

**ELFORSK**



## **DAMMSÄKERHET**

**Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring - metodutveckling och scenarier**

**Rapport 11:25**

# Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring– metodutveckling och scenarier

Elforsk rapport 11:25

Johan Andréasson, Sten Bergström, Marie Gardelin,  
Jonas German, Hanna Gustavsson, Kristoffer Hallberg och Jörgen  
Rosberg

Juni 2011

## Förord

Arbetet för att upprätthålla en hög dammsäkerhet är långsiktigt. Förutsättningarna för dimensioneringen har stor inverkan på konstruktionslösningar och kostnader. Hur hänsyn ska tas till ett förändrat klimat vid flödesdimensionering har därför stor långsiktig betydelse.

2007 utkom en nytgåva av riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar (Svensk Energi m.fl., 2007). Där skärptes kravet på att klimatfrågan ska beaktas vid flödesdimensionering.

För att ge stöd åt arbetet med att klimatanpassa riktlinjerna för flödesdimensionering av dammanläggningar har Elforsk och Svenska Kraftnät låtit genomföra projektet *Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring - Scenarier i ett 50-årsperspektiv*. Inom ramen för projektet har SMHI utvecklat en metod för klimatanpassning av flödesdimensioneringsberäkningar för dammanläggningar.

Projektet har koordinerats med *Kommittén för dimensionerande flöden för dammar i ett klimatförändringsperspektiv* som har som mål att bland annat genomföra en kartläggning av dammars sårbarhet, samt att ta fram en vägledning för hur klimatfrågan ska beaktas vid flödesdimensionering av dammar. Projektet har varit ett viktigt stöd till kommitténs arbete.

Projektet har till största delen finansierats av Elforsk och Svenska Kraftnät genom Elforsks ramprogram *Dammsäkerhetstekniskt utvecklingsarbete*. Efterhand har det dock tillförts resultat från ytterligare finansiärer. Merparten av beräkningarna för Vänern har finansierats av Länsstyrelserna i Värmlands och Västra Götalands län, kommunerna runt Vänern samt Länsförsäkringar AB. Statkraft har finansierat beräkningarna för Skinnmuddselet och Hyltebruk.

Projektet har också kunnat förstärkas tack vare forskningsbidrag från EUs Interregprogram. Arbetet med Glafs fjorden har genomförts inom ramen för projektet *Climate Proof Areas* och beräkningarna för Höljes är finansierade av *Strategic Alliance for integrated Water management Actions*. Visst stöd därifrån har även utnyttjats vid beräkningarna för Vänern.

Klimatscenarier, som har använts inom projektet, kommer från Rossby Centre vid SMHI och från ENSEMBLES-databasen, vilken finansierats av EU FP6 *Integrated Project ENSEMBLES*. Stort tack för tillgången till dessa data, som varit en grundförutsättning för projektets genomförande.

Ett stort tack riktas även till projektets styrgrupp som varit mycket engagerad i arbetet samt till *Kommittén för dimensionerande flöden för dammar i ett klimatförändringsperspektiv*, som i praktiken fungerat som en utökad styrgrupp för projektet.

Stockholm, juli 2011



Cristian Andersson

## Sammanfattning

Inom projektet *Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring - Scenarier i ett 50-årsperspektiv* har en ny metod utvecklats för klimatanpassning av flödesdimensioneringsberäkningar enligt de svenska riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar. En metodik för anpassning av regionala klimatscenarier till en hydrologisk modell har utvecklats, den så kallade DBS-metoden. Ett rationellt produktionssystem har tagits fram som möjliggör att kostnadseffektivt bearbeta ett stort antal klimatscenarier och omsätta dessa till flödesberäkningar.

I rapporten redovisas beräkningar av den framtida förändringen av flöden i flödesdimensioneringsklass I i 11 områden av relevans för vattenkraft- och gruvindustrin. Beräkningarna är baserade på 16 regionala klimatscenarier för perioden fram till 2050 och 12 scenarier för perioden fram till och med 2098. Motsvarande beräkningar har genomförts för ändringen av 100-årsflöden i 1001 avrinningsområden över hela landet.

Den samlade bilden av den beräknade ändringen av 100-årsflöden 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 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 några mindre områden som uppvisar en minskning.

Beräkningarna av framtida flöden i flödesdimensioneringsklass I uppvisar tendenser mot minskande nivåer i flertalet av de utvalda beräkningsområdena. Detta beror i första hand på att det dimensionerande snötäcket minskar men också på en ökande avdunstning i ett varmare klimat. En beräknad ökning av flöden i flödesdimensioneringsklass I fås dock för Seitevare i Lilla Luleälven samt för Vänern och Hyltebruk i sydvästra Sverige, där den beräknade nederbördsökningen är speciellt stor.

Det är för tidigt att dra generella och långtgående slutsatser av de nu redovisade beräkningarna av dimensionerande flöden, eftersom spridningen är betydande mellan de olika scenarierna och resultaten därför är beroende av valet av klimatscenierna. 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.

## Summary

Within the project *Design floods for dams in a changing climate – Scenarios in a 50 year perspective* a new method for the climate adaptation of the Swedish guidelines for design floods for dams has been developed. This includes a method for adjusting regional climate scenarios used as input to a hydrological model, the so called DBS method. A rational production system has also been developed, which facilitates cost-effective processing of a large number of climate scenarios for hydrological simulations.

In the report simulations of future changes in floods in Category I (high hazard dams) according to Swedish guidelines are shown for a choice of 11 basins which are relevant for the hydropower and mining industries. The simulations are based on 16 regional climate scenarios for the time period until 2050 and 12 scenarios for the period until 2098. Corresponding simulations of changes in the 100-year floods have been carried out in 1001 basins covering all of Sweden.

The total picture of calculated changes in the 100-year floods shows a marked boundary through Sweden along a line approximately from the city of Karlstad to the Mälaren valley. To the north of this border a decrease is observed, at least at the end of the century, with the exception of the far northwest of Norrland which shows a clear increase. The calculated 100-year floods generally increase in southern Sweden except for in a few smaller areas which exhibit a decrease.

The calculations of future floods in Category I show tendencies towards decreasing levels in many areas. This is mainly due to decreasing design snow packs but also increasing evapotranspiration in a warmer climate. A calculated increase of floods in category I is observed for the dam Seitevare in River Lilla Luleälv, and for Lake Vänern and Hyltebruk in the southwest areas of Sweden, where the calculated increase in precipitation is especially large.

It is too early to draw general and far-reaching conclusions from the presented simulations of design floods as the spread is considerable which makes the results depending of the choice of regional climate scenarios. But one conclusion is that the results seem to be relatively stable across the country and that nearby basins of similar size exhibit a similar sensitivity to climate change.

## Innehåll

<b>1</b>	<b>Bakgrund</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Metoder</b>	<b>3</b>
2.1	Globala och regionala klimatmodeller.....	3
2.2	Utsläppsscenarier.....	4
2.3	Regionala klimatscenarier .....	5
2.4	Hydrologisk modell.....	8
2.5	Skalering av regionala klimatdata .....	9
2.6	Beräkning av flöden och vattenstånd i flödesdimensioneringsklass I .....	10
2.7	Regleringsstrategier .....	12
2.8	Extrem nederbörd och dimensionerande nederbördssekvens .....	13
2.9	Dimensionerande vindstyrka.....	15
2.10	Beräkningssystem .....	15
2.11	Beräkning av 100-årsflöden.....	16
2.12	Meteorologisk databas .....	16
2.13	Beräkningsområden för flödesdimensioneringsklass I.....	17
<b>3</b>	<b>Resultat</b>	<b>21</b>
3.1	Anpassning av klimatmodellsdata.....	21
3.2	Utvärdering av data från klimatmodellerna .....	22
3.3	Nederbördsextremer.....	23
3.4	Förändring av 100-årsflöden.....	24
3.5	Förändring av snötäckets 30-årsvärden .....	36
3.6	Beräkningar för flödesdimensioneringsklass I.....	41
<b>4</b>	<b>Analys av restmagasinets betydelse för det dimensionerande flödet</b>	<b>76</b>
<b>5</b>	<b>Diskussion och slutsatser</b>	<b>79</b>
<b>6</b>	<b>Referenser</b>	<b>82</b>

# 1 Bakgrund

Frågan om hur hänsyn ska tas till ett förändrat klimat vid flödesdimensionering har varit aktuell under en längre tid. Under 1990-talet genomfördes ett nordiskt samarbetsprojekt med inriktning mot vattenkraftindustrin (Saelthun, 1998). Denna arbete har sedermera fortsatt inom ramen för CE (Climate and Energy; Fenger, 2007) och CES (Climate and Energy Systems)-projekten. I dessa projekt deltog även de baltiska staterna. Ett resultat av speciellt intresse från CE projektet är en finsk studie av Veijalainen och Vehviläinen (2008). Deras beräkningar uppvisar ganska stora likheter med det arbete som vi nu redovisar.

Ett tidigt försök att bl.a. beräkna förändringen av 100 årsflöden i Sverige gjordes 2002 av Gardelin m.fl. (2002) och rapporterades i Elforsk rapport 02:27. Elforsk och Svenska Kraftnät initierade år 2005 projektet *Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer i ett framtida förändrat klimat*, vilket har avrapporterats i Elforsk rapport 06:80 (Andréasson m.fl. 2006). Kompletterande analyser för Pengfors i Umeälven ledde till en uppdaterad version av rapporten, Elforsk rapport 07:15 (Andréasson m.fl. 2007).

Under 2007 utkom en nyttgåva av riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar (Svensk Energi m.fl., 2007). Där skärptes kravet på att klimatfrågan ska behandlas vid flödesdimensionering. Detta formulerades på följande sätt:

*”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.”*

För att ge stöd åt arbetet med att klimatanpassa riktlinjerna för flödesdimensionering initierade Elforsk och Svenska Kraftnät 2007 ett fortsättningsprojekt över fyra år med titeln *Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring - Scenarier i ett 50-årsperspektiv*. Uppdraget gavs åt SMHI med Johan Andréasson som projektledare. Till projektet knöts också en styrgrupp bestående av följande medlemmar: Olle Mill (t.o.m. 2010), Maria Bartsch och Anna Engström Meyer (fr.o.m. 2010) från Svenska Kraftnät, Lars Hammar (t.o.m. 2008) och Cristian Andersson (fr.o.m. 2009) från Elforsk, Claes-Olof Brandesten från Vattenfall, Agne Lärke från Fortum, Björn Norell från Vattenregleringsföretagen, Lars-Åke Lindahl från SveMin och Sigrid Eliasson från E.ON.

2008 tillsattes Kommittén för dimensionerande flöden för dammar i ett klimatförändringsperspektiv med representanter från myndigheter (Svenska Kraftnät och SMHI), från vattenkraftbranschen (Svensk Energi, Vattenfall, Fortum, Statkraft, Vattenregleringsföretagen och E.ON) och från gruvindustrin (SveMin). Kommittén har som mål att bland annat genomföra en kartläggning av dammars sårbarhet, samt att ta fram en vägledning för hur klimatfrågan ska beaktas vid flödesdimensionering av dammar. Kommitténs medlemmar var till stor del desamma som styrgruppen till projektet *Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring - Scenarier i ett 50-årsperspektiv*. Därmed kom detta projekt att få en betydelsefull roll som stödfunktion till *Kommittén för dimensionerande flöden för dammar i ett klimatförändringsperspektiv*.

I november 2009 levererade SMHI en delrapport till projektet *Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring - Scenarier i ett 50-årsperspektiv* som täcker in arbetet under fas I (Andréasson m.fl., 2009). Föreliggande rapport är projektets formella slutrapport. Den innehåller bland annat beräkningar av 100-årsflöden för hela Sverige samt beräknade flöden i dimensioneringsklass I för ett urval testområden. Inledningsvis ingick 7 sådana testområden, men dessa har efterhand utökats till 11 vartefter som olika specialstudier beställts från SMHI. Resultat från de tillkommande fyra områdena presenteras med respektive uppdragsgivares tillstånd.

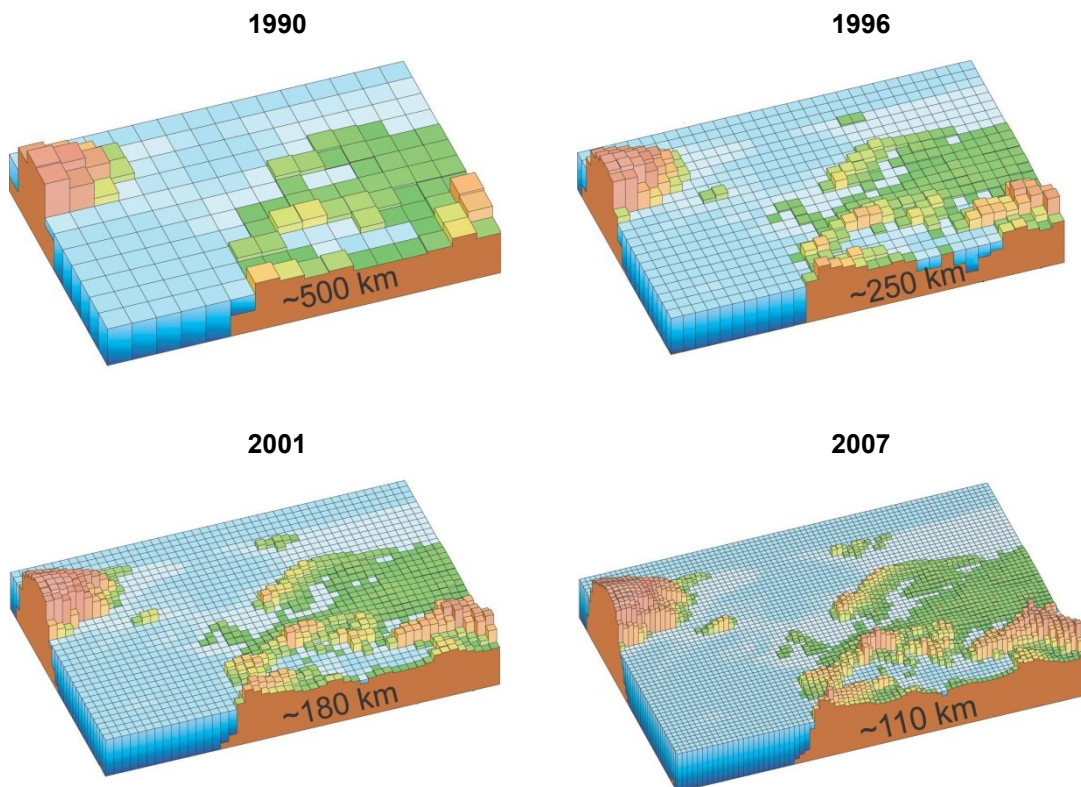


## 2 Metoder

### 2.1 Globala och regionala klimatmodeller

För att få en översiktlig bild av framtidens klimat använder man sig av globala klimatmodeller (GCM). Dessa drivs bland annat med antaganden om framtidens utsläpp av växthusgaser, så kallade utsläppsscenarier. Modellerna har en ganska grov geografisk upplösning som dock förfinats efterhand.

Figur 2.1 visar hur upplösningen i de globala klimatmodeller som använts av FNs klimatpanel, IPCC, har utvecklats under de senaste 20 åren.

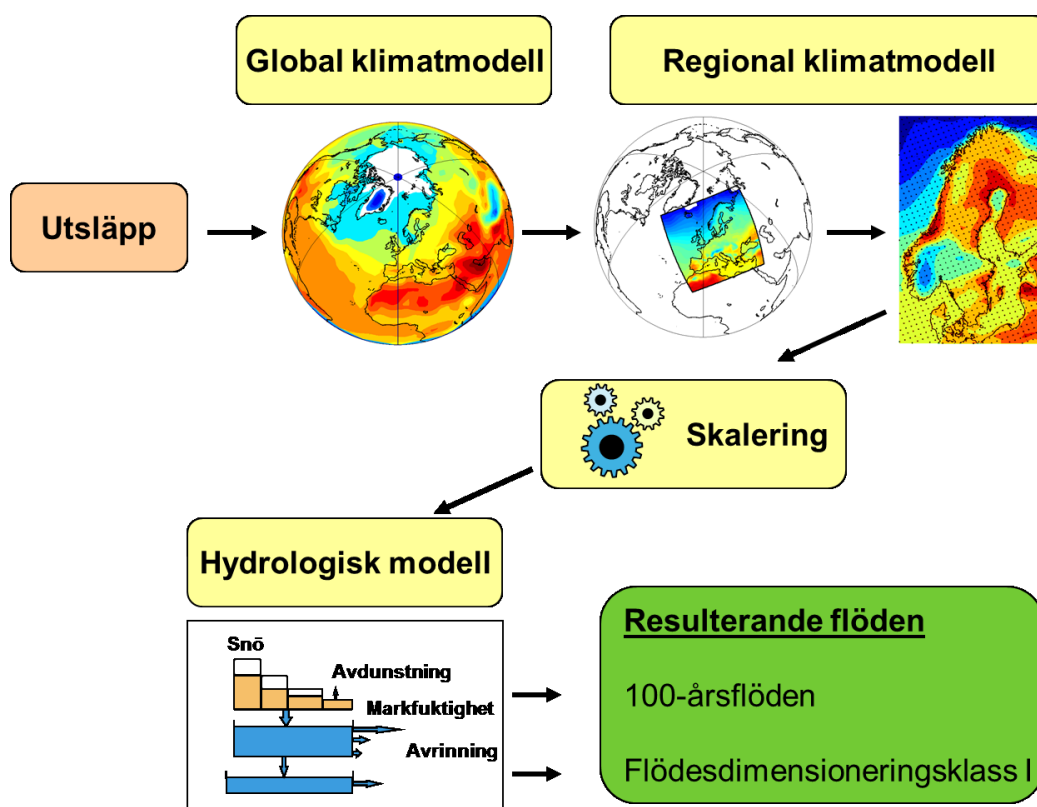


**Figur 2.1.** Horisontell upplösning i olika generationer av klimatmodeller som använts inom IPCC (modifierad efter IPCC, 2007). Vertikal upplösning visas inte i figuren men följer en liknande utveckling mot finare upplösning.

För mer detaljerade regionala analyser krävs en bättre beskrivning av detaljer som påverkar det regionala klimatet. Därför kopplas de globala klimatberäkningar till regionala klimatmodeller (RCM) med bättre upplösning och beskrivning av detaljer såsom exempelvis Östersjön och den Skandinaviska bergskedjan. Den regionala klimatmodellen drivs av resultat

från den globala modellen på randen av sitt modellområde. Det gör att valet av global modell får stor betydelse för slutresultatet även regionalt. Utveckling av regionala klimatmodeller sker bland annat vid Rossby Centre på SMHIs forskningsavdelning.

Via ett gränssnitt levererar den regionala klimatmodellen data till mer problemspecifika modeller med högre detaljeringsgrad. I figur 2.2 visas principen för hur detta går till vid beräkning av klimataffekterna på vattenresurserna. I det här fallet används den hydrologiska HBV-modellen för beräkningens sista steg.



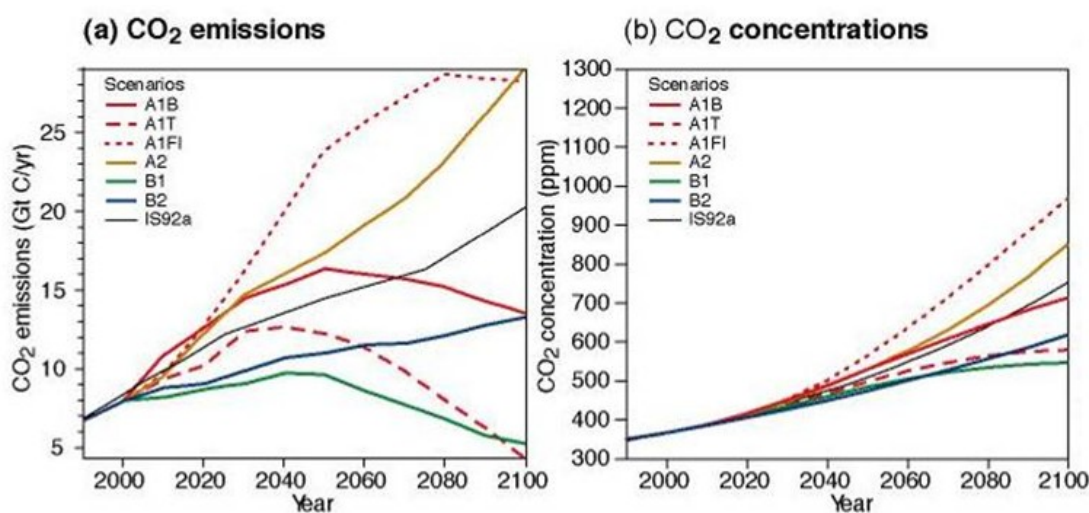
**Figur 2.2.** Illustration av kopplingen mellan en global- och en regional klimatmodell samt en hydrologisk modell vid studier av klimataffekter på hydrologin.

## 2.2 Utsläppsscenarioer

För att kunna göra beräkningar av framtida klimat behövs antaganden om framtida utsläpp av växthusgaser. Vanligtvis används utsläppsscenarioer som utarbetats av FNs klimatpanel, IPCC. Några exempel visas i figur 2.3. Dessa bygger på antaganden av världens utveckling fram till år 2100 (Nakićenović m.fl., 2000). I utsläppsscenarioerna görs olika antaganden om jordens folkmängd, ekonomisk tillväxt, teknologisk utveckling m.m. Utifrån dessa antaganden har man sedan uppskattat hur mycket klimatpåverkande gaser och partiklar som kommer att släppas ut. Dessa utsläpp ger upphov till

förändringar i atmosfärens sammansättning, som till exempel mängden koldioxid (CO<sub>2</sub>) i luften, vilket i sin tur har en inverkan på klimatet. Genom att göra simuleringar i klimatmodellerna med växthusgaskoncentrationer som motsvarar dagens förhållanden respektive för framtida förhållanden får man en bild av den framtida förändringen av klimatet.

Av figur 2.3 framgår bland annat att A1B är ett scenario där utsläppen av koldioxid antas kulminera omkring år 2050. Koncentrationen av koldioxiden i atmosfären fortsätter dock enligt detta scenario att stiga även efter 2050. Ur figuren ses även att skillnaden mellan effekten av olika utsläppsscenarioer är liten fram till mitten av seklet och ökar därefter.

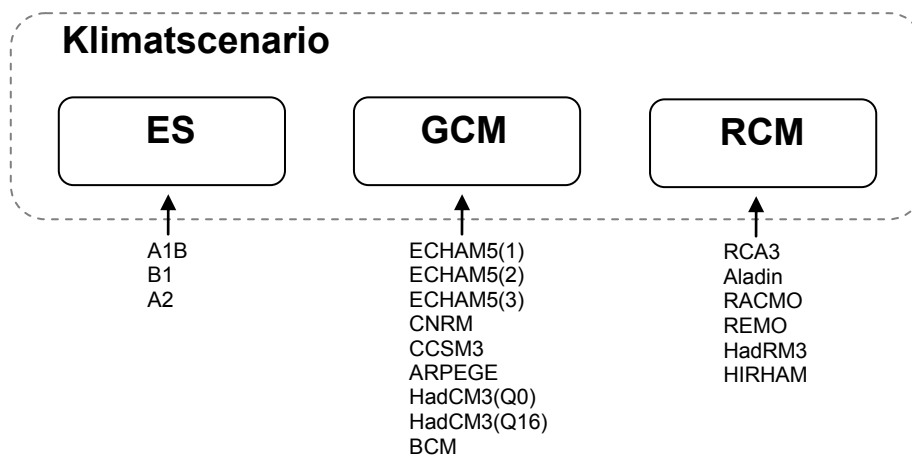


**Figur 2.3.** Antagande om framtida utsläpp av CO<sub>2</sub> (a) och resulterande CO<sub>2</sub>-koncentrationer (b) enligt olika scenarier (modifierad från IPCC, 2001).

### 2.3 Regionala klimatscenarier

Ett regionalt klimatscenario är resultatet av en beräkning med ett utsläppsscenario, en global klimatmodell och en regional klimatmodell. Samma utsläppsscenario kan följaktligen leda till olika klimatscenarier beroende på vilka globala och regionala modeller som används. Dessa tre komponenter illustreras i figur 2.4 där de alternativa utsläppsscenarioer (ES), globala klimatmodeller (GCM) och regionala klimatmodeller (RCM) som används i denna studie framgår.

Under flera år användes huvudsakligen sex regionala klimatscenarier för de flesta studier av klimateffekter i Sverige, däribland den statliga Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU, 2007). Dessa sex scenarier byggde på en global klimatmodell från Hadley Centre i England (HadCM3/AM3H) och en från Max-Planck-institutet för meteorologi i Tyskland (ECHAM4/OPYC3). De globala modellerna baserades på utsläppsscenario A2 respektive B2 som de beskrivs av Nakićenović m.fl. (2000). I tillägg till detta användes två olika regionala modellversioner. Dessa benämns RCA0 och RCA3 och kommer från Rosaby Centre vid SMHIs forskningsenhet.






**Figur 2.4.** Ett regionalt klimatscenario består av en kombination av ett utsläppsscenario (ES), en global klimatmodell (GCM) och en regional klimatmodell (RCM).

Numera finns det tillgång till ett stort antal regionala klimatscenarier beräknade med nyare globala och regionala klimatmodeller. Det europeiska ENSEMBLES-projektet (van der Linden m.fl., 2009) syftade till att utveckla ett system för samordnade beräkningar av klimatförändringar baserat på ett antal europeiska och några utomeuropeiska globala och regionala klimatmodeller. Rossby Centre deltog i ENSEMBLES-samarbetet med den regionala klimatmodellen RCA3. ENSEMBLES-projektet fokuserade i huvudsak på klimatförändringar i ett tidsperspektiv fram till år 2050, varför en del klimatscenarier bara sträcker sig fram till mitten på seklet. Det utsläppsscenario som huvudsakligen användes inom ENSEMBLES benämns A1B, men ett scenario med kraftigare utsläpp, A2, och ett med lägre utsläpp, B1, användes också.

Tabell 2.1 innehåller de klimatscenarier från ENSEMBLES-projektet samt några från Rossby Centre vid SMHI som utnyttjats i föreliggande rapport. Observera att endast 12 av dessa 16 klimatscenarier sträcker sig ända fram till år 2100. De övriga 4 sträcker sig fram till 2050. Till största delen har utsläppsscenario A1B använts eftersom de flesta modellberäkningar inom ENSEMBLES-projektet använt sig av detta, men även A2 och B1 finns representerade.

**Tabell 2.1.** Sammanställning av använda klimatscenarier. Nationsflaggorna avser nationalitet för de institut som genomfört den regionala nedskalningen. Den globala klimatmodellen ECHAM5 kommer från Max Planck Institute i Tyskland, ARPEGE från CNRM i Frankrike, HadCM3 från Hadley Centre i England och BCM från METNO i Norge. CCSM3 är en nordamerikansk modell som körts vid SMHI. Observera att endast 12 av dessa 16 klimatscenarier sträcker sig ända fram till år 2100.

Nation	Institut	Scenario	GCM	RCM	Upplösning	Period
	SMHI	A1B	ECHAM5(1)	RCA3	50 km	1961-2100
	SMHI	A1B	ECHAM5(2)	RCA3	50 km	1961-2100
	SMHI	A1B	ECHAM5(3)	RCA3	50 km	1961-2100
	SMHI	A1B	ECHAM5(3)	RCA3	25 km	1961-2100
	SMHI	B1	ECHAM5(1)	RCA3	50 km	1961-2100
	SMHI	A1B	CNRM	RCA3	50 km	1961-2100
	SMHI	A1B	CCSM3	RCA3	50 km	1961-2100
	CNRM	A1B	ARPEGE	Aladin	25 km	1961-2050
	KNMI	A1B	ECHAM5(3)	RACMO	25 km	1961-2100
	MPI	A1B	ECHAM5(3)	REMO	25 km	1961-2100
	C4I	A2	ECHAM5(3)	RCA3	25 km	1961-2050
	HC	A1B	HadCM3(Q0)	HadRM3	25 km	1961-2100
	C4I	A1B	HadCM3(Q16)	RCA3	25 km	1961-2100
	METNO	A1B	BCM	HIRHAM	25 km	1961-2050
	METNO	A1B	HadCM3(Q0)	HIRHAM	25 km	1961-2050
	DMI	A1B	ECHAM5(3)	HIRHAM	25 km	1961-2100

ECHAM5 är den globala klimatmodell som används i störst omfattning i denna rapport. Den kommer från Max-Planck-institutet för meteorologi i Tyskland. HadCM3 kommer från Hadley Center i England. Resultat baserade på ECHAM5

finns också från tre simuleringar som har startats från olika initialtillstånd i slutet på 1800-talet, vilka betecknas ECHAM5(1), ECHAM5(2) respektive ECHAM5(3). ECHAM5(3) är den simulering av de tre som har bäst överensstämmelse med faktisk klimatutveckling i Europa under slutet av 1900-talet.

HadCM3 kommer från Hadley Center i England. Även denna modell har använts med två olika initialtillstånd, men då har också modellen varit parametriserad med olika klimatkänslighet. En av dessa simuleringar benämns Q0 och betraktas ofta som mest trolig. Den version som har högre klimatkänslighet, Q16, ligger dock även den inom vad som klimatforskarna betraktar som rimliga gränser.

Övriga använda globala klimatmodeller är ARPEGE från CNRM i Frankrike, BCM från METNO i Norge och den nordamerikanska modellen CCSM3.

Av de regionala klimatmodellerna kommer Aladin ursprungligen från Frankrike, RACMO från Holland, REMO och HIRHAM från Tyskland, HadRM3 från England och RCA3 från SMHI. Som framgår av nationsflaggorna har de regionala modellerna ofta tillämpats av forskare från andra länder än ursprungslandet.

De klimatscenarier som använts är de som funnits tillgängliga vid genomförandet, det betyder att inget aktivt urval av scenarier har gjorts. Det gör att det finns en viss obalans mellan antalet globala modeller i ensemblen. Den idag tillgängliga ensemblen är dock en stor förbättring mot vad som fanns tillgängligt för några år sedan, även om urvalet inte är systematiskt. Allt eftersom fler klimatscenarier blir tillgängliga kan fler fall med höga respektive låga utsläppsscenarioer inkluderas i klimatensemlesimuleringar. På så sätt kan fler tänkbara utvecklingar av klimatet simuleras.

## 2.4 Hydrologisk modell

Enligt riktlinjerna för beräkningarna av flöden enligt flödesdimensioneringsklass I skall förloppet av det dimensionerande flödet simuleras med tillämpning av vedertagen hydrologisk modellteknik. I praktiken har den hydrologiska HBV-modellen kommit att bli standard.

HBV-modellen har utvecklats vid SMHI sedan början av 70-talet (Bergström, 1995, Lindström m.fl., 1997). Modellen är begreppsmässig, d.v.s. den bygger på en förenklad fysikalisk beskrivning och kalibreras till specifika vattendrag. Den har en enkel struktur och är i grunden uppbyggd av tre huvudmoduler; en för beräkning av snöns ackumulation och avsmältning, en för beräkning av markfuktighet och en tredje rutin för beräkning av vattnets vägar och hur vattenflöden påverkas av magasinering i grundvatten och sjöar. Modellen är semidistribuerad, vilket innebär att avrinningsområdet delas in i delområden inom vilka höjder och vegetationszoner (skog, öppet landskap, glaciär och sjöar) klassificeras. Den har dessutom speciella funktioner för att separat hantera större sjöar och sjöregleringar.

Indata till HBV-modellen är nederbörd, lufttemperatur och potentiell avdunstning. Dessa hämtas från den areellt interpolerade databasen PTHBV (Johansson, 2000, Johansson och Chen 2003 och 2005). Framtida nederbörd och temperatur som beräknats av de regionala klimatmodellerna har i denna

studie bearbetats med DBS-metoden, vilken beskrivs i kapitel 2.6 och kapitel 4. Förändringen av den potentiella avdunstningen antas vara proportionell mot temperaturändringen.

Även internationellt är HBV-modellen ofta använd för beräkningar av hur ett förändrat klimat kan komma att påverka vattenflöden. I Norden och de baltiska länderna var modellen standardmetoden inom de nordiskt-baltiska CE (Bergström m.fl., 2007) och CES projekten. Värt att nämna är också ett omfattande arbete i Rhen där HBV-modellen användes för klimatanpassningsstudier (Görgen m.fl., 2010).

HBV-modellen har en lång historia. Den har modifierats efterhand och det finns flera olika versioner i bruk både i Sverige och utomlands. En omfattande uppgradering gjordes 1996, vilket medförde förbättringar av delar av modellen och av dess kalibrering (Lindström m.fl., 1996). Speciellt viktigt för beräkningen av dimensionerande flöden var att en ändring i modellens responsfunktion infördes. Den nya rutinen medför att extrema flöden beskrivs på ett bättre sätt. Denna modellversion är numera standard vid SMHI. Flera av de dimensioneringsberäkningar som genomförts med HBV-modellen har dock gjorts innan 1996 och då med den äldre modellversionen. Även efter 1996 har ett antal förbättringar skett av HBV-modellens struktur.

## 2.5 Skalering av regionala klimatdata

För att använda klimatmodellernas utdata till att studera exempelvis hydrologiska effekter, krävs ett gränssnitt mellan klimatmodellen och den hydrologiska modellen. Anledningen är att klimatmodellerna inte kan beskriva det nutida klimatet tillräckligt väl för att ge en trovärdig hydrologisk respons, när utdata från klimatmodellen används direkt som indata till en hydrologisk modell.

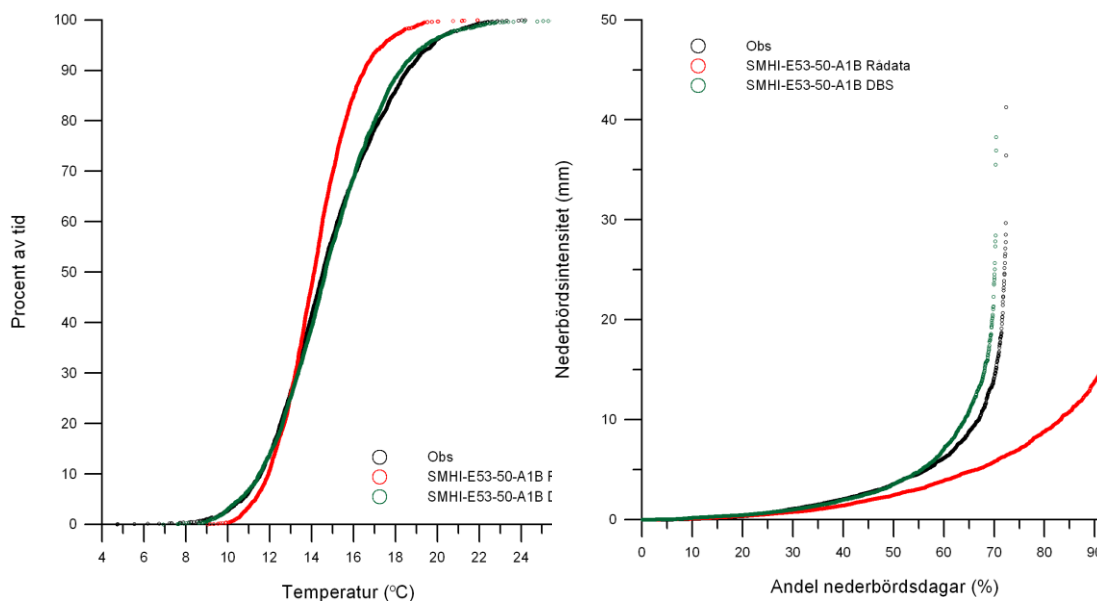
Under senare år har en ny metod utvecklats som möjliggör en sådan anpassning. Metoden benämns DBS-metoden (Yang m.fl., 2010) och innebär att data från meteorologiska observationer används till att skalera klimatmodellens resultat för att ta bort de systematiska felen. Korrigeringsfaktorerna bibehålls vid beräkningen av framtidens klimat, varefter klimatberäkningens utdata blir statistiskt jämförbar med observationer och direkt kan användas som indata till en hydrologisk modell. Vid användning av DBS-metoden bibehåller man vid övergången till den hydrologiska modellen därmed, förutom förändringar i medelvärden, även de förändringar i klimatets variabilitet som ges av klimatmodellen. Metoden har tidigare använts för hydrologiska modellberäkningar av Andréasson m.fl., (2009), Bergström m.fl. (2010) och Olsson m.fl. (2011).

Anpassning av klimatmodellsdata med hjälp av DBS-metoden har används i denna studie för nederbörd och temperatur, vilket är drivdata för den hydrologiska modellen.

Figur 2.5 visar exempel på en anpassning med DBS-metoden. Figuren visar rådata i form av temperatur, andel nederbördsdagar och deras nederbördsintensitet från en klimatmodell, samt när dessa rådata anpassats med DBS-metoden. Figuren visas hur DBS-metoden väsentligt förbättrar överensstämmelsen med observerade data. Särskilt viktigt är att den

överskattning av antal dagar med nederbörd med en viss intensitet som ges av klimatmodellen korrigeras.

DBS-metoden kräver att resultaten för framtida tidsperioder jämförs med historiskt klimat så som detta beskrivs av klimatmodellen och inte av meteorologiska observationer. Detta innebär att det inte är möjligt att direkt jämföra individuella dagar eller år med observationsdata.



**Figur 2.5.** Jämförelse mellan rådata från klimatmodeller och data som anpassats med DBS-metoden. Till vänster dygnsmedeltemperatur (procent av tiden som viss dygnsmedeltemperatur underskrids) och till höger nederbörd (andel dagar med olika nederbördsintensitet).

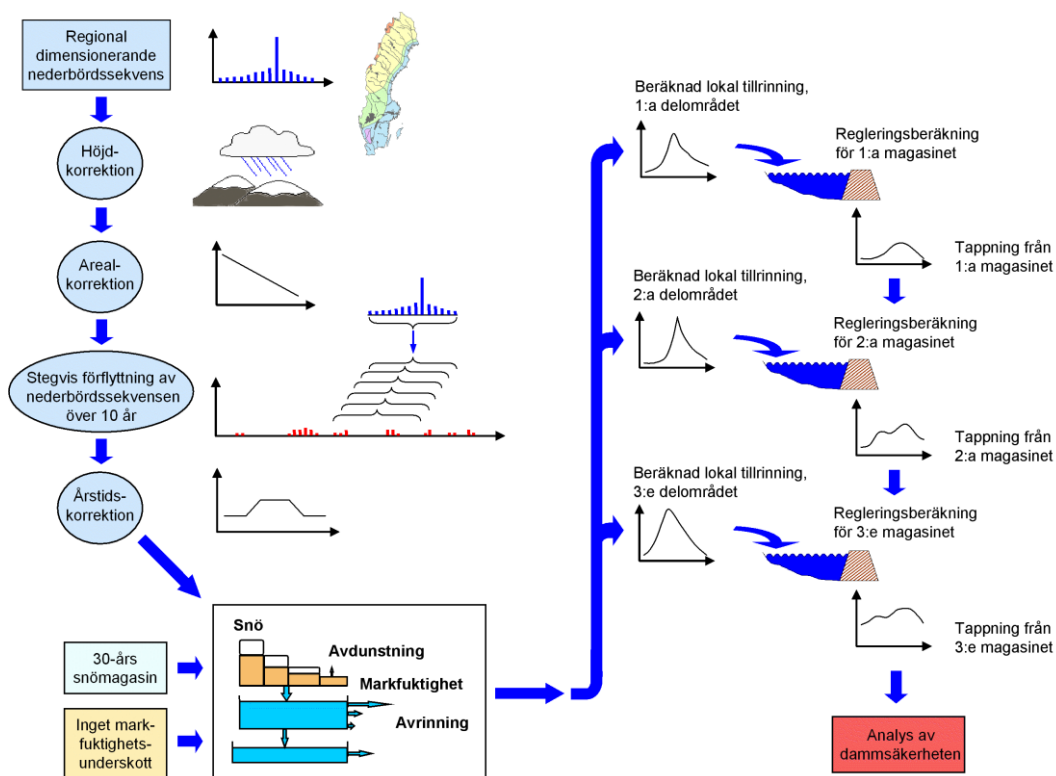
## 2.6 Beräkning av flöden och vattenstånd i flödesdimensioneringsklass I

Beräkningarna av de dimensionerande flödena har utförts enligt riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar för dammar i riskklass I (Svensk Energi m.fl., 2007). Metoden bygger på hydrologiska modellsimuleringar som beskriver följderna av att extremt stora nederbörds mängder faller under särskilt ogynnsamma förhållanden. I beräkningarna antas stora nederbörds mängder samverka med effekterna av en snörik vinter. Beräkningsgången illustreras schematiskt i figur 2.6.

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



höjdzoner och delområden, som modellberäkningen uppvisat under det år då snötäcket varit maximalt.



**Figur 2.6.** Schematisk beskrivning av beräkningsgången vid beräkning av ett flöde av flödesdimensioneringsklass I enligt Riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar.

Vid dimensioneringsberäkningens början antas att hela området saknar markvattenunderskott. Enligt riktlinjerna ska regleringsmagasinen antas vara avsänkta till nivåer som bedöms vara rimliga när vårfloren förväntas bli kraftig. I den aktuella analysen har magasinerna i samtliga fall antagits avsänkta till sänkningsgränsen. Produktionstappning har antagits ske i den omfattning som bedömts vara rimlig när en kraftig vårfloed förutses. Förutom produktionstappningen, antas ingen övrig tappning ske fram tills dess att dämningens gräns uppnås. Vid nivåer över dämningens gräns antas maximal avbördning ske genom utskoven. När dämningens gräns uppnåtts, vilket förutsätts ske senast 1 augusti, tillåts magasinerna inte avsänkas igen förrän den kritiska flödesperioden är över.

I dimensioneringsberäkningen beräknas de kritiska flöden och vattenstånd som uppstår då den verkliga observerade nederbörden under olika perioder byts ut mot en dimensionerande nederbördssekvens. Den 14 dagar långa nederbördssekvensen ersätter verklig nederbörd vid olika tidpunkter, genom att sekvensens start under beräkningen förskjuts i tiden i steg om ett dygn i taget. Varierande nederbördssekvens används för olika regioner i landet och den dimensionerande nederbörden korrigeras även för höjd över havet och för

avrinningsområdets storlek. Dessutom tillkommer en årstidskorrektur som definieras på olika sätt i de olika regionerna. När den mest intensiva nederbörden antas falla (under dygn nio i sekvensen), förutsätts att produktionstappningen faller bort och att avbördning bara kan ske genom utskov.

Enligt riktlinjerna skall beräkningen av det dimensionerande flödet baseras på en klimatserie om minst 10 år. I detta projekt har genomgående en 20-årsperiod använts.

## 2.7 Regleringsstrategier

Regleringen har i beräkningarna av flöden enligt flödesdimensioneringsklass I beskrivits enligt riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar (Svensk energi m.fl., 2007). I korthet innebär detta:

- Befintliga magasin är avsänkta till nivåer som bedöms rimliga när vårflo den 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 vårflo d. Om förtappning kan antas bli föreskriven, får hänsyn tas till denna.
- När den mest intensiva nederbörden antas falla (från dygn 9 i nederbördssekvensen och därefter), förutsätts att produktionstappningen faller bort och att avbördning bara kan ske genom dammanläggningens utskov (maximal avbördningsförmåga enligt avbördningskurva).
- Efter det att de i systemet ingående magasinerna nått sina respektive dämning gränser, vilket förutsätts ha skett senast den 1 augusti, antas magasinerna inte bli avsänkta under dämning gränsen förrän den för regionen kritiska flödesperioden är över.

I detta projekt har dessutom vissa förenklingar av regleringsrutinerna tillämpats:

- Nivån som bedöms vara rimlig när vårflo den förväntas bli kraftig har alltid förutsatts vara sänkningsgräns
- Avsänkingsfasen beskrivs inte i regleringsstrategin
- Produktionstappning har alltid antagits vara 20 % av utbyggnadsvattenföringen
- Ingen förtappning har använts i beräkningarna

Sammantaget betyder detta att regleringsstrategierna i dessa beräkningar förutsätts vara opåverkade av ett förändrat klimat och ändrade marknadsförhållanden. Detta är en förenkling som diskuterats ingående i

projektets styrgrupp och inom *Kommittén för dimensionerande flöden för dammar i ett klimatförändringsperspektiv*.

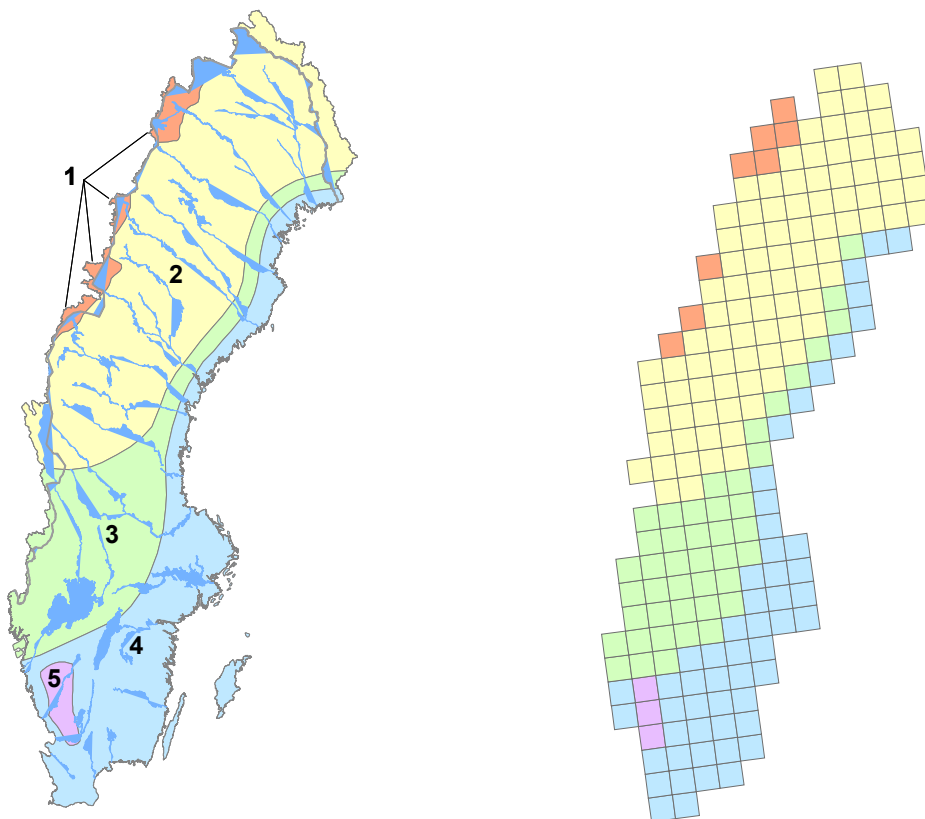
## 2.8 Extrem nederbörd och dimensionerande nederbördssekvens

När de dimensionerande nederbördssekvenserna togs fram av Flödeskommittén (1990) användes data över extrem nederbörd från perioden 1926-1988, det vill säga 63 år. Tillgängliga data från klimatmodellerna har i denna studie utgjorts av tre tidsperioder, 1961-1990, som representerar dagens klimat och 2021-2050 samt 2071-2100, som representerar ett framtida klimat. Dessa tidsperioder består således av 30 års data att jämföra med 63 år för Flödeskommitténs beräkningar.

Flödeskommittén delade in landet i fem olika regioner baserat på regionala skillnader i nederbördens intensitet och årstidsfördelning (figur 2.7). För att lättare kunna jämföra hur de gällande riktlinjerna står sig i ett förändrat klimat har dessa regionindelningar behållits. Detta trots att den regionala fördelningen av nederbörd kan tänkas förändras på grund av förändringar i atmosfärens cirkulationsmönster och en förflyttning av temperaturgränser norrut. En justering av regionindelningen skulle vara komplicerad att införa, eftersom den skulle vara olika i de olika scenarierna.

Klimatmodellerna beräknar Sveriges klimat i ett rutnät som består av cirka 200 rutor med upplösningen 50×50 km (cirka 700 rutor med upplösningen 25×25 km). I figur 2.7 visas detta rutnät för 50×50 km och hur det sammanfaller med Flödeskommitténs regionindelning.

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



**Figur 2.7.** De fem regioner som används för de dimensionerande nederbördssekvenserna enligt Riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar (till vänster) och motsvarande indelning gjord för klimatmodellens beräkningsrutor (till höger).

Den största dygnsnederbörd som förekommit i någon beräkningsruta inom en region under varje dag på året, extraherades för att skapa ett maximalt år för dygnsnederbörd. Även 14-dygnsnederbörden extraherades för att på samma sätt skapa ett maximalt år för 14-dygnsnederbörden. Från dessa analyser var det sedan möjligt att få förändring av både dygnsnederbörd och 14-dygnsnederbörd. Att bedöma förändringen utgående från enbart det högsta värdet visade sig dock vara alltför påverkat av tillfälligheter för att analysen ska vara stabil. Istället användes frekvensanalys av varje års högsta nederbörd i någon ruta i respektive region för att finna förändringen av maximal nederbörd i regionen. För detta användes Gumbels fördelning och 100 års återkomsttid.

Den återkomsttid som beräknats på detta sätt är 100 år om man antar att regnet kan falla på en godtycklig plats var som helst i regionen. Om man däremot antar att regnet faller i en given gridruta eller ett givet avrinningsområde inom regionen blir återkomsttiden betydligt längre för denna händelse (lägre sannolikhet), eftersom varje region består av flera rutor.

Den relativa förändringen i 100-årsvärdet för dygnsnederbörd användes för att modifiera den dimensionerande nederbördssekvensens toppvärde (dag 9). Då sekvensen ursprungligen är framtagen för att generera ett så högt flöde som möjligt gjordes inget försök att ändra på fördelningen av nederbörd inom sekvensen. Efter att toppvärdet justerats, användes förändringen i 14-dygnsnederbörd till att justera den övriga sekvensen så att rätt totalvolym erhöles.

## 2.9 Dimensionerande vindstyrka

I riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar formuleras hänsynstagande till vindeffekten på vattenytan på följande sätt:

*“Vågor och snedställning av vattenytan på grund av vindpåverkan beaktas under antagande av vind i ogynnsammaste riktning med hastigheten 25 m/s för dammanläggningar ovanför trädgränsen och med 20 m/s för övriga dammanläggningar.”*

Eftersom dagens tillgängliga klimatmodeller inte ger någon tydlig bild av ett förändrat vindklimat finns det för närvarande ingen möjlighet att ta hänsyn till detta i beräkningarna. Detta framgår bland annat av analyser av extremvärden i ett flertal regionala klimatsimuleringar som nyligen publicerats av Nikulin m.fl. (2011). Författarna drar följande avslutande slutsats rörande modellerade extremvärden: *“We can conclude that for the present ensemble of regional climate simulations the future changes in temperature extremes are more robust to the choice of a driving GCM than the ones in precipitation extremes while we have almost no confidence in the projected changes in wind extremes”* (Nikulin m.fl., 2011).

Mot ovanstående bakgrund har vindeffekten lämnats utanför analyserna i detta projekt.

## 2.10 Beräkningssystem

Inom projektets ram har ett omfattande arbete lagts ned på att utveckla hanterbara beräkningssystem. Dessa system och deras användningsområde sammanfattas nedan:

- Skalering av klimatscenarier (inklusive rutiner för läsning av dessa från EU-projektet ENSEMBLES server på DMI i Köpenhamn).
- Lagring av skalerade klimatscenarier i databaser med 4×4 km upplösning för hela Sverige (PTHBV-format).
- Hämtning av data från dessa databaser till drivdatafiler för HBV-modellen.
- Automatisering av HBV-simuleringar med ett stort antal klimatscenarier.
- Analys av data från simuleringar (t.ex. plottning av medelårshydrografer med max- och min-värden, beräkning av

nederbörds- och temperaturförändring för varje testområde och klimatscenario, löpande frekvensanalys samt plottning av dessa).

- Extraktion av nederbördsextremer från klimatscenarier från EU-projektet ENSEMBLES server på DMI i Köpenhamn.
- Modifiering av dimensionerande nederbördssekvenser i de 5 regionerna enligt riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar utgående från analys av klimatsceniariernas nederbördsextremer.
- Automatisering av beräkningar med HBV-modellen enligt flödesdimensioneringsklass I för ett stort antal klimatscenarier och tidsperioder, samt rutiner för att spara resultat och loggfiler enligt SMHIs kvalitetsrutiner.

## 2.11 Beräkning av 100-årsflöden

Beräkning av återkomsttider har gjorts med frekvensanalys och har tillämpats på årets högsta värde. Genomgående har Gumbelfördelningen använts, även kallad Extreme Value Type I.

För studier av klimatförändringars påverkan på 100-årsflöden har en databas av 1001 avrinningsområden täckande Sverige använts. Storleksordningen på vart och ett av dessa är ca 450 km<sup>2</sup>. Observera dock att området inte begränsas av Sveriges nationsgränser utan av gränserna för de avrinningsområden vars vattendrag rinner genom Sverige. Det betyder att några mindre delar av Finland och Norge ingår och att vissa mindre delar av Sverige inte tagits med.

I beräkningarna har avrinningsområdena betraktats som oreglerade. Med hjälp av DBS-metoden har klimatpåverkade vattenföringsserier beräknats, varefter 100-årsflöden kontinuerligt har räknats fram i ett fönster om 30 år med frekvensanalys baserad på Gumbelfördelningen. Dessa beräkningar har gjorts för samtliga 1001 områden. Två utsnitt av dessa, gällande tidsperioderna 2012-2050 respektive 2069-2089, har slutligen interpolerats och presenterats i kartform. Dessa redovisas i avsnitt 3.4.

## 2.12 Meteorologisk databas

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

Data från SMHIs meteorologiska stationer har interpolerats till gridrutorna med hjälp av en geostatistisk interpolationsmetod som benämns optimal interpolation. Metoden innebär att hänsyn tas både till stationernas avstånd från beräkningsrutan och till deras inbördes korrelation. För att i interpolationen kunna beskriva den rumsliga variationen, utnyttjas höjddata samt (för nederbörd) även information om typisk vindriktning och vindstyrka under olika delar av året och i olika delar av landet. Detaljer om hur

interpolationen utförs beskrivs av Johansson (2000) och Johansson och Chen (2003 och 2005).

I databasen har den observerade nederbörden även korrigerats för mätförluster, som framför allt orsakas av att en del av nederbörden blåser förbi mätaren. Mätförlusterna har beräknats enligt Alexandersson (2003). I dessa beräkningar tas hänsyn till hur vindutsatt mätstationen är och om nederbörden faller som snö eller regn, vilket avgörs utifrån temperaturen.

## 2.13 Beräkningsområden för flödesdimensioneringsklass I

För analysen av flöden i flödesdimensioneringsklass I valdes initialt följande sju testområden ut:

1. **Seitevare**, längst upp i Lilla Luleälv i nordvästra Lappland. Dimensioneringsberäkningar har utförts för tillrinningen till Seitevare kraftverk som ligger vid utloppet av Tjaktajaure-magasinet. Tillrinningsområdet, som är cirka 2300 km<sup>2</sup> stort, sträcker sig upp i fjälltrakterna och består till cirka 5 % av glaciärer. Områdets medelhöjd är högre än 900 m.ö.h. och endast cirka 25 % av tillrinningsområdet är skogsbevuxet. Magasinet innehåller 1650 miljoner m<sup>3</sup> reglerbar vattenvolym.
2. **Torpshammar** representerar förhållandena i skogslandskapen i södra Norrlands inland. Det dimensionerande flödet har bestämts vid Torpshammars kraftverk som ligger vid Grönstadammen i Ljungans största biflöde, Gimån. Tillrinningsområdet är cirka 4 300 km<sup>2</sup> stort. Magasineringsen sker huvudsakligen längre upp i vattendraget, uppströms Leringsforsdammen, i sjön Leringen med en reglerbar volym av 360 miljoner m<sup>3</sup>.
3. **Pengfors** har valts ut som testområde för att illustrera effekten av framtida klimatförändringar på en hel älv som är kraftigt reglerad. Pengfors ligger i Umeälven strax uppströms sammanflödet med Vindelälven. Uppströms i älven finns ett stort antal större magasin med kraftverk. Totala tillrinningsområdet uppströms dimensioneringspunkten är cirka 13 500 km<sup>2</sup>. Modellparametrar i beräkningsmodellen är hämtade från befintlig prognosmodell och regleringsrutinerna har förenklats för dimensioneringsberäkning enligt de principer som tillämpats i övriga testområden (se avsnitt 2.7).
4. **Trängslets** tillrinningsområde är cirka 4 500 km<sup>2</sup> stort och ligger i Dalarnas län, där en del sträcker sig in i Norge. Området är en del av Dalälvens avrinningsområde och utgör den översta delen av Österdalälven. Trängsletdammen är Sveriges högsta damm och dämmer upp den 7 mil långa Trängsletsjön med en reglerbar volym av 880 miljoner m<sup>3</sup>.
5. **Gruvsjön** är det minsta testområdet (44 km<sup>2</sup>). Det ligger vid Garpenberg i södra Dalarna. Dimensioneringsberäkningar har utförts för tillrinningen till Gruvsjödammen som ligger längst nerströms i ett system av mindre gruvdammar.

6. **Vänern** är med sina 5 600 km<sup>2</sup> Sveriges största och Europas tredje största sjö. Tillrinningsområdet är cirka 46 800 km<sup>2</sup> stort och sträcker sig från utloppet vid Vänersborg upp genom Värmland till Dalarna och in i Norge. Vänern avtappas genom Göta älv som mynnar ut i havet vid Göteborg. Resultaten kommer i huvudsak från den fördjupade studien av översvämningsriskerna runt Vänern som gjordes av SMHI under hösten 2010 (Bergström m.fl., 2010).
7. **Torsebro kraftverk** ligger i Helge å, cirka en mil uppströms Hammarsjön och Kristianstad. Tillrinningsområdet är cirka 3 700 km<sup>2</sup> stort. Höga flöden i Helge å och därmed högt vattenstånd i Hammarsjön har stundtals hotat översvämma det lågt liggande Kristianstad. Påverkan av regleringar i Helge å bedöms vara liten vid höga flöden. Därför har inga regleringar inkluderats i beräkningarna.

Under arbetets gång har det tillkommit ytterligare fyra områden genom arbete inom ramen för SMHIs forsknings- och uppdragsverksamhet. Dessa är:

8. **Glafsfjorden** i Byälven. Området ligger väster om Vänern och är cirka 4 000 km<sup>2</sup> stort. Området är speciellt intressant med tanke på översvämningsriskerna i Arvika idag och i framtiden. Resultaten kommer från arbetet inom EU-Interregprojektet CPA (Climate Proof Areas).
9. **Höljesdammen** i Klarälven. Dammen har ett tillrinningsområde på cirka 6 000 km<sup>2</sup>. Beräkningarna här är intressanta både för dammägaren och som en allmän indikation på framtida flödesrisker längs Klarälven och i Karlstad. Höljesdammen har en reglerbar volym av 270 miljoner m<sup>3</sup>. Resultaten för Höljesdammen kommer från arbetet inom EU-Interregprojektet SAWA (Strategic Alliance for integrated Water management Actions).
10. **Skinmuddselet** ligger i Gideälven och har ett tillrinningsområde på cirka 1 400 km<sup>2</sup>. Resultat från dimensioneringsberäkningar har tillhandahållits av Statkraft.
11. **Hyltebruk** ligger i Nissan och har ett tillrinningsområde på cirka 1 650 km<sup>2</sup>. Resultat från dimensioneringsberäkningar har tillhandahållits av Statkraft.

Samtliga områden återfinns på kartan i figur 2.8. SMHI har fått uppdragsgivarnas medgivande att presentera resultaten från de fyra tillkommande områdena i föreliggande rapport. I figur 2.9 visas fotografier från Seitevare, Torpshammar, Trängslet och Gruvsjön.





**Figur 2.8.** Beräkningsområden för klimatanpassningsberäkningar av flöden i flödesdimensioneringsklass I.

I Elforskrapporten 05:17 (Elforsk, 2005) slås det fast att riktlinjerna för beräkning av dimensionerande flöden inte kategoriskt kan tillämpas för Vänern. Detta beror på att tillrinningens varaktighet är viktigare än kortvariga höga tillrinningar, som erhålls vid dimensionering enligt riktlinjerna. Under hösten 2010 fick SMHI i uppdrag av Länsstyrelserna i Värmlands och Västra Götalands län, kommunerna runt Vänern samt Länsförsäkringar AB att genomföra en fördjupad studie av översvämningsriskerna runt Vänern. Inom ramen för det projektet *Fördjupad studie rörande översvämningsriskerna för Vänern* utvecklades en ny metod för bestämning av den dimensionerande nivån för Vänern (Bergström, m.fl., 2010). Den tar sin utgångspunkt i förhållandena 2000/2001 och de speciella regleringsförhållanden som gäller för Vänern. För övrigt följer den i stort sett riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar för flödesdimensioneringsklass I. De resultat som rör Vänern i föreliggande rapport härrör från projektet

*Fördjupad studie rörande översvämningsriskerna för Vänern och redovisas med uppdragsgivarens medgivande.*



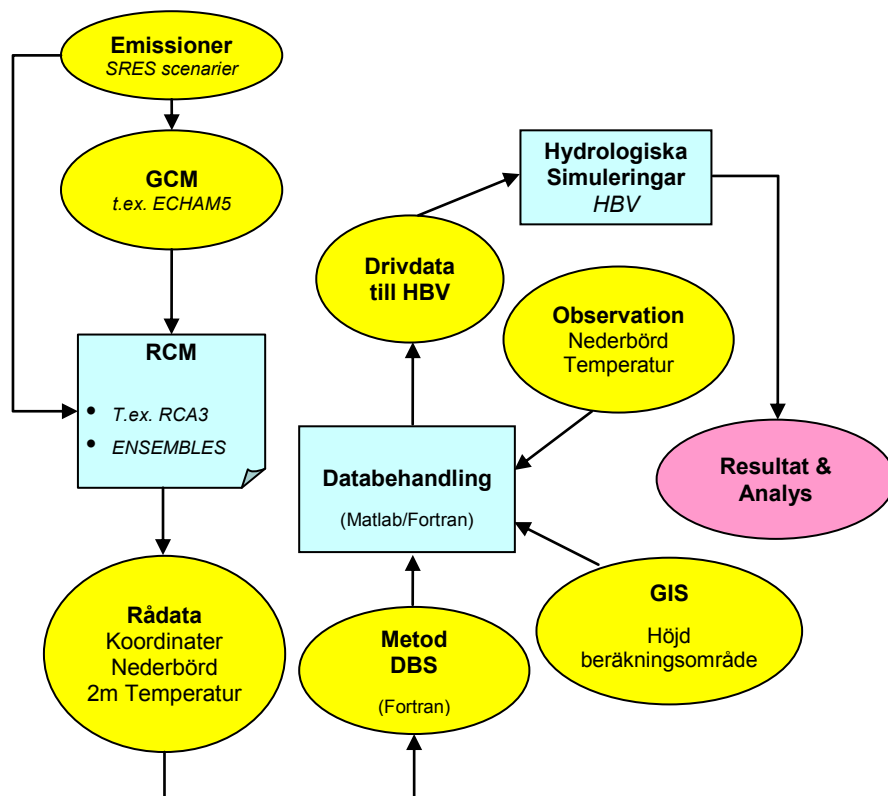
**Figur 2.9.** Flygbild över Seitevare-dammen med Tjaktjajaure magasinet nästan uppe vid dämningräns (överst till vänster, copyright Vattenfall, fotograf Jennie Nilede), utskov i Torpshammar med pågående spill (överst till höger, copyright Vattenfall, fotograf Erik Nordström), flygbild över Trängslettdammen (nederst till vänster, copyright Fortum, fotograf Stefan Sjödin), samt Gruvsjön (nederst till höger, copyright Boliden, fotograf Jenny Gotthardsson).

## 3 Resultat

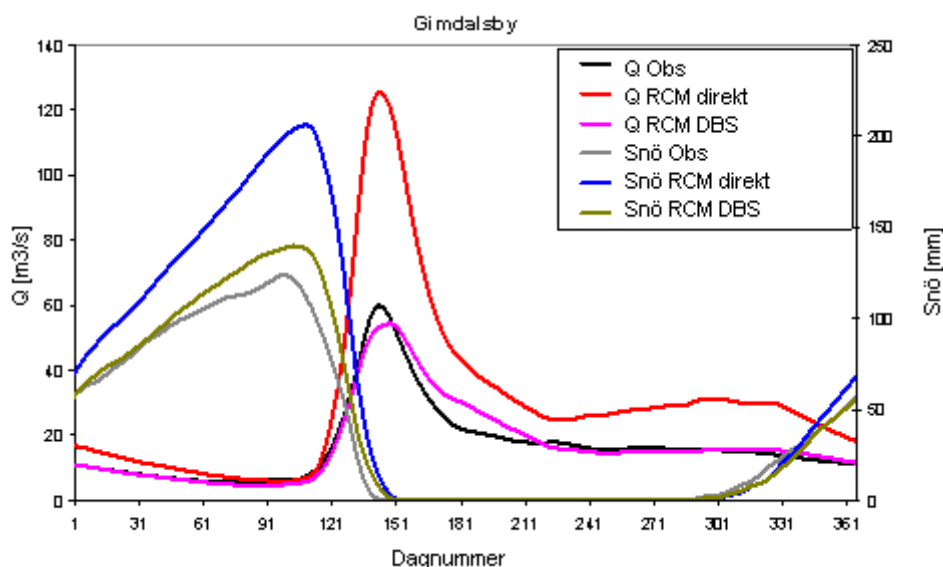
### 3.1 Anpassning av klimatmodelldata

Utveckling av den nya DBS-metoden för att koppla samman klimatmodell-simuleringar med HBV-modellen ägnades stor kraft under projektets första år, både inom detta projekt, men även via andra forskningsprojekt (Yang m.fl., 2010).

Grundprincipen för DBS-metoden är att statistisk analys av långa tidsserier av observerade klimatdata används för att justera klimatmodellernas utdata. Med hjälp av denna justering är det möjligt att använda tidsserier av utdata från klimatmodellerna som indata direkt till HBV-modellen. Systemet sammanfattas i figur 3.1. Genom DBS-metoden justeras klimatmodellernas utdata till nivåer som överrensstämmer bättre med observationer samtidigt som klimatmodellernas variabilitet bibehålls. Effekterna av denna process tillämpad på flödesberäkningar för Gimdalsby i Gimån visas i figur 3.2. Figuren visar att med hjälp av DBS-metoden så erhålls mer realistiska nivåer på modellberäknat flöde och vatteninnehåll i snötäcket.



**Figur 3.1.** Schematisk skiss över systemet för tillämpning av DBS-metoden. Gul färg indikerar olika databaser och ljusblå färg indikerar beräkningar.

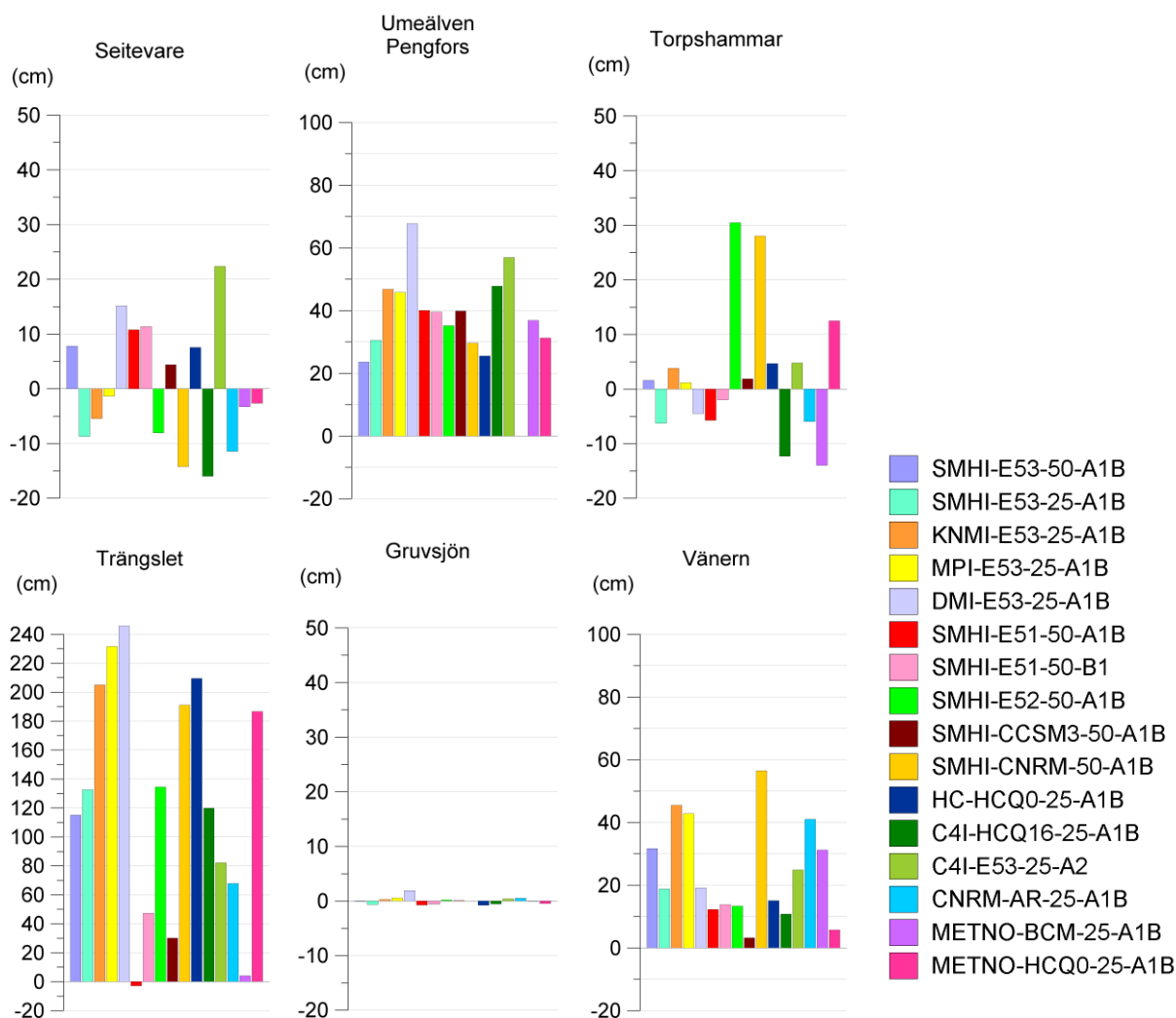


**Figur 3.2.** Genomsnittlig årsvariation av modellberäknat flöde och snötäcke baserat på observerade klimatdata (obs) samt okorrigerade utdata från regional klimatmodell (RCM direkt) respektive klimatmodelldata som har korrigerats med DBS-metoden (RCM DBS).

### 3.2 Utvärdering av data från klimatmodellerna

De tidsserier som klimatmodellerna genererar kan inte jämföras med verkliga observationer under specifika år. De representerar i stället ett antal typiska år med ungefär samma statistiska egenskaper som dagens klimat. Dessutom finns det, trots skaleringen med DBS-metoden, kvar en del systematiska fel i utdata från de regionala klimatmodellerna. Detta gör det vanskligt att jämföra en dimensioneringsberäkning under dagens klimat, baserad på observerade klimatdata, med en beräkning i framtidens klimat, baserad på modelldata.

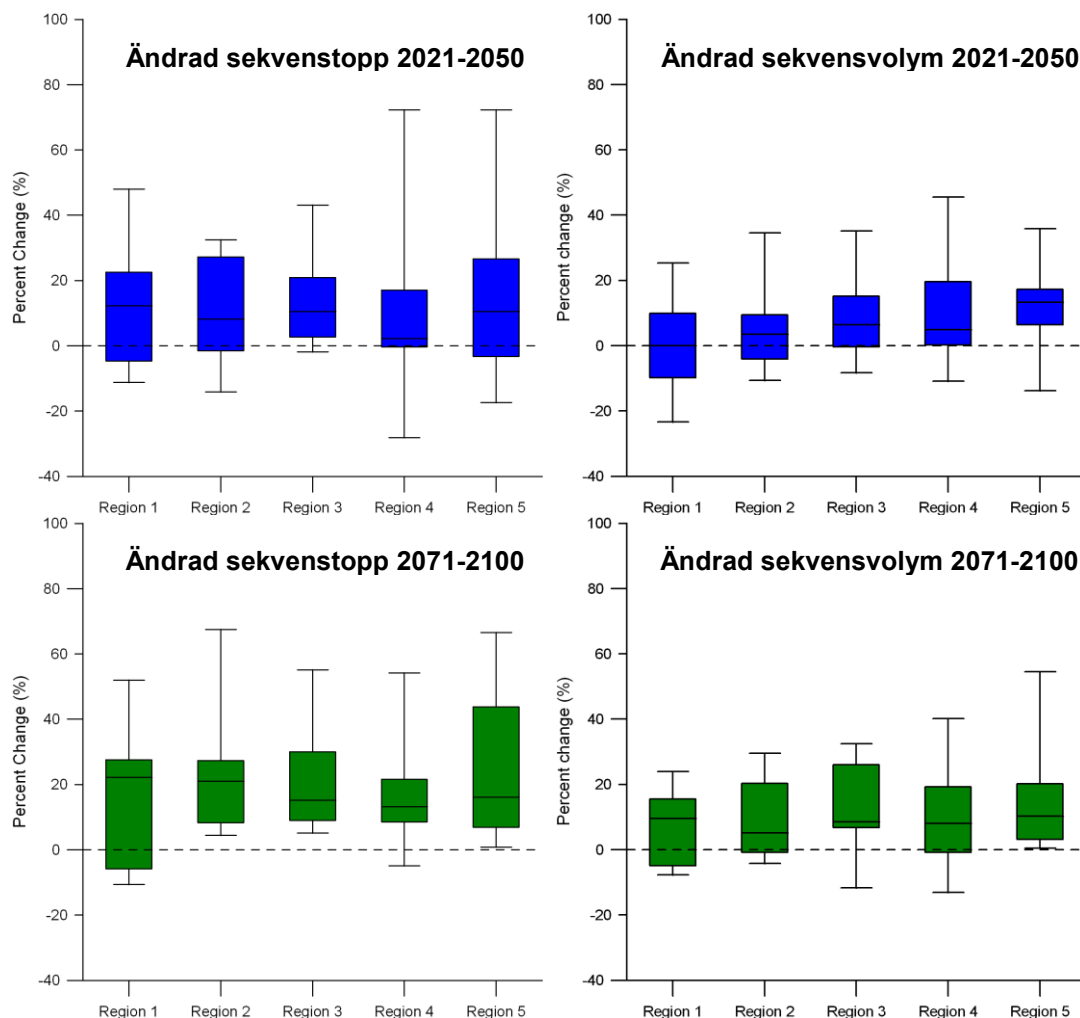
Mot denna bakgrund används i detta projekt modelldata även för beräkning av flöden under dagens klimatförhållanden. Då återstår frågan om hur denna typ av dimensioneringsberäkning jämför sig med en traditionell beräkning baserad på observationer. Figur 3.3 visar hur mycket det beräknade dimensionerande vattenståndet baserat på data från klimatmodellerna för dagens klimat avviker från motsvarande beräkningar som baserats på observerade data för sex av testområdena. Skillnaderna dem emellan är ibland ganska stora och varierar kraftigt mellan områdena och mellan olika klimatsimuleringar. Den fortsatta analysen grundar sig av denna anledning på skillnaden mellan klimatmodellbaserade beräkningar för dagens klimat respektive framtidens klimat.



**Figur 3.3.** Avvikelse mellan beräknat dimensionerande vattenstånd för dagens klimat baserat på observationer och motsvarande värde baserat på 16 olika klimatsimuleringar.

### 3.3 Nederbördsextremer

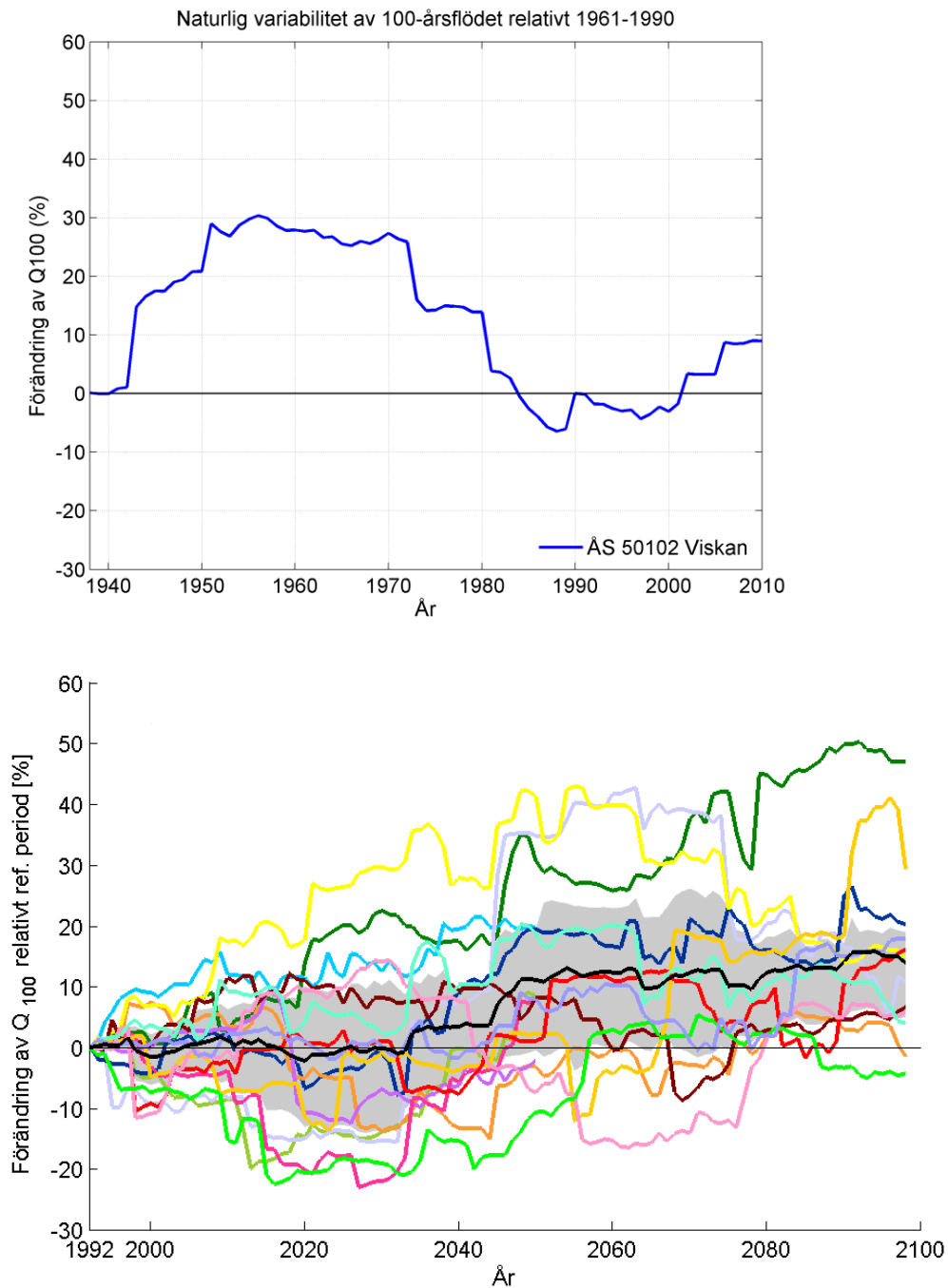
I avsnitt 2.8 beskrivs hur den dimensionerande sekvensens maxvärde (dag 9) och dess totala volym tas fram ur de regionala klimatscenerierna. Resultatet av denna process redovisas för nio klimatscenerierna i figur 3.4. Det är intressant att notera att den dimensionerande nederbördssekvensen ökar i samtliga regioner och att skillnaderna mellan regionernas ökningstakt är ganska måttliga.



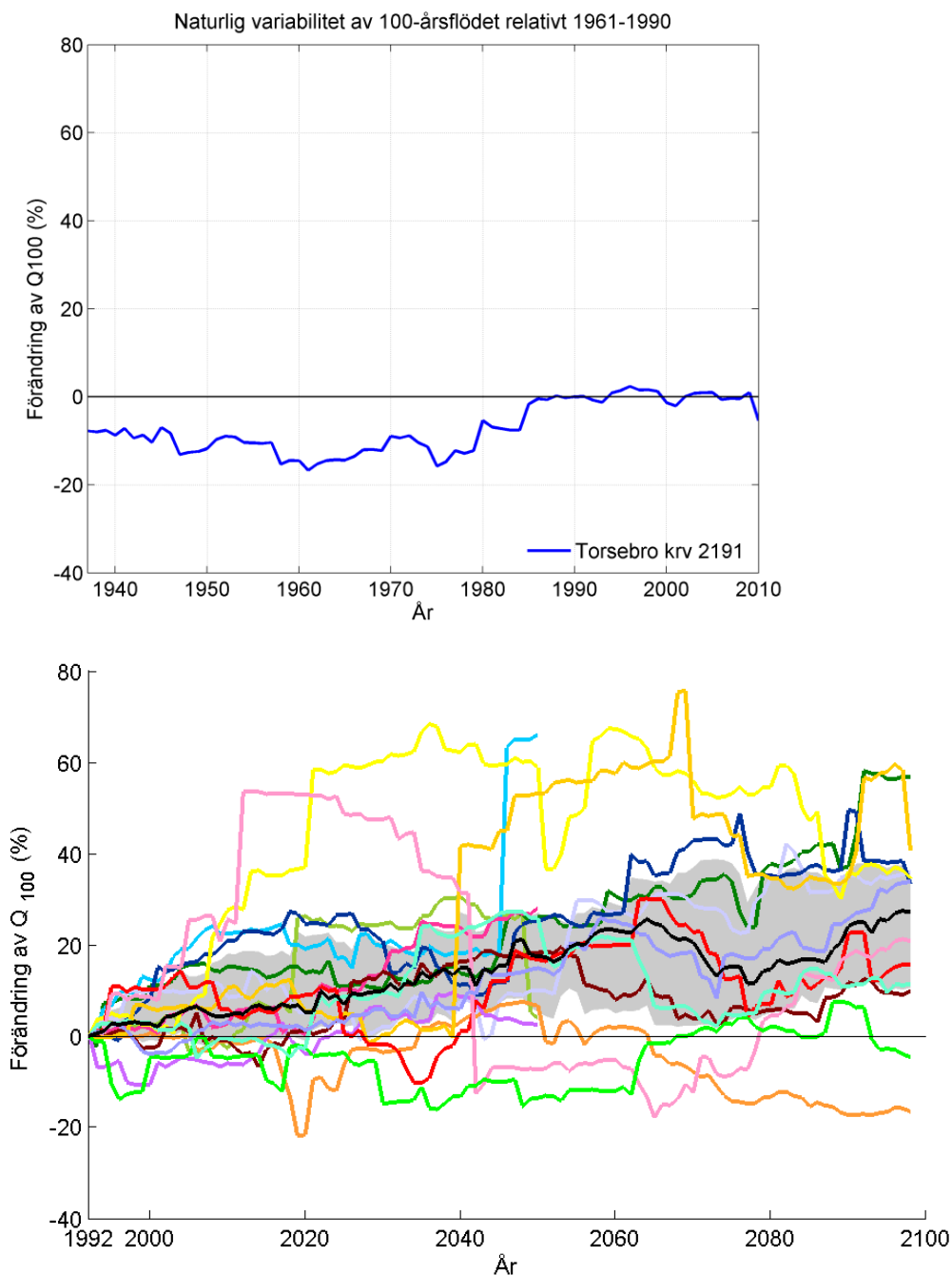
**Figur 3.4.** Förändring av den dimensionerande nederbördssekvensens maxvärde (vänster) och totala volym (höger) för två framtida tidsperioder enligt 16 klimatscenarier 2021-2050 och 12 klimatscenarier 2071-2100.

### 3.4 Förändring av 100-årsflöden

Förändring av 100-årsflödet har beräknats löpande för varje 30-årsperiod efter 1961-1990 (t.ex. 1962-1991, 1963-1992 o.s.v.). 100-årsflödet beräknat för perioden 1961-1990 utgör startpunkt från vilken förändringarna beräknas (referensperiod). I Figur 3.5 visas som exempel en sådan beräkning för mätstationen Ås i Viskan och i Figur 3.6 motsvarande för Torsebro kraftverk i Helge å. I figurerna visas först den naturliga variationen i en löpande frekvensanalys baserad på 30 år, därefter resultat från 16 klimatsimuleringar (12 stycken efter år 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje årsvärde i diagrammet har beräknats med frekvensanalys av maxvärdena för de föregående 30 åren. Det grå fältet visar variation mellan 25:e och 75:e percentilen och den svarta linjen visar medianen av samtliga klimatscenarier.



**Figur 3.5.** Procentuell förändring av 100-årsflödet för mätstationen Ås i Viskan. Överst visas den naturliga variationen i en löpande frekvensanalys baserad på 30 år i relation till referensperioden 1961-1990. Det nedre diagrammet visar resultat från 16 klimatsimuleringar (12 stycken efter år 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de föregående 30 åren. Det grå fältet visar variation mellan 25:e och 75:e percentilen och den svarta linjen visar medianen av samtliga klimatscenarier.



**Figur 3.6.** Procentuell förändring av 100-årsflödet för Torsebro kraftverk i Helge å. Överst visas den naturliga variationen i en löpande frekvensanalys baserad på 30 år i relation till referensperioden 1961-1990. Det nedre diagrammet visar resultat från 16 klimatsimuleringar (12 stycken efter år 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de föregående 30 åren. Det grå fältet visar variation mellan 25:e och 75:e percentilen och den svarta linjen visar medianen av samtliga klimatscenarier.



Redovisningen av den naturliga variabiliteten i figur 3.5 och 3.6 syftar till att ge perspektiv på klimatsimuleringarna. De visar att den genomsnittliga förändringen av 100-årsflödet under lång tid kommer att ligga inom gränserna för vad som är naturlig variabilitet under andra hälften av 1900-talet i de redovisade områdena.

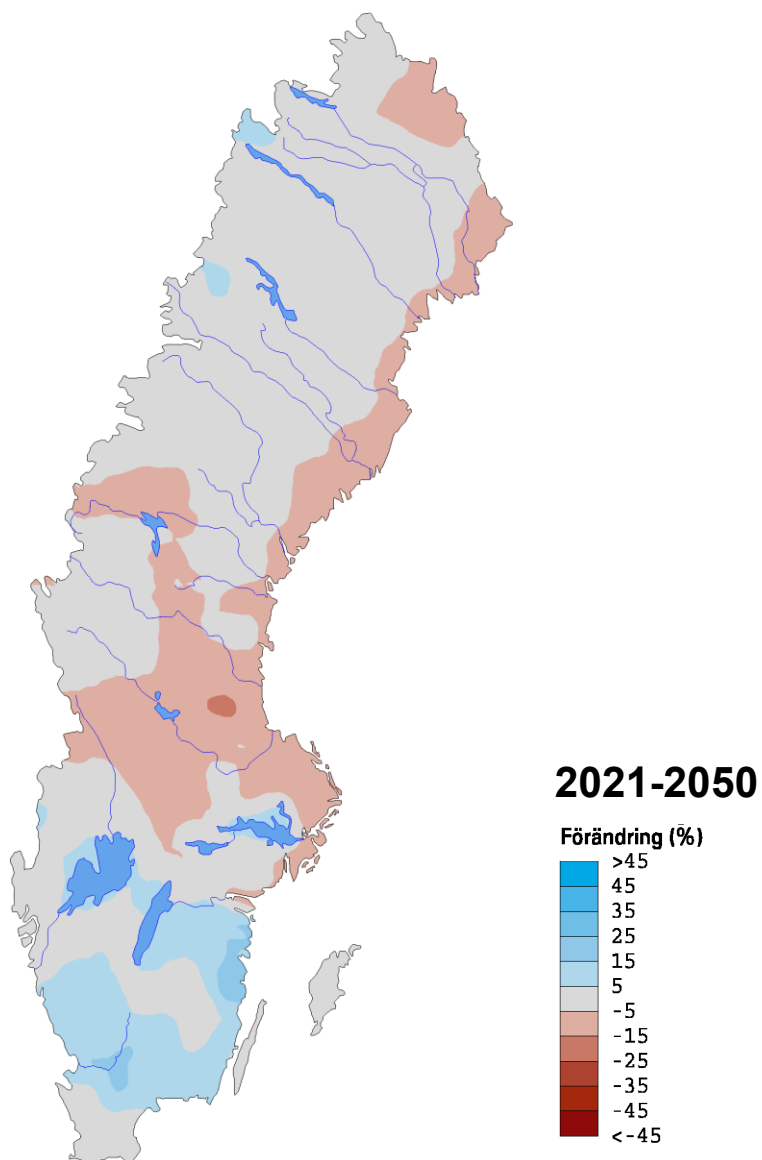
Löpande beräkningar av 100-årsflöden har gjorts för 1001 avrinningsområden täckande i stort sett hela Sverige och angränsande delavrinningsområden som rinner till Sverige. Två utsnitt av beräkningarna, gällande tidsperioderna 2021-2050 respektive 2069-2098, har därefter interpolerats och presenterats i kartform. Beräkningarna har uppdelats i två avsnitt, lokal vattenföring vilket är en interpolation av vart och ett av de 1001 avrinningsområdena och alltså representerar mindre vattendrag, samt total vattenföring där varje punkt på kartan representerar en summering av uppströms liggande biflöden. De senare kartbilderna fångar upp förhållandena i de större vattendragen. Observera att beräkningen avser oreglerade förhållanden.

Ändringar av 100-årsflödena avseende lokal vattenföring från perioden 1963-1992 till perioden 2021-2050 redovisas i figur 3.7. I figur 3.8 visas statistiska mått såsom min- och maxvärden samt 25 % och 75 % percentiler för perioden. Figur 3.9 och 3.10 visar motsvarande resultat för lokal avrinning för perioden 2069-2098.

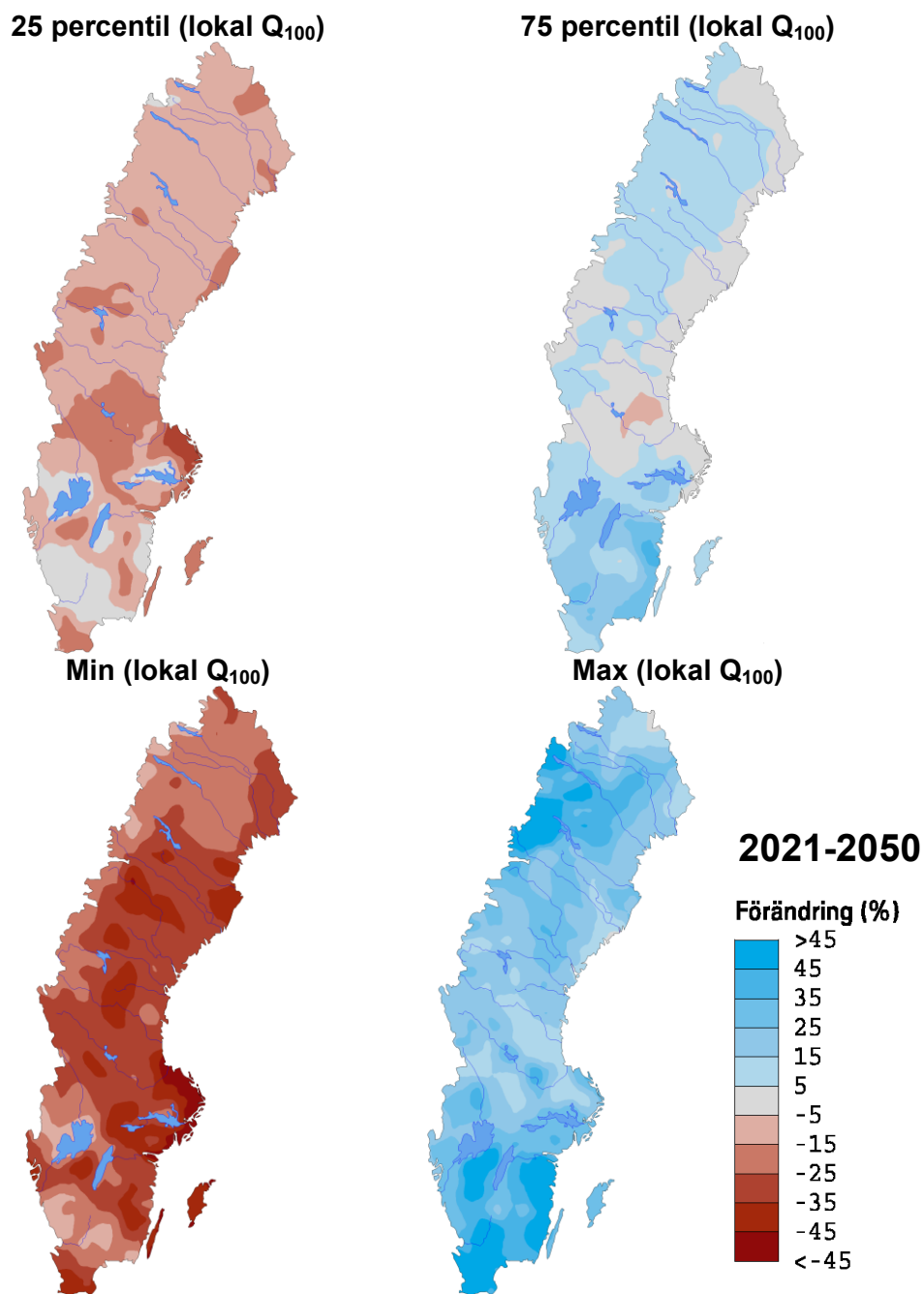
Observera att kartorna inte begränsas av Sveriges nationsgränser utan gränserna för de avrinningsområden vars vattendrag rinner genom Sverige. Därför ser kartan inte ut som en riktig Sverigekarta. Den inkluderar biflöden från Norge och Finland, exempelvis Muonio älv. Mindre vattendrag som rinner från Sverige över gränsen till Norge eller Finland är inte medtagna.

Ändringar av 100-årsflödena avseende total vattenföring från perioden 1963-1992 till perioden 2021-2050 redovisas i figur 3.11. I figur 3.12 visas statistiska mått såsom min- och maxvärden samt 25 % och 75 % percentiler för perioden. Figur 3.13 och 3.14 visar motsvarande resultat för total avrinning för perioden 2069-2098.

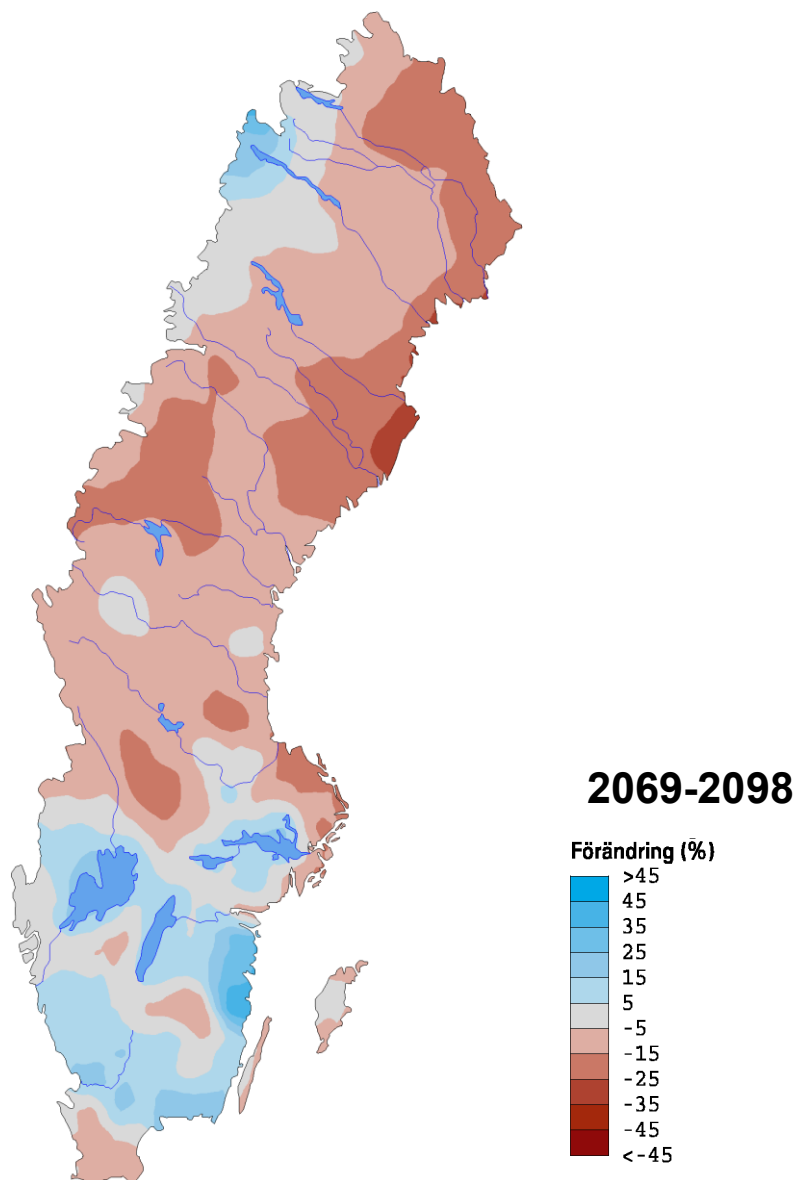
Den samlade bilden av den beräknade ändringen av såväl den lokala som den totala vattenföringen är att det går en markant gräns genom Sverige ungefär längs en linje från Karlstad till Mälardalen. Norr om denna minskar de beräknade 100-årsnivåerna, åtminstone mot slutet av seklet, med undantag av i nordvästligaste delen av Norrland där en ökning är tydlig. I södra Sverige ökar de beräknade 100-årsflödena nästan generellt mot slutet av seklet, utom i Skåne, på Öland och Gotland och i mindre delar av Västergötland och Småland som uppvisar en minskning. Som framgår av de redovisade statistiska måtten (figur 3.8, 3.10, 3.12 och 3.14) är dock spridningen betydande mellan de olika scenarierna.

**Medel (lokal  $Q_{100}$ )**

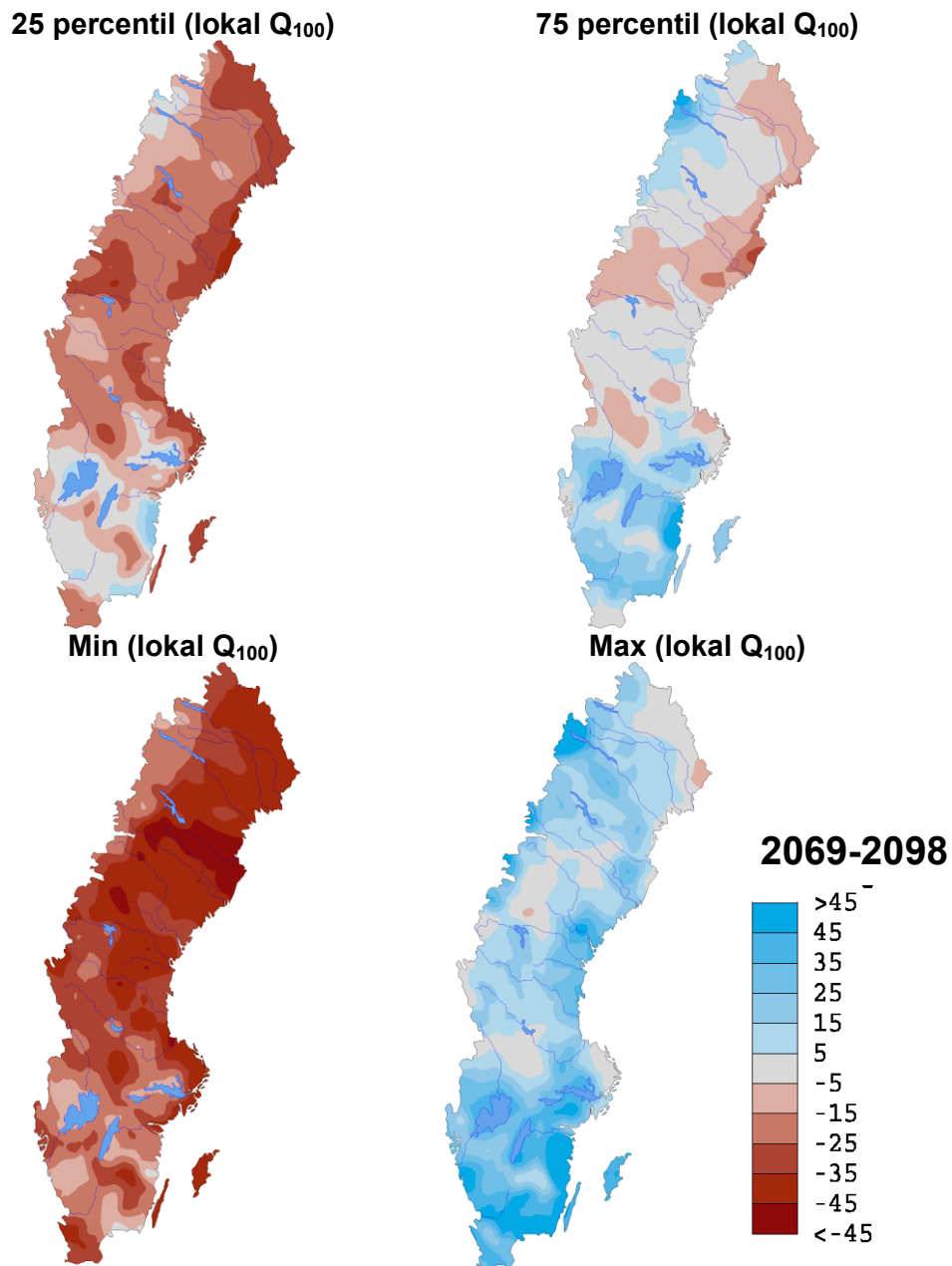
**Figur 3.7.** Förändring av 100-årsflödets storlek beräknat på lokal vattenföring i varje beräkningspunkt för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden (1963-1992). Medelvärde baserat på resultat från 16 klimatsimuleringar. Observera att kartan inte begränsas av Sveriges nationsgränser utan av gränserna för de avrinningsområden vars vattendrag rinner genom Sverige.



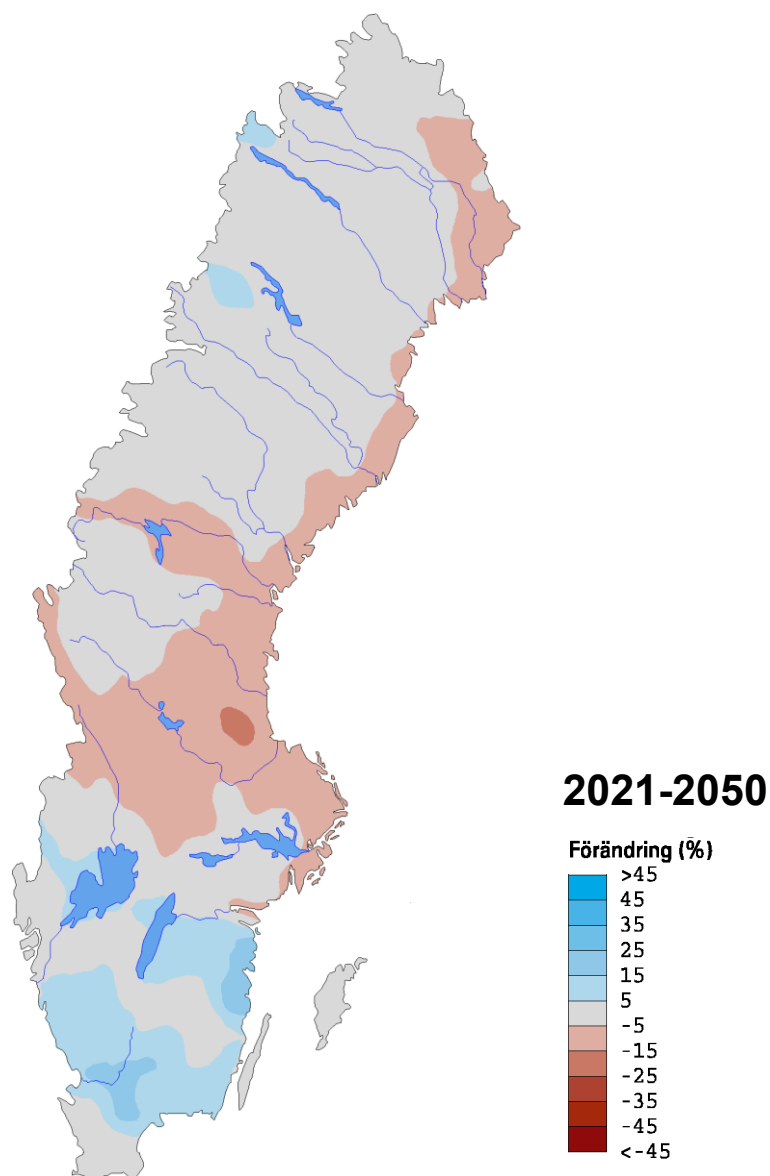
**Figur 3.8.** Förändring av 100-årsflödets storlek beräknat på lokal vattenföring i varje beräkningspunkt för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden (1963-1992). Statistiska mått baserat på resultat från 16 klimatsimuleringar. Observera att kartorna inte begränsas av Sveriges nationsgränser utan av gränserna för de avrinningsområden vars vattendrag rinner genom Sverige.

**Medel (lokal  $Q_{100}$ )**

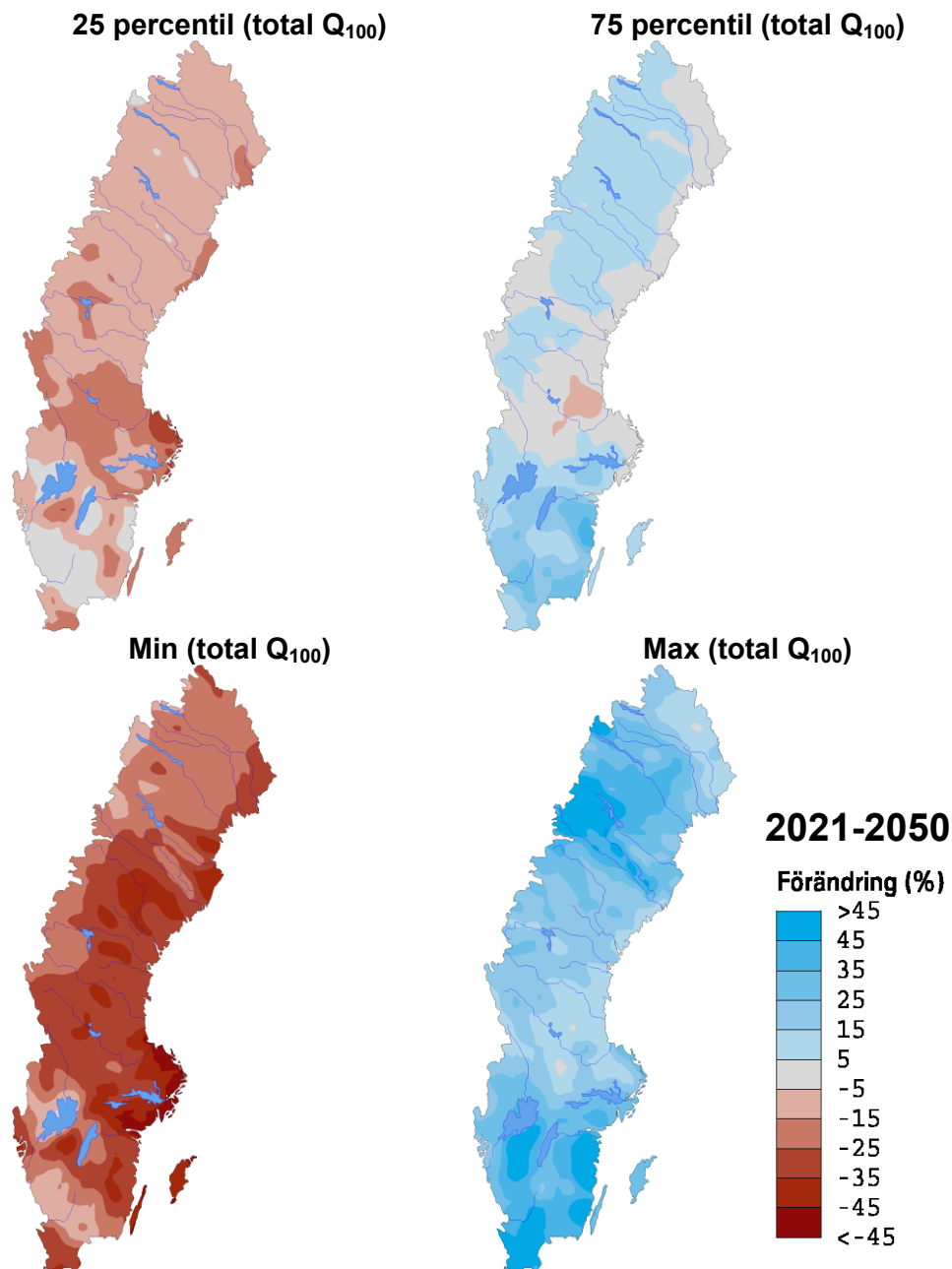
**Figur 3.9.** Förändring av 100-årsflödets storlek beräknat på lokal vattenföring i varje beräkningspunkt för perioden 2069-2098 jämfört med referensperioden (1963-1992). Medelvärde baserat på resultat från 12 klimatsimuleringar. Observera att kartan inte begränsas av Sveriges nationsgränser utan av gränserna för de avrinningsområden vars vattendrag rinner genom Sverige.



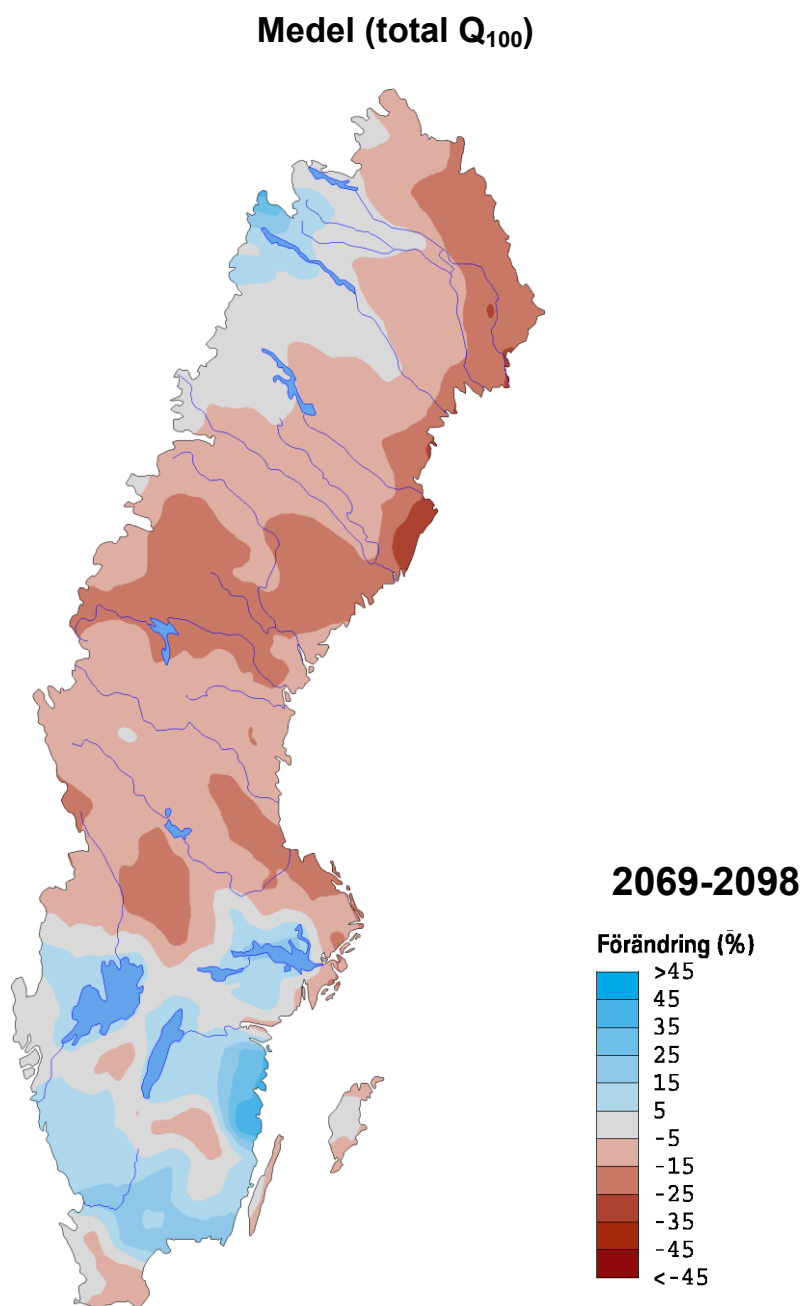
**Figur 3.10.** Förändring av 100-årsflödets storlek beräknat på lokal vattenföring i varje beräkningspunkt för perioden 2069-2098 jämfört med referensperioden (1963-1992). Statistiska mått baserat på resultat från 12 klimatsimuleringar. Observera att kartorna inte begränsas av Sveriges nationsgränser utan av gränserna för de avrinningsområden vars vattendrag rinner genom Sverige.

**Medel (total  $Q_{100}$ )**

**Figur 3.11.** Förändring av 100-årsflödets storlek beräknat på total vattenföring i varje beräkningspunkt för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden (1963-1992). Medelvärde baserat på resultat från 16 klimatsimuleringar. Observera att kartan inte begränsas av Sveriges nationsgränser utan av gränserna för de avrinningsområden vars vattendrag rinner genom Sverige.

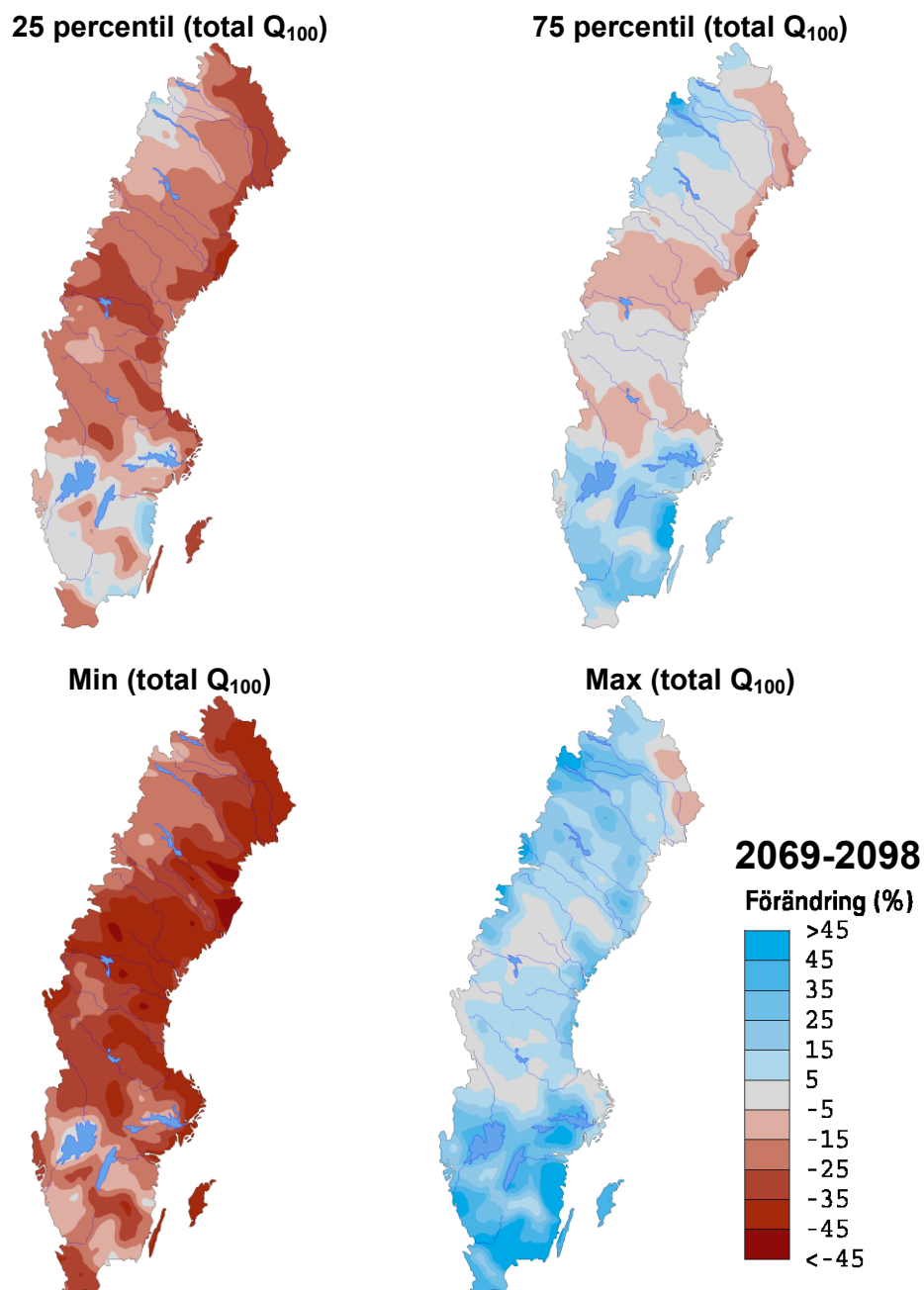


**Figur 3.12.** Förändring av 100-årsflödets storlek beräknat på total vattenföring i varje beräkningspunkt för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden (1963-1992). Statistiska mått baserat på resultat från 16 klimatsimuleringar. Observera att kartorna inte begränsas av Sveriges nationsgränser utan av gränserna för de avrinningsområden vars vattendrag rinner genom Sverige.



**Figur 3.13.** Förändring av 100-årsflödets storlek beräknat på total vattenföring i varje beräkningspunkt för perioden 2069-2098 jämfört med referensperioden (1963-1992). Medelvärde 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.





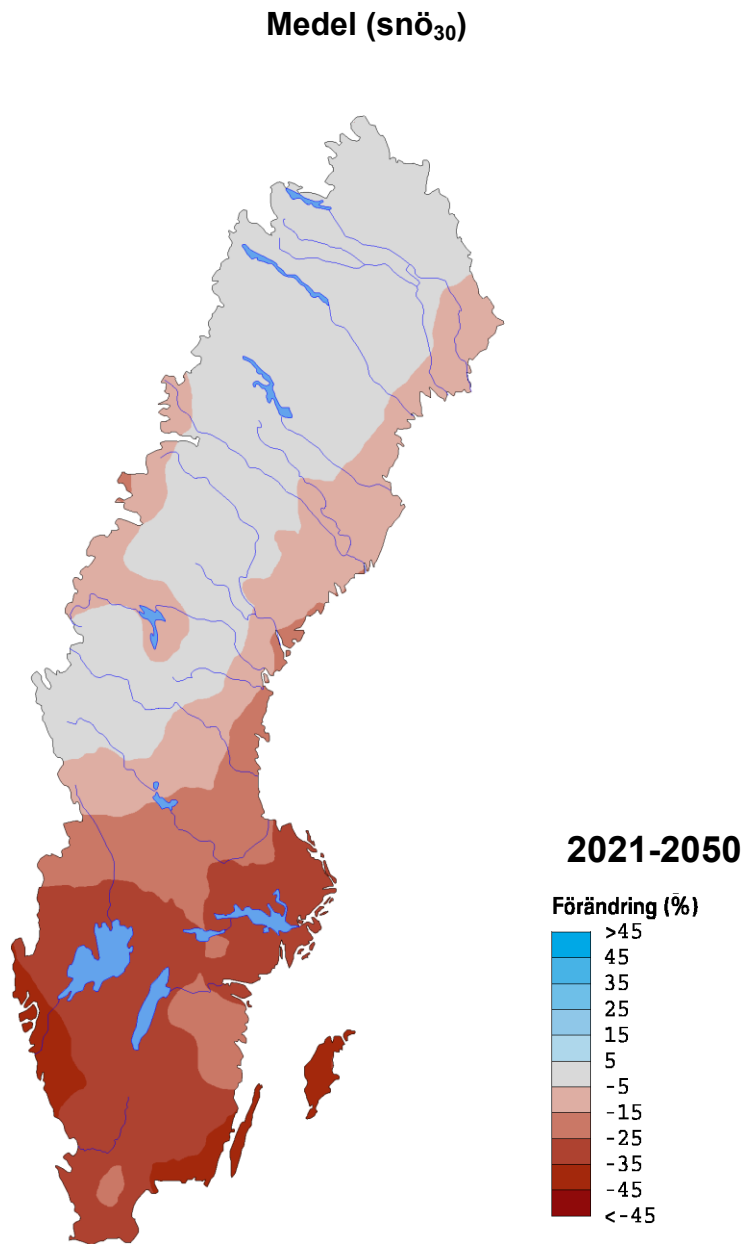
**Figur 3.14.** Förändring av 100-årsflödets storlek beräknat på total vattenföring i varje beräkningspunkt för perioden 2069-2098 jämfört med referensperioden (1963-1992). Statistiska mått baserat på resultat från 12 klimatsimuleringar. Observera att kartorna inte begränsas av Sveriges nationsgränser utan av gränserna för de avrinningsområden vars vattendrag rinner genom Sverige.

### 3.5 Förändring av snötäckets 30-årsvärden

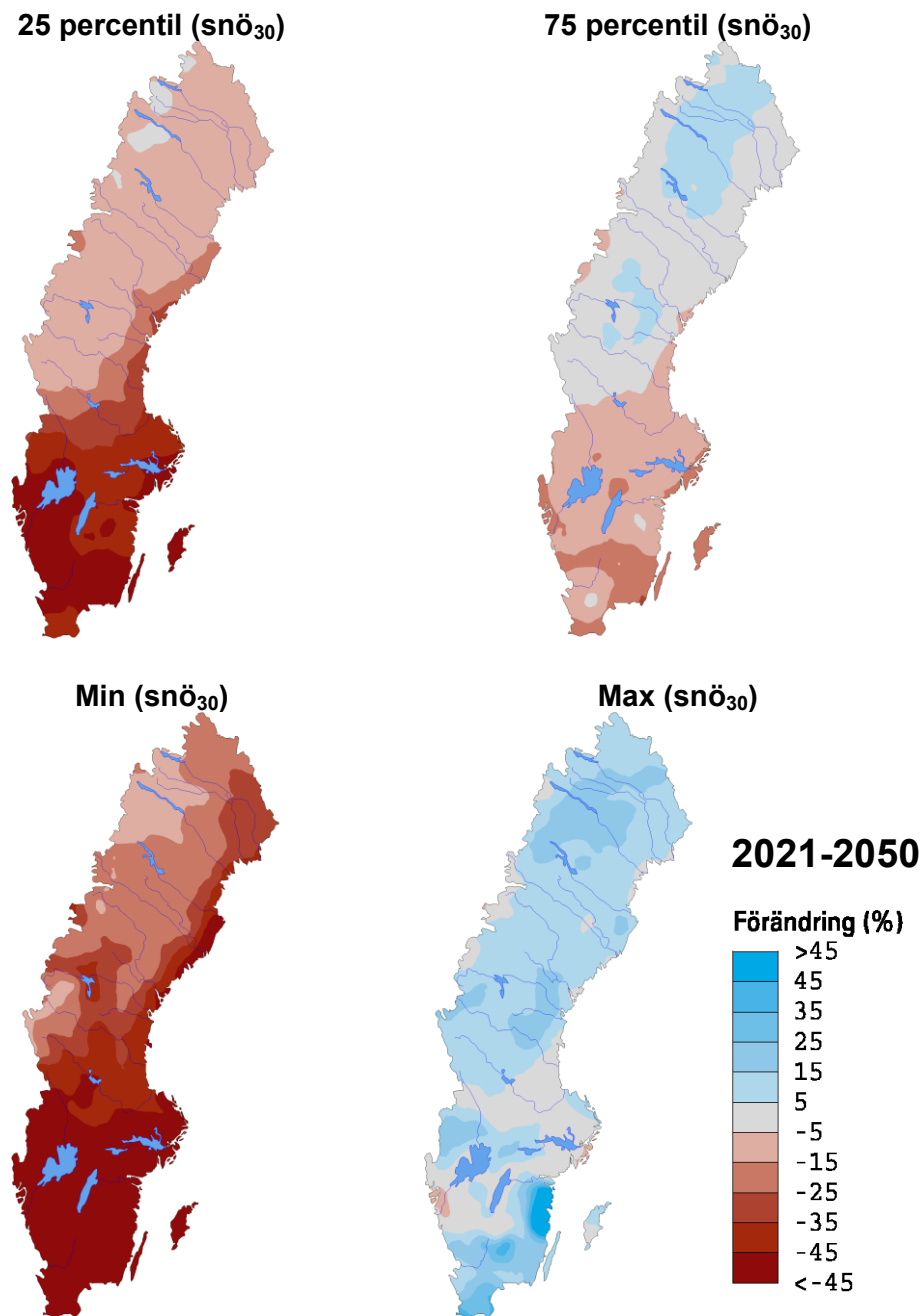
Enligt riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar skall ett modellberäknat snömagasin med 30 års återkomsttid vara en utgångspunkt för den hydrologiska simuleringen som leder fram till ett flöde i flödesdimensioneringsklass I. Därför är det av intresse att analysera hur snötäckets 30-årsvärden påverkas av ett förändrat klimat.

Figur 3.15 visar en interpolerad karta över den beräknade förändringen av 30-årssnöns storlek för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden 1963-1992. Redovisat medelvärde är baserat på resultat från 16 klimatsimuleringar. Kartorna i figur 3.16 visar olika statistiska mått för ovanstående beräkning. På motsvarande sätt visar figur 3.17 en interpolerad karta över den beräknade förändringen av 30-årssnöns storlek för perioden 2069-2098 jämfört med referensperioden 1963-1992. Redovisat medelvärde är baserat på resultat från 12 klimatsimuleringar. Kartorna i figur 3.18 visar olika statistiska mått för dessa beräkningar.

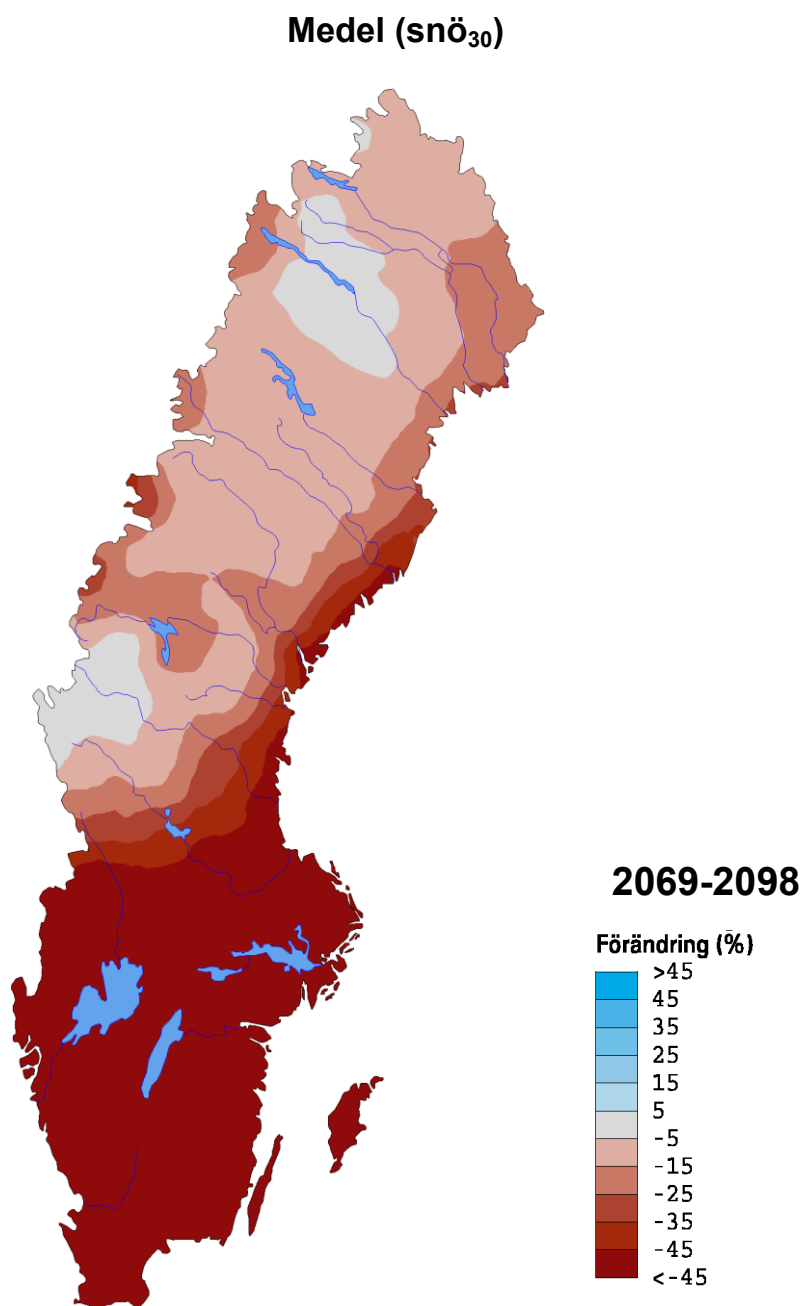
Figurerna 3.15 – 3.18 visar att det dimensionerande snömagasinet har en tendens att minska på grund av uppvärmningen, som beräknas bli speciellt stor vintertid. Denna signal är inte entydig, men blir mer tydlig mot slutet av seklet. Detta är en skillnad jämfört med resultat från tidigare studier då den dåvarande metodiken (Delta-metoden) utan undantag gav minskat snömagasin med en ökad medeltemperatur (Andréasson m.fl., 2006).



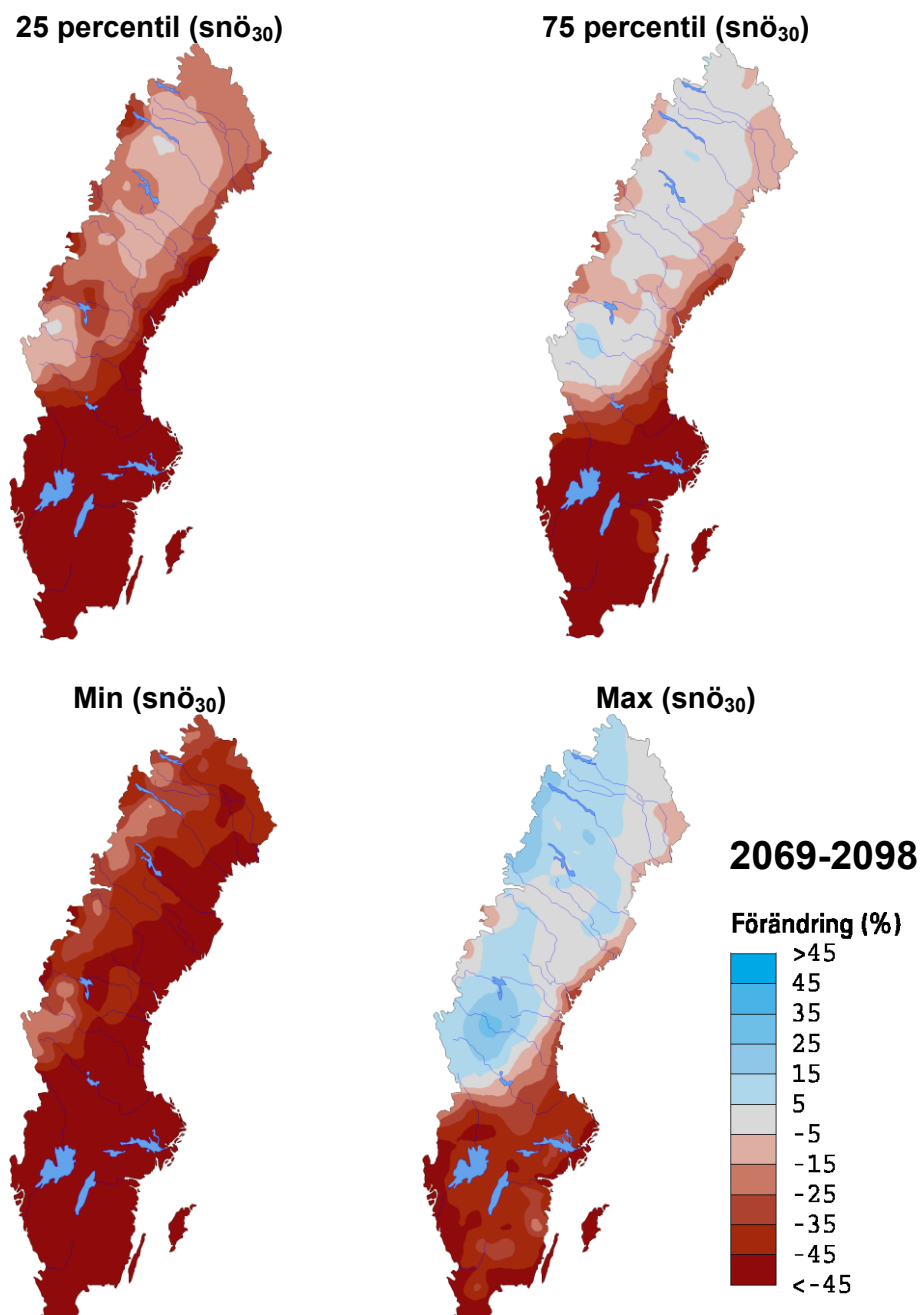
**Figur 3.15.** Förändring av 30-årssnös storlek beräknat för varje beräkningspunkt för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden (1963-1992). Medelvärde baserat på resultat från 16 klimatsimuleringar. Observera att kartan inte begränsas av Sveriges nationsgränser utan av gränserna för de avrinningsområden vars vattendrag rinner genom Sverige.



**Figur 3.16.** Förändring av 30-årssnöns storlek beräknat för 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.



**Figur 3.17.** Förändring av 30-årssnös storlek beräknat för varje beräkningspunkt för perioden 2069-2098 jämfört med referensperioden (1963-1992). Medelvärde 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.



**Figur 3.18.** Förändring av 30-årssnöns storlek beräknat för varje beräkningsspunkt för perioden 2069-2098 jämfört med referensperioden (1963-1992). Statistiska mått baserat på resultat från 12 klimatsimuleringar. Observera att kartorna inte begränsas av Sveriges nationsgränser utan av gränserna för de avrinningsområden vars vattendrag rinner genom Sverige.

### 3.6 Beräkningar för flödesdimensioneringsklass I

Beräknade förändringar av det dimensionerande flödet i flödesdimensioneringsklass I enligt riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar har genomförts i 10 av de 11 områden som redovisades i avsnitt 2.13. Undantaget utgörs av Vätern. Där har i stället den metod som utvecklades av Bergström m.fl. (2010) tillämpats. I det följande redovisas resultaten separat för vart och ett av de 11 områdena. Redovisningen inleds med en översiktlig bild av klimatets beräknade förändring i respektive område, beräknat med klimatscenerierna i tabell 2.1. Därefter följer ett diagram som beskriver hur de olika komponenterna i en beräkning enligt flödesdimensioneringsklass I påverkas av olika klimatscenerier.

I riktlinjerna för beräkning av dimensionerande flöden i flödesdimensioneringsklass I finns ett tilläggskrav på avbördningen som har tillkommit för undvikande av att höga vattenstånd drabbar magasinets stränder alltför ofta. Detta krav formuleras på följande sätt:

*”Dammanläggningen ska vid dämningensgränsen även kunna framsläppa ett tillrinnande flöde med en återkomsttid av minst 100 år.”*

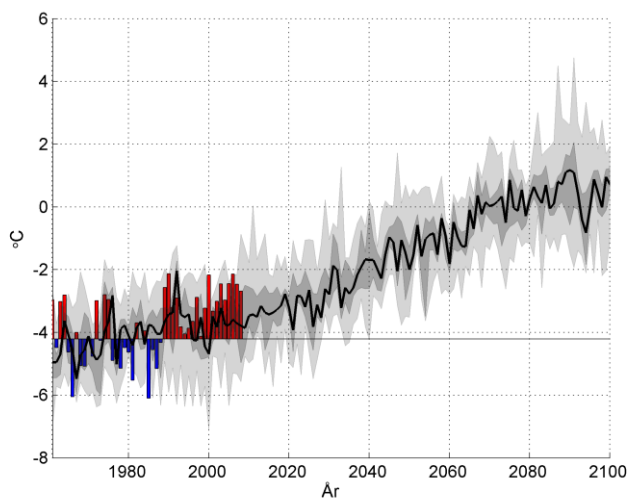
Kravet ovan gör det relevant att även redovisa utvecklingen av 100-årsflödet för de magasin där flöden i flödesdimensioneringsklass I studerats. Denna beräkning redovisas separat för respektive område i det följande. Observera att beräkningen avser oregrerade förhållanden.

I redovisningen av respektive område lämnas en kortfattad värdering av resultaten. Denna skall dock inte tolkas bokstavligen utan är mer tänkt som en hjälp att tolka diagrammen. Avsnittet avslutas med en tabell där beräkningarna sammanfattas för att ge en överblick över resultaten.

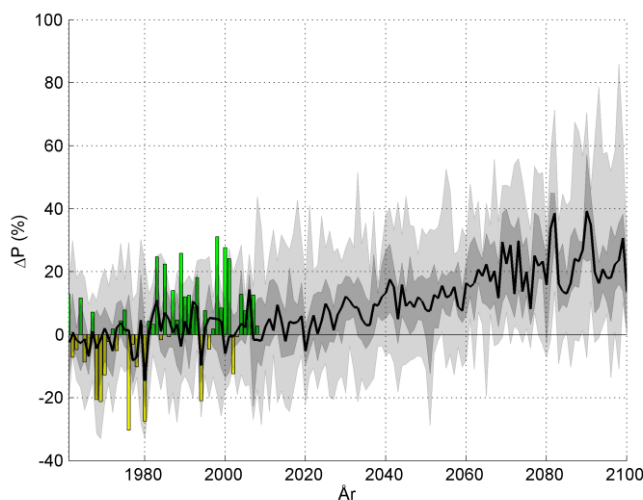
#### **Seitevare**

I figur 3.19 och 3.20 redovisas den modellberäknade utvecklingen av lufttemperaturen och nederbörden i Seitevares tillrinningsområde. Observerade data är hämtade från den s.k. PTHBV-databasen som beskrivs närmare i avsnitt 2.12. Referensperioden är 1961-1990.

Den beräknade ökningen av årsmedeltemperaturen i Seitevares tillrinningsområde ligger på ca 4-5 grader under seklet, medan den beräknade årsnederbörden ökar med 20-40 %.



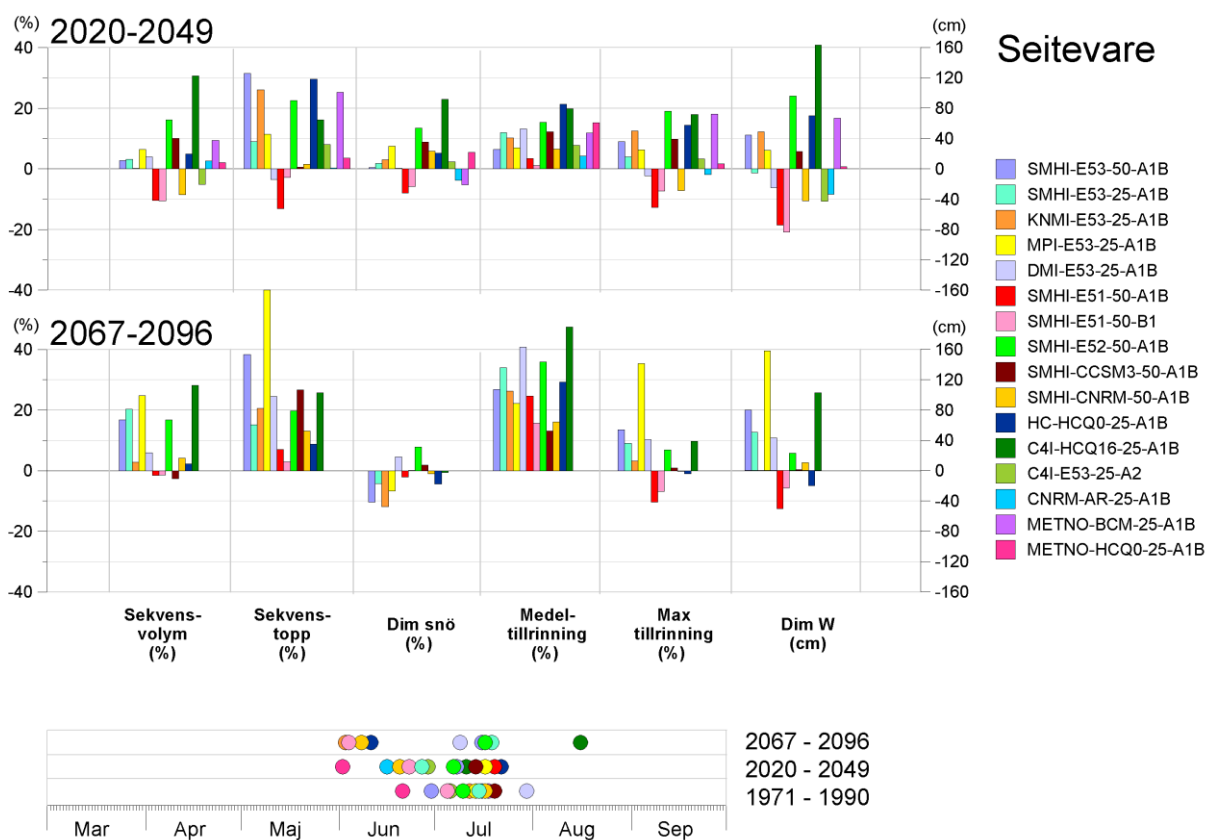
**Figur 3.19.** Beräknad utveckling av årsmedeltemperatur i Seitevares tillrinningsområde baserad på samtliga klimatscenarier i tabell 2.1. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Referensperioden är 1961-1990.



**Figur 3.20.** Beräknad utveckling av årsnederbörden i Seitevares tillrinningsområde baserad på samtliga klimatscenarier i tabell 2.1. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Referensperioden är 1961-1990.



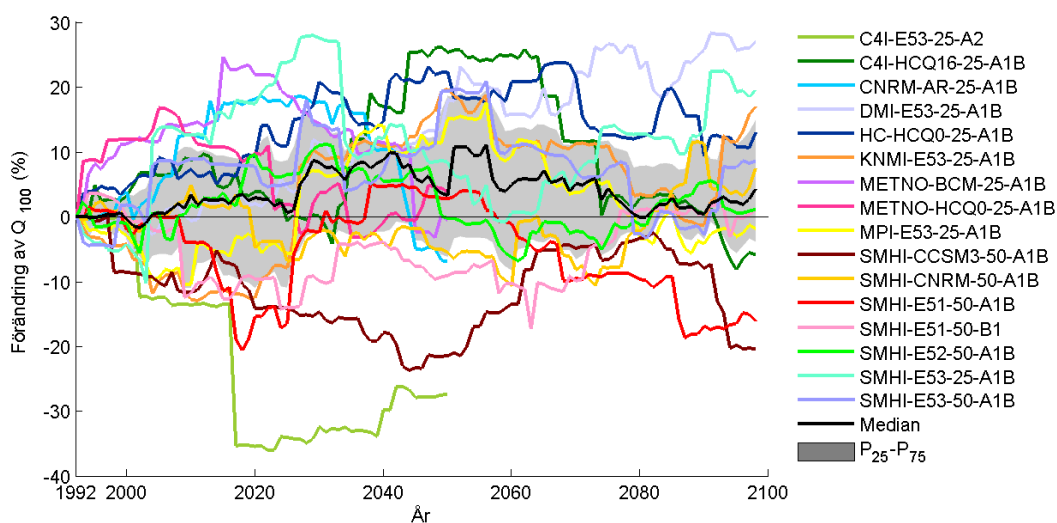
Beräkningarna enligt flödesdimensioneringsklass I för Seitevare sammanfattas i figur 3.21. Figuren visar procentuell förändring av volymen av nederbördssekvensen, sekvensens toppvärde, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning för snöberäkningsperioden och maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället, samt förändring av dimensionerande vattenstånd i cm enligt 16 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2020-2049 (överst) och enligt 12 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2067-2096 (under). Referensperioden som beräkningarna jämförs mot är 1971-1990. Längst ner i figuren visas tidpunkt för dimensionerande vattenstånd för de tre beräkningsperioderna.



**Figur 3.21.** Procentuell förändring för Seitevare av sekvensvolym, sekvenstopp, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning för snöberäkningsperioden och maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället, samt förändring av dimensionerande vattenstånd i cm enligt 16 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2020-2049 (överst) och enligt 12 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2067-2096 (under). Referensperioden som beräkningarna jämförs mot är 1971-1990. Längst ner i figuren visas tidpunkt för dimensionerande vattenstånd för de tre beräkningsperioderna.

Sammantaget visar beräkningarna för Seitevare en ökning av den dimensionerande nivån i flödesdimensioneringsklass I efterhand som klimatet ändras. Det dimensionerande tillfället förskjuts mot ett tidigare datum på våren eller mot sommaren.

I figur 3.22 redovisas förändring av 100-årsflödet för Seitevare. Frekvensanalys har genomförts löpande för varje 30-årsperiod efter 1961-1990 (t.ex. 1962-1991, 1963-1992 o.s.v.). 100-årsflödet beräknat för perioden 1961-1990 utgör startpunkt från vilken förändringarna beräknas (referensperiod). Som synes uppvisar beräkningen i medeltal en liten förändring av tillrinningens 100-årsvärde.

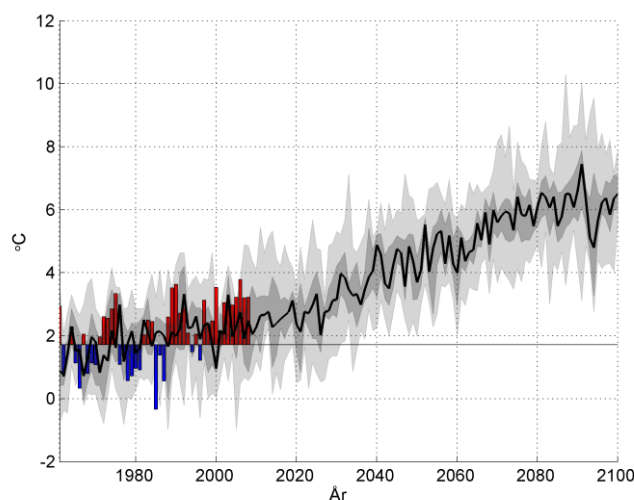


**Figur 3.22.** Procentuell förändring av 100-årsflödet för Seitevare. Diagrammet visar resultat från 16 klimatsimuleringar (12 stycken efter år 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de föregående 30 åren. Det grå fältet visar variation mellan 25:e och 75:e percentilen och den svarta linjen visar medianen av samtliga klimatscenarier.

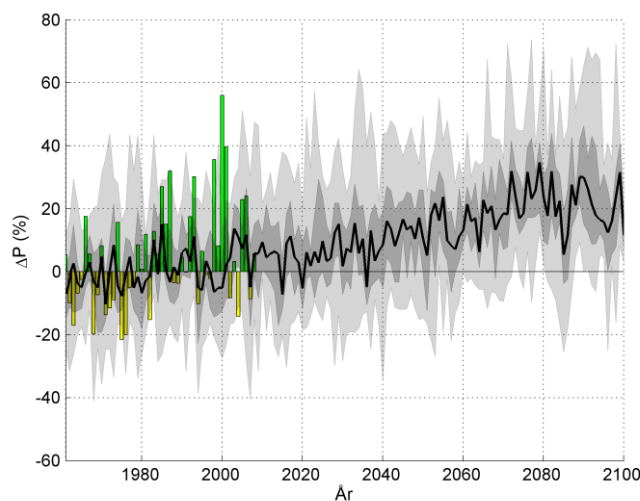
### Torpshammar

I figur 3.23 och 3.24 redovisas den modellberäknade utvecklingen av lufttemperaturen och nederbörden i Torpshammars tillrinningsområde. Observerade data är hämtade från den så kallade PTHBV-databasen som beskrivs närmare i avsnitt 2.12. Referensperioden är 1961-1990.

Den beräknade ökningen av årsmedeltemperaturen i Torpshammars tillrinningsområde ligger på ca 3-5 grader under seklet medan den beräknade årsnederbörden ökar med 10-30 %.

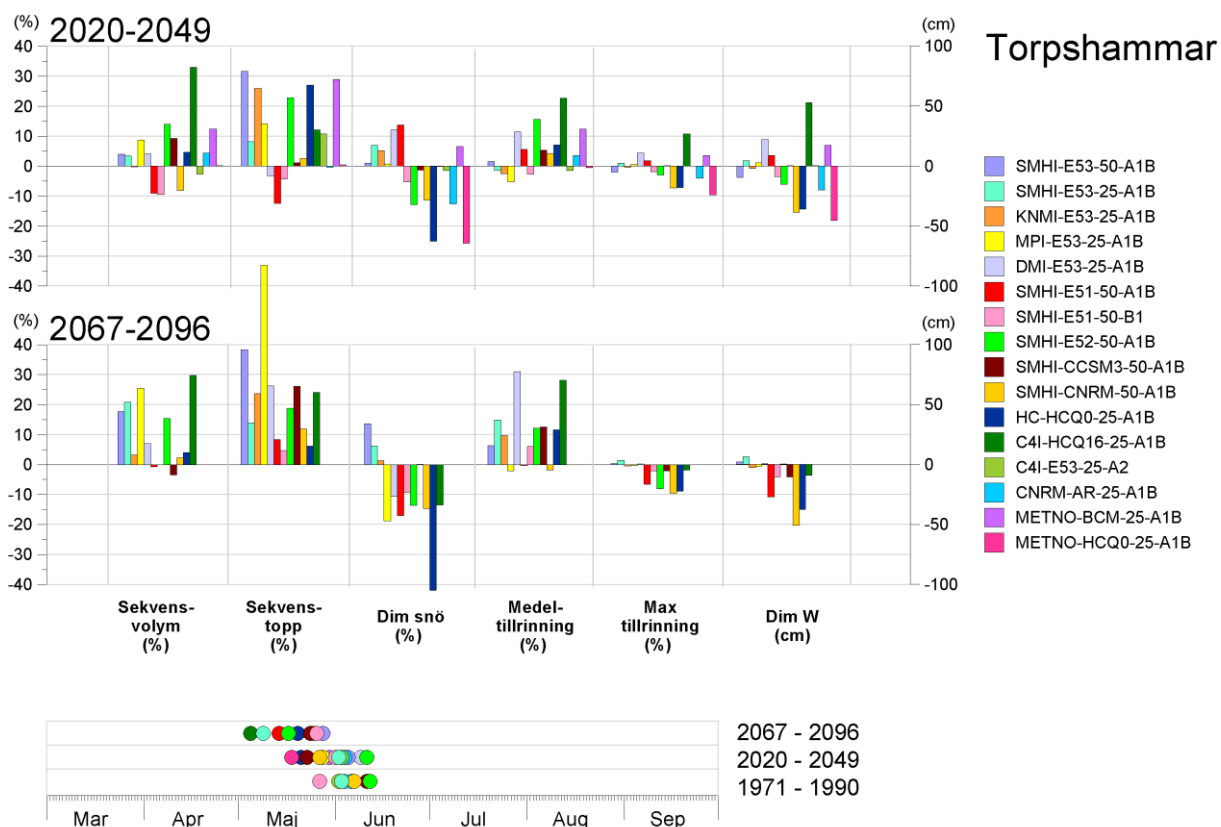


**Figur 3.23.** Beräknad utveckling av årsmedeltemperatur i Torpshammars tillrinningsområde baserad på samtliga klimatscenarier i tabell 2.1. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Referensperioden är 1961-1990.



**Figur 3.24.** Beräknad utveckling av årsnederbörden i Torpshammars tillrinningsområde baserad på samtliga klimatscenarier i tabell 2.1. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Referensperioden är 1961-1990.

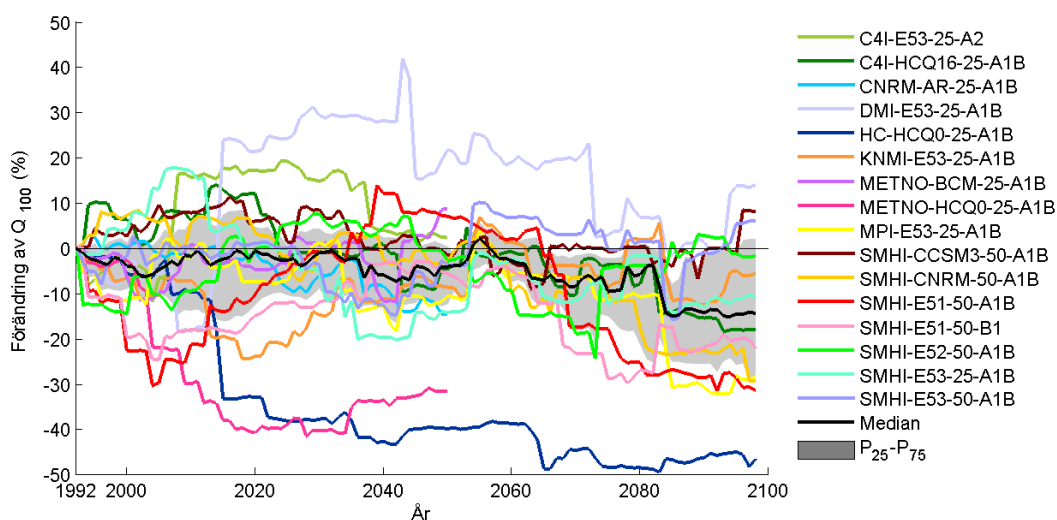
Beräkningarna enligt flödesdimensioneringsklass I för Torpshammar sammanfattas i figur 3.25. Figuren visar procentuell förändring av volymen av nederbördssekvensen, sekvensens toppvärde, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning för snöberäkningsperioden och maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället, samt förändring av dimensionerande vattenstånd i cm enligt 16 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2020-2049 (överst) och enligt 12 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2067-2096 (under). Referensperioden som beräkningarna jämförs mot är 1971-1990. Längst ner i figuren visas tidpunkt för dimensionerande vattenstånd för de tre beräkningsperioderna.



**Figur 3.25.** Procentuell förändring för Torpshammar av sekvensvolym, sekvenstopp, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning för snöberäkningsperioden och maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället, samt förändring av dimensionerande vattenstånd i cm enligt 16 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2020-2049 (överst) och enligt 12 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2067-2096 (under). Referensperioden som beräkningarna jämförs mot är 1971-1990. Längst ner visas tidpunkt för dimensionerande vattenstånd för de tre beräkningsperioderna.

Sammantaget visar beräkningarna för Torpshammar en minskning av den dimensionerande nivån i flödesdimensioneringsklass I efterhand som klimatet ändras. Det dimensionerande tillfället förskjuts mot tidigare datum på våren.

I figur 3.26 redovisas förändring av 100-årsflödet för Torpshammar. Frekvensanalys har genomförts löpande för varje 30-årsperiod efter 1961-1990 (t.ex. 1962-1991, 1963-1992 o.s.v.). 100-årsflödet beräknat för perioden 1961-1990 utgör startpunkt från vilken förändringarna beräknas (referensperiod). Figur 3.26 visar att 100-årsflödet i medeltal minskar något i Torpshammar mot slutet av seklet.

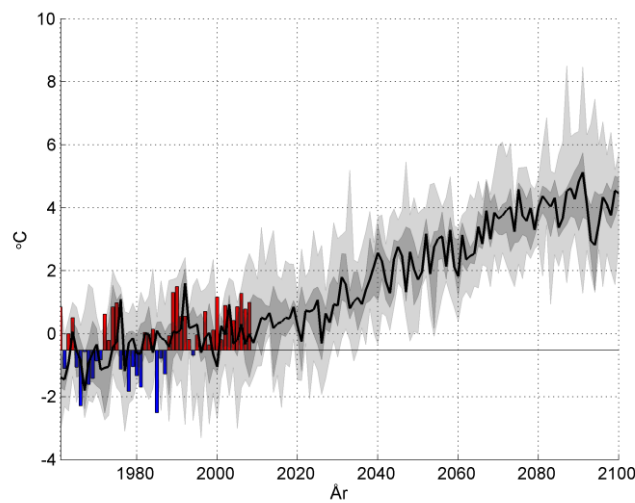


**Figur 3.26.** Procentuell förändring av 100-årsflödet för Torpshammar. Diagrammet visar resultat från 16 klimatsimuleringar (12 stycken efter år 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de föregående 30 åren. Det grå fältet visar variation mellan 25:e och 75:e percentilen och den svarta linjen visar medianen av samtliga klimatscenarier.

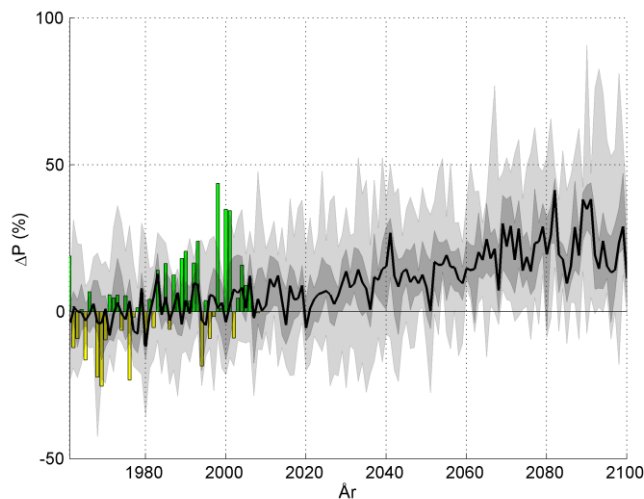
### Pengfors

I figur 3.27 och 3.28 redovisas den modellberäknade utvecklingen av lufttemperaturen och nederbörden i tillrinningsområdet till Pengfors i Umeälven. Observerade data är hämtade från den så kallade PTHBV-databasen som beskrivs närmare i avsnitt 2.12. Referensperioden är 1961-1990.

Den beräknade ökningen av årsmedeltemperaturen i Pengfors tillrinningsområde ligger på ca 3,5-5,5 grader under seklet medan den beräknade årsnederbörden ökar med 10-40 %.

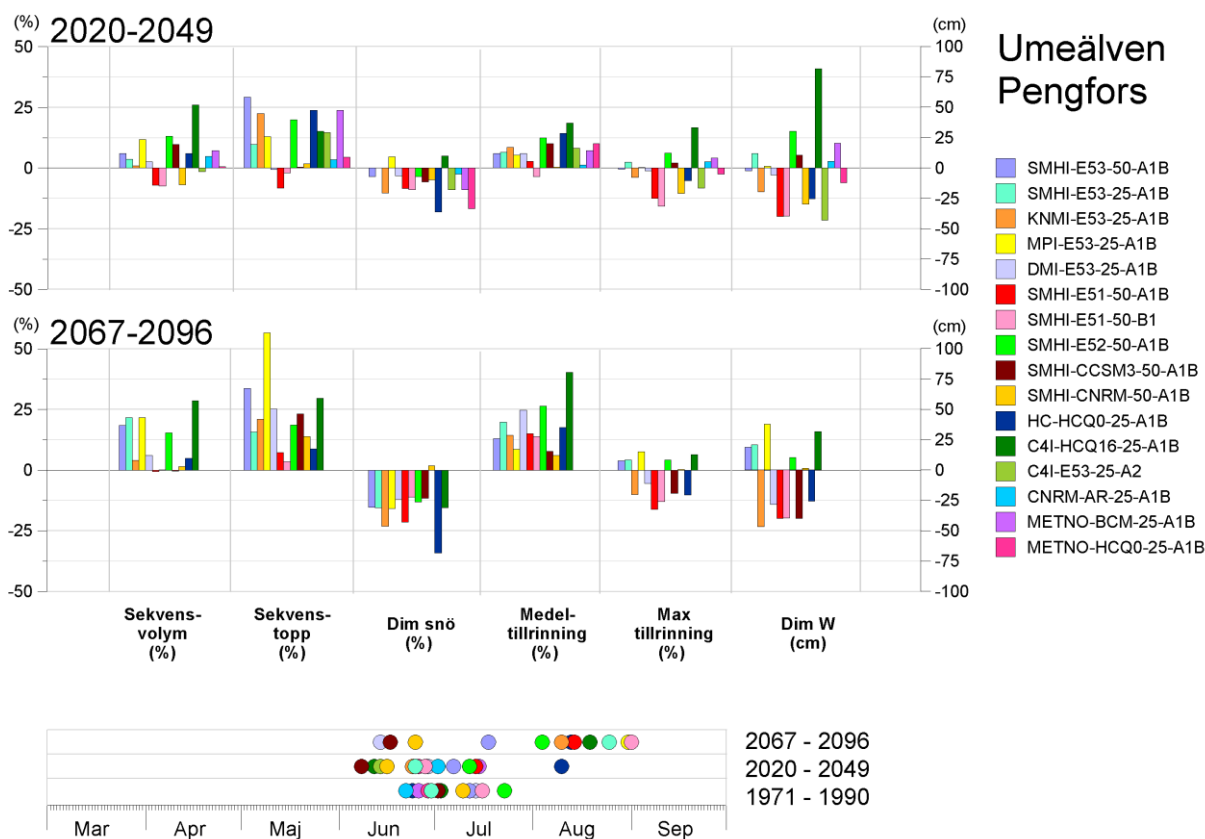


**Figur 3.27.** Beräknad utveckling av årsmedeltemperatur i tillrinningsområdet till Pengfors i Umeälven baserad på samtliga klimatscenarier i tabell 2.1. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Referensperioden är 1961-1990.



**Figur 3.28.** Beräknad utveckling av årsnederbörden i tillrinningsområdet till Pengfors i Umeälven baserad på samtliga klimatscenarier i tabell 2.1. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Referensperioden är 1961-1990.

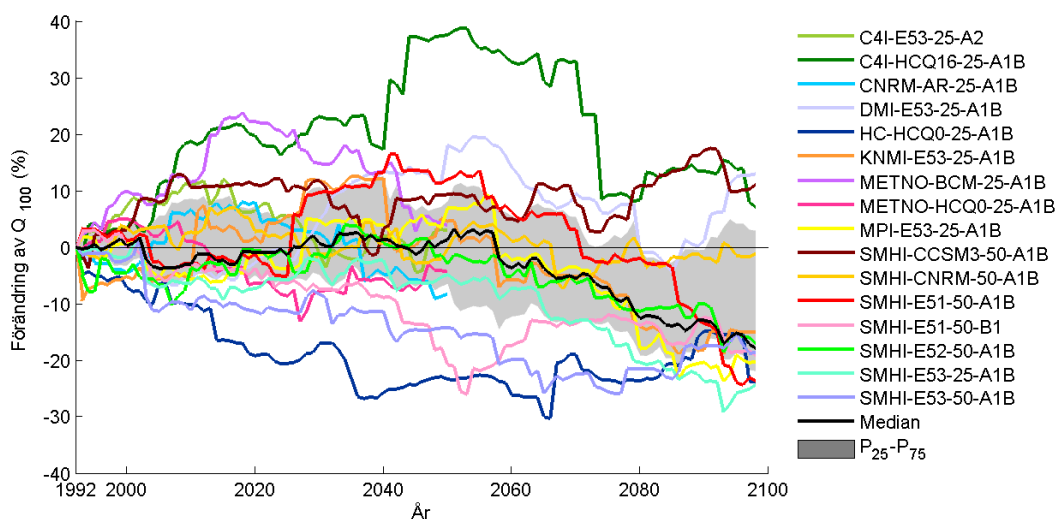
Beräkningarna enligt flödesdimensioneringsklass I för pengfors sammanfattas i figur 3.29. Figuren visar procentuell förändring av volymen av nederbördssekvensen, sekvensens toppvärde, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning för snöberäkningsperioden och maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället, samt förändring av dimensionerande vattenstånd i cm enligt 16 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2020-2049 (överst) och enligt 12 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2067-2096 (under). Referensperioden som beräkningarna jämförs mot är 1971-1990. Längst ner i figuren visas tidpunkt för dimensionerande vattenstånd för de tre beräkningsperioderna.



**Figur 3.29.** Procentuell förändring för Pengfors i Umeälven av sekvensvolym, sekvenstopp, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning för snöberäkningsperioden och maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället, samt förändring av dimensionerande vattenstånd i cm enligt 16 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2020-2049 (överst) och enligt 12 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2067-2096 (under). Referensperioden som beräkningarna jämförs mot är 1971-1990. Längst ner visas tidpunkt för dimensionerande vattenstånd för de tre beräkningsperioderna.

Eftersom Pengfors representerar nästan hela Umeälven och har ett förhållandevis litet magasin i förhållande till medelflödet är de staplar som representerar maximal tillrinning av störst intresse. Sammantaget visar beräkningarna en minskning av det dimensionerande flödet i flödesdimensioneringsklass I mot slutet av seklet. Datum för det dimensionerande tillfället sprids ut mer över året och inträffar i flera fall under hösten. Detta betyder att ett förändrat klimat medför en stor förändring av de förhållanden som skapar de mest extrema flödena i de nedre delarna av Umeälven.

I figur 3.30 redovisas förändring av 100-årsflödet för Pengfors. Frekvensanalys har genomförts löpande för varje 30-årsperiod efter 1961-1990 (t.ex. 1962-1991, 1963-1992 o.s.v.). 100-årsflödet beräknat för perioden 1961-1990 utgör startpunkt från vilken förändringarna beräknas (referensperiod). Figur 3.26 visar att 100-årsflödet i medeltal minskar i Pengfors mot slutet av seklet.



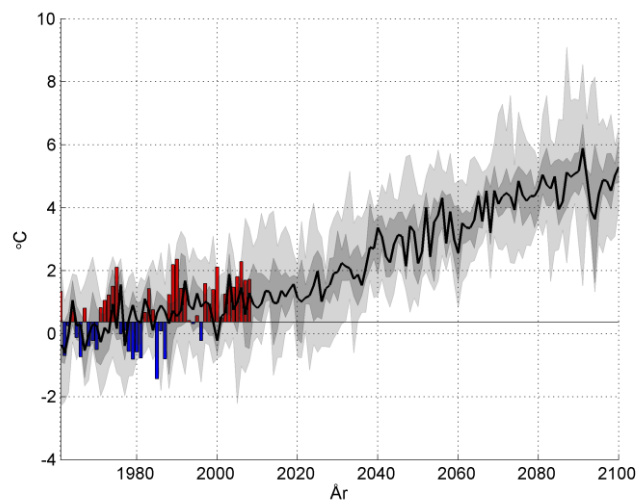
**Figur 3.30.** Procentuell förändring av 100-årsflödet för Pengfors. Diagrammet visar resultat från 16 klimatsimuleringar (12 stycken efter år 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de föregående 30 åren. Det grå fältet visar variation mellan 25:e och 75:e percentilen och den svarta linjen visar medianen av samtliga klimatscenerier.

### Trängslet

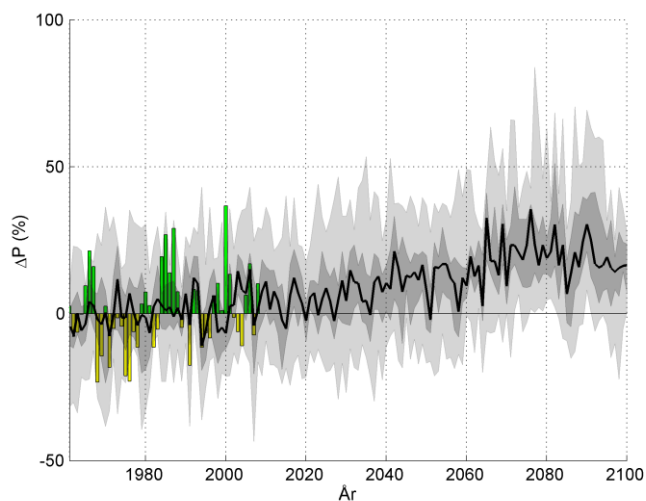
I figur 3.31 och 3.32 redovisas den modellberäknade utvecklingen av lufttemperaturen och nederbörden i tillrinningsområdet till Trängslet. Observerade data är hämtade från den så kallade PTHBV-databasen som beskrivs närmare i avsnitt 2.12. Referensperioden är 1961-1990.

Den beräknade ökningen av årsmedeltemperaturen i Trängslets tillrinningsområde ligger på ca 3,5-5,5 grader under seklet medan den beräknade årsnederbörden ökar med 10-30 %.



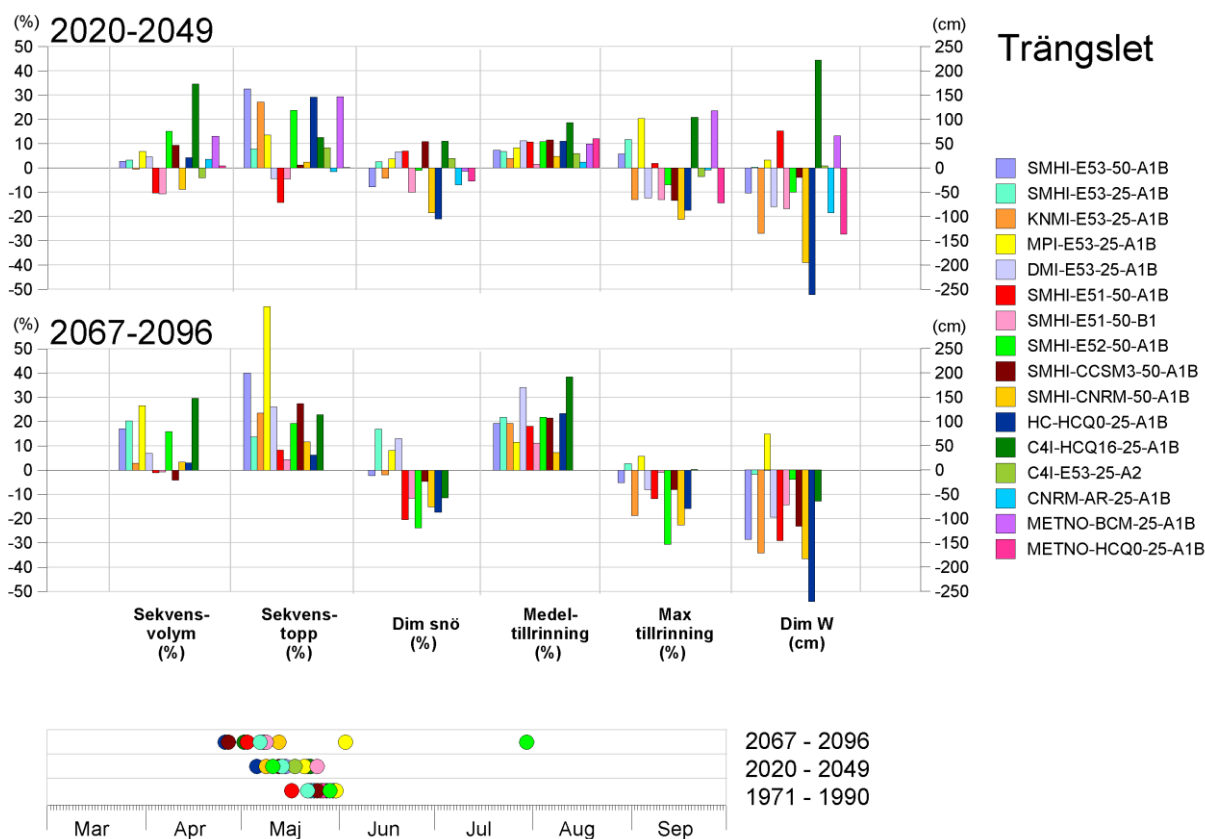


**Figur 3.31.** Beräknad utveckling av årsmedeltemperatur i tillrinningsområdet till Trängslet baserad på samtliga klimatscenarier i tabell 2.1. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Referensperioden är 1961-1990.



**Figur 3.32.** Beräknad utveckling av årsnederbörden i tillrinningsområdet till Trängslet baserad på samtliga klimatscenarier i tabell 2.1. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Referensperioden är 1961-1990.

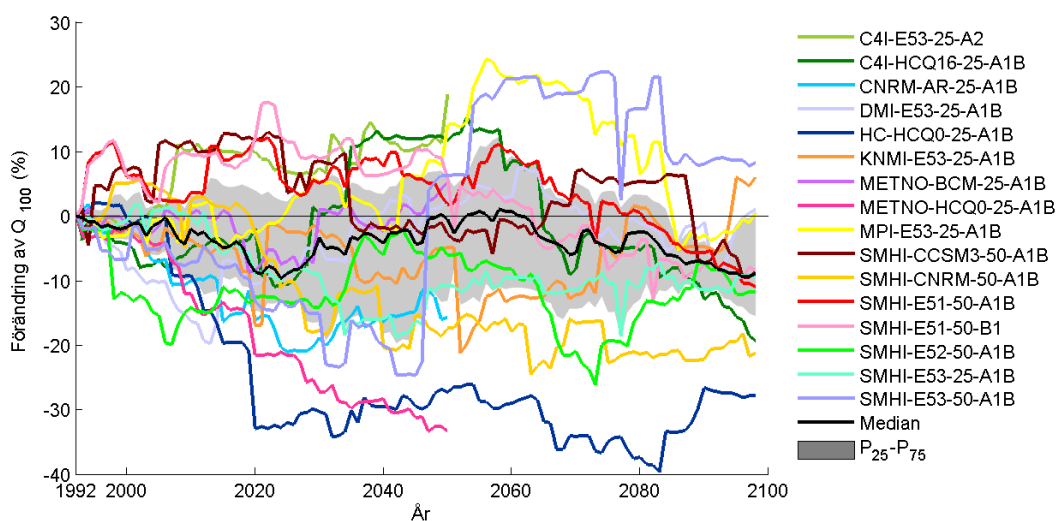
Beräkningarna enligt flödesdimensioneringsklass I för Trängslet sammanfattas i figur 3.33. Figuren visar procentuell förändring av volymen av nederbördssekvensen, sekvensens toppvärde, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning för snöberäkningsperioden och maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället, samt förändring av dimensionerande vattenstånd i cm enligt 16 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2020-2049 (överst) och enligt 12 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2067-2096 (under). Referensperioden som beräkningarna jämförs mot är 1971-1990. Längst ner i figuren visas tidpunkt för dimensionerande vattenstånd för de tre beräkningsperioderna.



**Figur 3.33.** Procentuell förändring för Trängslet av sekvensvolym, sekvenstopp, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning för snöberäkningsperioden och maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället, samt förändring av dimensionerande vattenstånd i cm enligt 16 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2020-2049 (överst) och enligt 12 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2067-2096 (under). Referensperioden som beräkningarna jämförs mot är 1971-1990. Längst ner visas tidpunkt för dimensionerande vattenstånd för de tre beräkningsperioderna.

Sammantaget visar beräkningarna för Trängslet en minskning av den dimensionerande nivån i flödesdimensioneringsklass I efterhand som klimatet ändras. Det dimensionerande tillfället förskjuts mot ett tidigare datum på våren samtidigt som spridningen i detta datum ökar.

I figur 3.34 redovisas förändring av 100-årsflödet för Trängslet. Frekvensanalys har genomförts löpande för varje 30-årsperiod efter 1961-1990 (t.ex. 1962-1991, 1963-1992 o.s.v.). 100-årsflödet beräknat för perioden 1961-1990 utgör startpunkt från vilken förändringarna beräknas (referensperiod). Figur 3.34 visar att 100-årsflödet i medeltal minskar något i Trängslet mot slutet av seklet.

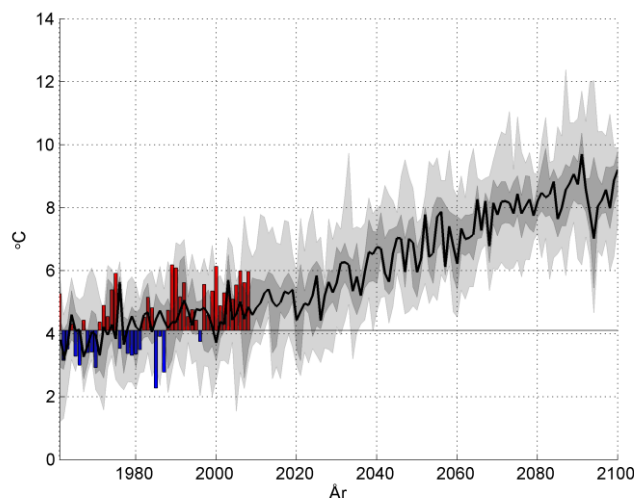


**Figur 3.34.** Procentuell förändring av 100-årsflödet för Trängslet. Diagrammet visar resultat från 16 klimatsimuleringar (12 stycken efter år 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de föregående 30 åren. Det grå fältet visar variation mellan 25:e och 75:e percentilen och den svarta linjen visar medianen av samtliga klimatscenarioer.

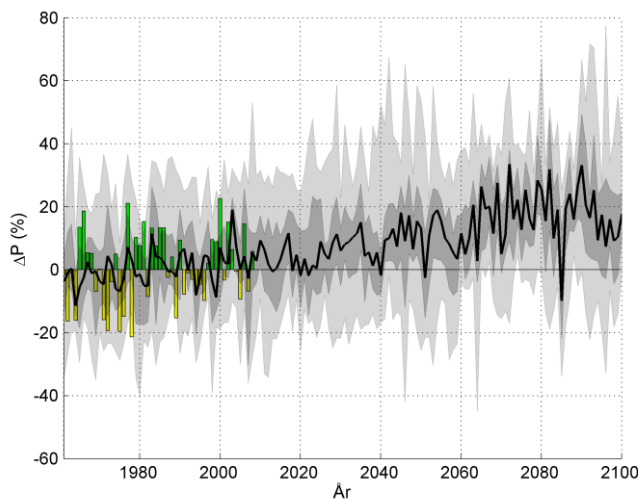
### Gruvsjön

I figur 3.35 och 3.36 redovisas den modellberäknade utvecklingen av lufttemperaturen och nederbörden i tillrinningsområdet till Gruvsjön. Observerade data är hämtade från den så kallade PTHBV-databasen som beskrivs närmare i avsnitt 2.12. Referensperioden är 1961-1990.

Den beräknade ökningen av årsmedeltemperaturen i Gruvsjöns tillrinningsområde ligger på ca 4 -5 grader under seklet medan den beräknade årsnederbörden ökar med 10-30 %.



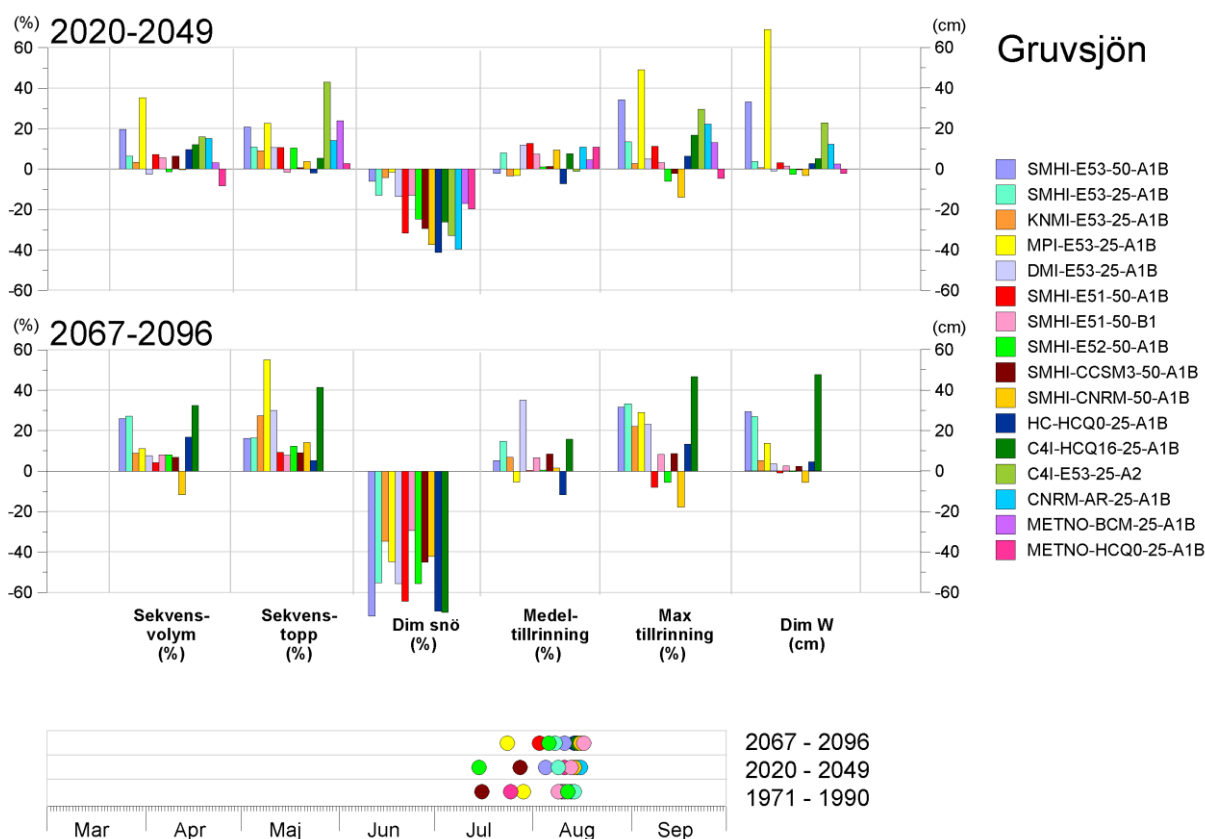
**Figur 3.35.** Beräknad utveckling av årsmedeltemperatur i tillrinningsområdet till Gruvsjön baserad på samtliga klimatscenarier i tabell 2.1. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Referensperioden är 1961-1990.



**Figur 3.36.** Beräknad utveckling av årsnederbörden i tillrinningsområdet till Gruvsjön baserad på samtliga klimatscenarier i tabell 2.1. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Referensperioden är 1961-1990.

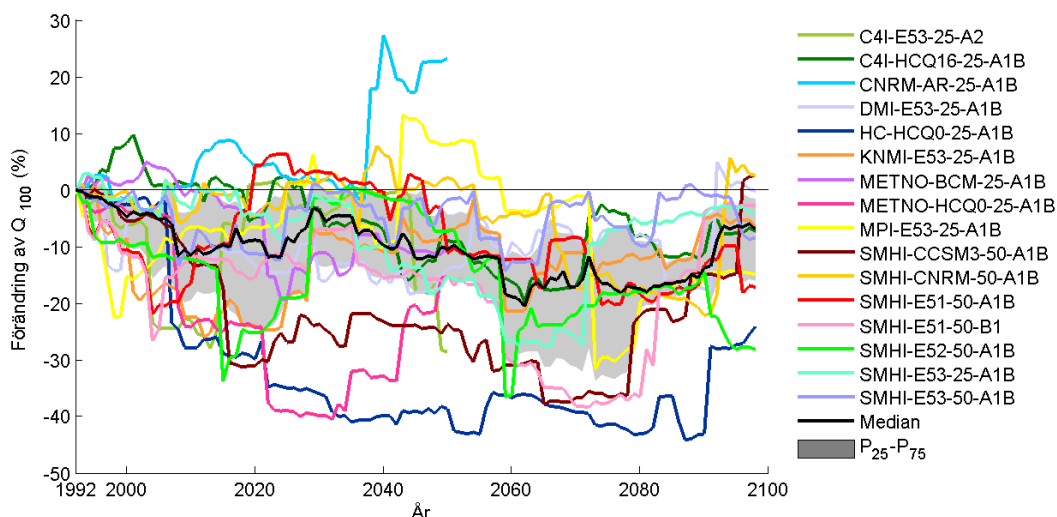
Beräkningarna enligt flödesdimensioneringsklass I för Gruvsjön sammanfattas i figur 3.37. Figuren visar procentuell förändring av volymen av nederbördssekvensen, sekvensens toppvärde, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning för snöberäkningsperioden och maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället, samt förändring av dimensionerande vattenstånd i cm enligt 16 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2020-2049 (överst) och enligt 12 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2067-2096 (under). Referensperioden som beräkningarna jämförs mot är 1971-1990. Längst ner i figuren visas tidpunkt för dimensionerande vattenstånd för de tre beräkningsperioderna.

Sammantaget visar beräkningarna för Gruvsjön en ökning av den dimensionerande nivån i flödesdimensioneringsklass I efterhand som klimatet ändras. Det dimensionerande tillfällets datum påverkas obetydligt.



**Figur 3.37.** Procentuell förändring för Gruvsjön av sekvensvolym, sekvenstopp, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning för snöberäkningsperioden och maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället, samt förändring av dimensionerande vattenstånd i cm enligt 16 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2020-2049 (överst) och enligt 12 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2067-2096 (under). Referensperioden som beräkningarna jämförs mot är 1971-1990. Längst ner visas tidpunkt för dimensionerande vattenstånd för de tre beräkningsperioderna.

I figur 3.38 redovisas förändring av 100-årsflödet för Gruvsjön. Frekvensanalys har genomförts löpande för varje 30-årsperiod efter 1961-1990 (t.ex. 1962-1991, 1963-1992 o.s.v.). 100-årsflödet beräknat för perioden 1961-1990 utgör startpunkt från vilken förändringarna beräknas (referensperiod). Figur 3.38 visar att 100-årsflödet i medeltal minskar något för Gruvsjön mot slutet av seklet.



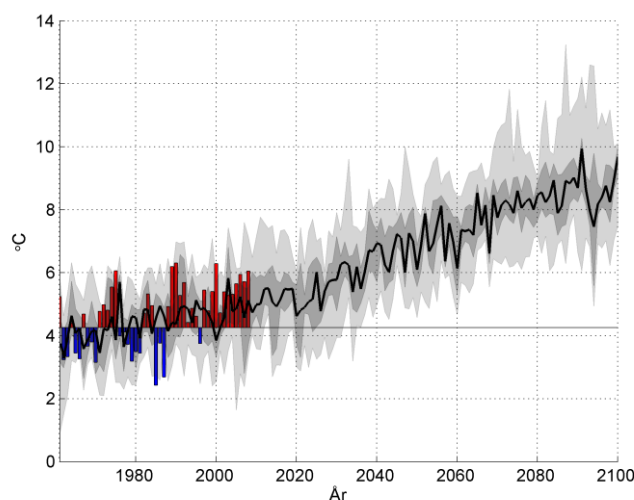
**Figur 3.38.** Procentuell förändring av 100-årsflödet för Gruvsjön. Diagrammet visar resultat från 16 klimatsimuleringar (12 stycken efter år 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de föregående 30 åren. Det grå fältet visar variation mellan 25:e och 75:e percentilen och den svarta linjen visar medianen av samtliga klimatscenarier.

## Vänern

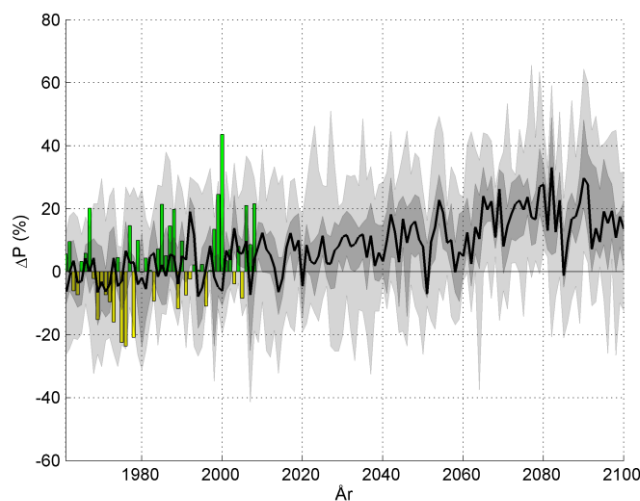
Vänern intar en särställning genom att den inte lämpar sig för flödesdimensionering enligt Riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar. Flödesdimensioneringen har i stället baserats på den metod som utvecklades av Bergström m.fl. (2010).

I figur 3.39 och 3.40 redovisas den modellberäknade utvecklingen av lufttemperaturen och nederbörden i tillrinningsområdet till Vänern. Observerade data är hämtade från den så kallade PTHBV-databasen som beskrivs närmare i avsnitt 2.12. Referensperioden är 1961-1990.

Den beräknade ökningen av årsmedeltemperaturen i Vänerns tillrinningsområde ligger på ca 4 -6 grader under seklet medan den beräknade årsnederbörden ökar med 10-30 %.

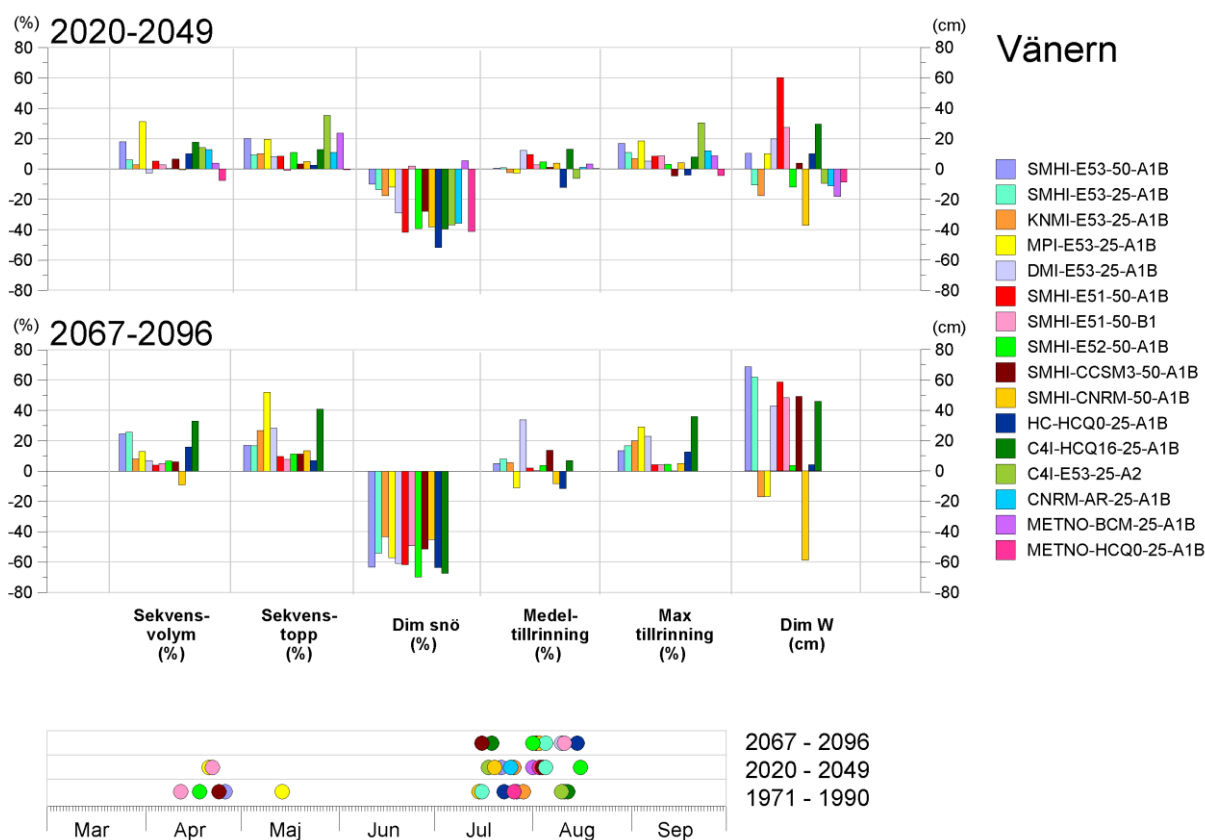


**Figur 3.39.** Beräknad utveckling av årsmedeltemperatur i tillrinningsområdet till Vänern baserad på samtliga klimatscenarier i tabell 2.1. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Referensperioden är 1961-1990.



**Figur 3.40.** Beräknad utveckling av årsnederbörden i tillrinningsområdet till Vänern baserad på samtliga klimatscenarier i tabell 2.1. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Referensperioden är 1961-1990.

Beräkningarna enligt flödesdimensioneringsklass I för Vänern sammanfattas i figur 3.36. Figuren visar procentuell förändring av volymen av nederbördssekvensen, sekvensens toppvärde, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning för snöberäkningsperioden och maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället, samt förändring av dimensionerande vattenstånd i cm enligt 16 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2020-2049 (överst) och enligt 12 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2067-2096 (under). Referensperioden som beräkningarna jämförs mot är 1971-1990. Längst ner i figuren visas tidpunkt för dimensionerande vattenstånd för de tre beräkningsperioderna.

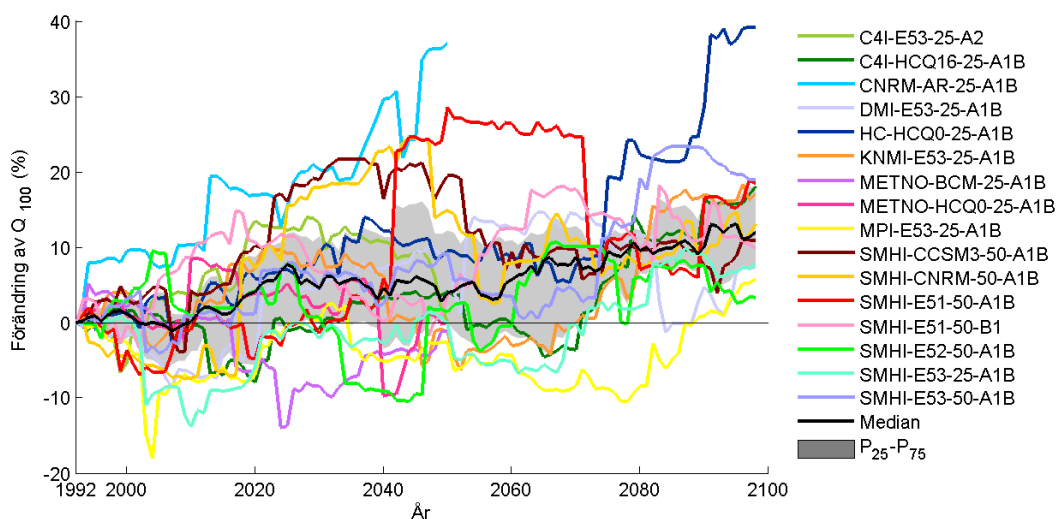


**Figur 3.41.** Procentuell förändring för Vänern av sekvensvolym, sekvenstopp, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning för snöberäkningsperioden och maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället, samt förändring av dimensionerande vattenstånd i cm enligt 16 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2020-2049 (överst) och enligt 12 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2067-2096 (under). Referensperioden som beräkningarna jämförs mot är 1971-1990. Längst ner visas tidpunkt för dimensionerande vattenstånd för de tre beräkningsperioderna.



Sammantaget visar beräkningarna för Vänern en ökning av den dimensionerande nivån i flödesdimensioneringsklass I efterhand som klimatet ändras. I dagens klimat inträffar det dimensionerande tillfället både under vår och sommar beroende på klimatmodell. Scenarierna för slutet av seklet visar entydigt på dimensionerande tillfällen under sommaren.

I figur 3.42 redovisas förändring av 100-årstillrinningen till Vänern. Frekvensanalys har genomförts löpande för varje 30-årsperiod efter 1961-1990 (t.ex. 1962-1991, 1963-1992 o.s.v.). 100-årsflödet beräknat för perioden 1961-1990 utgör startpunkt från vilken förändringarna beräknas (referensperiod). Figur 3.42 visar att 100-årstillrinningen till Vänern i medeltal ökar under seklet. Detta är dock ett dygnsvärde och därför inte så relevant för denna stora sjö. Betydelsen av klimatförändringar för Vänerns framtida nivåer diskuteras mer utförligt av Bergström m.fl. (2010).

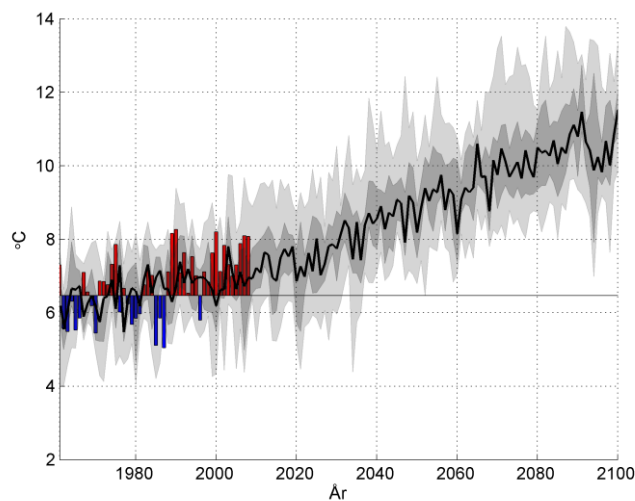


**Figur 3.42.** Procentuell förändring av 100-årstillrinningen till Vänern. Diagrammet visar resultat från 16 klimatsimuleringar (12 stycken efter år 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de föregående 30 åren. Det grå fältet visar variation mellan 25:e och 75:e percentilen och den svarta linjen visar medianen av samtliga klimatscenarier.

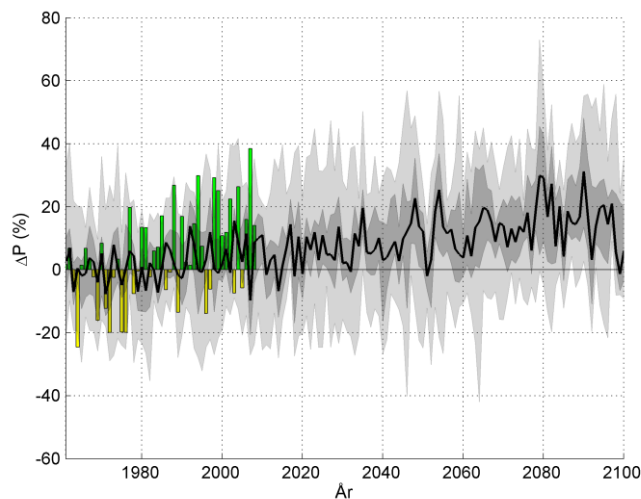
### Torsebro

I figur 3.43 och 3.44 redovisas den modellberäknade utvecklingen av lufttemperaturen och nederbörden i tillrinningsområdet till Torsebros kraftverk. Observerade data är hämtade från den så kallade PTHBV-databasen som beskrivs närmare i avsnitt 2.12. Referensperioden är 1961-1990.

Den beräknade ökningen av årsmedeltemperaturen i Torsebros tillrinningsområde ligger på ca 3,5-5 grader under seklet medan den beräknade årsnederbörden ökar med 5-30 %.

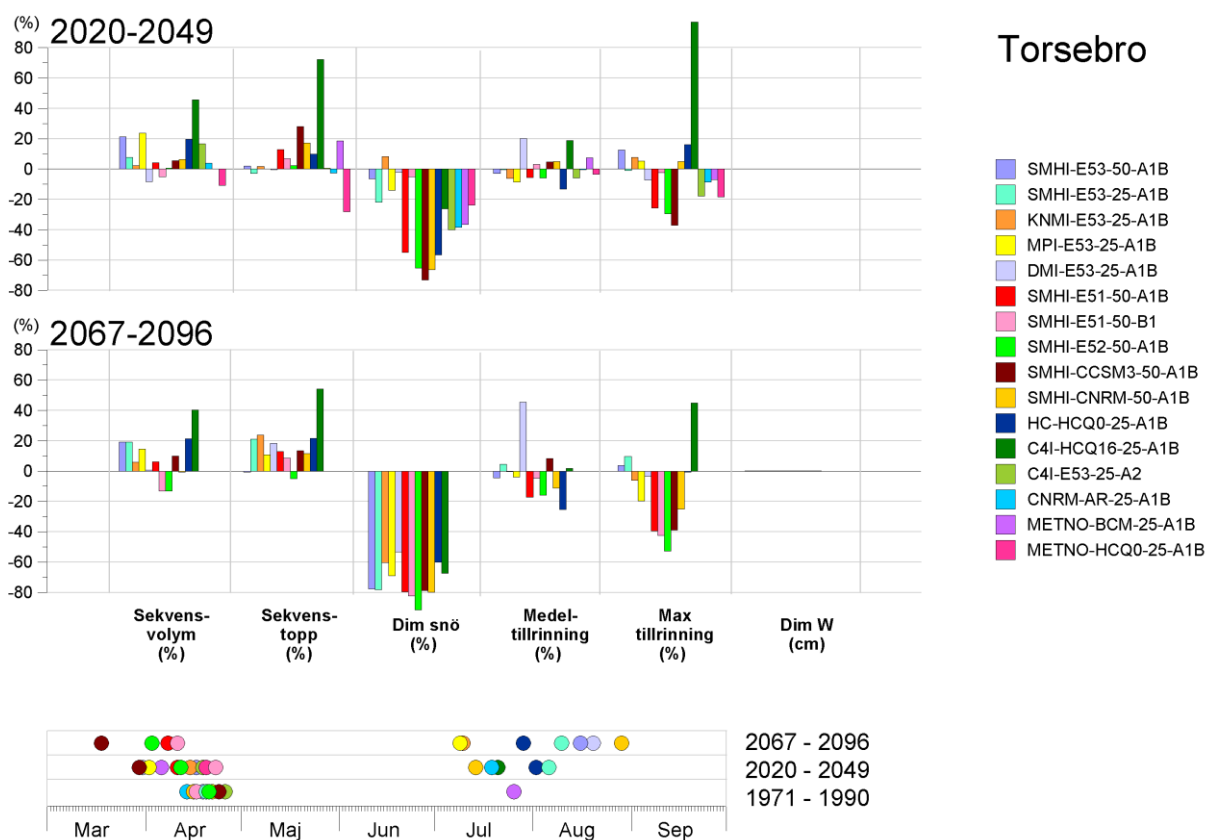


**Figur 3.43.** Beräknad utveckling av årsmedeltemperatur i tillrinningsområdet till Torsebro baserad på samtliga klimatscenarier i tabell 2.1. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Referensperioden är 1961-1990.



**Figur 3.44.** Beräknad utveckling av årsnederbörden i tillrinningsområdet till Torsebro baserad på samtliga klimatscenarier i tabell 2.1. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Referensperioden är 1961-1990.

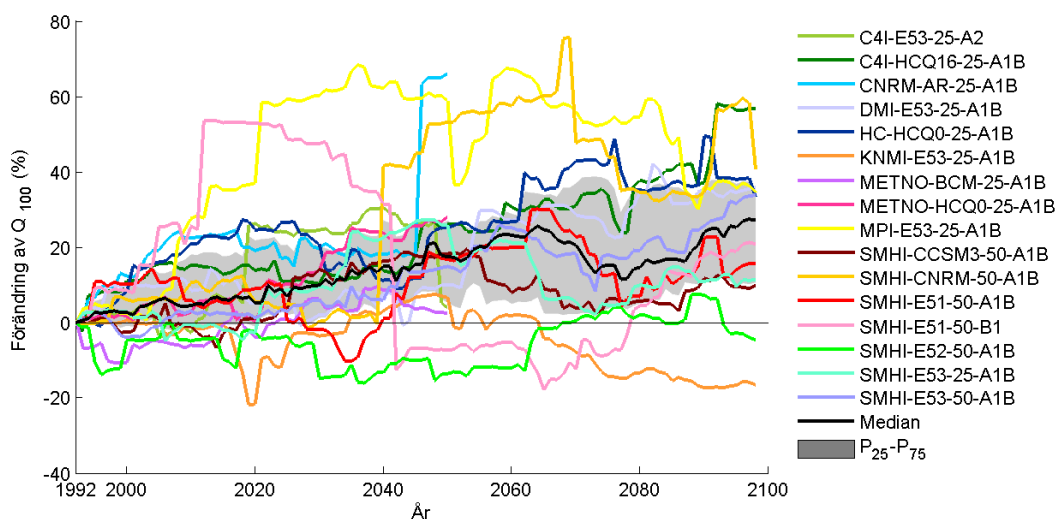
Beräkningarna enligt flödesdimensioneringsklass I för Torsebro sammanfattas i figur 3.45. Figuren visar procentuell förändring av volymen av nederbördssekvensen, sekvensens toppvärde, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning för snöberäkningsperioden och maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället, samt förändring av dimensionerande vattenstånd i cm enligt 16 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2020-2049 (överst) och enligt 12 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2067-2096 (under). Referensperioden som beräkningarna jämförs mot är 1971-1990. Längst ner i figuren visas tidpunkt för dimensionerande vattenstånd för de tre beräkningsperioderna.



**Figur 3.45.** Procentuell förändring för Torsebro av sekvensvolym, sekvenstopp, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning för snöberäkningsperioden och maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället, samt förändring av dimensionerande vattenstånd i cm enligt 16 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2020-2049 (överst) och enligt 12 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2067-2096 (under). Referensperioden som beräkningarna jämförs mot är 1971-1990. Längst ner i figuren visas tidpunkt för dimensionerande vattenstånd för de tre beräkningsperioderna.

Sammantaget visar beräkningarna för Torsebro en minskning av den dimensionerande tillrinningen i flödesdimensioneringsklass I efterhand som klimatet ändras. Datumet för det dimensionerande tillfället blir efterhand mer utspritt över året.

I figur 3.46 redovisas förändring av 100-årsflödet för Torsebro. Frekvensanalys har genomförts löpande för varje 30-årsperiod efter 1961-1990 (t.ex. 1962-1991, 1963-1992 o.s.v.). 100-årsflödet beräknat för perioden 1961-1990 utgör startpunkt från vilken förändringarna beräknas (referensperiod). Figur 3.46 visar att 100-årsflödet i medeltal ökar för Torsebro mot slutet av seklet trots att flödet enligt flödesdimensioneringsklass I har en tendens att minska. Detta är inte orimligt med tanke på att det kan vara olika förutsättningar som skapar de mer vanliga 100-årsflödena och de alla mest extrema flödena.

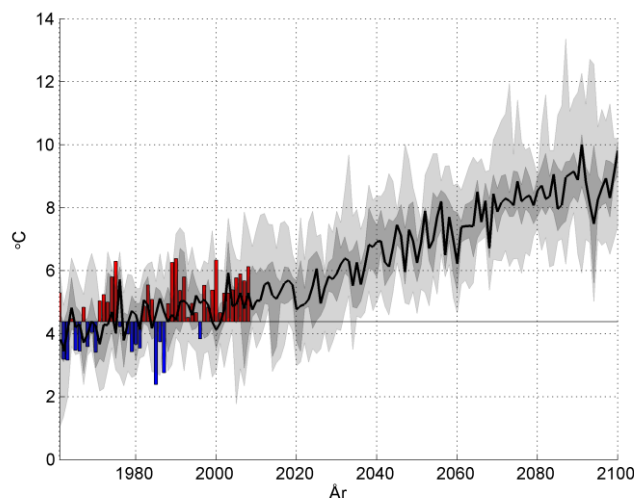


**Figur 3.46.** Procentuell förändring av 100-årsflödet för Torsebro. Diagrammet visar resultat från 16 klimatsimuleringar (12 stycken efter år 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de föregående 30 åren. Det grå fältet visar variation mellan 25:e och 75:e percentilen och den svarta linjen visar medianen av samtliga klimatscenarier.

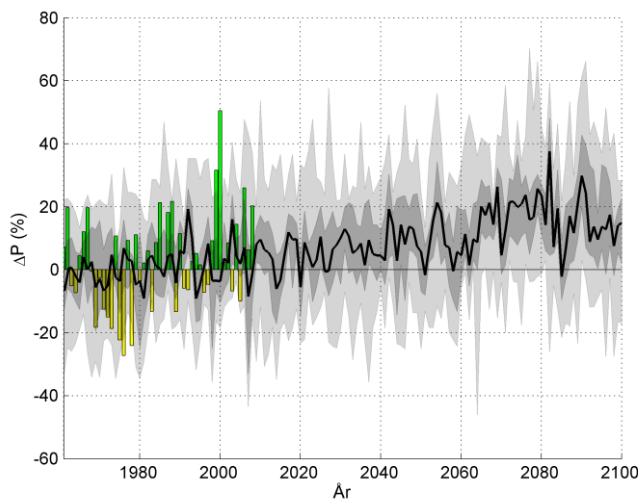
### Glafs fjorden

I figur 3.47 och 3.48 redovisas den modellberäknade utvecklingen av lufttemperaturen och nederbörden i tillrinningsområdet till Glafs fjorden. Observerade data är hämtade från den så kallade PTHBV-databasen som beskrivs närmare i avsnitt 2.12. Referensperioden är 1961-1990.

Den beräknade ökningen av årsmedeltemperaturen i Glafs fjordens tillrinningsområde ligger på ca 3,5-5,5 grader under seklet medan den beräknade årsnederbörden ökar med 10 -30 %.

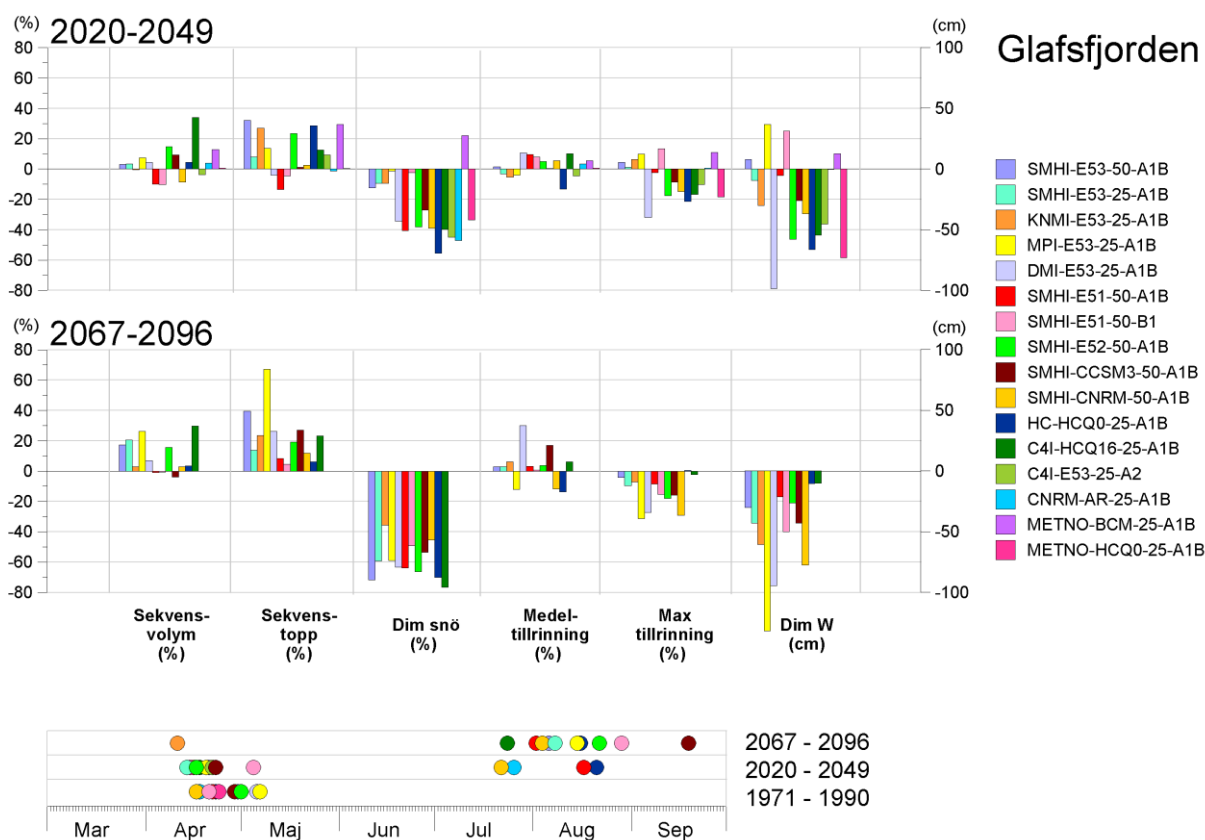


**Figur 3.47.** Beräknad utveckling av årsmedeltemperatur i tillrinningsområdet till Glafs fjorden baserad på samtliga klimatscenarioer i tabell 2.1. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Referensperioden är 1961-1990.



**Figur 3.48.** Beräknad utveckling av årsnederbörden i tillrinningsområdet till Glafs fjorden baserad på samtliga klimatscenarioer i tabell 2.1. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Referensperioden är 1961-1990.

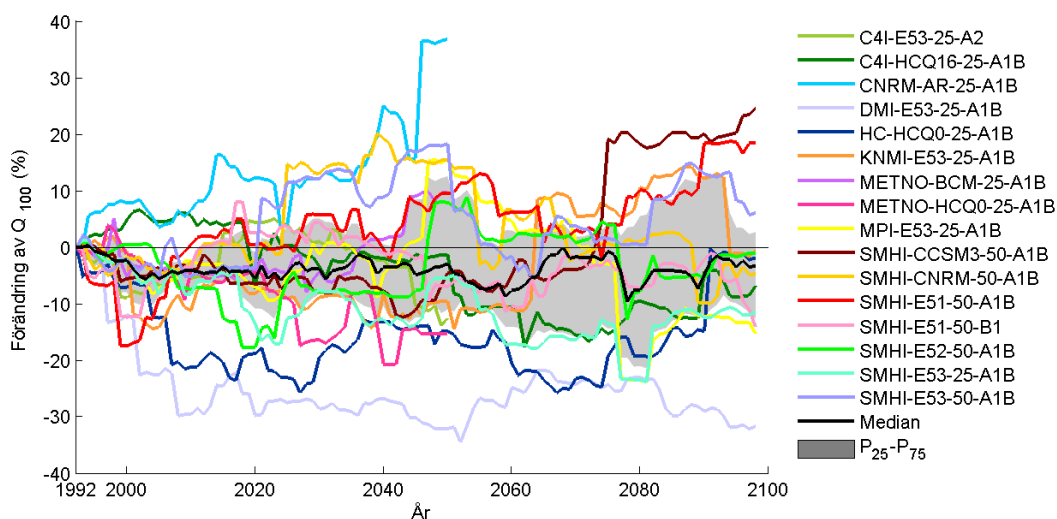
Beräkningarna enligt flödesdimensioneringsklass I för Glafs fjorden sammanfattas i figur 3.49. Figuren visar procentuell förändring av volymen av nederbördssekvensen, sekvensens toppvärde, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning för snöberäkningsperioden och maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället, samt förändring av dimensionerande vattenstånd i cm enligt 16 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2020-2049 (överst) och enligt 12 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2067-2096 (under). Referensperioden som beräkningarna jämförs mot är 1971-1990. Längst ner i figuren visas tidpunkt för dimensionerande vattenstånd för de tre beräkningsperioderna.



**Figur 3.49.** Procentuell förändring för Glafs fjorden av sekvensvolym, sekvenstopp, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning för snöberäkningsperioden och maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället, samt förändring av dimensionerande vattenstånd i cm enligt 16 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2020-2049 (överst) och enligt 12 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2067-2096 (under). Referensperioden som beräkningarna jämförs mot är 1971-1990. Längst ner visas tidpunkt för dimensionerande vattenstånd för de tre beräkningsperioderna.

Sammantaget visar beräkningarna för Glafs fjorden en minskning av den dimensionerande nivån i flödesdimensioneringsklass I efterhand som klimatet ändras. Datumet för det dimensionerande tillfället blir efterhand mer förskjutet mot sensommaren.

I figur 3.50 redovisas förändring av 100-årstillrinningen till Glafs fjorden. Frekvensanalys har genomförts löpande för varje 30-årsperiod efter 1961-1990 (t.ex. 1962-1991, 1963-1992 o.s.v.). 100-årsflödet beräknat för perioden 1961-1990 utgör startpunkt från vilken förändringarna beräknas (referensperiod). Figur 3.50 visar att 100-årstillrinningen i medeltal ligger ganska stabilt för Glafs fjorden trots att flödet enligt flödesdimensioneringsklass I minskar. Detta är inte orimligt med tanke på att det kan var olika mekanismer som skapa de mer vanliga 100-årsflödena och de allra mest extrema flödena.

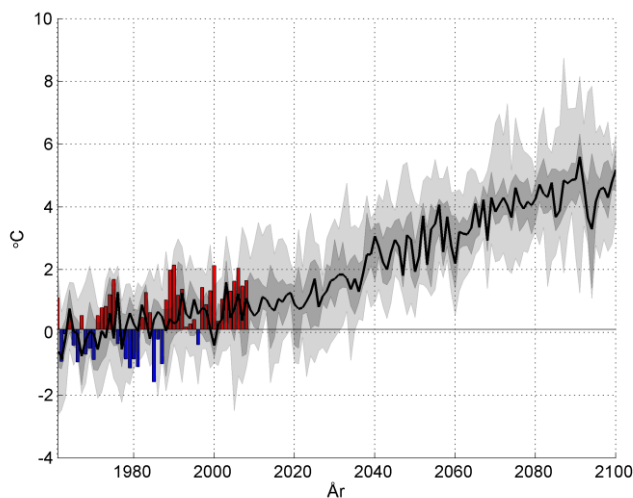


**Figur 3.50.** Procentuell förändring av 100-årstillrinningen till Glafs fjorden. Diagrammet visar resultat från 16 klimatsimuleringar (12 stycken efter år 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de föregående 30 åren. Det grå fältet visar variation mellan 25:e och 75:e percentilen och den svarta linjen visar medianen av samtliga klimatscenarier.

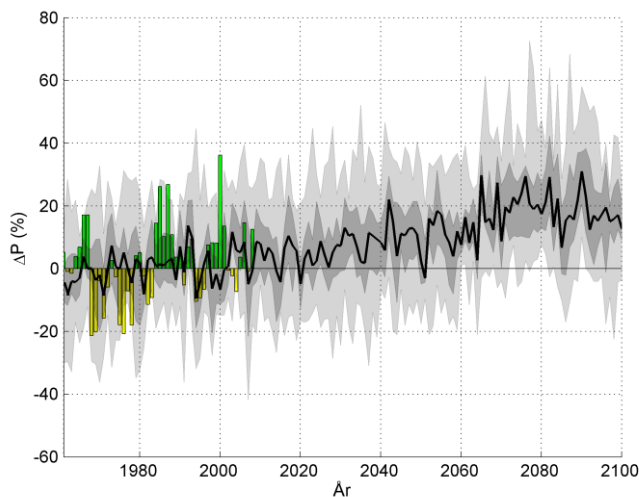
## Höljes

I figur 3.51 och 3.52 redovisas den modellberäknade utvecklingen av lufttemperaturen och nederbörden i tillrinningsområdet till Höljesdammen. Observerade data är hämtade från den så kallade PTHBV-databasen som beskrivs närmare i avsnitt 2.12. Referensperioden är 1961-1990.

Den beräknade ökningen av årsmedeltemperaturen i Höljesdammens tillrinningsområde ligger på ca 3-6 grader under seklet medan den beräknade årsnederbörden ökar med 10 -30 %.



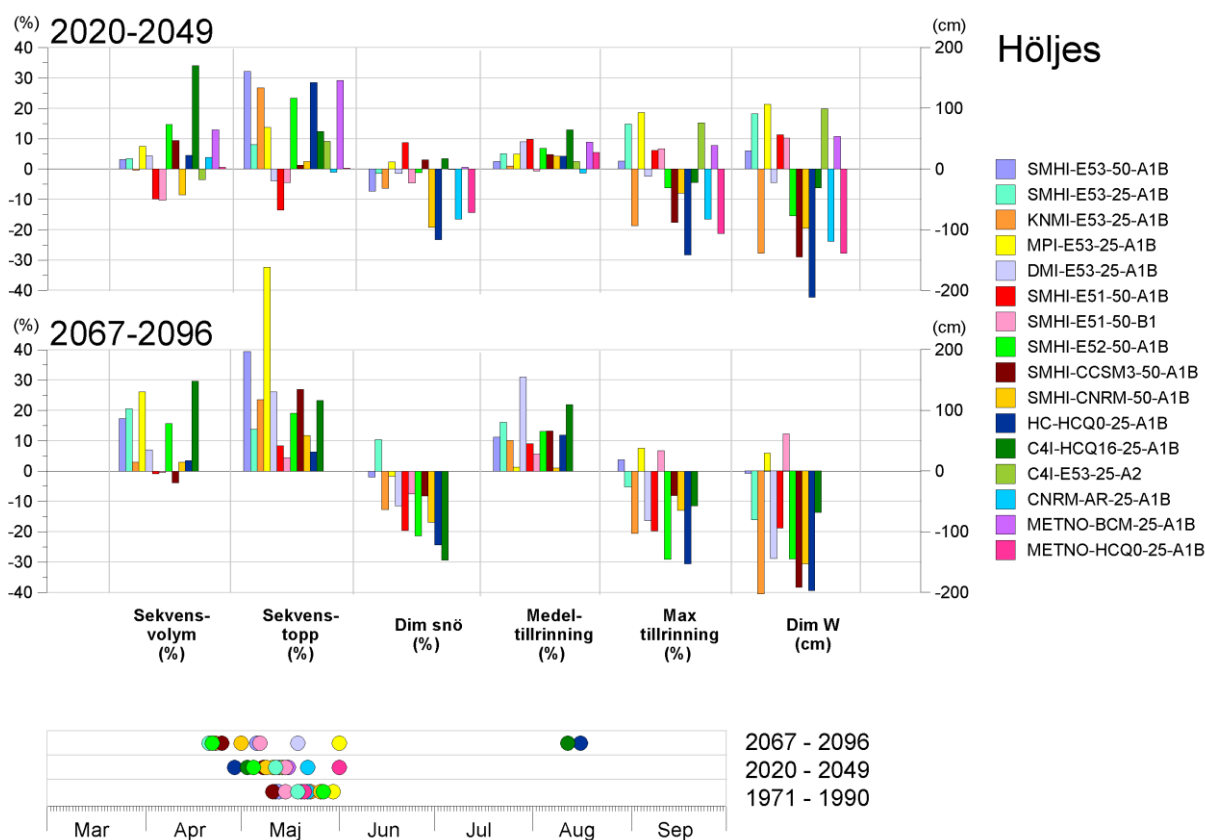
**Figur 3.51.** Beräknad utveckling av årsmedeltemperatur i tillrinningsområdet till Höljesdammen baserad på samtliga klimatscenarier i tabell 2.1. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Referensperioden är 1961-1990.



**Figur 3.52.** Beräknad utveckling av årsnederbörden i tillrinningsområdet till Höljesdammen baserad på samtliga klimatscenarier i tabell 2.1. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Referensperioden är 1961-1990.



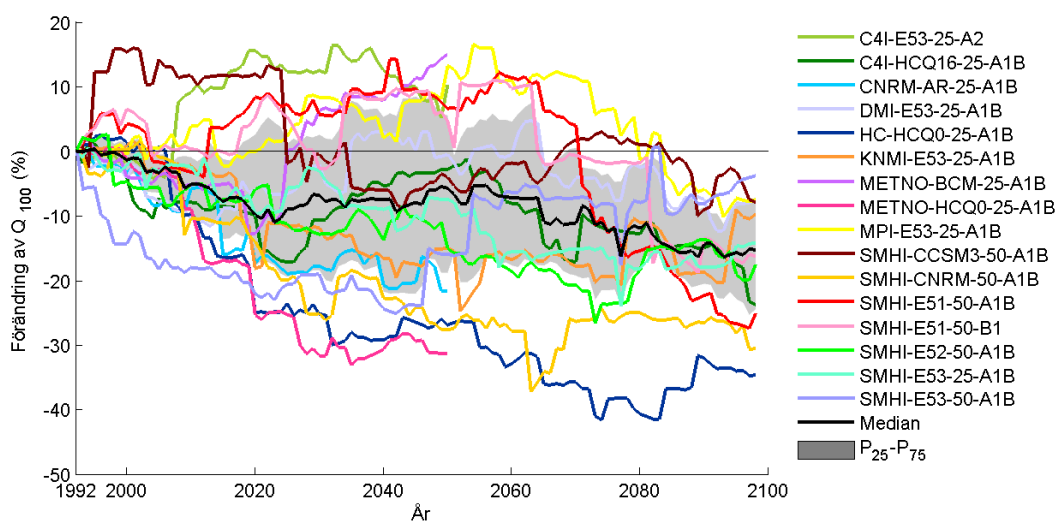
Beräkningarna enligt flödesdimensioneringsklass I för Höljes sammanfattas i figur 3.45. Figuren visar procentuell förändring av volymen av nederbördssekvensen, sekvensens toppvärde, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning för snöberäkningsperioden och maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället, samt förändring av dimensionerande vattenstånd i cm enligt 16 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2020-2049 (överst) och enligt 12 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2067-2096 (under). Referensperioden som beräkningarna jämförs mot är 1971-1990. Längst ner i figuren visas tidpunkt för dimensionerande vattenstånd för de tre beräkningsperioderna.



**Figur 3.53.** Procentuell förändring för Höljesdammen av sekvensvolym, sekvenstopp, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning för snöberäkningsperioden och maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället, samt förändring av dimensionerande vattenstånd i cm enligt 16 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2020-2049 (överst) och enligt 12 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2067-2096 (under). Referensperioden som beräkningarna jämförs mot är 1971-1990. Längst ner visas tidpunkt för dimensionerande vattenstånd för de tre beräkningsperioderna.

Sammantaget visar beräkningarna för Höljesdammen en minskning av den dimensionerande nivån i flödesdimensioneringsklass I efterhand som klimatet ändras. Datumet för det dimensionerande tillfället blir efterhand mer utspritt över året.

I figur 3.54 redovisas förändring av 100-årsflödet för Höljes. Frekvensanalys har genomförts löpande för varje 30-årsperiod efter 1961-1990 (t.ex. 1962-1991, 1963-1992 o.s.v.). 100-årsflödet beräknat för perioden 1961-1990 utgör startpunkt från vilken förändringarna beräknas (referensperiod). Figur 3.54 visar att 100-årsflödet i medeltal minskar betydligt i Höljes mot slutet av seklet.

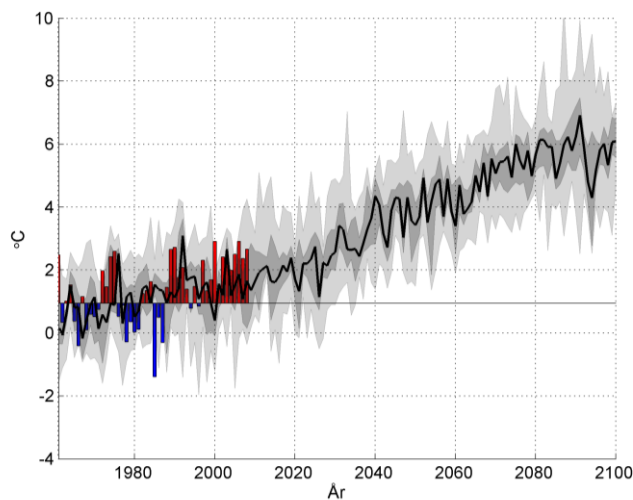


**Figur 3.54.** Procentuell förändring av 100-årsflödet för Höljes. Diagrammet visar resultat från 16 klimatsimuleringar (12 stycken efter år 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de föregående 30 åren. Det grå fältet visar variation mellan 25:e och 75:e percentilen och den svarta linjen visar medianen av samtliga klimatscenerier.

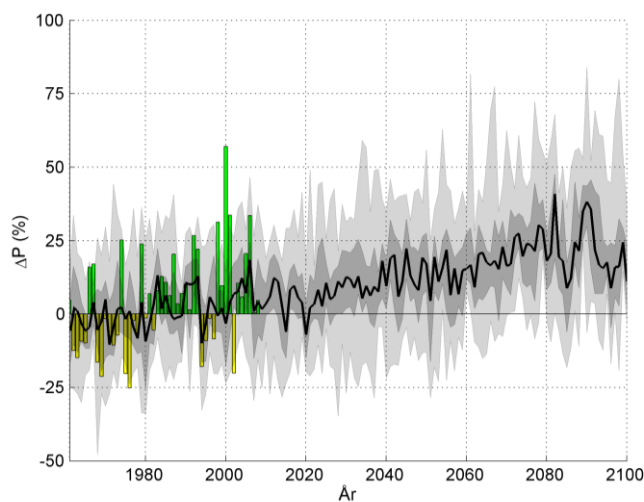
### Skinnmuddselet

I figur 3.55 och 3.56 redovisas den modellberäknade utvecklingen av lufttemperaturen och nederbörden i tillrinningsområdet till Skinnmuddselet i Gideälven. Observerade data är hämtade från den så kallade PTHBV-databasen som beskrivs närmare i avsnitt 2.12. Referensperioden är 1961-1990.

Den beräknade ökningen av årsmedeltemperaturen i Skinnmuddselets tillrinningsområde ligger på ca XXX grader under seklet medan den beräknade årsnederbörden ökar med YY -YY %.

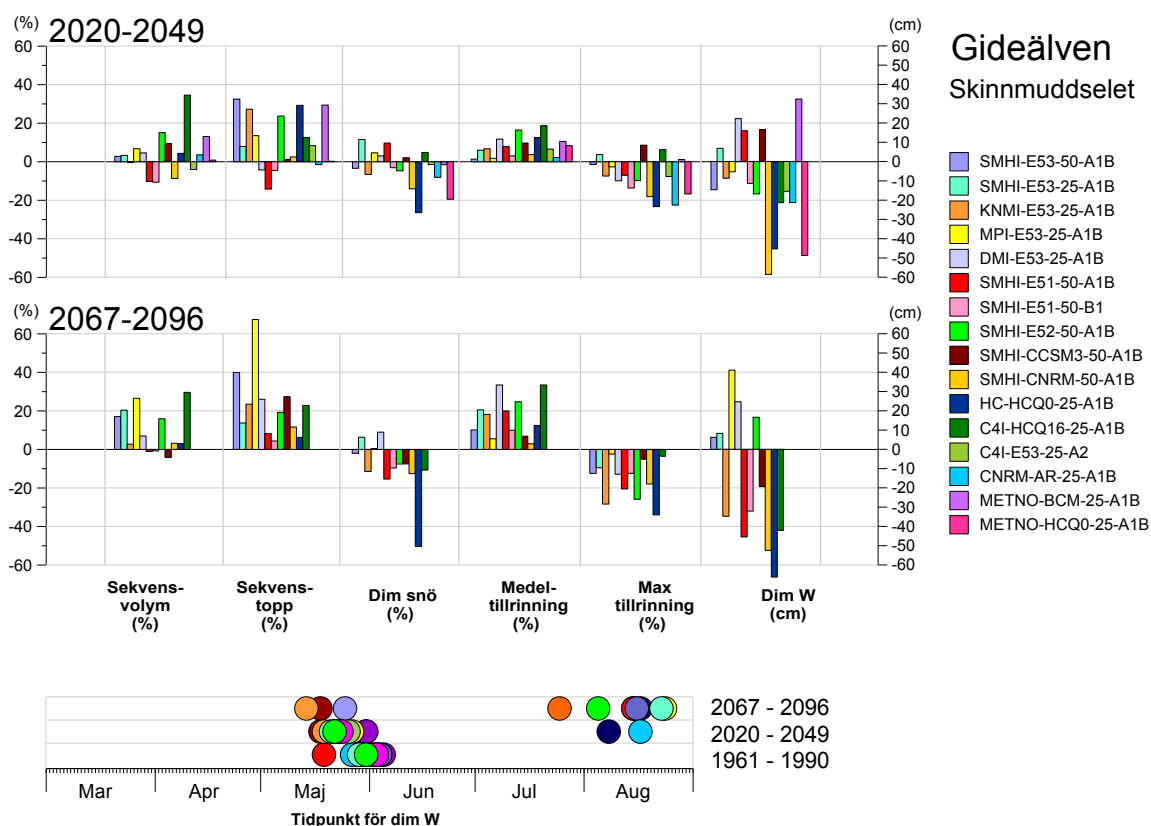


**Figur 3.55.** Beräknad utveckling av årsmedeltemperatur i tillrinningsområdet till Skinnmuddselet baserad på samtliga klimatscenarier i tabell 2.1. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Referensperioden är 1961-1990.



**Figur 3.56.** Beräknad utveckling av årsnederbörden i tillrinningsområdet till Skinnmuddselet baserad på samtliga klimatscenarier i tabell 2.1. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Referensperioden är 1961-1990.

Beräkningarna enligt flödesdimensioneringsklass I för Skinnmuddselet sammanfattas i figur 3.57. Figuren visar procentuell förändring av volymen av nederbördssekvensen, sekvensens toppvärde, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning för snöberäkningsperioden och maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället, samt förändring av dimensionerande vattenstånd i cm enligt 16 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2020-2049 (överst) och enligt 12 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2067-2096 (under). Referensperioden som beräkningarna jämförs mot är 1971-1990. Längst ner i figuren visas tidpunkt för dimensionerande vattenstånd för de tre beräkningsperioderna.

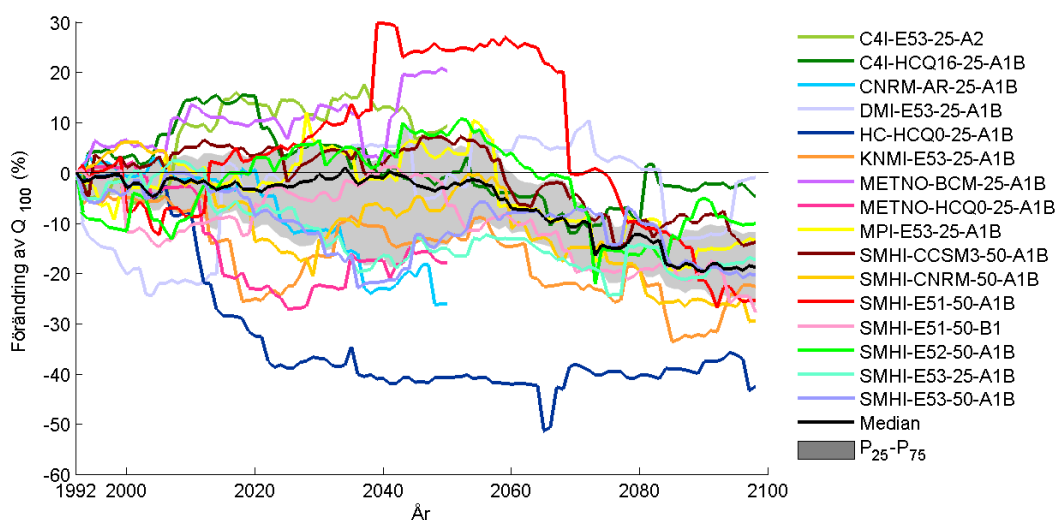


**Figur 3.57.** Procentuell förändring för Skinnmuddselet av sekvensvolym, sekvenstopp, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning för snöberäkningsperioden och maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället, samt förändring av dimensionerande vattenstånd i cm enligt 16 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2020-2049 (överst) och enligt 12 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2067-2096 (under). Referensperioden som beräkningarna jämförs mot är 1971-1990. Längst ner visas tidpunkt för dimensionerande vattenstånd för de tre beräkningsperioderna.

Sammantaget visar beräkningarna för Skinnmuddselet en minskning av den dimensionerande nivån i flödesdimensioneringsklass I efterhand som klimatet

ändras. Datumet för det dimensionerande tillfället blir efterhand mer utspritt över året.

I figur 3.58 redovisas förändring av 100-årsflödet för Skinnmuddselet. Frekvensanalys har genomförts löpande för varje 30-årsperiod efter 1961-1990 (t.ex. 1962-1991, 1963-1992 o.s.v.). 100-årsflödet beräknat för perioden 1961-1990 utgör startpunkt från vilken förändringarna beräknas (referensperiod). Figur 3.54 visar att 100-årsflödet i medeltal minskar betydligt i Skinnmuddselet mot slutet av seklet.

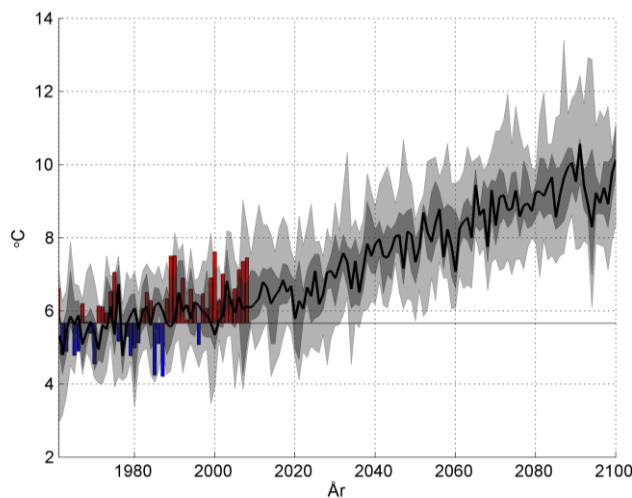


**Figur 3.58.** Procentuell förändring av 100-årsflödet för Skinnmuddselet. Diagrammet visar resultat från 16 klimatsimuleringar (12 stycken efter år 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de föregående 30 åren. Det grå fältet visar variation mellan 25:e och 75:e percentilen och den svarta linjen visar medianen av samtliga klimatscenarier.

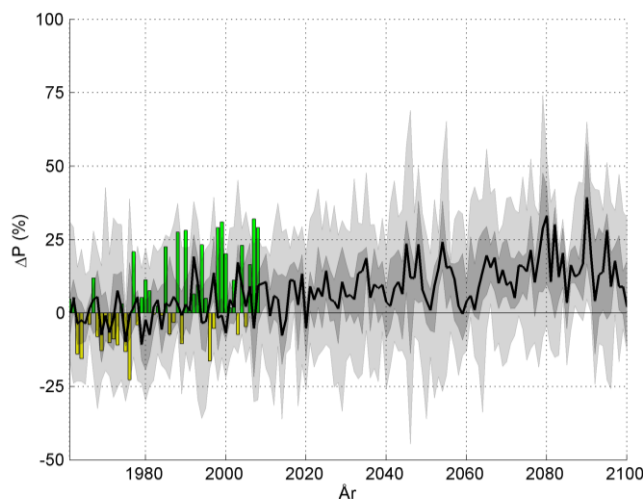
### Hyltebruk

I figur 3.59 och 3.60 redovisas den modellberäknade utvecklingen av lufttemperaturen och nederbörden i tillrinningsområdet till Hyltebruk i Nissan. Observerade data är hämtade från den så kallade PTHBV-databasen som beskrivs närmare i avsnitt 2.12. Referensperioden är 1961-1990.

Den beräknade ökningen av årsmedeltemperaturen i Hyltebruks tillrinningsområde ligger på ca XXX grader under seklet medan den beräknade årsnederbörden ökar med YY -YY %.

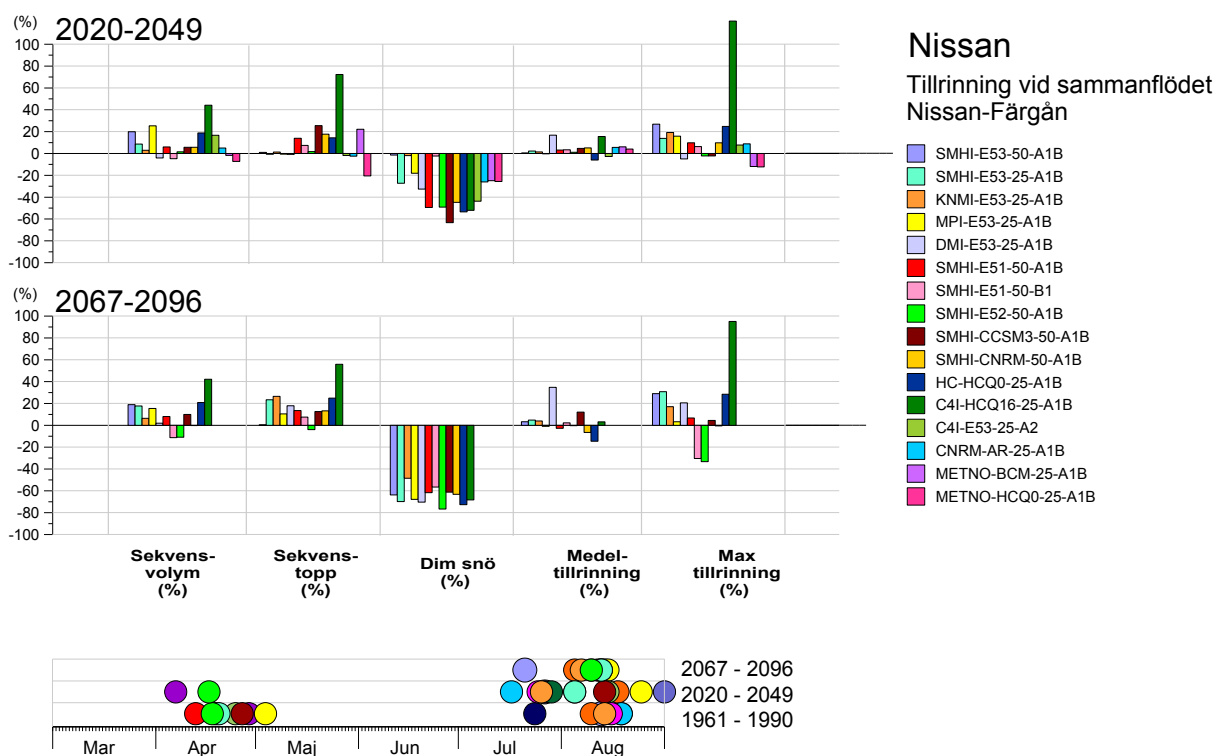


**Figur 3.59.** Beräknad utveckling av årsmedeltemperatur i tillrinningsområdet till Hyltebruk baserad på samtliga klimatscenarier i tabell 2.1. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Referensperioden är 1961-1990.



**Figur 3.60.** Beräknad utveckling av årsnederbörden i tillrinningsområdet till Hyltebruk baserad på samtliga klimatscenarier i tabell 2.1. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Referensperioden är 1961-1990.

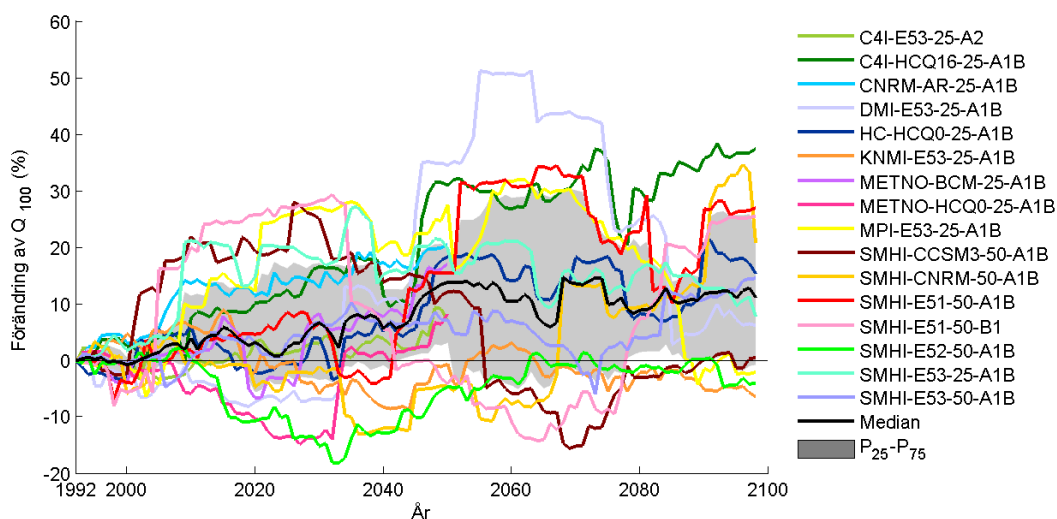
Beräkningarna enligt flödesdimensioneringsklass I för Hyltebruk sammanfattas i figur 3.61. Figuren visar procentuell förändring av volymen av nederbördssekvensen, sekvensens toppvärde, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning för snöberäkningsperioden och maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället enligt 16 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2020-2049 (överst) och enligt 12 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2067-2096 (under). Referensperioden som beräkningarna jämförs mot är 1971-1990. Längst ner i figuren visas tidpunkt för dimensionerande vattenstånd för de tre beräkningsperioderna. Eftersom kraftverket i Hyltebruk saknar anslutande magasin redovisas ingen dimensionerande nivå i detta fall.



**Figur 3.61.** Procentuell förändring för Hyltebruk av sekvensvolym, sekvenstopp, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning för snöberäkningsperioden och maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället enligt 16 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2020-2049 (överst) och enligt 12 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2067-2096 (under). Referensperioden som beräkningarna jämförs mot är 1971-1990. Längst ner visas tidpunkt för dimensionerande vattenstånd för de tre beräkningsperioderna.

Sammantaget visar beräkningarna för Hyltebruk en ökning av det dimensionerande flödet i flödesdimensioneringsklass I efterhand som klimatet ändras. Datumet för det dimensionerande tillfället koncentreras efterhand till sommaren.

I figur 3.61 redovisas förändring av 100-årsflödet för Hyltebruk. Frekvensanalys har genomförts löpande för varje 30-årsperiod efter 1961-1990 (t.ex. 1962-1991, 1963-1992 o.s.v.). 100-årsflödet beräknat för perioden 1961-1990 utgör startpunkt från vilken förändringarna beräknas (referensperiod). Figur 3.54 visar att 100-årsflödet i medeltal ökar i Hyltebruk mot slutet av seklet.



**Figur 3.62** Procentuell förändring av 100-årsflödet för Hyltebruk. Diagrammet visar resultat från 16 klimatsimuleringar (12 stycken efter år 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de föregående 30 åren. Det grå fältet visar variation mellan 25:e och 75:e percentilen och den svarta linjen visar medianen av samtliga klimatscenarier.

### Sammanfattning av beräkningarna för flödesdimensioneringsklass I

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 avrinningsområdets storlek och dess förhållande till magasinvolymen och utskovskapaciteten. En mycket översiktlig sammanfattning av beräkningarna redovisas i tabell 3.1 tillsammans med en mycket subjektiv och grov värdering. Observera att avsikten med denna 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 ska därför inte användas för att tolka resultaten för enskilda områden, utan kan endast ge en överblick över de genomförda beräkningarna. För att förstå komplexiteten i resultaten för de enskilda områdena bör detaljredovisningen för respektive område tidigare i detta avsnitt studeras. Ett plustecken betyder att respektive värde i genomsnitt ökar under seklet, och ett minustecken att det minskar.

Tabell 3.1. ger intrycket av att såväl 100-årsflöden som flöden i flödesdimensioneringsklass I på längre sikt oftast har en tendens att minska i ett framtida klimat enligt dessa beräkningar. Det är dock för tidigt att dra denna slutsats eftersom resultaten är i allra högsta grad beroende av de använda



klimate scenarierna. Däremot kan man dra slutsatsen att resultaten är någorlunda stabila över landet och att områden av liknande karaktär uppvisar liknande tendens beträffande extrema flödens klimatkänslighet.

**Tabell 3.1.** Översiktlig sammanfattning av beräkningarna av 100-årsflöden och flöden i flödesdimensioneringsklass I samt en grov subjektiv värdering av resultaten uttryckt i genomsnittlig ökning (+) respektive minskning (-) av det beräknade värdet gällande slutet på seklet. Ingen närmare analys har gjorts av förändringarna inom seklet.

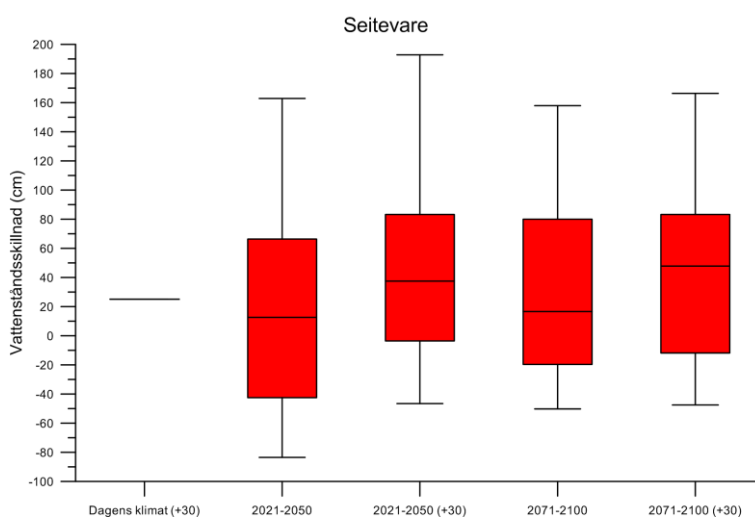
Område	100-årsflödet	Flödesdimensioneringsklass I
Seitevare	± 0	+
Torpshammar	-	-
Pengfors	-	-
Trängslet	-	-
Gruvsjön	-	+
Vänern	+	+
Torsebro	+	-
Glafs fjorden	± 0	-
Höljes	-	-
Skinnmuddselet	-	-
Hyltebruk	+	+

## 4 Analys av restmagasinets betydelse för det dimensionerande flödet

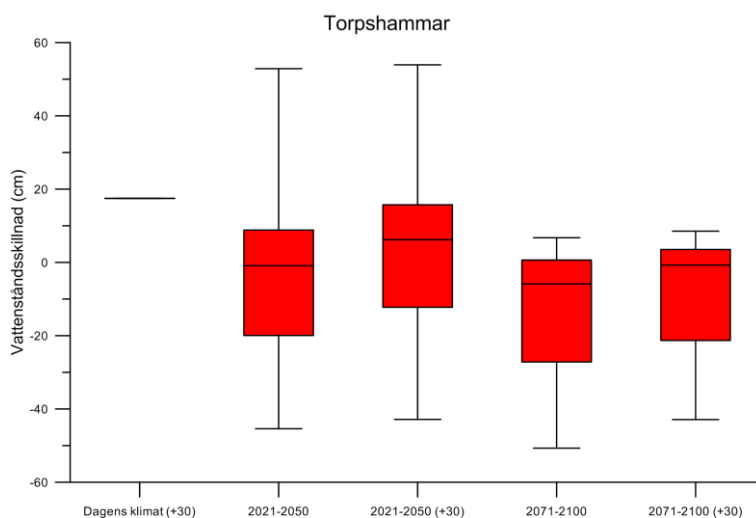
Den framtida strategin för reglering och vattenhushållning är en stor källa till osäkerhet vid beräkning av flöden i flödesdimensioneringsklass I. Regleringens handhavande kan komma att ändras på grund av såväl ändrade marknadsförutsättningar som ett förändrat klimat. Detta kan göra att antagandet om att magasinerna är avsänkta inför vårfloden i framtiden kanske inte kommer att gälla på samma sätt som idag. För att närmare analysera vad detta kan komma att betyda för det beräknade dimensionerande flödet genomfördes en tilläggsstudie i projektet.

Studien genomfördes för Seitevare, Trängslet och Torpshammar. I samtliga fall jämfördes effekten av ett restmagasin på 30 % av magasinet med effekten av ett helt tomt magasin inför vårfloden.

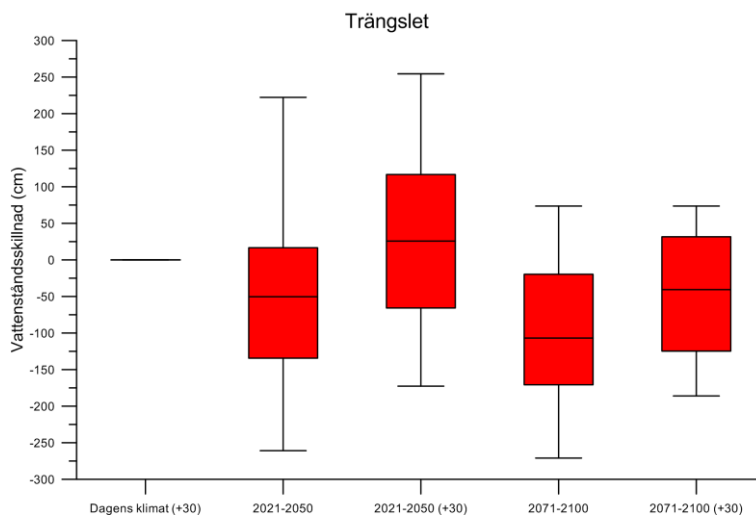
Figur 4.1 – 4.3 visar hur den dimensionerande nivån i flödesdimensioneringsklass I förändras vid beräkning för dagens klimat och med de olika klimatscenerierna i tabell 2.1. För de olika klimatscenerierna används Box and whiskers-diagram för att belysa variabiliteten. Inom de färgade rektanglarna ligger 50 % av beräkningarna. Staplarna representerar max- och minimivärden. Strecket i mitten avser medianvärdet.



**Figur 4.1.** Påverkan på det dimensionerande vattenståndet i Seitevaremagasinet då magasinets fyllnad inför vårfloden ökas från sänkingsgräns (tomt) till 30 % fyllnadsgrad. Diagrammen visar hur vattenståndet förändras dels beroende på att klimatet ändras och dels beroende på om magasinets fyllnadsgrad ökas. Alla resultat är relativt nivån för dagens klimat och med magasinet avsett till sänkingsgräns inför vårfloden. Inom de färgade rektanglarna ligger 50 % av beräkningarna. Staplarna representerar max- och minimivärden. Strecket i mitten avser medianvärdet.



**Figur 4.2.** Påverkan på det dimensionerande vattenståndet i Torpshammar då magasinstrykningen inför vårfloden ökas från sänkingsgräns (tomt) till 30 % fyllnadsgrad. Diagrammen visar hur vattenståndet förändras dels beroende på att klimatet ändras och dels beroende på om magasinstrykningen ökas. Alla resultat är relativt nivån för dagens klimat och med magasinet avsänkt till sänkingsgräns inför vårfloden. Staplarna representerar max- och minimivärden. Strecket i mitten avser medianvärdet.



**Figur 4.3.** Påverkan på det dimensionerande vattenståndet i Trängsletmagasinet då magasinstrykningen inför vårfloden ökas från sänkingsgräns (tomt) till 30 % fyllnadsgrad. Diagrammen visar hur vattenståndet förändras dels beroende på att klimatet ändras och dels beroende på om magasinstrykningen ökas. Alla resultat är relativt nivån för dagens klimat och med magasinet avsänkt till sänkingsgräns inför vårfloden. Staplarna representerar max- och minimivärden. Strecket i mitten avser medianvärdet.

Resultaten visar att betydelsen av restmagasinet för det dimensionerande flödet varierar betydligt och inte är helt lätt att förutse. För Seitevare ökar den dimensionerande nivån med ca 20 cm vid ett restmagasin på 30 % i såväl dagens som framtidens klimat om man ser till medianvärdet av klimatsimuleringarna. För Torpshammar är effekten en förhöjning av den dimensionerande nivån med ca 20 cm under dagens klimatförhållanden, men den avtar i medeltal efterhand som ett varmare klimat sänker de dimensionerande nivåerna. Den dimensionerande nivån för Trängslet påverkas knappast alls av ett antaget restmagasin på 30 % av magasinvolymen. Medianvärdet av klimatsimuleringarna visar en gradvis sänkning av den dimensionerande nivån i framtiden.

## 5 Diskussion och slutsatser

Inom projektet *Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring - Scenarier i ett 50-årsperspektiv* har en ny metod utvecklats för klimatanpassning av flödesdimensionering enligt de svenska riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar (Svensk Energi m.fl., 2007). Ett omfattande arbete har lagts ner på att ta fram ett rationellt och kostnadseffektivt produktionssystem så att ett flertal klimatscenarier kan bearbetas med rimliga insatser. Detta är nödvändigt för att dammsäkerhetsarbetet i framtiden skall kunna tillgodogöra sig de senaste resultaten från klimatforskningen. De omfattande tester av metoden som genomförts inom projektet visar att den ger rimliga resultat med en hanterbar arbetsinsats.

Inom projektet har dessutom stora resurser lagts ner på att ta fram en vetenskapligt förankrad metodik för anpassning av regionala klimatscenarier till en hydrologisk modell, den så kallade DBS-metoden. Tekniken har publicerats i internationellt vetenskapligt granskad litteratur (Yang, m.fl., 2010).

Under projektets gång har den utvecklade tekniken för klimatanpassning av flödesdimensionering kunnat prövas i praktiken vid flera tillfällen. Det gäller såväl beräkningen av framtidens 100-årsflöden som flöden i flödesdimensioneringsklass I. Resultat från några av dessa beräkningar har tillförts denna slutrapport (Vänern, Skinnmuddselet, Höljesdammen och Hyltebruk). En särställning innehar beräkningar för Mälaren som gjorts på uppdrag av Projekt Slussen och som bl.a. redovisats i en klimatanalys gjord åt Länsstyrelsen i Stockholms län (Stensen, m.fl., 2010).

De inom detta projekt framtagna resultaten skiljer sig en del från tidigare beräkningar (se t.ex. Andréasson m.fl., 2007). Det är många förutsättningar som är ändrade. Detta gäller till exempel använda utsläppsscenarier, de använda globala och regionala klimatmodellerna samt metoden för övergång från klimatmodell till hydrologiska modeller. Dessutom omfattar de nu redovisade beräkningarna i huvudsak förhållanden i en närmre framtid än vad som studerats i tidigare projekt.

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 mycket förenklat antagande som denna studie har gemensamt med många liknande arbeten i andra länder. Men med tanke på avdunstningens stora betydelse för vattenbalansen behöver mer kraft läggas på att studera dess klimatkänslighet framöver.

Analysen av framtida nederbördsextremer visar att extrem dygnsnederbörd ökar i hela landet. Som framgår av analysen (se Figur 3.4) är spridningen stor i förändringen av extrem nederbörd beräknad med olika klimatscenarier, men förändringen i medelvärdena är dock förhållandevis stabila. I medeltal ökar den extrema dygnsnederbörden med ca 20 % mot slutet på seklet. Även

extrem 14-dygnsnederbörd ökar tydligt, men förändringen är mindre, ca 10 % mot slutet på seklet.

En generell slutsats är att det dimensionerande snömagasinet minskar på grund av uppvärmningen, speciellt på våra nordliga breddgrader där vintertemperaturen beräknas stiga speciellt kraftigt. Denna signal är dock inte helt entydig i början av seklet, men den blir mer tydlig mot dess slut. Detta är en viss skillnad jämfört med resultat från tidigare studier då den dåvarande metodiken (Delta-metoden) utan undantag gav minskat snömagasin med en ökad medeltemperatur.

Den hydrologiska modellen används för att väga samman effekterna av förändringar i temperatur, nederbördsmonster, avdunstning, extrem nederbörd och snömagasin. Det är utifrån genomförda beräkningar 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 avrinningsområdets storlek och dess förhållande till magasinvolymen och utskovskapaciteten. Men beräkningarna uppvisar trots detta generella tendenser mot minskande flöden i flödesdimensioneringsklass I i flertalet av de utvalda beräkningsområdena. Detta beror i första hand på att det dimensionerande snötäcket minskar. Det är dock för tidigt att dra alltför långt gående slutsatser av detta eftersom resultaten är så beroende av valet av klimatscenerierna. 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 rörande flöden i flödesdimensioneringsklass I är att den tidpunkt på året då de mest extrema beräknade flödet kan inträffa i de flesta av de valda testområdena blir mer utspridd i ett förändrat klimat.

Den samlade bilden av den beräknade ändringen av 100-årsflöden 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 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 Skåne, på Öland och Gotland och i mindre delar av Västergötland och Småland som uppvisar en minskning. Dock är även här spridningen betydande mellan de olika scenarierna.

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.

Klimatanpassning är ett mycket speciellt område. Det handlar om att ta hänsyn till resultat från ett forskningsområde som befinner sig under ständig utveckling. Det nu redovisade projektet visar att det finns några faktorer som är speciellt viktiga vid klimatanpassning av flödesdimensionering. Dessa sammanfattas i nedanstående punkter:

1. Val av emissionsscenarier som utgångspunkt för klimatprojektionerna. Vart och ett av de idag existerande scenarierna för framtida utsläpp av växthusgaser representerar en specifik global samhällsutveckling. Dessutom påverkas de framtida utsläppen av eventuella politiska överenskommelser som följd av globala förhandlingar.
2. Val av global klimatmodell. Valet av global klimatmodell är avgörande för hur det beräknade framtida klimatet utvecklas. Det är till och med så att en och samma modell ger olika resultat om den körs med olika initialvärden.
3. Val av regional klimatmodell. Det finns flera regionala klimatmodeller att tillgå från olika länder.
4. Val av lokal tolkning av den regionala klimatberäkningen för ett specifikt avrinningsområde. 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 systematiska fel. Tidigare användes framförallt den enkla så kallade Delta-metoden för att korrigera modellavvikelser. På senare tid har mer sofistikerade metoder utvecklats som bygger på statistisk justering av klimatmodellens avvikelse från observerat klimat. Ett sådant exempel är DBS-metoden (DistributionsBaserad Skalering).
5. Val av regleringsstrategi. De hittills redovisade beräkningarna bygger på dagens strategi för hantering av regleringsmagasinen. Denna kan komma att förändras i framtiden. Detta beror i första hand på ändrade marknadsförhållanden för elkraften men också på att klimatet ändras.

Klimatfrågan är bara en av flera faktorer som skapar osäkerhet vid flödesdimensionering. Övriga faktorer är val av hydrologisk modell, val av databas, val av tidsperiod som representerar dagens klimat samt kalibreringen av den hydrologiska modellen. Detta är faktorer som studeras i det parallella Elforskfinansierade projektet *Osäkerheter vid beräkning enligt flödesdimensioneringsklass I* som också kommer att slutredovisas under 2011.

## 6 Referenser

- Alexandersson, H. (2003). Korrektion av nederbörd med enkel klimatologisk metodik. SMHI Meteorologi, nr 111, Norrköping.
- Andréasson, J., Bergström, S., Carlsson, B., Graham, L.P. and Lindström, G. (2004). Hydrological Change – Climate change impact simulations for Sweden. *Ambio* 4-5, 228-234.
- Andréasson, J., Bergström, S. och Gardelin, M. (2009). Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring - Scenarier i ett 50-årsperspektiv. Delrapport från SMHI till Elforsk, november 2009.
- Andréasson, J., Gardelin, M., Hellström, S.-S. och Bergström, S. (2006). Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer i ett framtida förändrat klimat. Elforsk rapport 06:80.
- Andréasson, J., Gardelin, M., Hellström, S.-S. och Bergström, S. (2007). Känslighetsanalys av Flödeskommitténs riktlinjer i ett framtida förändrat klimat – Andra upplagan kompletterad med analyser för Umeälven. Elforsk rapport 07:15.
- Bergström, S. (1995) The HBV Model. In: Singh, V.P. (ed.). *Computer Models of Watershed Hydrology*. Water Resources publications, Highlands Ranch, Colorado, pp. 443-476.
- Bergström, S., Andréasson, J., Asp, M., Caldarulo, L., German, J., Lindahl, S., Losjö, K. och Stensen, B. (2010). Fördjupad studie rörande översvämningsriskerna för Väneren - slutrapport. SMHI, Miljö och säkerhet. Rapport nr 2010-85. Norrköping.
- Bergström, S., Jóhannesson, T., Aðalgeirsdóttir, G., Andreassen, L.M., Beldring, S., Hock, R., Jónsdóttir, J.F., Rogozova, S. and Veijalainen, N. (2007). Hydropower. In: (Fenger, J. ed.) *Impacts of Climate Change on Renewable Energy Sources - Their role in the Nordic Energy system*. Report Nord 2007:003.
- Elforsk (2005). Dammsäkerhet - Dimensionerande flöden för stora sjöar och små tillrinningsområden samt diskussion om klimatfrågan. Elforsk rapport 05:17.
- Fenger, J. (ed. 2007) *Impacts of Climate Change on Renewable Energy Sources – their Role in the Nordic Energy System*. Nord 2007:003. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
- Gardelin, M., Andréasson, J., Carlsson, B., Lindström, G. och Bergström, S. (2002). Modellering av effekter av klimatförändringar på tillrinningen till vattenkraftsystemet. Elforsk rapport 02:27.
- Görger, K., Beersma, J., Brahmer, G., Buitveld, H., Carambia, M., de Keizer, O., Krahe, P., Nilson, E., Lammersen, R., Perrin, C. and Volken, D. (2010) *Assessment of Climate Change Impacts on Discharge in the Rhine River Basin. Results of the RheinBlick2050 Project*. International Commission for the Hydrology of the Rhein Basin. Report No. I-23 of the CHR.



- IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.
- Johansson, B. (2000) Areal Precipitation and Temperature in the Swedish Mountains. An evaluation from a hydrological perspective. *Nordic Hydrology*, 31, 207-228.
- Johansson, B. och Chen, D. (2003). The influence of wind and topography on precipitation distribution in Sweden: Statistical analysis and modelling. *International Journal of Climatology*, 23, 1523-1535.
- Johansson, B. och Chen, D. (2005). Estimation of areal precipitation for runoff modelling using wind data: a case study in Sweden. *Climate Research* 29, 53-61.
- Lindström, G., Gardelin, M., Johansson, B., Persson, M. och Bergström, S. (1996) HBV-96 – En areellt fördelad modell för vattenkrafthydrologin. SMHI, Rapporter Hydrologi, nr 12, Norrköping.
- Lindström, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M. and Bergström, S. (1997). Development and test of the distributed HBV-96 model. *Journal of Hydrology* 201, 272-288.
- Nakićenović, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., Jung, T.Y., Kram, T., La Rovere, E.L., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Riahi, K., Roehrl, A., Rogner, H.-H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, S., Victor, N., Dadi, Z. (2000) IPCC Special Report on Emission Scenarios. Cambridge Univ. Press, 599 pp.
- Nikulin, G., Kjellström, E., Hansson, U., Jones, C., Strandberg, G., and Ullerstig, A. (2011) Evaluation and future projections of temperature, precipitation and wind extremes over Europe in an ensemble of regional climate simulations. *Tellus* 63A, 41-55.
- Olsson, J., Yang, W., Graham, L.P., Rosberg, J. and Andréasson, J. (2011) Using an ensemble of climate projections for simulating recent and near-future hydrological change to lake Vänern in Sweden. *Tellus* 63A, 126-137.
- Saelthun, N.R., Aittoniemi, P., Bergström, S., Einarsson, K., Jóhannesson, T., Lindström, G., Ohlsson, P-E. Thomsen, T., Vehviläinen, B. and Aamodt, K. O. (1998) Climate change impacts on runoff and hydropower in the Nordic countries. Final report from the project "Climate Change and Energy Production" Report TemaNord 1998:552, Oslo.
- Samuelsson, P., Jones, C., Willén, U., Ullerstig, A., Gollvik, S., Hansson, U., Jansson, C., Kjellström, E., Nikulin, G. and Wyser, C. (2011) The Rossby Centre Regional Climate model RCA3: model description and performance. *Tellus* 63A, 4-23.
- Stensen, B., Andréasson, J., Bergström, S., Dahné, J., Eklund, D., German, J., Gustavsson, H., Hallberg, Martinsson, S., Nerheim, S. och Wern, L.

(2010) Regional klimatsammanställning – Stockholms län. SMHI, Miljö och säkerhet. Rapport nr 2010-78. Norrköping.

Svensk Energi, Svenska Kraftnät och SveMin (2007) Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar – Nyutgåva 2007.

Veijalainen, N. and Vehviläinen, B. (2008). The effect of climate change on design floods of high hazard dams in Finland. *Hydrology Research*, 39 (5-6): 465-477.

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.





# ELFORSK

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