

# **Dammsäkerhet och klimatförändringar**

**Slutrapport från Kommittén för dimensionerande flöden för  
dammanläggningar i ett klimatförändringsperspektiv**

**December 2011**



**Svenska Kraftnät  
Svensk Energi  
SveMin  
SMHI**

## Förord

Kommittén för dimensionerande flöden för dammar i ett klimatförändringsperspektiv bildades 2008 genom en överenskommelse mellan Svenska Kraftnät, Svensk Energi, SveMin och SMHI. Kommitténs uppdrag är 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.

Uppdraget omfattar bland annat de frågor rörande klimatets påverkan på dimensionerande flöden och dammsäkerhet som Svenska Kraftnät i enlighet med regleringsbrev 2008 fått i uppdrag att följa och analysera i samarbete med kraftbranschen, gruvindustrin respektive SMHI. Då frågorna hänger ihop och till olika del hanteras av nämnda aktörer, har en kommitté bildats med representanter som besitter särskild kompetens inom området.

Kommittén har haft följande sammansättning:

Svenska Kraftnät	Maria Bartsch, Anna Engström Meyer (fr.o.m. 2011), Olle Mill (t.o.m. 2010)
Svensk Energi	Gun Åhrling Rundström Claes-Olof Brandesten, Vattenfall Vattenkraft AB Agne Lärke, Fortum Generation AB Gunnar Sjödin, Vattenregleringsföretagen Björn Norell, Vattenregleringsföretagen Sigrid Eliasson, E.ON Vattenkraft Sverige AB Jan Liif, Statkraft Sverige AB
SveMin	Lars-Åke Lindahl
SMHI	Sten Bergström och Niclas Hjerdt (fr.o.m. 2011)

Denna slutrapport utgör en samlad redovisning av Kommitténs uppdrag. Till grund för slutrapporten ligger bland annat följande underlagsrapporter som behandlar smalare frågeställningar:

1. Andréasson, J., Bergström, S., Gardelin, M., German, J., Gustavsson, H., Hallberg, K., och Rosberg, J. Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring - metodutveckling och scenarier. Elforsk rapport 11:25, 2011.
2. Regleringsstrategi vid flödesdimensionering – Diskussion om påverkansfaktorer och möjliga förändringar i driftförhållanden. Underlagsrapport 30 juni 2011.
3. Kartläggning av svenska dammars marginaler för flödesförändring. Underlagsrapport 28 mars 2011.
4. Svenska dammars sårbarhet i ett klimat i förändring - Gruvdammar. Underlagsrapport 14 februari 2011.

Omslagsbild: Dabbsjö regleringsdamm i Ångermanälven (Källa: Statkraft Sverige AB)

# Innehållsförteckning

<b>SAMMANFATTNING .....</b>	<b>4</b>
<b>1 INLEDNING .....</b>	<b>5</b>
1.1 Uppdrag.....	5
1.2 Dammar i Sverige .....	6
1.3 Flödesdimensionering för dammar .....	9
1.3.1 Historik .....	9
1.3.2 Flödesdimensioneringsklasser och avbördningskrav .....	10
1.3.3 Uppföljning av anpassningen till dimensionerande flöden .....	11
1.3.4 Uppföljning av väderhändelser och höga flöden .....	12
<b>2 DAMMARS KÄNSLIGHET FÖR FLÖDEFÖRÄNDRINGAR.....</b>	<b>14</b>
2.1 Metodik .....	15
2.1.1 Avbördningskrav av dagens 100-årsflöde.....	16
2.1.2 Avbördningskrav av dagens dimensionerande klass I-flöde.....	16
2.1.3 Kartläggningens omfattning.....	17
2.2 Resultat .....	19
2.2.1 Marginal vid dagens 100-årsflöde.....	19
2.2.2 Marginal vid dagens dimensionerande flöde enligt klass I .....	20
2.2.3 Diskussion och slutsatser .....	20
<b>3 FRAMTIDA DRIFT AV VATTENKRAFTSYSTEM.....</b>	<b>22</b>
3.1 Metodik.....	22
3.2 Resultat .....	23
3.2.1 Uppföljning av magasinstrykningsgrad och tillrinning .....	23
3.2.2 Magasinsnivå inför vårfloden .....	25
3.3 Diskussion och slutsatser.....	25
<b>4 FLÖDEFÖRÄNDRINGAR I ETT KLIMAT I FÖRÄNDRING.....</b>	<b>26</b>
4.1 Klimatanpassning av metodiken för flödesdimensionering för dammar.....	27
4.2 Resultat .....	29
4.2.1 100-årsflöden .....	29
4.2.2 Dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass I .....	32
4.2.3 Övriga variabler.....	33
4.3 Diskussion och slutsatser.....	33
<b>5 HANTERING AV HÖGA FLÖDEN OCH ADAPTIV FÖRMÅGA .....</b>	<b>36</b>
5.1 Hantering av höga flöden .....	36
5.2 Flödesdimensionering och anpassningsarbete .....	37
<b>6 SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER .....</b>	<b>39</b>
6.1 Regeringsuppdragen till Svenska Kraftnät .....	39
6.2 Rekommendationer för hantering av klimatförändring i dammsäkerhetsarbetet.....	43
<b>7 REFERENSER .....</b>	<b>45</b>

## Sammanfattning

Kommittén för dimensionerande flöden för dammar i ett klimatförändringsperspektiv har under 2008-2011 analyserat och värderat klimatfrågans betydelse för dammsäkerheten. Arbetet har bedrivits med utgångspunkt från regeringsuppdrag som Svenska Kraftnät 2008 fått att hantera i samverkan med kraftindustrin, gruvindustrin och SMHI.

Förändringar i höga flöden är den dominerande klimatfaktorn när det gäller påverkan på dammsäkerheten. För att kunna beakta klimatförändring vid beräkning av dimensionerande flöden för dammar har en metodik som inkluderar klimatscenarier utvecklats och prövats. Metodiken har använts för beräkning av framtida 100-årsflöden, för hela Sverige, samt framtida dimensionerande klass I-flöden för ett tiotal anläggningar.

För 100-årsflöden, mot slutet av seklet, är den samlade bilden att det går en markant gräns genom Sverige ungefär längs en linje från Karlstad till Mälardalen. Söder därom visar de beräknade 100-årsflödena en ökande tendens för stora delar av Sydsverige. Norrut visar beräkningarna på minskade 100-årsflöden förutom i nordvästligaste delen av Norrland där en ökning är tydlig. Vad gäller de mest extrema klass I-flödena är det svårt att generalisera klimateffekten. Valet av klimatscenarier har stor påverkan på resultatet och även anläggnings-specifika faktorer spelar in. Med dessa förbehåll konstateras att beräkningarna i flertalet fall uppvisar generella tendenser till minskande extrema flöden, i första hand beroende på att det dimensionerande snötäcket minskar. För några av de studerade dammarna visar beräkningarna dock på ökande dimensionerande flöde. Ett varmare klimat medför dessutom troligen att frekvensen av kortvariga och intensiva skyfall ökar, vilket medför att lokala översvämningar kan bli vanligare.

Kommittén har kartlagt sårbarheten för höga flöden för drygt 350 av kraftindustrins dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass I och II. Kartläggningen visar att det finns ett kvarstående åtgärdsbehov avseende dagens dimensionerande flöde för ca en fjärdedel av de kartlagda anläggningarna i flödesdimensioneringsklass I. För vissa av anläggningarna kommer en klimatförändring troligen att medföra ökade extrema flöden som ställer ytterligare krav på anpassning. I dagsläget bedöms ca en tredjedel av de kartlagda anläggningarna i flödesdimensioneringsklass I ha goda marginaler för ökade extrema flöden. Studien visar vidare att de kartlagda anläggningarna i flödesdimensioneringsklass II med några få undantag klarar dagens 100-årsflöde utan överströmning. Kommittén noterar dock att det finns ett mörkertal då underlag om dammar saknats helt eller delvis i flera län. Detta gäller i stor utsträckning för södra Sverige där klimatberäkningarna pekar mot ökade 100-årsflöden.

Motsvarande genomgång av gruvindustrins dammanläggningar, varav 20 gruvdammar, visar att vissa dammar behöver uppgraderas för att möta dagens kriterier för dimensionerande flöden, även om det stora flertalet gruvdammar har goda marginaler för att hantera ökande flöden. Under driftperioden ger vidare regelbundna om- och tillbyggnader goda förutsättningar för successiv anpassning av gruvdammar och utskov. Efter nedläggning beror riskerna med avseende på klimatförändringar på vilken lösning för efterbehandling som valts. Planerna för efterbehandling måste visa hur man långsiktigt avser att hantera dessa risker.

I 2007 års nyutgåva av Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar ges översiktliga rekommendationer med avseende på klimatfrågan. Med utgångspunkt från dessa har Kommittén utarbetat en vägledning till dammägarna för utförande av framtida dimensioneringsberäkningar för dammar i ett klimat i förändring. Vidare lämnas rekommendationer till riktlinjernas huvudmän avseende vad som bör ingå i en nationell strategi för hantering av klimatförändring i dammsäkerhetsarbetet.

# 1 Inledning

## 1.1 Uppdrag

Denna rapport behandlar i huvudsak det uppdrag avseende dammsäkerhet och klimatförändring som gavs till Svenska Kraftnät i regleringsbrev för år 2008, som följd av de förslag som lämnades i Klimat- och sårbarhetsutredningens slutbetänkande SOU 2007:60. Uppdraget sammanfattas i följande punkter:

1. Analys av hur förändringar i tillrinningsförhållanden och drift av vattenkraftssystem kan påverka dimensionerande flöde samt risken för översvämningar. Regeringsuppdrag till Svenska Kraftnät att analysera i samarbete med kraftbranschen.
2. Utveckling av metoder för samt beräkning av flöden av betydelse för dammar av flödesdimensioneringsklass I och II i ett förändrat klimat. Regeringsuppdrag till Svenska Kraftnät att utveckla i samarbete med SMHI.
3. Utveckling av metoder för kartläggning av sårbarheten hos dammar av flödesdimensioneringsklass I och II, med avseende på klimatförändringar, samt genomförande av en sådan kartläggning. Regeringsuppdrag till Svenska Kraftnät.
4. Analys av gruvdammars säkerhet med avseende på långsiktiga klimatförändringar. Regeringsuppdrag till Svenska Kraftnät att analysera i samarbete med gruvindustrin.

De fyra frågeställningarna har koppling till varandra och har behandlats i samverkan mellan Svenska Kraftnät, Svensk Energi, SveMin och SMHI genom ”Kommittén för dimensionerande flöden för dammar i ett klimatförändringsperspektiv” (benämnd ”Kommittén” i föreliggande rapport).

Kommitténs uppgift är att leda ett program för att fortlöpande analysera och värdera klimatfrågans betydelse för dammsäkerheten med avseende på flödesdimensionering och ta initiativ till att erforderliga studier kommer till stånd. Vid sidan av de fyra regeringsuppdragen har delmål för kommittén varit att ta fram en vägledning för hur klimatförändring bör beaktas vid flödesdimensionering samt att följa upp hur hållbara riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden är i ett förändrat klimat. Denna slutrapport utgör en samlad rapportering av Kommitténs arbete.

Kommittén har löpande informerat om det pågående arbetet och har presenterat delresultat på informations- och samverkansmöten, bland annat till den så kallade Flödeskonferensen (forum för huvudmännen för riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar) samt vid älvgruppsmöten, SwedCOLDs temadag 5 april 2011, Klimatanpassningsseminarium i Karlstad 13-14 april, Klimatanpassning Sverige i Stockholm 21 september 2011, Vattenkraftdagen i Sundsvall 28 september 2011 och HUVA-dagen 6 december 2011 i Stockholm.

Delar av arbetet kommer att publiceras i internationell vetenskaplig tidskrift under kommande år, dessutom kommer Kommitténs arbete att redovisas vid ICOLDs internationella dammkongress i Kyoto i juni 2012.

## 1.2 Dammar i Sverige

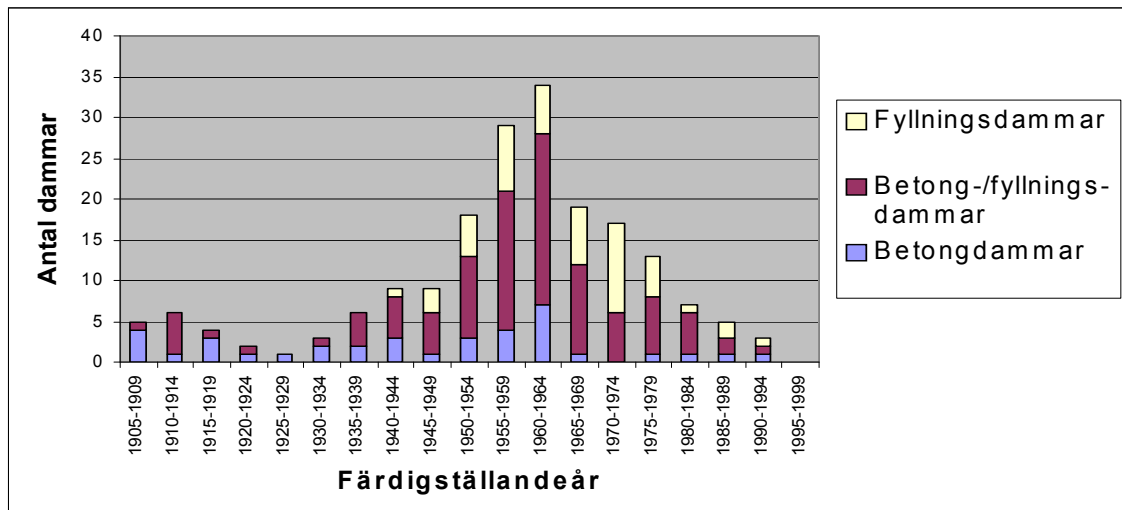
I Sverige finns uppskattningsvis 10 000 dammar av varierande storlek och ålder. Ett nationellt dammregister för arbete med dammsäkerhet skapades vid SMHI under år 1994 och 1995. Dammregistret förvaltas inom Svenskt Vattenarkiv och innehåller uppgifter om ca 5 000 dammbyggnader. Under 2010 inleddes ett omfattande arbete med att strukturera om och uppdatera dammregistret för att bättre svara mot samhällsbehoven.

I figur 1.1 framgår de ca 5000 dammar som ingår i SMHIs dammregister. Flertalet av dessa är små och ett dammbrott skulle endast leda till obetydliga konsekvenser.



Figur 1.1 SMHI:s dammregister omfattar ca 5000 dammar. (Källa: SMHI)

Drygt 200 dammar är vad man internationellt betecknar som ”stora dammar”, d.v.s. de har en största höjd från grundläggningsnivån till dammkrön på minst 15 m. Ca 190 av dessa är vattenkraftdammar medan resterande är gruvdammar. Den planerade livslängden för dammar är lång. I Sverige finns flera vattenkraftdammar som är byggda i början på 1900-talet och internationellt finns exempel på fyllningsdammar som är mer än 2000 år gamla. De flesta av de stora dammarna i Sverige är byggda innan 1980-talet. Majoriteten av dessa dammar är fyllningsdammar, se figur 1.2.



Figur 1.2 Sveriges 190 st stora vattenkraftdammar; år för idrifttagande och dammtyp. (Källa: Svensk Energis dammregister)

Vattenkraftindustrin är idag inne i en förvaltningsfas då det i stort sett inte byggs några nya stora dammar för vattenkraftproduktion. Någon betydande förändring av antalet dammar för vattenkraftproduktion kan inte förutses inom överskådlig tid. Däremot byggs en del nya dammar för deponering av gruvavfall.

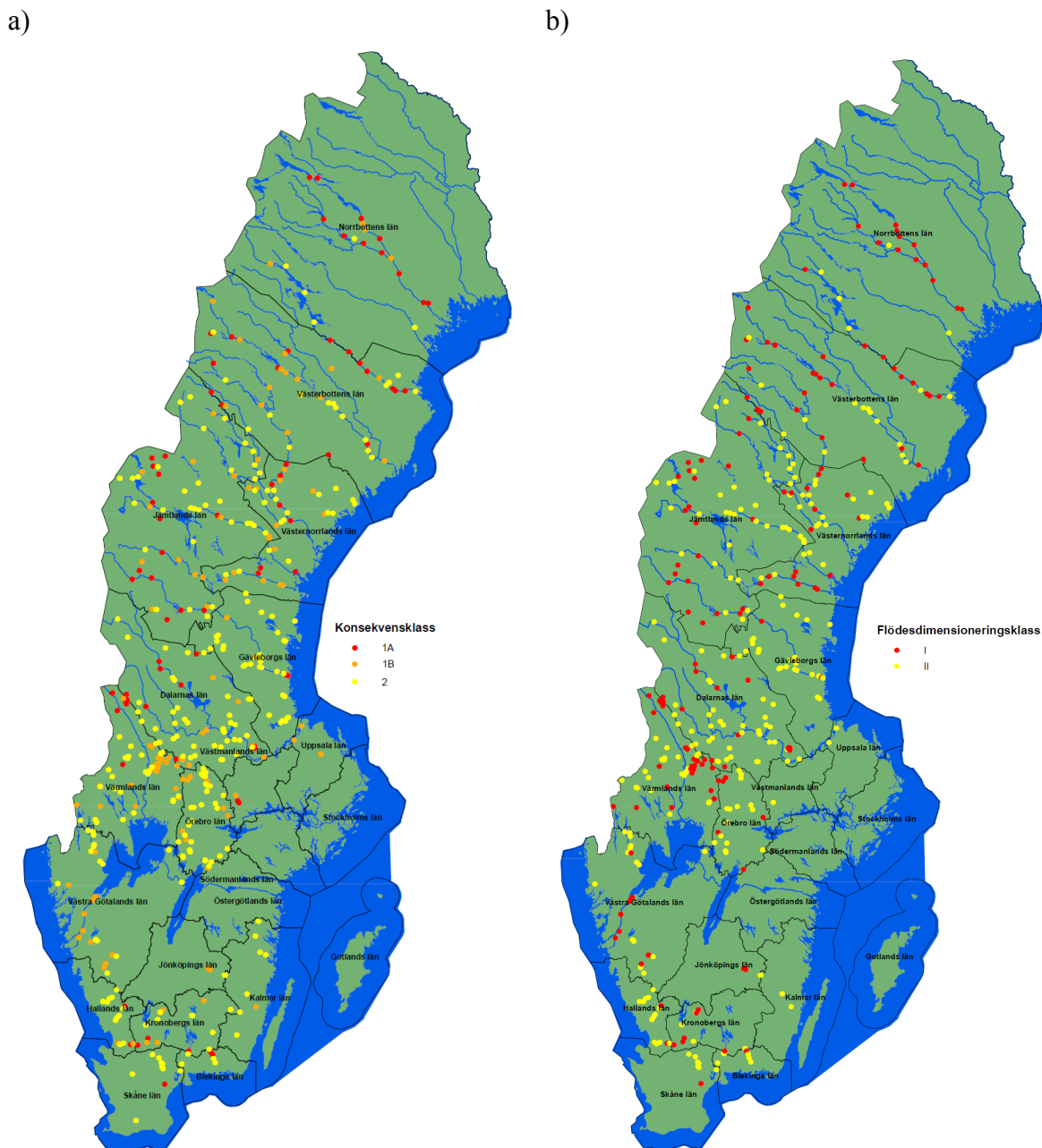
Gruvindustrins dammar anläggs för deponering av gruvavfall, s.k. anrikningssand. När gruvverksamheten på en plats avvecklas eller när en deponi slutfyllts efterbehandlas deponin på lämpligt sätt. I de fall gruvdamarna utnyttjas för vattentäckning av gruvavfall som efterbehandlingsmetod har dessa dammar en mycket lång planerad livslängd – i princip för all framtid. Detta innebär att lösningarna måste vara robusta nog att motstå stora förändringar i klimatet och andra förhållanden utan drastiska konsekvenser. I det perspektivet är de klimatförändringar som diskuteras inom en hundraårsperiod av marginell betydelse.

Flödeskommittén införde 1990 ett system för klassificering av dammar efter de konsekvenser som ett dammbrott vid höga flöden skulle förorsaka; s.k. riskklasser som sedan 2007 benämns flödesdimensioneringsklasser [1, 2]. Dammarna delas upp i flödesdimensioneringsklass I och II, se tabell 1.1. Övriga dammar, som inte ligger inom flödesdimensioneringsklass I eller II, skulle vid dammbrott inte påverka annan än dammägaren själv. Dammar med störst konsekvenser i händelse av dammbrott vid höga flöden tillhör flödesdimensioneringsklass I.

Kraftindustrin och gruvindustrin tillämpar sedan slutet av 1990-talet även ett system för klassificering av dammar med hänsyn till de konsekvenser som kan bli följden av ett dammbrott; s.k. konsekvensklasser [3, 4]. Dammarna delas in i fyra konsekvensklasser; 1A, 1B, 2 och 3. Dammar med störst konsekvenser i händelse av dammbrott tillhör konsekvensklass 1A.

Idag finns inte något offentligt nationellt dammregister som redovisar uppgifter om dammanläggningars klassning och flödesdimensionering. År 2003 introducerade Svenska Kraftnät en rutin för årlig rapportering av dammsäkerhet från dammägare till länsstyrelsen. Rapporteringen avser dammanläggningar i konsekvensklass 1A, 1B och 2 respektive flödesdimensioneringsklass I och II, vilket är de dammar som är intressanta att följa upp ur säkerhetssynpunkt.

Svenska Kraftnät sammanställer årligen rapporteringen för hela landet [5]. Även om årsrapporteringen inte är komplett bedöms den ha tämligen god täckning för de vattenkraft- och gruvdammar i landet som är viktigast ur säkerhetssynpunkt. Här ingår även ett mindre antal invallningsdammar, kanaldammar, slussar etc. Under senare år omfattas drygt 500 dammanläggningar, se figur 1.3.



Figur 1.3 Landets ca 500 dammar i a) konsekvensklass 1A, 1B och 2, respektive b) flödesdimensioneringsklass I och II [5].

Av figuren framgår att de flesta av dammarna i den högsta konsekvens- respektive flödesdimensioneringsklassen finns i de stora reglerade älvarna i Norrland. Men, även i Svealand och Götaland finns ett ganska stort antal dammar där ett dammbrott skulle kunna leda till stora konsekvenser.

Den svenska gruvindustrin har sin tyngdpunkt i Norr- och Västerbottens län, och det är också där man finner merparten av landets gruvdammar. Det finns även ett antal gruvor i



drift i Bergsslagen. I Bergsslagen finns ett stort antal mindre dammar som utgör lämningar från historisk gruvdrift. Totalt finns ett 20-tal gruvdammar i drift varav flertalet ägs av två gruvföretag, Boliden och LKAB.

### 1.3 Flödesdimensionering för dammar

Extrema flöden är den klimatfaktor som är dominerande när det gäller påverkan på dammsäkerheten. Internationell statistik över inträffade dammbrott i stora dammar visar att ca en tredjedel av alla dammbrott under modern tid har skett genom överströmning i samband med högflödessituationer [6].

Andra klimatfaktorer som vind, skyfall, temperaturförändringar, tjäle och is påverkar dammsäkerheten i varierande grad men inte tillnärmelsevis i lika stor omfattning som extrema flöden. Dammbrott i stora dammar som en direkt följd av påverkan av någon av dessa faktorer torde vara mycket ovanligt. I samband med höga flöden kan dock t.ex. isproblematik, vindgenererade vågor och vindsnedställning av magasinet förvärra en redan svår situation, och dammanläggningar behöver dimensioneras för att tåla tänkbara kombinationer av yttre laster på ett säkert sätt. Förutom direkta effekter på dammanläggningar behöver även förutsättningarna att kunna övervaka och fjärrstyra samt att kunna ta sig till anläggningen under svåra väderförhållanden beaktas, här kan t.ex. skyfall eller stormfällan medföra försvårande omständigheter.

#### 1.3.1 Historik

Före 1990 saknade Sverige i princip fastlagda regler för hur dimensionerande flöden för dammar och utskov skulle beräknas. En praxis hade dock utvecklats vilken innebar en dimensionering baserad på den högsta uppmätta avrinningen med ett påslag på 10-20 %. Detta motsvarar ofta ett flöde med en återkomsttid på mellan etthundra och några hundra år. Det förekommer även att frekvensanalys tillämpats. Erfarenheter från driften av vattenkraftsystemet i Sverige har visat att denna tidigare praxis var allt för grov och kan leda till kraftigt underskattade flöden.

För gruvdammar gäller att dessa regelmässigt placeras högt upp i aktuellt avrinningsområde, om möjligt i direkt anslutning till vattendelaren. Det innebär små tillrinningsområden, typiskt någon eller några kvadratkilometer, och förhållandevis små flöden/vattenvolymer. De gruvdammar som anlagts under de senaste decennierna har flödesdimensionerats enligt samma principer som nu gäller för vattenkraftdammar. De kriterier som tillämpades vid dimensioneringen av äldre gruvdammar varierar från damm till damm.

1985 beslutade vattenkraftindustrin tillsammans med SMHI att tillsätta Flödeskommittén, med uppgift att utarbeta riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammar. Arbetet resulterade i Flödeskommitténs riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar som gavs ut 1990 [1]. I riktlinjerna framgår att det är:

*”kommitténs bestämda uppfattning, att en beräkning av dimensionerande flöden med tillämpning av de nu framlagda riktlinjerna innebär en från dammsäkerhetssynpunkt fullt betryggande lösning. Marginalen i förhållande till högsta observerade flöden är betydande, vilket visar att riktlinjerna innebär en väsentlig skärpning av de krav, som hittills i vårt land brukat ställas på dimensionerande flöden vid projektering av dammbyggnader. Den förbättring av säkerheten, som riktlinjerna syftar till, bedöms medföra att framtida dammbyggen uppfyller alla krav, som rimligen kan ställas på företaget av riskkaraktär. En reservation måste dock göras för den händelse en*

*klimatförändring skulle inträffa, exempelvis på grund av den så kallade 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.”*

En nyutgåva av riktlinjerna kom ut år 2007, nu med Svenska Kraftnät, Svensk Energi och SveMin som huvudmän [2]. Metoderna i riktlinjerna har inte reviderats med hänsyn till förväntade framtida klimatförändringar, men riktlinjernas tillämpning i ett föränderligt klimat behandlas i nyutgåvan enligt följande:

*”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. Nya förutsättningar kan leda till att dimensioneringsberäkningarna behöver revideras. Osäkerheter kring det framtida klimatet får dock inte hindra att nödvändiga dammsäkerhetshöjande åtgärder vidtas. På grund av dessa osäkerheter bör dessutom flexibilitet och marginaler skapas där så är lämpligt.”*

### 1.3.2 Flödesdimensioneringsklasser och avbördningskrav

Enligt riktlinjerna för flödesdimensionering klassificeras dammar efter vilka konsekvenser ett dammbrott skulle kunna medföra. Klassindelning och avbördningskrav framgår av tabell 1.1. Striktare avbördningskrav ställs på dammar med stora konsekvenser i händelse av dammbrott. Riktlinjerna gäller både för befintliga och nya dammar.

*Tabell 1.1 Flödesdimensioneringsklasser för bestämning av dimensionerande flöde [2].*

Flödesdimensioneringsklass	Konsekvens vid dammbrott	Avbördningskrav
I	<ul style="list-style-type: none"> <li>Icke försumbar sannolikhet för förlust av människoliv eller annan personskada eller</li> <li>Beaktansvärd sannolikhet för allvarlig skada på viktig trafikled, dammanläggning eller därmed jämförlig anläggning eller på betydande miljövärde eller</li> <li>Hög sannolikhet för stor ekonomisk skadegörelse</li> </ul>	<p>Dammanläggningen ska, utan allvarlig skada på dammanläggningen, kunna motstå och framsläppa ett dimensionerande flöde, som beräknas enligt riktlinjerna</p> <p>Dammanläggningen ska vid dämningensgränsen även kunna framsläppa ett tillrinnande flöde med en återkomsttid av minst 100 år.</p>
II	<ul style="list-style-type: none"> <li>Icke försumbar sannolikhet för skada på trafikled, dammanläggning eller därmed jämförlig anläggning, miljövärde eller annan än dammägaren tillhörig egendom i andra fall än som angetts vid flödesdimensioneringsklass I.</li> </ul>	<p>Dammanläggningen ska vid dämningensgränsen kunna framsläppa ett tillrinnande flöde med en återkomsttid av minst 100 år.</p> <p>Dammanläggningen ska dessutom anpassas till ett flöde som bestäms genom kostnads-/nyttoanalys.</p>

Bestämning av det dimensionerande flödet i flödesdimensioneringsklass I bygger på hydrologiska modellsimuleringar som beskriver verkningarna av att extremt stora nederbördsmängder faller under särskilt ogynnsamma förhållanden. I beräkningarna antas extrema nederbördsmängder samverka med kraftig snösmältning och vattenmättad mark. Kritiska flöden och vattenstånd simuleras under minst en tioårsperiod genom att verklig observerad nederbörd i olika områden, systematiskt byts ut mot en 14 dygns lång dimensionerande nederbördssekvens.

De olika flödespåverkande faktorerna, vilka var och en för sig ligger inom ramen för vad som har inträffat, kombineras på det sätt som ger den mest kritiska samlade inverkan på älvsystemet. Flödenas återkomsttid kan inte anges med denna metod, men jämförande frekvensanalyser indikerar att flöden som beräknas på detta sätt i genomsnitt har återkomsttider på över 10 000 år.

Dimensionerande flödessekvens för dammar i flödesdimensioneringsklass I modelleras enligt riktlinjerna genom att betrakta älven och de ingående anläggningarna som ett system. I beräkningarna behöver antaganden om drift av vattenkraftsystemet göras. I dimensioneringsberäkningarna antas dammanläggningarnas magasin regleras enligt följande fyra punkter:

- Befintliga magasin avsänks inför vårfloden till de nivåer som bedöms rimliga när vårfloden förväntas bli kraftig.
- När magasinet börjar fyllas, förutsätts att minimitappning sker i föreskriven omfattning, samt att den produktionstappning pågår, som bedöms rimlig vid en prognos som förutser kraftig vårflod. Om förtappning kan antas bli föreskriven, får hänsyn tas till denna.
- När den mest intensiva nederbörden antas falla förutsätts att produktionstappningen faller bort och att avbördning bara kan ske genom dammanläggningens utskov.
- Efter det att de i systemet ingående magasinerna nått sina respektive dämningssgränser, vilket förutsätts ske senast den 1 augusti, antas magasinerna inte bli avsänkta under dämningssgränsen förrän den för regionen kritiska flödesperioden är över.

Vid tillämpning på gruvdammar behöver dessa antaganden anpassas efter de särskilda förutsättningar som gäller för dessa. Flödesdimensionering av dammanläggningar i ett så långt tidsperspektiv som kan vara aktuellt för efterbehandling av vissa gruvavfallsdeponier (vattentäckta sandmagasin) behandlas inte av riktlinjerna.

Kravet om att kunna avbörda minst ett 100-årsflöde vid dämningssgränsen gäller för dammanläggningar i både flödesdimensioneringsklass I och II. Det har tillkommit för att minska risken för höga vattenstånd som kan orsaka översvämningsskador längs magasinets stränder. För befintliga dammanläggningar får detta krav efterges i den mån det, med hänsyn till anläggningens säkerhet och med beaktande av risker för dämningsskador, bedöms tillräckligt att nämnda flöde kan framsläppas vid ett vattenstånd som överstiger dämningssgränsen.

### **1.3.3 Uppföljning av anpassningen till dimensionerande flöden**

Ett särskilt samråd i form av den så kallade Flödeskonferensen har etablerats mellan Svenska Kraftnät, Svensk Energi, SveMin och SMHI, d.v.s. huvudmännen för riktlinjerna för dimensionerande flöden för dammar med stöd av SMHI. Flödeskonferensens uppgift är bl.a. att följa upp eventuellt behov av utveckling och

komplettering av riktlinjerna samt hur dammägarnas arbete med anpassning av anläggningarna till riktlinjerna fortskrider. Som en del i detta arbete görs sedan riktlinjerna gavs ut en årlig uppföljning över anpassningsarbetet för kraftindustrins dammar i flödesdimensioneringsklass I. Förteckningen innehåller bl.a. uppgifter om åtgärdsbehov som har konstaterats för anläggningarna, samt de åtgärder som utförts eller planeras utföras av dammägarna.

Svenska Kraftnät gör baserat på Flödeskonferensens uppföljning en årlig sammanställning. Vid årsskiftet 2009/2010 redovisades uppgifter för 143 dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass I [5] enligt följande:

- Sedan 1990 har anpassningsåtgärder genomförts vid ca 45 % av anläggningarna medan ca 15 % av anläggningarna har konstaterats uppfylla riktlinjerna utan åtgärder, vilket i dagsläget innebär att ca 60 % av dammanläggningarna uppfyller riktlinjerna.
- Åtgärder pågår för närvarande vid ca 10 % av anläggningarna.
- För ca 30 % av anläggningarna uppges att åtgärder ännu inte har påbörjats, att eventuellt åtgärdsbehov inte har utretts eller att utredning av vilken flödesdimensioneringsklass anläggningen tillhör pågår.

De senaste decenniernas arbete med anpassning av dammanläggningar till kraven i riktlinjerna har avsett anpassning till extrema flöden under dagens klimatförhållanden.

Vid kartläggningen av gruvdammar i flödesdimensioneringsklass I och II har identifierats 20 sand- och klarningsmagasin samt tio (historiska) vattenregleringsdammar. Ett av sand- och klarningsmagasinen klarar inte att avbörda ett beräknat 100-årsflöde utan att överskrida dämningsskänklängden. Där planeras anpassningsåtgärder under 2012. Vid sex av de historiska vattenregleringsdammarna är åtgärder planerade under 2011-2013.

#### **1.3.4 Uppföljning av väderhändelser och höga flöden**

Ett viktigt moment i dammsäkerhetsarbetet är att följa upp den långsiktiga utvecklingen av de meteorologiska och hydrologiska observationer som är relevanta för flödesdimensioneringsarbetet. Detta görs regelbundet av SMHI som också publicerar sammanställningar och faktablad på sin hemsida. Där finns också ett antal så kallade klimatindikatorer presenterade varav följande punkter är av intresse för dammsäkerhetsfrågan:

- Årliga temperaturavvikelser för Sverige (sedan 1860)
- Årsnederbörd för Sverige (sedan 1860)
- Fall med extrem nederbörd (sedan 1930)
- Fall med geostrofisk vind över 25 m/s i södra Sverige (sedan 1901)

Dessutom görs ibland större satsningar inom speciella områden, antingen inom ramen för SMHIs anslag eller på uppdrag av någon intressent. Exempel på det senare är klimatanalyser som gjorts på uppdrag av olika länsstyrelser. Där återfinns man såväl trendanalyser som scenarioräkningar för respektive län. Hittills har sådana analyser gjorts för Norrbottens län, Västerbottens län, Västernorrlands län, Gävleborgs län, Stockholms län, Södermanlands län, Örebro län, Östergötlands län, Kronobergs län

samt Västra Götalands län. Dessa analyser kan i de flesta fall återfinnas via respektive länsstyrelses hemsida.

Av speciellt intresse för dammsäkerhetsarbetet är den uppföljning av relevanta klimatvariabler som genomfördes åt Svenska Kraftnät 2008 [7]. Samma år gjordes också den senaste och mest kompletta genomgången av avrinningens förändring i Sverige [8]. Där beskrivs långtidsvariationen i nederbörd, temperatur, vattentillgång och höga flöden i Sverige, med särskilt tonvikt på frågeställningar av betydelse för vattenkraftindustrin.

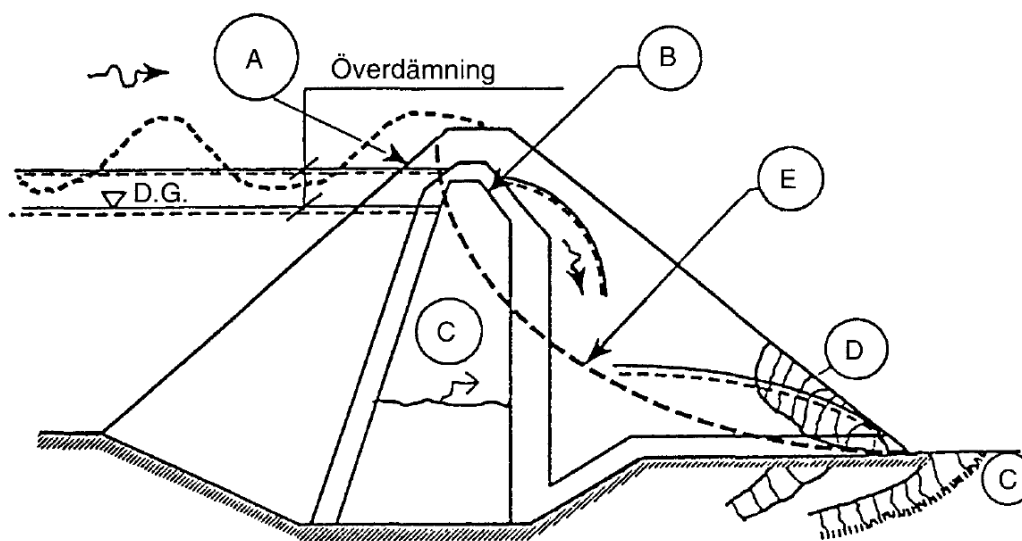
En hel del intressant information går också att finna i den internationella vetenskapliga litteraturen. Nyligen publicerades exempelvis en sammanfattning av trender i vattenföringen för Norden [9].

## 2 Dammars känslighet för flödesförändringar

Om en dammanläggnings avbördningskapacitet inte är tillräcklig i samband med ett högt flöde så stiger vattennivån i magasinet. Om nivån fortsätter att stiga så kan det leda till läckage över tåtkärnans krön och i förlängningen överströmning av dammkrönet. Fyllningsdammar tål inte överströmning av dammkrönet i någon större omfattning och även betongdammar kan vara känsliga för överströmning. Enligt internationell statistik beror ca en tredjedel av inträffade dammbrott på överströmning av dammkrönet.

Avbördning av extrema flöden under kortare eller längre tid innebär även risk för erosion och andra skador längs vattenvägen. Överdämning i magasinet, över nivåer som dammen är dimensionerad för, medför även förhöjda påfrestningar för dammen, se figur 2.1. Exempel på kritiska punkter som kan vara dimensionerande för fyllningsdammars överdämningsförmåga är [10]:

- Uppspolning av vågor
- Inre erosion i dammkroppen, vid anslutningar och i undergrunden
- Läckage och erosion i krönet
- Erosion vid dammtån
- Stabilitet hos nedströmsslätten



- A) Ytlig erosion i dammens uppströmsslänt och krön
- B) Läckage och inre erosion i dammkrönet
- C) Inre erosion i dammkroppen eller undergrunden
- D) Erosion vid dammtån
- E) Stabilitet hos nedströmsslätten

Figur 2.1 Skaderisker för fyllningsdammar vid överdämning [10].

I det följande har dammars känslighet för eventuella ökade flöden studerats genom överslagsmässig kartläggning av vilka befintliga marginaler som finns vid avbördning av extrema flöden. För dammar i flödesdimensioneringsklass I har marginaler vid avbördning av 100-årsflöde respektive vid dimensionerande flöde bedömts. För dammar

i flödesdimensioneringsklass II har endast marginaler vid avbördning av 100-årsflöde bedömts. Samma metodik har tillämpats för gruvdammar som för kraftindustrins dammar.

## 2.1 Metodik

Kommittén har utarbetat en metodik för att överslagsmässigt bedöma dammanläggningars känslighet för att kunna avbörda ökade höga flöden. Metoden bygger på att man för respektive anläggning tar fram ett grovt mått på den befintliga marginalen vad gäller att avbörda höga flöden utan att magasinet stiger över en för dammanläggningen kritisk nivå. En damm som med god marginal kan avbörda höga flöden bedöms ha liten känslighet för ytterligare flödesökningar, medan en damm som redan idag har liten marginal vid avbördning av höga flöden bedöms ha stor känslighet i händelse av ytterligare flödesökning.

Marginalen har uttryckts som en faktor som anger hur stor ökning av flödet som skulle kunna hanteras med befintliga avbördningsanordningar, utan att vattenståndet i magasinet stiger över dämningens gränser alternativt över en för dammen kritisk nivå ur säkerhetssynpunkt. I metodiken antas förenklat att fyllningsdammar tål överdämning upp till tätjärnans krön och att betongdammar tål överdämning upp till dammkrön. Det bortses från eventuella andra förhållanden som i praktiken kan begränsa överdämningens förmåga eller påverka den tillgängliga avbördningskapaciteten vid enskilda anläggningar. Förhållanden mellan anläggningar som ligger efter varandra i samma vattendrag beaktas generellt inte.

Kartläggningen har utgått från anläggningsdata och befintliga uppgifter från flödesdimensionering för respektive vattendrag, d.v.s. sammanfattningar från gjorda flödesberäkningar för dimensionering av dammarnas magasin och avbördningskapacitet. Data från respektive vattendrags dimensioneringsberäkningar utgör grunden i sammanställningen.

Kartläggningen har i de flesta fall gjorts anläggning för anläggning. För vattenkraften innebär detta en förenkling då hänsyn inte har tagits till hur befintliga marginaler i uppströms belägna anläggningar i praktiken påverkar flödesutvecklingen vid anläggningar längre nedströms i samma vattendrag. För gruvdammar saknar denna begränsning normalt relevans, då gruvdammar vanligtvis ligger högst upp i vattensystemen. Dock förekommer det att en gruvdammanläggning består av flera dammar i serie.

Följande anläggnings- och flödesuppgifter har insamlats för dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass I och II från berörda dammägare:

- Anläggningsnamn, koordinater, vattendrag, flödesdimensioneringsklass
- Avbördningsförmåga vid dämningens gränser, tätjärnans krön och dammkrön
- 100-årsflöde samt, för dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass I, även dimensionerande flöde och dimensionerande vattenstånd

Dammägarna har även ombetts att kommentera om det finns särskilda förhållanden som gör att den beskrivna metodiken inte är tillämpbar i det specifika fallet. Exempel på detta kan vara att anläggningen tål överströmning. Respektive dammägare har lämnat uppgifter om de egna anläggningarna.

### **2.1.1 Avbördning av dagens 100-årsflöde**

#### **Marginal vid dämningensgräns**

För anläggningar i flödesdimensioneringsklass I och II har befintlig marginal för avbördning av 100-årsflöde vid dämningensgräns studerats genom att jämföra anläggningarnas tillgängliga avbördningskapacitet vid dämningensgränsen, med aktuellt 100-årsflöde. Resultatet blir i allmänhet en faktor som ligger mellan ett och två. En faktor under ett betyder att magasinsvattenytan stiger över dämningensgränsen vid 100-årsflöde, medan en faktor två betyder att ett dubbelt så stort flöde som 100-årsflödet kan avbördas vid dämningensgränsen. Marginalen ger en fingervisning om hur mycket 100-årsflödet kan öka utan att magasinsvattenståndet stiger över dämningensgränsen.

#### **Marginal vid förhöjt magasinsvattenstånd**

För anläggningar i flödesdimensioneringsklass II har även befintlig marginal för avbördning av 100-årsflöde studerats vid ett förhöjt magasinsvattenstånd. Som utgångspunkt antogs att fyllningsdammar tillfälligt tål överdämning upp till tät kärnans krön och att betongdammar tillfälligt tål överdämning upp till dammkrönet utan att gå till brott. Marginalen beräknas genom att jämföra anläggningarnas tillgängliga avbördningskapacitet vid tät kärnans krön alternativt dammkrön med aktuellt 100-årsflöde. Resultatet blir i allmänhet en faktor som ligger mellan ett och två.

En faktor ett betyder att magasinsvattenytan vid 100-årsflöde redan ligger vid tät kärnans krön alternativt dammkrön. En faktor två betyder att ett dubbelt så stort flöde som 100-årsflödet kan avbördas vid tät kärnans krön alternativt dammkrön.

### **2.1.2 Avbördning av dagens dimensionerande klass I-flöde**

För anläggningar i flödesdimensioneringsklass I har befintlig marginal för avbördning av dimensionerande flöde studerats vid ett förhöjt magasinsvattenstånd. Som utgångspunkt antogs att fyllningsdammar tillfälligt tål överdämning upp till tät kärnans krön och att betongdammar tillfälligt tål överdämning upp till dammkrönet utan att gå till brott, nedan kallat kritiskt vattenstånd.

Två principiellt olika fall har särskiljts vid kartläggningen; magasin utan respektive med dämpande effekt vid dimensionerande flödestillfälle. Gränsen mellan dessa två fall har godtyckligt valts till när skillnaden mellan dimensionerande tillrinning och dimensionerande avbördning är mindre respektive större än 5 %.

För gruvdammar är bara den första kategorin, magasin utan dämpande effekt, aktuell.

#### **Magasin utan dämpande effekt**

För magasin utan dämpande effekt är dimensionerande tillrinning och dimensionerande avbördning lika, eller nästan lika, stora. För dessa anläggningar har befintlig marginal uppskattats för anläggning utan hänsyn till eventuell påverkan av uppströms liggande anläggningar.

Marginalen vid avbördning av dimensionerande flöde har beräknats genom att anläggningens tillgängliga avbördningskapacitet vid kritiskt vattenstånd har jämförts med dimensionerande tillrinning. Resultatet blir i allmänhet en faktor som ligger mellan knappt ett och en och en halv.

En faktor ett betyder att vattenståndet just når till tät kärnans krön alternativt dammkrön vid dimensionerande flöde. En faktor en och en halv betyder att ett flöde som är 50 %



större än dimensionerande tillrinning kan avbördas med magasinet vid tät kärnans krön alternativt dammkrön.

### **Magasin med dämpande effekt**

För magasin med dämpande effekt vid dimensionerande flödestillfälle är dimensionerande avbördning mindre än dimensionerande tillrinning. För dessa dammar har den befintliga hydrologiska modellen för flödesdimensionering använts för bestämning av marginalen för att klara flödesökningar. Detta innebär att älven har betraktats som ett system och att uppströms belägna anläggningar i vattendraget påverkar flödesutvecklingen vid den studerade anläggningen.

I beräkningen ökades nederbörden till dess att magasinsvattenståndet precis nådde tät kärnans krön eller dammkrönet. Den resulterande ökningen av tillrinningsvolymen uttrycks som en faktor, som ger ett grovt mått på anläggningens befintliga säkerhetsmarginal avseende höga flöden. En faktor under ett betyder att magasinet stiger över kritisk nivå vid dimensionerande flöde, medan en faktor två betyder att anläggningen har marginaler för att avbörda en dubbelt så stor tillrinningsvolym som dagens dimensionerande flöde.

Den ovan beskrivna metodiken har tillämpats på dammanläggningar med dämpande magasin i Dalälven, Ljusnan, Ljungan, Indalsälven, Ångermanälven och Umeälven. För Luleälven har en likvärdig metod använts. För anläggningar i övriga vattendrag har det inte varit möjligt att genomföra beräkningar inom ramen för Kommitténs arbete, men en överslagsmässig bedömning av marginalen har kunnat göras i vissa fall.

### **2.1.3 Kartläggningens omfattning**

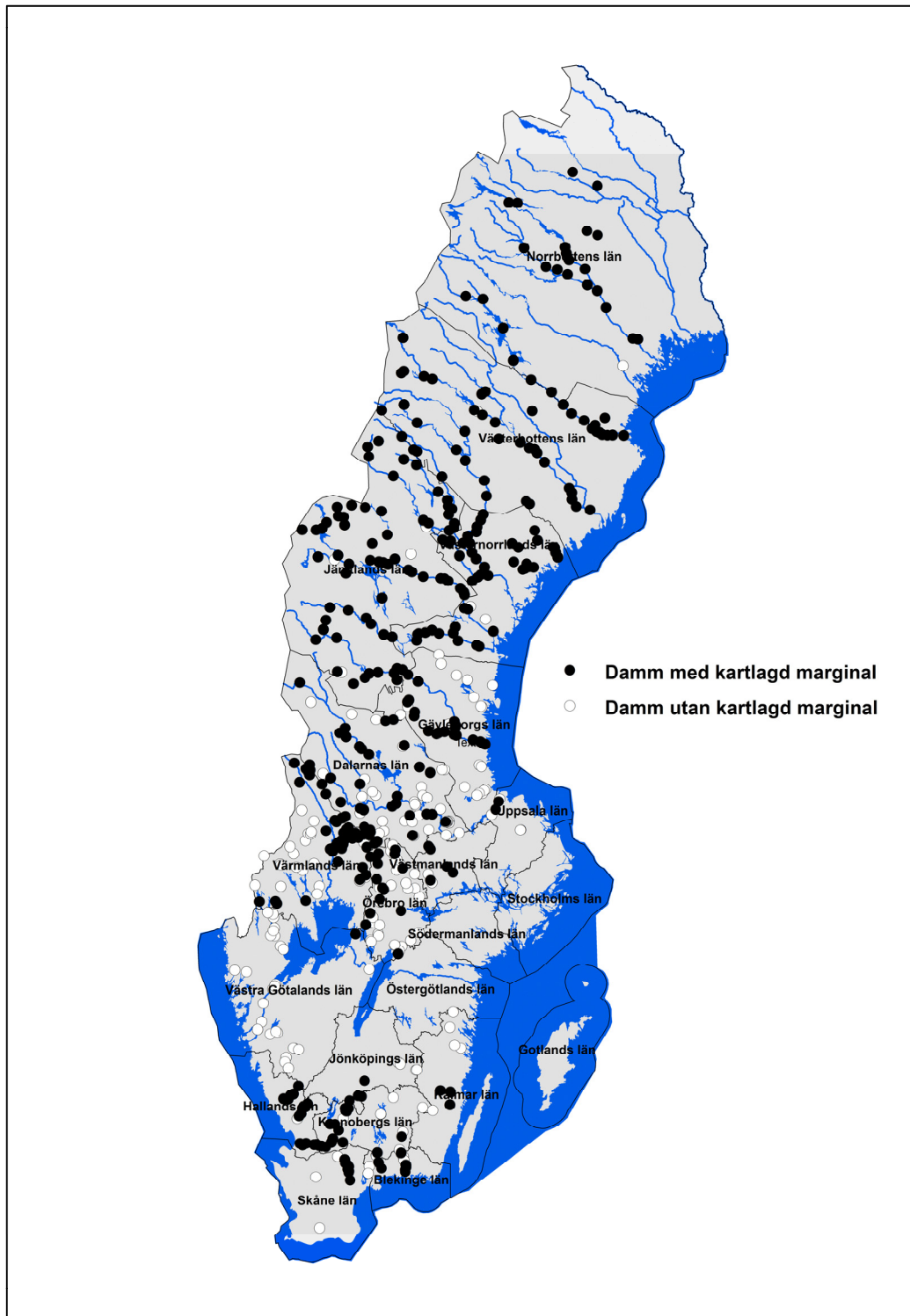
Kommittén har efterfrågat underlag om dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass I och II. Kartläggningen har inriktats mot dammar som ägs av Svensk Energis och SveMins medlemsföretag, vilka totalt utgör ca 90 % av de dammar som ingår i årsrapporteringen av dammsäkerhet till länsstyrelsen.

Kommittén bedömer att det i första hand finns ett mörkertal av dammar i flödesdimensioneringsklass II, som av olika skäl inte blivit kända genom årsrapporteringen. Bidragande orsaker är att samtliga län ännu inte begär in årsrapport från alla dammägare med ur dammsäkerhetssynpunkt väsentliga dammanläggningar, samt att uppgift om flödesdimensioneringsklass har lämnats tom för ca 15 % av de inrapporterade anläggningarna i konsekvensklass 1A, 1B och 2.

Svenska Kraftnät har svarat för datainsamling och datasammanställning, och har i samverkan med kommittén tagit kontakt med berörda dammägare under 2009. De dammägare inom Svensk Energi som lämnat uppgifter till kartläggningen är Vattenfall, Fortum, Statkraft, E.ON, Skellefteå Kraft, Jämtkraft, Mälarenergi samt Vattenregleringsföretagen i Dalälven, Ljusnan, Ljungan, Indalsälven, Ångermanälven, Umeälven och Skellefteälven. Tillräckliga uppgifter har kommit Kommittén till handa för drygt 130 dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass I och ca 225 dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass II.

Antalet aktiva gruvföretag med gruvdammar är begränsat och samtliga företag är medlemmar i SveMin. Det mörkertal som ändå kan finnas avseende gruvdammar hänförs till historiska dammar. Vissa av dessa kan, trots att det troligen uteslutande handlar om små dammar, innebära ej obetydliga risker.

I figur 2.2 nedan framgår geografiskt läge för de drygt 500 dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass I och II och/eller konsekvensklass 1A, 1B och 2, som ingår i årsrapporteringen. De mörka prickarna visar för vilka av dessa som kartläggning av marginaler har utförts i denna studie; totalt knappt 400 st. För resterade anläggningar har Kommittén inte haft tillräckligt dataunderlag att tillgå för att kunna kartlägga befintlig marginal i enlighet med de beskrivna metoderna.



Figur 2.2 Dammar i flödesdimensioneringsklass I och II och/eller konsekvensklass 1A, 1B och 2 med respektive utan kartlagd marginal.

Från figuren kan noteras att kartläggningens täckning varierar över landet:

- Täckningen är god i norrlandsälvarna.
- Täckningen är bristfällig i Götaland och Svealand.
- Underlag om dammar i Östergötland, Södermanland och Stockholms län saknas.

## 2.2 Resultat

Kartläggningen av dammarnas känslighet för höga flöden avser befintliga marginaler vid 100-årsflöde respektive klass I-flöde i dagens klimat. Resultatet ger en fingervisning om hur stor ökning av framtida flöden som dammarna tål i sin nuvarande utformning. Från kartläggningen gör Kommittén bedömningen att det inte finns något samband mellan var i landet en damm ligger och hur stor marginal för avbördning av befintligt 100-årsflöde den har. En observation är dock att det i några vattendrag förekommer att ett antal anläggningar i flödesdimensioneringsklass II, som inte kan avbörda 100-årsflödet vid dämningensgränsen, ligger direkt efter varandra i vattendraget.

### 2.2.1 Marginal vid dagens 100-årsflöde

För kraftindustrins dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass II visar kartläggningen att:

- Ca 65 % av anläggningarna kan avbörda dagens 100-årsflöden vid dämningensgräns.
- Ca hälften av anläggningarna kan avbörda ett flöde som är 20 % större, eller mer, än dagens 100-årsflöde utan att magasinet stiger över dämningensgränsen.
- Ca 95 % av anläggningarna kan avbörda dagens 100-årsflöde utan att magasinet stiger över kritisk nivå.

Av fem aktiva gruvdammar i klass II kan fyra st avbörda dagens 100-årsflöden vid dämningensgräns. Två dammar kan vid dämningensgränsen avbörda ett flöde upp till 20 % högre än 100-årsflödet och två dammar ett flöde 50-100 % högre än 100-årsflödet. En av anläggningarna kan inte avbörda dagens 100-årsflöde utan att magasinet stiger över tät kärnans krön. (Åtgärder för att säkerställa riktlinjens krav för denna anläggning är planerade för 2012).

För kraftindustrins dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass I visar kartläggningen att:

- Ca 90 % av anläggningarna kan avbörda dagens 100-årsflöde vid dämningensgräns.
- Ca 70 % av anläggningarna kan avbörda ett flöde som är 20 % större, eller mer, än dagens 100-årsflöde vid dämningensgränsen utan att magasinet stiger över dämningensgränsen.

För gruvindustrins dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass I visar kartläggningen att:

- Elva av 13 st anläggningar kan avbörda ett flöde som är 20 % större, eller mer, än dagens 100-årsflöde vid dämningensgräns.
- Nio av 13 st anläggningar kan avbörda ett flöde som är dubbelt så stort som dagens 100-årsflöde vid dämningensgräns.

### **2.2.2 Marginal vid dagens dimensionerande flöde enligt klass I**

För att ge en uppfattning om storleksordningen på det dimensionerande klass I-flödet i förhållande till 100-årsflödet kan nämnas att en uppföljning av flödesdimensioneringsberäkningar visar att klass I-flödet i medeltal är 1,7 gånger högre än 100-årsflödet [11].

För kraftindustrins dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass I visar kartläggningen att:

- Ca 75 % av anläggningarna klarar dagens dimensionerande förhållanden utan att vattenståndet stiger över kritisk nivå.
- Ca 35 % av anläggningarna har en befintlig marginal till tät kärnans/dammens krön vid dimensionerande förhållanden som möjliggör att tillrinningsvolymen skulle kunna öka med 20 % eller mer utan att vattenståndet stiger över en kritisk nivå.

Kartläggningen bekräftar Flödeskonferensens uppföljning avseende andelen dammanläggningar som klarar dimensionerande flöden. Den visar vidare att större marginaler inte skapats vid dammar i konsekvensklass 1A jämfört med dammar i konsekvensklass 1B.

För gruvindustrins dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass I visar kartläggningen att:

- Tio av 13 anläggningar klarar dagens dimensionerande förhållanden utan att vattenståndet stiger över tät kärnans krön.
- Tre av 13 anläggningar kan avbörda ett flöde som överstiger det dimensionerande flödet med mer än 20 % utan att vattenståndet stiger över tät kärnans krön.

### **2.2.3 Diskussion och slutsatser**

En metodik har utarbetats med vilken det varit möjligt att översiktligt bestämma enskilda dammanläggningars marginaler vid avbördning av 100 årsflöden respektive flödesdimensioneringsklass I-flöden. Kartläggningen av befintliga marginaler vid avbördning av höga flöden har genomförts för kraftindustrins respektive gruvindustrins dammar i flödesdimensioneringsklass I och II. Totalt omfattas knappt 400 av de ca 500 dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass I och II som ingår i dammägarnas årsrapportering till länsstyrelsen.

Avsaknad av ett offentligt heltäckande nationellt dammregister med uppgifter om dammanläggningarnas flödesdimensioneringsklass, avbördningskapacitet och flödesdimensionering har i kombination med olikheter i länsstyrelsens rutiner vid tillämpning av årsrapporteringen bidragit till att kartläggningens täckning varierar över landet. För de stora kraftverksälvarna i Norrland och för gruvindustrins dammar bedöms täckningen vara god, medan den är bristfällig i den mellersta och södra delen av landet.

Sammantaget ger studien underlag för en övergripande nationell jämförelse av storleksförhållandena mellan befintliga marginaler och modellerade flödesförändringar. En damm som med god marginal kan avbörda dagens extrema flöden har förutsättningar för att kunna avbörda ökade flöden och bedöms påverkas mindre av framtida flödesförändringar. På motsvarande sätt har en damm som endast med liten marginal kan avbörda dagens extrema flöden inte kapacitet att kunna avbörda ökade flöden och bedöms således påverkas mer av flödesförändringar. För regioner och vattendrag där kartläggningen av befintliga marginaler är bristfällig samtidigt som beräkningarna visar

på ökade flöden i framtiden (se avsnitt 4) bör kompletterande studier av sårbarheten genomföras.

Det bör understrykas att den metod som används här för att bedöma befintliga marginaler inte beaktar eventuella andra anläggningsspecifika förhållanden som i praktiken kan begränsa överdämningsförmågan och den praktiskt tillgängliga avbördningskapaciteten. Vidare har huvuddelen av anläggningarna studerats en och en utan hänsyn till eventuell påverkan från uppströms liggande anläggningar i vattendraget.

Det ingår i dammägarnas uppgifter att genomföra såväl flödesdimensionering längs hela vattendrag som studier av enskilda anläggningar. I dimensioneringsarbetet, liksom vid den operativa driftplaneringen, behandlas älven som ett system. I regioner där beräkningarna pekar mot ökade höglöden i framtiden ger en analys av samtliga anläggningar längs ett vattendrag en fingervisning om var ”flaskhalsar”(anläggningar som har sämre kapacitet att avbörda ökade extremflöden) finns i systemet. Tillsammans med annat underlag belyser detta behovet av, och prioriteringsordning för, åtgärder för att anläggningarna ska kunna avbörda eventuella ökade flöden.

### 3 Framtida drift av vattenkraftsystem

Driften av vattenkraftsystemen i Sverige kan i framtiden, utöver ändringar som är relaterade till klimatet, påverkas av en rad faktorer som är föränderliga över tiden. Exempel på detta är energibalans, effektbalans, elmarknadens utveckling och förutsättningar, produktionens sammansättning och lokalisering med bland annat ökad andel vindkraft, kraftsystemets utveckling, förändringar i överföringskapacitet samt elanvändningsmönster.

Det finns en stor mängd studier av olika scenarios av hur ett framtida kraftsystem kan se ut. Ytterligare utvecklingsprojekt planeras. Såväl EUs mål avseende klimat, förnybarhet och energieffektivisering liksom utvecklingen av elmarknaden och överföringskapacitet är frågeställningar att hantera. Utvecklingen till en större och mer internationell marknad med väl fungerande överföringsförbindelser och utbyte mellan länder ställer också krav på elproduktionen och inte minst reglerförmågan i systemet. Sverige och övriga nordiska länder har en nordisk elmarknad som redan är integrerad med andra nordeuropeiska länder.

Vattenkraft är, på grund av sin reglerbarhet och sin relativt låga fasta produktionskostnad, det kraftslag som i första hand används för reglering såväl i det korta perspektivet som i det långa. Det innebär att varje förändring i energisystemet, produktion, elanvändning eller transmission, kan komma att påverka vattenkraftens produktionsmönster och regleringsstrategier. Det är därmed viktigt att bevaka om detta föranleder förändringar i de regleringsstrategier som anges i riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammar. Det korta perspektivet innebär reglering på tims-, dygns- och veckonivå medan det långa perspektivet innebär säsongsreglering. Flerårsreglering utövas bara i ett fåtal magasin i Sverige.

Ett eventuellt förändrat framtida klimat kan innebära att tillrinningarna till våra vattenkraftsystem ökar eller minskar, vilket i sin tur kan påverka driften av våra vattenkraftsystem. I detta avsnitt belyses i vilken mån man idag kan förutse driftförändringar som även medför att det föreligger behov av ändringar av de regleringsstrategier som antas gälla vid beräkning av dimensionerande flöden och vattenstånd för dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass I. De regleringsstrategier som anses relevanta att analysera närmare vad gäller eventuella framtida driftförändringar har varit:

- Att befintliga magasin antas avsänkas inför vårfloden till de nivåer som bedöms rimliga när vårfloden förväntas bli kraftig.
- Att efter det att de i systemet ingående magasinerna nått sina respektive dämningssgränser, vilket förutsätts ske senast den 1 augusti, antas magasinerna inte bli avsänkta under dämningssgränsen förrän den för regionen kritiska flödesperioden är över.

#### 3.1 Metodik

Arbetet har bestått av tre delar:

- Kunskapssammanställning och genomförande av en workshop för att få en bild av hur branschen bedömer att driften av vattenkraftsystem och regleringen av vattendragen kan komma att påverkas i framtiden. Till workshopen, som genomfördes i september 2009, inbjöds deltagare från olika kraftföretag, Svensk Energi, SMHI och Svenska Kraftnät. Inför workshopen gjorde Svensk Energi en

sammanställning av de resultat som framkommit i de utredningar och analyser som branschen gjort i andra sammanhang [12].

- Analys av fyllnadsgraden i magasin för olika tidsperioder för att identifiera eventuella förändringar i hanteringen av regleringsmagasinen. Kommittén har sammanställt statistik över magasinstryllnadsgrad och tillrinning för landet som helhet samt för sex utvalda dammanläggningar; Ajaure (Umeälven), Hällby (Ångermanälven), Kallsjön (Indalsälven), Håckren (Indalsälven), Lossen (Ljusnan) och Trängslet (Dalälven). Uppföljningen visar förändringar i hur vattenmagasinen har använts under de senaste 40 åren.
- Metodutveckling och studie av samma anläggningar som mi föregående punkt för att bedöma hur storleken på eventuella restmagasin påverkar de högsta vattennivåerna i dimensioneringsberäkningarna. Studien har gjorts med samma hydrologiska modell som använts för att beräkna dammanläggningarnas dimensionerande flöden.

## **3.2 Resultat**

### **3.2.1 Uppföljning av magasinstryllnadsgrad och tillrinning**

I figur 3.1 redovisas magasinstryllnaden i Sverige totalt för åren 1981-2010.

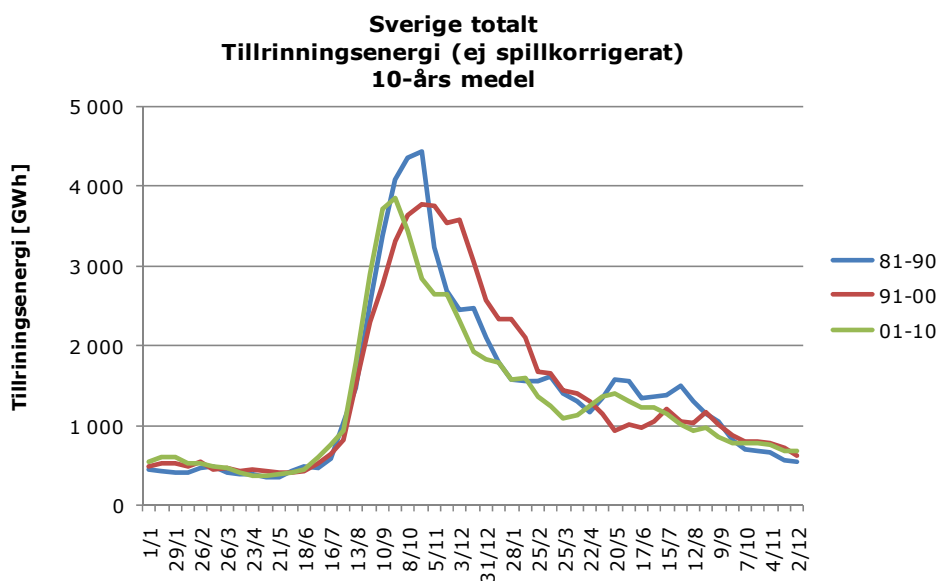
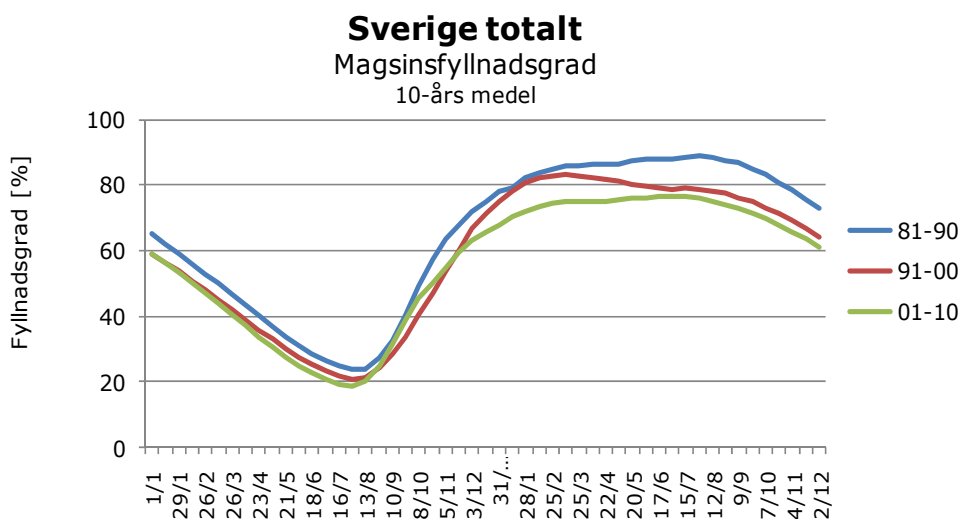
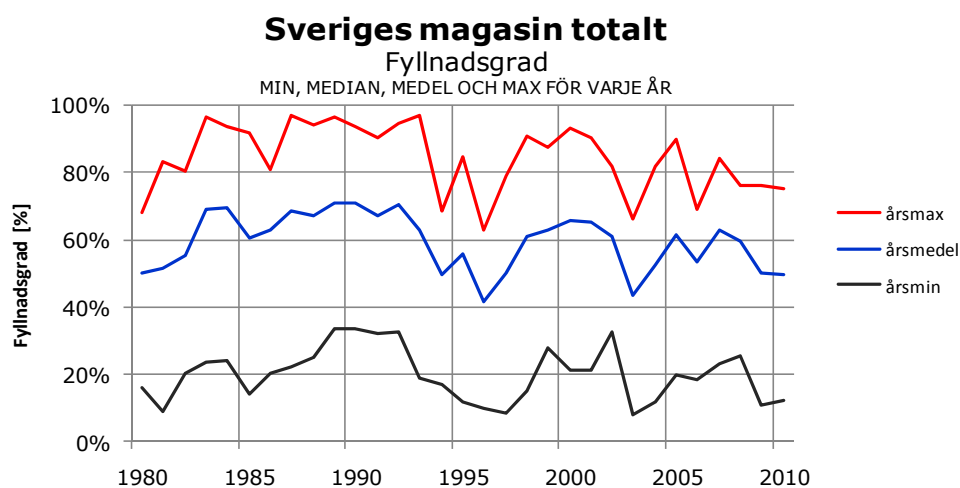
Kartläggningen avser årshögsta, årsmedel samt årslägst magasinstryllnad under tre årtionden, samt säsongvariation och tillrinning för de olika årtiondena.

Motsvarande uppföljning har även utförts för de sex utvalda anläggningarna för tidsperioden 1971-2010.

Analysen visar på en tendens till minskad fyllnadsgrad i magasinerna under somrarna, speciellt under den senaste 10-årsperioden. Detta kan bland annat bero på marknadsmässiga faktorer och en ökad försiktighet för att inte komma i spill vid högflödessituationer.

Någon signifikant trend till ökande magasinstryllnivå inför vårfloden har inte uppmärksamats. Vissa år med kraftiga smältperioder under vintern har dock resulterat i stora restmagasin.

Generellt visar analysen på en tendens till att magasinerna blir avsänkta tidigare. Detta beror framförallt på en ambition att verkligen tömma magasinerna inför vårflodens start men också på att vårtillrinningarna har en tendens att komma tidigare än förut på grund av att vårvärmen kommer tidigare.



Figur 3.1 Magasinsfyllnadsgrad i Sverige totalt för åren 1981-2010, redovisat som årsmax, -medel och -min, 10-årsmedelvärden samt tillrinningsenergi.



### 3.2.2 Magasinsnivå inför vårfloden

En metod har utvecklats för att analysera hur magasinstryllnaden inför vårfloden påverkar det dimensionerande vattenståndet. Metoden har prövats på de sex utvalda anläggningarna. Beräkningarna visar att de avgörande faktorerna för hur restmagasinen påverkar de dimensionerande vattenstånden är dammanläggningarnas avbördningskapacitet och regleringsgrad:

- Om regleringsgraden är låg beror det dimensionerande vattenståndet mer på avbördningskapaciteten.
- Om regleringsgraden är hög kan tillrinningen under vårfloden mycket väl vara avsevärt högre än avbördningskapaciteten så länge magasinstryllnaden är så låga att tillrinningen kan magasineras.
- Vid höga magasinstryllnader har magasinerna ingen dämpande förmåga vilket gör att avbördningskapaciteten blir avgörande för det dimensionerande vattenståndet.

Om denna analys görs på samtliga anläggningar i ett älvsystem kan man påvisa var de svaga punkterna i älvarna finns med avseende på restmagasin inför vårfloden.

### 3.3 Diskussion och slutsatser

I dimensioneringsberäkningarna antas dammanläggningarnas magasin regleras enligt strategier som ges i riktlinjerna. De två i detta sammanhang relevanta punkterna som har analyserats är att:

- *Befintliga magasin avsänks inför vårfloden till de nivåer som bedöms rimliga när vårfloden förväntas bli kraftig.* Kommitténs slutsats är att riktlinjernas formulering gällande avsänkning inför vårfloden äger fortsatt giltighet.
- *Efter det att de i systemet ingående magasinerna nått sina respektive dämpningsgränser, vilket förutsätts ske senast den 1 augusti, antas magasinerna inte bli avsänkta under dämpningsgränsen förrän den för regionen kritiska flödesperioden är över.* Kommitténs slutsats är att riktlinjernas regel att vattenståndet ska ligga på dämpningsgränsen den 1:a augusti inför den dimensionerande nederbördssekvensen medför en ökad säkerhetsmarginal i framtiden, förutsatt att de tendenser som framkommit med lägre sommarvattenstånd i magasinerna kvarstår.

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.

## 4 Flödesförändringar i ett klimat i förändring

Syftet med denna del av arbetet har varit att ta fram metoder för att kunna ta hänsyn till ett förändrat klimat vid flödesdimensionering av dammanläggningar. Målet är att flödesberäkningar med hänsyn tagen till klimatförändringar regelmässigt skall kunna genomföras vid framtida dimensioneringsberäkningar.

En systematisk genomräkning av flödesdimensioneringen för hela det svenska dammbeståndet för att ta hänsyn till klimatförändringar är dock en mycket omfattande uppgift. Det är inte realistiskt att detta genomförs av Kommittén, utan det är en framtida uppgift för respektive dammägare.

Kommitténs arbete avseende klimatanpassning av metodiken för flödesdimensionering för dammar har indelats i två delmoment:

- Utveckling av metodik för hänsynstagande till klimatförändringar vid dimensioneringsberäkningar, samt genomförande av testberäkningar
- Utarbetande av en vägledning för användande av klimatscenarier i dimensioneringsarbetet.

I de nordiska länderna har frågan om hur man vid flödesdimensionering ska kunna ta hänsyn till ett förändrat klimat studerats sedan 1990-talet. I och med nyutgåvan av riktlinjerna för dimensionerande flöden för dammanläggningar 2007 skärptes kravet på att beakta klimatfrågan vid flödesdimensionering [2].

För att ge stöd åt arbetet med att klimatanpassa flödesdimensioneringsarbetet initierade kraftindustrin, gruvindustrin och Svenska Kraftnät 2007 ett metodutvecklingsprojekt som finansierades av Elforsk. Projektet som fick namnet *Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring - Scenarier i ett 50-årsperspektiv* slutrapporterades i juni 2011 [13]. Där redovisas ny metodik för att omsätta beräknade klimatförändringar till påverkan på dimensionerande flöden i såväl flödesdimensioneringsklass I som i flödesdimensioneringsklass II enligt de svenska riktlinjerna. Det innebär att scenarier över framtidens klimat nu kan omsättas till effekter på extrema flöden i vattendrag.

16 regionala klimatscenarier från det europeiska Ensemblesprojektet och från SMHI har varit en viktig utgångspunkt i arbetet. Ett omfattande arbete har också lagts ner på att ta fram ett rationellt och kostnadseffektivt produktionssystem så att ett stort antal klimatscenarier kan bearbetas med rimliga arbetsinsatser. Stora resurser har dessutom använts för att ta fram en vetenskapligt förankrad metodik för anpassning av regionala klimatscenarier till en hydrologisk modell [14].

Metodiken vad gäller dammar i flödesdimensioneringsklass I har testats för ett urval av anläggningar av olika karaktär. Dessa är Seitevare i Lilla Luleälven, Pengfors i Umeälven, Trängslet i Österdalälven, Torpshammar i Gimån, Gruvsjön i Garpenberg, Vätern, Torsebro i Helgeå, Glafsforden i Byälven, Höljesdammen i Klarälven, Skinnmuddselet i Gideälven och Hyltebruk i Nissan. Beräkningsområdenas lägen redovisas i figur 4.1. Klimatförändringens påverkan på 100-årsflöden har dock studerats för ca tusen avrinningsområden som täcker hela landet.



Figur 4.1. Beräkningsområden för test av klimatanpassningsberäkningar av flöden i flödesdimensioneringsklass I.

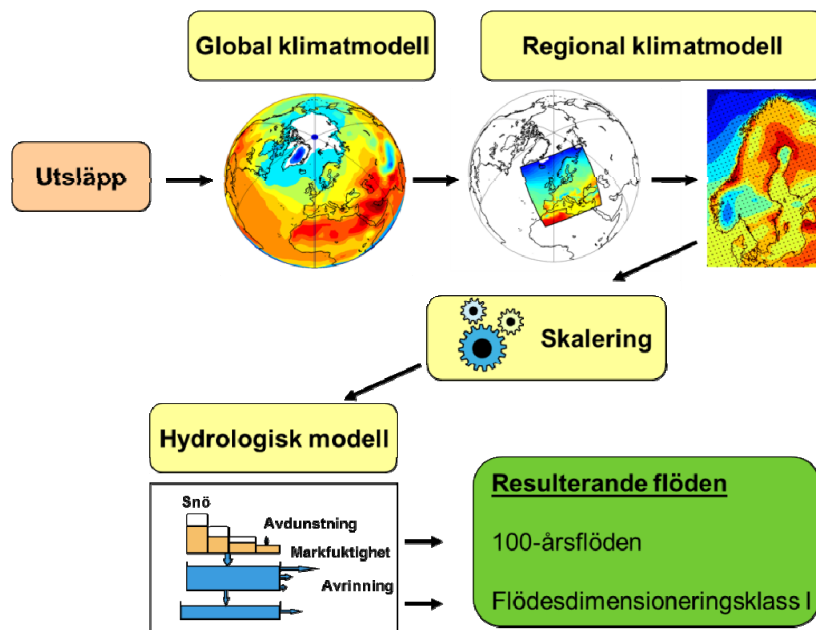
Tillgodogörandet av projektets resultat har säkerställts genom att de flesta medlemmarna i Elforsks styrgrupp för projektet även ingår i Kommittén. Under projektets gång har den utvecklade tekniken för klimatanpassning av metodiken för flödesdimensionering dessutom kunnat prövas i praktisk tillämpning vid flera tillfällen.

Utarbetandet av en vägledning för dimensioneringsarbete innebär att vissa vägledande principer fastställts för hur den nya metodiken skall användas i praktiken. Det gäller i första hand hur urvalet av klimatscenarier skall gå till, men även hur man skall se på andra faktorer såsom metod för övergång från klimatmodellen till den hydrologiska modellen och hantering av regleringsstrategin vid dimensioneringsberäkningen. Dessutom diskuteras andra osäkerhetsfaktorer som påverkar beräkningarna.

#### 4.1 Klimatanpassning av metodiken för flödesdimensionering för dammar

I följande avsnitt beskrivs klimatanpassningen av metodiken för flödesdimensionering för dammar kortfattat.

För att beräkna de regionala eller lokala hydrologiska effekterna av ett förändrat klimat går man igenom en kedja av antaganden och modellberäkningar, se figur 4.2.



Figur 4.2 Illustration av kopplingen mellan en global- och en regional klimatmodell samt en hydrologisk modell vid studier av klimateffekter på hydrologin [13].

Det första antagandet rör framtidens utsläpp av växthusgaser. Här brukar man använda utsläppsscenarioer som utarbetats av FN:s klimatpanel, IPCC. Dessa bygger på antaganden om världens socioekonomiska utveckling och innehåller olika antaganden om jordens folkmängd, ekonomisk tillväxt, teknologisk utveckling m.m.

Det andra steget utgörs av en global modellsimulering. Genom att genomföra beräkningar med växthusgaskoncentrationer som motsvarar dagens förhållanden respektive för framtida förhållanden får man en bild av den framtida förändringen av klimatet. Globala simuleringar av detta slag sker endast i begränsad omfattning i Sverige. Upplösningen i en global klimatmodell kan typiskt vara 150-300 km. I första hand erhålls resultaten från internationella forskningsinstitut.

Det tredje steget är att genomföra en regional klimatsimulering, som bygger på den globala klimatmodellen, men som har betydligt större detaljrikedom och högre areell upplösning. Detta beräkningssteg sker ofta nationellt, t.ex. vid Rossby Centre i Sverige, och ger en regional bild av hur framtidens klimat utvecklas. Upplösningen i en regional klimatmodell av detta slag kan typiskt vara 25-50 km eller högre. Det aktuella Elforskprojektet [13] utnyttjade sammanlagt 16 regionala klimatscenarioer för perioden fram till och med 2050. 12 scenarier har använts för beräkningar avseende slutet av seklet.

Det fjärde steget är att tillämpa en hydrologisk modell, som omsätter de beräknade regionala klimatförändringar till hydrologiska konsekvenser. Hittills har HBV-modellen varit standard för detta moment i Sverige, Norge och Finland. Denna modell har även använts inom det aktuella Elforskprojektet.

Det är av stor betydelse hur man behandlar gränssnittet mellan de olika beräkningsstegen i figur 4.2. Utvecklingen har gått från den enkla s.k. deltametoden till den mer avancerade DBS-metoden, som är den metod som använts i de nu redovisade beräkningarna [13].

Beräkningarna av de dimensionerande flödena har utförts enligt riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar för dammar i flödesdimensioneringsklass I [2]. I riktlinjerna ingår beräkningsantaganden om

driftförhållanden och magasinens reglering. De studier som genomförts av Kommittén, och som redovisas i avsnitt 3 i föreliggande rapport, visar att det för närvarande inte finns skäl att ändra riktlinjerna vad avser antaganden om regleringsstrategi. I de hittills genomförda testberäkningarna har därför dagens regleringsstrategi bibehållits. Dock är detta ett antagande som kan komma att behöva omprövas i framtiden om det finns tecken som tyder på att den framtida magasinshanteringen kan avvika på ett avgörande sätt från dagens.

Förändring av 100-årsflödet har beräknats löpande för varje 30-årsperiod från 1963-1992 till 2069-2098. 100-årsflödet beräknat för perioden 1963-1992 utgör startpunkt från vilken förändringarna beräknas (referensperiod). De löpande beräkningarna av 100-årsflöden har gjorts för 1001 avrinningsområden täckande i stort sett hela Sverige och angränsande delavrinningsområden som rinner till Sverige.

Två utsnitt av beräkningarna, gällande tidsperioderna 2021-2050 respektive 2069-2098, har därefter interpolerats och presenterats i kartform. Beräkningarna har uppdelats i två steg, lokal vattenföring vilket är en interpolation mellan de 1001 avrinningsområdena och alltså representerar mindre vattendrag, samt total vattenföring där varje punkt på kartan representerar en summering av uppströms liggande biflöden. Den beräknade lokala vattenföringen representerar förhållanden i mindre avrinningsområden och vattendrag medan den beräknade totala vattenföringen beskriver förhållandena i mynningen på ett helt vattendrag. Det senare fallet innebär exempelvis att den samlade effekten av klimatförändringen för en älv, från fjälltrakterna till havet, beskrivs.

De beräknade 100-årsflödena avser oreglerade förhållanden, vilket innebär att man bortsett från effekterna av vattenreglering och vattenkraftproduktion. Detta har speciellt stor betydelse för den beräknade totala avrinningen för de stora utbyggda älvarna.

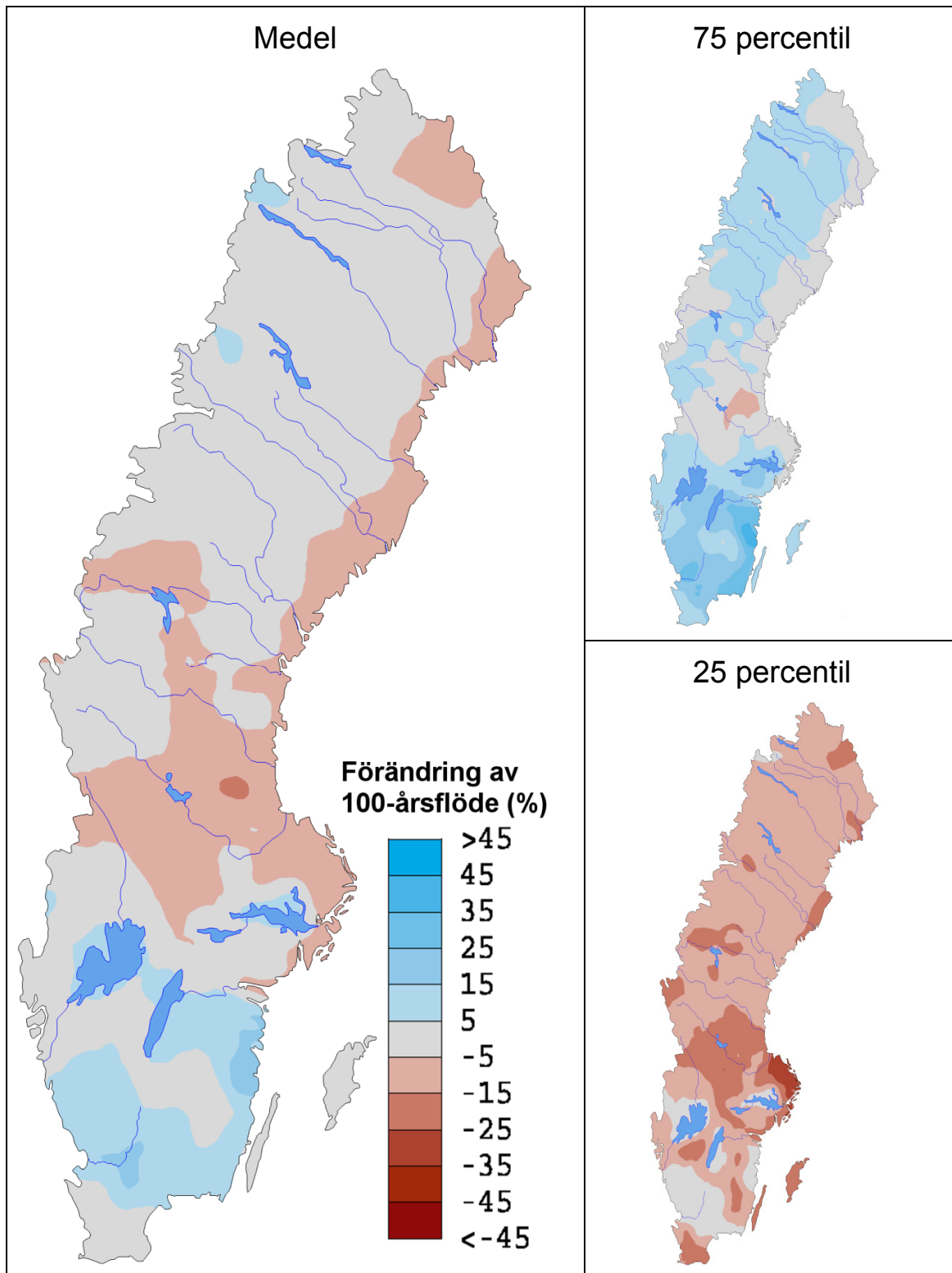
## **4.2 Resultat**

I och med slutrapporteringen av det aktuella Elforsksprojektet finns det nu en metod för att omsätta regionala klimatscenarier till påverkan på flödesberäkningar enligt riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar [13]. Beräkningsresultaten är i det enskilda fallet dock i hög grad beroende av val av klimatscenarier. De klimatscenarier som hittills använts är de som funnits tillgängliga vid genomförandet, vilket betyder att inget aktivt urval har gjorts. Det gör att det i de redovisade beräkningarna finns en viss obalans mellan antalet beräkningar baserade på olika globala modeller i ensemblen.

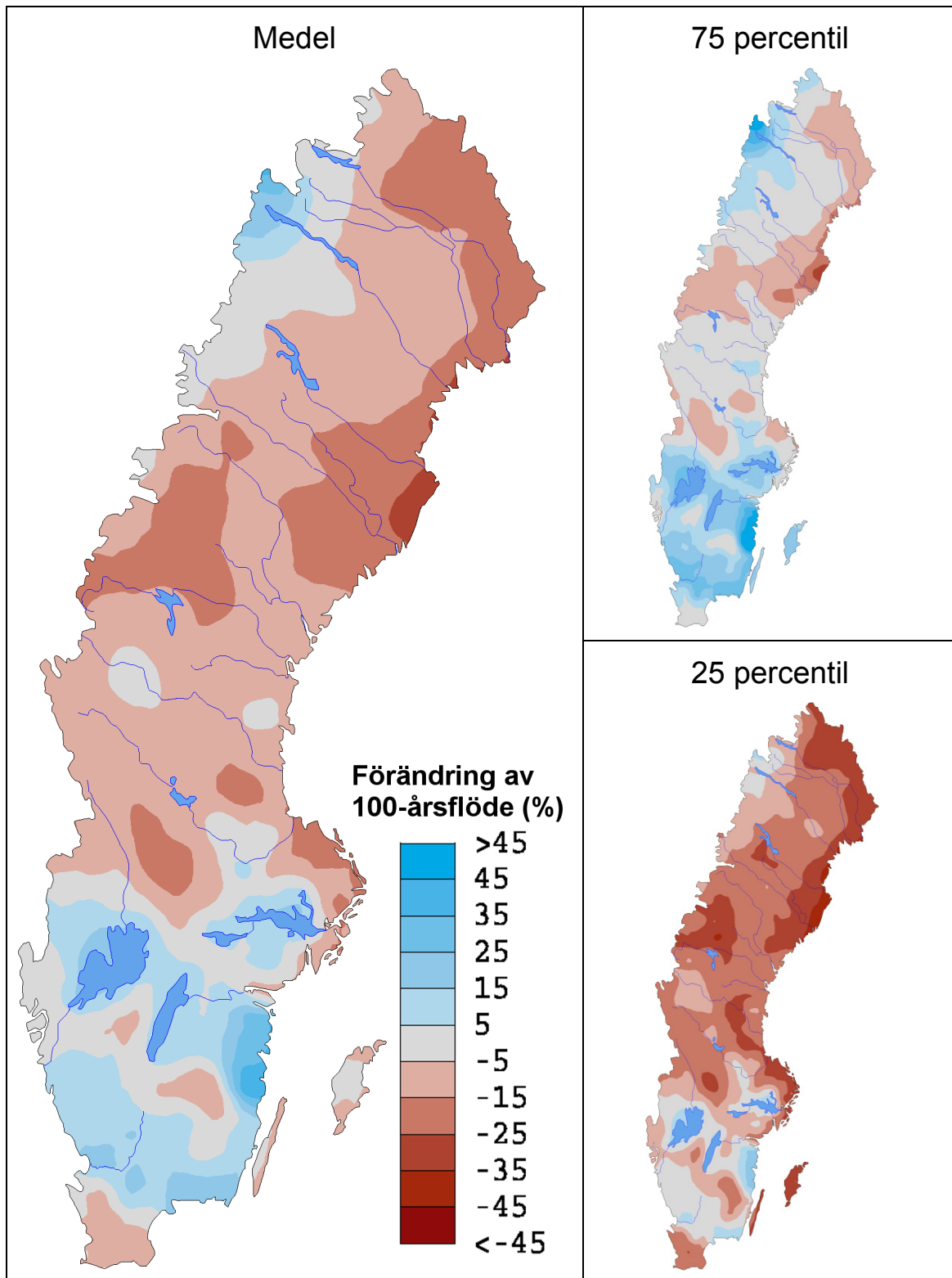
Principerna vid urvalet av regionala klimatscenarier är en avgörande faktor för framtida klimatanpassning av metodiken för dimensioneringsberäkningar, något som diskuteras mer under avsnitt 6.

### **4.2.1 100-årsflöden**

Ändringar av 100-årsflödena avseende lokal vattenföring från perioden 1963-1992 till perioden 2021-2050 redovisas i figur 4.3, som dels medelvärde dels statistiska mått såsom 25 % och 75 % percentiler perioden. Figur 4.4 visar motsvarande resultat för perioden 2069-2098. Ändringar av 100-årsflödena avseende total vattenföring redovisas i Elforskrapporten [13].



Figur 4.3 Förändring av 100-årsflödets storlek beräknat på lokal vattenföring i varje beräkningspunkt för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden 1963-1992. Statistiska mått baserat på resultat från 16 klimatsimuleringar. Observera att kartorna inte begränsas av Sveriges nationsgränser utan av gränserna för de avrinningsområden vars vattendrag rinner genom Sverige. [13]



Figur 4.4 Förändring av 100-årsflödets storlek beräknat på lokal vattenföring i varje beräkningspunkt 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. [13]

Den samlade bilden av den beräknade ändringen av såväl den lokala som den totala vattenföringen är att det går en markant gräns genom Sverige ungefär längs en linje från Karlstad till Mälardalen. Norr om denna minskar de beräknade 100-årsnivåerna, åtminstone mot slutet av seklet, med undantag av i den nordvästligaste delen av Norrland där en ökning är tydlig. I södra Sverige ökar de beräknade 100-årsflödena nästan generellt mot slutet av seklet, utom i sydvästra Skåne, på Öland och Gotland och lokalt i Västergötland och Småland som uppvisar en minskning. Som framgår av de redovisade statistiska måtten är dock spridningen betydande mellan olika scenarier.

Ändringen i den totala 100-årsavrinningen följer ett mönster som liknar det för den lokala avrinningen. Den största skillnaden är att den ökande avrinningen från fjällen syns som förhöjda flöden längre ner i älvarna [13].

#### 4.2.2 Dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass I

I Elforskrapporten [13] redovisas beräknade flöden enligt flödesdimensioneringsklass I för de 11 beräkningsområden spridda över landet som framgår av figur 4.1. En översiktlig sammanfattning av beräkningarna redovisas i tabell 4.1 tillsammans med en grov subjektiv värdering av om flödena ökar, minskar eller förblir relativt oförändrade under innevarande sekel. Observera att avsikten med tabellen i första hand är att ge en överblick över genomförda beräkningar och det allmänna intrycket av dessa. Ingen närmare analys har gjorts av förändringarna inom seklet. Tabellen skall därför inte tolkas alltför bokstavligt. Ett plustecken betyder att respektive värde i genomsnitt ökar under seklet, och ett minustecken att det minskar.

Tabell 4.1. Översiktlig sammanfattning av beräkningarna av ändringen av 100-årsflöden och flöden i flödesdimensioneringsklass I under innevarande sekel med en grov subjektiv värdering av resultaten uttryckt i genomsnittlig ökning (+) respektive minskning (-) av beräknade värden.

Område	100-årsflöde (totalt)	Flödesdimensioneringsklass I
Seitevare	± 0	+
Pengfors	-	-
Skinnmuddselet	-	-
Torpshammar	-	-
Trängslet	-	-
Höljes	-	-
Gruvsjön	-	+
Glafsforden	± 0	-
Vänern	+	+
Hyltebruk	+	+
Torsebro	+	-



Det är svårt att generalisera klimateffekten på det dimensionerande flödet eller den dimensionerande nivån i Sverige. Utöver klimatet är det många andra faktorer som spelar in, exempelvis tillrinningsområdets storlek och dess förhållande till magasinsvolymen och utskovskapaciteten. Med detta förbehåll konstateras att testberäkningarna i flertalet av de studerade områdena uppvisar generella tendenser till minskande flöden i flödesdimensioneringsklass I. Detta beror i första hand på att det dimensionerande snötäcket minskar. Det är dock för tidigt att dra långt gående slutsatser av detta eftersom resultaten är så beroende av valet av klimatscenarier. Däremot kan man dra slutsatsen att resultaten är någorlunda stabila över landet och att närbelägna områden av liknande storleksordning uppvisar ungefär samma tendens beträffande extrema flödens klimatkänslighet.

Ytterligare en generell slutsats är att den tidpunkt då extrema flöden kan inträffa blir mer utspridd över året i de flesta av de valda testområdena. Detta beror på att det ofta sker en förskjutning mellan de faktorer som skapar de högsta flödena från rena vårflödessituationer till mer komplexa kombinationer av snö, regn och magasineringsförhållanden när klimatet blir varmare.

I vissa fall uppvisar den beräknade förändringen av 100-årsflödet och flödet i flödesdimensioneringsklass I olika tendenser vad avser förändring på grund av klimatförändringar. Detta är inte orimligt med tanke på att det kan vara olika förutsättningar som skapar de mer vanliga 100-årsflödena och de allra mest extrema flödena representerade av flödesdimensioneringsklass I.

#### **4.2.3 Övriga variabler**

Förutom ändringar i vattenflöden redovisar Elforskprojektet [13] ändringar av ett flertal relevanta variabler som samspelar vid skapandet av höga flöden. Det gäller temperatur, nederbörd, avdunstning och snötäcke. Intensiva regn under kort tid är av speciellt intresse för anläggningar med små avrinningsområden, såsom oftast är fallet för gruvdammar. Tendensen är allmänt att risken för denna typ av regn beräknas öka i hela landet efterhand som klimatet blir varmare. Förutom direkta effekter på dammanläggningar medför detta även större risk för problem med tillfartsvägar under kritiska situationer, eftersom dessa riskerar att bli oframkomliga vid kraftiga korttidsregn.

### **4.3 Diskussion och slutsatser**

En generell slutsats från arbetet med flödessimuleringar i ett klimat i förändring är att beräkningarna är mycket känsliga för antagna ändringar i klimatet. De skillnader som uppstår är till stor del beroende på att olika klimatsimuleringar ger olika resultat beträffande lokal nederbörd och temperatur, vilket leder till stora osäkerheter vad gäller framtida höglöden och dimensionerande vattenstånd för dammanläggningar.

Beräkningarna fokuserar mycket på effekterna av ändrad temperatur och nederbörd i avrinningsområdet. Däremot är avdunstningen ganska översiktligt behandlad. Den beräknade ändringen av avdunstningen har i detta projekt antagits vara proportionell mot ändringen av lufttemperaturen. Detta är ett förenklat antagande som denna studie har gemensamt med många liknande arbeten i andra länder.

Klimatanpassning är ett mycket speciellt område. Det handlar om att ta hänsyn till resultat från ett forskningsområde som befinner sig under ständig utveckling. Elforskprojektet [13] visar att det finns några faktorer som är speciellt viktiga att beakta vid

klimateanpassning av metodiken för flödesdimensionering. Dessa sammanfattas i nedanstående punkter:

- Val av emissionsscenarioer som utgångspunkt för klimatprojektionerna  
Vart och ett av de idag existerande scenarierna för framtida utsläpp av växthusgaser representerar en specifik global samhällsutveckling. Denna utveckling är svår att förutse och kan också påverkas av eventuella politiska överenskommelser som följd av globala förhandlingar. Vid klimateanpassning av metodiken för flödesdimensioneringsberäkningar bör minst tre olika emissionsscenarioer användas.
- Val av global klimatmodell  
Valet av global klimatmodell är avgörande för hur det beräknade framtida klimatet utvecklas. Det är därför viktigt att basera beräkningarna på några olika globala klimatmodeller och att välja sådana modeller som är väl dokumenterade och har god förmåga att beskriva dagens klimat. Minst tre olika globala klimatmodeller bör utnyttjas. Eftersträvansvärt är att de används för vart och ett av de olika antagandena om framtida koncentrationer av växthusgaser, om detta är möjligt med tanke på tillgängliga data.
- Val av nedskalningsteknik för den regionala skalan  
Hittills har så kallad dynamisk nedskalning dominerat vid utnyttjande av resultaten från globala klimatmodeller på den regionala skalan i Sverige. Det innebär att en regional klimatmodell används för detaljerade beräkningar över ett begränsat område. Den drivs på randen av beräkningsområdet av data från en global klimatmodell. Statistisk nedskalning används ibland som alternativ till den dynamiska metoden. Vid flödesdimensionering bör en metod som är väl utprovad och dokumenterad användas för nedskalning av klimatdata till den regionala skalan. För närvarande rekommenderas dynamisk nedskalning.

För närvarande sker en snabb utveckling av klimatforskningen och av tekniken för att beräkna hur framtidens klimat utvecklas. Därför bör valet av såväl emissionsscenarioer som klimatmodeller ske i samråd med vetenskaplig expertis.

Det finns flera regionala klimatmodeller att tillgå för dynamisk nedskalning av resultat från den globala modellen. För närvarande kan modeller från flera länder användas eftersom resultat finns att tillgå från internationella forskningsprojekt där Sverige deltagit. På sikt är det inte lika säkert att denna typ av data finns tillgängliga för precis de utsläppsscenarioer och de globala klimatmodeller som skall användas vid flödesdimensioneringen. Det är därför troligt att den regionala nedskalningen av praktiska skäl bara kan ske med hjälp någon eller några få regionala klimatmodeller. Det är dock viktigt att en vald regional klimatmodell representerar de senaste dokumenterade forskningsresultaten och har visat sig ge trovärdiga resultat för svenska förhållanden.

Ett regionalt klimatscenario måste som regel korrigeras innan det kan användas i en hydrologisk modell för flödesdimensionering. Detta förhållande väntas föreligga under överskådlig framtid, på grund av klimatmodellernas inneboende systematiska fel. På senare tid har metoder utvecklats som bygger på statistisk justering av klimatmodellens avvikelser från observerat klimat. Ett sådant exempel är DBS-metoden [13]. Eftersom DBS-metod är utvecklad för ett bevara det ändrade klimatets statistiska egenskaper rekommenderas den, eller liknande metodik, för närvarande vid flödesdimensionering.

Det finns risk för att framtidens regleringsstrategier kan komma ändras på ett sätt som påverkar de antaganden som ligger till grund för beräkningar av flöden i flödesdimen-

sioneringsklass I. De studier som genomförts av Kommittén, och som redovisas i avsnitt 3 i föreliggande rapport, visar dock att det för närvarande inte finns skäl att ändra riktlinjerna på denna punkt.

Klimatfrågan är bara en av flera faktorer som skapar osäkerhet vid flödesdimensionering. Övriga faktorer är t.ex. val av hydrologisk modell, val av databas, val av tidsperiod som representerar dagens klimat samt kalibreringen av den hydrologiska modellen. Detta är faktorer som studerats i det parallella projektet Osäkerheter vid beräkning enligt flödesdimensioneringsklass I som slutredovisades under hösten 2011[15]. I denna rapport redovisas klimatfrågans betydelse för osäkerheten vid flödesdimensionering i relation till andra mer modell- och indataspecifika osäkerheter för fem kraftverksdammar Seitevare (Luleälven), Torpshammar (Gimån), Trängslet (Dalälven), Höljes (Klarälven) och Torsebro (Helge å).

Studien visar att spridningen mellan de beräkningar som baserar sig på olika klimatscenarier är stor jämfört med övriga studerade osäkerheter sammantagna. Detta är ett argument för att klimatosäkerheten bör beaktas vid dimensionering enligt flödesdimensioneringsklass I.

## 5 Hantering av höga flöden och adaptiv förmåga

Med adaptiv förmåga avseende höga flöden menas förmåga till anpassning av de förhållanden som varje ny flödessituation kräver. Detta omfattar både möjligheter att parera en aktuell händelseutveckling genom drift- och vattenhushållningsåtgärder, och möjligheter att bygga om anläggningarna för att klara av nya förutsättningar.

Möjligheterna till anpassning av gruvdammar till ett ändrat klimat och eventuellt ökande flöden är ofta gynnsamma. Gruvdammar byggs oftast ut i omgångar. Att i samband med en reguljär dammhöjning även öka avbördningskapaciteten bedöms kunna ske med en begränsad insats och utan särskild hänsyn till anläggningar upp- eller nedströms.

### 5.1 Hantering av höga flöden

I de älvar och vattendrag som är utbyggda har möjligheter att magasinera och reglera vattenflödet i älven skapats med hjälp av dammbyggnader. Regleringsgraden i älven är den del av den årliga tillrinningen som kan magasineras i de uppströms liggande dammanläggningarna. De utbyggda älvarna i norr, Luleälven och Skellefteälven, har en regleringsgrad på ca 50-70 %. För de resterande stora kraftverksälvarna i landet är regleringsgraden i allmänhet ca 20-50 %. I mindre vattendrag är regleringsgraden generellt lägre.

I allmänhet kan sägas att ju större regleringsgrad desto större dämpande effekt har magasinerna på flödenas storlek. Så visar t.ex. beräkningar gjorda av Vattenfall att de årshögsta flödena i medeltal reducerats med ca 30 % till följd av regleringen i Luleälven. Detta innebär att frekvensen av översvämningar minskats, vilket kan invägga samhället i en falsk trygghet. När höga tillrinningar inträffar vid tillfällena då magasinerna redan är fulla, t.ex. efter långvariga blöta perioder på sensommaren eller hösten, kan regleringen tvärtom innebära högre flöden till följd av stor förmåga att avbörda det tillrinnande vattnet i älven.

Vattendragen i Sverige har byggts ut i syfte att magasinera vatten för vattenkraftproduktion och inte för att skydda älvdalen för översvämningar. De marginaler som finns i systemet är anpassade för dammarnas säkerhet. Därför saknas i allmänhet möjlighet att innehålla vatten i magasinerna för skydd mot översvämningar. Förväntningar från allmänheten att använda magasinerna i flödesdämpande syfte måste därför prövas med stor försiktighet i varje enskild situation.

I varje utbyggd älv finns en särskild organisation – vattenregleringsföretag (eller motsvarande) – som har till uppgift att följa utvecklingen avseende vattenstånd och flöden i älven, samt att fatta beslut rörande vattenhanteringen. Normalt fattas dessa beslut för att utifrån givna villkor hushålla med vattnet och optimera kraftproduktionen med hänsyn till de olika kraftföretagens sammanvägda behov. Om flödena blir mycket höga tar vattenregleringsföretaget över ansvaret för regleringar och tappningar med inriktning på dammsäkerhet. Under sådana tillfällen med mycket höga flöden framförs ibland önskemål från intressen längs älven om att begränsa flödena med tanke på översvämningar och skador längs vattendraget. I extrema fall kan då räddningstjänsten ta över ansvaret enligt räddningstjänstlagen och beordra tappningsändringar som kan strida mot gällande vattendomar. Denna möjlighet har hittills undantagsvis utnyttjats. Planeringen av dessa åtgärder gör räddningstjänsten i samverkan med berörda vattenregleringsföretag, dammägare och myndigheter.

Inom ramen för det nuvarande svenska systemet bör man normalt inte räkna med möjligheten att bemästra översvämningssproblem genom vattenreglering. I flera andra länder har staten tillgodosett sina intressen för flödesdämpning till skydd mot översvämningar genom att ett särskilt utrymme i vattenmagasinen reserveras för detta ändamål. Samhället svarar då för tillkommande kostnader. På längre sikt är det en mer hållbar strategi att i största möjliga omfattning se till att bebyggelse eller annan infrastruktur inte lokaliseras till områden längs älven som riskerar att drabbas av översvämningar, ras eller skred vid höga vattenföringar.

## 5.2 Flödesdimensionering och anpassningsarbete

De åtgärder som är aktuella för att hantera högre dimensionerande flöden syftar till att säkerställa förmågan att avbörda det tillrinnande vattnet samt att säkra dammarnas förmåga att klara de högre vattenstånd som kan bli följden av ökade flöden.

Som framgått av de tidigare avsnitten kräver arbetet med flödesdimensionering tät samverkan mellan de dammägare som finns i älven. Åtgärder i vattendraget behöver synkroniseras eftersom förändringar i uppströms liggande dammar påverkar tillrinningen till nedanförliggande dammar.

De stora kraftverksälvarna är system med många dammar som på detta sätt påverkar varandra. I figur 5.1 visas en schematisk bild av Ångermanälven, som är Sveriges kanske mest komplexa reglerade vattendrag. Optimering av åtgärderna i en älv kan behöva flera års utredande för att klarlägga möjliga alternativ och beroenden mellan dammarna. Därefter vidtar genomförandet med inhämtande av myndighetstillstånd och de därpå följande byggnadstekniska åtgärderna. Till detta kommer att det varken resursmässigt eller säkerhetsmässigt är lämpligt att genomföra alltför många projekt i en älv samtidigt. Det anpassningsarbete som hittills har bedrivits har pågått sedan ca 20 år tillbaka, och visar att den totala processen kan ta över ett decennium i anspråk för en älv.

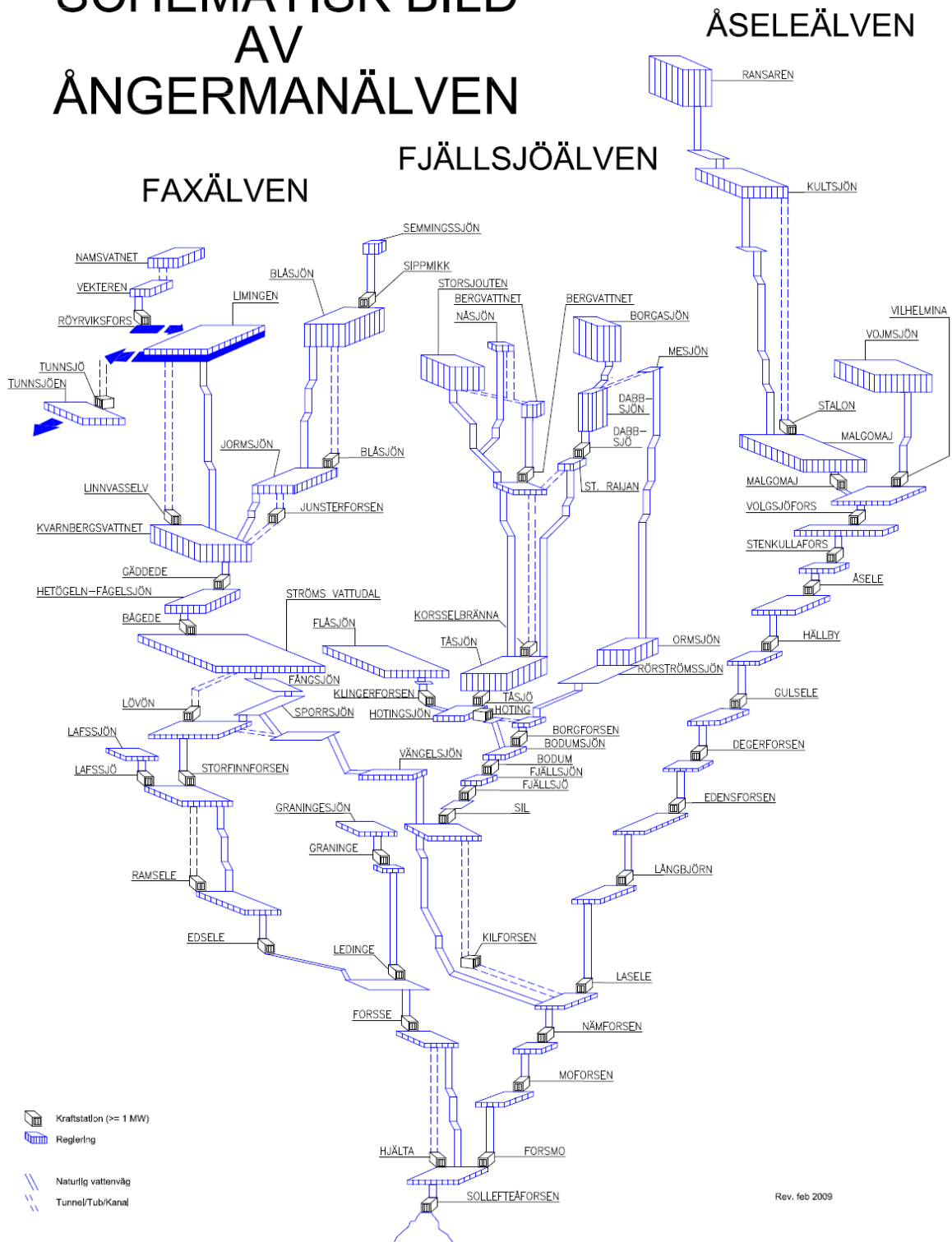
Flera av de älvövergripande dimensioneringsberäkningarna gjordes under 1990-talet och det kan snart bli aktuellt att revidera en del av dem. Skälen till detta är att det finns 15-20 år med tillkommande flödes- och klimatdata, att beräkningsmodellerna utvecklats och att kvaliteten på mätningar av flöden i älvarna har ökat. En sådan frekvens av översyn innebär samtidigt att mer långsamma förändringar i klimatet och andra förutsättningar automatiskt inkluderas.

För dammägarna betyder ovanstående att man behöver betrakta flödesberäknings- och anpassningsarbetet som ett näst intill ständigt pågående arbete, då många företag har anläggningar i flera olika älvar.

Med tanke på de ändrade tillrinningsförhållanden som ett ändrat klimat kan medföra kan ytterligare åtgärder bli aktuella vid en del anläggningar. Och även om de förändringar som signalerats är på 50-100 års sikt kan det vara lämpligt att redan nu utarbeta ett förhållningssätt som beaktar klimatfrågan. I allmänna ordalag kan en sådan strategi formuleras som följer:

- Framförhållning – genom att följa utvecklingen och planera i tid.
- Flexibilitet – genom att skapa flexibla lösningar som kan byggas på vid behov.
- Marginaler – genom att genomföra åtgärder med extra säkerhetsmarginaler för eventuella tillkommande behov.

# SCHEMATISK BILD AV ÅNGERMANÄLVEN



Figur 5.1 Schematisk bild av Ångermanälven. (Källa: Vattenregleringsföretagen.)

## 6 Slutsatser och rekommendationer

Kommittén för dimensionerande flöden för dammar i ett klimatförändringsperspektiv har i sitt arbete under 2008-2011 analyserat och värderat klimatfrågans betydelse för dammsäkerheten. Kommitténs arbete har huvudsakligen styrts av de fyra regeringsuppdrag som Svenska Kraftnät fick i regleringsbrevet för 2008. Kommitténs slutsatser och rekommendationer avseende regeringsuppdragen lämnas i avsnitt 6.1.

I tillägg har Kommittén valt att formulera en rad rekommendationer för hantering av klimatförändring i dammsäkerhetsarbetet. Dessa redovisas i avsnitt 6.2.

### 6.1 Regeringsuppdragen till Svenska Kraftnät

#### 6.1.1 Analys av hur förändringar i tillrinningsförhållanden och drift av vattenkraftssystem kan påverka dimensionerande flöde samt risken för översvämningar

Arbetet har genomförts med utgångspunkt från en omvärldsanalys med avseende på scenarier för framtida drift av vattenkraftssystem. Syftet har varit att analysera om man idag kan förutse eventuella driftförändringar som även skulle medföra att det föreligger behov av ändringar av de antaganden som gäller vid beräkning av dimensionerande flöden och vattenstånd för dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass I. De antaganden som varit relevanta att analysera närmare har varit:

- Att befintliga magasin antas avsänkas inför vårfloden till nivåer som bedöms rimliga när vårfloden förväntas bli kraftig.
- Att efter det att samtliga magasin nått sina respektive dämninggränser, vilket förutsätts ske senast den 1 augusti, antas magasinerna inte bli avsänkta under dämninggränsen förrän den för regionen kritiska flödesperioden är över.

En uppföljning har genomförts av hur den verkliga driften av vattenkraftssystem har utförts under de senaste decennierna. Uppföljningen avser magasinstrykningsgrad och tillrinning för landets vattenkraftanläggningar som helhet, samt för sex utvalda dammanläggningar:

- Analysen visar inte på någon signifikant trend till ökande magasinstrykningsnivå inför vårfloden. Vissa år med kraftiga smältperioder under vintern har dock resulterat i stora restmagasin inför vårfloden.
- Analysen visar på en tendens till minskad trykningsgrad i magasinerna under somrarna, speciellt under den senaste 10-årsperioden. Detta kan bland annat bero på marknadsmässiga faktorer och en ökad försiktighet för att inte komma i spill vid högflödessituationer.
- Analysen visar på en tendens till att magasinerna blir avsänkta tidigare på vårvintern. Detta tolkas som en ambition att verkligen tömma magasinerna inför vårflodsstart, eftersom vårtillrinningarna har en tendens att komma tidigare än förut på grund av varmare vårar.

En metodik har även utvecklats för känslighetsanalys av hur antaganden om magasinstrykningsnivå inför vårfloden påverkar dimensionerande vattenstånd. Metodiken har prövats för de sex utvalda dammanläggningarna. Beräkningarna visar att anläggningsspecifika förhållanden som avbördningskapacitet och regleringsgrad är avgörande för hur ett förändrat restmagasin inför vårfloden påverkar det

dimensionerande vattenståndet. Om denna analys görs i ett älvsystem för samtliga anläggningar kan man påvisa var de känsliga punkterna finns med avseende på magasinens nivå inför vårfloden.

Samlat leder de genomförda studierna fram till bedömningen att det idag inte finns anledning att ändra de antaganden om reglerings- och driftförhållanden som anges i Riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar [2]. Ändrade förutsättningar kan dock medföra att gjorda bedömningar kan komma att ändras, vilket medför att frågan fortsatt bör bevakas.

Kommitténs slutsatser avseende risken för översvämningar redovisas i avsnitt 6.1.2.

### **6.1.2 Utveckling av metoder för samt beräkning av flöden av betydelse för dammar av flödesdimensioneringsklass I och II i ett förändrat klimat.**

En metod för att beräkna dimensionerande flöden i ett framtida klimat har utvecklats och prövats [13]. Förutom ändringar i vattenflöden har även ändringar av andra variabler som samspelar vid skapandet av höga flöden studerats, såsom snömagasinerings och extrema regn.

Tillämpning av den utvecklade metodiken har gjorts för beräkning av framtida 100-årsflöden för hela Sverige:

- Den samlade bilden av den beräknade ändringen i framtida 100-årsflöden och därtill kopplade risker för översvämningar är att det går en markant gräns genom Sverige ungefär längs en linje från Karlstad till Mälardalen. Norr om denna minskar de beräknade 100-årsnivåerna, åtminstone mot slutet av seklet, med undantag av i den nordvästligaste delen av Norrland där en ökning är tydlig. I södra Sverige ökar de beräknade 100-årsflödena nästan generellt mot slutet av seklet, utom i sydvästra Skåne, på Öland och Gotland samt lokalt i Västergötland och Småland som uppvisar en minskning.

Avseende risk för översvämningar p.g.a. skyfall så medför ett varmare klimat troligen en allmän tendens till ökning av såväl frekvens som intensitet hos kortvariga intensiva regn. Detta gäller för hela landet och är av speciellt intresse för dammanläggningar med små avrinningsområden, såsom oftast är fallet för gruvdammar. Förutom direkta effekter på flöden medför detta ökad risk för problem med bl.a. tillfartsvägar till dammanläggningar under kritiska situationer, eftersom vägar riskerar att bli oframkomliga vid kraftiga korttidsregn.

Tillämpning av den utvecklade metodiken har gjorts för beräkning av framtida dimensionerande klass I-flöden för ett tiotal dammanläggningar:

- Vad gäller de mest extrema flödena i flödesdimensioneringsklass I så är det svårt att generalisera climateffekten. Utöver klimatet är det många andra faktorer som spelar in, exempelvis tillrinningsområdets storlek och dess förhållande till magasinvolymen och utskovskapaciteten. Med detta förbehåll konstateras att beräkningarna i flertalet av de studerade områdena uppvisar generella tendenser till minskande flöden i flödesdimensioneringsklass I. Detta beror i första hand på att det dimensionerande snötäcket minskar. Det är dock för tidigt att dra långtgående slutsatser av detta eftersom resultaten är så beroende av valet av klimatscenarier.

I vissa fall uppvisar den beräknade förändringen av 100-årsflödet och flödet i flödesdimensioneringsklass I olika tendenser vad avser förändring på grund av klimatförändringar. Detta är inte orimligt med tanke på att beräkningsmetoderna skiljer sig åt



och att det kan vara olika förutsättningar som skapar de mer vanliga 100-årsflödena och de allra mest extrema flödena representerade av flödesdimensioneringsklass I.

Beräkningar av flödesförändringar är som nämnts i hög grad beroende av vilka framtida utsläpp av växthusgaser som antas. I föreliggande rapport har i de flesta fall det s.k. A1B-scenariet legat till grund för beräkningarna. Om den nu pågående snabba ökningen av utsläppen fortgår kan det bli aktuellt att anta högre koncentrationer av växthusgaser i framtida beräkningar.

Avslutningsvis är det värt att nämna att den metod som Kommittén redovisar är generell vad avser beräkning av klimateffekter på höga flöden i vattendrag. Vid sidan av flödesdimensionering för dammanläggningar är den därmed av intresse även för andra verksamhetsområden såsom fysisk planering, infrastruktur och skydd mot översvämningar.

### **6.1.3 Utveckling av metoder för kartläggning av sårbarheten hos dammar av flödesdimensioneringsklass I och II, med avseende på klimatförändringar, samt genomförande av en sådan kartläggning.**

För vattenkraftdammar är förändringar i höga flöden den klimatfaktor som är dominerande när det gäller påverkan på dammsäkerheten.

I och med detta arbete har metoder utvecklats och tillämpats för kartläggning av sårbarhet hos dammar med avseende på höga flöden. Kartläggningen avser befintliga marginaler för avbördning av höga flöden respektive tänkbar påverkan av ett förändrat klimat.

Totalt omfattar Kommitténs kartläggning knappt 80 % av de dammanläggningar, som ingår i dammägarnas årsrapportering till länsstyrelsen. Den kartläggning som redovisas bedöms ge en grov nationell överblick. Men, eftersom underlag har varit tillgängligt i första hand för anläggningar i de stora reglerade älvarna vill Kommittén påpeka att det kan finnas risk för att sårbarheten med avseende på klimatförändringar är större för den del av dammbeståndet där underlag inte varit tillgängligt.

Motsvarande studie av gruvindustrins dammar redovisas i nästa avsnitt.

#### **Dammar i flödesdimensioneringsklass I**

Kommitténs slutsats från kartläggningen av ca 130 av kraftindustrins anläggningar i flödesdimensioneringsklass I, som redovisas i avsnitt 2, är att det finns ett kvarstående åtgärdsbehov för ca en fjärdedel av dammbeståndet.

Klimatförändring kommer för vissa anläggningar att medföra ökade extrema flöden som ställer ytterligare krav på anpassning. I dagsläget har ca en tredjedel av det kartlagda dammbeståndet marginaler som medger en ökning av det dimensionerande flödet på 20 % eller mer.

Förändring av 100-årsflöden bedöms inte påverka dammsäkerheten i de fall anläggningarna anpassats för att klara det betydligt högre klass I-flödet.

Huvudmännen för riktlinjerna rekommenderas att stimulera dammägarna att driva på sitt arbete med anpassning av anläggningarnas avbördningsförmåga till riktlinjerna. Utredning av åtgärdsbehov och efterföljande anpassningsåtgärder bör genomföras snarast möjligt för anläggningar där behov av flödesåtgärder identifierats. Kommittén anser att åtgärder är särskilt angelägna vid dammar där ett dammbrott skulle förorsaka särskilt stora konsekvenser (svår påfrestning på samhället) eller där sårbarheten för

flöden är hög. Den sårbarhetsanalys med avseende på extrema flöden som genomförts inom ramen för kommittéarbetet är lämplig att inkludera i behovsanalysen.

Osäkerheter kring det framtida klimatet får inte leda till att nödvändiga dammsäkerhets-höjande åtgärder senareläggs. I val av lösningar för ökad avbördningsförmåga och/eller ökad tillfällig magasineringsförmåga genom höjning av dammar bör lösningar eftersträvas som underlättar eventuella ytterligare åtgärder i framtiden. Det kan vidare vara lämpligt att genomföra åtgärder med marginal. Detta kan i många fall vara kostnadseffektivt istället för att behöva återkomma till en anläggning för genomförande av ett nytt projekt. Dessutom ger marginaler ytterligare säkerhet redan idag.

## **Dammar i flödesdimensioneringsklass II**

Kommitténs slutsats från kartläggningen av ca 225 av kraftindustrins dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass II är att de kartlagda dammarna med några få undantag klarar dagens 100-årsflöde utan överströmning. Dock kommer klimatförändring i vissa regioner att medföra ökade 100-års flöden, som kan komma att ställa krav på anpassning av dammanläggningarna.

Länsstyrelsernas varierande rutiner för tillämpning av årsrapporteringen av dammsäkerheten samt avsaknad av ett heltäckande offentligt dammregister med uppgifter om dammanläggningarnas flödesdimensioneringsklass, avbördningskapacitet och flödesdimensionering har begränsat möjligheterna att samla ett mer komplett underlag. För vissa län saknas därför information om dammarna helt eller delvis. Kommittén vill uppmärksamma att detta i stor utsträckning gäller i södra Sverige där klimatberäkningarna pekar mot ökning av höga flöden i framtiden.

Avslutningsvis rekommenderar Kommittén att huvudmännen för riktlinjerna för dimensionerande flöden för dammanläggningar [2], med stöd av SMHI, fortlöpande bör utveckla och följa upp riktlinjernas giltighet, tillämpningen för dammanläggningar i flödesdimensioneringsklass I och II samt anpassningen av anläggningarna till riktlinjerna. Med beaktande av den ytterligare komplexitet som klimatförändringar tillför bör en strategi för hantering av klimatförändring i dammsäkerhetsarbetet utarbetas. Kommittén ger i avsnitt 6.2 förslag på de huvudsakliga punkterna som bör ingå i en sådan strategi.

### **6.1.4 Analys av gruvdammars säkerhet med avseende på långsiktiga klimatförändringar**

När det gäller anpassning av gruvdammar till långsiktiga klimatförändringar måste man särskilja dammar i drift och dammar efter nedläggning. Vidare har metoden för efterbehandling efter nedläggning betydelse.

Den aktiva driftperioden för en gruvdamm kan uppskattas till mellan 10 och 50 år. I Sverige finns ett tjugotal gruvdammar i flödesdimensioneringsklass I och II i drift, med ett begränsat antal dammägare. För dessa ger regelbundna om- och tillbyggnader under driftperioden goda förutsättningar för en successiv anpassning av dammar och utskov till ett klimat i förändring.

Efter avslutad drift finns två huvudprinciper för avslutning och efterbehandling. Dränering, torr täckning och vegetering alternativt överdämning. I det förra fallet ordnas dränering för att undvika dämning av vatten och dammarna har inte längre någon funktion som dammar (förutsatt att dräneringen fungerar som avsett). I fall med vattenöverdämning (eller förhöjd grundvattenyta) är syftet att etablera en förhöjd

vattennivå som är stabil i ett mycket långt tidsperspektiv. Tidsperspektiv som sträcker sig flera tusen år innebär extraordinära krav på utformningen av dammar och utskov.

Vilka risker kopplade till klimat och nederbörd som måste hanteras vid planeringen för avslutning/efterbehandling beror på vilken lösning som valts:

- Vid en dränerad, ”torr”, avslutning kan ökande nederbörd innebära ökad yterrosion medan ett torrare klimat å andra sidan kan innebära ökande vittring p.g.a. minskande vattenmättnad i avfall och täckning (vittringsproblematiken hänför sig till sulfidhaltigt gruvavfall).
- Vid en avslutning som inkluderar vattenöverdämning ställer ökande nederbörd krav på avbördningskapacitet, medan en minskande nederbörd kan innebära en risk för ökande vittring om det inte går att upprätthålla vattentäckningen.

Planer för efterbehandling måste visa hur man hanterat dessa risker.

Genomgången av gruvindustrins dammar har visat på ett behov av att komplettera informationen om delar av dammbeståndet. Det har också visats att det, precis som för vattenkraftindustrins dammar, finns ett behov av att vissa gruvdammar uppgraderas för att möta dagens kriterier för dimensionerande flöden. En sammantagen bedömning visar dock att det stora flertalet gruvdammar har goda marginaler för att hantera ökande flöden.

Det bör särskilt uppmärksammas att det finns ett antal historiska dammar som ägs av markägare, samfälligheter eller andra parter som ofta saknar erfarenhet och kompetens i dammsäkerhetsfrågor. Ett dammbrott skulle vid vissa av dessa dammar medföra allvarliga konsekvenser.

## **6.2 Rekommendationer för hantering av klimatförändring i dammsäkerhetsarbetet**

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.

Dessa rekommendationer ger vägledning till dammägarna för utförande av framtida dimensioneringsberäkningar längs hela vattendrag och för studier av enskilda anläggningar i flödesdimensioneringsklass I och II.

Klimatanpassning i allmänhet handlar om att ta hänsyn till resultat från ett forskningsområde som befinner sig under ständig utveckling. Kommittén förordar att SMHI ges i uppdrag att svara för urval av klimatscenarier för användning i Sverige.

Vid sidan av ovanstående rekommenderar Kommittén att följande punkter bör ingå i en nationell strategi för att hantera klimatförändring i dammsäkerhetsarbetet:

1. Dokumentera och tillgängliggör beskrivningar av dammars flödesdimensionering i ett vattendragsperspektiv.
2. Följ upp och analysera fortlöpande anpassningsarbetet för dammar i flödesdimensioneringsklass I och II.
3. Följ upp utvecklingen av meteorologiska och hydrologiska förhållanden ingående i dimensioneringsberäkningarna och nya kunskaper om klimatutvecklingen.
4. Följ upp hur magasinutfyllnadsgrad och tillrinningar utvecklas över tiden.
5. Utveckla löpande modellsystemet för beräkning av dimensionerande flöden.
6. Utveckla löpande metoder för att analysera och beskriva olika klimatscenariers påverkan på dimensionerande flöden.
7. Utvärdera regelbundet behovet att revidera utförda dimensioneringsberäkningar.

Punkterna bygger vidare på de översiktliga rekommendationer med avseende på klimatförändring som ges i 2007 års nyutgåva av riktlinjerna [2]. Kommittén rekommenderar att huvudmännen för riktlinjerna för dimensionerande flöden för dammanläggningar, med stöd av SMHI, tar fram en plan för systematiskt arbete med ovanstående punkter under 2012.

## 7 Referenser

- [1] Statens Vattenfallsverk, Svenska Kraftverksföreningen och Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (1990). *Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flödens för dammanläggningar*. Slutrapport från Flödeskommittén.
- [2] Svenska Kraftnät, Svensk Energi och SveMin (Nyutgåva 2007). *Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar*.
- [3] Svensk Energi (Rev. 2008). *RIDAS, Kraftindustrins riktlinjer för dammsäkerhet*.
- [4] SveMin (Rev. 2010). *GruvRIDAS, Gruvindustrins riktlinjer för dammsäkerhet*.
- [5] Svenska Kraftnät (2010). *Sammanställning av rapportering avseende dammsäkerhet år 2009. Dammägarnas årsrapportering till länsstyrelsen samt till Flödeskonferensen avseende förhållanden vid årsskiftet 2009/2010*.
- [6] ICOLD (1995). *Dam Failures. Statistical analysis*. Bulletin 99
- [7] Svenska Kraftnät (2008). Bergström, S., Hellström, S.-S., Lindström, G. and Wern, L. *Follow-up of the Swedish guidelines for determination of design floods for dams*. SvK Report No. 1:2008, BE90.
- [8] SMHI (2008). Hellström, S.-S., och Lindström, G. *Regional analys av klimat, vattentillgång och höga flöden*. SMHI Rapport Hydrologi nr 110.
- [9] Wilson, D., Hisdal, H. and Lawrence, D. (2010). *Has streamflow changed in the Nordic Countries? – Recent trends and comparisons to hydrological projections*. Journal of Hydrology 394 (2010) 334-346.
- [10] VASO (1995). Nilsson, Å, och Nilsson, R. *Fyllningsdammars förmåga att tåla överdämning*. 95:15V.
- [11] Elforsk (2006). Brandesten, C-O, Larsson, P., och Uljanova, M. *Dammsäkerhet - Uppföljning dimensioneringsberäkningar*. Rapport 06:10.
- [12] Svensk Energi (2009). Workshop ”Drift av vattenkraftanläggningar 2050”, arbetsmaterial samt litteraturgenomgång.
- [13] Elforsk (2011). Andréasson, J., Bergström, S., Gardelin, M., German, J., Gustavsson, H., Hallberg, K., och Rosberg, J. *Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring - metodutveckling och scenarier*. Rapport 11:25.
- [14] 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 impacts studies*. Hydrology Research, 41 (3-4): 211-229.
- [15] Elforsk (2011) Andréasson, J., Bergström, S., Gardelin, M., German, J., Johansson, B. och Rosberg, J. *Analys av osäkerheter vid beräkning av dimensionerande flöden för dammar i flödesdimensioneringsklass I*. Rapport 11:31.