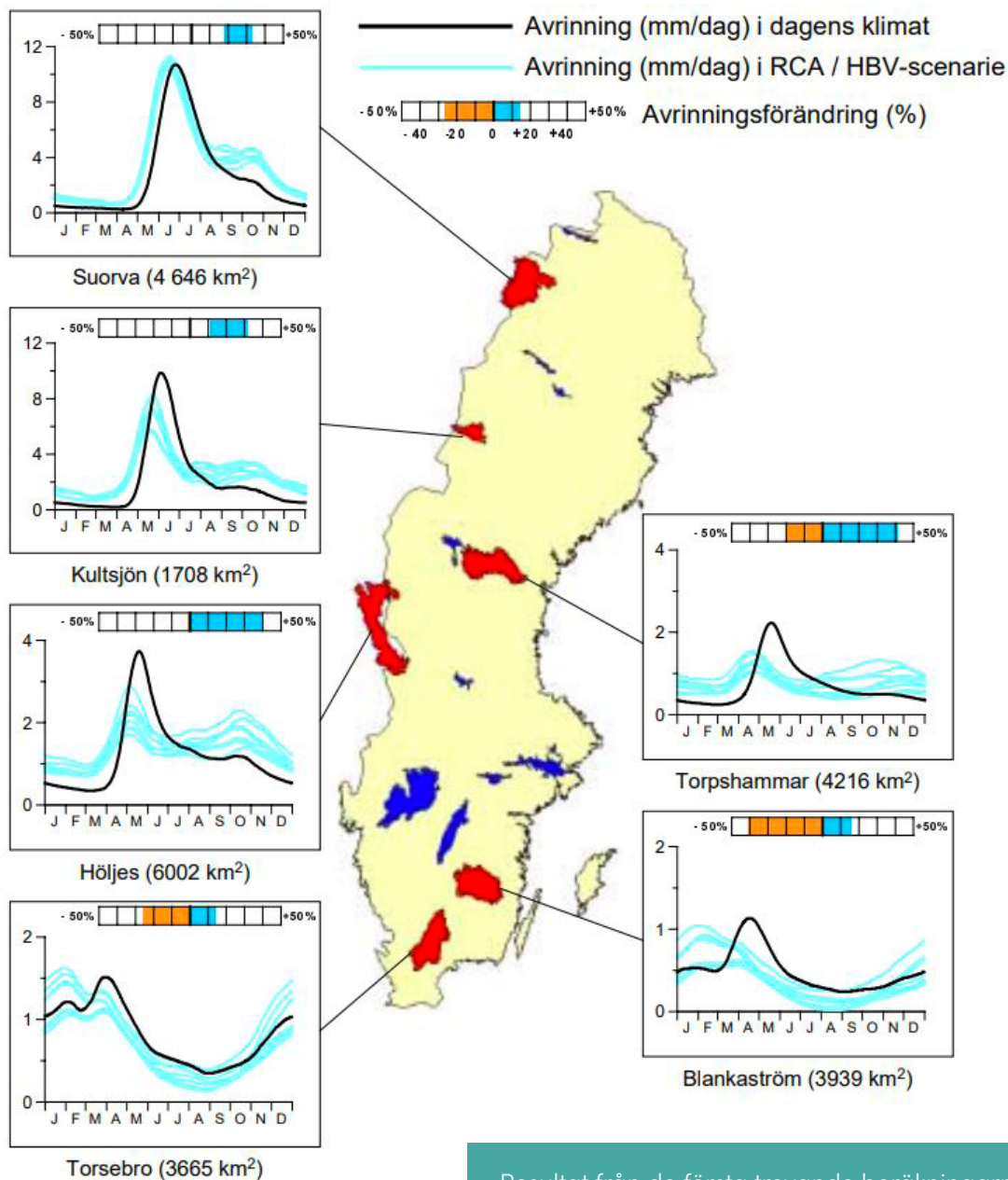
Inom vattenkraftindustrin insåg man tidigt att klimatfrågan skulle bli en stor framtidsfråga. SMHI:s hydrologer gjorde ganska tidigt omfattande studier på uppdrag av Elforsk (sedemera Energiforsk). 2002 publicerades de första trevande försöken att omräkna regionala klimatscenarier från Rossby Centre till vattenflöden i några vattendrag som var av intresse för vattenkraften (Gardelin, *et al.*, 2002). Beräkningarna visade ett mönster som började kännas välbekant. En global uppvärmning leder till en kraftig förändring av vattenflödenas årsrytm. I södra Sverige kommer det att rinna mer vatten på vintern och vårflo den försvinner efter hand. Där kan det uppstå risk för vattenbrist på sommaren. I norr ökar

En global uppvärmning leder till en kraftig förändring av vattenflödenas årsrytm.

vattentillgången och vårflo den kommer att komma tidigare. Även där kommer det enligt beräkningarna att rinna mer vatten på vintern. Detta var egentligen goda nyheter för vattenkraftindustrin. Man skulle få mer vatten och just på vintern när man behöver det som mest.

Innebörden av rapporten var ganska enkel att föreställa sig. Det var ju precis ett sådant år man just fått uppleva, året 2000! Forskarna omgärdade naturligtvis dessa tidiga resultat med alla former av försiktiga formuleringar och reservationer som man kunde komma

på. Framtida projekt skulle dock visa att man, redan med dessa inledande beräkningar, kommit ganska nära den bild vi har idag av klimatförändringens påverkan på vattenresurserna.



Resultat från de första trevande beräkningarna där regionala klimatscenarier från Rossby Centre omräknas till vattenflöden. Bilden är från en rapport från Elforsk (Gardelin, et al., 2002).



Det gick inte att vänta längre.

Hittills hade man mest räknat på hur vattenflödena i medeltal skulle kunna förändra sig över ett normalår i ett förändrat klimat. Frågan om effekterna på de allra mest extrema flödena kvarstod. Vilka är egentligen de värsta flöden som vi kan tänka oss i framtiden? Hur ska vi klimatanpassa flödesdimensioneringen? Det gick inte att vänta längre. Något måste göras. Dammar och städer ska ju finnas i hundratals år framöver!

Denna gång kom initiativet från Svenska kraftnät, som sedan 1998 hade en central myndighetsroll inom dammsäkerhetsområdet. 2008 fick Svenska kraftnät i enlighet med ett regleringsbrev i uppdrag att, i samarbete med SMHI, kraftindustrin och gruvindustrin, analysera klimatets påverkan på dimensionerande flöden och damm-

säkerhet. Svenska kraftnät samlade en expertgrupp från Vattenfall, Statkraft, Vattenregleringsföretagen, Fortum, E.ON, Svensk Energi, SveMin, SMHI och Svenska kraftnät. Gruppen kallades till vardags helt enkelt för Klimatkommittén. Uppdraget var "att leda ett program för att analysera och värdera klimatfrågans betydelse för dammsäkerheten med avseende på flödesdimensionering och ta initiativ till att erforderliga studier kommer till stånd". Stämningen var hög. Äntligen kommer vi igång! Förutom kraftindustrin så deltog även gruvindustrin denna gång, genom sin organisation SveMin. Gruvdammar kan också utgöra säkerhetshot och behöver dimensioneras med hänsyn till flöden och klimatförhållanden.

Nu fanns det äntligen en grupp med kompetens och mandat från såväl myndigheter som näringsliv att ta itu med frågan om klimatanpassning av Flödeskommitténs riktlinjer för flödesdimensionering av dammar. Därmed följde man den samarbets-tradition som inletts när man tillsatte Flödeskommittén 1985.

Gruvindustrin har också dammar som kan vara en säkerhetsrisk. Därför var gruvindustrins organisation, SveMin, representerad i Klimatkommittén. Bilden är från Bolidens sandmagasin i Garpenberg. Källa: Svenska kraftnät.



Metodutveckling för klimatanpassning av flödesdimensioneringen

För att ge stöd åt arbetet med att få fram en praktiskt tillämpbar metod för klimatanpassning av flödesdimensioneringsberäkningar lät kraftindustrin och Svenska kraftnät, genom Elforsk, genomföra projektet *Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring – Scenarier i ett 50-årsperspektiv*. Huvuddelen av det arbetet genomfördes av en forskargrupp från SMHI. Bland annat samverkade man med flera andra projekt för att utveckla DBS-metoden för justering av klimatmodellernas beräkningar. Det hela blev på sätt och vis ett banbrytande arbete, men det byggde på erfarenheterna av tidigare studier av klimatförändringarnas effekter. Det betydde att man som vanligt utgick från globala klimatsimuleringar från några av världens ledande forskningsinstitut. Dessa simuleringar tolkades av Rossby Centre till nordiska förhållanden med hjälp av regionala klimatmodeller. Därefter gjordes korrekationer med DBS-tekniken innan resultaten matades in i det beräkningsschema som användes för flödesdimensionering. Totalt användes 16 olika klimatscenarier i projektet.

Förutom beräkningar av hur vattenflödena i genomsnitt påverkas av klimatförändringar gjordes en anpassning till framtidens klimat av alla relevanta steg i beräkningen av flöden i flödesdimensioneringsklass I. Det innebar att såväl den bakomliggande klimatserien, som de dimensionerande regnen och snömagasinen, omräknades för att gälla framtidens klimat.



Det visade sig inte vara självklart att det framtida klimatet skulle leda till värre dimensionerande flöden.

På SMHI genomfördes testberäkningar för ett antal dammanläggningar utspridda över landet. Klimatkommittén fungerade som referensgrupp och granskade resultaten efterhand som arbetet fortskred. Det var ett omfattande material som kommittén fick ta ställning till. Arbetet drevs på av att det fanns beslutsfattare som ivrigt väntade på de senaste resultaten. På så sätt liknade denna process den som några av oss haft förmånen att få uppleva när vi arbetade med utformningen av Flödeskommitténs riktlinjer ett 20-tal år tidigare.

Resultaten, som redovisades som färgglada stapeldiagram med stor detaljrikedom, gav en mycket blandad bild. Det visade sig inte vara självklart att det framtida klimatet skulle leda till värre dimensionerande flöden. För några dammar gav beräkningarna entydigt högre flöden även om storleken på förändringen skilde sig åt mellan scenarierna. För andra dammar pekade scenarierna mot att det skulle kunna bli såväl värre som lindrigare flöden i framtiden. Snömagasinen blev ju i allmänhet mindre när klimatet blev varmare vilket påverkade vårflodens storlek.



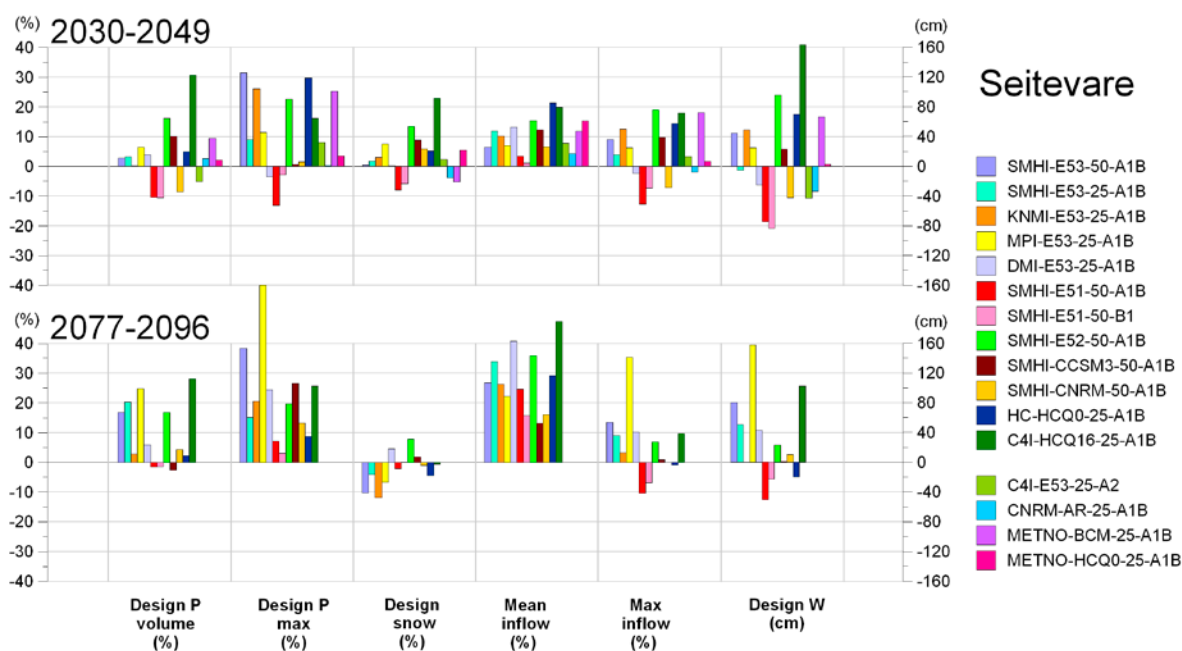
Område	100- årsflödet	Flödesdimen- sioneringsklass I
Seitevare	± 0	+
Torpshammar	-	-
Pengfors	-	-
Trängslet	-	-
Gruvsjön	-	+
Vänern	+	+
Torsebro	+	-
Glafs fjorden	± 0	-
Höljes	-	-
Skinnmuddselet	-	-
Hyltebruk	+	+

Beräkningsområden som användes vid test av klimatanpassningsberäkningar av flöden i flödesdimensioneringsklass I i projektet *Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring – Scenarier i ett 50-årsperspektiv*. Tabellen visar om beräkningarna gav högre (+) eller lägre flöden (-).
Källa: Andréasson et al. (2011a).

Den nya beräkningsmetoden för klimat-anpassning av dimensionerande flöden redovisades slutligen i juni 2011 (Andréasson et al., 2011a). Nu fick Klimatkommittén någonting att fundera över! Äntligen fanns det en metod för att räkna fram hur den globala uppvärmningen skulle kunna påverka de dimensionerande flödena och som alla inblandade parter tyckte var rimlig. Spridningen i beräkningsresultaten var stor, vilket gjorde valet av klimatscenario till en kritisk faktor. Det var dock inte möjligt att föreskriva exakt vilket urval av klimatscenario som skulle användas. I stället fick det bli följande mer oprecisa formulering i Klimatkommitténs rekommendationer:

”Kommittén rekommenderar att dimensioneringsberäkningar för dammar anpassas till ett klimat i förändring enligt följande:

- Vid flödesdimensioneringsberäkningar bör minst tre olika antaganden om utvecklingen av framtida koncentrationer av växthusgaser användas.
- Minst tre olika globala klimatmodeller bör utnyttjas, om möjligt för vart och ett av de olika antagandena om framtida koncentrationer av växthusgaser.
- En vetenskapligt förankrad och dokumenterad metod bör användas för nedskalning till den regionala skalan. För närvarande rekommenderas dynamisk nedskalning.”



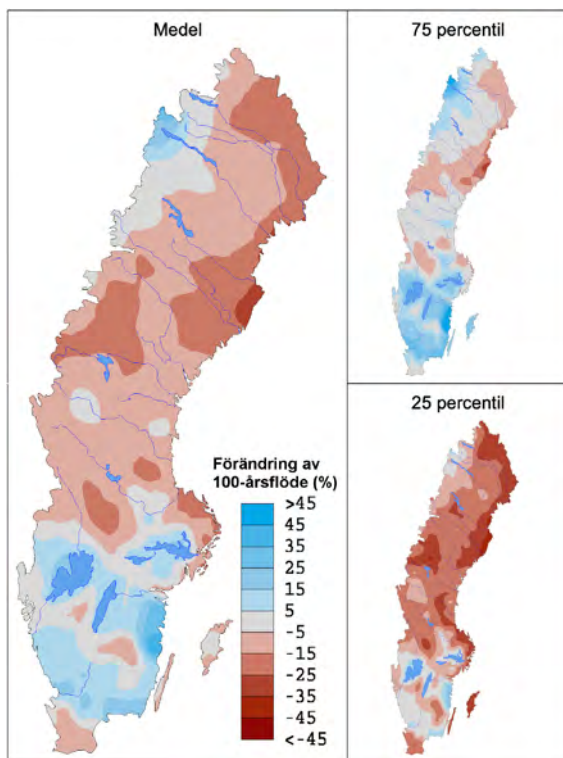
Det var denna typ av diagram som Klimatkommittén analyserade i arbetet med att ”värdera klimatfrågans betydelse för dammsäkerheten med avseende på flödesdimensionering och ta initiativ till att erforderliga studier kommer till stånd”. I detta fall redovisas beräkningar för Seitevaredammen i Lilla Lule älv. Diagrammet ser kanske avskräckande ut, men här finns mycket intressant information. Bland annat redovisas detaljer om hur olika klimatscenario påverkar den högsta tillrinningen, snön i tillrinningsområdet, regleringsmagasinets högsta nivåer samt vilken tid på året som den mest kritiska situationen inträffar. Källa: Andréasson et al. (2011a).

Framtidens extrema vattenflöden

Många hade nog förväntat sig att ett varmare klimat entydigt skulle leda till att de extrema vattenflödena skulle bli ännu värre. Men Klimatkommitténs arbete ger en mer nyanterad bild. I Norrlands älvar är det vanligtvis en blandning av snösmältning och regn som är värst, och det blir mindre snö när det blir varmare och vintern blir kortare. Beräkningarna visade att de allra värsta flödena därför mycket väl kan minska i framtiden i stora delar av norra Sverige, medan det troligen blir värre i södra Sverige genom mer regn. Det kan också hända att de extrema flödena inträffar under en annan tid på året i framtiden. Slutsatsen blev att det krävs fullständiga simuleringar för varje enskild dammanläggning eller älvsträcka för att få med alla faktorer som påverkar vilka effekter ett ändrat klimat leder till. Detta är ingenting att vara rädd för! Modellsystem finns och numera är beräkningskraften inte begränsande för den hydrologiska modelleringen.

Klimatkommittén tittade också på hur ett förändrat klimat kan komma att påverka statistiskt beräknade 100-årsflöden. Dessa mindre extrema flöden är ju dimensionerande för anläggningar av flödesdimensioneringsklass II där konsekvenser vid dammbrott blir mindre allvarliga. Dessa flöden uppfattas ändå som väl så dramatiska när de inträffar. 100-årsflödet ska kunna spillas förbi anläggningen när dess vattenmagasin ligger vid dämningens gränsen.

Kommittén publicerade en karta över 100-årsflödenas förändring, baserad på 12 klimatsimuleringar, som fick många att höja på ögonbrynen. Den visade tydligt att det är de nordligaste fjälltrakterna och tätbefolkade södra Sverige som påverkas mest av ökande översvämningsrisker när klimatet ändras. Kartan bekräftade att det finns all anledning att titta närmare på riskerna runt de stora sjöarna i framtidens klimat.



Förändring av 100-årsflödets storlek för perioden 2069–2098 jämfört med referensperioden 1963–1992. Statistiska mått baserat på resultat från 12 klimatsimuleringar. Observera att kartan inte begränsas av Sveriges nationsgränser utan av gränserna för de avrinningsområden vars vattendrag rinner genom Sverige. Källa: Andréasson et al. (2011a).

Framtida drift av vattenkraftsystemet

Klimatkommittén diskuterade också hur den framtida driften av vattenkraftsystemet skulle kunna påverka beräkningarna av de dimensionerande flödena. Utöver ändringar som är relaterade till klimatet finns det en rad faktorer som är föränderliga. Kommittén nämner energibalans, effektbalans, elmarknadens utveckling och förutsättningar, produktionens sammansättning och lokalisering med bland annat ökad andel vindkraft, kraftsystemets utveckling, förändringar i överföringskapacitet samt elanvändningsmönster.

Kommittén genomförde också en studie av magasinstryckningsgraden i Sverige för åren 1981–2010 och kom fram till följande slutsats: "De genomförda studierna leder fram till bedömningen att det idag inte finns anledning att ändra de antaganden

om reglerings- och driftförhållanden som anges i riktlinjerna för dimensionerande flöden för dammar. Ändrade förutsättningar kan dock medföra att gjorda bedömningar kan komma att ändras. Därför är det viktigt att frågan om riktlinjernas antaganden om regleringsstrategier fortsatt bevakas."

Ny utgåva med rekommendationer om klimatanpassning

När Klimatkommittén levererade sin slutrapport i december 2011 (Svenska kraftnät, et al., 2011) hade det gått 21 år sedan Flödeskommitténs slutrapport gavs ut. Klimatkommitténs rapport blev underlag för en justering av riktlinjerna för flödesdimensionering. Detta formulerades på följande sätt i nyutgåvan av Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar som Svenska kraftnät, Svensk Energi, och SveMin gav ut 2015:



Framtidens system för elproduktion kan komma att påverka de dimensionerande flödena. Bilden visar vindkraftparken i Järvsö.
Källa: Svenska kraftnät.



När det gäller tekniska lösningar så är flexibilitet nyckelordet!

"Mot bakgrund av bland annat de osäkerheter som ett förändrat klimat tillför, bör beräkningsförutsättningarna ses över regelbundet. Jämförelser mellan inträffade flödessituationer och beräknade dimensionerande flöden bör utföras fortlöpande. Systemets känslighet för klimatförändringar bör analyseras genom utnyttjande av klimatscenarier. Härvid bör alternativa klimatscenarier som beskriver höga respektive mindre höga antaganden om framtidens utsläpp av växthusgaser användas. Vidare bör minst tre olika globala klimatmodeller utnyttjas, för vart och ett av de olika antagandena om framtida utsläpp av växthusgaser. För nedskalning till den regionala skalan bör en vetenskapligt förankrad och dokumenterad metod användas. För närvarande rekommenderas dynamisk nedskalning" (Svenska kraftnät et al., 2011; Hallberg et al., 2014).

Detta var en unik rekommendation. Den innebar i praktiken att klimatfrågan ska beaktas i dimensioneringsberäkningar enligt en föreskriven metod. Ett antal klimatscenarier bör användas för att ge en bild av hur robusta resultaten är och vilka osäkerheter som finns i beräkningarna.

Målet rör sig!

En gång i tiden antog Flödeskommittén den ambitiösa målsättningen att de flesta uppgifter som krävs för en flödesdimensionering ska kunna hämtas från dokumentet som beskriver riktlinjerna. Detta visade sig inte vara möjligt när det handlar om klimatanpassning.

I arbetet med att klimatanpassa dimensioneringsberäkningarna fick vi, genom samarbetet med Rossby Centre, tidigt tillgång till resultat från den internationella forskningsfronten, ibland till och med innan dessa publicerats i den vetenskapliga litteraturen. De klimatscenarier som tas fram ingår i stora internationella klimatiforskningsprogram där koordinerade beräkningsinsatser genomförs. Det innebär att det hela tiden kommer ny kunskap och nya scenarier. Bland annat har upplösningen i de regionala klimatmodellerna ökat efterhand vilket kan påverka de beräknade extremvärdena. Den snabba utvecklingen av klimatiforskningen gör att det inte går att föreskriva vilka klimatscenarier som ska användas i framtidens arbete med klimatanpassning.

Beslutsfattarna måste ta sig tid att följa den vetenskapliga utvecklingen, åtminstone översiktligt. Forskarna måste anstränga sig att kommunicera resultaten på ett begripligt sätt. När det gäller tekniska lösningar så är flexibilitet nyckelordet! Det gäller att inte bygga fast sig på ett sätt som inte kan rättas till när beslutsunderlaget ändras. En dammanläggning som förstärkts med tanke på flöden i början av 2000-talet kan kanske komma att behöva nya åtgärder fram emot mitten av seklet. Att forskning är en dynamisk process och att det ständigt kommer nya resultat är oundvikligt och något som vi får leva med. Ett exempel på vad detta kan innebära för arbete med klimatanpassning av svenska dammar har analyserats av Hallberg et al. (2014). Detta projekt skapade en brygga mellan två generationer av klimatscenarier.



5. Vädret utmanar samhällsplaneringen

Bostäderna i Inre hamnen i Karlstad kom att symbolisera riskerna med strandnära exploatering och boende. Idag skyddas området av en damm som kan stängas till om Vänerns stiger alltför mycket. Foto: Sten Bergström, maj 2012.



Eller är det kanske tvärtom samhällsplaneringen som utmanar vädret? Det rekordblöta året 2000 ledde till en lång rad utredningar om den fysiska planeringens anpassning till såväl dagens som framtidens klimat. Speciellt intresse ägnades åt Vänern och Göta älv samt Mälaren och Slussen i Stockholm. Men många andra platser pekades också ut som särskilt intressanta. Det betydde en ny roll för Flödeskommitténs riktlinjer för beräkning av dimensionerande flöden. Intresset växte också för bedömningar av framtidens havsnivåer.



Eller är det kanske tvärtom samhällsplaneringen som utmanar vädret?

Inledningsvis var Flödeskommitténs riktlinjer för dimensionerande vattenflöden mest av intresse för en liten skara specialister inom vattenkraftindustrin och några specialinriktade myndigheter såsom SMHI, Svenska kraftnät och Räddningsverket. Men det skulle bli ändring på det. Sommaren 2000 blev rekordblöt och ställde till med översvämningssproblem i södra Norrland. Det blöta vädret fortsatte under hösten och Sveriges största sjöar fylldes till bredden. Larmet gick i Arvika vid Glafs fjorden där det krävdes en jättelik insats, bland annat med militär, för att skydda staden så gott det gick. Det hela följdes dag för dag i TV:s nyhetssändningar av alltmer förundrade tittare. Vad är det som händer?

Mälaren steg också och till slut var det inte långt kvar till tröskeln till Gamla stans tunnelbanestation. Nu var det alltså Stockholms tur. EU:s största sjö Vänern gav sig också iväg. Den steg till de högsta nivåerna sedan sjöns reglering 1937. När Vänerns nivåer kulminerade i januari 2001 hade man tvingats bryta mot vattendomens begränsningar för att försöka att hålla nere vattennivåerna. Det betydde att man släppte fram mer vatten i Göta älv än vad som troligen runnit där någon gång under de senaste 1000 åren. Med tanke på skredriskerna i Göta älvs dalgång var detta inte utan risker.

I efterhand skulle det visa sig att år 2000, åtminstone för södra Sveriges del, var det blötaste året under 200 år. De höga vattennivåerna blev en tankeställare för alla som arbetade med samhällsbyggande nära vatten!

Några år senare, i januari 2005, var det dags för nästa extremväder. Stormen Gudrun skövlade skogarna i södra Sverige. Nu fick regeringen nog. Något måste göras. Statsminister Göran Persson tillsatte Klimat- och sårbarhetsutredningen, som fick till

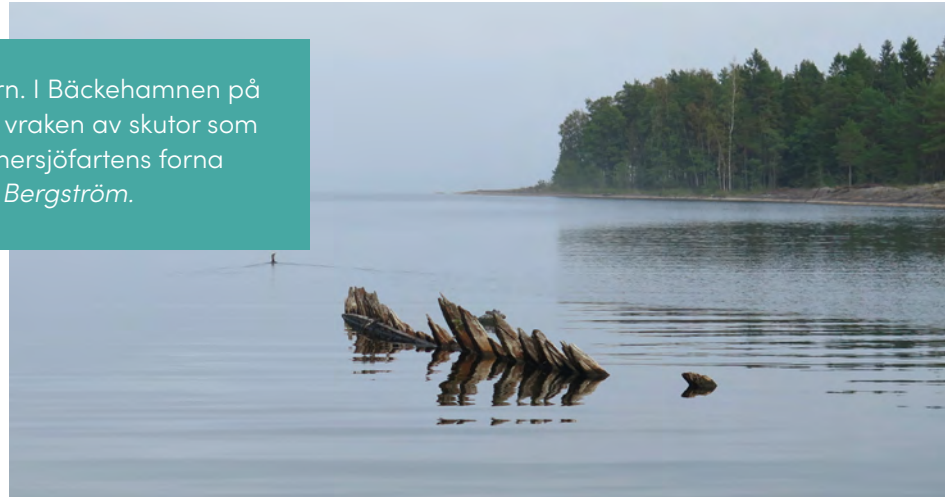
uppgift att reda ut det hela. Trots att det alltså var stormen Gudrun som blev den utlösande faktorn för att tillsätta Klimat- och sårbarhetsutredningen, så kom mycket i utredningen att handla om de stora sjöarna.

Klimat- och sårbarhetsutredningen gav SMHI i uppdrag att räkna på hur det framtida klimatet skulle kunna påverka de framtida nivåerna i Vänern, Mälaren och Hjälmaren. Detta skedde i en tid när det inte fanns så många klimatscenarier att ta till och arbetet med att anpassa vattenkraftindustrins riktlinjer för flödesdimensionering till ett framtida klimat ännu inte inletts. Men Flödeskommitténs riktlinjer användes ändå i arbetet. Effekterna av ett ändrat klimat räknades fram med ganska förenklade metoder. Uppdraget redovisades av SMHI 2006 (Bergström et al., 2006). Samma år redovisade Klimat- och sårbarhetsutredningen riskerna för de stora sjöarna i delbetänkandet Översvämningshot-Risker och åtgärder för Mälaren, Hjälmaren och Vänern (SOU 2006:94). Så här sammanfattade utredningen sina slutsatser: "Klimatscenarierna visar entydigt på ett varmare klimat i framtiden men när det gäller nederbörd är skillnaderna större. Samtliga scenarier visar dock på ökad nederbörd i Västsverige med ökande risk för översvämningar i



Och det dök upp ett nytt problem. Frågan om framtidens stigande havsnivåer.

Vid innanhavet Vänern. I Bäckehamnen på Värmlandsnäs ligger vraken av skutor som påminner oss om vänersjöfartens forna betydelse. Foto: Sten Bergström.



Vänern. För Mälaren och Hjälmaren visar scenarierna inte på några stora förändringar. Torrare somrar kan sänka de lägsta nivåerna, särskilt i Mälaren”.

Därmed hade flödeskommitténs riktlinjer för beräkning av dimensionerande flöden för dammanläggningar hux flux blivit ett redskap i det nationella arbetet med samhällets klimatanpassning. Samtidigt hade problemen med de stora sjöarna identifierats med eftertryck. Vänern och Mälaren skulle komma att diskuteras och utredas under många år framöver. Och det dök upp ett nytt problem. Frågan om framtidens stigande havsnivåer. Denna skulle komma att bli en av de riktigt stora klimatanpassningsfrågorna för samhällsbyggandet som berörde såväl storstadsregioner som idylliska kustsamhällen.

Men det var inte färdigt med extremväder. Sommaren 2018 blev extremt torr och het. Det ledde till vattenbrist och oro för vattenförsörjningen på flera håll. Det bröt ut dramatiska skogsbränder i Gävleborgs, Jämtlands och Dalarnas län, som vida överträffade den brand som drabbat Västmanland bara fyra år tidigare. 2014 ansågs skogsbranden i Västmanland vara den värsta som inträffat i Sverige i modern tid. Fyra år senare var det rekordet uttraderat. Sverige fick ta hjälp av brandbekämpare från utlandet för att få bränderna under kontroll.

2013 tillsatte regeringen Dricksvattenutredningen för att ”gå igenom dricksvattenområdet, från råvatten till tappkran,” (SOU, 2016). Utredningen kom att ägna ett delbetänkande åt klimatfrågan och dess betydelse för vattenförsörjningen (SOU, 2015). Det varma och torra sommaren 2018 bekräftade att försörjningen av dricksvatten verkligen är en relevant framtidsfråga.

Att tygla ett innanhav

Den jättelika sjön Vänern får sitt vatten från mängder av vattendrag, varav Klarälven är viktigast. Vänern töms genom Göta älv, Sveriges största vattendrag mätt i vattenflöde. Vänern och Göta älv är verkligen ett vattensystem med många motstående intressen. Det har visat sig vara svårt att hitta en bra kompromiss mellan krav och önskemål från jordbruk, miljö, vattenkraft, sjöfart, vattenförsörjning, önskan att bygga och bo nära vatten och säkerheten mot katastrofala skred i Göta älvs dalgång, som ju är känd för sin kvicklera. Det gör området till det mest skredkänsliga i landet. Här har ett antal stora skred inträffat, exempelvis i Surte 1950 och Göta älvs skredet 1957. Ett nytt stort skred skulle kunna leda till katastrofala konsekvenser för såväl bebyggelse som för Göteborgsregionens vattenförsörjning.

Men låt oss ta det hela från början. Vänerns vattenstånd har i stort sett varit opåverkat av mänskliga ingrepp fram till 1937. Då reglerades sjön genom en vattendom. Syftet var i första hand att kunna utnyttja Göta älv ännu bättre för att producera vattenkraft. Vattendomen för Vänern innehåller en rad bestämmelser som bygger på dåtidens kunskaper och samhällsbehov. Såväl sjöns föreskrivna dämningssgräns som sänkningsgräns varierar över året och den högsta tappningen i Göta älv är begränsad till drygt 1000 kubikmeter per sekund för att undvika skred och översvämningar längs älven. Detta är en unik och ganska onaturlig bestämmelse för en sjö. Det naturliga är att avrinningen kan öka utan övre begränsning efterhand som sjöns nivå stiger, men detta ville man alltså inte tillåta för Vänern, med tanke på riskerna för skred och översvämningar längs Göta älv. Denna begränsning kom att spela en viktig roll under den dramatiska hösten och vintern 2000/2001.

För att undvika översvämningsproblem nedströms Lilla Edet finns det också

bestämmelser som begränsar vattenflödet i Göta älv vid höga vattenstånd i havet. Älvens nedre delar rinner alltså fram i så låglänt terräng att havets nivåer påverkar älvens nivåer ända upp till Lilla Edet. Det finns också regler vid lågvatten för att säkerställa vattenståndet i älven för sjöfartens behov och för att undvika att saltvatten tränger in från havet och upp i Göta älv. Om detta skulle ske så påverkas vattenförsörjningen i hela göteborgsregionen. Vattenförsörjningen skulle också äventyras av ett större skred i älven.

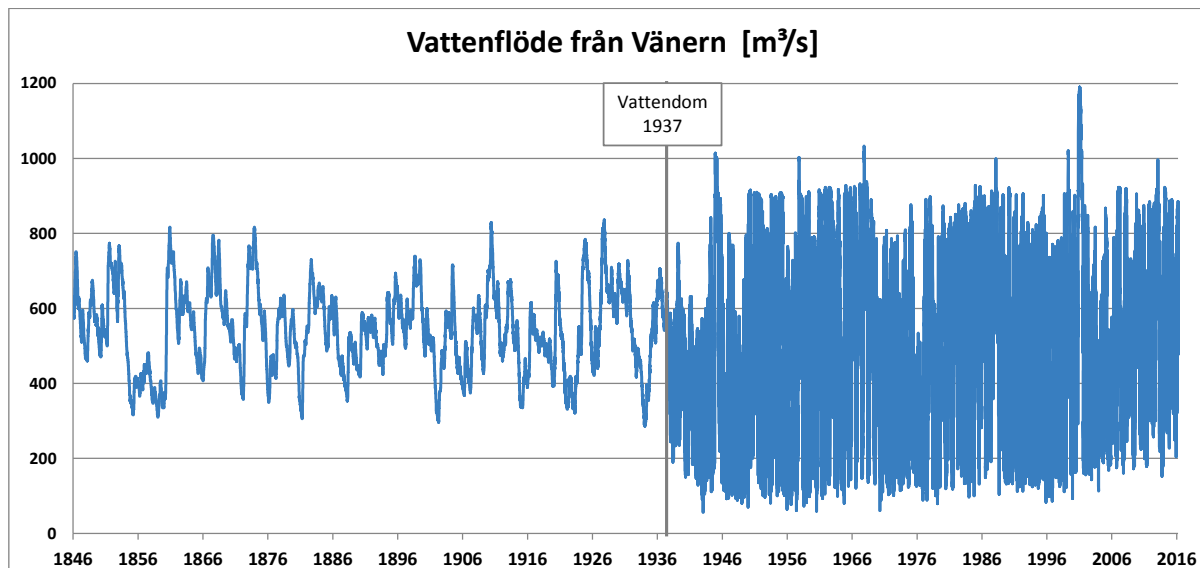
När Vänern ligger mellan dämningssgränsen och sänkningsgränsen har Vattenfall ganska stor frihet att variera vattenflödet i älven, så att det passar efterfrågan på elkraft från älvens kraftverk. Vattendomens utformning fick därför dramatisk betydelse för dynamiken i Göta älvs vattenflöden. Den naturliga årsrytmen försvann och vattenflödena styrs idag nästan helt av vattenkraftens önskemål. Det medför snabba fluktuationer och höga vattenflöden i älven, som vida överträffar vad som var normalt när älven var naturlig.

Det är många intressen som ska samsas längs Göta älv. Här möts två lastfartyg i den skredkänsliga dalgången.
Foto: Mats Andréasson.





Vänerns lås. Tappningen av vatten vid Vargöns kraftverk avgör såväl Vänerns nivåer som vattenflödena i Göta älv. Foto: Sten Bergström.



Mätserien över vattenförling i kubikmeter per sekund vid Vänerns utlopp (Vargöns kraftverk) under perioden 1846–2016 visar vilken dramatisk effekt vattendomen hade på flödet dynamik i Göta älv. Lägg märke till toppvärdet i januari 2001. Det var troligen högst även ett tusenårsperspektiv. Data från Vattenfall.



Hur blir det då med framtidens extremflöden?

När Vänern steg och hotade stränderna den rekordblöta hösten och vintern 2000/2001 blev det fullt pådrag. Nu ställdes frågan: Vågar vi släppa fram mer vatten i Göta älv än vad vattendomen tillåter? Alternativet vara att riskera att översvämma Vänerns stränder. Länsstyrelserna ingrep och Vattenfall ökade tappningen i älven utöver vad som domen tillät. Många hade nog hjärtat i halsgropen, inte minst vid Vargöns kraftverk där extraordinära säkerhetsåtgärder vidtogs. Här var man rädd för vad ett oplanerat driftavbrott skulle kunna ställa till med. På andra sidan Vänern, i Karlstad, undrade man över hur det nyligen planerade området Inre hamnen, egentligen hade det med säkerheten när Vänern steg.

Allt gick väl denna gång och Vänerns nivåer kulminerade i januari 2001. Rekordnivån blev lätt att komma ihåg, 45,67 meter över havets nivå. Men frågan hängde kvar. Vad ska man göra för att undvika översvämningsrisker runt Vänern samtidigt som man klarar riskerna för skred och översvämningsrisker längs med Göta älv? Och vad betyder detta för Göteborgs dricksvattenförsörjning? Frågan blir än mer komplicerad på lång sikt. Forskarna envisades med att berätta att nederbörden väntas öka speciellt mycket i västra Götaland samtidigt som vinterns paus, när regnet övergår i snöfall, uteblir. Och havet förväntas stiga alltmer vilket gör det än svårare att bli av med Vänerns vatten.

2009 blev dags för ännu en utredning om vad klimatförändringarna kan komma att ställa till med. Statens geotekniska institut, SGI, hade fått i uppdrag av regeringen att

kartera skredriskerna längs Göta älv. SMHI anlätades för att beräkna framtidens vattenflöden i älven och framtidens vattennivåer i Vänern. Det var långt ifrån självklart hur dessa beräkningar skulle gå till. Ett problem, som beskrevs tidigare, var att det hade visat sig att Flödeskommitténs riktlinjer inte direkt kunde tillämpas på den jättelika sjön Vänern. Ett annat var att vattendomen lämnade stort utrymme för tillfälliga variationer, som i sin tur styrs av vattenkraftens behov. Hur blir det då med framtidens extremflöden? Här måste man nog fundera på vattenkraftverkens roll i det framtida energisystemet. I samarbete med Vattenfall gjordes flera ansatser där man också provade vad effekten skulle bli om man tillät ännu mer vatten att rinna i Göta älv.

2011 levererades SMHI:s hydrologiska beräkningarna till SGI i en delrapport (SGI, 2011). Där sammanfattas resultaten på följande sätt: "Resultaten visar tydligt att såväl höga som låga tappningar från Vänern kommer att bli vanligare om klimatet utvecklas så som det beskrivs av tillgängliga framtids-scenarier. Detta beror på att tillrinningen beräknas öka på vinter och höst och minska under vår och sommar". Än en gång bekräftades betydelsen av att hålla ögonen på Göta älv när den globala uppvärmningen fortsätter.

Det var fler än Vattenfall, SGI och SMHI som intressera sig för framtidens extrema nivåer runt Vänern och de höga vattenflödena i Göta älv. Den stora sjön Vänern dök upp i diverse projekt med ekonomiskt stöd av Svenska kraftnät, vattenkraftindustrin, Länsförsäkringsbolagens forskningsfond och Nordisk Energiforskning. Det var inspirerande att jobba med så många beslutsfattare från så många håll. Det stora intresset från länsstyrelserna, kommuner och massmedia var en extra krydda i arbetet och en pedagogisk utmaning. Det var många detaljer att försöka förklara.

En speciell situation uppstod när vi hade fått en ny uppsättning regionala klimatscenarier som klimatforskarna ansåg vara mer rimliga än de gamla. När de nya beräkningar presenterades visade de i genomsnitt på något lägre framtida risker runt Vänern än vad som presenterats i Klimat- och sårbarhetsutredningen. Det väckte en del frustration. Kan ni inte hålla er till ett resultat? Återigen fick vi försöka förklara att det kan bli så här när man arbetar nära forskningsfronten. Då måste man lära sig hantera nya forskningsresultat. 2017 kom SMHI med ytterligare en uppdatering av beräkningarna för Vänern, baserad på ännu en ny uppsättning klimatscenarier (Eklund et al., 2017). Lyckligtvis med inte alltför avvikande resultat. Detta var säkert inte sista gången som man gav sig på att försöka räkna ut hur Vänerns framtid kommer att bli.

SGI:s geotekniker, Vattenfall, länsstyrelserna och kommunerna runt Vänern och längs Göta älv har fått mycket att fundera på. Vänerns vattendom diskuteras fortfarande. Det verkar vara svårt att hitta någon riktig bra lösning som alla är nöjda med. Det går ju inte heller att förhandla med naturens krafter. Så vad ska man då ta sig till när det varken går att spara vatten eller släppa det vidare genom Göta älv? Det finns många idéer, en hel trave med utredningar och fler är på gång. Försök har gjorts att se om en ändrad reglering av Vänern skulle kunna hjälpa till. Men då blev det snabbt konflikt med miljöintressena, som vill ha kvar vattenståndsvariationerna för att stränderna inte ska växa igen. Ett annat förslag som dyker upp ibland är att bygga en kanal från Vänern till havet.



Kan ni inte hålla er till ett resultat?

Men kanaler är till för att transportera båtar, inte vatten. En tunnel då? Det blir ett stort ingrepp. Det skulle krävas en riktigt stor tvärsnittsarea och tunneln skulle för det mesta stå tom. Den skulle bara utnyttjas vid extrema situationer, liknande den som inträffade under vintern 2000–2001.

Det kanske är klokare att anpassa sig till verkligheten. Där spelar klimatanpassning en viktig roll, åtminstone om man tänker bygga nytt och exploatera stränderna. Man kan också låta ingenjörerna ta vid och bygga dammar och skyddsportar. Det har man gjort i Karlstad för att skydda inre hamnens bostadsområde och i Arvika för att hålla Kyrkviken i schack när sjön Glafs fjorden stiger. Arvikas översvämningsskydd blev klar så sent som 2020 och kom till nytta nästan omedelbart i skarpt läge i januari året därpå. Den regniga hösten 2020 fick Glafs fjorden att återigen stiga till oroande nivåer om än inte lika högt som år 2000. Luckorna till Kyrkviken stängdes och vattennivåerna i Arvika kunde kontrolleras.

Här byggs dammen över sundet mellan Glafs fjorden och Kyrkviken som idag skyddar Arvika mot att översvämmas. Dammen kom till användning redan i januari 2021.
Foto: Sten Bergström, oktober 2018.



När det gäller riskerna i Göta älvs dalgång så handlar det om att försöka stabilisera de skredkänsligaste områdena och undvika att bygga på den mest utsatta marken. Eftersom ett stort skred i älven kan få långtgående konsekvenser för hela göteborgsregionens vattenförsörjning så kanske det till och med är dags att flytta Göteborgs vattenintag?

Den dramatiska hösten och vintern 2000/2001 blev en nyttig påminnelse om vad framtiden kan komma att bjuda på för Vänern och Göta älv. Men så här i efterhand, med lite perspektiv på all uppståndelse, känns det ändå lite orättvist att bara betrakta Vänern som ett problem. Det är ju en fantastisk vattenresurs! För vattenkraftindustrin erbjuder Vänern ett jättelikt vattenmagasin och ett rikligt och stabilt vattenflöde till flera stora kraftverk, som ligger på bekvämt avstånd från kunderna. Sjöfarten kan nå långt in i Sveriges inland tack vare Göta älv, Trollhätte kanal och Vänern. Fortsätter man sedan genom turistattraktionen Göta kanal så kommer man ut i Östersjön. Vänerns vatten försörjer hundratusentals människor med drickbart vatten, och sjön är en fantastisk tillgång för friluftslivet. Njut av Vänerns fina vatten, skärgårdar och fria horisonter, men ha respekt för vad naturen kan ställa till med!



Havsnivåfrågan är internationell. Därför kan vi lära mycket av utlandet.

När havet stiger

Över hela världen växer städerna. Och många av de allra största ligger nära havet. Inte konstigt då att man funderar mycket på framtidens havsnivåer. Det gör vi också i Sverige. Frågan blir extra besvärlig om det dessutom rinner vattendrag genom staden. Det gäller de flesta stora städer det med. Vad ska vi ta oss till om forskarnas värsta framtidsberäkningar slår in? Hur högt stiger havet och vattendragen, och hur blir det med framtidens stormar? Och vilken hjälp får vi av landhöjningen? Planeringen av stora projekt som den nya Slussen i Stockholm, Västlänken i Göteborg och skyddsvallarna i Kristianstad har medfört en knepig siffer-exercis. Men även på mindre orter finns en oro. Finns det risk för att hela Falsterbonäset går förlorat? Om vi tycker att de kommande 100 åren känns osäkra så är det ingenting mot hur lite vi vet om århundradena därefter. Har vi egentligen någon plan B på för hur vi ska möta de stigande havsnivåerna på flera hundra års sikt?

Havsnivåfrågan är internationell. Därför kan vi lära mycket av utlandet. Där bygger man skyddsbarriärer. Holländarna är specialister och tycker inte att det är så konstigt. Man bor ju sedan länge till stor del under havets nivå. Themsendammen utanför London är också välkänd, liksom det ständiga arbetet med barriären utanför Venedig. I New Orleans fanns det skyddsvallar, som tyvärr inte räckte till vid stormen Katrina 2005. Inte långt från Sverige ligger Sankt Petersburg. Där invigdes en skyddsbarriär så sent som 2011. Tvärs över det inre av Finska viken. Kan detta vara en lösning för oss i Sverige?

Vad har vi egentligen för alternativ på lång sikt om havet fortsätter att stiga? Antingen måste vi skydda städerna eller retirera till högre nivåer. För Stockholms del ser en skyddande barriär inte omöjligt ut. Landhöjningen är på stockholmarnas sida och



Hur högt stiger havet när
världen blir varmare?
Kvällsbild från Gotska Sandön.
Foto: Sten Bergström.

skärgården ger goda möjligheter till att anlägga dammar. Då blir de inre delarna av Stockholm skärgård ombildade till en insjö. För Göteborg diskuteras också barriärer, en i Göta älv och en i Nordre älv. Lite svårare blir det nog för Malmö, där landhöjningen dessutom är obefintlig. Det låglänta och attraktiva Falsterbonäset tillhör de områden som är mest utsatta i Sverige, för att inte tala om Kristianstad. Men de svenska problemen är ändå ingenting mot de problem de bördiga och tätbefolkade deltaområdena i Asien och Afrika står inför. Översvämmas dessa blir det verkligt stora katastrofer som kommer att beröra oss alla.

När frågan om framtidens havsnivåer blev aktuell var det många beslutsfattare i Sverige som vände sig till SMHI för att få vägledning. Problemet var bara att det fanns få svenska forskare som ägnade sig åt framtidens havsnivåer. För att få ett grepp om framtidens havsnivåer måste man i första hand ha kunskap om landisarnas avsmältning, havets expansion genom vattnets uppvärmning samt framtidens stormar. För Sveriges del måste vi också ta hänsyn till landhöjningen, som minskar riskerna med det stigande havet ju längre norrut vi rör oss

längs kusten. Havsnivåerna i Sverige påverkas också, till en del, av den ändring av gravitationsfältet som inträffar när isen på Grönland smälter.

På SMHI höll situationen på att bli ohållbar. En expertmyndighet borde väl kunna säga något vettigt om framtidens havsnivåer till alla som frågade! Lyckligtvis fanns det hjälp att få utomlands. IPCC:s vetenskapliga sammanställningar är en ovärderlig kunskapskälla om man vill förstå de komplicerade sammanhangen som rör framtidens havsnivåer. Och det finns många länder som ägnat mer tid åt detta problem än vad vi gjort i Sverige. För att få ett underlag gjorde SMHI en sammanställning av kunskapsläget som byggde på såväl vetenskaplig publicering som på bedömningar från ansvariga myndigheter i andra länder. Här spelade den holländska Deltakommittén stor roll, men information hämtades också från Norge, Danmark, USA, Storbritannien, Vietnam och Australien (Bergström, 2012). Nu hade vi i alla fall ett underlag. Men det gällde att våga dra slutsatser också. Omvärlden ville ju veta hur SMHI bedömde allt detta.

I SMHI:s utredning om Mälarens nya reglering, som gjordes på uppdrag av Projekt Slussen, kom till slut följande formulering som kom att fungera som SMHI:s slutsats rörande framtidens havsnivåer. "Mot ovanstående bakgrund bedömer SMHI för närvarande att det är rimligt att anta att en övre gräns för havsvattenytans stigning är ungefär en meter under perioden 1990–2100, sett som ett globalt medelvärde. Siffran ska korrigeras för landhöjning och andra lokala effekter" (Andréasson et al., 2011b).

Upp till en meters global havsnivåhöjning fram till 2100 var en rund siffra som nu publicerades för första gången i ett officiellt dokument från SMHI. Då anade vi inte vilket genomslag detta skulle få! De som i sitt arbete på något sätt berördes av framtidens havsnivåer hade äntligen något att hålla sig till. Bedömningen skulle komma att användas i mängder av sammanhang under kommande år. Det talades ofta om "den där metern" när man pratade om hur man skulle skydda sig mot framtidens havsnivåer. I mer publika sammanhang och i media glömde man dock ofta att nämna att detta var en övre gräns för vad som kan anses rimligt och inte

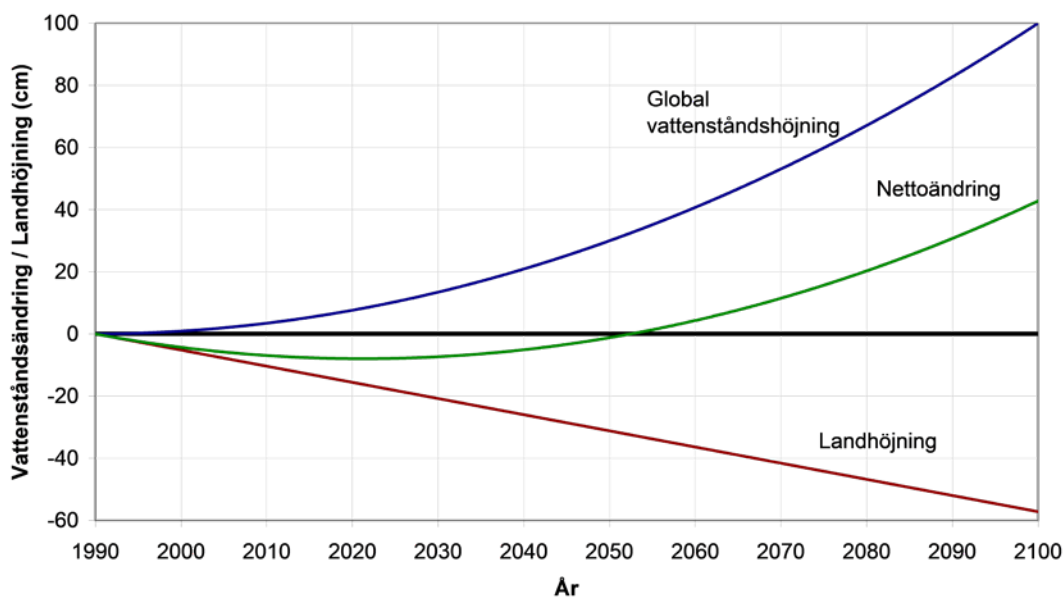
det mest sannolika. Det betyder att detta är ett pessimistiskt scenario som för det första bygger på IPCC:s mest oroande utsläppsscenario (RCP8,5) och för det andra ligger i överkanten av en ensemble av beräkningar (5% percentil).

För att få veta vad den stigande havsnivån betyder för en enskild plats längs kusten krävdes också korrigeringar för landhöjningen. Därför konstruerades en uppsättning diagram som tack vare sin enkelhet också skulle få stor spridning. De visar hur havsnivån utvecklas på en given plats om landhöjningen dras ifrån.

För Slussens del skulle det så småningom bli ett himla liv om SMHI:s bedömning av framtidens havsnivåer. Vi återkommer till detta längre fram.

Diagram av detta slag fick stor spridning i Sverige. Det visar nettoeffekten av en framtida global havsnivåhöjning på 30 cm år 2050 och en meter 2100 och landhöjningen i Stockholm. Landhöjningen är 5,2 mm per år. Observera att det är först vid mitten av seklet som havets nivå i Stockholm beräknas passera den nivå som det låg på 1990. Källa: Andréasson et al. (2011b).

Stockholm



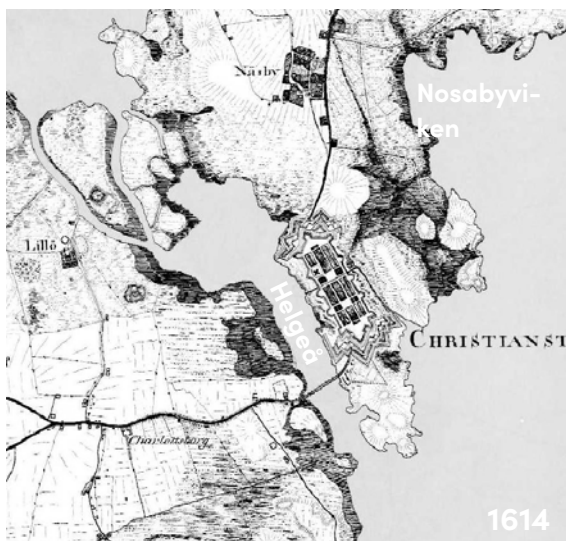


Samhället ändras
snabbare än klimatet.

En stad under havets nivå

Varför bygger man en stad under havsnivån? 1614 tyckte den danske kungen Kristian IV att det var en bra idé att lägga en fästningsstad så att den var omgiven av träskmarker som skydd mot svenskarna. Då låg staden fortfarande över havets nivå. Under 1860-talet behövdes mer odlingsmark. Det fanns dessutom behov av att bli av med vatten eftersom staden närmast var en sanitär olägenhet. 1857 dog omkring en tiondel av Kristianstads dåvarande befolkning i kolera.

Uppdraget att torrlägga Nosabyviken, som var en del av Hammarsjön, gick till en engelsk ingenjör, John Nun Milner. Han startade ett invallningsföretag som byggde Hammarslundsvallen med lera från Ekenabben intill. Ett par gånger bröt Hammarsjön igenom vallen under byggnationen. Under 1870-talet torrlades viken. När Kristianstad växte under 1900-talet byggdes bostäder, sjukhus, reningsverk och en bit av E22:an på det som en gång var sjöbotten. Här ligger också Sveriges lägsta punkt, drygt 2 meter under havets nivå.



Samhället ändras snabbare än klimatet. Kristianstads utveckling är ett bra exempel på vad samhällsutvecklingen under 400 år betytt för samhällets sårbarhet för klimatförändringar. Observera Hammarslundsvallen som skyddar stora delen av staden för höga vattennivåer i Hammarsjön. Källa: Kristianstads kommun.



Sveriges lägsta punkt ligger i Kristianstad och är utmärkt med detta monument.

Foto: Maria Bartsch.



Tusentals människor och samhällsviktiga funktioner fanns i riskzonen.

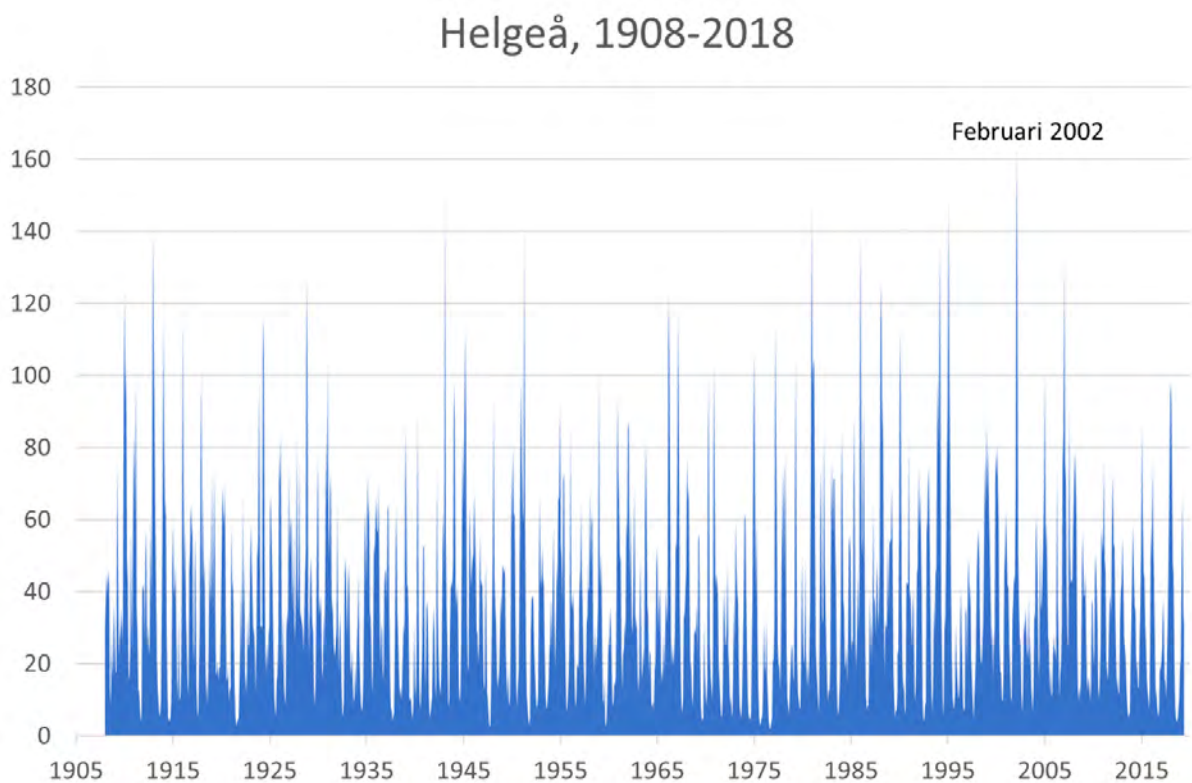
Det kan synas märkligt att just Kristianstad pekats ut som särskilt utsatt när havet stiger. Det är ju en bra bit från stadens centrum till havet. Men detta är låglänta trakter. Det betyder att den nyckfulla Helgeå, med sitt bihang Hammarsjön, ligger högre än en stor del av staden. För att hålla vattnet borta måste man bygga skyddsvallar och pumpa bort regnvattnet. Det lär man få hålla på med så länge som staden ligger där den ligger. Speciellt svårt är det att hantera Helgeås vatten när Östersjön ligger högt. Därför är framtidsutsikterna med stigande havsnivåer oroande. Skåne har ju inte heller någon landhöjning att tala om som skulle kunna hjälpa till att hålla vattnet borta på längre sikt.

Till vardags tänker kristianstadsborna kanske inte så mycket på allt detta, men ibland kommer handfasta påminnelser. Så skedde åren 1917, 1928, 1980, 2002 och 2007. 2002 översvämmades Tivoliparken och man var ordentligt oroad över Hammarslundsvallen, som skyddar östra Kristianstad mot Hammarsjön. Tusentals människor och samhällsviktiga funktioner fanns i riskzonen. I all hast anlades en tryckbank bakom vallen. Lastbilar med stenkross körde i skytteltrafik under flera dygn.

Sedan 2002 har arbetet med att skydda Kristianstad mot vattnet tagit fart. En ny skyddsvall har byggts mot Hammarsjön och nya vallar har anlagts i andra strategiska lägen. För att hålla staden torr har pumpstationer och dagvattendiken förbättrats. Men ännu är det en bit kvar tills hela Kristianstad är fullständigt säkrad mot översvämningar.

Projekteringen av skyddsvallarna i Kristianstad bygger på vattenkraftindustrins riktlinjer för flödesdimensionering. De dimensionerande vattennivåerna beräknades med samma metod som Flödeskommittén utvecklat för dammar i flödesdimensioneringsklass I. Detta var ett krav som MSB ställde för att bidra till finansieringen. Och detta är naturligtvis rimligt eftersom det handlar om att skydda samhällsviktiga funktioner, stora ekonomiska värden och kanske människoliv.

Kristianstad har trots allt lyckats vända den hotbild som vattnet skapar till något positivt. Vatten och våtmarker är ju en stor tillgång för den biologiska mångfalden och för friluftslivet. Staden har därför skapat ett stort skyddat våtmarksområde, Vattenriket, som utsetts till ett biosfärsområde av Unesco. Här kan man studera våtmarkernas rika växt- och djurliv på bekvämt avstånd från stadens centrum. Men glöm inte att detta naturområde hamnar under vatten om havet stiger alltför mycket!



I mer än hundra år har man registrerat vattenflödet i Torsebro i Helgeå strax uppströms Kristianstad. Diagrammet visar månadsmedelvärden uttryckta i kubikmeter per sekund. Observera det höga flödet i februari 2002! *Data från SMHI.*

Här ska staden ligga!

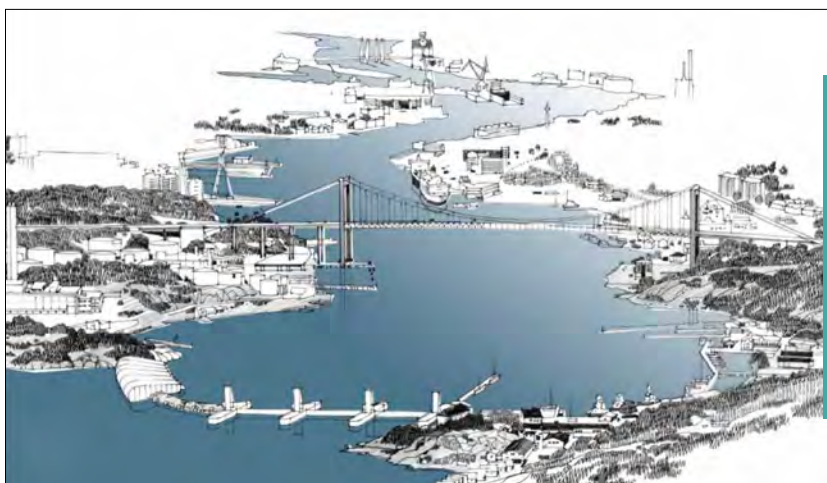
En annan kung som gillade att bestämma var Gustav II Adolf. Enligt sägnen pekade han på marken och yttrade: "Här skall staden ligga." Göteborg grundades 1621 där Göta älv rinner ut i havet. En ganska logisk plats kan man tycka, med tanke på den strategiska betydelsen för försvar, transporter och handel. Men en flodmynning är en känslig plats, speciellt om den är låglänt och havet börjar stiga. Extra komplicerat blir det om marken delvis består av skredkänslig kvicklera.

Göteborg växte och bredde ut sig. Då och då gjorde sig naturen påmind. De mest dramatiska händelserna var de stora skred som inträffade när kvickleran gav vika. Men Mölndalsån som rinner genom staden visade sig också svår att bemästra. Och ibland inträffade kraftiga västliga stormar som tryckte upp havet långt över den nivå som staden var byggd för. Här krävdes skyddsåtgärder, och sådana byggdes på olika strategiska punkter.

När klimatfrågan blev aktuell blev Göteborgs stadsplanerare fundersamma. Det var ju här i sydvästra Sverige som regnet väntades öka som mest. Och det stigande havet kompenseras knappast alls av landhöjningen. Samtidigt är Göta älvs stränder väldigt attraktiva när det gäller framtidens stadsutveckling. När det blev dags för Göteborgs

superprojekt Västlänken, med sin järnvägstunnel under staden, ställdes frågan på sin spets. Hur ska vi ta höjd för den globala uppvärmningen? Göteborgs stad och Trafikverket kallade till sig experter och vi på SMHI blev indragna. Turligt nog hade vi en hel del underlag att luta oss emot. Tack vare erfarenheterna från arbetet med dammsäkerhet, kunde vi räkna fram riskerna för Mölndalsån och Säveån som rinner genom Göteborg. Skyfallen i Sverige hade också börjat kartläggas och det fanns konsulter som kunde räkna fram hur vattnet breder ut sig i staden när himlen öppnar sig. Här fick det förödande skyfall som dränkte stora delar av Köpenhamn i juli 2011 stor pedagogisk betydelse. Det kunde ju lika gärna ha hänt i Göteborg!

Men sen gällde det frågan om havets framtida nivåer. Visserligen hade man tillgång till IPCC:s vetenskapliga sammanställningar och SMHI:s bedömningar men dessa gällde bara för tidsperioden fram till 2100. Det skulle dröja till hösten 2019 och sommaren 2021 innan mer långsiktiga bedömningar kom från IPCC (IPCC, 2019 och IPCC, 2021). Innan dess fick projektet nöja sig med en egen ingenjörsmässig bedömning, som alla inblandade fann rimlig. Alla bedömningarna pekade ändå mot oroande höga värden, speciellt om man räknar med effekten av kraftiga västliga stormar.



Kanske en framtidsvision? Skiss över skyddsportarna som är tänkta att skydda Göteborg mot framtidens stigande hav och stormar. Källa: SWECO Architects på uppdrag av Stadsbyggnadskontoret, Göteborgs stad.

I Göteborg hamnade man i en strategidiskussion. Ungefär så här kunde det låta: "Ska vi enbart skydda Västlänken eller ska vi anlägga ett storskaligt skydd för hela staden? Annars finns det ju risk för att staden hamnar under vatten och bara Västlänken klarar sig". Den diskussionen pågår än idag. Ett storskaligt skydd skulle gå ut på att bygga skyddsportar i Göta älv vid Älvsborgsbron och i Nordre älv på andra sidan om Hisingen.

Det är ju så man gör i flera stora städer världen runt. Men hur gör man då med det vatten som rinner till älven från Vänern? Det kommer att krävas samverkan med Vattenfall som måste hålla igen tappningen från Vänern när skyddsportarna är stängda. Under 1600 hjälpte holländare till med byggandet av Göteborg, kanske behöver vi ta hjälp av dem också i framtiden när havet stiger.



Stockholm, vid en flodmynning.
Foto: Sten Bergström, februari 2017.

Stockholm, vid en strategisk flodmynning

Uppmärksamma flanerande stockholmare förundras ofta över vad som händer vid Mälarens utlopp i Saltsjön. Ibland forsar vattnet med stor kraft vid Strömmen och genom olika passager ut i havet. Ibland upphör vattenflödet helt. Vattennivåerna far upp och ner på ett till synes oregelbundet sätt. Det händer till och med att havet ligger

högre än Mälaren och hindras från att rinna in i Mälaren med hjälp av dammluckor, som är mer eller mindre dolda under broar.

För att förstå Slussens problembild måste man förstå Mälaren och dess tillrinningsområde. Helst bör man också känna till lite om det hydrologiska kretsloppet. Därtill behövs kunskap om Östersjön, världshaven, kontinenternas isar och landhöjningen.

Till sist är det bra att vara historiskt intresserad och ha någorlunda koll på Stockholms utveckling under de senaste århundradena.

Mälarens utlopp har alltid varit en strategisk punkt. Dess betydelse har dock förändrats efterhand som Stockholm vuxit och landhöjningen successivt gjort Mälaren till en insjö från att tidigare ha varit en vik av havet. 1642 invigdes den första slussen, kallad Drottning Kristinas sluss. Då hade Stockholm ungefär 30 000 invånare. Drygt 100 år senare konstruerade Christopher Polhem den andra slussen som invigdes 1755. Då hade invånarantalet i Stockholm vuxit till ungefär 70 000 personer. Nils Ericson konstruerade den tredje slussen, som stod färdig 1850 när Stockholm hade omkring 93 000 invånare. Den fjärde Slussen, Karl Johansslussen, invigdes 1935. Stockholm hade då drygt en halv miljon invånare. Det är denna sluss som nu håller på att ersättas.

Mälaren är Sveriges tredje största sjö med ett avrinningsområde som sträcker sig från Bergslagen i väster till centrala Stockholm. Till Mälaren rinner vatten från stora delar av Uppland, Västmanland, Närke, södra Dalarna och norra Södermanland. Det sammanlagda vattenflödet till havet från Mälaren är ca 160 kubikmeter per sekund, vilket räcker till en tiondeplats bland Sveriges vattendrag. Det är ingen stor nivåskillnad mellan Mälaren och Saltsjön, i genomsnitt cirka 70 cm.

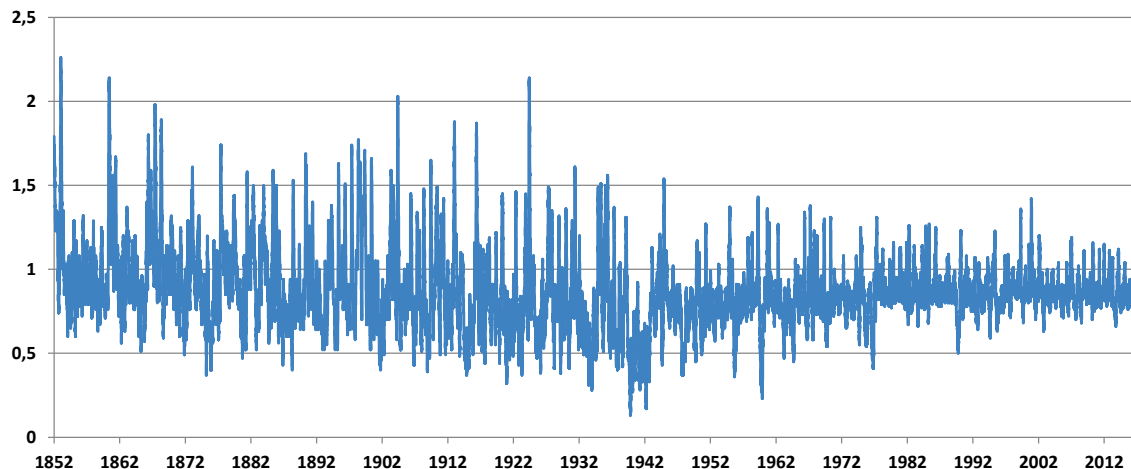
Människan tar kontroll över Mälaren

1943 genomfördes en första reglering av Mälaren. Avsikten var att motverka översvämningar av jordbruksmark, men också att gynna sjöfarten. Effekten blev inte riktigt som man tänkt sig. De lägsta vattenstånden blev betydligt lägre än väntat. Därför började nya regleringsbestämmelser tillämpas i mars 1968.

Detta gamla fotografi visar Mälartorget i Gamla stan i Stockholm vid översvämningen våren 1924. Det var bland annat denna typ av händelser man hoppades slippa i och med 1943 års reglering av Mälaren. Bilden är hämtad från SMHI:s bildarkiv.



Vattennivå Mälaren (m)



Vattenstånd för Mälaren (meter i höjdsystem RH00) i Stockholm under perioden 1852–2016. Observera att året 2000 inte framstår som speciellt dramatiskt från ett historiskt perspektiv, men det uppfattades så eftersom samhället anpassat sig till regleringen och i praktiken blivit mer sårbart. Mätserien uppvisar en trend som beror på att landhöjningen påverkat referenspunkten. *Data från Stockholms hamn.*

Det rekordblöta året 2000 blev en väckarklocka också för de som bor vid Mälaren. Det visade sig helt enkelt svårt att tappa ur tillräckligt med vatten till havet. I december uppmättes det högsta vattenståndet sedan regleringen togs i bruk 1943 och runt Mälaren hotade betydande översvämningar. Detta bidrog till att de stora sjöarnas problem fick ett eget delbetänkande i Klimat- och sårbarhetsutredningen. Diskussionerna om Mälaren blev omfattande. De fem berörda länsstyrelserna oroade sig för sjöns framtid som vattentäkt och gav gemensamt ut en informativ skrift om Mälaren som dricks-vattentäkt i ett hundraårsperspektiv (Länsstyrelserna, 2011). Där tar man också upp frågan om att bygga en framtida barriär i skärgården om havet stiger alltför mycket.

Regeringen gav också MSB i uppdrag att analysera och bedöma konsekvenserna av en översvämning i Mälaren för olika

samhällssektorer. Detta uppdrag redovisades i februari 2012. MSB:s första slutsats sammanfattar väl situationen för Mälaren (MSB, 2012b): "Risken för översvämning i Mälaren är idag hög eftersom tillrinningen till Mälaren kan vara högre än den kapacitet som finns att tappa vatten från Mälaren. Fram till dess att en ökad tappningskapacitet eller att förebyggande och beredskaps-höjande åtgärder av mycket stor omfattning har genomförts kvarstår den höga risken".

Dags för Nya Slussen

När det blev dags att projektera en ny sluss vid Söderström mellan Gamla stan och Södermalm fick SMHI i uppdrag att utarbeta ett förslag till ny reglering av Mälaren. Det innebar att också räkna på vilken ny avtappningsförmåga som skulle komma att krävas när klimatet ändras. Detta var en spännande utmaning, såväl tekniskt som



Äntligen fick vi möjlighet att arbeta med klimatanpassning av ett stort och komplext infrastrukturprojekt!

naturvetenskapligt. Äntligen fick vi möjlighet att arbeta med klimatanpassning av ett stort och komplext infrastrukturprojekt! Vi tyckte oss ha goda förutsättningar genom tidigare arbeten med höga vattenflöden och havets framtida nivåer. Visserligen hade vi lite på avstånd följt den inflammerade debatten om utformningen av Slussen, men vi var helt oförberedda på vad som skulle komma. Våra beräkningar skulle ifrågasättas, som ett led i försöken att stoppa bygget av Nya Slussen.

Förslaget till ny reglering av Mälaren mejslades fram efter diskussioner mellan motstående intressen. Jordbruket ville ha torrt längs stränderna, speciellt i Mälarens västra delar. Sjöfarten ville ha tillräckligt höga vattenstånd för att båtarna säkert ska kunna nå fram till Mälarens hamnar. Vattenförsörjningen krävde att bräckt havsvatten inte tilläts flöda in i Mälaren när havet ligger högt. För infrastrukturens och bebyggelsens krävdes att översvämningar undviks. Samtidigt krävde hänsynen till den biologiska mångfalden förhöjda nivåer under vårarna.

Det skulle krävas kompromisser. Ingen blev helt nöjd. En viktig utgångspunkt var dock att det behövdes bra mycket större tappningskapacitet till havet för att kunna kontrollera Mälarens nivåer. Först då kan man säkra Mälarens stränder och leva upp till ambitionerna i en framtida miljödom. Detta kräver i sin tur beräkningar av hur de framtida vattenflödena i de år som rinner till Mälaren förändras och hur högt havet stiger i framtiden.

Allt detta sammanfattades i det förslag till framtida reglering som togs fram av SMHI. För beräkning av extrema tillrinningar användes den metodik som utarbetats för vattenkraft- och gruvindustrins dammar inom den så kallade Klimatkommittén. Det var stora värden som stod på spel. Därför betraktades slussenanläggningen som en damm som måste klara av vattenflöden av flödesdimensioneringsklass I, den skulle alltså klara mycket extrema tillrinningar till Mälaren från Mälardalens åar.

Havets framtida nivåer togs också med i beräkningarna. Utgångspunkten var den tidigare beskrivna kunskapssammanställning av framtidens havsnivåer som SMHI tagit fram (Bergström, 2012). Det ledde fram till bedömningen "att det är rimligt att anta att en övre gräns för havsvattenytans stigning är ungefär en meter under perioden 1990–2100, sett som ett globalt medelvärde". När det skrevs var detta ett pessimistiskt scenario, som byggde på överkanten av en ensemble av beräkningar baserade på IPCC:s mest oroande utsläppsscenario (RCP8,5). I beräkningarna korrigerades havsnivån för landhöjningen under motsvarande period.

SMHI kom fram till att det skulle krävas att kapaciteten att släppa ut vatten från Mälaren mer än fördubblas för att man skulle uppnå godtagbar säkerhet under de kommande 100 åren. Den samlade kapaciteten var vid denna tid ca 800 m³/s. I förslaget till ny reglering förutsattes att

motsvarande kapacitet utökades till drygt 2000 m³/s. Den utökade tappningskapaciteten antogs ge goda möjligheter att kontrollera Mälarens nivåer även när havet stiger.

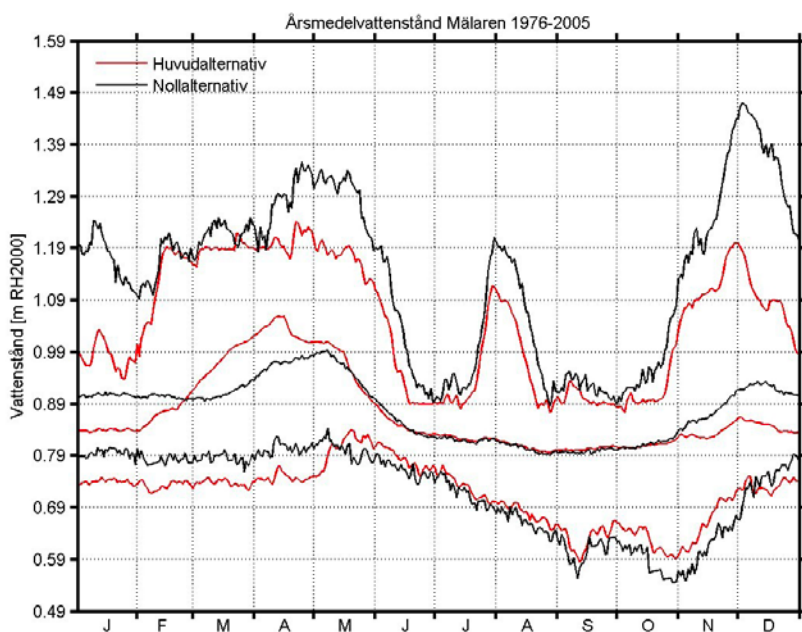
Kompromissen mellan olika intressen innebar i korthet införandet av vattenhushållningsbestämmelser som i viss mån söker efterlikna naturliga förhållande i det att Mälaren tillåts stiga lite extra under våren. I övrigt används den stora tappningskapaciteten till att minska riskerna för översvämningar. För mer detaljer hänvisas till SMHI:s rapport (Andréasson et al., 2011b).

Nedanstående diagram sammanfattar vad det hade inneburit för vattennivåerna i Mälaren om den föreslagna regleringen hade tillämpats under perioden 1976–2005. Där syns den föreslagna förhöjningen av nivåerna under våren och visas att de höga nivåerna under hösten 2000 skulle ha dämpats avsevärt. De allra lägsta nivåerna under sommaren hade också blivit något högre.

När alla beräkningar var klara kunde SMHI till slut formulera vad förslaget skulle betyda för säkerheten runt Mälaren på följande sätt: "Den utökade kapaciteten ger goda möjligheter att hantera såväl dagens som framtidens extrema tillrinningar. Det innebär att riskerna för översvämningar i stort sett elimineras i tidsperspektivet 2050–2100."

Det blev ett himla liv

"Stadens och SMHI:s bedömningar (+1,0 m) som saknar offentlig vetenskaplig analys, har därmed rimligen fallit". Så skrev Stellan Hamrin och Per Johansson i ett längre inlägg i DN Debatt den 23 november 2012. Detta var den typ av påståenden som vi fick bemöta när vi lagt fram förslaget till ny reglering av Mälaren. Det var en av de få gånger under arbetet som jag tappade humöret. Vi hade ju arbetat i flera år med att försöka hitta en rimlig nivå som var baserad på det bästa vetenskapliga underlag som gick att hitta och dessutom hade vi tagit hänsyn till bedömningar av flera utländska expertmyndigheter.



Detta diagram, hämtat från SMHI:s förslag till ny reglering av Mälaren, visar en beräkning av vilken effekt detta hade fått för medel-, min- och maxvattenstånden under perioden 1976–2005. Denna period innehåller såväl det extremt torra året 1976 som det extremt blöta året 2000. De svarta linjerna avser den tidigare regleringen och den röda linjen visar utvecklingen enligt den föreslagna nya regleringen. Källa: Andréasson et al. (2011b).

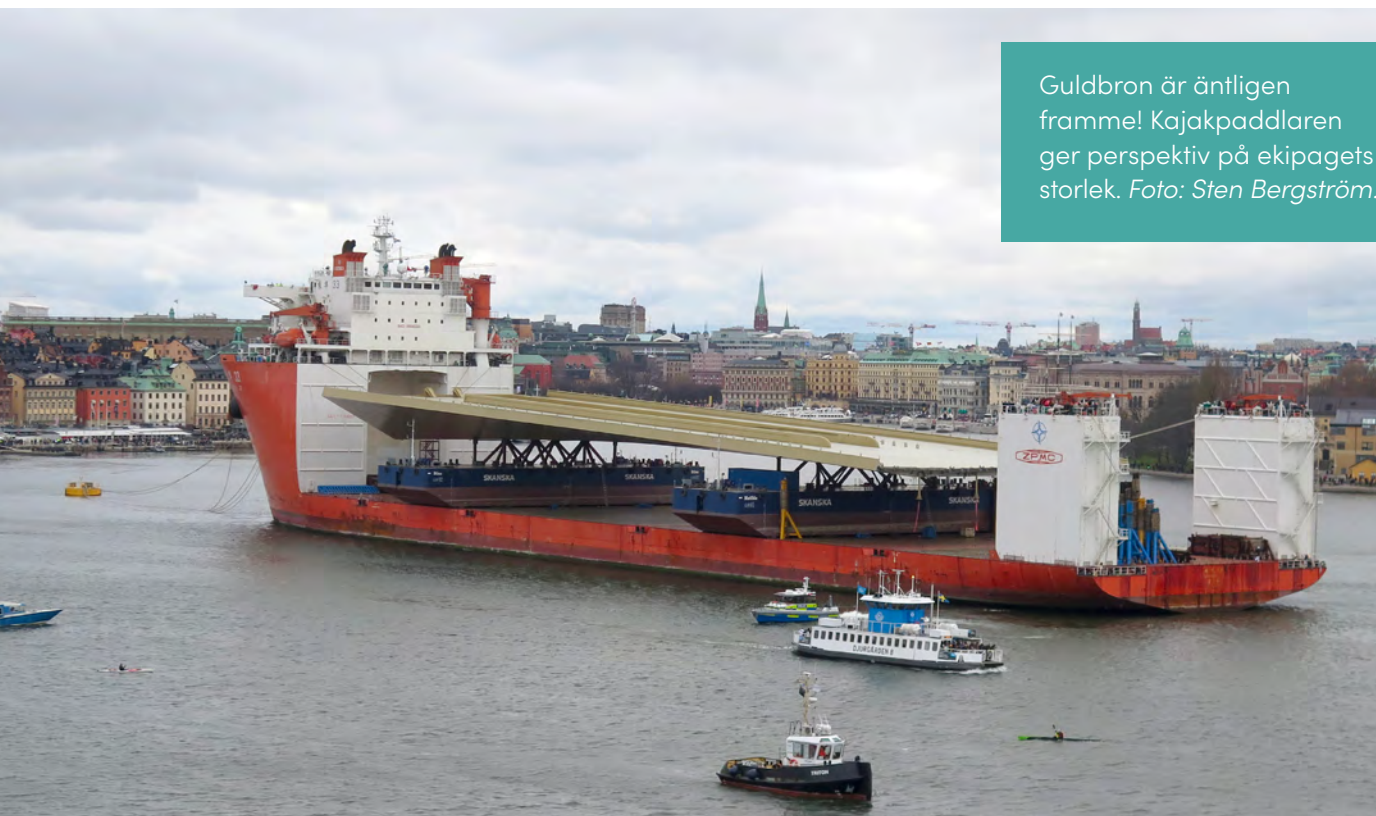
Det som verkligen var frustrerande var att vi var förhindrade att bemöta inläggen. Debatten om Slussen var ju infekterad och ett bemötande från SMHI skulle kunna tolkas som ett ställningstagande från en statlig expertmyndighet för den ena eller den andra sida. För stunden kändes detta orättvist, men så här i efterhand var det nog ett klokt beslut. Frågan skulle senare behandlas av såväl Mark- och miljödomstolen som Mark- och miljööverdomstolen. Där fick vi chansen att prata till punkt. Det var en skön känsla att i lugn och ro få redogöra för beräkningarna i domstolsförhandlingar. Domstolarna gick på SMHI:s linje och nu byggs den nya Slussen för fullt.

Den 11 mars 2020 anlände M/S Zhen Hua 33 till Stockholm från Kina. Ombord låg, Guldbron, Slussens nya huvudbro som förbinder Södermalm med Gamla stan. Men den 11 mars 2020 hade Sverige fått annat att tänka

på. Samma dag som tusentals stockholmare samlats längs stränderna för att ta emot den nya bron utfärdade regeringen förbud mot folksamlingar på fler än 500 personer. Kampen mot Covid-19 hade börjat.

Hur stod sig då SMHI:s bedömning av framtidens havsnivåer? Hösten 2013 hade jag förmånen att få delta på en föredragning av IPCC:s femte vetenskapliga sammanställning på ett möte på Kungl. Vetenskapsakademien i Frescati (IPCC, 2013). Det var med både glädje och lättnad som jag förstod att IPCC:s bedömning av havsnivåhöjningen nästan på centimetern överensstämde med de siffror vi föreslagit från SMHI. Till min stora överraskning hamnade jag bredvid John A. Church från Australien, en av huvudförfattarna till kapitlet om havsnivåer. När publiken gick ut för att mingla i foajén satt John och jag kvar i salen. Vi hade mycket att prata om!

Guldbron är äntligen framme! Kajakpaddlaren ger perspektiv på ekipagets storlek. Foto: Sten Bergström.



När detta skrivs under hösten 2021 pågår byggandet av nya Slussen för fullt. Bygget är ett bra exempel på klimatanpassning, där man tar hänsyn till såväl framtidens mest extrema vattenflöden till Mälaren som stigande havsnivåer. Här ligger Guldbron på plats mellan Skeppsbron och Södermalms-torg. Foto: Sten Bergström, augusti 2021.



Men havsnivåerna lämnade forskarna ingen ro och larmsignalerna duggade tätt. IPCC tog sig an frågan igen och levererade 2019 en uppdaterad bedömning i en specialrapport (IPCC, 2019). Nu hade man justerat upp de högsta scenarierna för 2100 med ca tio centimeter. Men det verkligt nya var att man äntligen vågade sig på förutsägelser för fler århundraden framåt. Detta var verkligen efterlängtat!

I augusti 2021 var det dags för IPCC:s sjätte vetenskapliga utvärdering. De tidigare bedömningarna av framtidens havsnivåer kvarstod i stort sett, men IPCC skriver också att det på grund av osäkerheter om isprocesserna inte går att utesluta att havet skulle kunna stiga mycket mer ("cannot be ruled out due to deep uncertainty in ice sheet processes", IPCC, 2021).

Klimatanpassning i verkligheten

Det är nog ingen överdrift att säga att klimatanpassningen av Slussen blev ett banbrytande exempel på klimatanpassning i verkligheten. Här sammanstrålade frågor om framtidens extrema vattenflöden med regleringen av Mälaren och framtidens havsnivåhöjning. Samtidigt var det publika intresset mycket stort. Motstående intressen möttes och man löste frågan om regleringen av Mälaren. Men det blev besvärligare och mer känslomässigt med själva Slussens

utformning. Det var många som blandade sig i leken och hade synpunkter.

Det var framförallt utformningen av Slussen och det omgivande stadsbyggandet som väckte debatt. En del tyckte att den gamla, nu fallfärdiga, klöverbladslösningen hade ett sådant kulturhistoriskt värde att den borde bevaras. Andra hade egna förslag om hur Mälarens vatten skulle hanteras eller hur Slussen skulle byggas. Ofta försökte man använda eller vränga till vetenskapen för få argument för att stoppa bygget. Och visst fanns det alltid någon vetenskaplig artikel som man kunde ta till. Lyckligtvis fanns IPCC som en stabil och trovärdig organisation som hjälpte oss att hitta rätt i den internationella floden av forskningsresultat.

Flödeskommitténs och vattenkraftindustrins arbete med dimensionerande flöden spelade en viktig roll i dramat om Slussen. Förslaget till Mälarens reglering och dimensioneringen av luckorna i Slussens bygger på Flödeskommitténs metod för beräkning av flöden i flödesdimensioneringsklass I. Beräkningarna är dessutom klimatanpassade enligt den metodik som Klimatkommittén föreslog. Vem hade kunnat ana att det skulle bli så när allt började i Indalsälven under hösten 1983?



6. Framtidens frågor

Vart är vi på väg? En vårdag vid Kalixälven i Tärendö med skoterspår.
Foto: Sten Bergström, maj 2018.



Flödeskommitténs arbete med riktlinjer för flödesdimensionering under 1980-talet fick stor betydelse. Efter mer än trettio år är detta fortfarande ett av de viktigaste dokumenten när samhället ska säkras mot framtidens höga vattenflöden och vattennivåer. Ambitionen att beskriva metoden så detaljerat att till och med de dimensionerande nederbördssekvenserna föreskrivs har underlättat för alla som ska använda riktlinjerna. Men när hänsyn skulle tas till klimatfrågan gick det inte längre att leva upp till denna ambition. Klimatforskningen är alldeles för dynamisk. Det kommer ständigt nya resultat. Därför blev riktlinjerna inte lika väl specificerade när det gäller anpassning till ett förändrat klimat. Det var ändå ett stort steg att en övergripande metodik för klimatanpassning av Flödeskommitténs riktlinjer kunde tas fram.

Det har hela tiden varit vattenkraftindustrin som varit drivande i frågor som rör beräkning av extrema vattenflöden i vattendrag, först genom Flödeskommittén och sedan Klimatkommittén. Detta är ganska naturligt eftersom vattenkraftindustrin är direkt beroende av kunskap om vattenförhållandenas variationer och extremvärden. Det övriga samhället har, utan mer ingående diskussioner, anammat de metoder för flödesberäkning som utvecklats inom vattenkraftindustrin, trots att samhällsbyggandet och infrastrukturen i övrigt inte var den ursprungliga målgruppen. Därmed har Flödeskommitténs och Klimatkommitténs arbeten blivit normbildande för hela samhällets arbete med klimatanpassning när det gäller flödesdimensionering.

Men det finns fortfarande obesvarade frågor som rör hur man ska ta höjd för klimatfrågan i det fortsatta arbetet med dammsäkerhet. Inte minst handlar det om att ta hänsyn till nya forskningsresultat. Därför har nu ännu en klimatkommitté bildats, som ska jobba vidare i samma anda som den som avrapporterade sitt arbete för tio år sedan. Detta kommer säkert att leda till ytterligare modifieringar av riktlinjerna. Det återstår att se om den övriga samhällsplanering kommer att hänga med i denna process.

När framtidens havsnivåer blev aktuella ställdes samhället inför helt nya frågor, som hade stora likheter med de som Flödeskommittén och Klimatkommittén arbetat med. Hur högt kan havet stiga och vilket är den värsta översvämning som kan inträffa under en storm? Frågan blir ännu mer komplicerad om man tillägger: Och hur stor är sannolikheten att det samtidigt inträffar ett extremt vattenflöde i det vattendrag som rinner genom staden eller att det samtidigt inträffar ett extremt skyfall? Och till slut: Hur förändras dessa sannolikheter när klimatet förändras? Här har dagens och framtidens



Hur långt fram i tiden sträcker sig egentligen framtiden?

planerare och beslutsfattare något att ta tag i! Och visst finns det intressanta forskningsuppgifter också! Det är kanske dags för samhällsbyggandets klimatanpassningskommitté?

Man måste också fundera på planeringshorisonten. Hur långt fram i tiden sträcker sig egentligen framtiden? Hittills har vi haft nog med besvär när vi försökt räkna ut vad klimatet kan komma att ställa till med under de kommande hundra åren. Det är den tidshorisont som forskarna kunnat uttala sig om med någorlunda säkerhet. Men det mesta vi bygger ska ju stå längre än så. Städerna ligger där de ligger i århundraden samtidigt som havet säkert kommer att fortsätta att stiga. Och hur går det med den extrema nederbörden och vattenflödena om vi blickar flera århundraden framåt?

Den beslutssituation som vi befinner oss i idag liknar på många sätt frågorna vi ställdes inför i början av 1980-talet. Men det finns en stor skillnad. På grund av klimathotet står vi nu inför ett rörligt mål. Vi har ännu bara sett början av vad detta kan komma att leda till. Vi har gjort trevande försök att anpassa oss till det vi idag tror kan komma att hända, men vi kan nog vara säkra på att det kommer överraskningar. Vi har fått smaka lite grand på vad det innebär när nya forskningsresultat ändrat beräkningsförutsättningarna. En nyligen utkommen uppdatering av de senaste klimatberäkningarna och vad de kan komma att betyda för energisektorn i Sverige har gjorts av Kjellström

et al. (2021) på uppdrag av Energiforsk. De senaste beräkningarna av Sveriges framtida havsnivåer har beskrivits av Hieronymus och Kalén (2020) och en kunskaps-sammanfattning om klimatets påverkan på Väner, Vättern, Mälaren och Hjälmaren presenterades av Eklund et al. (2018). Helt säkert kommer det nya resultat framöver, så det gäller att hålla sig uppdaterad!

Denna forskningens dynamik behöver man inte bekymra sig så mycket för inom akademien, men den är svårare att leva med om man är ansvarig för praktiska tillämpningar. Det krävs kloka beslutsfattare för att hantera denna situation. Det krävs också tekniska lösningar som är så flexibla att det går att anpassa dem till nya förutsättningar, när det blir nödvändigt. Det är alltså viktigt att vi lär oss att tolka vetenskapssamhällets resultat och signaler när vi ska anpassa samhället till såväl dagens som till framtidens klimat. Här har forskarna ett speciellt ansvar för att, på ett begripligt och transparent sätt, berätta om kunskapsläget. Den ömsesidiga förståelsen av de vetenskapliga förutsättningarna och beslutsfattarnas perspektiv underlättades av att arbetet inom Flödeskommittén och Klimatkommittén skedde i nära samarbete mellan forskarna på SMHI, Svenska kraftnät och vattenkraftindustrin. Vi blev helt enkelt goda vänner som gemensamt försökte hitta lösningen på ett samhällsproblem.

Det internationella forskningssamarbetet har varit helt avgörande för arbetet med klimatanpassning av flödesdimensioneringen. Utan tillgången till resultaten från världens främsta forskningsmiljöer hade vi stått oss ganska slätt. Men det finns en baksida med detta också. Kedjan av beräkningar har blivit så komplicerad att det är svårt att få en överblick över allt som sker, från uppskattningen av framtida utsläpp av växthusgaser till vattenflöden i svenska vattendrag. Det finns nog ingen som kan beskriva alla

detaljerna i denna kedja av antaganden och beräkningar. Men detta gäller ju i stort sett all teknisk utveckling. Vem åtar sig exempelvis att i detalj beskriva hur det svenska kraftsystemet fungerar, eller den smart-phone som vi alla bär med oss?

Så här i efterhand kan jag inte låta bli att tänka på hur enkelt det var att formera den grupp som skulle arbeta fram nya riktlinjer för flödesdimensionering. Det var närmast en självklarhet att det var SMHI och kraftindustrin som skulle göra detta, utan att de egentligen var utpekade. Senare tog Svenska kraftnät och Räddningsverket/MSB också på sig olika roller som statens experter inom området. När det gäller dagens frågor om stigande havsnivåer och skydd mot skyfall verkar det inte vara lika enkelt. Trots uppenbara problem både idag och i framtiden verkar det inte finnas någon organisation eller myndighet som med självklarhet kliver fram och tar ansvaret för hur vi ska räkna för att skydda infrastruktur och bebyggelse mot extrema väderhändelser. Detta blev tydligt när det blev dags att bygga om Slussen. Och vi påmindes ännu en gång om behovet av en samlad vägledning när rekordregnet drabbade Gävle så sent som i augusti 2021.



Vi blev helt enkelt goda vänner som gemensamt försökte hitta lösningen på ett samhällsproblem.



Älvkarleby kraftverk vid Dalälvens mynning togs i drift 1915. Det har levererat elström i mer än 100 år. Vi får hoppas att den kommer att fortsätta med detta i minst 100 år till. Till höger syns spillvattenvägen över de torrlagda Älvkarlebyfallen. Källa: Svenska kraftnät.

Tack!

Mycket av det arbete som jag skrivit om har gjorts av hydrologer och forskare vid SMHI, vattenkraftindustrins experter och personal på andra myndigheter. Men det är många fler som är inblandade, inte minst från den internationella klimatforskningen. Många är till och med delaktiga utan att ha en aning om det. Min roll har oftast varit att berätta och försöka förklara vad det hela handlar om. Jag har helt enkelt kunnat sola mig i glansen av andras arbete. Som forskningschef på SMHI hade jag också under en period förmånen att få befinna mig mitt i händelsernas centrum, när klimatfrågan äntligen togs på allvar och samarbetet med forskare från många olika vetenskaper tog fart.

Jag vill tacka alla som bidragit till arbetet med att utveckla, tillämpa och klimatanpassa metoderna för beräkning av dimensionerande flöden och vattennivåer. Ett speciellt varmt tack riktas till Maria Bartsch, som varit min kontaktperson på Svenska kraftnät och huvudsakliga partner under slutförandet av arbetet. Utan Marias uppmuntran och noggranna granskning av manuskriptet hade det nog inte blivit någon bok alls. Jag vill också tacka Claes-Olof Brandesten på Vattenfall Vattenkraft, Karl-Erik Svensson på Kristianstads kommun, Erik Bern på Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, samt Niclas Hjerdt och Erik Kjellström på SMHI för faktagranskning och synpunkter på valda delar av texten. Till slut vill jag också framföra mitt tack till Svenska kraftnät, som stått för formgivning och tryckning, och till Detail Produktionsbyrå för ett professionellt arbete med att skapa en snygg bok.



Damm vid Hävla kvarn i Östergötland.
Foto: Sten Bergström.

Litteraturlista

- Ambio (2004). Special issue: *Swedish Regional Climate Modelling Programme*. Ambio, Vol. XXXIII No. 4-5.
- Andréasson, J., Bergström, S., Gardelin, M., German, J., Gustavsson, H., Hallberg, K. och Rosberg, J. (2011a). *Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring - metodutveckling och scenarier*. Elforsk, Rapport 11:25.
- Andréasson, J., Gustavsson, H. och Bergström, S. (2011b). *Förslag till ny reglering av Mälaren*. Projekt Slussen, RAPPORT NR 2011-64.
- Baltex (1995). *First Study Conference on Baltex*. Conference Proceedings. (Ed. Omstedt, A.). International Baltex Secreteriat, Publication No. 3.
- Beldring, S., Andréasson, J., Bergström, S., Engen-Skaugen, T., Førland, E.J., Jónsdóttir, J.F., Roald, L.A., Rosberg, J., Suomalainen, M., Tonning, T., Vehviläinen, B. and Veijalainen, N. (2006). *Hydrological climate change maps of the Nordic countries based on RegClim HIRHAM and Rossby Centre RCAO regional climate model results*. Norwegian Water Resources and Energy Directorate, Report no. 4/2006, 94 pp.
- Bergström, S. (1972). *Utveckling och tillämpning av en digital avrinningsmodell*. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut. Notiser och preliminära rapporter, serie HYDROLOGI, nr 22.
- Bergström, S. (1978). *Spring flood forecasting by conceptual models in Sweden*. Proceedings: Modeling of Snow Cover Runoff, U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire, 26 - 28 Sept., 1978.
- Bergström, S. (1984). *Extrem tillrinning till regleringsmagasin. Diskussion om problemställningen och beräkningsexempel för övre Indalsälven*. SMHI Hof PM nr 31. (1984-05-22. Reviderat 1984-06-20 och 1985-02-15).
- Bergström, S. (1993) *Sveriges hydrologi - grundläggande hydrologiska förhållanden*. SMHI/Svenska Hydrologiska Rådet.
- Bergström, S. (1995). *The HBV model*. In Singh V.P. (editor). *Computer Models of Watershed Hydrology*. Department of Civil and Environmental Engineering, Louisiana State University, Water Resources Publications. Highlands Ranch, Colorado, 1995.
- Bergström, S. (2012). *Framtidens havsnivåer i ett hundraårsperspektiv - kunskaps-sammanställning 2012*. SMHI Klimatologi Nr 5.
- Bergström, S., Brandesten, C-O., Lindahl, L-Å., Mill, O., Norstedt, U. och Sjödin, G. (2005). *Dimensionerande flöden för stora sjöar och små tillrinningsområden samt diskussion om klimatfrågan*. Slutrapport från kommittén för komplettering av Flödeskommitténs riktlinjer. Elforsk rapport 05:17.
- Bergström, S., Carlsson, B., Gardelin, M., Lindström, G., Pettersson, A. and Rummukainen, M. (2001). *Climate change impacts on runoff in Sweden - assessments by global climate models, dynamical downscaling and hydrological modelling*. Climate Research 16, 101-112.
- Bergström, S., Harlin, J., and Lindström, G. (1992). *Spillway design floods in Sweden. I. New guidelines*. Hydrological Sciences Journal, 37, 5, 505-519.
- Bergström, S., Hellström, S-S. och Andréasson, J. (2006). *Nivåer och flöden i Vänerens och Mälarens vattensystem - Hydrologiskt underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen*. SMHI Reports Hydrology No. 20.

- Bergström, S., Hellström, S.-S., Lindström, G. and Wern, L. (2008). *Follow-Up of the Swedish Guidelines for Design Flood Determination for Dams*. Svenska kraftnät Report No. 1:2008, BE90.
- Bergström, S., och Jönsson, S. (1976). *Tillämpning av HBV-2-modellen på regleringsmagasin i Ångermanälven*. SMHI, HB-rapport nr 18.
- Boverket (2020). *Utgångspunkter för bedömning av översvämningsrisk*. https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/lansstyrelsens-tillsyn/tillsynsvagledning_naturolyckor/tillsynsvagledning-oversvamning/stod-till-lansstyrelsen-vid-riskbedomning/utgangspunkter/ Hämtad 2021-10-02.
- Brandesten, C.-O., Larsson, P. och Uljanova, M. (2006). *Uppföljning dimensioneringsberäkningar*. Elforsk rapport 06:10.
- Carlsson, C., Bergström, S., Andréasson, J. och Hellström, S.-S. (2006). *Framtidens översvämningsrisker*. SMHI Reports Hydrology No 19.
- Eklund, A., Axén Mårtensson, J., Bergström, S., Björck, E., Dahné, J., Lindström, L., Nordborg, D., Olsson, J., Simonsson, L. och Sjökvist, E. (2015). *Sveriges framtida klimat. Underlag till dricksvattenutredningen*. SMHI Klimatologi Nr 14.
- Eklund, A., Stensen, K., Alavi, G., och Jacobsson, K. (2018). *Sveriges stora sjöar idag och i framtiden. Klimatets påverkan på Väneren, Vättern, Mälaren och Hjälmaren*. Kunskapssammanställning februari 2018. SMHI Klimatologi Nr 49.
- Eklund, A., Tofeldt, L., Johnell, A., Andersson, M., Tengdelius-Brunell, J., German, J., Sjökvist, E., Rasmusson, M., Harbman, U., och Andersson, E., (2017). *Vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Väneren. Beräkningar för dagens och framtidens klimatförhållanden*. SMHI Klimatologi Nr 44.
- Enfors, G. and Eurenus, J. (1988). *The Ore river, Sweden. Consequences of unpredicted high floods*. Proceedings: 16th ICOLD Conference, San Francisco.
- Fenger, J. (2007, ed). *Impacts of Climate Change on Renewable Energy Sources – Their role in the Nordic energy system*. Nord 2007:003. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
- Flödeskommittén (1990). *Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar. Slutrapport från Flödeskommittén*. (Författare: af Klintberg, L., Bergström, S., Ehlin, U., Ohlsson, P.-E. och Sjöborg, K.-Å.). Statens Vattenfallsverk, Svenska Kraftverksföreningen, Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut.
- Forsgren, N. (1982). *Porjus – Pionjärverket i ödemarken*. Porjus arkivkommitté och Vattenfall.
- Gardelin, M., Andréasson, J., Carlsson, B., Lindström, G. och Bergström, S. (2002). *Modellering av effekter av klimatförändringar på tillrinningen till vattenkraftssystemet*. Elforsk rapport 02:27.
- Graham, L. P. (2004). *Climate Change Effects on River Flow to the Baltic Sea*. Ambio 33:4-5, 235-241.
- Harlin, J. (1992). *Hydrological modelling of extreme floods in Sweden*. SMHI, RH No. 3.
- Hallberg, K., Andréasson, J., Axén-Mårtensson, J., Bergström, S., Dahné, J., Nylén, L., och Sjökvist, E. (2014). *DAMMSÄKERHET Metodbeskrivning och jämförande studie av dimensionerande flöden för dammanläggningar med två generationer klimat-scenarier*. Elforsk rapport 14:27.
- Hieronimus, M. and Kalén, O. (2020). *Sea-level rise projections for Sweden based on the new IPCC special report: The ocean and cryosphere in a changing climate*. Ambio 49, 1587– 1600.

- ICOLD (2018). *Flood Evaluation and Dam Safety*. International Commission on Large Dams. Bulletin 170.
- ICOLD (2020). *Statistical analysis of dam failures*. International Commission On Large Dams. Bulletin 188.
- IPCC (2000). *Emissions Scenarios. Special Report on Emissions Scenarios*. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- IPCC (2019). Summary for Policymakers. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. Weyer (eds.)].
- IPCC (2021). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press.
- Kjellström, E., Strandberg, G. och Lin, C. *Förändringar i klimatet som påverkar energisektorn i Sverige*. Energiforsk RAPPORT 2021:745.
- Lindström, G and Harlin, J. (1992). *Spillway design floods in Sweden. II: Application and sensitivity analysis*. Hydrological Sciences Journal, 37, 5, 521 – 539.
- Lindström, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M. and Bergström, S. (1997). *Development and test of the distributed HBV-96 model*. Journal of Hydrology 201: 272-288.
- Losjö, K. (2001). *Höga flöden juli 2000. Sammanställning av hydrologiska förhållanden, skador, räddningsåtgärder och problem vid dammar*. SMHI Rapport 2001 Nr. 15. Uppdragsgivare: Svenska kraftnät.
- Losjö, K., Södling, J., Wern, L. och German, J. (2019). *Uppföljning av de svenska riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden*. SMHI Klimatologi Nr 51.
- Länsstyrelsen i Stockholms län (2015). *Rekommendationer för lägsta grundläggningsnivå längs Östersjökusten i Stockholms län – med hänsyn till risken för översvämning*. Fakta 2015:14.
- Länsstyrelserna (2011). *Anpassning till ett förändrat klimat. Mälaren om 100 år – förstudie om dricksvattentäkten Mälaren i framtiden*. Länsstyrelsen i Stockholms, Södermanlands, Västmanlands, Uppsala och Örebro län.
- Länsstyrelserna i Stockholms, Södermanlands, Uppsala och Västmanlands län (2015). *Rekommendationer för lägsta grundläggningsnivå för ny bebyggelse vid Mälaren – med hänsyn till risken för översvämning*. Faktablad. Fastställningsdatum: 2015.03.05
- Länsstyrelserna i Värmlands och Västra Götalands län (2011a). *Stigande vatten – en handbok för fysisk planering i översvämningshotade områden*. Löpnummer: 2011:72.
- Länsstyrelserna i Värmlands och Västra Götalands län (2011b). *Faktablad – VÄNERN Faktablad till rapporten Stigande vatten – en handbok för fysisk planering i översvämningshotade områden*. Version 2017.1.

- MSB (2012a). *Översvämningar i Sverige 1901–2010*. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. Publ.nr: MSB 355.
- MSB (2012b). *Konsekvenser av en översvämning i Mälaren*. Redovisning av regeringsuppdrag Fö2010/560/SSK.
- MSB (2014). *Vägledning för översvämningskartering av vattendrag*. Fakta, inspirerande exempel och tips för en bra beställning. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. Publ.nr: MSB 631.
- MSB (2016). *Nederbörd och översvämningar i framtidens Sverige*. Publ.nr: MSB 973.
- Norstedt, U., Brandesten, C.-O., Bergström, S., Harlin, J., and Lindström, G. (1992). *Re-evaluation of hydrological dam safety in Sweden*. International Water Power and Dam Construction, June 1992.
- Niemi, M. (2012). *Fallvatten*. Piratförlaget.
- Ny Teknik (1985). *Expert i hemlig utredning: Dammarna felbyggda*. nr 38 1985.
- Rummukainen, M. och Bergström, S. (2000). *Norrland får skånskt klimat*. Forskning & Framsteg. Nr 67, september 2000.
- Rummukainen, M., Bergström, S., Källén, E., Moen, L., Rodhe, J. and Tjernström, M. (2000). *SWECLIM-The first three years*. SMHI, RMK No 94.
- Rummukainen, M., Räisänen, J., Ullerstig, U., Bringfelt, B., Hansson, U., Graham, P.L. and Willen, U. (1998). *RCA – Rossby Centre regional Atmospheric climate model: model description and results from the first multi-year simulation*. SMHI, RMK 83.
- Räddningsverket (1998). *Översiktlig översvämningskartering längs Västerdalälven – sträckan Malung till sammanflödet med Österdalälven*. Projekt: Översiktlig översvämningskartering. Rapport nr 1. D-nr 9706-0740/18.
- Saelthun, N.R., Aittoniemi, P., Bergström, S., Einarsson, K., Jóhannesson, T., Lindström, G., Ohlsson, P.-E., Thomsen, T., Vehviläinen, B. and Aamodt, K. O. (1998). *Climate change impacts on runoff and hydropower in the Nordic countries*. Final report from the project Climate Change and Energy Production Tema Nord 1998:552, Oslo.
- Seibert, J. and Bergström, S. (2021). *A retrospective on hydrological modelling based on half a century with the HBV model*. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss. [preprint], <https://doi.org/10.5194/hess-2021-542>, in review, 2021.
- SGI (2011). *Hydrologiska och meteorologiska förhållanden i Göta älvdalen*. Göta älvtutredningen – delrapport 27 (Förf. Bergström, S., Andréasson, J., Losjö, K., Stensen, B. och Wern, L., SMHI).
- Sjökvisst, E., Axén Mårtensson, J., Dahné, J., Köplin, N., Björck, E., Nylén, L., Berglöv, G., Tengdelius Brunell, J., Nordborg, D., Hallberg, K., Södling, J. och Berggreen Clausen, S. (2015). *Klimatscenarier för Sverige Bearbetning av RCP-scenarier för meteorologiska och hydrologiska effektstudier*. SMHI Klimatologi nr 15, 2015.
- SMHI (1996). *IHMS – Integrated Hydrological Modelling System*. Manual, Version 4.0. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping.
- SMHI (1999). *Höga vattenflöden i reglerade älvar*. SMHI Fakta nr 1.
- SMHI (2013) *Förteckning över Sveriges vattenfall*. (Uppdaterad 2014). <https://www.smhi.se/professionella-tjanster/professionella-tjanster/vattenmiljo/forteckning-over-sveriges-vattenfall-1.34777>.
- SOU (2006). *Översvämningshot – risker och åtgärder för Mälaren, Hjälmaren och Väneren*. Delbetänkande från Klimat- och sårbarhetsutredningen. SOU 2006:94.

- SOU (2007). *Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter*. SOU 2007:60.
- SOU (2015). *Klimatförändringar och dricksvattenförsörjning*. Delbetänkande från Dricksvattenutredningen: SOU 2015:51.
- SOU (2016). *En trygg dricksvattenförsörjning*. Slutbetänkande från Dricksvattenutredningen: SOU 2016:32.
- Svenska kraftnät (2001). *Analys av översvämningarna under sommaren och hösten 2000 samt vintern 2001*. Svenska kraftnät. Rapport Nr 1:2001, BE 90.
- Svenska kraftnät (2019). *Dammar och dammteknik. En introduktion*. Ärendenr: SVK 2019/3255.
- Svenska kraftnät, Svensk Energi, SveMin och SMHI (2011). *Dammsäkerhet och klimatförändringar*. Slutrapport från Kommittén för dimensionerande flöden för dammanläggningar i ett klimatförändringsperspektiv.
- Svenska kraftnät, Svensk Energi och SveMin (2015). *Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar*. Utgåva 2015.
- Svensk författningssamling (1908). *Kungl. Maj:ts nådiga instruktion för den hydrografiska undersökningen af Sveriges färskvatten; gifven Stockholms slott den 18 januari 1908*. SFS 1908 N:r 18.
- Svonni, L. W. (2005). *Överskrida gränser*. DAT, 2005.
- SWECLIM and SMHI (1998). *Regional climate simulations for the Nordic region – First results from SWECLIM*. Rapport från SWECLIM och SMHI.
- Thorsteinsson, T. and Björnsson, H. (2012 eds.). *Climate Change and Energy Systems Impacts, Risks and Adaptation in the Nordic and Baltic countries*. TemaNord 2011:502 Nordic Council of Ministers, Copenhagen 2012.
- van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J. and Rose, S.K. (2011). *The representative concentration pathways: an overview*. Climatic Change 109, 5 (2011).
- Vedin, H. och Eriksson, B. (1988). *Extrem arealnederbörd i Sverige*. SMHI Meteorologi nr 76.
- WMO (2009). *Manual on estimation of probable maximum precipitation*. WMO No. 1045. World Meteorological Organization, Geneva.
- Yang, W., Andréasson, J., Graham, L.P., Olsson, J., Rosberg, J. and Wetterhall, F. (2010). *Distribution-based scaling to improve usability of regional climate model projections for hydrological climate change impact studies*. Hydrol. Res., 41, 211-229.

