

Klimatscenarier för Sverige

Bearbetning av RCP-scenarier för meteorologiska och hydrologiska effektstudier

Elin Sjökvist, Jenny Axén Mårtensson, Joel Dahné, Nina Köplin, Emil Björck, Linda Nylén, Gitte Berglöv, Johanna Tengdelius Brunell, Daniel Nordborg, Kristoffer Hallberg, Johan Södling, Steve Berggreen Clausen



Pärmbild: Varmväder och snöbrist i Härjedalsfjällen januari 2015
Fotograf: Sofi Holmin Fridell

ISSN: 1654-2258 © SMHI

KLIMATOLOGI Nr nr 15, 2015

Klimatscenarier för Sverige

**Bearbetning av RCP-scenarier för meteorologiska och hydrologiska
effektstudier**

Elin Sjökvist, Jenny Axén Mårtensson, Joel Dahné, Nina Köplin, Emil Björck, Linda Nylén,
Gitte Berglöv, Johanna Tengdelius Brunell, Daniel Nordborg, Kristoffer Hallberg, Johan
Södling, Steve Berggreen Clausen

Sammanfattning

Sveriges länsstyrelser har i uppdrag att arbeta med klimatomställning och klimatanpassning. En ny generation strålningsdrivningsscenarier, så kallade RCP-scenarier (Representative Concentration Pathways), presenterades av FN:s klimatpanel 2013 (IPCC AR5 WG1). Önskemål om en enhetlig studie för hela Sverige baserat på den senaste forskningen om framtida klimat riktades till Nationellt kunskapscentrum för klimatanpassning vid SMHI.

I studien används två RCP-scenarier, RCP4.5 som bygger på låga utsläpp, och RCP8.5 med höga utsläpp. Båda har tillämpats med 9 olika globala klimatmodeller på olika forskningsinstitut runt om i världen. De globala dataseten har bearbetats med den regionala klimatmodellen RCA4 på Rossby Centre vid SMHI. Att samtliga dataset bearbetats av endast en regional klimatmodell ger en osäkerhet i resultaten. Den regionala modellen jämfördes därför med två andra modeller och en tendens för något blötare klimatsignal i norra Sverige påvisades. Användning av andra regionala modeller för samma ensemble av globala modeller och strålningsdrivningsscenarier kan därför komma att uppvisa en något torrare klimatsignal.

SMHI har tidigare utarbetat den s.k. DBS-metoden (Distribution Based Scaling) för bearbetning av klimatscenedata för hydrologiska effektstudier. Bearbetad klimatdata från klimatmodellerna används som drivdata för hydrologisk modellering samt statistiska analyser av meteorologisk och hydrologisk klimatdata. I studien har två hydrologiska modeller använts parallellt. Varje klimatscenario har bearbetats separat men resultaten presenteras som ensembler av RCP4.5 och 8.5.

Analys av årsmedeltemperatur visar på ökad temperatur för hela Sverige i framtiden, och störst ökning sker med det högentensiva scenariot RCP8.5. Skillnaden mellan referensperioden 1961-1990 och slutet av seklet är från 4 graders ökning i södra Sverige till upp mot 6 grader längst i norr. RCP4.5, strålningsdrivningsscenariot som inkluderar utsläppsbegränsningar, visar generellt 2 grader lägre uppvärmning.

Nederbörden väntas öka i framtida klimat, RCP4.5 visar på 10-30% ökning och RCP8.5 15-40% ökning. Ökningen är störst i norra Sverige.

Medeltillrinningen väntas öka i hela landet utom i sydöstra Sverige, där det sker en minskning i tillrinningen. Störst ökning sker i landets norra delar. RCP8.5 ger det mest extrema resultatet både där tillrinningen ökar och där den minskar.

Extrema tillrinningar, 100-årsflöden, väntas öka i älvar i södra Sverige mot slutet av seklet. I nordliga älvar sker en oväsentlig ökning eller till och med en minskning av 100-årsflödets storlek.

Arbetet med nedskalning av RCP-scenarier har resulterat i en gedigen databas med meteorologiska och hydrologiska klimatindex. Syftet med databasen är fortsatta studier inom framtida klimat på läns- och kommunnivå. För sådana studier är det viktigt att ha kunskaper om osäkerheten i resultaten, vilka beskrivs i denna rapport.

Innehåll

1	BAKGRUND	1
2	SYFTE	1
3	METODIK	1
3.1	Strålningsdrivningsscenarier	1
3.2	Klimatmodeller	3
3.3	Regionala klimatscenarier	3
3.4	Klimatdata för effektstudier.....	4
3.5	Hydrologiska modeller.....	6
3.5.1	HBV-modellen.....	6
3.5.2	HYPE-modellen	6
3.6	Beräkningssystem.....	7
4	DATABASER MED STATISTIK.....	8
4.1	Tidsperioder	8
4.2	Index i geodatabasen.....	9
4.2.1	Meteorologiska index	9
4.2.2	Hydrologiska index.....	10
4.3	Index som tidsserier	11
5	OSÄKERHETER OCH TOLKNING AV RESULTAT.....	11
5.1	Strålningsdrivningsscenarier	11
5.2	Klimatmodeller	11
5.3	Naturlig variabilitet.....	12
5.4	Upplösning	12
6	RESULTAT	13
6.1	Utvärdering av RCA4	13
6.2	Temperatur	14
6.3	Nederbörd	18
6.4	Tillrinning.....	22
6.4.1	Lokal medeltillrinning	22
6.4.2	Lokal 100års-tillrinning	26
6.4.3	Total medeltillrinning	29
6.4.4	Total 100-årstillrinning.....	32
7	DISKUSSION OCH SLUTSATSER.....	35
8	TACK TILL	36
9	REFERENSER	36

1 Bakgrund

I ett klimat i förändring har länsstyrelserna fått i uppdrag att arbeta med klimatomställning och klimatanpassning. Information om framtida klimat finns i klimatscenarier som är framtagna av olika forskningsinstitut runt om i världen. Mellan år 2008 och 2013 har SMHI utfört klimatanalyser på uppdrag av enskilda länsstyrelser, enbart för det aktuella länet. Klimatscenarier från FN:s klimatpanel, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) har legat till grund för analyserna.

En ny generation strålningsdrivningsscenarier, de så kallade RCP-scenarierna (Representative Concentration Pathways), presenterades av FN:s Klimatpanel 2013 (IPCC AR5 WG1) och då uppstod ett behov av ny information på länsnivå. Önskemål om en enhetlig studie för hela Sverige riktades till Nationellt kunskapscentrum för klimatanpassning vid SMHI.

För samhällsplanering är hydrologi på en lokal skala en viktig aspekt och data från klimatmodeller brister i detaljrikedom för användning på länsnivå. SMHI har utvecklat den så kallade DBS-metoden (Distribution Based Scaling), som korregerar klimatscenarier från systematiska fel och gör informationen jämförbar med väderobservationer. Denna metod har använts i flertalet av de klimatanalyser som SMHI tidigare utfört på uppdrag av enskilda länsstyrelser.

I denna studie skaleras regionala klimatdata baserat på underlag från nio olika globala klimatmodeller och två RCP-scenarier med DBS-metoden. Scenarierna används sedan för hydrologisk modellering och statistiska analyser.

2 Syfte

Studiens syfte är att tillgängliggöra resultat från den senaste forskningen om framtida klimat på ett format som kan användas för klimatanpassning och samhällsplanering i Sverige. Målet är att en databas med förädlade data för meteorologiska och hydrologiska index ska tillgängliggöras och kunna användas direkt av länsstyrelserna, samt ligga till grund för kommande utredningar kring klimatförändringar.

3 Metodik

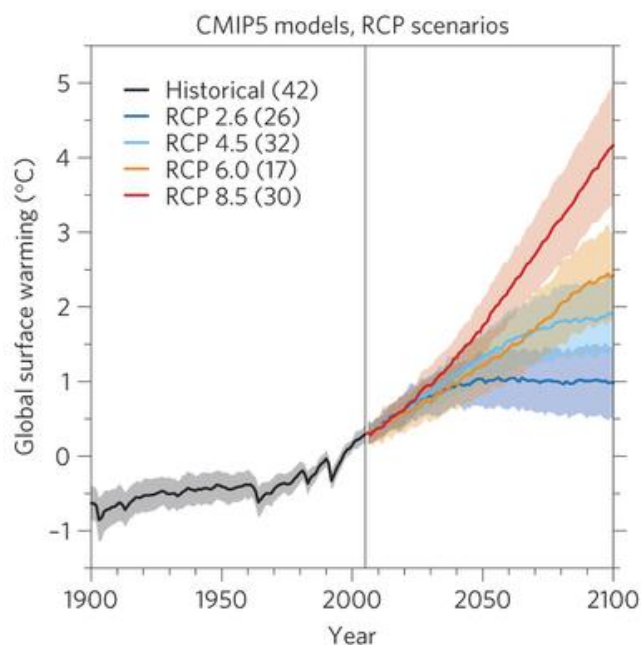
Inom projektet har de senaste resultaten från den internationella klimatforskningen använts för detaljerade analyser om Sveriges framtida klimat. I följande avsnitt beskrivs produktionskedjan och vilka antaganden som gjorts.

3.1 Strålningsdrivningsscenarier

Allt väder på jorden drivs av solinstrålning och jordens rotation. Atmosfären strävar hela tiden efter att uppnå ett jämviktstillstånd, både gällande temperaturskillnader, men också mellan inkommande solstrålning och den temperaturstrålning jorden sänder tillbaka ut i rymden. Växthuseffekten gör att en del av den energi jorden ger ifrån sig dröjer sig kvar i atmosfären och värmer upp jorden ytterligare. Strålningsbalans är ett mått på hur mycket energi som klimatsystemet tillförs från solen. På grund av mänsklig aktivitet ökar halten växthusgaser i atmosfären och strålningsbalansen förändras.

För att studera framtida klimat behövs först och främst antaganden om framtida utsläpp av växthusgaser. FNs Klimatpanel, IPCC, har utarbetat en grupp scenarier som forskare världen över använder sig av. I Klimatpanelens senaste sammanställning av det vetenskapliga läget (IPCC AR5 WG1, 2013) ersattes de tidigare utsläppsscenarierna, SRES (Special Report on Emission Scenarios, Nakićenović och Swart, 2000), med strålningsdrivningsscenarier, RCP (Representative Concentration Pathways, Moss m.fl. 2010), se Figur 1. Varje scenario anges med en siffra, vilken beskriver förändrad strålningsbalans år 2100 i enheten W/m^2 , jämfört med förindustriella förhållanden, innan år 1750. RCP-scenarierna startar år 2006 och fram till dess baseras alla klimatscenarier på historiskt uppmätt strålningsbalans. RCP:erna benämns strålningsdrivningsscenarier och inte utsläppsscenarier, eftersom de beskriver atmosfärens strålningsbalans som ett resultat av halten växthusgaser.

RCP8.5, den röda linjen i figuren, är det mest högentensiva scenariot, vilket innebär att utsläppen på jorden fortsätter att öka, medan de andra scenarierna innefattar någon form av politiska beslut som begränsar utsläppen. Fokus har i forskarvärlden legat på RCP4.5 och RCP8.5, vilket bekräftas av antalet globala modeller som ingår i ensemblerna i Figur 1 (se siffrorna inom parentes). Det var också dessa scenarier som fanns tillgängliga som kompletta ensembler vid projektets start, alltså har inget aktivt urval av strålningsdrivningsscenarier gjorts.



Figur 1. Global uppvärmning relativt år 2000 för de fyra olika RCP-scenarierna beskriven av ensembler av flera globala modeller (antalet visas inom parentes). Från IPCC AR5 WG1 2013.

RCP-scenarierna skiljer sig från de tidigare av FN:s klimatpanel framtagna SRES-scenarierna då de inte är kopplade till en unik samhällsekonomisk utveckling. De innefattar dock några grundläggande antaganden, vilka listas i Tabell 1.

Tabell 1. Antaganden som ligger till grund för strålningsdrivningsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5.

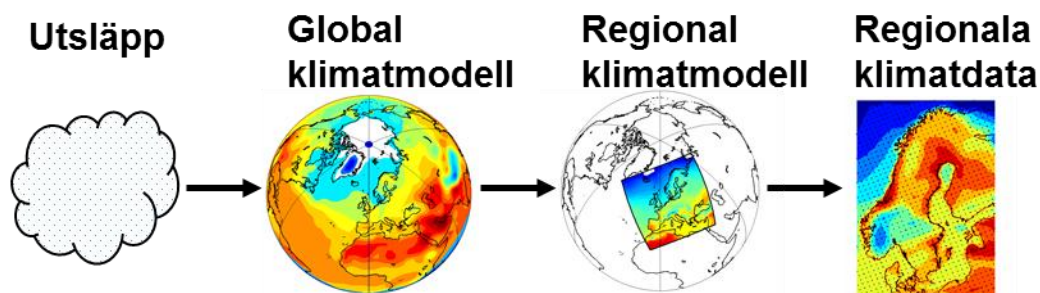
RCP4.5	RCP8.5
• Utsläppen av koldioxid ökar något och kulminerar omkring år 2040 • Befolkningsmängd något under 9 miljarder i slutet av seklet • Lågt arealbehov för jordbruksproduktion, bland annat till följd av större skördar och förändrade konsumtionsmönster • Omfattande skogsplanteringsprogram • Låg energiintensitet • Kraftfull klimatpolitik	• Koldioxidutsläppen är tre gånger dagens vid år 2100 och metanutsläppen ökar kraftigt • Jordens befolkning ökar till 12 miljarder vilket leder till ökade anspråk på betes- och odlingsmark för jordbruksproduktion • Teknikutvecklingen mot ökad energieffektivitet fortsätter, men långsamt • Stort beroende av fossila bränslen • Hög energiintensitet • Ingen tillkommande klimatpolitik

Genom att analysera resultat från RCP4.5 och 8.5 möjliggörs en jämförelse mellan effekterna av en framtid med höga utsläpp och en med stora utsläpps begränsningar.

3.2 Klimatmodeller

För att studera hur jordens klimatsystem reagerar på en förändrad strålningsbalans i atmosfären används en global klimatmodell (GCM). Modellen baseras på matematiska ekvationer som beskriver förhållanden mellan till exempel lufttryck, temperatur, fuktighet och vind. Den består av ett tredimensionellt rutnät som beskriver jordens atmosfär och dess återkoppling mellan land och hav. Upplösningen på varje ruta är ca 100-300 km. Modellen simulerar hela jordens klimat och drivs av ett strålningsdrivningsscenario.

Upplösningen i den globala klimatmodellen gör informationen otillräcklig för att studera klimatet på regional skala, därför kopplas resultatet till en regional klimatmodell (RCM), som utför *dynamisk nedskalning* över en region. Den regionala modellen har högre upplösning och kan därmed beskriva till exempel effekterna av den Skandinaviska bergskedjan och Östersjön. Figur 2 beskriver dataflödet mellan klimatmodeller.



Figur 2. Illustration av dataflödet mellan en global och regional klimatmodell.

3.3 Regionala klimatscenarier

Ett regionalt klimatscenario ges av kombinationen mellan strålningsdrivningsscenario, global klimatmodell och regional klimatmodell. Eftersom alla modeller har olika egenskaper kan resultaten skilja sig åt. Genom att använda så många olika klimatscenarier som möjligt i en s.k. *ensemble* fås ett robustare resultat och starkare statistiska mått på osäkerheten i resultaten.

Det internationella forskningssamhället har samordnat regional klimatmodellering inom nätverket CORDEX (Jones et al), där SMHI:s forskningsenhet för klimat, Rossby Centre, har haft en framträdande roll. På Rossby Centre har regional modellering för Europa utförts baserat på data från nio olika globala klimatmodeller från olika institut, se Tabell 2. Samtliga globala scenarier har skalats ner med den regionala klimatmodellen RCA4, för de två strålningsdrivningsscenarierna, RCP4.5 respektive RCP8.5. Detta ger totalt 18 klimatscenarier med upplösningen 50x50 km, vilka utgör underlaget i projektet.

Tabell 2. Institut som utfört global klimatmodellering, vilka ligger till grund för den regionala nedskalningen med modellen RCA4.

	Institut	Global klimatmodell
	CCCma, Kanada	CanESM2
	CNRM CERFACS, Frankrike	CNRM-CM5
	GFDL, USA	GFDL-ESM2M
	ICHEC, Europeiskt konsortium	EC-EARTH
	IPSL, Frankrike	IPSL-CM5A-MR
	MIROC, Japan	MIROC5
	MPI, Tyskland	MPI-EMS-LR
	NCC, Norge	NorESM1-M
	MOHC, Storbritannien	HadGEM2-ES

De regionala klimatscenarierna från Rossby Centre var den största balanserade ensemblen med Europeiska resultat som fanns tillgänglig vid projektets start. Idealt vore om de globala klimatscenarierna var nedskalade med några olika regionala modeller, men i praktiken har detta inte varit möjligt med tanke på att såväl globala- som regionala klimatsimuleringar är mycket tids- och resurskrävande. Vid projektets start fanns endast resultaten från EC-Earth nedskalade med ytterligare två regionala modeller; HIRHAM5-v1 och RACMO22E, se Tabell 3. Dessa två extra klimatscenarier användes därför till en utvärdering av RCA4, se avsnitt 5.1.

Tabell 3. Klimatscenarier för att utvärdera den regionala modellen RCA4. Modellerna använder samma globala dataset från konsortiet ICHEC och modellen EC-Earth.

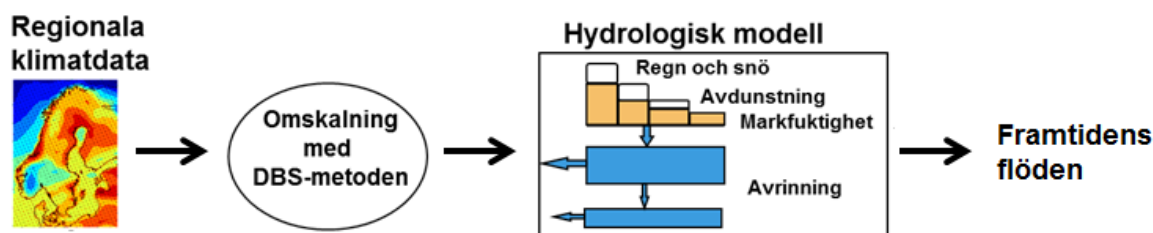
Global modell	Regional modell	Institut regional nedskalning
EC-Earth	RCA4	SMHI (Rossby Centre), Sverige
EC-Earth	HIRHAM5-v1	DMI, Danmark
EC-Earth	RACMO22E	KNMI, Nederländerna

3.4 Klimatdata för effektstudier

För användning av klimatmodellernas resultat i till exempel hydrologiska effektstudier 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.

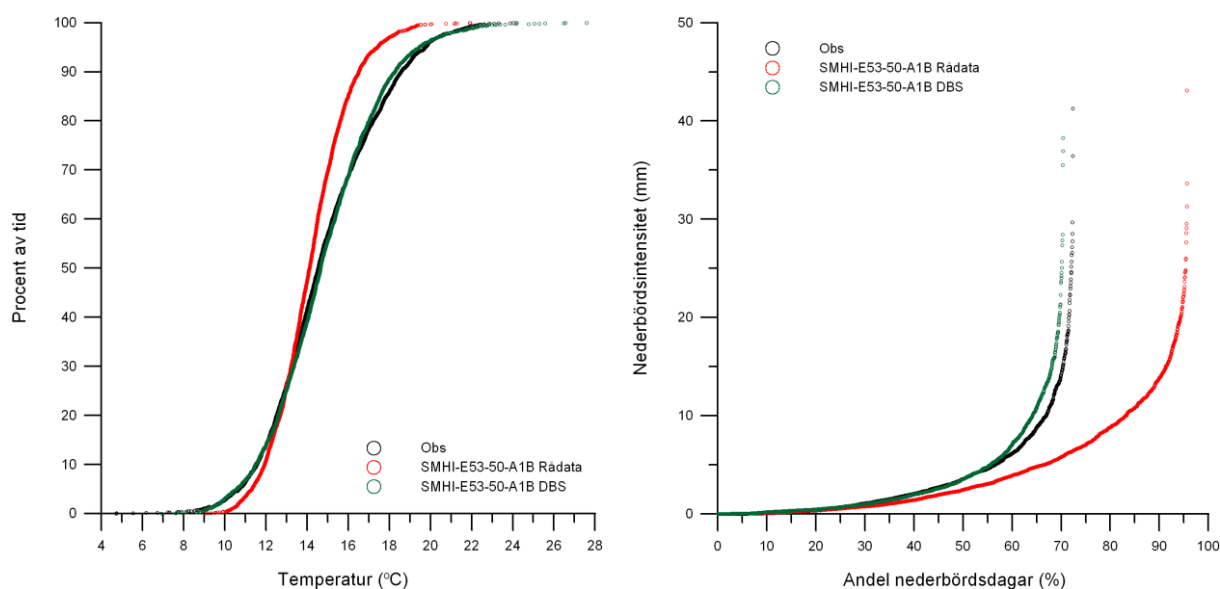
Under senare år har en metod utvecklats som möjliggör en sådan anpassning. Metoden benämns DBS-metoden (Distribution Based Scaling, Yang m.fl., 2010) och innebär att data från meteorologiska observationer används till att justera klimatmodellens resultat för att minimera de systematiska felen. Korrigeringsfaktorerna bibehålls vid beräkningen av framtidens klimat, varefter klimatberäkningens utdata blir statistiskt jämförbar med observationer och kan direkt användas som indata till en hydrologisk modell. Vid användning av DBS-metoden bibehålls både förändringar i medelvärden och

de förändringar i klimatets variabilitet, det vill säga extremvärden, som ges av klimatmodellen. Se illustration av dataflödet vid DBS-skalering i Figur 3.



Figur 3. Illustration av dataflödet från klimatmodeller till effektstudier via en hydrologisk modell.

Figur 4 visar exempel på en anpassning med DBS-metoden. Figuren visar rådata i form av temperatur och andel nederbördsdagar och deras nederbördsintensitet från en klimatmodell, samt när dessa rådata anpassats med DBS-metoden. Figuren visar att DBS-metoden väsentligt förbättrar överensstämmelsen med observerad data. Särskilt viktigt vid till exempel drivning av hydrologiska modeller är att den överskattning av antal dagar med nederbörd som ges av klimatmodellen korrigeras.



Figur 4. 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).

DBS-metoden används för att klimatscenariodata ska kunna utvärderas mot observationer för samma tidsperiod. Men liksom för klimatdata som inte är bearbetad med DBS-metoden gäller att framtida tidsperioder ska jämföras mot en modellerad referensperiod och inte en observerad. Metoden innebär inte heller att det är möjligt att jämföra individuella dagar eller år med observationsdata.

Anpassning av klimatmodelldata med hjälp av DBS-metoden används i denna studie för nederbörd och temperatur. Den observerade nederbörd och temperatur som klimatmodellen anpassas mot har hämtats från den databas, PTHBV (Johansson, 2000 och Johansson och Chen, 2003 och 2005), som SMHI byggt upp med särskild inriktning på hydrologisk modellering. Data från SMHIs meteorologiska stationer har i denna databas interpolerats till ett rutnät med upplösningen 4 km med hjälp av en geostatistisk interpolationsmetod som benämns optimal interpolation.

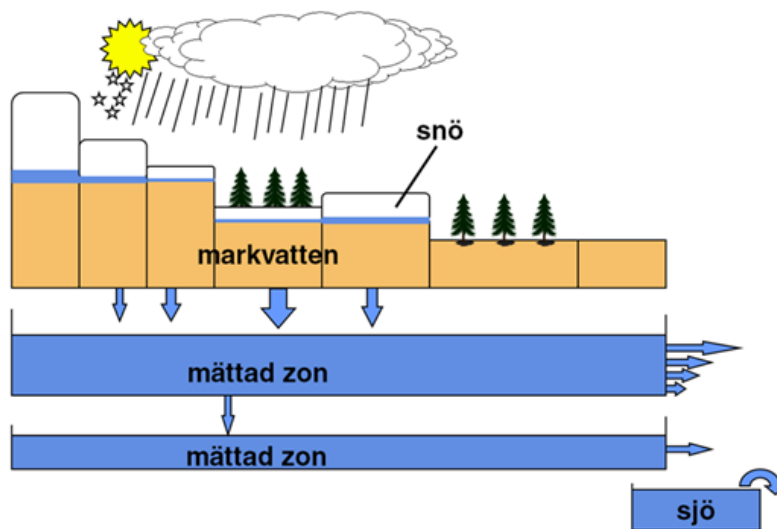
3.5 Hydrologiska modeller

I detta projekt har två hydrologiska modeller använts parallellt för simulering av klimatförändringars effekt på hydrologi. Både HBV och HYPE kan beskrivas som semi-distribuerade konceptuella modeller. En semi-distribuerad modell har delavrinningsområden med en geografisk placering i förhållande till andra områden men inom varje område beskrivs markanvändningen endast genom en fördelning. Markanvändningen har ingen specifik placering inom området, vilket den skulle ha i t.ex. en distribuerad rastermodell.

3.5.1 HBV-modellen

HBV-modellen började utvecklas vid SMHI under 70-talets början som ett prognosverktyg till hjälp för vattenkraftsaktörer. (Bergström, 1995, Lindström m.fl., 1996). HBV-modellen beräknar daglig avrinning byggd på enkel fysikalisk beskrivning och kalibreras specifikt för olika vattendrag. Strukturen är mycket enkel och grunden är tre huvudmoduler. En för beräkning av snöns ackumulation och avsmältning, en för beräkning av markvatten och en tredje för beräkning av vattnets väg och dess påverkan från fysiska faktorer, så som terräng. HBV-modellens beräkningsområden baseras på naturliga avrinningsområden som avgörs av terrängen. I områdena fördelas markarean på skog och öppen mark och delas in i höjdzoner. Nederbördsberäkningarna görs separat för varje höjdzon och vegetationstyp. I modellen sker korrektioner av nederbörd och temperatur med avseende på höjd.

Den uppsättning av HBV-modellen som används inom detta projekt går under namnet HBV-Sverige och är en generell uppsättning som täcker i stort sett hela Sveriges yta. Uppsättningen delar in Sverige i 1008 avrinningsområden, och har alltså en relativt grov upplösning. HBV-modellens tidigare användning är omfattande och har utgjort hydrologiskt underlag i många flera studier än HYPE-modellen, både i Sverige och utomlands. HBV-modelluppsättningen, HBV-Sverige användes tidigare av SMHIs hydrologiska prognos och varningstjänst och har också använts i alla tidigare klimatanalyser på länsnivå, se till exempel Klimatanalys för Blekinge län (Persson m.fl., 2011).



Figur 5. Beskrivning av HBV-modellens struktur för ett beräkningsområde.

3.5.2 HYPE-modellen

HYPE är en hydrologisk modell som började utvecklas vid SMHI 2005. Filosofin var att beskriva hydrologin med så enkla processer som möjligt och förfina beskrivningen där den enkla inte uppnår tillfredsställande resultat (Lindström m.fl. 2012). I HYPE-modellen delas marken in i ett stort antal markklasser som bygger på kombinationer av jordart och markanvändning. Varje markklass fördelas

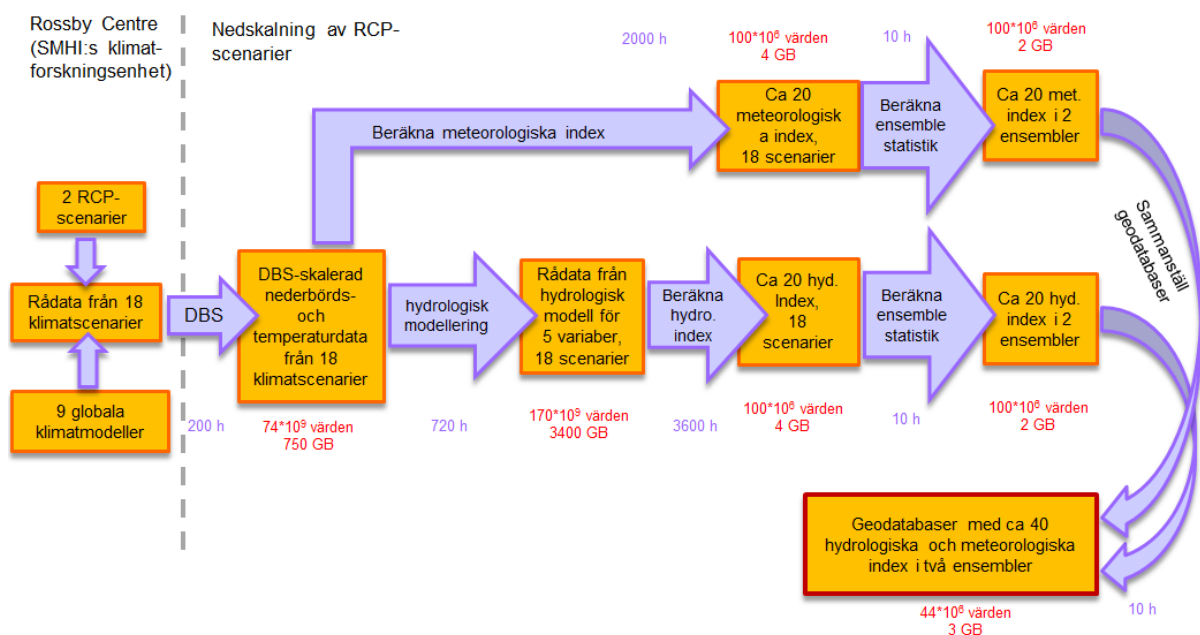
på ett, två eller tre skikt på valbart djup i modellen. Parametrarna i HYPE knyts till markklasserna, till skillnad från i HBV, där de knyts till avrinningsområden eller region. Då beräkningsområdena är mycket små, är en indelning i höjdzoner inom ett område onödig, istället används medelhöjden. I detta projekt används en uppsättning av HYPE som betecknas Sverige-HYPE eller kortare, S-HYPE. Den senaste versionen av S-HYPE delar in Sverige i knappt 37000 områden som i genomsnitt är 12 km². Detta ger ett resultat på en mycket finare skala än HBV-Sverige, men också många gånger ett annorlunda resultat, då de båda modellerna skiljer sig i sina beräkningsrutiner. S-HYPE används idag av prognos och varningstjänsten och har tidigare använts i klimatsimuleringar inom CLEO (Bosshard och Olsson, 2014).

3.6 Beräkningssystem

Inom projektets ram har stort arbete lagts på att utveckla verktyg och metoder som kan hantera de enorma mängder data som behövs för att analysera framtidens klimat. En meteorologisk parameter från ett enda klimatscenario består av ca 20 GB data, vilket multiplicerat med antalet klimatscenarier och hydrologiska parametrar, snabbt blir enormt stort (se exempel i Figur 6). Detta kräver stor datorkapacitet och skräddarsydda programvaror. För att klara detta har den största delen av beräkningarna utförts på NSC (Nationellt Superdator Centrum, Linköpings Universitet). Det utvecklade beräkningssystemets delfunktioner sammanfattas nedan:

- DBS-skalering av regionala klimatscenarier.
- Lagring av skalerade klimatscenarier i databaser med 4x4 km upplösning för hela Sverige (PTHBV-format).
- Extraktion av data från PTHBV-databaser till specialformaterade drivdatafiler för hydrologisk modellering.
- Drivning av hydrologiska modeller med 18 klimatscenarier.
- Bearbetning av hydrologisk rådata inför statistikberäkningar
- Statistikberäkningar i form av klimatindex, t ex medeltemperatur, vegetationsperiod eller 100-årsflöde, för samtliga 18 klimatscenarier.
- För varje index, beräkning av medelvärde samt min och max-värden, för respektive ensemble, utifrån klimatscenerierna.
- Lagring av klimatindex i geodatabaser.
- Kvalitetskontroll, analys och visualisering av resultat med specialanpassad programvara.

Ett exempel på hur många siffror, beräkningstimmar och datautrymme som ligger bakom beräkning av klimatindexen, illustreras i Figur 6.



Figur 6: Räkneexempel över antal siffror, beräkningstimmar och datautrymme som totalt används för beräkning av klimatindexen. Summerat resulterar projektet i 5 TB datautrymme, $250 \cdot 10^9$ antal värden och 7000 beräkningstimmar.

4 Databaser med statistik

Samtliga statistiska beräkningar som gjorts inom projektet har lagrats i två geodatabaser och en databas för hydrologiska tidsserier från ca 200 punkter. För de meteorologiska resultaten har databasen en upplösning på 4x4 km (PTHBV-format) och för hydrologiska resultat gäller den aktuella modellens avrinningsområden. Syftet med databaserna är att utgöra ett gediget underlag för detaljerade analyser på läns- eller kommunnivå. Ett urval av resultaten presenteras i Avsnitt 6.

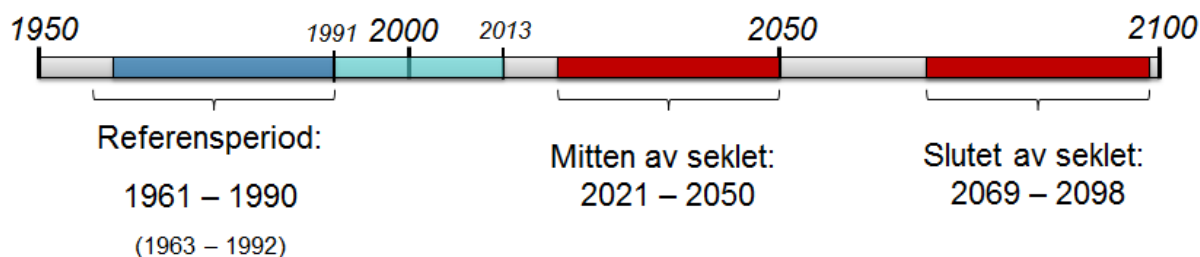
Varje klimatscenario har behandlats separat och beräkningar har gjorts för ett antal meteorologiska och hydrologiska index. Därefter har scenarierna medelvärdesbildats som en ensemble och min- och maxvärden för ensemblen har beräknats. För de index där säsongsvärden beräknats används vinter (december, januari, februari), vår (mars, april, maj), sommar (juni, juli, augusti) och höst (september, oktober, november).

4.1 Tidsperioder

För att studera en klimatförändring jämförs framtida medelvärden med medelvärden för en historisk period, en referensperiod. I enlighet med internationell praxis används i denna analys den så kallade standardnormalperioden 1961-1990 som referensperiod för meteorologiska variabler. Vid hydrologiska analyser har det inte varit möjligt att använda samma referensperiod, då de hydrologiska modellerna kräver en startsträcka för att uppnå en jämvikt i vattenbalansen. Denna startsträcka uppskattas till två år, och den hydrologiska referensperioden är därför 1963-1992.

Som komplement till referensperioden redovisas även perioden 1991-2013. Det bör påpekas att strålningsdrivningsscenarierna startar 2006, innan dess baseras scenarierna på historisk uppmätt strålningsbalans. För perioden 1991-2013 innebär det att val av RCP-scenario påverkar åtta år. De två RCP-scenarier som används i denna analys är dock mycket lika under dessa åtta år och valet antas inte påverka resultatet för perioden som helhet.

För analys av framtidsklimatet har två perioder valts; 2021-2050 och 2069-2098, som båda omfattar 30 år. Ordet klimatsignal används frekvent i analysen, vilket betyder skillnaden, eller differensen, mellan två tidsperioder för en viss parameter.



Figur 7: Illustration av de tidsperioder som använts inom projektet. Referensperioden 1961-1990 (1963-1992 för hydrologiska studier) och kompletterande referensperiod 1991-2013 samt framtidsperioderna 2021-2050 och 2069-2098.

4.2 Index i geodatabasen

Databasen som skapats inom projektet innehåller en mängd meteorologiska och hydrologiska index. Ett index är ett statistiskt mått, till exempel värmebölja eller medeltillrinning. Ett urval redovisas som kartor och diagram i Avsnitt 6. I följande stycken beskrivs de index som ingår i databasen vid den tidpunkt rapporten publiceras. Databasen kan komma att fyllas med fler index i senare skeden. För den hydrologiska delen av databasen tillgängliggörs endast data från HBV-Sverige i första skedet, då resultaten från S-HYPE kräver ytterligare granskning. Detta på grund av att det är första gången S-HYPE används i klimatsimulering i denna omfattning. Ytterligare diskussion återfinns i kapitel 7.

4.2.1 Meteorologiska index

Följande meteorologiska index från geodatabasen presenteras i kartform i rapporten:

- Medeltemperatur, års- och säsongsmedel
- Medelnederbörd, års- och säsongsmedel

Medeltemperatur

Årsmedelvärde och medel för vinter (DJF), vår (MAM), sommar (JJA) och höst (SON). Värdena beräknas utifrån dygnsmedeltemperatur.

Max- och mintemperatur

Beräknas som medelvärden av årets högsta respektive lägsta dygnsmedeltemperatur.

Växtsäsongens start, slut och längd

Växtsäsongens start är definierad som första dagen på året i en sammanhängande fyradagarsperiod då dygnsmedeltemperaturen överstiger 5°C. Vegetationsperiodens slut är motsvarande sista dagen i årets sista fyradagarsperiod med dygnsmedeltemperatur över 5°C. Längden på vegetationsperioden definieras som skillnaden mellan dess start och slut. Indexet baseras på temperatur och tar inte hänsyn till solinstrålning, vilket bör tas i beaktande vid tolkning av resultat.

Graddagar för uppvärmning och kyla

Graddagar är ett mått på energibehov, och måttet baseras på att byggnader ska värmas till 17°C. Resterande värmebehov beräknas tillkomma från sol och från personer som vistas i byggnaden. Energibehovet beräknas årsvis genom att addera differenserna mellan 17°C och dygnsmedeltemperaturen då dygnsmedeltemperaturen underskrider 17°C. Metoden är i enlighet med den nya definition av graddagar som SMHI antar från och med 2015, då de tidigare så kallade eldningsgränserna utgår.

Graddagar för kyla beräknas på motsvarande sätt, men här summeras i stället temperaturdifferenserna över 20°C.

Endast förändring av graddagar ingår.

Varma dagar

Antalet dagar med dygnsmedeltemperatur över 20 °C.

Värmebölja

Årets längsta sammanhängande period med dygnsmedeltemperatur över 20°C.

Kalla dagar

Antalet dagar med dygnsmedeltemperatur under -10°C.

Medelnederbörd

Årsmedelvärde och medel för vinter (DJF), vår (MAM), sommar (JJA) och höst (SON). Värdena beräknas utifrån dygnsnederbörd.

Kraftig nederbörd

Fyra olika index för kraftig nederbörd har beräknats: årets maximala dygnsnederbörd, maximal 7-dygnsnederbörd, antal dagar med mer än 10 mm nederbörd och antal sammanhängande dagar med mer än 10 mm nederbörd.

Perioder utan nederbörd

Beräkningar har gjorts på maximalt antal sammanhängande dagar med nederbörd under 1 mm. Indexet är inte detsamma som torka eftersom det tar inte hänsyn till markfuktighet.

4.2.2 Hydrologiska index

Följande hydrologiska index från geodatabasen presenteras i kartform i rapporten:

- Lokal medeltillrinning, års- och säsongsmedel
- Lokal 100års-tillrinning

Lokal¹ medeltillrinning

Procentuell förändring av årsmedeltillrinning respektive säsongsmedeltillrinning (DJF, MAM, JJA, SON) för framtida tidsperioder jämfört med referensperioden.

Total² medeltillrinning

Procentuell förändring av årsmedel- och säsongsmedeltillrinningen för framtida tidsperioder jämfört med referensperioden. Total tillrinning består av det vatten bildas i det lokala avrinningsområdet samt alla områden uppströms.

Antal dagar med flöde under lokala¹ medellågtillrinningen (MLQ)

Medelvärde på antal dagar per år i respektive tidsperiod som understiger referensperiodens beräknade medellågtillrinning (MLQ). MLQ är medelvärdet av varje års lägsta flöde.

Lokala¹ högtillrinningars storlek med återkomsttid 10 år, 100 år samt 200 år

Procentuell förändring av respektive extrema tillrinningars storlek för varje tidsperiod, i förhållande till referensperioden respektive storlekar.

Totala² högtillrinningars storlek med återkomsttid 10 år, 100 år samt 200 år

Procentuell förändring av respektive extrema flödens storlek för varje tidsperiod, i förhållande till referensperioden respektive storlekar.

¹ Det vatten som endast det lokala avrinningsområdet bidrar med.

² Vatten som bildas i det lokala avrinningsområdet samt alla områden uppströms. I punkter som inte utgör utlopp från sjöar är detta detsamma som vattenföring eller flöde.

Antal dagar med snötäcke, vatteninnehåll mer än 5 mm resp. mer än 20 mm

Medelvärde för respektive tidsperiod på antal dagar per år med snötäcke, innehållande mer än 5 respektive 20 mm vatten.

30-årssnötäcket i vatteninnehåll

Procentuell förändring av 30 års-snötäckets vatteninnehåll under framtidsperioderna jämfört med referensperioden.

4.3 Index som tidsserier

Ett urval om 200 hydrologiska punkter, främst mynningspunkter samt punkter där större vattendrag rinner genom orter, återfinns som tidsserier i databasen. Presentationen sker i form av ett värde per år under hela den simulerade perioden. Värdet kan vara till exempel ett årsmedelvärde eller ett säsongsmedelvärde.

I rapporten presenteras följande resultat från tidsseriedatabasen:

- Total medeltillrinning, 30-årsmedelvärde
- Total 100års-tillrinning

Total² tillrinning, 1-årsmedelvärde

Procentuell förändring av årsmedeltillrinning respektive säsongsmedeltillrinningen hela den simulerade perioden jämfört med referensperioden.

Total² medeltillrinning, 30-årsmedelvärde

Procentuell förändring i förhållande till referensperioden, av årsmedeltillrinning respektive säsongsmedeltillrinningen baserat på den 30-årsperiod som avslutas med presentationsåret.

Totala² högtillrinningars storlek med återkomsttid 10 år, 100 år samt 200 år

Procentuell förändring av höga flödens storlek, med respektive återkomsttid, jämfört med referensperioden.

5 Osäkerheter och tolkning av resultat

Det finns stora osäkerheter i studier av framtida klimat och de mest fundamentala beskrivs i följande stycken. Det är viktigt att ha dessa i åtanke vid tolkning av analyserna.

5.1 Strålningsdrivningsscenarier

Strålningsdrivningsscenarierna beskriver möjliga framtida energitillstånd i atmosfären till följd av växthusgasutsläpp, men de är inte prognoser. Mängden utsläpp beror av oss människor och vilket strålningsdrivningsscenario som i slutändan kommer bli verklighet beror på hur vi människor väljer att begränsa våra utsläpp. Genom att studera fler strålningsdrivningsscenarier fås ett mått på osäkerheten för de olika parametrarna beroende på den framtida utvecklingen. I denna analys ingår två RCP-scenarier, RCP8.5 motsvarar en fossilintensiv framtid med höga utsläpp och RCP4.5 innefattar starka utsläppsminskningar. Resultaten för dessa presenteras separat för varje enskild parameter och det är viktigt att påpeka att ingen av de två scenarierna är mer sannolik än den andra, utan att de tillsammans ger en samlad bild av möjliga framtidsutvecklingar.

5.2 Klimatmodeller

Klimatmodeller har begränsningar i upplösning och kan inte beskriva alla detaljer i jordens klimatsystem. Olika klimatmodeller är dessutom uppbyggda på olika sätt och kan beskriva klimatet olika även om samma strålningsdrivningsscenario används. Ett vanligt sätt att hantera dessa osäkerheter är att använda en mängd resultat från olika klimatmodeller som tillsammans skapar en

ensemble, vilken kan beskriva osäkerheterna hos modellerna. I denna studie används resultat från nio olika globala klimatmodeller, se Tabell 2. För varje parameter har ett medelvärde av ensemblen beräknats, samt min- och maxvärdet för att indikera osäkerheten i resultaten.

Analyserna baseras på regional modellering utförd på Rossby Centre, SMHI, med modellen RCA4. Modellen har jämförts med två andra regionala modeller, se avsnitt 3.3 och 6.1. Det bör dock påpekas att osäkerheten i klimatsignalen till stor del uppstår i den globala modellen (Hawkins m. fl. 2009).

5.3 Naturlig variabilitet

Varje klimatmodell skapar sitt eget klimat och kan därför inte förväntas ligga i fas med det verkliga klimatet på kort tidsskala, på grund av den *naturliga variabiliteten* som finns i klimatsystemet. En välfungerande klimatmodell ska dock kunna beskriva medelvärden och variabilitet under en längre tidsperiod med tillräcklig precision, t.ex. korrekt antal kalla och varma vintrar under en trettioårsperiod. Därför är det viktigt att tolkningen av tidsserier koncentreras till långsiktiga trender snarare än till absoluta värden.

5.4 Upplösning

I detta projekt har Klimatscenariodata skalerats med DBS-metoden, vilket innebär en förändring av den geografiska upplösningen i data. Klimatsceniernas lägre upplösning har förfinats med hjälp av observationsdatas högre upplösning. Detta är avgörande för användning av klimatscenarier i hydrologiska effektstudier. DBS:en är utformad så att klimatsignalen, det vill säga skillnaden i klimat mellan två tidsperioder, ska påverkas så lite som möjligt. Det betyder att vid analys av differenser kommer upplösningen från den regionala klimatmodellen att bli tydlig, vilket framträder som ett 50x50 km stort rutmönster i data visualiserat på en karta. (se t ex Figur 11). Detta är inget beräkningsfel utan rutmönstrets närvaro i visualisering av differenser, är snarare ett tecken på att klimatsignalen *inte* påverkats. Viktigt att ha i åtanke är att inte använda resultat från en enskild ruta utan göra en bedömning utifrån ett större område.

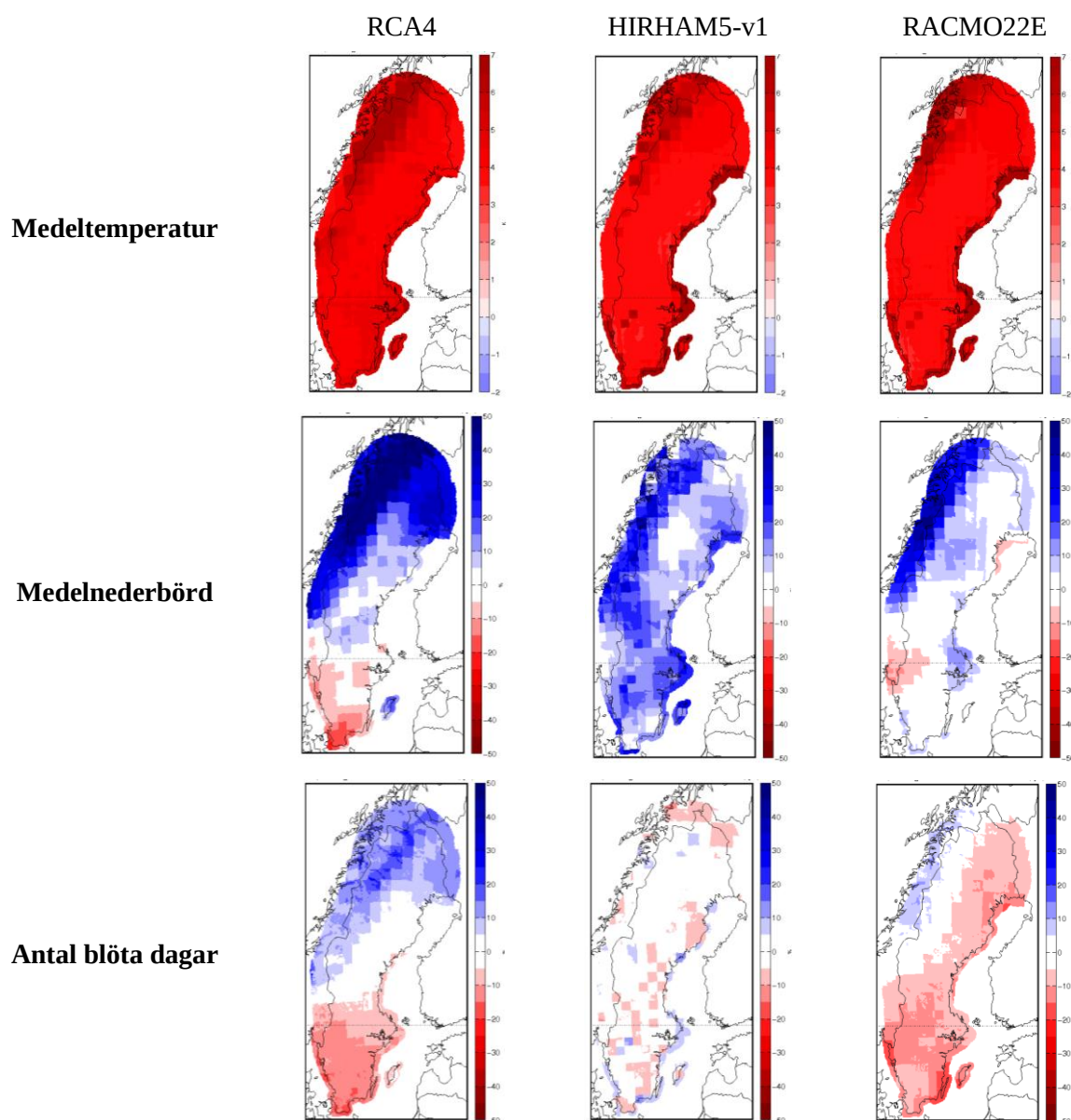
De meteorologiska resultaten i analysen har en upplösning på 4x4 km. Vid studier av medelvärden anses resultaten vara robusta och representativa för varje gridruta. Men vid studier av extremvärden ökar osäkerheten i den geografiska detaljrikedomen och enstaka gridrutor kan ge mycket missvisande resultat. Därför rekommenderas att ta ett antal gridrutor i beaktande vid lokala extremvärdesanalyser, förslagsvis 5-10 stycken. Det betyder att datat inte bör analyseras på lägre skala än 10 km.

De hydrologiska modellerna får indata på sina aktuella upplösningar, som ett viktat medelvärde från den meteorologiska griden på 4x4 km. S-hypes områden är i genomsnitt 12 km² och HBV-Sverige 450 km². Även resultatet presenteras på denna upplösning, vilket innebär att S-hypes resultat är finskaligt nog för att det 50x50 km stora rutmönstret ska slå igenom vid visualisering av differenser mellan klimatperioder. Rutmönstret härstammar från den regionala klimatmodellen, som är beskrivet ovan. Vad gäller HBV-Sverige har rutmönstret lösts upp av modellens stora områden och framträder därför inte.

6 Resultat

6.1 Utvärdering av RCA4

Ensemblen med beräknade klimatindex baseras på data från endast en regional modell. För att se hur modellen beter sig i förhållande till andra regionala modeller har en utvärdering gjorts av klimatsignalen, se Figur 9. RCA4, HIRHAM5-v1 och RACMO22E har drivits med samma globala dataset från den globala klimatmodellen EC-Earth och sedan skalerats med DBS-metoden. Utsnittet på datat motsvarar PTHBV-databasens storlek. I Figur 8 visas medeltemperatur, medelnederbörd och antal blöta dagar. Sommarsäsongen och RCP8.5 valdes ut eftersom kombinationen uppvisade tydligast skillnad mellan modellerna, för figurer med vintersäsong och RCP4.5, se Bilaga 1.



Figur 9. Klimatsignal från 1961-1990 till 2069-2098 för EC-Earth nedskalad av tre regionala klimatmodeller som sedan bearbetats med DBS-metoden. Strålningsdrivningsscenario RCP8.5, medelvärde för sommarsäsongen juni, juli och augusti. Enhet för medeltemperatur är °C, medelnederbörd % och antal blöta dagar %.

Som förväntat ger de olika modellerna olika resultat, både gällande nederbörd och temperatur. RCA4 visar något större gradient från ett torrare klimat i södra Sverige till ett blötare i norr. Tendenserna i klimatsignalen är dock lika, ingen modell sticker ut med ett helt avvikande resultat.

Analysen gjordes även för avvikelse från observationsdata under referensperioden 1961-1990, ingen systematisk avvikelse hittades i någon av modellerna.

Hos modellerna HIRHAM5-v1 och RACMO22E syns att gridrutor som inkluderar hav skiljer sig åt från övriga kustnära gridrutor, framförallt hos temperatur. Detta fenomen har observerats i tidigare klimatanalys, tex Klimatanalys för Blekinge län (Persson, 2011). Avvikelsen beror på att klimat över hav och land är mycket olika och den regionala klimatmodellen har inte tillräcklig upplösning för att fånga detaljrikedomen hos den svenska kusten. Resultaten från RCA4 visar inte på samma mönster och detta beror troligtvis på att temperaturvariabeln i RCA4 enbart består av temperatur från den del av gridrutan som täcker land. Således bör resultat från RCA4 bli mer lättolkade nära kusten jämfört med de två andra modellerna i Figur 9 och tidigare klimatanalys.

Slutsatsen av analysen är att RCA4 har en något större gradient mellan en blötare framtida sommar i norr och torrare i söder, jämfört med de två andra regionala modeller som studerats. Det betyder att en ensemble baserad på en annan regional modell än RCA4 kan ge något mindre ökning av nederbörden i norra Sverige. Det bör dock påpekas att endast *ett* globalt dataset har använts i denna utvärdering. För att dra generella slutsatser om de tre modellerna krävs fördjupade analyser.

6.2 Temperatur

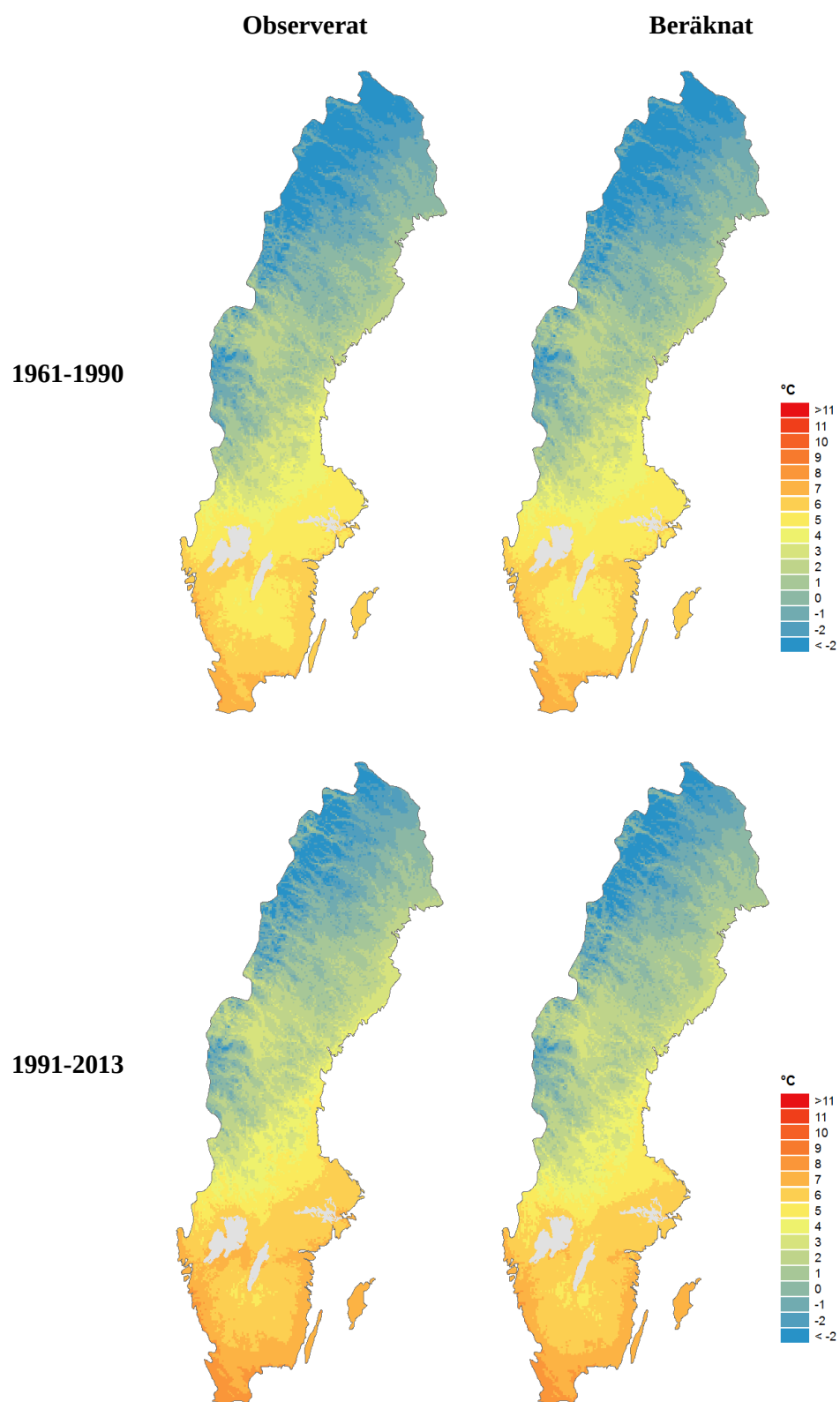
Årsmedeltemperaturen i Sverige har en tydlig nord-sydlig gradient, i nordligaste Sverige ligger årsmedeltemperaturen på minussidan, och längs sydkusten på ca 7°C. Figur 10 visar temperaturen för två historiska perioder. I figurerna framträder även topografins påverkan på temperaturen, ju högre desto kallare. Norrlands dalgångar har till exempel ett mildare klimat än fjälltopparna.

Överst i figuren visas referensperioden 1961-1990, vilket också är den period som använts som referens vid DBS-skaleringen. Den vänstra kartan visar observerad data baserat på PTHBV-databasen och den högra kartan visar medelvärde av klimatscenerierna. Figurerna är nästan helt identiska, vilket betyder att DBS-skaleringen av klimatscenerierna fungerat ändamålsenligt. Den undre raden visar perioden 1991-2013. Här går det att urskilja små skillnader, generellt är observationsdata under perioden lite varmare än scenariodata.

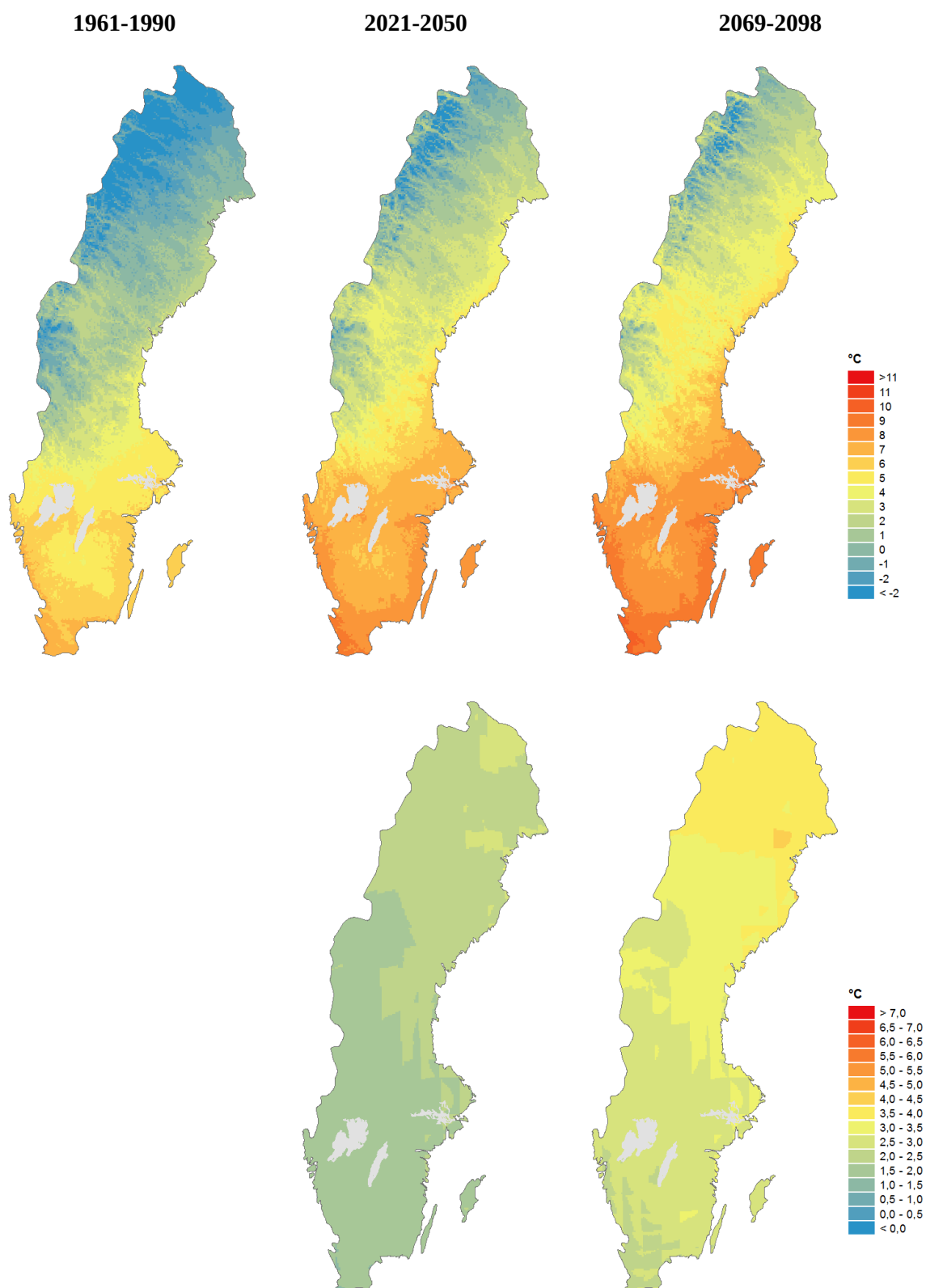
Figur 11 visar årsmedeltemperaturen som 30-årsmedelvärde för ensemblen med 9 klimatscenerier baserade på RCP4.5. Trenden är ökande temperatur. Kartorna på den undre raden visar förändringen relativt referensperioden 1961-1990 och här syns ett rutigt mönster, anledningen finns förklarad i avsnitt 5.4. Kartorna visar att störst ökning sker i norra Sverige, ökningen fram till mitten av seklet är från drygt 1 grad i södra Sverige till knappt 3 grader i norr. I slutet av seklet är ökningen från drygt 2 grader i söder till 4 grader i norr.

Figur 12 visar motsvarande analys för RCP8.5. Till mitten av seklet visar de två strålningsdrivningsscenerierna mycket lika resultat, ökningen är något större i RCP8.5. Till slutet av seklet är uppvärmningen betydligt högre, från 4 grader i södra Sverige upp mot 6 grader längst i norr. Lapplands dalgångar får samma årsmedeltemperatur som södra Svealand hade under referensperioden, ca 4°C, och Östersund får enligt scenariot samma årsmedel som Skåne idag, ca 7°C. Båda RCP-ensablerna visar i enighet med tidigare klimatanalys störst uppvärmning i norra Sverige.

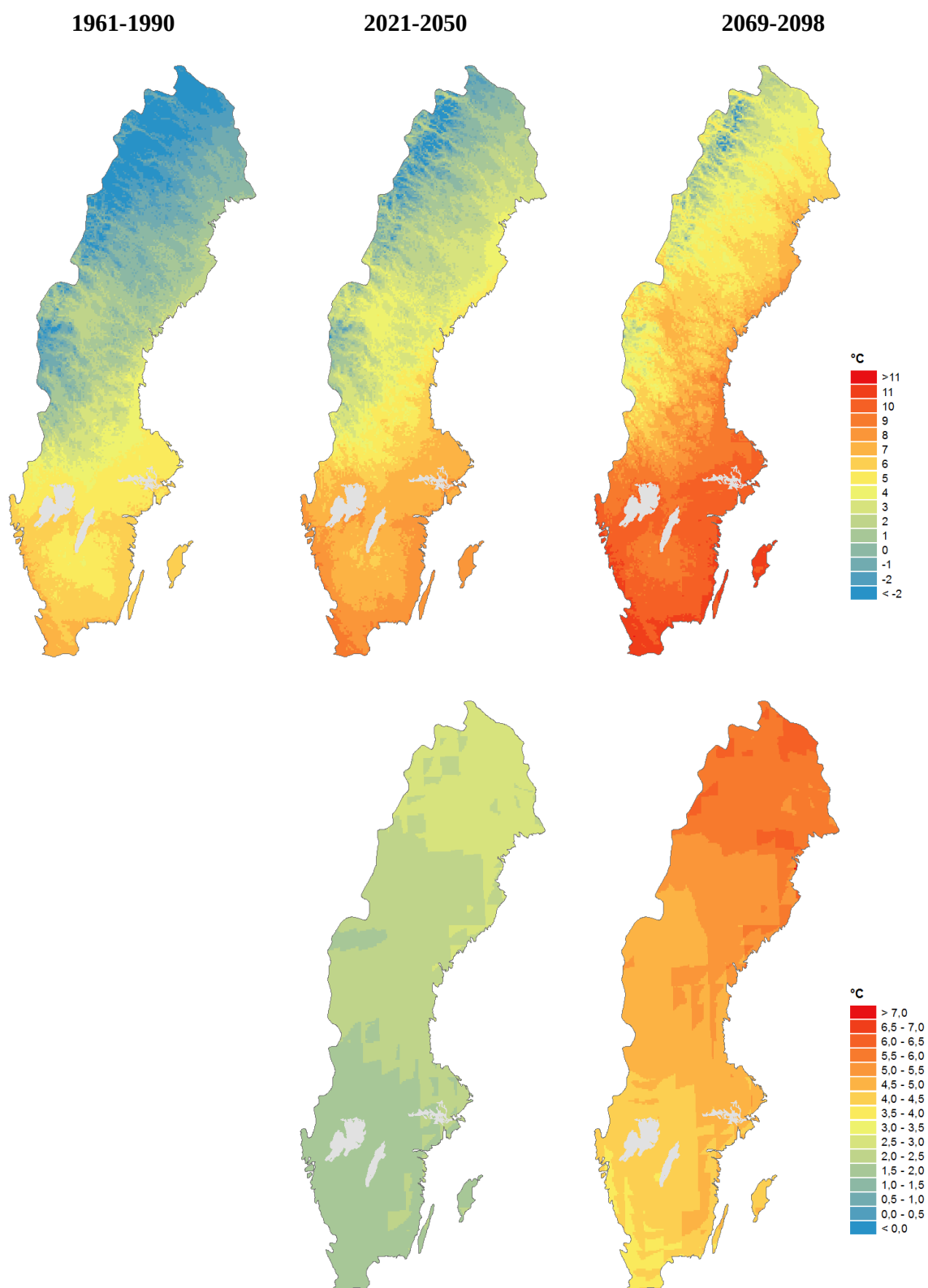
I Bilaga 2 finns kartor för temperatur fördelade över årets säsonger. För samtliga säsonger sker en större uppvärmning med strålningsdrivningssceneriot RCP8.5. Båda RCP-scenerierna visar på störst uppvärmning i norra Sverige oavsett säsong, även om mönstret varierar. Vintern är den säsong som visar på störst uppvärmning, för RCP8.5 mellan 4 och 7°C i slutet av seklet.



Figur 10. Årsmedeltemperatur. Observationer (PTHBV) jämfört med ensemblen med 9 klimatscenarier för perioderna 1961-1990 och 1991-2013. Perioden 2006-2013 består av scenariot RCP4.5.



Figur 11. Årsmedeltemperatur, 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på RCP4.5. Den övre raden visar absoluta värden och den undre raden visar differensen till referensperioden 1961-1990.



Figur 12. Årsmedeltemperatur, 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på RCP8.5. Den övre raden visar absoluta värden och den undre raden visar differensen till referensperioden 1961-1990.

6.3 Nederbörd

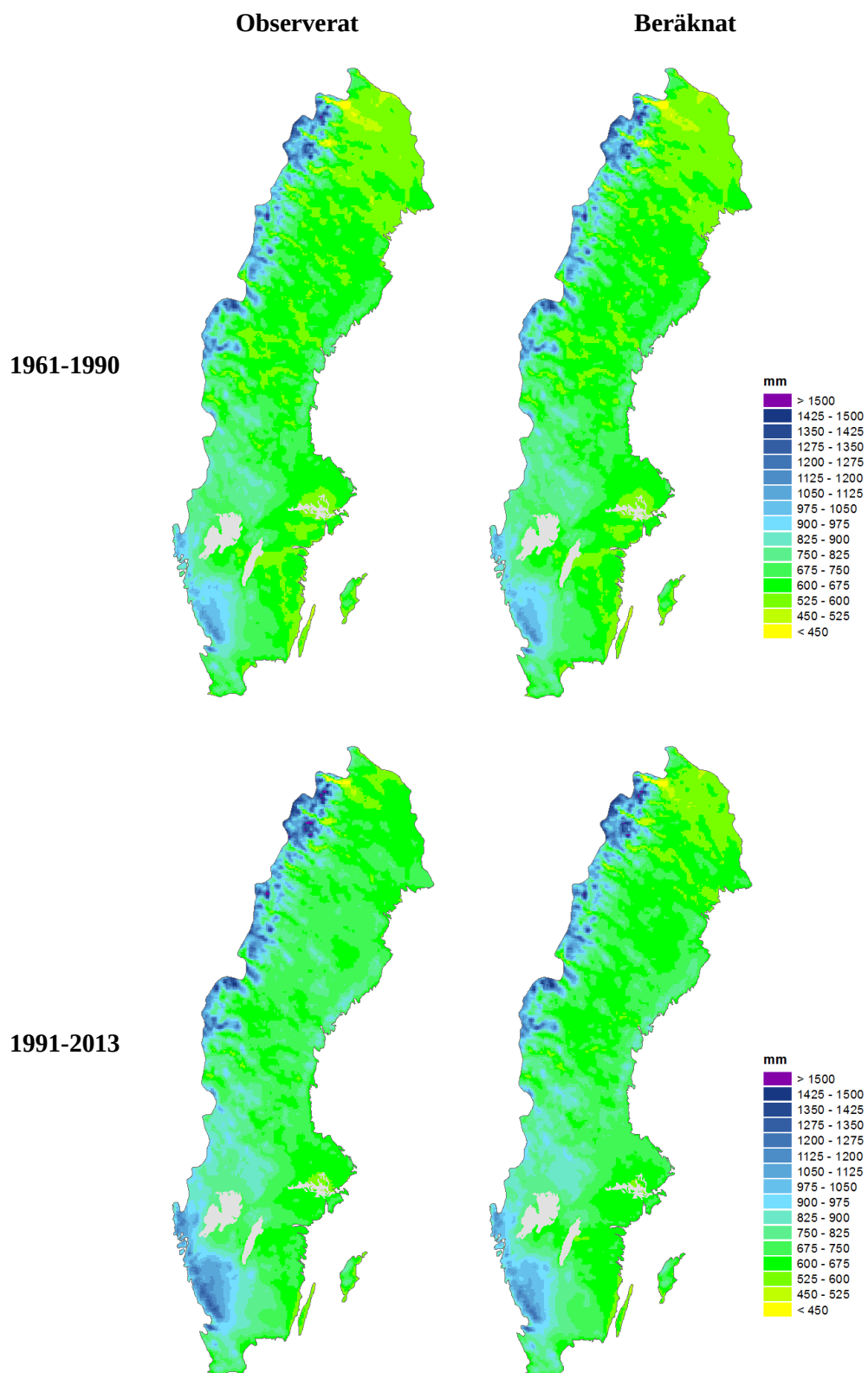
Figur 13 visar fördelningen av årsmedelnederbörd över Sverige för två historiska perioder. I den vänstra kolumnen visas observerad data och i den högra visas klimatscenariodata. Sverige är blötast i väster, vilket beror på att de flesta av våra vädersystem härrör från Atlanten och passerar landet med västvindar. När ett regnväder når in över land hävs luften och nederbördsintensiteten ökar. När systemet passerat den högsta punkten minskar intensiteten. Detta fenomen är särskilt tydligt i västra fjällkedjan och väster om sydsvenska högländet.

Årsmedelnederbörden ligger på ca 600 mm i större delen av landet, men i västra fjällen och västra Götaland observeras lokalt över 1000 mm på ett år. Den meteorologiskt sett torraste platsen i landet är Abisko i Kiruna kommun, vilket också går att urskilja i kartorna.

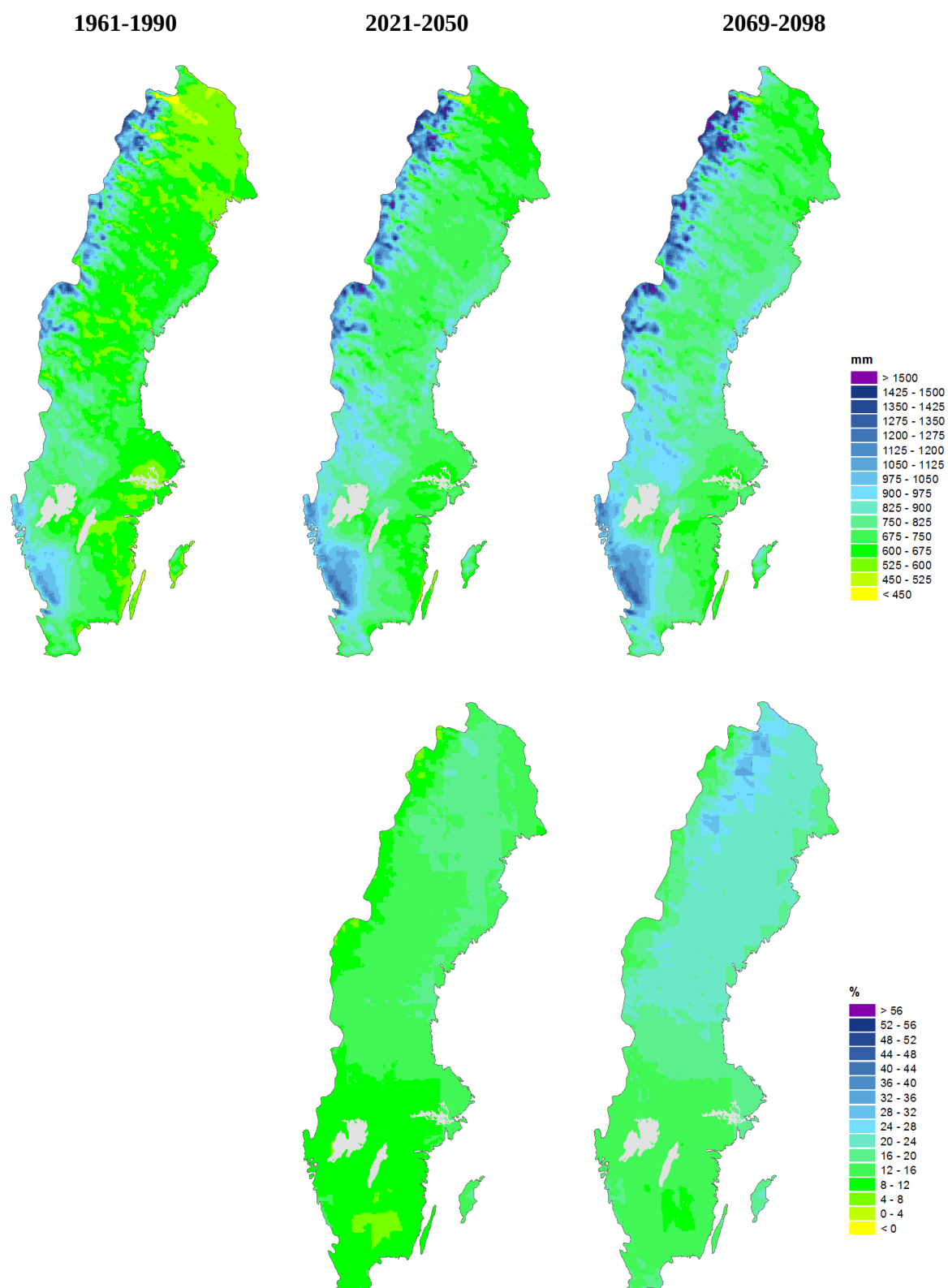
Överst i Figur 13 visas referensperioden 1961-1990, vilket är perioden som använts som referens vid DBS-skaleringen. I figuren syns knappt några skillnader alls mellan observerad data och klimatscenariodata, vilket betyder att skaleringen fungerat ändamålsenligt. I den undre raden visas perioden 1991-2013. Jämfört med referensperioden har denna period varit blötare, framförallt på västkusten. Detta syns även i klimatscenarierna, men är här inte riktigt lika tydligt.

Framtida nederbörd baserat på utsläppsscenario RCP4.5 visas i Figur 14. Klimatscenarierna visar en gradvis ökning av nederbörden fram till slutet av seklet. Differenskartorna på den undre raden visar att ökningen är 10-30% och störst i Lapplandsfjällen. Figur 15 visar motsvarande analys för RCP8.5, fram till mitten av seklet är förändringen mycket lik RCP4.5, men till slutet av seklet är nederbördsökningen större, mellan 15 och 40%. Ökningen är störst i norra Sverige och i fjällen lokalt över 40%. För förklaring av det rutiga mönstret i differenskartorna, se avsnitt 5.4.

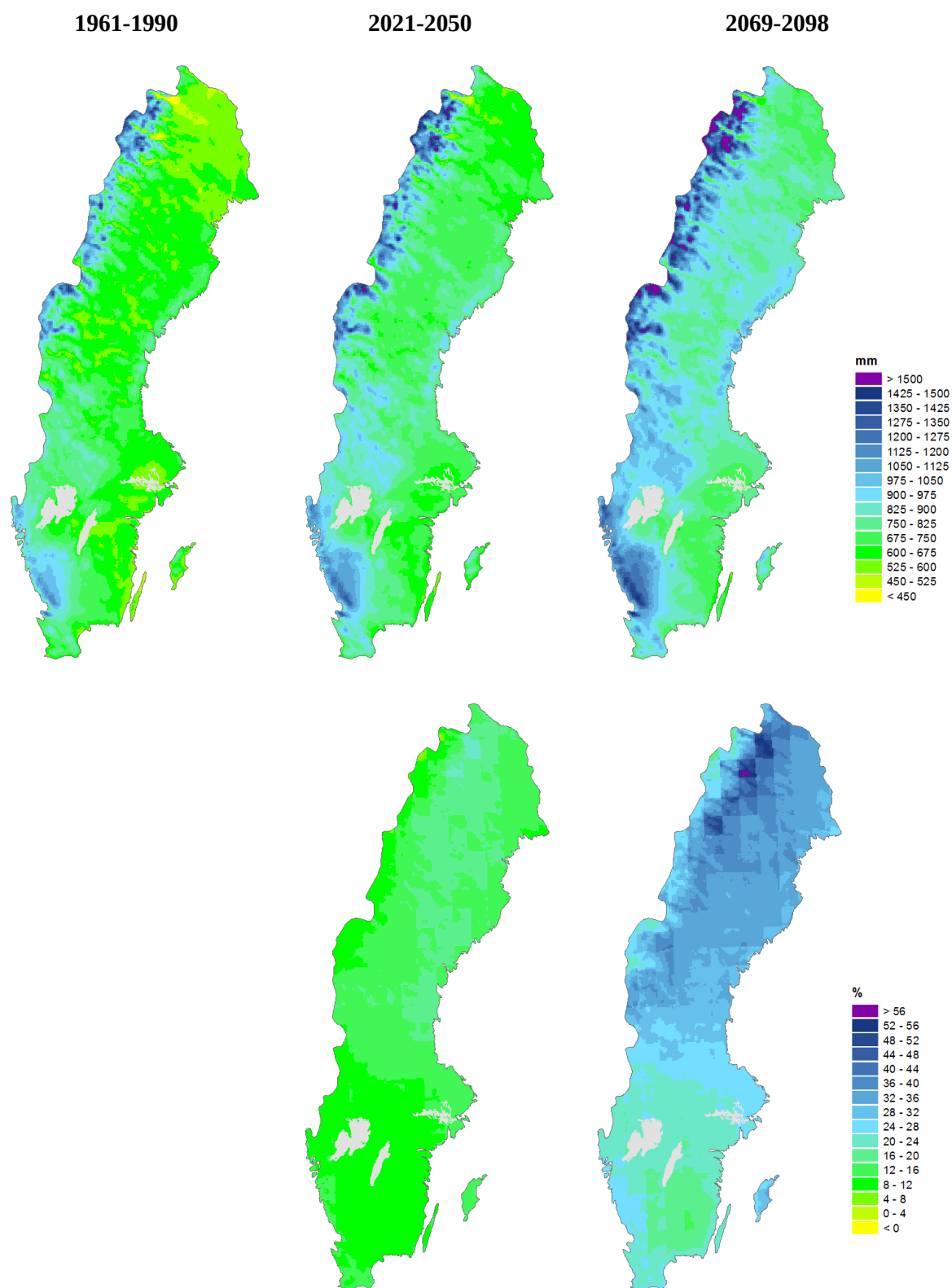
I Bilaga 3 finns kartor för säsongsnederbörd. Nederbörden ökar i större delen av Sverige för samtliga säsonger oavsett RCP-scenario. Ökningen syns framförallt i Norrland och är kraftigast i RCP8.5. Störst ökning sker under vintern och våren, upp till 50% i inre Norrland. I den allra västligaste delen av fjällkedjan, där nederbörden är som störst idag, ser dock nederbörden ut att bli oförändrad eller till och med minska en aning vintertid. Även under sommarsäsongen finns en antydning till oförändrad eller minskad nederbörd i inre Götaland. Detta syns både i RCP4.5 (tydligast till mitten av seklet) och RCP8.5 (tydligast till slutet av seklet).



Figur 13. Årsmedelnederbörd. Observationer (PTHBV) jämfört med ensemblen med 9 klimatscenarier för perioderna 1961-1990 och 1991-2013. Perioden 2006-2013 består av scenariot RCP4.5.



Figur 14. Årsmedelnederbörd, 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på RCP4.5. Den övre raden visar absoluta värden och den undre raden visar differensen till referensperioden 1961-1990.



Figur 15. Årsmedelnederbörd, 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på RCP8.5. Den övre raden visar absoluta värden och den undre raden visar differensen till referensperioden 1961-1990.

6.4 Tillrinning

6.4.1 Lokal medeltillrinning

Lokal tillrinning är summan av det vatten som bildar avrinning från enbart det lokala avrinningsområdet, alltså borträknat allt vatten som kommer från uppströms områden. Figur 16 visar lokal medeltillrinning för referensperioden 1963-1992, beräknat med två hydrologiska modeller, HBV-Sverige, respektive S-HYPE. Modellerna är drivna dels med observerad nederbörd och temperatur, dels med simulerad nederbörd och temperatur från klimatscenarierna. Mönstret som de två modellerna uppvisar, liknar varandra. I de västra delarna av landet är avrinningen som störst, på grund av den stora nederbördsmängden, medan de östra delarna är torrare. Torrast ur ett hydrologiskt perspektiv är östra Götaland, där nederbörden är låg och avdunstningen hög på grund av relativt sett höga temperaturer.

S-HYPE, med sin finare upplösning, visar väldigt detaljerade resultat, medan HBV-Sveriges grövre skala, slätar ut resultaten. I S-HYPE-modellen går det lättare att urskilja topografins inverkan på de vattenmängder som rinner av från marken, precis som för nederbörden.

Modellresultat beräknat med observerad respektive simulerad drivdata för samma tidsperiod, visar mycket lika resultat. Några systematiska skillnader går inte att urskilja varken för S-HYPE eller HBV-Sverige.

Figur 17 och Figur 18 visar procentuell förändring av medeltillrinningen under mitten respektive slutet av seklet, jämfört med referensperioden 1961-1992. Båda modellerna visar en ökad vattentillgång i Svealand, Norrland och längs västkusten och en minskning vid Götalands östkust. Resultaten är liknande i de båda modellerna, men generellt visar HBV-Sverige en något större ökning av tillrinningen än S-HYPE, för både RCP4.5 och RCP8.5.

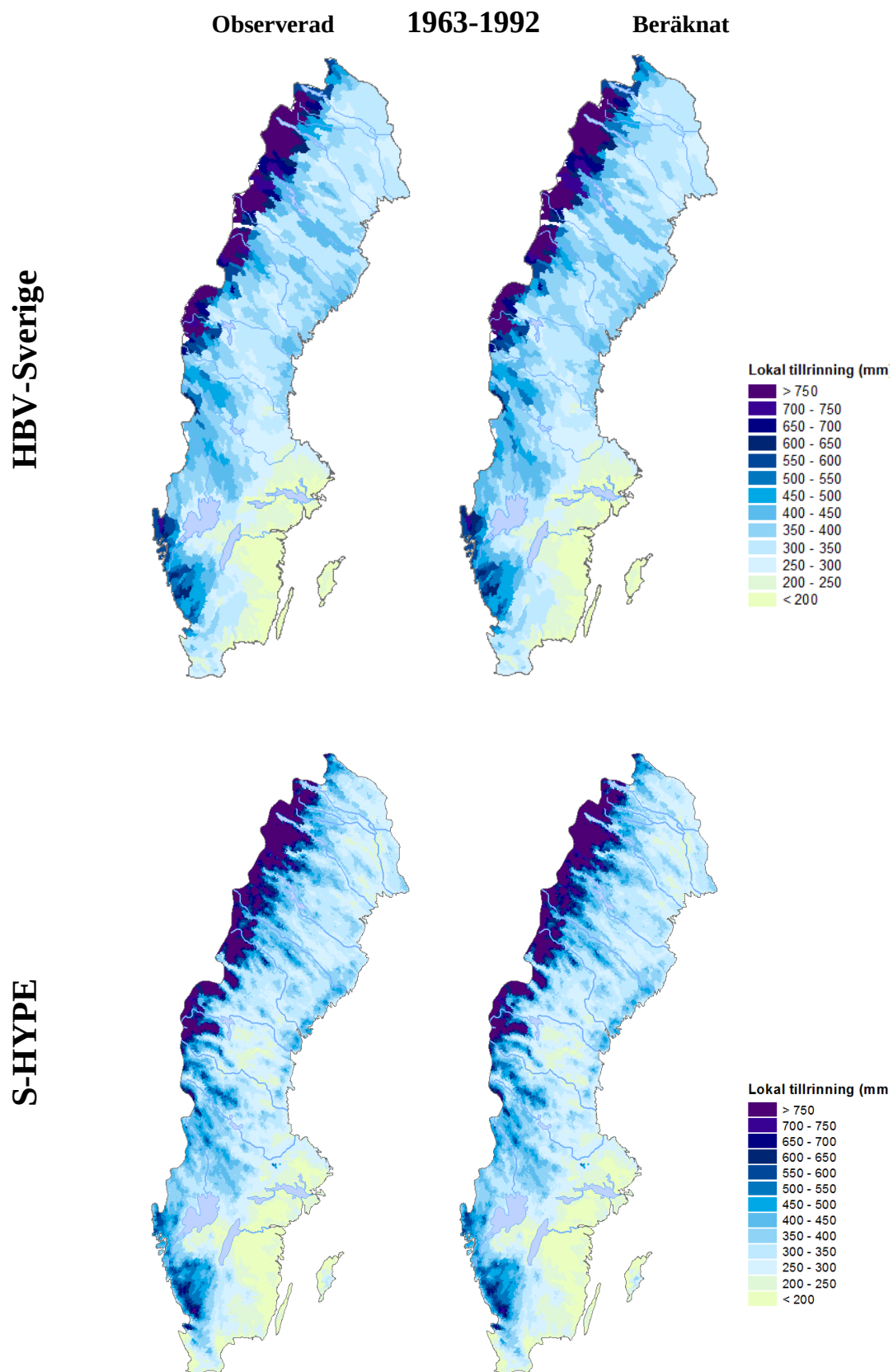
Till mitten av seklet ökar medeltillrinningen i större delen av Norrland med ca 10-15%, medan några områden visar 15-25% med HBV-Sverige. Resultaten skiljer sig knappt mellan RCP4.5 och RCP8.5 i mitten av seklet, däremot är skillnaden väsentlig i slutet av seklet. Med RCP4.5 har då tillrinningen ökat med 15-20% i större delen Norrland, med områden på 20-30 % vanligt förekommande i HBV-Sverige. I RCP8.5 visar HBV-Sverige en ökning på 20-25% och till och med upp emot 35-40% i nordligaste fjällkedjan, medan ökningen i S-HYPE inte är lika stor.

Svealand visar på en ökning på 5-15 % till mitten av seklet och till slutet av seklet en ökning på 10-20% i RCP4.5, medan RCP8.5 ger en ökning på 5-15% till mitten av seklet och 10-25% till slutet av seklet. Den största ökningen förekommer i de norra delarna.

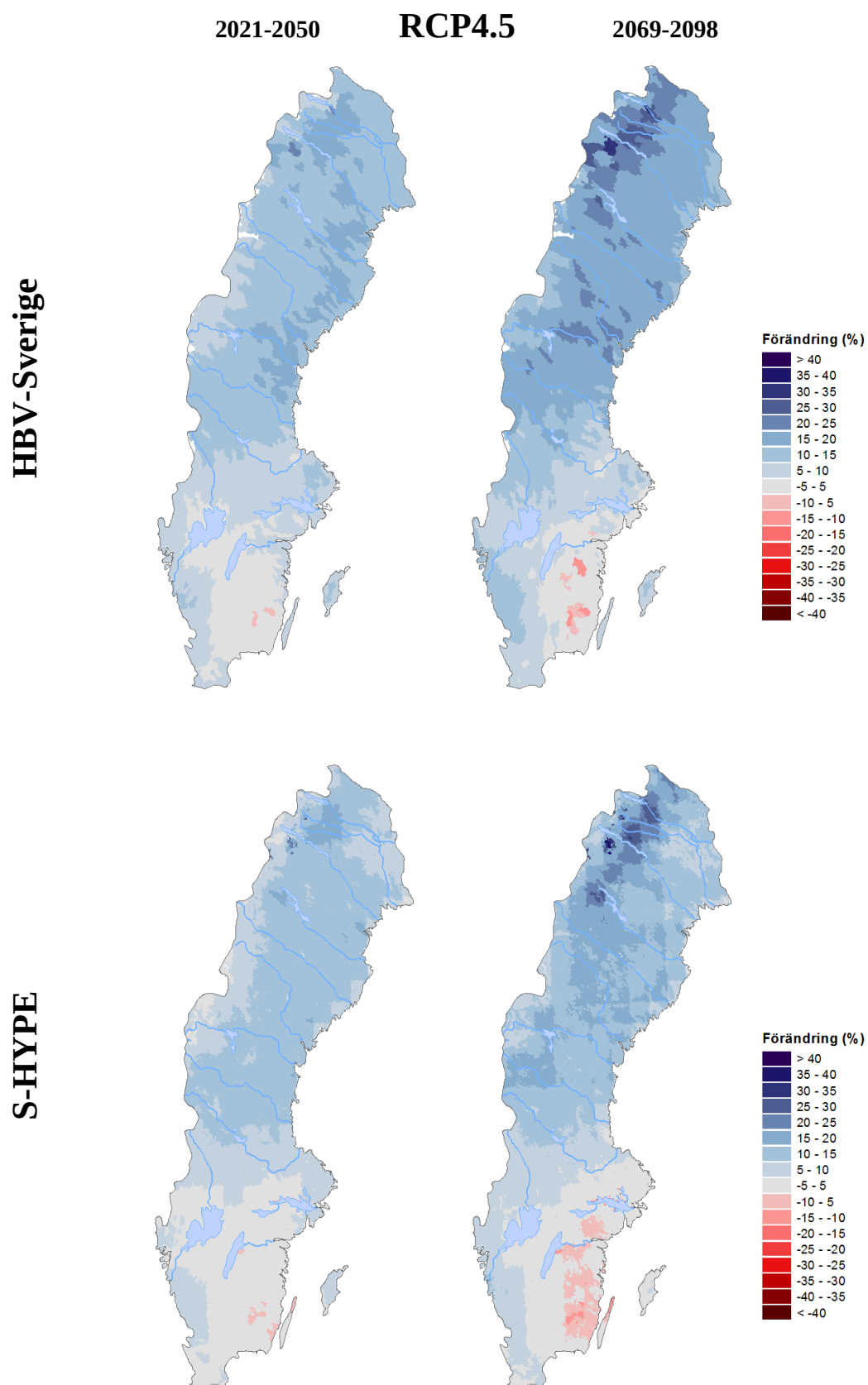
Till mitten av seklet är vattentillgången i Götalands inland relativt oförändrad, medan östra delarna av Götaland uppvisar en svag minskning av tillrinningen och västkusten en liten ökning på 5-10%. Slutet av seklet visar på en blötare västkust, med en 10-15% ökning i RCP4.5 och 10-25% i RCP8.5. S-HYPE uppvisar något torrare resultat än HBV-Sverige på västkusten. På östkusten däremot visar resultaten på en minskad tillrinning, med 5-10 % till slutet av seklet, med RCP4.5 och mellan 5-20% minskning med RCP8.5. Även här står HBV-Sverige för de extremare siffrorna både gällande ökad och minskad vattentillgång, medan områdena med minskad vattentillgång är mera utbredda i S-HYPE.

I kartorna i Figur 17 och Figur 18 som visar förändring till slutet av seklet framträder ett rutmönster som orsakas av den regionala klimatmodellen. Läs mer om detta i avsnitt 5.4.

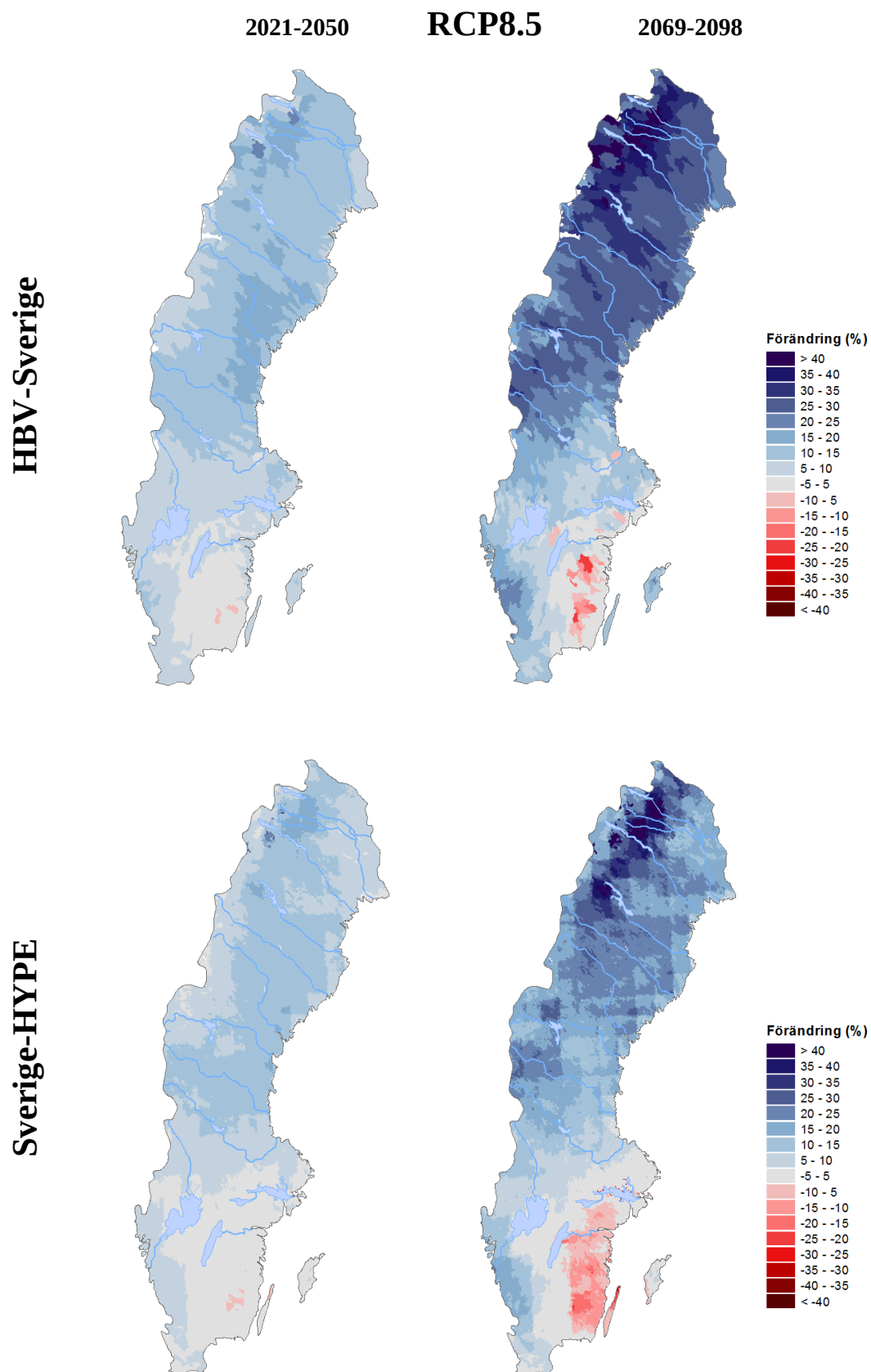
I Bilaga 4 presenteras kartor över medeltillrinningen per säsong för framtidsperioderna relativt referensperioden.



Figur 16. Lokal årsmedeltillrinning för perioden 1963-1992. Den övre raden visar resultat från HBV-Sverige driven med observationer (PTHBV) samt ensemblemedelvärde från drivning med 9 klimatscenarier och den undre raden motsvarande för S-HYPE.



Figur 17. Procentuell förändring i lokal årsmedeltillrinning för respektive framtidsperiod jämfört med referensperioden 1963-1992, beräknat som ett 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på strålningsdrivningsscenario RCP4.5. Den övre raden visar resultatet med HBV-Sverige och den undre med S-HYPE.



Figur 18 Procentuell förändring i lokal årsmedeltillrinning för respektive framtidsperiod jämfört med referensperioden 1963-1992, beräknat som ett 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på strålningsdrivningsscenario RCP8.5. Den övre raden visar resultatet med HBV-Sverige och den undre med S-HYPE.

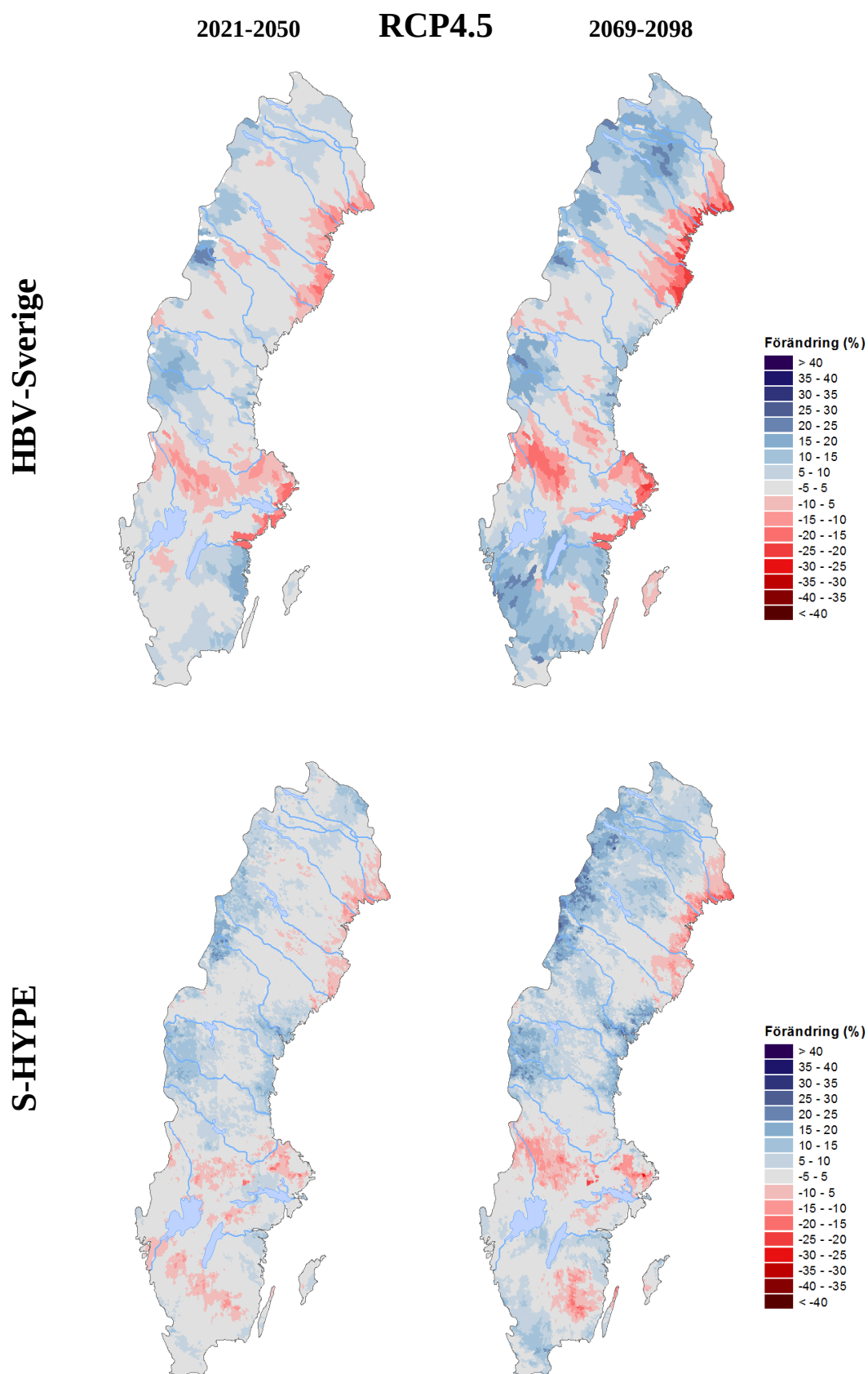
6.4.2 Lokal 100års-tillrinning

100-årstillrinningen är ett extremvärdesmått på tillrinningen som statistiskt sett förekommer 1 gång på 100 år och är specifik för varje punkt i ett vattendrag. 100-årstillrinningens storlek är beroende av vilken period som ligger till grund för beräkningen. I detta kapitel tittar vi på hur den lokala 100-tillrinningens storlek i framtidsperioderna förhåller sig till referensperiodens.

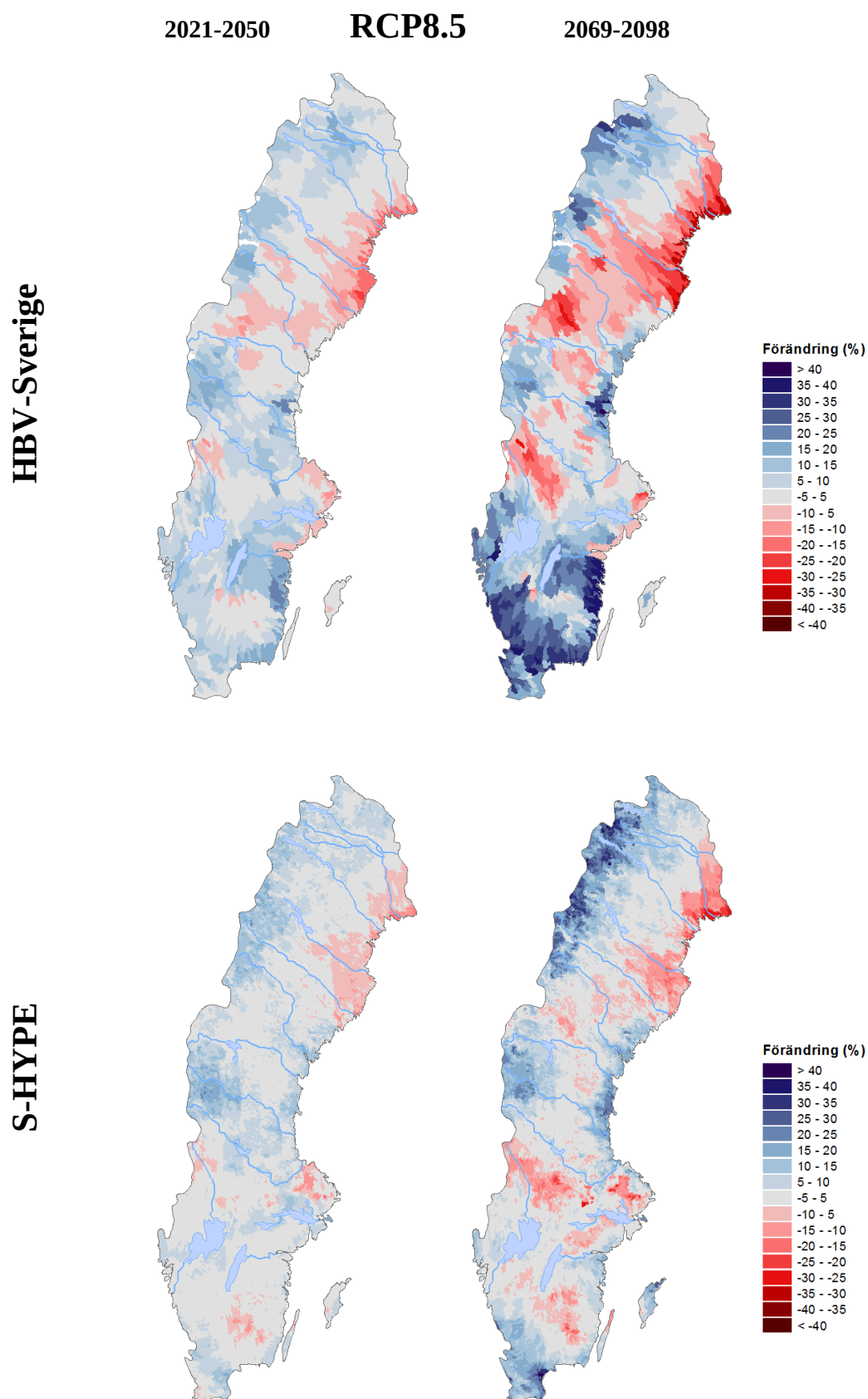
Figur 19 och Figur 20 visar förändring av lokal 100-årstillrinning för mitten respektive slutet av seklet jämfört med referensperioden 1963-1992, simulerat med RCP4.5 och RCP8.5. Generellt visar de båda hydrologiska modellerna liknande resultat för de två perioderna för respektive strålningsdrivningsscenario, men HBV-Sverige visar större förändringar, både i ökning och minskning av 100års-tillrinningen

Till mitten av seklet blir ökningarna respektive minskningarna i 100-årstillrinningarnas storlek mellan -20 till 20 % över landet. I många delar är storleken mer eller mindre oförändrad. Ett minskat 100-årsflöde ser vi längs med Norra norrlandskusten och även i norra Norrlands inland i RCP8.5. I fjällkedjan är en ökning av 100-årsflödet dominerande. I södra Sverige är signalen lite olika i RCP4.5 och RCP8.5 och även de två hydrologiska modellerna ger skillnader i resultatet. Södra Svealand domineras av ett band som sträcker sig från öst till väst med ett minskat 100-årsflöde i RCP4.5, men detta är inte alls framträdande i RCP8.5. I Götaland syns en ökning i 100-årsflödet längs kusterna, framförallt i HBV-modellen. S-HYPE å andra sidan visar en smärre minskning i Götalands inland där HBV-Sverige domineras av ökad eller oförändrad 100-årstillrinning.

Till slutet av seklet är signalen likartad för respektive scenario och modell, men dock förstärkt. Områden som uppvisar en ökning av 100-årstillrinningen till mitten av seklet uppvisar i regel ytterligare ökning till slutet av seklet. Detsamma gäller områden som uppvisar en minskning av 100-årsflödet. Generellt syns en kraftigare signal i HBV-Sverige än i S-HYPE. De största ökningarna ligger på runt 35 % medan de största minskningarna ligger på runt -35%, då med RCP8.5.



Figur 19. Procentuell förändring av lokal 100-årstillrinning för respektive framtidsperiod jämfört med referensperioden 1963-1992, beräknat som ett 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på strålningsdrivningsscenario RCP4.5. Den övre raden visar resultatet med HBV-Sverige och den undre med S-HYPE.



Figur 20. Procentuell förändring av lokal 100-årstillsrinning för respektive framtidsperiod jämfört med referensperioden 1963-1992, beräknat som ett 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på strålningsdrivningsscenario RCP8.5. Den övre raden visar resultatet med HBV-Sverige och den undre med S-HYPE.

6.4.3 Total medeltillrinning

Total tillrinning utgörs av det avrinningsvatten som bildas i det lokala avrinningsområdet samt alla områden uppströms. För punkter i ett vattendrag som inte utgör utloppet från en sjö, är tillrinningen densamma som vattenföringen. I detta avsnitt presenteras tidsserier på förändring av den totala medeltillrinningen, jämfört med referensperioden 1963-1992, i sex utvalda punkter i runtom i Sverige:

- Torneälven
- Vindelälven
- Motala Ström
- Mörrumsån
- Nissan
- Örekilsälven.

Alla bilder representerar mynningarna i havet för respektive älv. För Vindelälven visas mynningen till Umeälven. I första hand har oreglerade vattendrag eller vattendrag med liten andel reglering valts ut. Till vänster i Figur 21 och Figur 22 visas resultatet från HBV-Sverige och till höger, motsvarande från S-HYPE, för samma punkt.

Graferna i Figur 21 och Figur 22 visar procentuell förändring av tillrinningen baserat på ett medel från de 30 år som föregår presentationsåret, för respektive strålningsdrivningsscenario. Medelvärde för respektive ensemble presenteras som en linje tillsammans med ensemblernas min och max, som fält. RCP4.5 beskrivs i blått och RCP8.5 i rött.

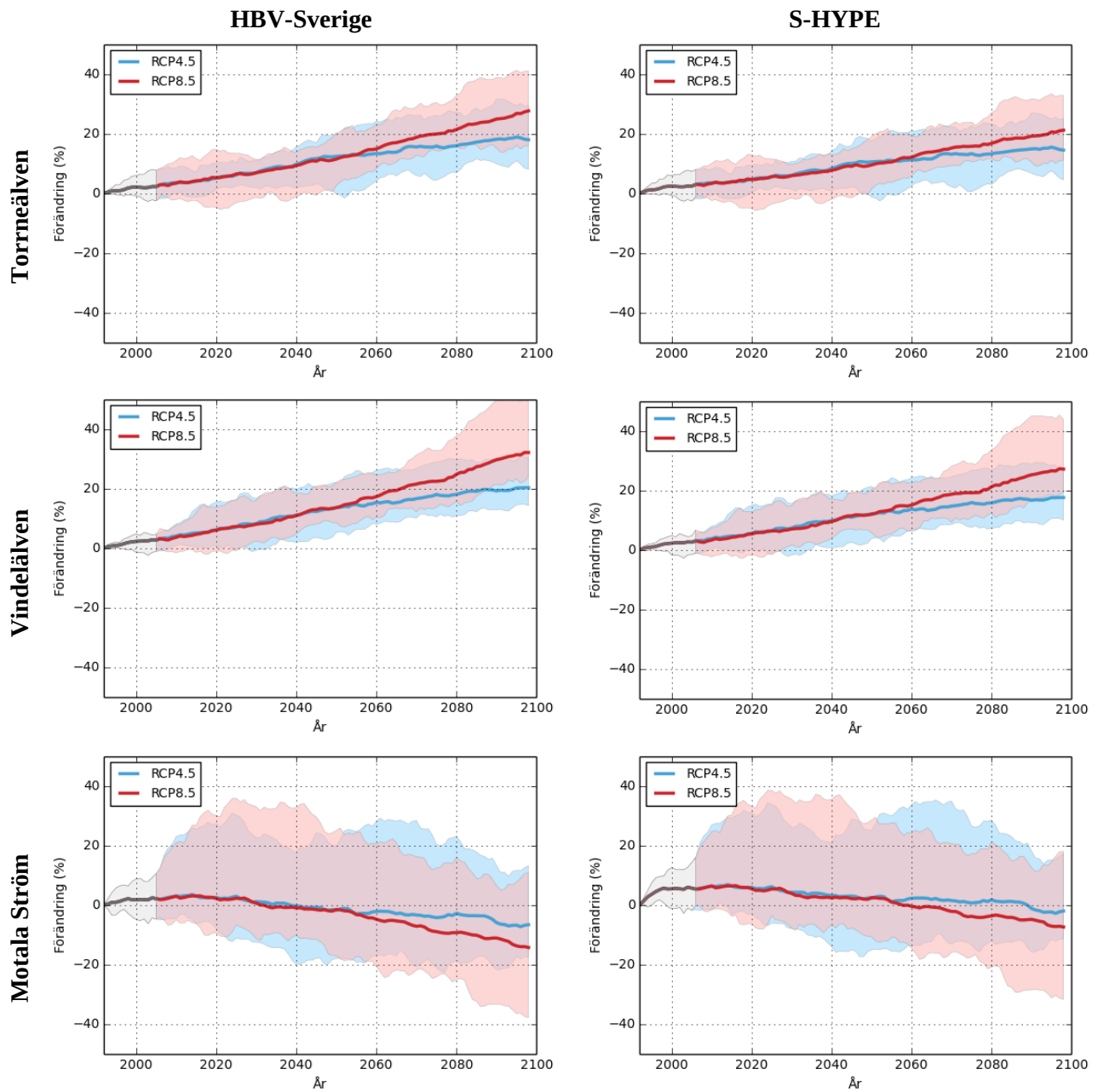
Resultatet visar en tydligt ökande trend av medeltillrinningen i de båda norrlandsälvarna Torneälven och Vindelälven. För båda älvarna gäller en ökning av i medeltal 20-25% procent av medeltillrinningen, i slutet av seklet, jämfört med referensperioden. RCP8.5 står för den större ökningen. Det går också att urskilja att spridningen kring medelvärde är i storleksordningen $\pm 10\%$, men trenden är dock tydligt ökande.

För östkustvattendraget Motala Ström är trenden ökande i början av seklet, framförallt i S-HYPE, för att sedan minska mot slutet av seklet. Störst är minskningen för RCP8.5, med 7-15% beroende på hydrologisk modell. Ensemblernas max och min-värden spänner upp ett brett fält, ca 40 procentenheter, som kan tolkas som att spridningen i scenariernas resultat är stor i Motala Ström under hela seklet.

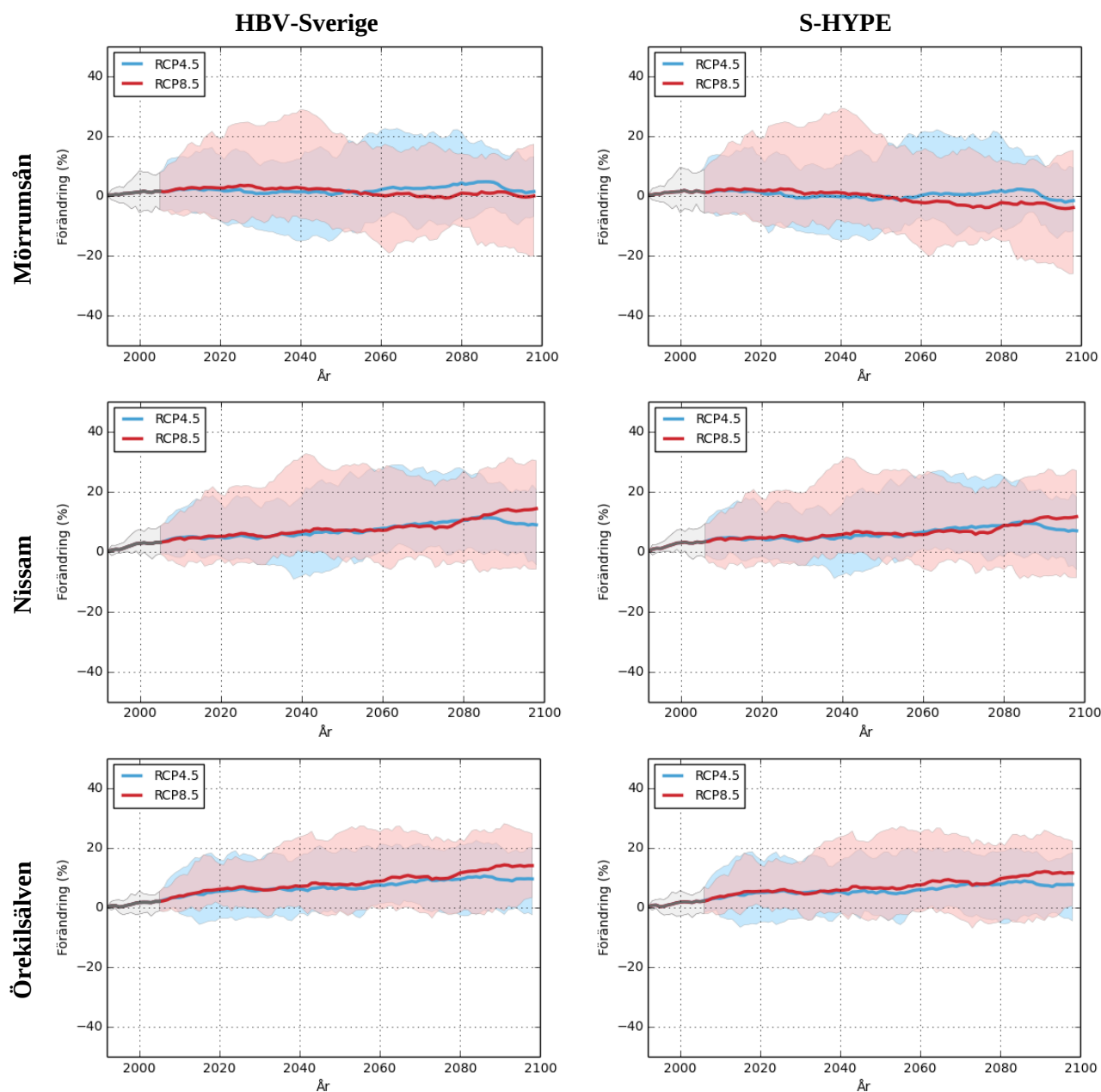
Mörrumsån i Blekinge uppvisar ingen tydlig trend i någon av ensemblerna, varken under början eller i slutet av seklet. Spridningen inom ensemblerna är ganska stor men inte riktigt så stor som i Motala ström.

Västkustälvarna Nissan och Örekilsälven uppvisar en ökande trend i medeltillrinningen under hela seklet. I slutet av seklet är ökningen i genomsnitt runt 10%, jämfört med referensperioden. RCP4.5 och RCP8.5 beter sig likartat under större delen av seklet, förutom under de sista åren, då de skiljer sig åt. RCP8.5 slutar med den största ökningen. Spridningen mellan scenarierna i respektive ensemble är mindre än för östkustälvarna, men större än för Norrlandsälvarna.

Generellt ger S-HYPE och HBV-Sverige liknande resultat i alla älvar. Dock har HBV-Sverige en något förstärkt signal där vi ser en något större förändring än i S-HYPE.



Figur 21: Medeltillrinningen för Torneälven, Vindelälven och Motala Ströms mynningar, baserat på medelvärdet av de 30 som slutar med presentationsåret, från 9 klimatscenarier med strålningsdrivningsscenario RCP4.5 (blå) respektive RCP8.5 (röd). Linjerna representerar ensemblemedelvärde och bakgrundsfälten respektive ensembles minimum och maximumvärden.



Figur 22. Medeltillrinningen för Mörrumsån, Nissan och Örekilsälvens mynnningar, baserat på medelvärdet av de 30 år som slutar med presentationsåret, från 9 klimatscenarier med strålningsdrivningsscenario RCP4.5 (blå) respektive RCP8.5 (röd). Linjerna representerar ensemblemedelvärde och bakgrundsfälten respektive ensembles minimum och maximumvärden.

6.4.4 Total 100-årstillrinning

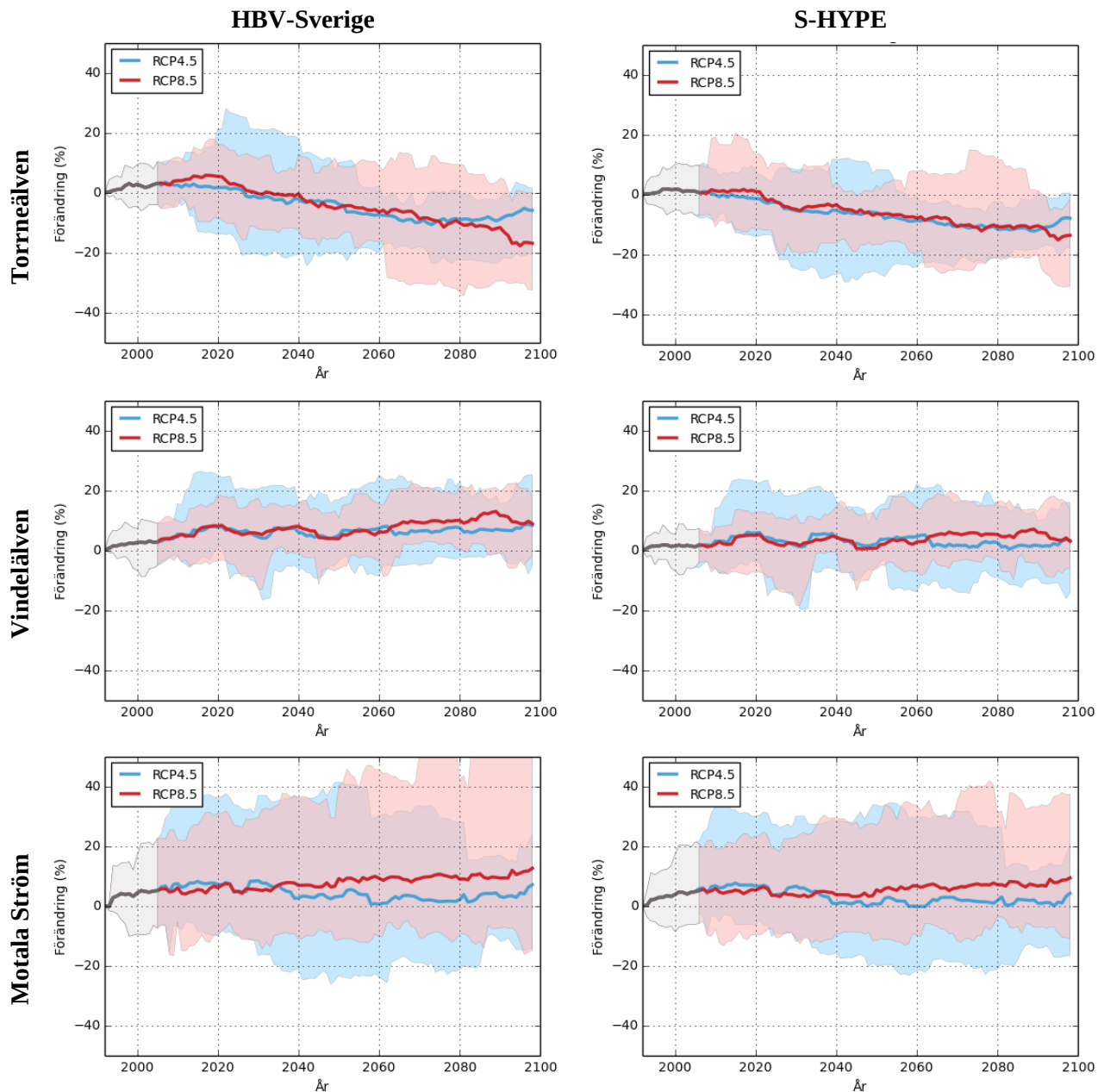
Detta kapitel presenterar den totala 100-årstillrinningen i samma sex utvalda vattendrag (Figur 23 och Figur 24), som föregående kapitel. På samma sätt återfinns HBV-Sverige-resultatet i den vänstra kolumnen och S-HYPE i den högra. 100-årstillrinningens storlek baseras på statistik från den 30-årsperiod som avslutas med presentationsåret och jämförs med referensperiodens, 1963-1992, storlek för 100-årstillrinningen. De två ensemblernas resultat presenteras separat, som röda (RCP8.5) och blå (RCP4.5) linjer och fält, vilka representerar medelvärdet, respektive min och max för ensemblen.

På grund av att 100-årstillrinningen är en extremvärdesanalys blir stora värden framstående i presentationen, framförallt i ensemble-min och ensemble-max. Av denna anledning kan de röda och blå fälten tyckas göra stora ”skutt” på vissa år. Det beror alltså på att ett särskilt extremt flöde blivit inläst i det löpande analys-fönstret.

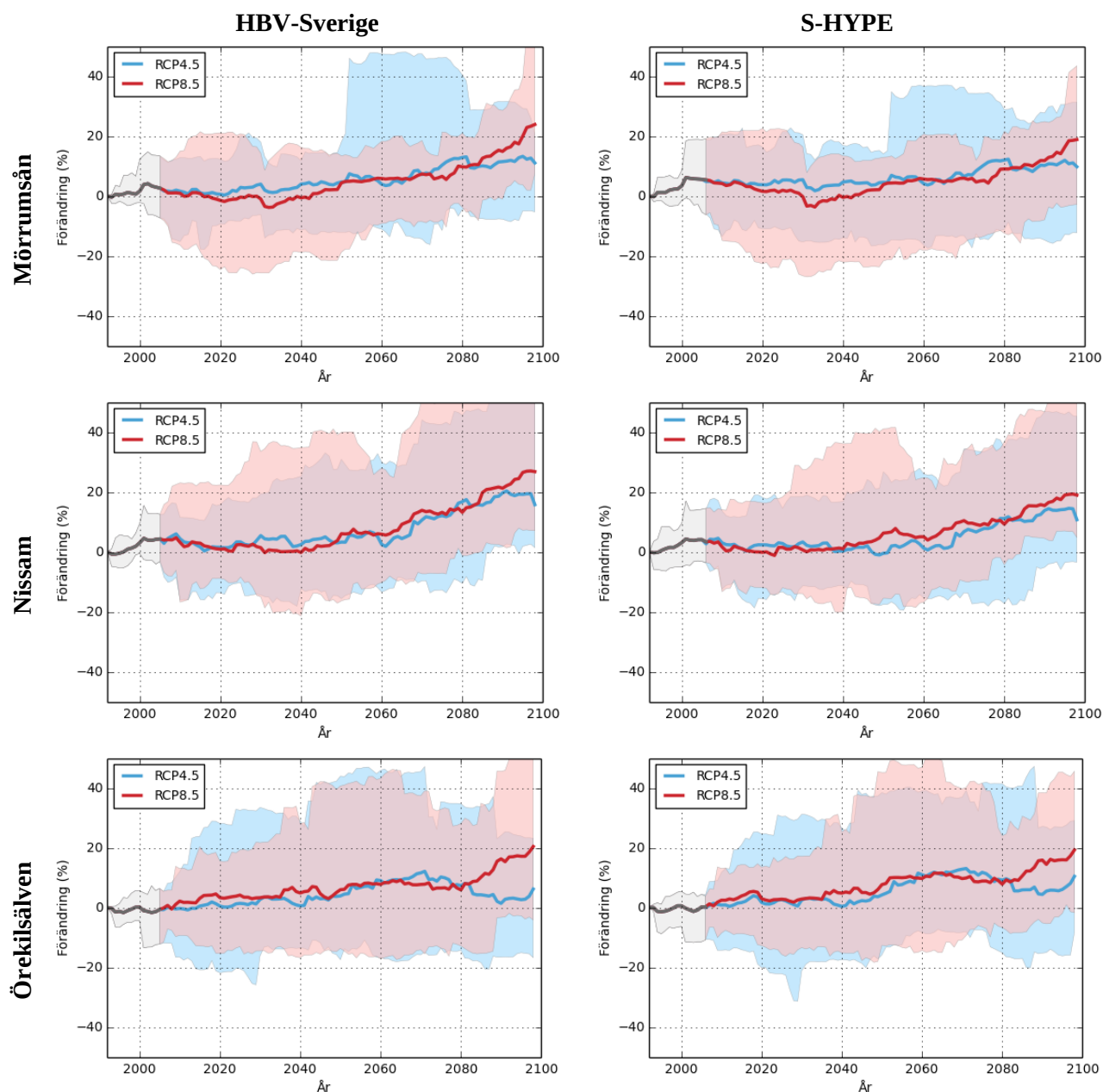
De båda hydrologiska modellernas resultat påminner om varandra. HBV-Sverige spänner dock i regel upp en något större spridning mellan max- och min-värden. Medelvärdena beräknade med HBV-Sverige är också generellt mer avvikande från referensperiodens medelvärde, än vad S-HYPE är.

Variationen i 100-årsflödets storlek under seklets gång är relativt stor och RCP8.5 och RCP4.5 turas om att stå för den större avvikelsen från referensperioden. Mot slutet av seklet är det dock RCP8.5 som generellt är det scenario som uppvisat störst förändring.

Alla studerade älvar, utom Torneälven uppvisar en ökning i 100-årsflödets storlek mot slutet av seklet med RCP8.5. Nissan, Mörrumsån och Örekilsälven uppvisar den största ökningen på runt 20% och i dessa älvar är trenden även för RCP4.5, tydligt ökande. Vindelälven och Motala Ström är inte lika tydligt ökande med RCP4.5 och uppvisar också en mindre ökning med RCP8.5. Torneälven är den enda älv där 100-årsflödet visar en tydlig minskning i storlek. Mot slutet av seklet landar RCP8.5 på ca 15% minskning i 100-årsflödet och RCP4.5 på ca 10% minskning.



Figur 23: Den totala 100-årstillrinningen för Torneälven, Vindelälven och Motala Ströms mynningsar, baserat på statistik från de 30 år som slutar med presentationsåret, från 9 klimatscenarier med strålningsdrivningsscenario RCP4.5 (blå) respektive RCP8.5 (röd). Linjerna representerar ensemblemedelvärde och bakgrundsfälten respektive ensembles minimum och maximumvärden.



Figur 24: Den totala 100-årstillrinningen för Mörrumsån, Nissan och Örekilsälvens mynningsar, baserat på statistik från de 30 år som slutar med presentationsåret, från 9 klimatscenarier med strålningsdrivningsscenario RCP4.5 (blå) respektive RCP8.5 (röd). Linjerna representerar ensemblemedelvärde och bakgrundsfälten respektive ensembles minimum och maximumvärden.

7 Diskussion och Slutsatser

Analys av årsmedeltemperaturen visar ökad temperatur för hela Sverige i framtiden, och störst ökning sker med det högintensiva strålningsdrivningsscenariot RCP8.5. Skillnaden mellan referensperioden 1961-1990 och slutet av seklet är från 4 graders ökning i södra Sverige till upp emot 6 grader längst i norr. RCP4.5, strålningsdrivningsscenariot som inkluderar utsläppsbegränsningar, visar generellt 2 grader lägre uppvärmning jämfört med RCP8.5.

Nederbörden väntas öka i framtida klimat. RCP4.5 visar på 10-30% ökning och RCP8.5 15-40% ökning. Ökningen är störst i norra Sverige. Medeltillrinningen ökar i större delen av landet, allra mest i norra Sverige, som ett resultat av den ökade nederbörden. Ökningen är störst med HBV-modellen i kombination med utsläppsscenariot RCP8.5. I sydöstra delen av landet minskar istället avrinningen. Här är inte nederbördsökningen fullt så stor som i övriga landet och dessutom ökar avdunstningen på grund av ökad medeltemperatur. RCP8.5 står för den största avrinningsminskningen.

Ensemblen med klimatscenarier som analyserna baseras på är nedskalade för Europa med den regionala klimatmodellen RCA4. Eftersom enbart en regional modell ingår gjordes en jämförelse med resultat från två andra regionala modeller baserade på samma globala dataset. Jämförelsen visar att RCA4 har en mer framträdande nederbördsökning i norra Sverige, framförallt sommartid, jämfört med de andra regionala modellerna. I resultatavsnittet som presenterar årsmedelnederbörd för hela ensemblen av globala modeller kombinerat med RCA4, syns en framträdande nederbördsökning i norr vilket är i linje med resultatet från jämförelsen. Ökningen av nederbörden med RCP8.5 når upp till 40% i fjälltrakterna under sommaren. En analys av klimatscenarierna med andra regionala modeller kan ge en något mindre nederbördsökning i norra Sverige.

I projektet har två hydrologiska modeller, S-HYPE och HBV-Sverige använts parallellt. De båda modellerna skiljer sig åt, HBV har en mer generell beskrivning av marken och hydrologin samt grov upplösning. S-HYPE har en mer detaljerad markbeskrivning och finare upplösning. HBV ger i allmänhet större förändringar, både vad gäller ökning och minskning av vattentillgång och 100-årstillrinningar.

100-årstillrinningar är knutna till extrema väderhändelser, så som kraftig snösmältning, intensivt regn eller långa perioder med mycket regn. Sådana händelser tycks öka allra mest i intensitet i de södra delarna av landet, enligt analyser från tidsserier från de sex älvarna. I norra delen av landet är förändringen inte så stor, eller till och med minskande. Detta beror troligtvis på att snömagasinet i norra Sverige kommer att minska kraftigt till följd av temperaturökningen och därmed blir vårflo den mindre, vilken i nutida klimat, ofta är orsaken till extrema flöden i norra Sverige. I södra Sverige däremot har extrema regn större betydelse för de högsta flödena, i nutida klimat.

De skillnader som fås i den hydrologiska responsen beroende på val av hydrologisk modell är intressant. En lika omfattande studie har inte tidigare gjorts. I en studie av Bosshard och Olsson (2014) jämförs resultat från S-HYPE driven med två klimatscenarier, med HBV-Sverige driven med en större ensemble på 16 klimatscenarier. Fokus i studien låg inte på resultatskillnader på grund av hydrologisk modell, utan snarare på storlek av ensemble. Den betydligt lägre ökningen av lokal medeltillrinning i norra Sverige i S-HYPE jämfört med HBV-Sverige, som syntes i detta projekt (Figur 17 och Figur 18), motsägs dock inte av resultatet i Bosshard och Olsson, 2014. Det är viktigt att i det fortsatta arbetet försöka förstå vad som orsakar dessa skillnader. Denna tillkommande osäkerhet i analyserna har tidigare inte varit möjlig att studera då resultatet enbart har beräknats med en hydrologisk modell i taget för en hel ensemble av klimatscenarier.

I differenskartorna uppstår ett rutmönster som kan innebära att resultatet blir svårtolkat, dessa kartor bör därför användas med försiktighet, alternativt efterbearbetas med geografisk utjämning av värdena. Exakt tolkning av värdet för en bestämd punkt på kartan är inte inom ramen för den noggrannhet som denna studie kan uppfylla. I studier som ska bygga på materialet från detta projekt är det mycket viktigt att ha kunskaper om osäkerheten i resultaten.

Arbetet med nedskalning av RCP-scenarier har resulterat i en gedigen databas med meteorologiska och hydrologiska klimatindex. Syftet med databasen är fortsatta studier inom framtida klimat på länsnivå.

8 Tack till

Förutom författarna till rapporten har även Gustav Strandberg, Thomas Bosshard, Jörgen Rosberg, Gunn Persson, Ghasem Alavi, Alexandra Ohlsson, Johan Andréasson och Jörgen Sahlberg deltagit i arbetet. Ett stort tack!

9 Referenser

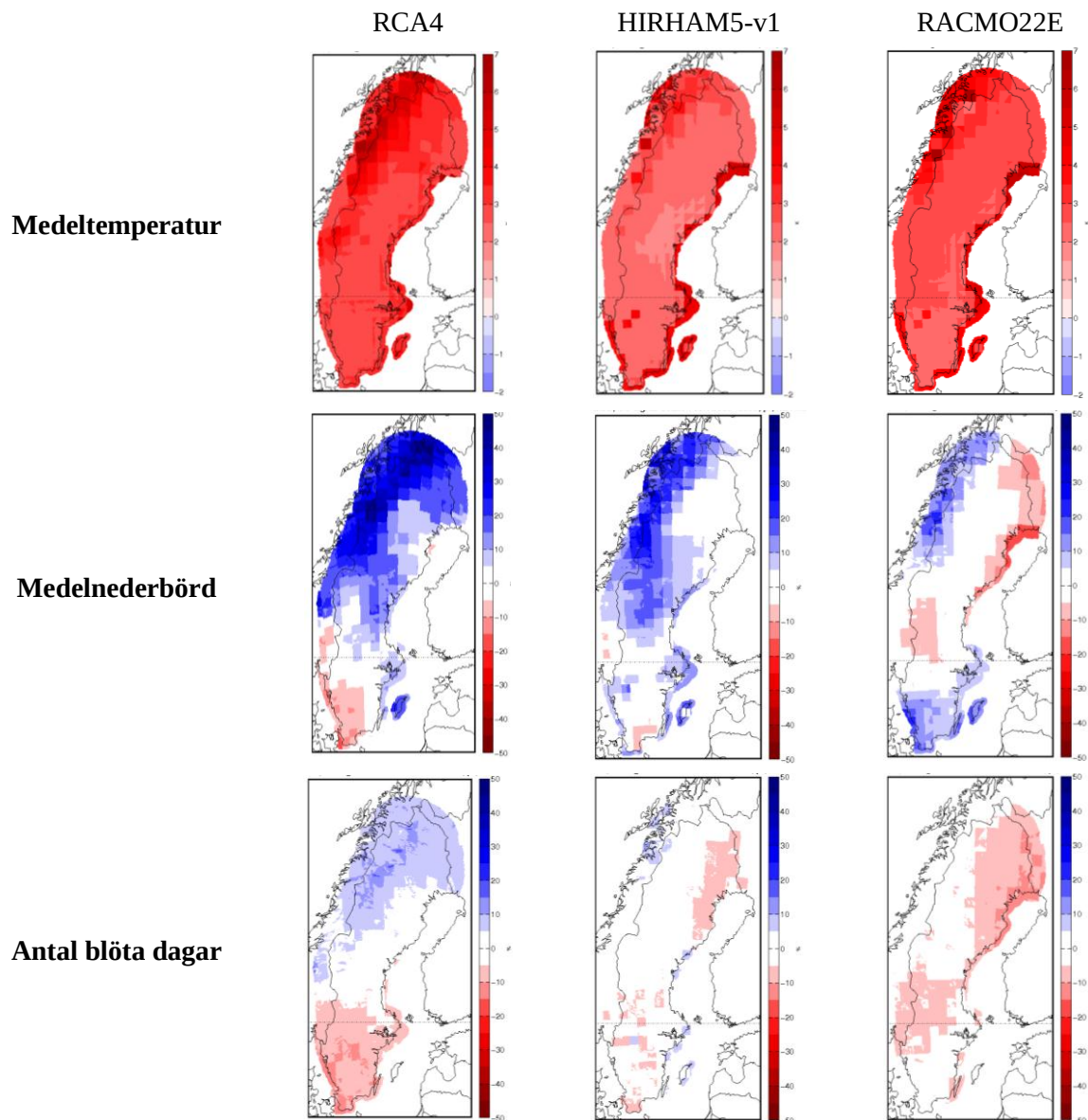
- Bergström, S. 1995. The HBV model. In Singh, V. (Ed.) Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publications, Littleton, Colorado.
- Bosshard, T., Olsson, J. (2004) Comparison of the two climate projections in CLEO to a larger ensemble. Published within Climate Change and Environmental Objectives (CLEO) Reasearch Programme.
- Hawkins, E., Sutton, R. (2009) The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions. American Meteorological Society Journal, August 2009.
- IPCC (Climate Change 2013: The Physical Science Basis)
- Johansson, B. (2000). Areal precipitation and temperature in the Swedish mountains. An evaluation from a hydrological perspective. Nordic Hydrology, 31, 207-228.
- Johansson, B., and 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., and Chen, D. (2005). Estimation of areal precipitation for runoff modelling using wind data: a case study in Sweden. Climate Research, 29, 53-61.
- Jones C, F. Giorgi and G. Asrar (2011) The Coordinated Regional Downscaling Experiment: CORDEX, An international downscaling link to CMIP5: CLIVAR Exchanges, No. 56, Vol 16, No.2 pages 34-40.
- Lindström, G., Gardelin, M., Johansson, B., Persson, M., och Bergström, S. 1996. HBV-96_en areellt fördelad modell för vattenkrafthydrologin, SMHI RH Nr. 12 April 1996, figur 1, sid.2
- Lindström, G., Pers, C., Rosberg, J., Strömqvist, J. & Arheimer, B. 2010, Development and testing of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) water quality model for different spatial scales. Hydrology Research, 41(3-4): 295-319
- Moss, R., et al., 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Nature, 463, 747–756.
- Nakićenović N., and R. Swart (eds.) 2000. Special Report on Emission Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp.
- Persson, G., Eklund, D., Sjökvist, E. (2011). Klimatanalys för Bleking län. SMHI rapport nr 2011-63.
- Yang W., Andréasson J., Graham L.P., Olsson J., Rosberg J. and Wetterhall F. (2010). Distribution based scaling to improve usability of RCM projections for hydrological climate change impacts studies. Hydrology Research, 41.3-4, 211-229.

Övriga referenser och Webbsidor

European Environment Agency (EEA), 2009 (<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-clc2006-100-m-version-12-2009>)

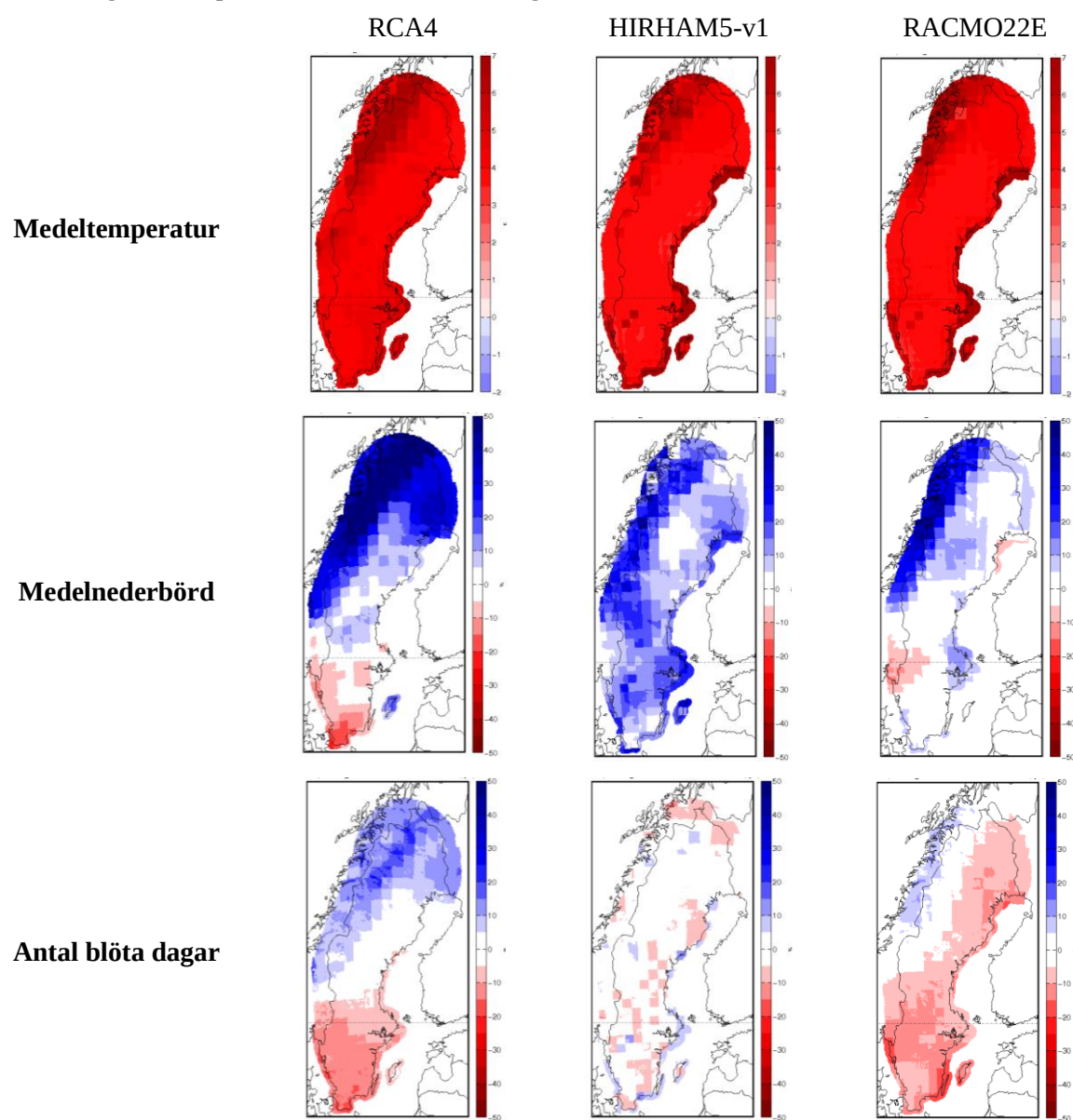
Bilaga 1 - Utvärdering RCA4

Utvärdering baserad på RCP4.5 för sommarsäsongen.



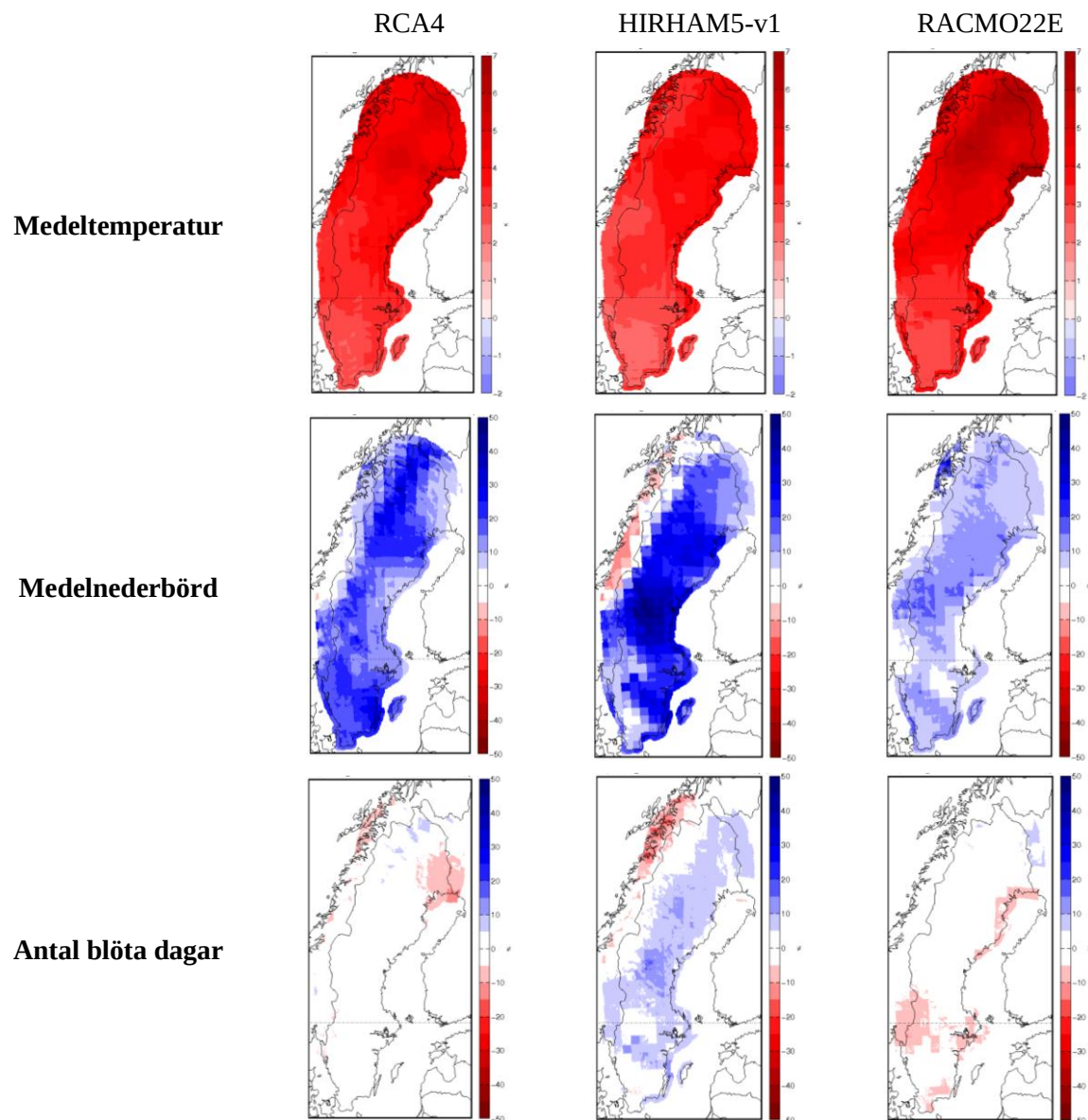
Klimatsignal från 1961-1990 till 2069-2098 för EC-Earth nedskalad av tre regionala klimatmodeller som sedan bearbetats med DBS-metoden. Strålningsdrivningsscenario RCP4.5, medelvärde för sommarsäsongen juni, juli och augusti. Enhet för medeltemperatur är °C, medelnederbörd % och antal blöta dagar %.

Utvärdering baserad på RCP8.5 för sommarsäsongen.



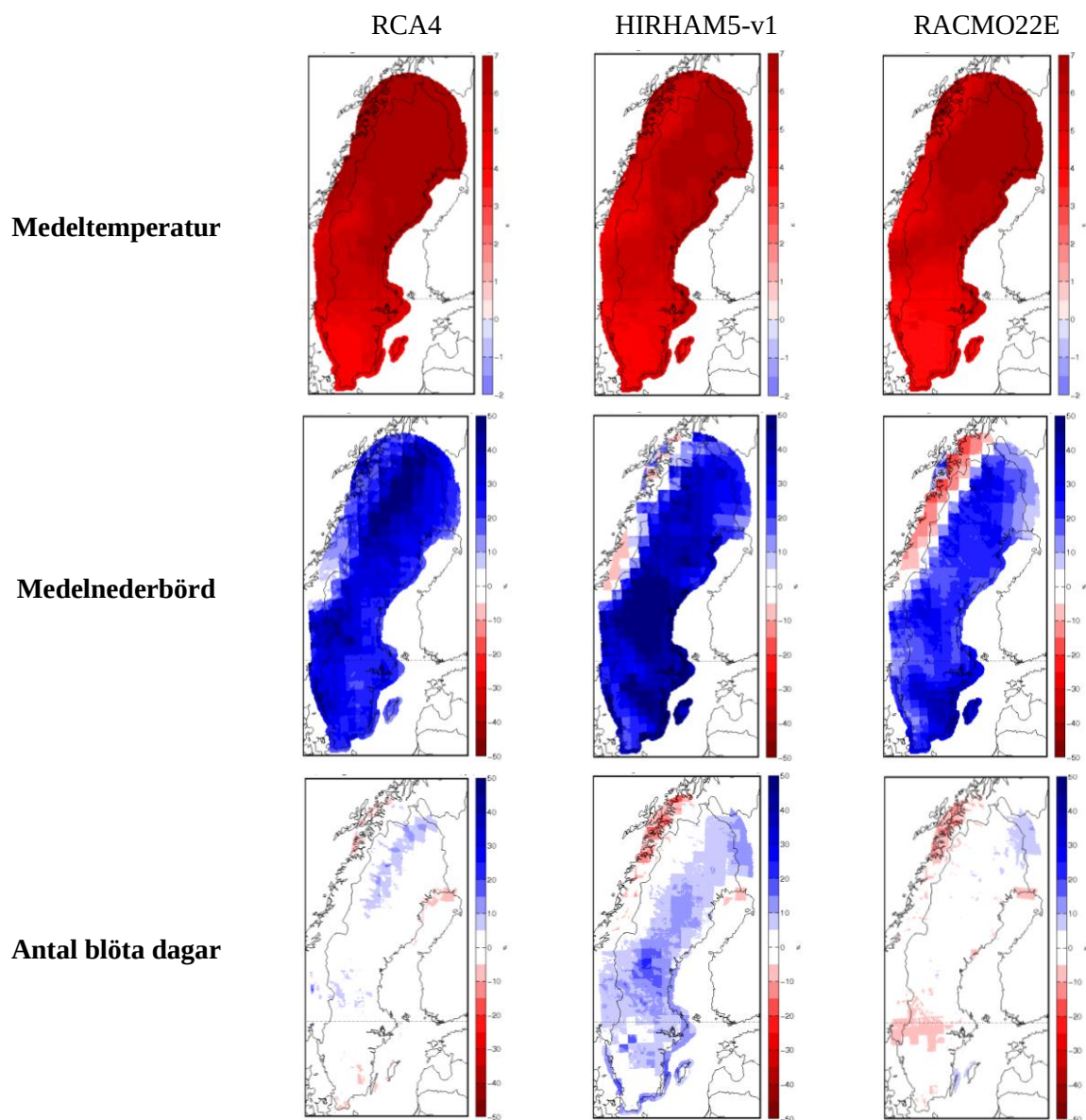
Klimatsignal från 1961-1990 till 2069-2098 för EC-Earth nedskalad av tre regionala klimatmodeller som sedan bearbetats med DBS-metoden. Strålningsdrivningsscenario RCP8.5, medelvärde för sommarsäsongen juni, juli och augusti. Enhet för medeltemperatur är °C, medelnederbörd % och antal blöta dagar %.

Utvärdering baserad på RCP4.5 för vintersäsongen.



Klimatsignal från 1961-1990 till 2069-2098 för EC-Earth nedskalad av tre regionala klimatmodeller som sedan bearbetats med DBS-metoden. Strålningsdrivningsscenario RCP4.5, medelvärde för vintersäsongen december, januari och februari. Enhet för medeltemperatur är °C, medelnederbörd % och antal blöta dagar %.

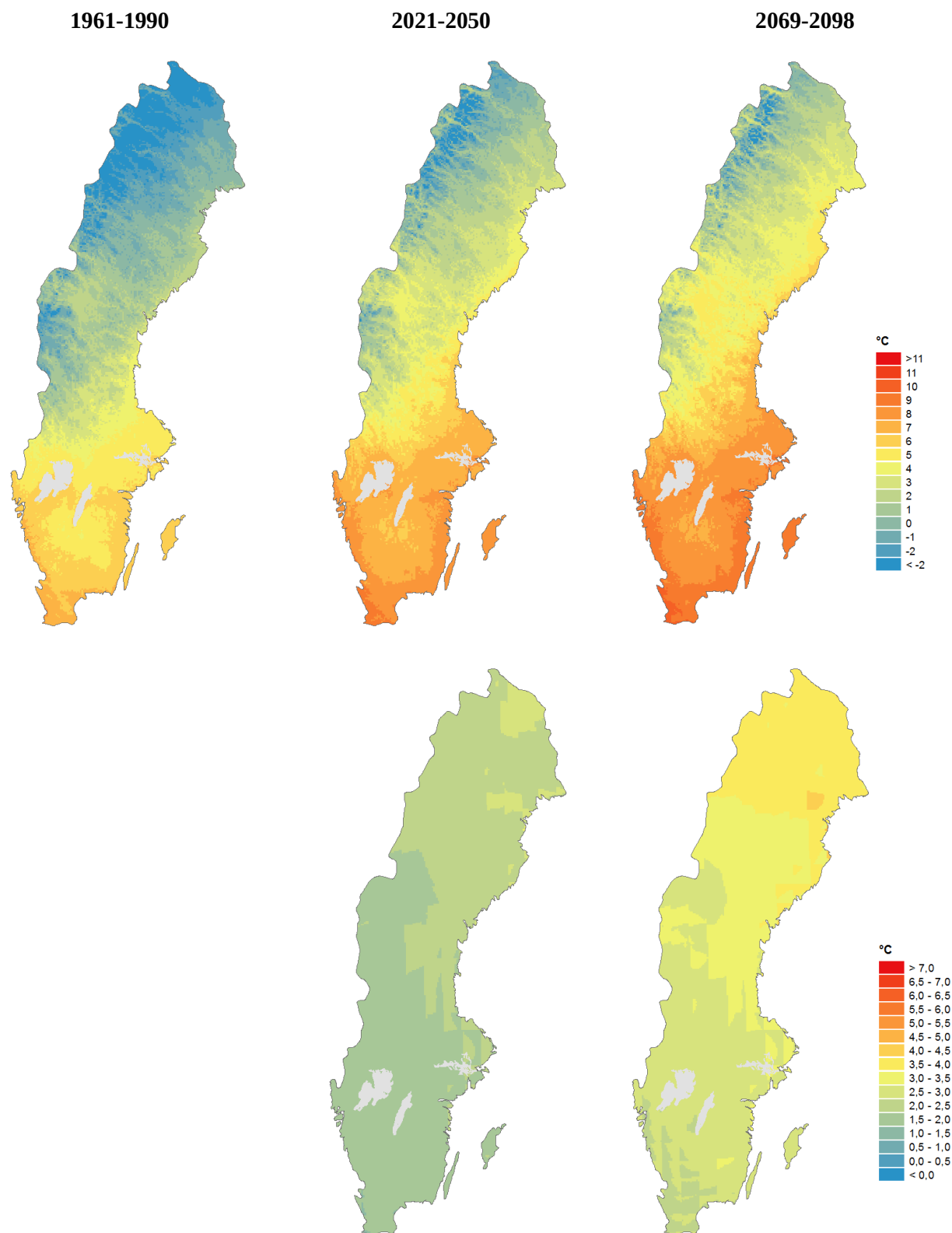
Utvärdering baserad på RCP 8.5 för vintersäsongen.



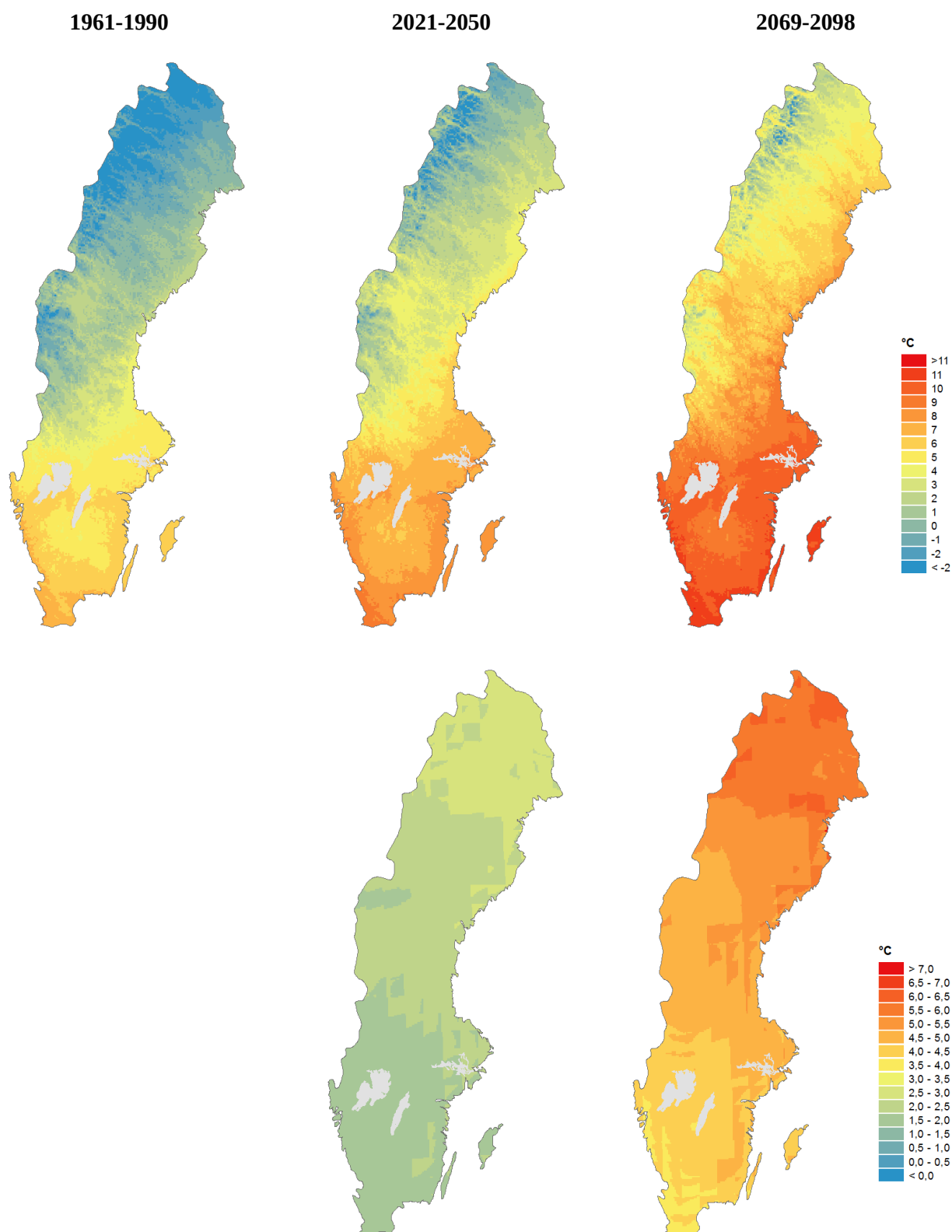
Klimatsignal från 1961-1990 till 2069-2098 för EC-Earth nedskalad av tre regionala klimatmodeller som sedan bearbetats med DBS-metoden. Strålningsdrivningsscenario RCP8.5, medelvärde för vintersäsongen december, januari och februari. Enhet för medeltemperatur är °C, medelnederbörd % och antal blöta dagar %.

Bilaga 2 - Kartor Temperatur

Årsmedeltemperatur



Årsmedeltemperatur, 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på RCP4.5. Den övre raden visar absoluta värden och den undre raden visar differensen till referensperioden 1961-1990.



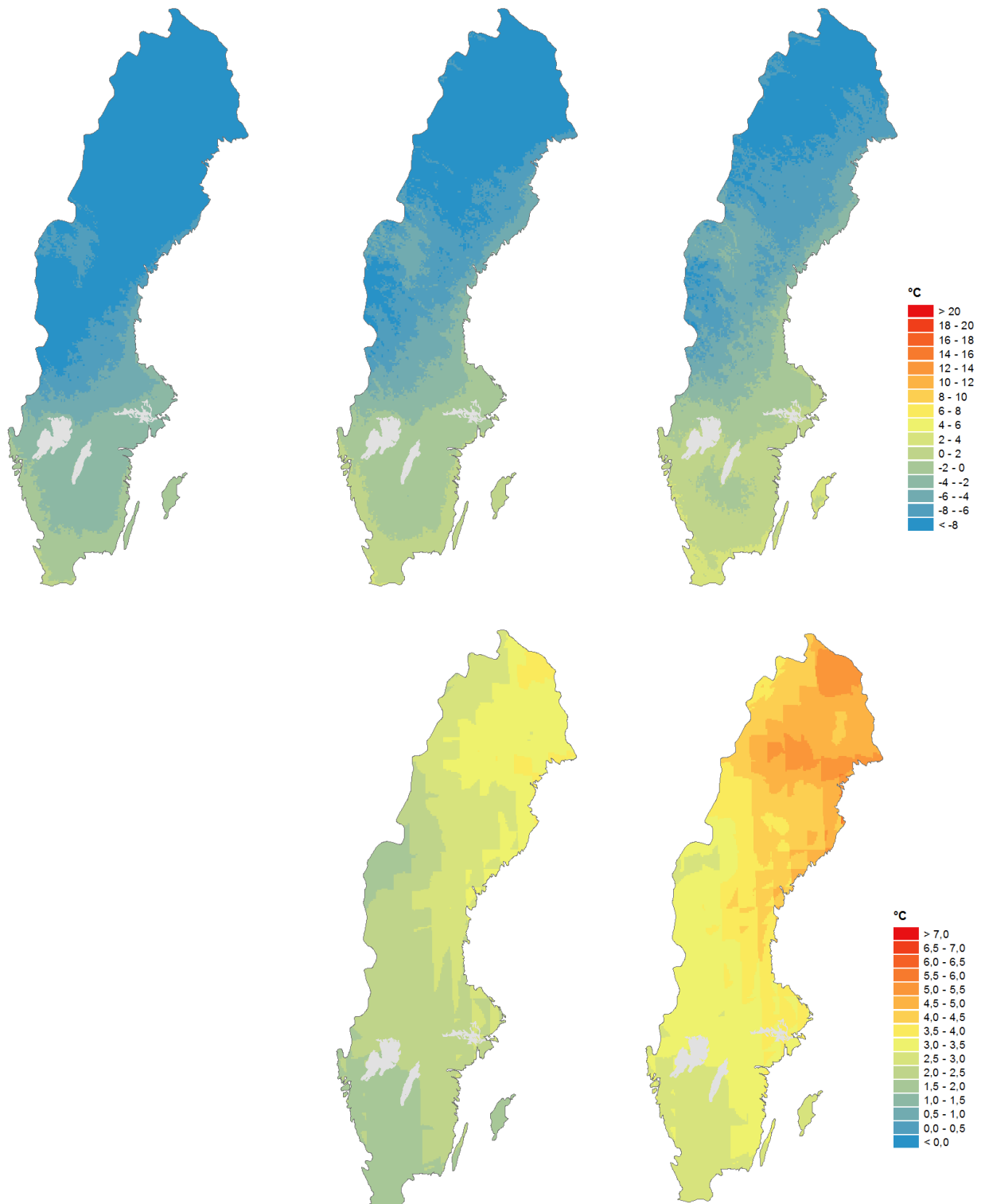
Årsmedeltemperatur, 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på RCP8.5. Den övre raden visar absoluta värden och den undre raden visar differensen till referensperioden 1961-1990.

Vintermedeltemperatur (december-februari)

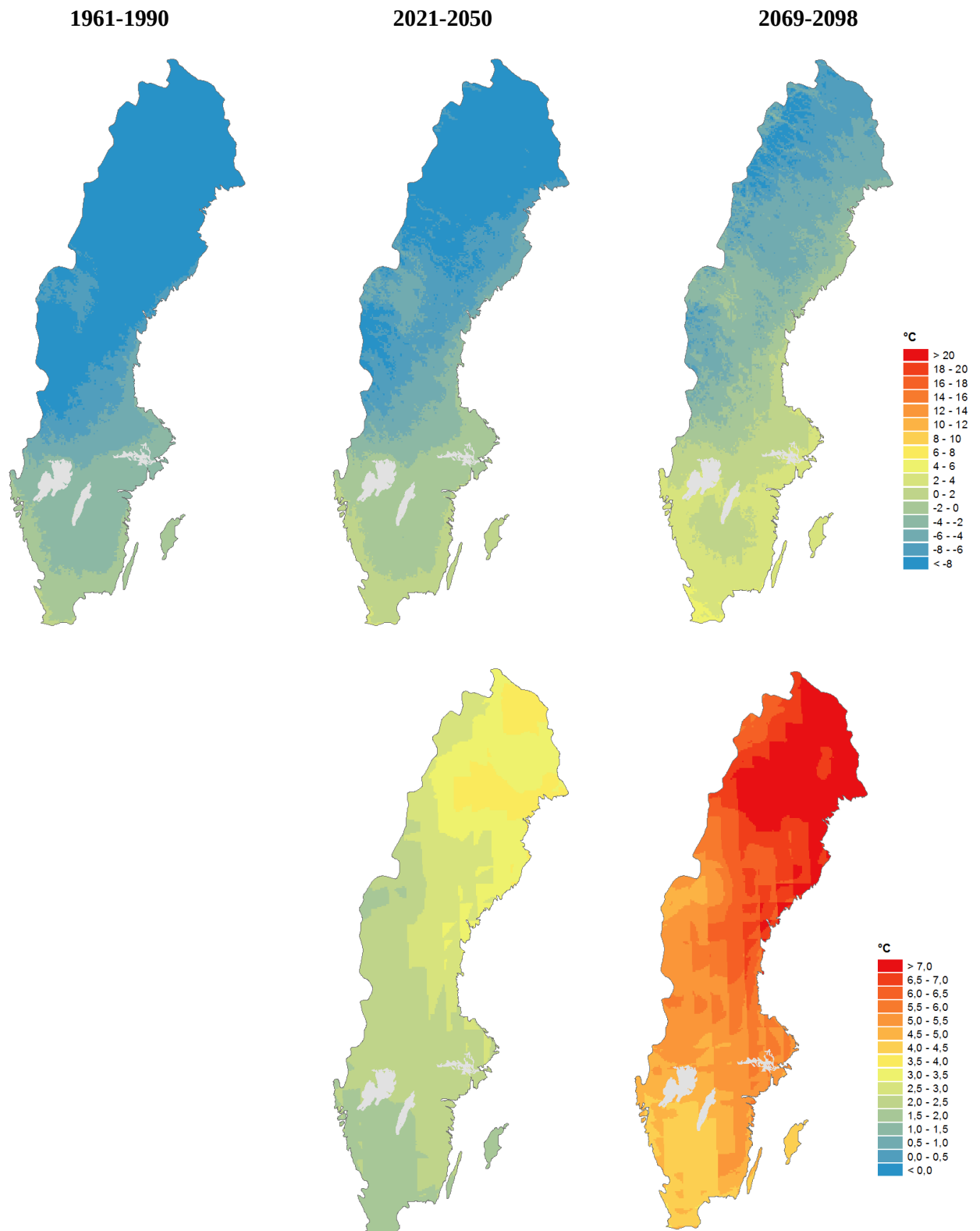
1961-1990

2021-2050

2069-2098



Vintermedeltemperatur, 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på RCP4.5. Den övre raden visar absoluta värden och den undre raden visar differensen till referensperioden 1961-1990.



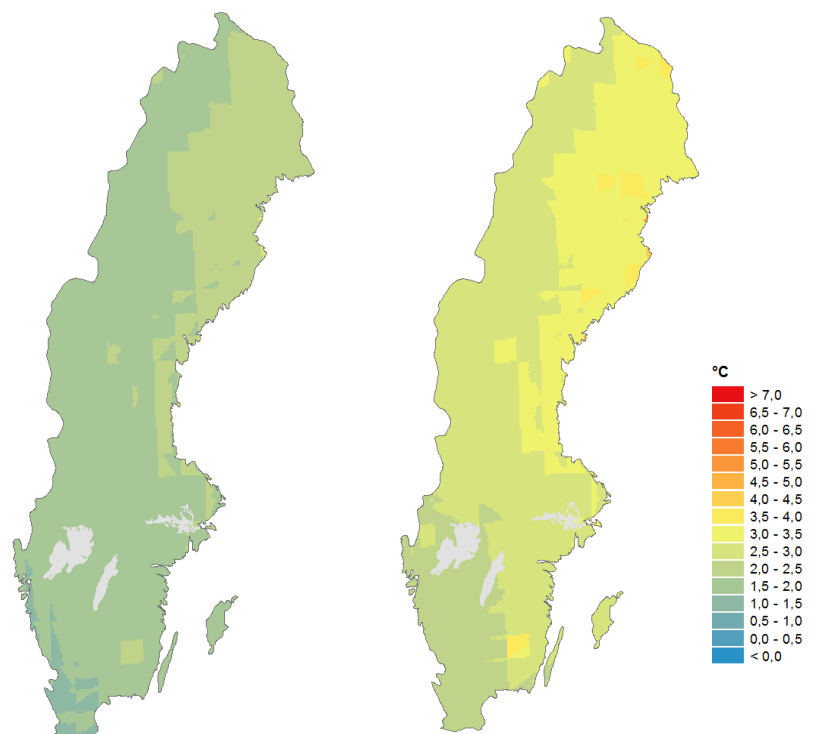
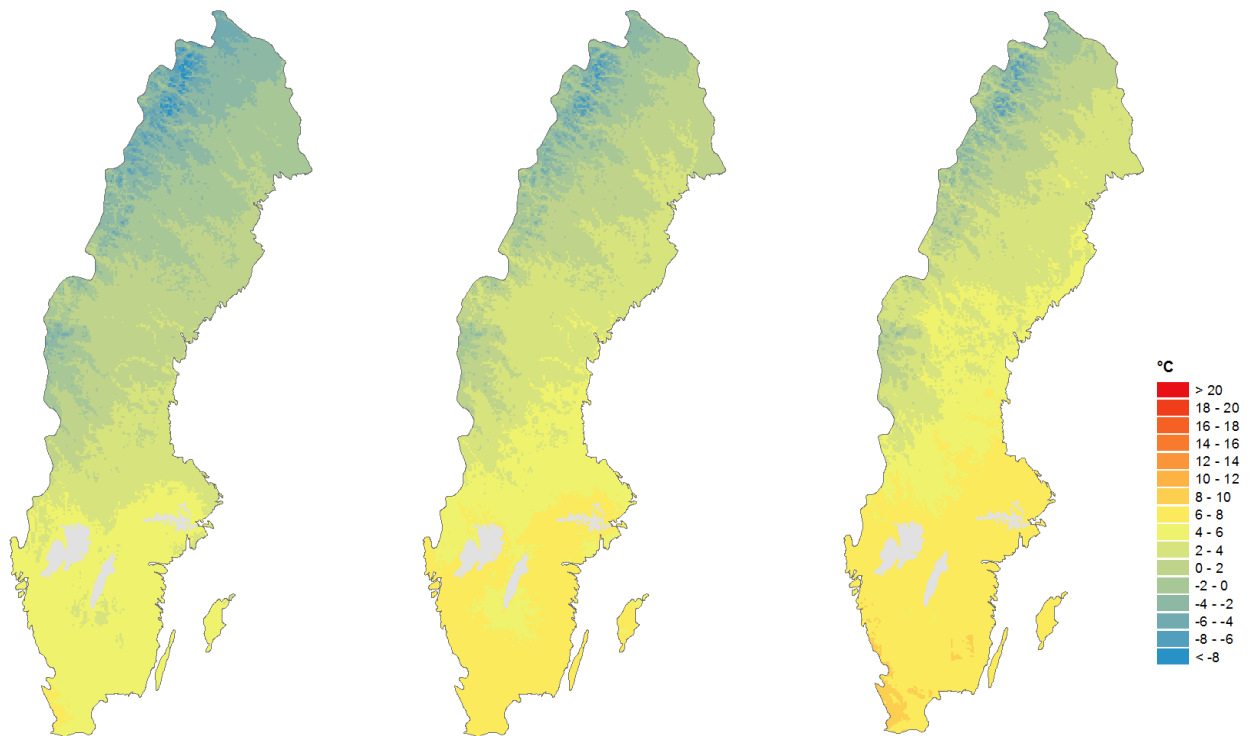
Vintermedeltemperatur, 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på RCP8.5. Den övre raden visar absoluta värden och den undre raden visar differensen till referensperioden 1961-1990.

Vårmedeltemperatur (mars-maj)

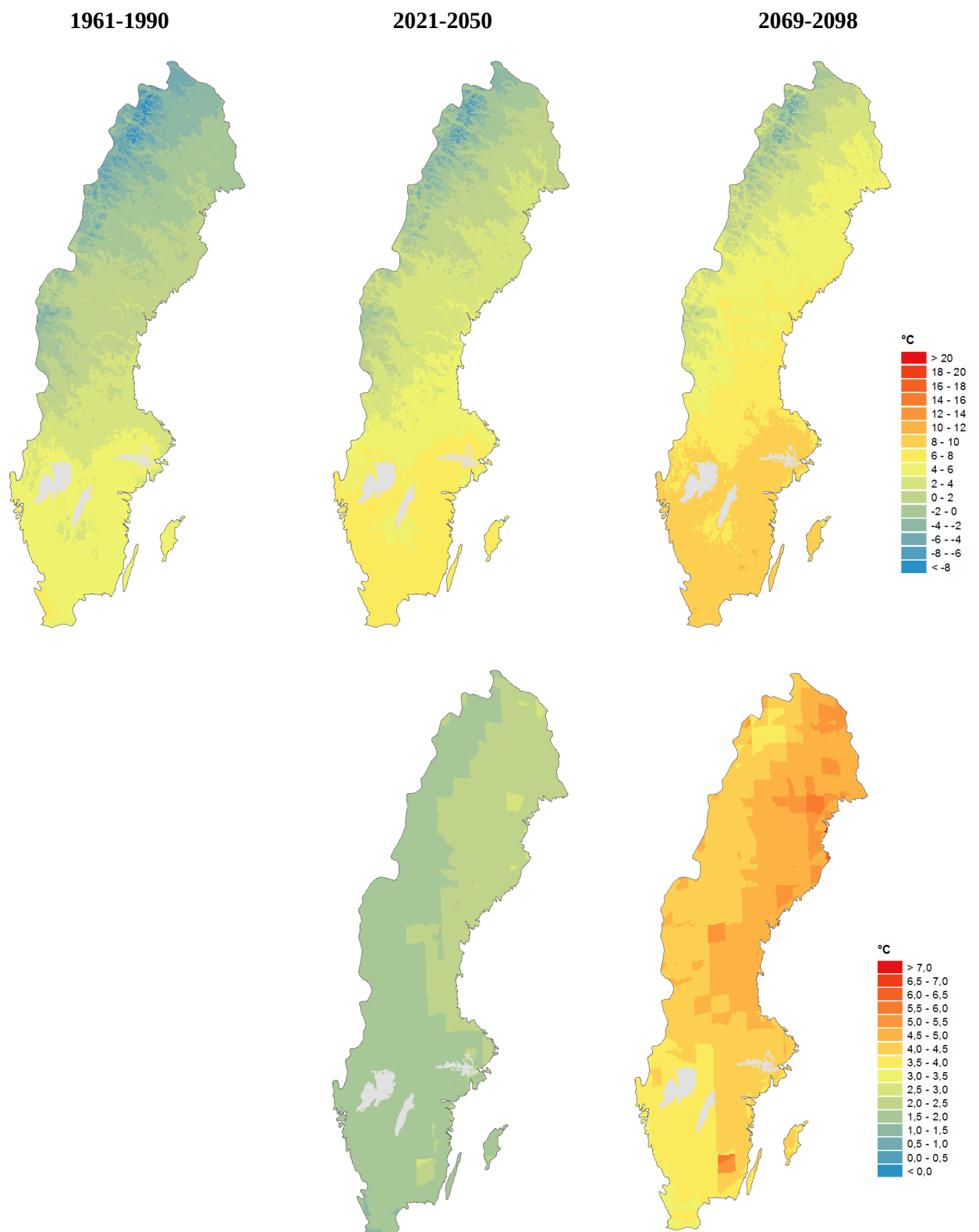
1961-1990

2021-2050

2069-2098



Vårmedeltemperatur, 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på RCP4.5. Den övre raden visar absoluta värden och den undre raden visar differensen till referensperioden 1961-1990.



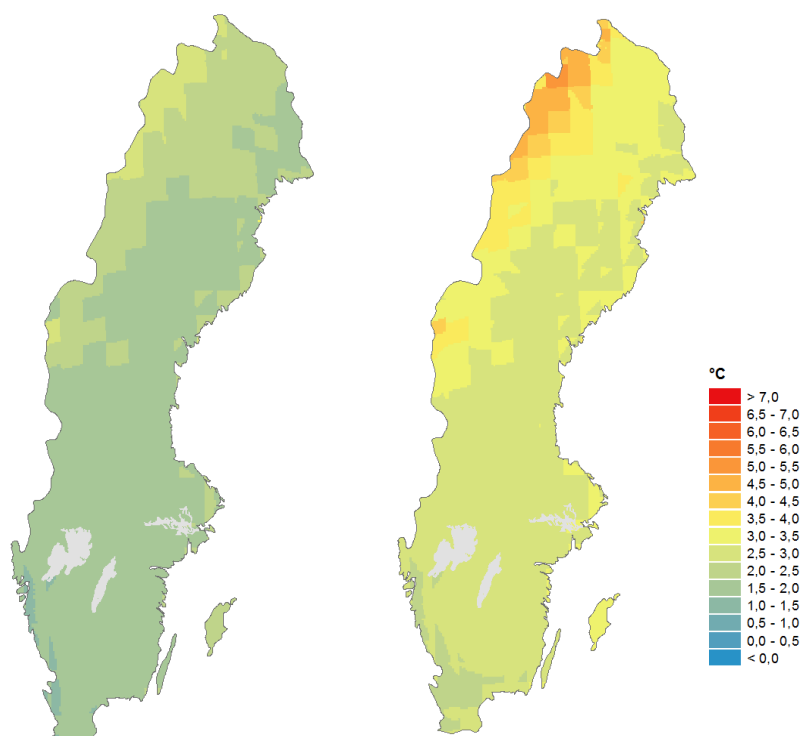
Vårmedeltemperatur, 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på RCP8.5. Den övre raden visar absoluta värden och den undre raden visar differensen till referensperioden 1961-1990.

Sommarmedeltemperatur (juni-augusti)

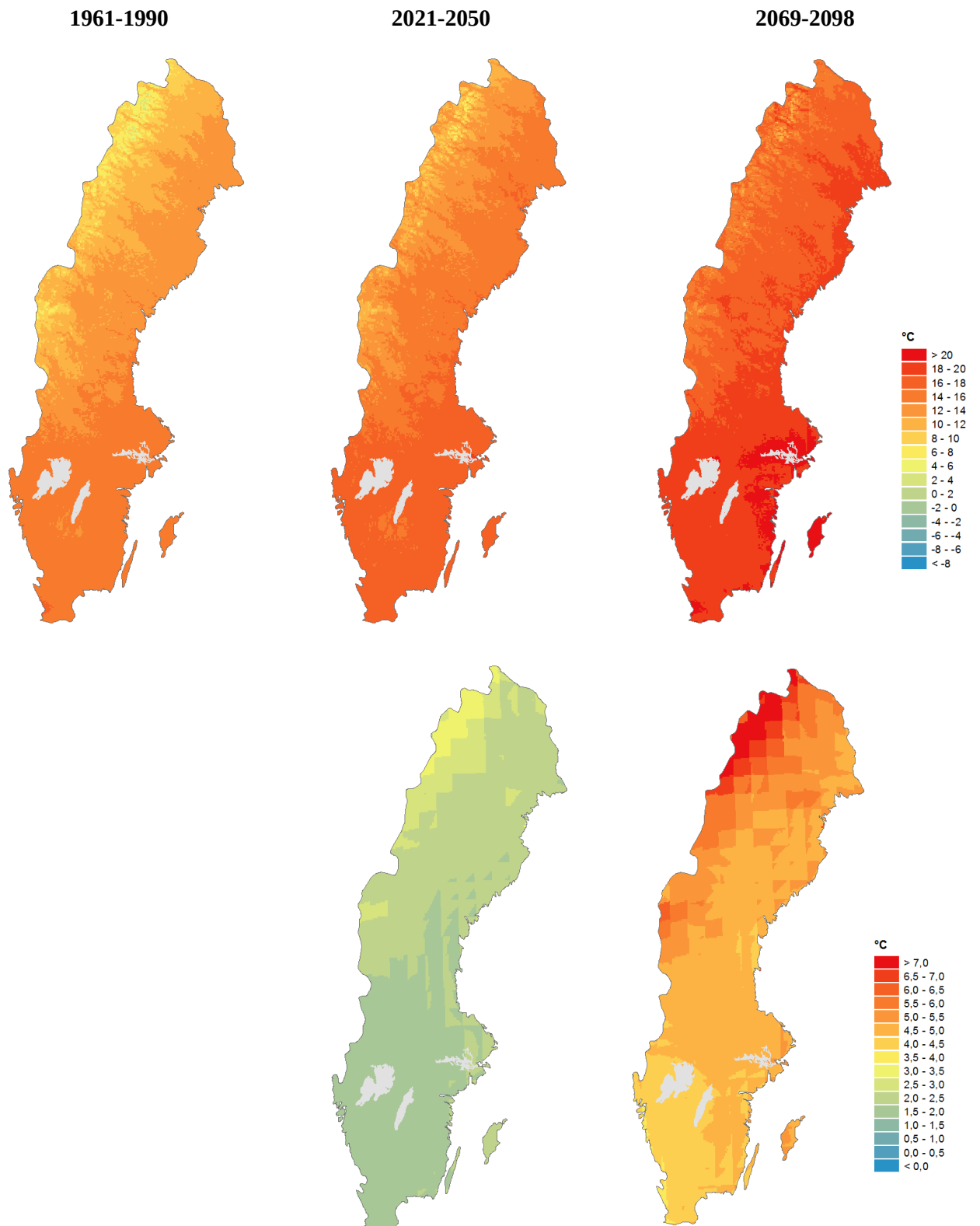
1961-1990

2021-2050

2069-2098



Sommarmedeltemperatur, 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på RCP4.5. Den övre raden visar absoluta värden och den undre raden visar differensen till referensperioden 1961-1990.



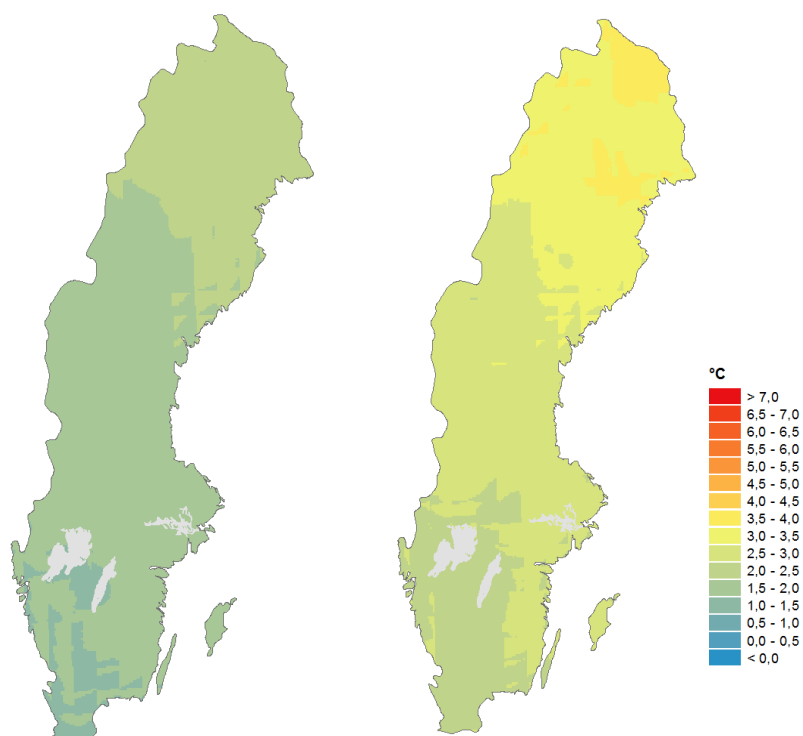
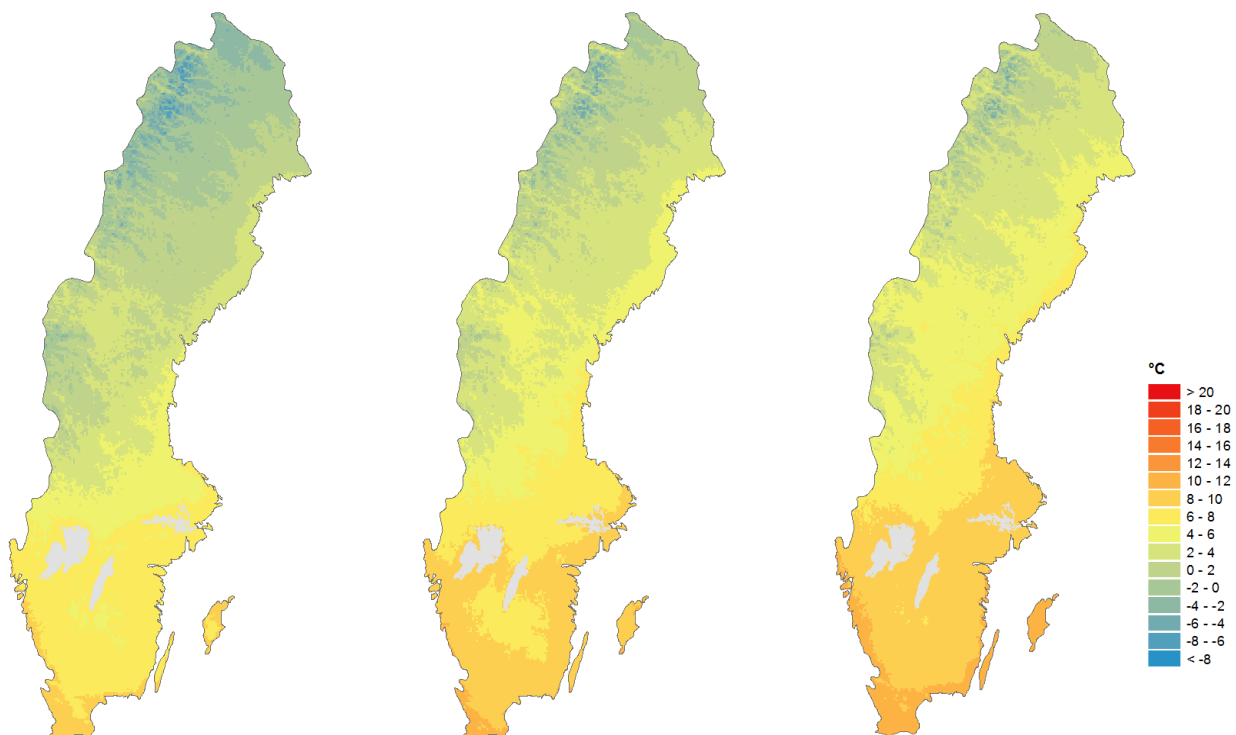
Sommarmedeltemperatur, 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på RCP8.5. Den övre raden visar absoluta värden och den undre raden visar differensen till referensperioden 1961-1990.

Höstmedeltemperatur (september-november)

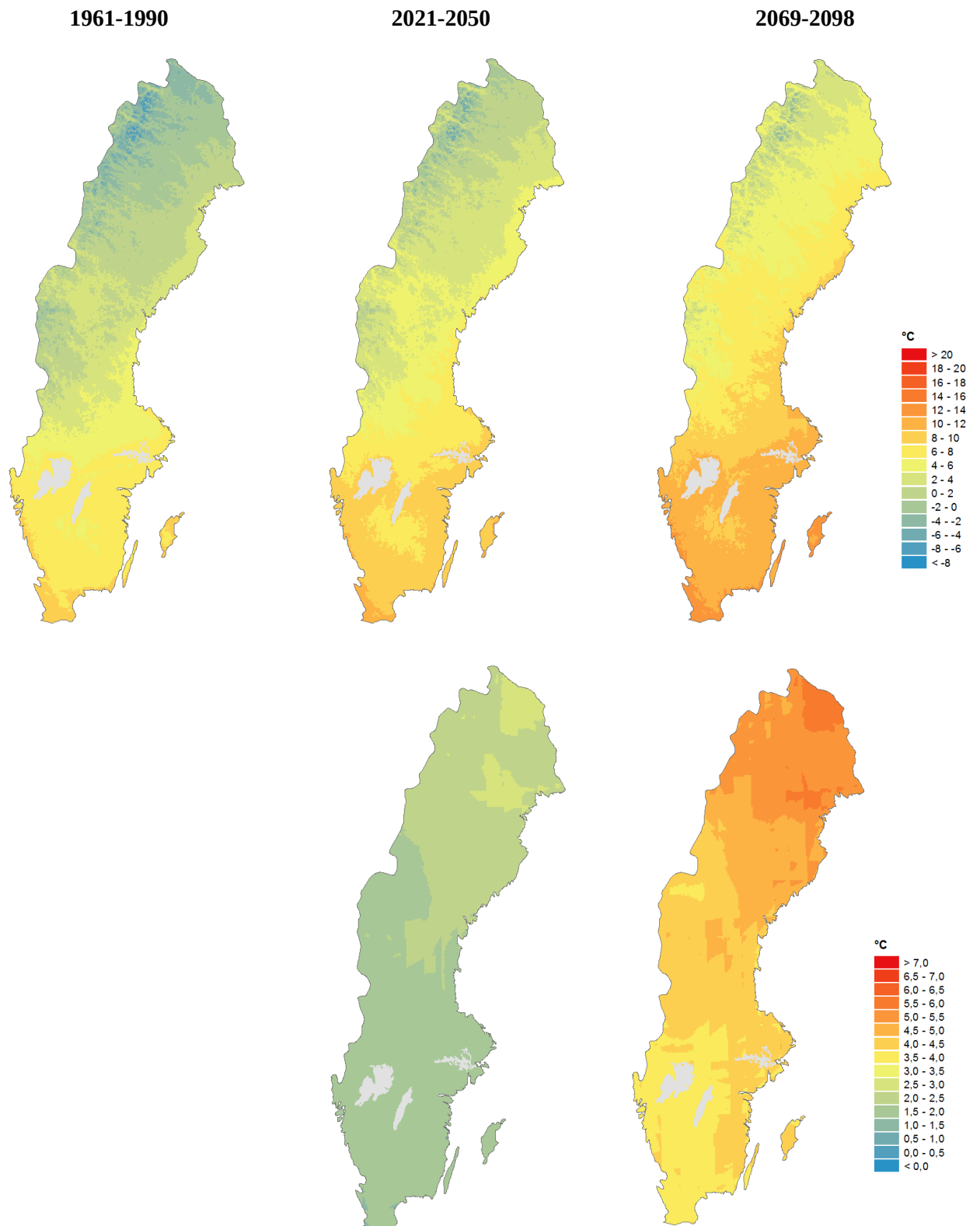
1961-1990

2021-2050

2069-2098



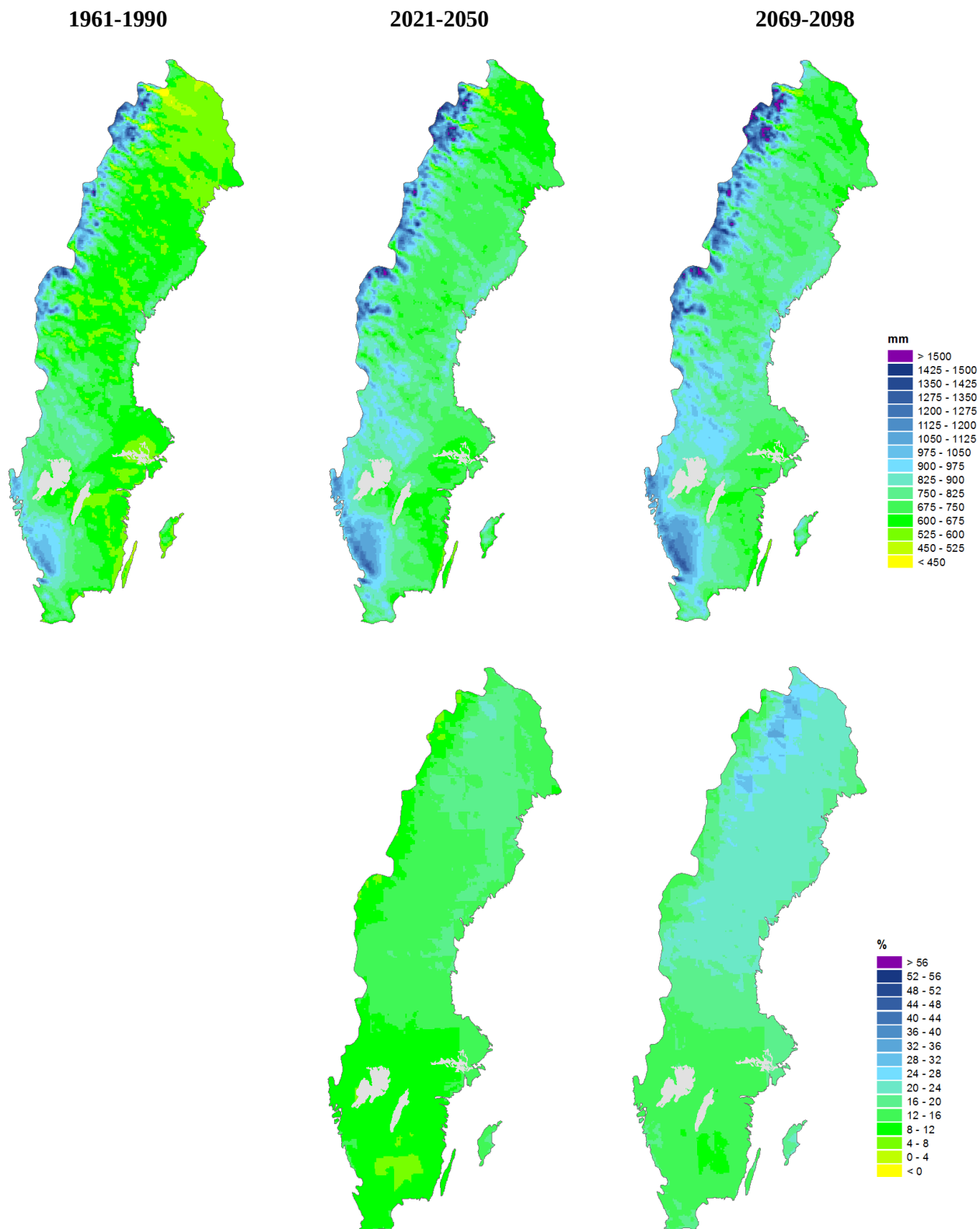
Höstmedeltemperatur, 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på RCP4.5. Den övre raden visar absoluta värden och den undre raden visar differensen till referensperioden 1961-1990.



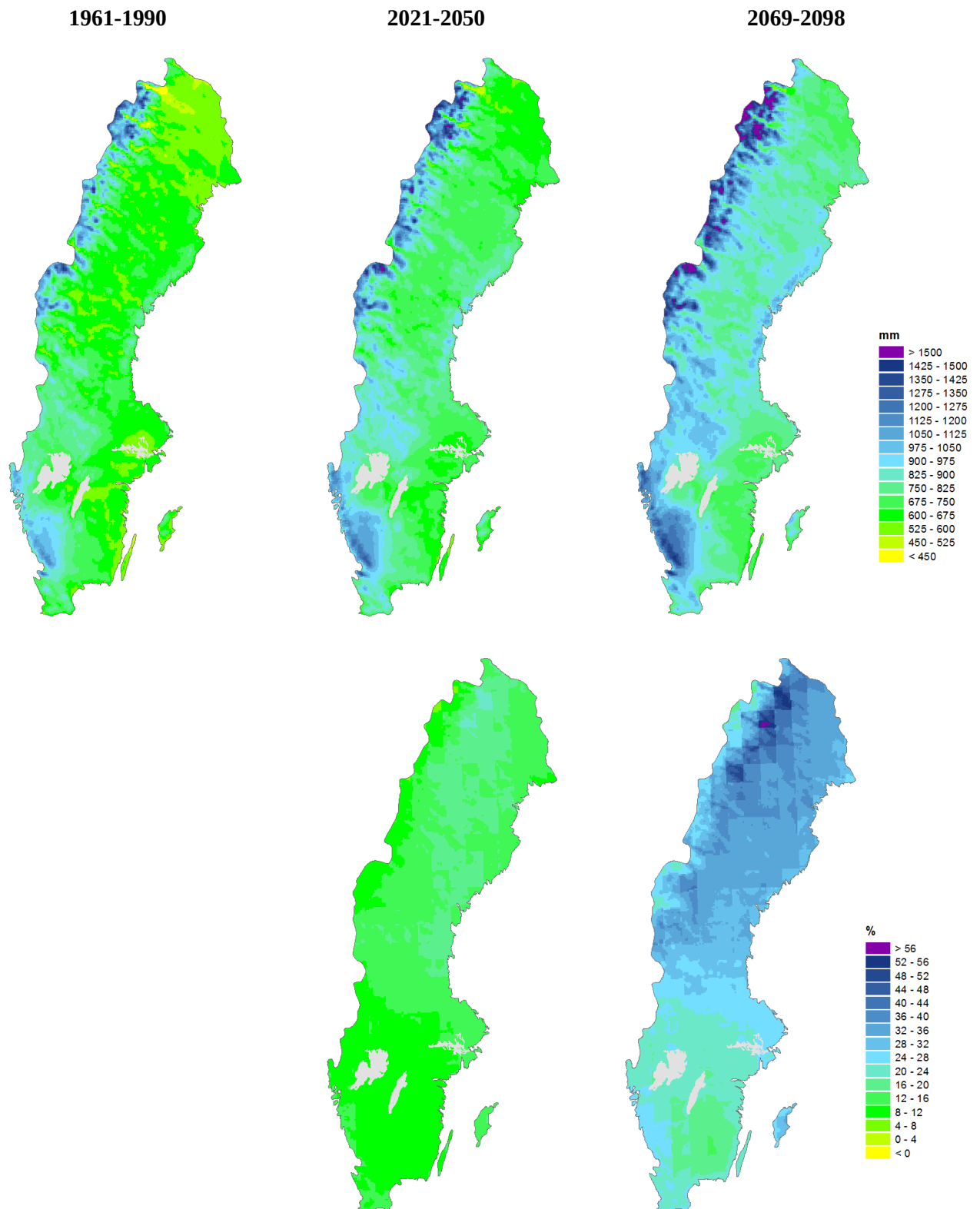
Höstmedeltemperatur, 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på RCP8.5. Den övre raden visar absoluta värden och den undre raden visar differensen till referensperioden 1961-1990.

Bilaga 3 - Kartor Nederbörd

Årsmedelnederbörd



Årsnederbörd, 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på RCP4.5. Den övre raden visar absoluta värden och den undre raden visar differensen till referensperioden 1961-1990.



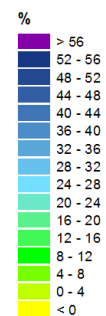
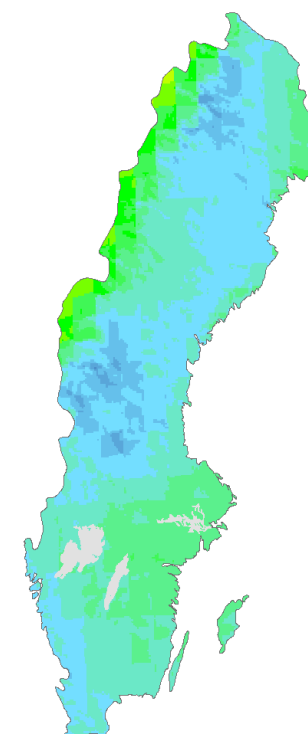
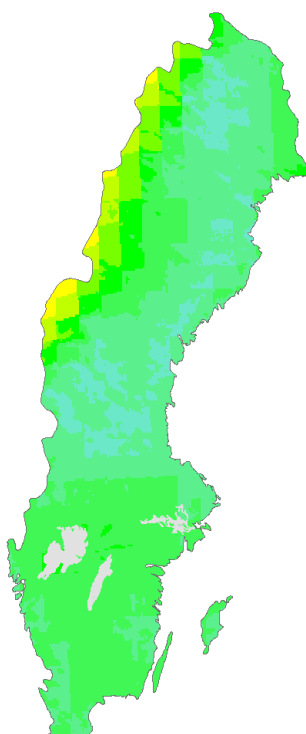
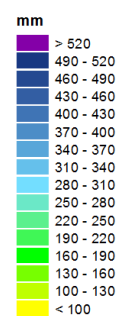
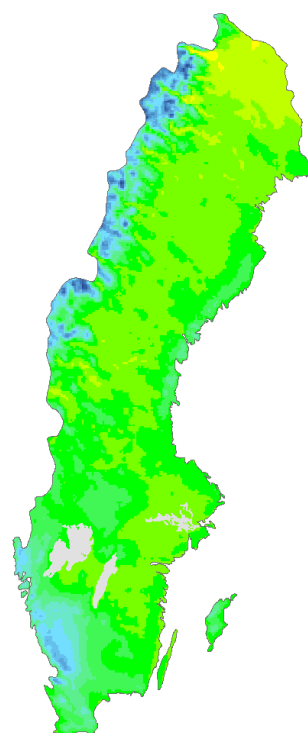
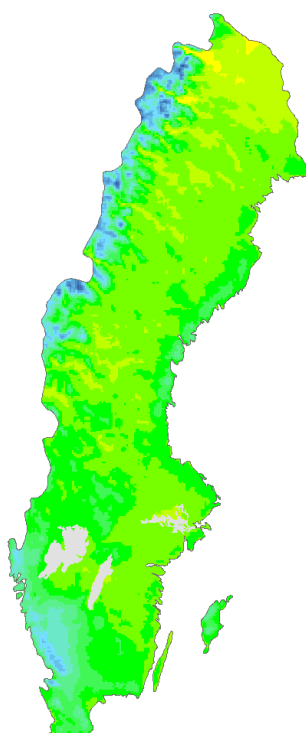
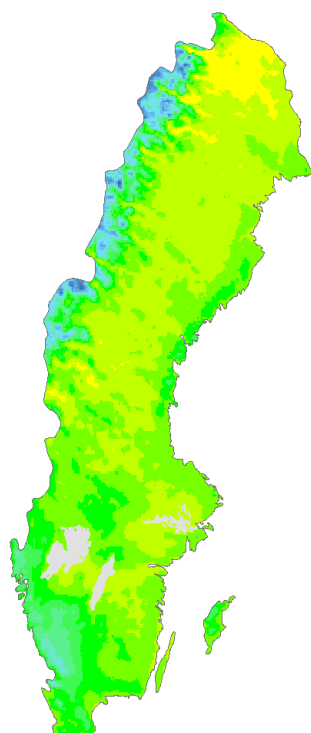
Årsnederbörd, 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på RCP8.5. Den övre raden visar absoluta värden och den undre raden visar differensen till referensperioden 1961-1990.

Vintermedelnederbörd (december-februari)

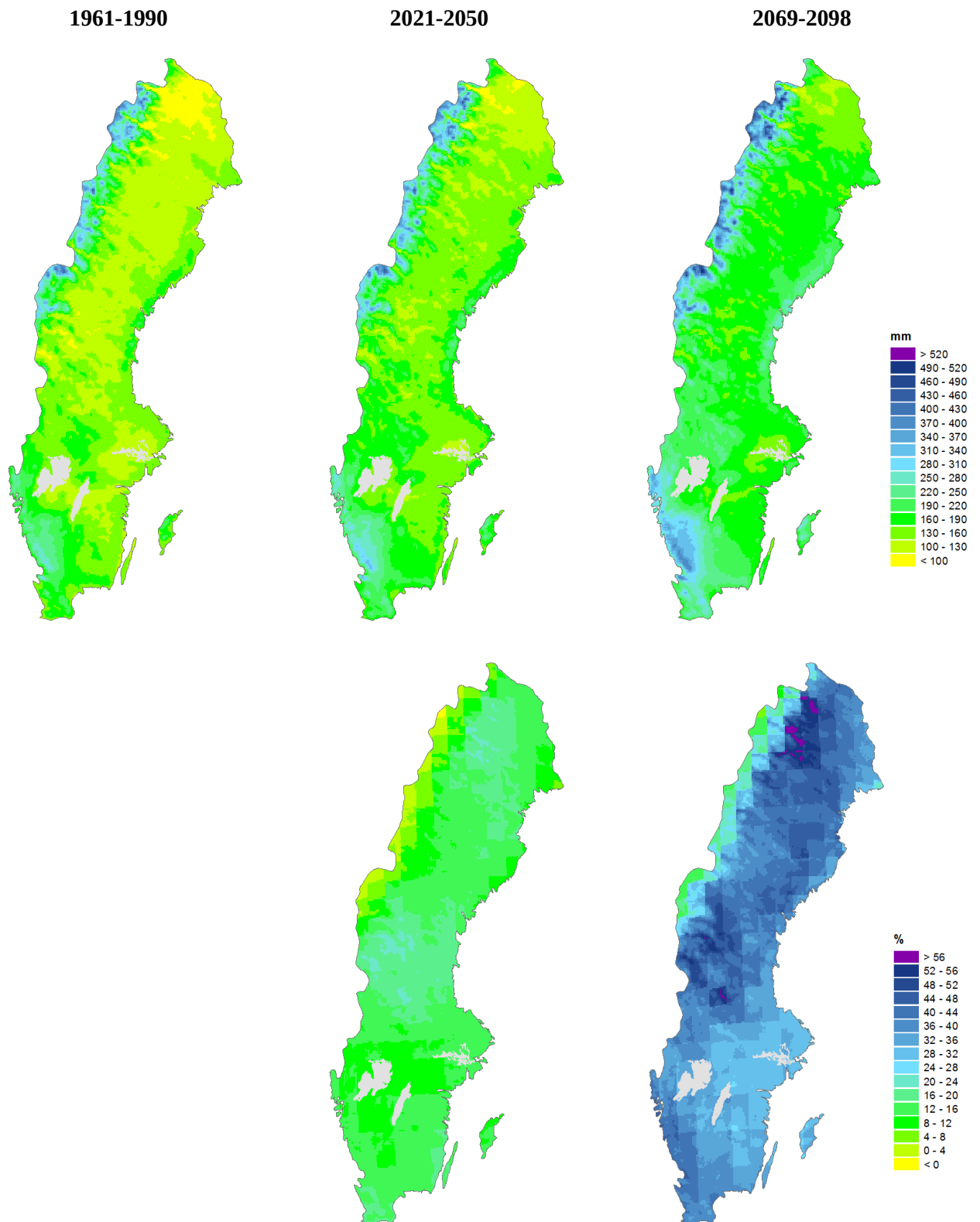
1961-1990

2021-2050

2069-2098



Vintermedelnederbörd, 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på RCP4.5. Den övre raden visar absoluta värden och den undre raden visar differensen till referensperioden 1961-1990.



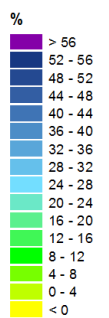
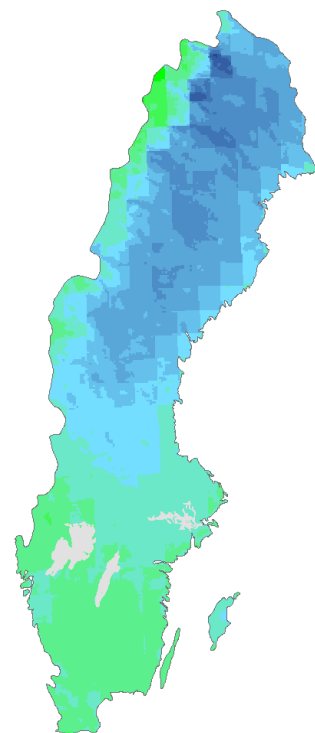
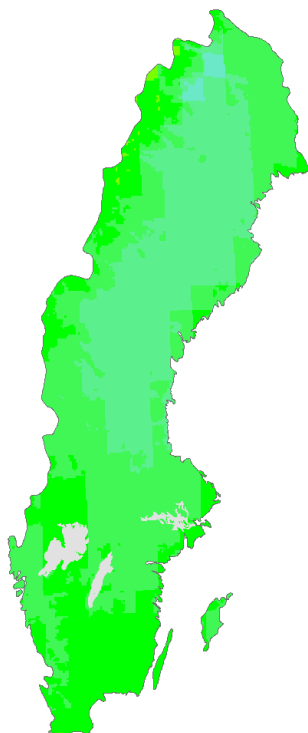
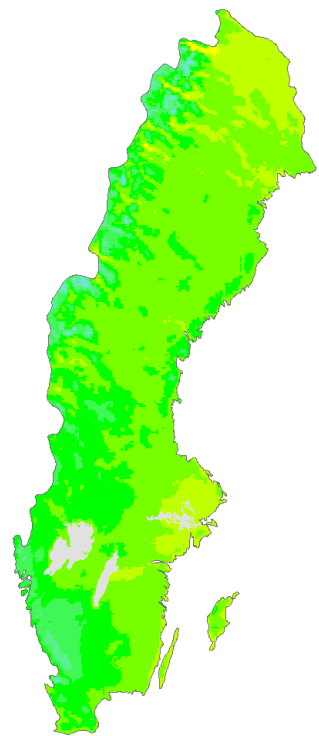
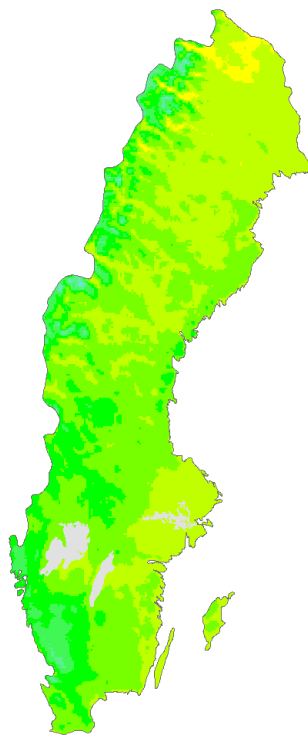
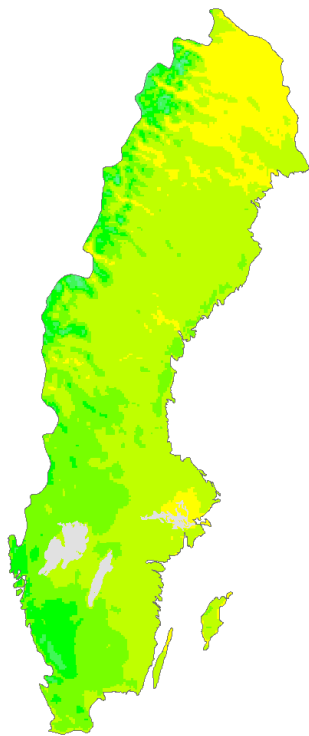
Vintermedelnederbörd, 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på RCP8.5. Den övre raden visar absoluta värden och den undre raden visar differensen till referensperioden 1961-1990.

Vårmedelnederbörd (mars-maj)

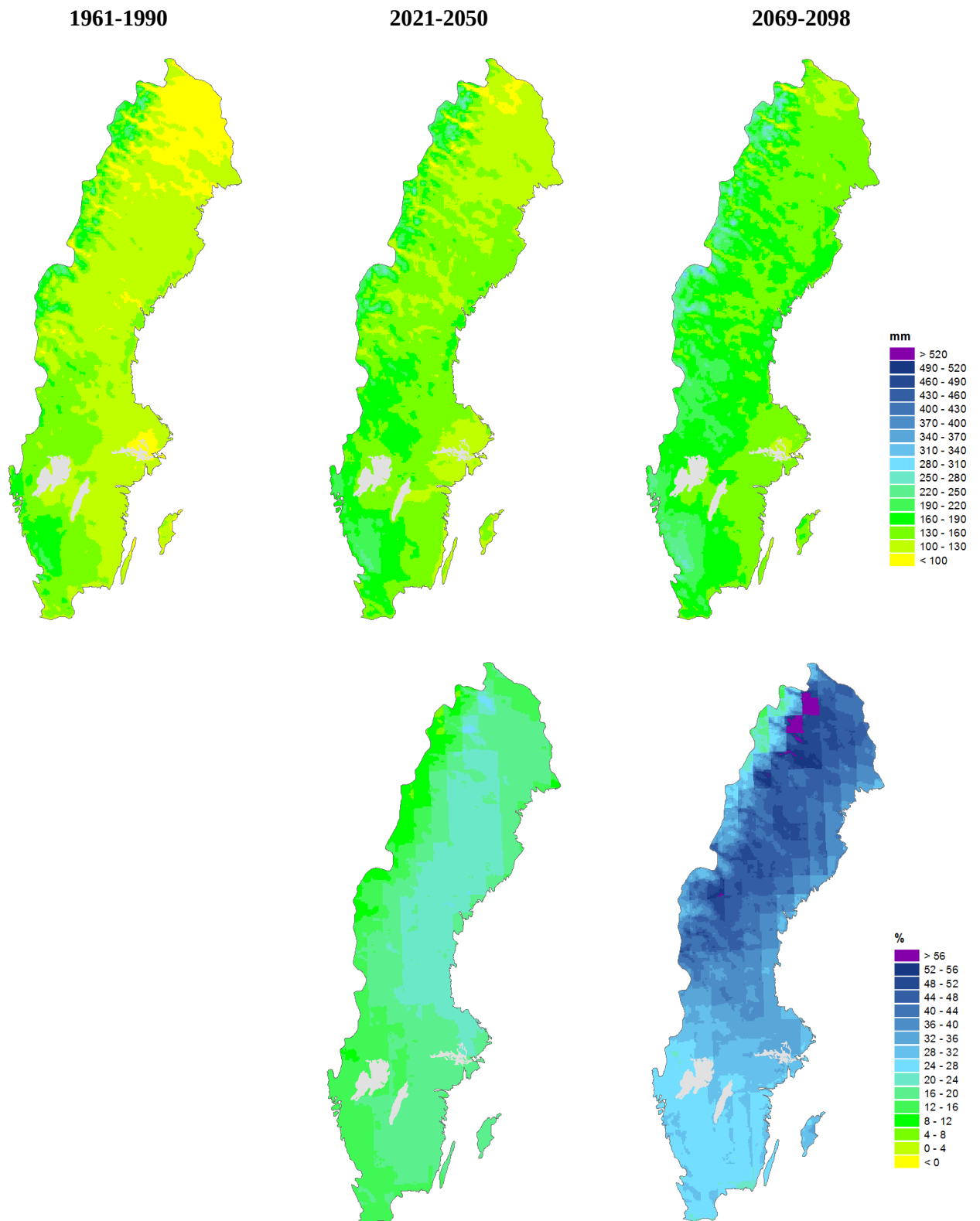
1961-1990

2021-2050

2069-2098



Vårmedelnederbörd, 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på RCP4.5. Den övre raden visar absoluta värden och den undre raden visar differensen till referensperioden 1961-1990.



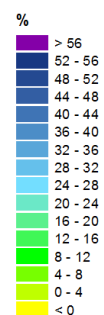
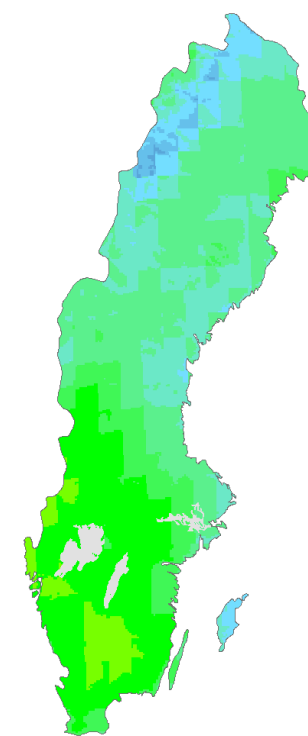
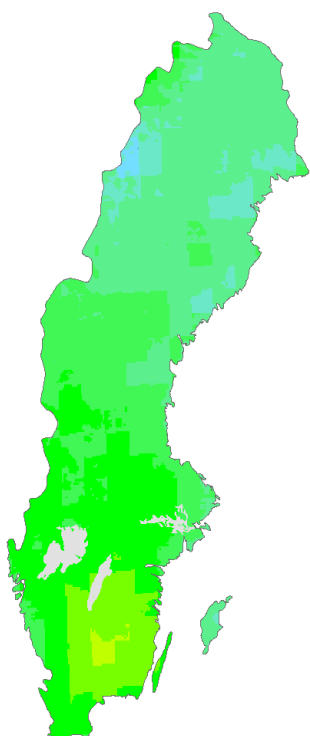
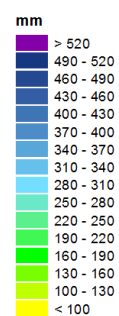
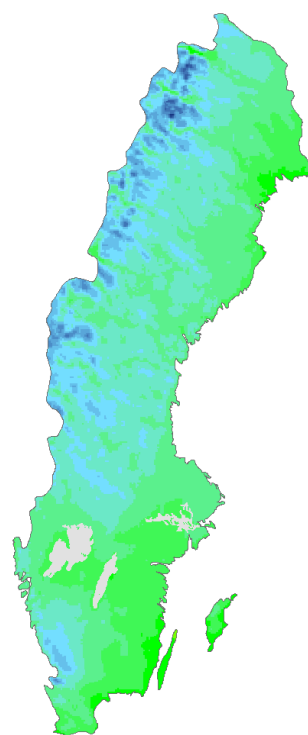
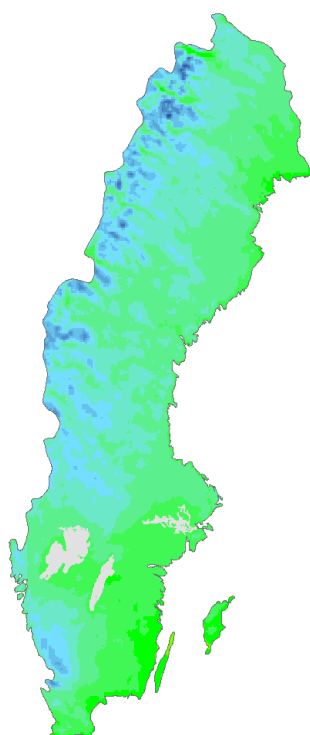
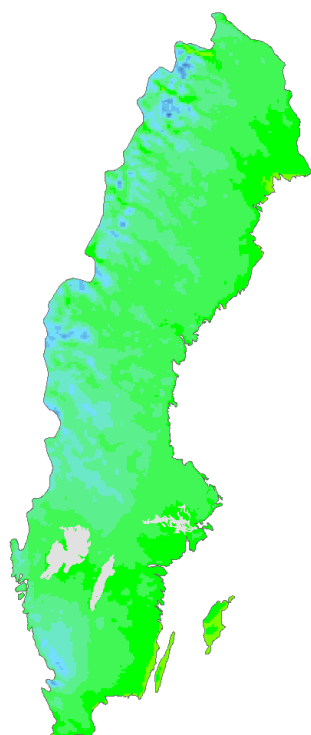
Vårmedelnederbörd, 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på RCP8.5. Den övre raden visar absoluta värden och den undre raden visar differensen till referensperioden 1961-1990.

Somarmedelnederbörd (juni-augusti)

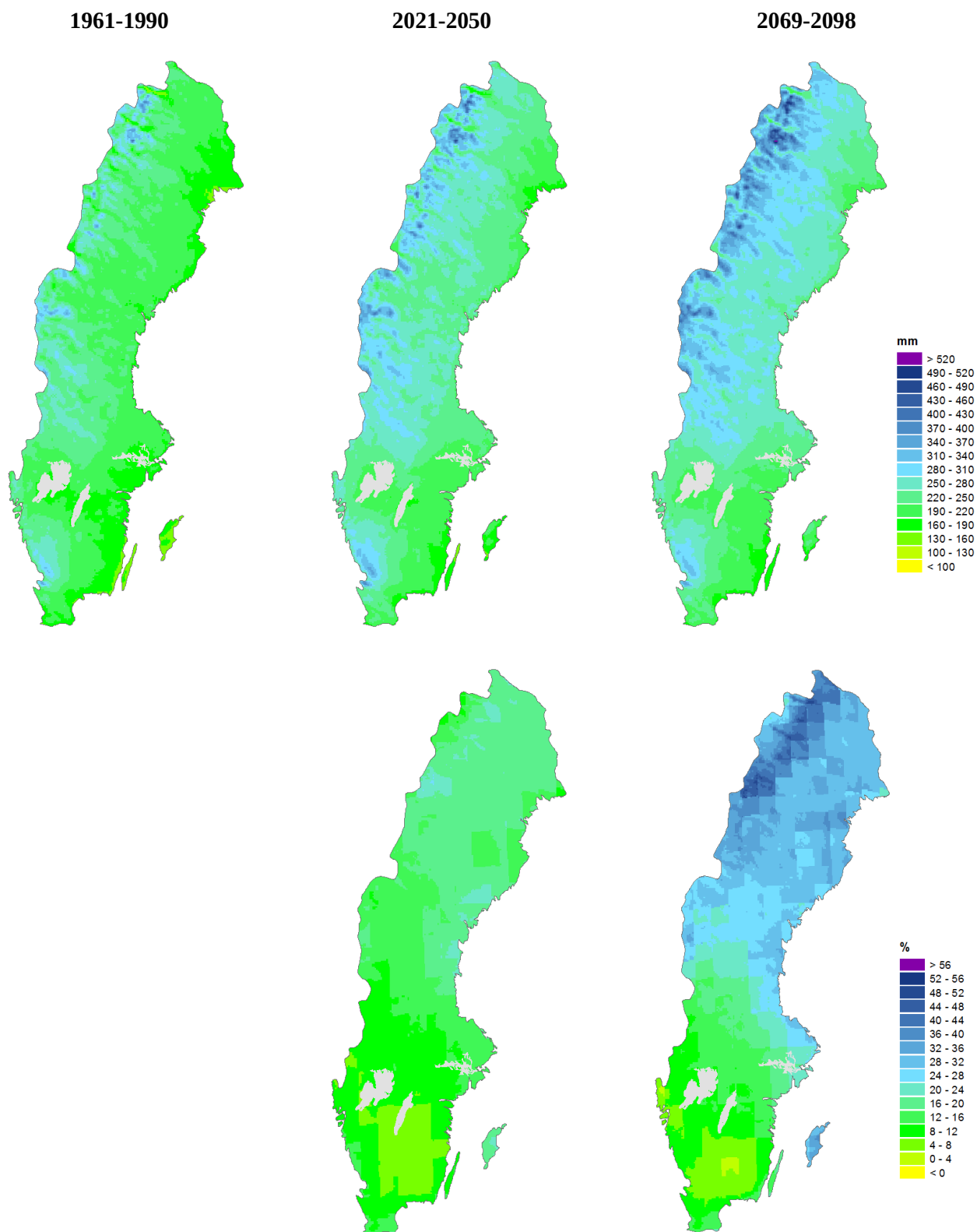
1961-1990

2021-2050

2069-2098



Somarmedelnederbörd, 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på RCP4.5. Den övre raden visar absoluta värden och den undre raden visar differensen till referensperioden 1961-1990.



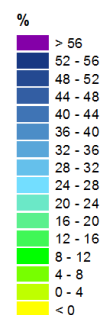
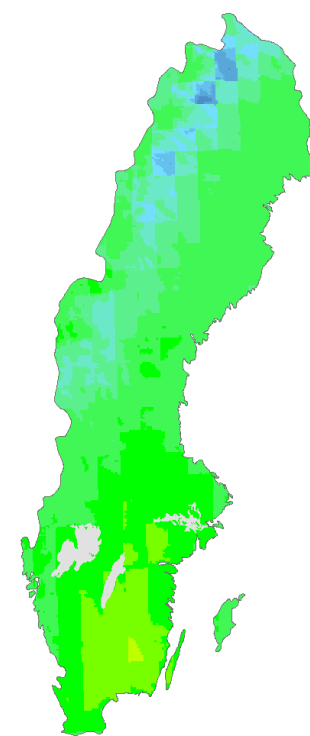
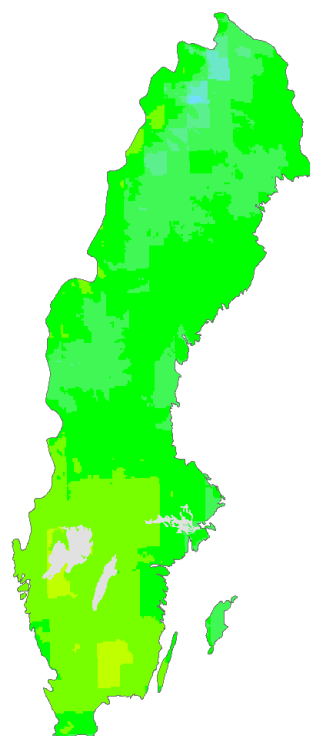
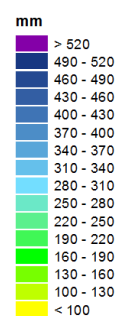
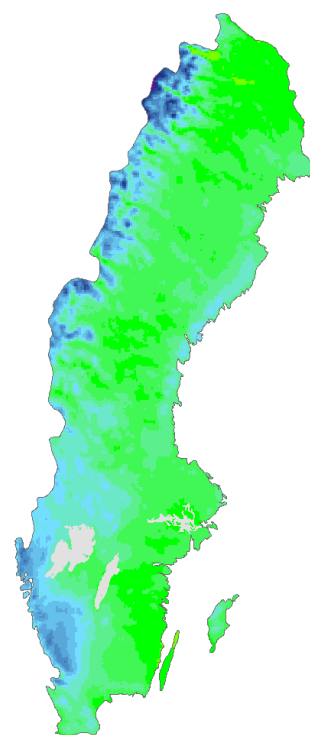
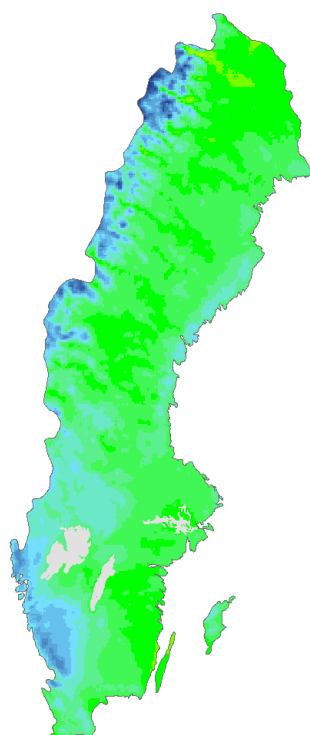
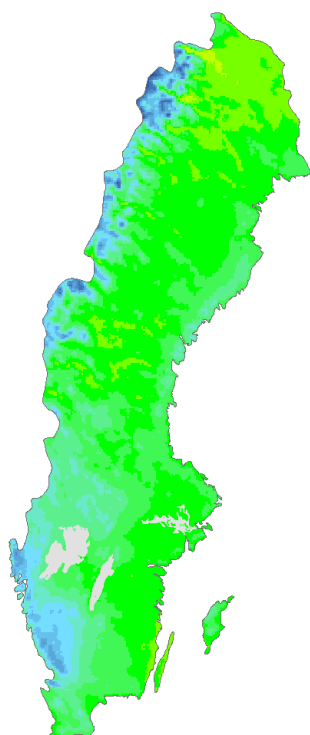
Sommarmedelnederbörd, 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på RCP8.5. Den övre raden visar absoluta värden och den undre raden visar differensen till referensperioden 1961-1990.

Höstmedelnederbörd (september-november)

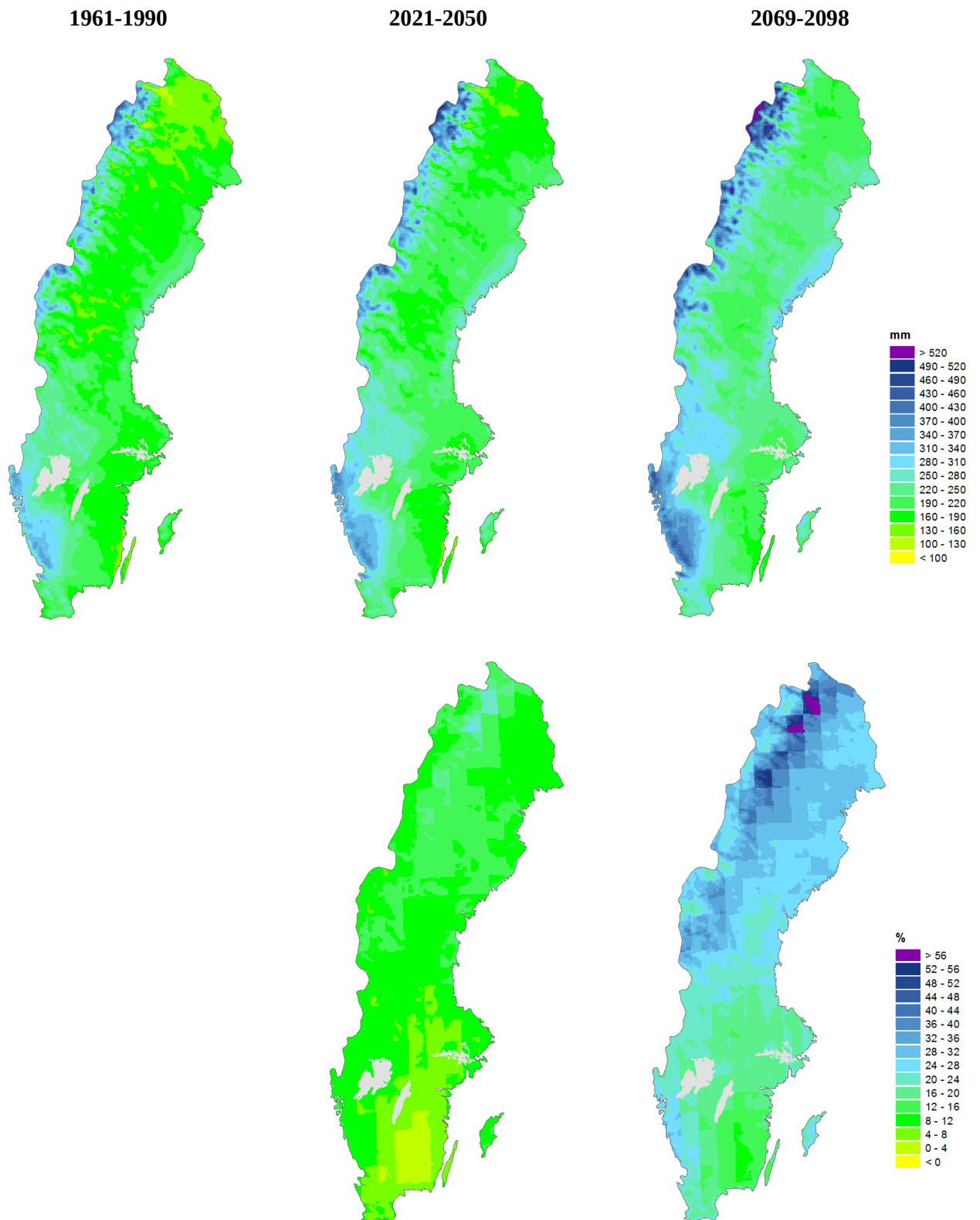
1961-1990

2021-2050

2069-2098



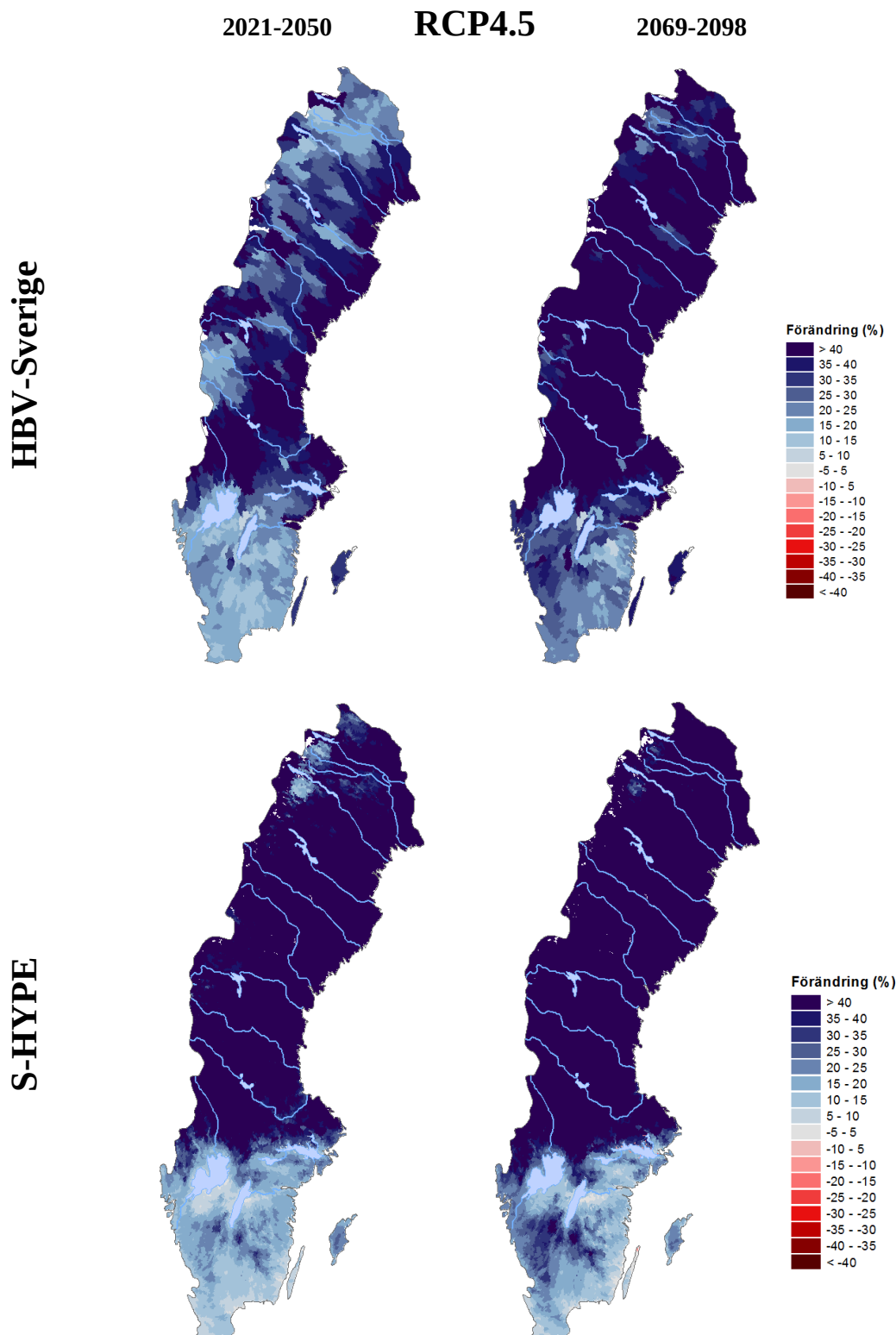
Höstmedelnederbörd, 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på RCP4.5. Den övre raden visar absoluta värden och den undre raden visar differensen till referensperioden 1961-1990.



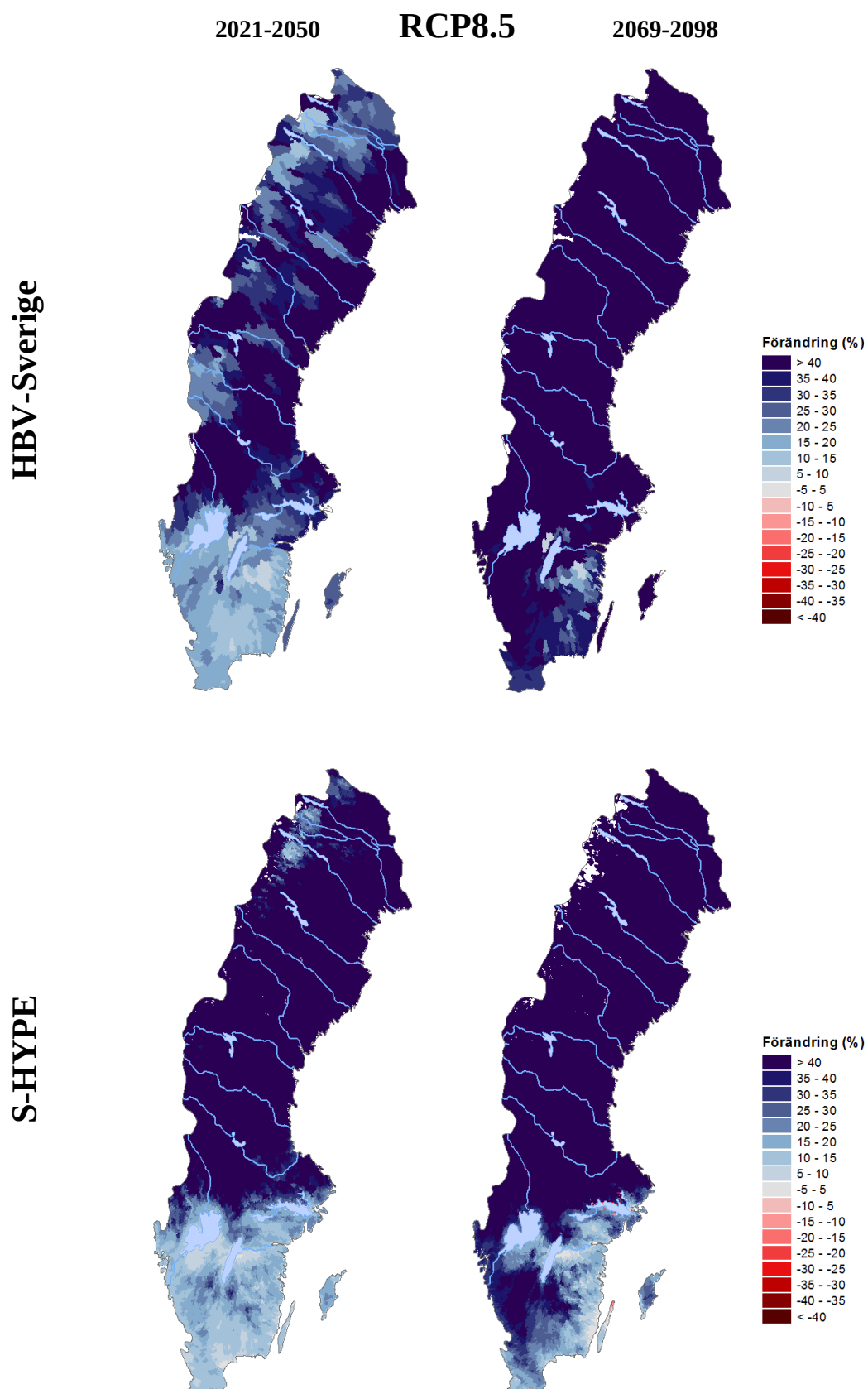
Höstmedelnederbörd, 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på RCP8.5. Den övre raden visar absoluta värden och den undre raden visar differensen till referensperioden 1961-1990.

Bilaga 4 - Kartor lokal medeltillrinning

Lokal vintermedeltillrinning (december-februari)

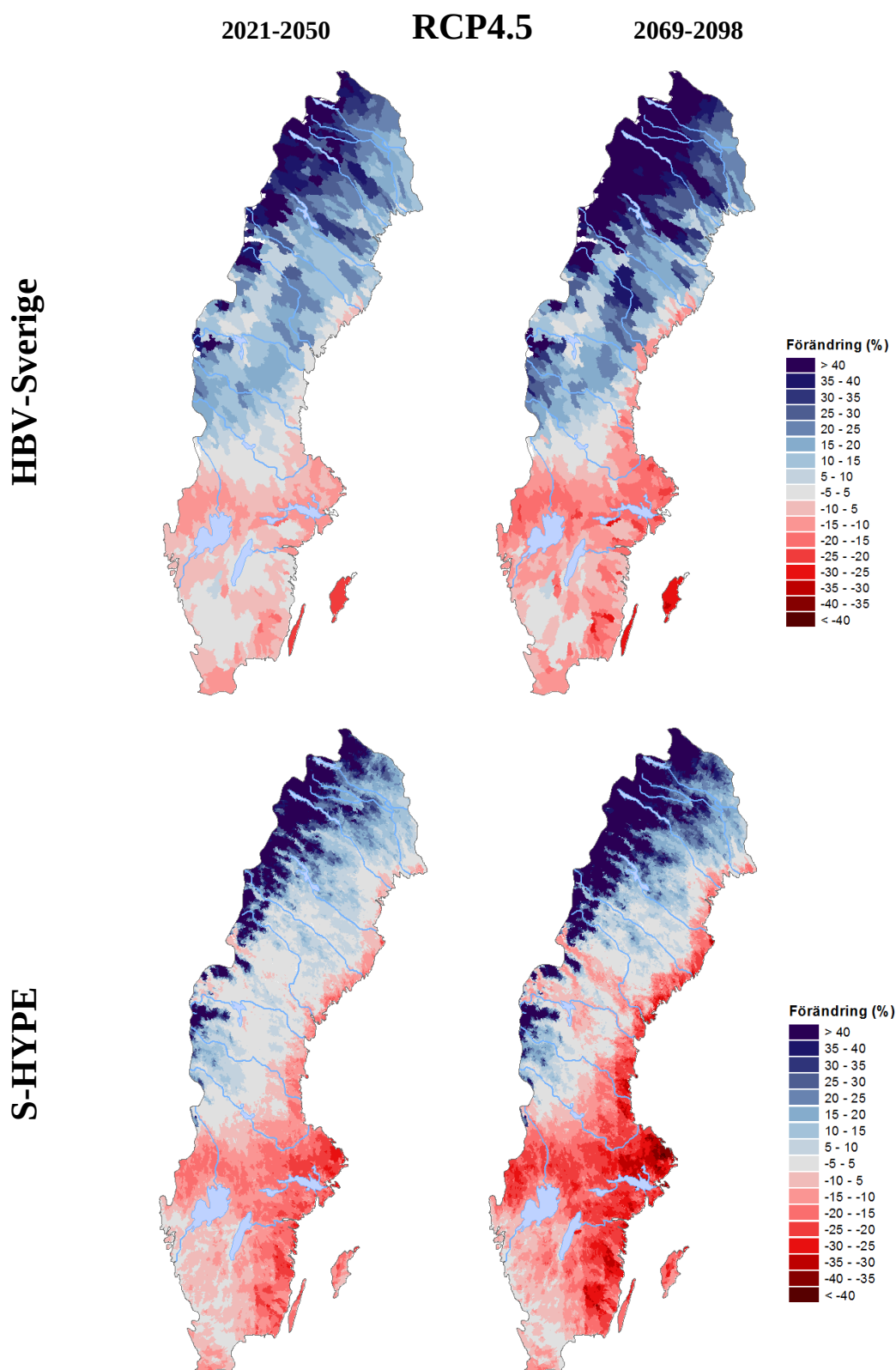


Procentuell förändring i lokal vintermedeltillrinning för respektive framtidsperiod jämfört med referensperioden 1963-1992, beräknat som ett 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på strålningsdrivningsscenario RCP4.5. Den övre raden visar resultatet med HBV-Sverige och den undre med S-HYPE.

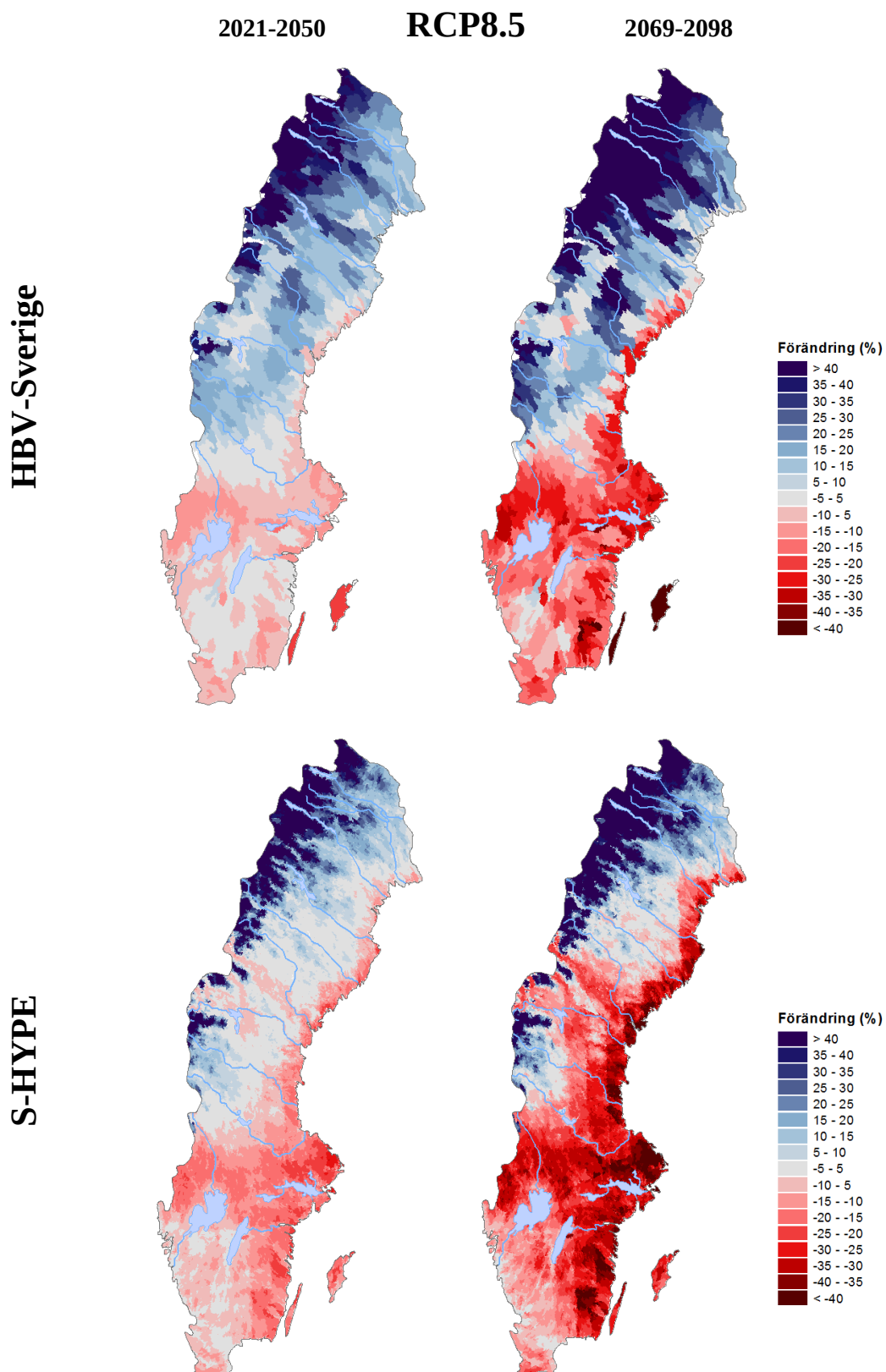


Procentuell förändring i lokal vintermedeltillrinning för respektive framtidsperiod jämfört med referensperioden 1963-1992, beräknat som ett 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på strålningsdrivningsscenario RCP8.5. Den övre raden visar resultatet med HBV-Sverige och den undre med S-HYPE.

Lokal vårmedeltillrinning (mars-maj)

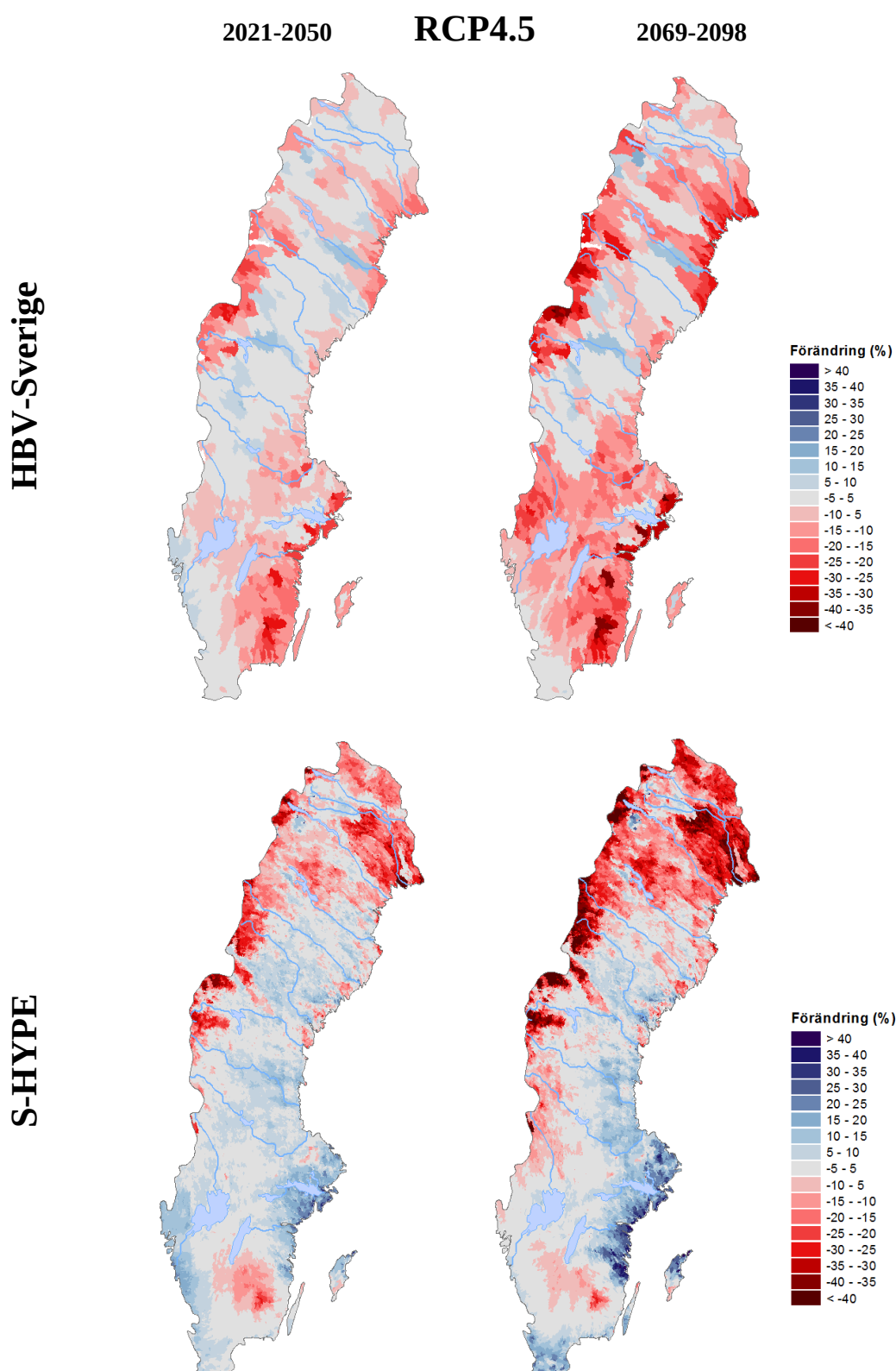


Procentuell förändring i lokal vårmedeltillrinning för respektive framtidsperiod jämfört med referensperioden 1963-1992, beräknat som ett 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på strålningsdrivningsscenario RCP4.5. Den övre raden visar resultatet med HBV-Sverige och den undre med S-HYPE.

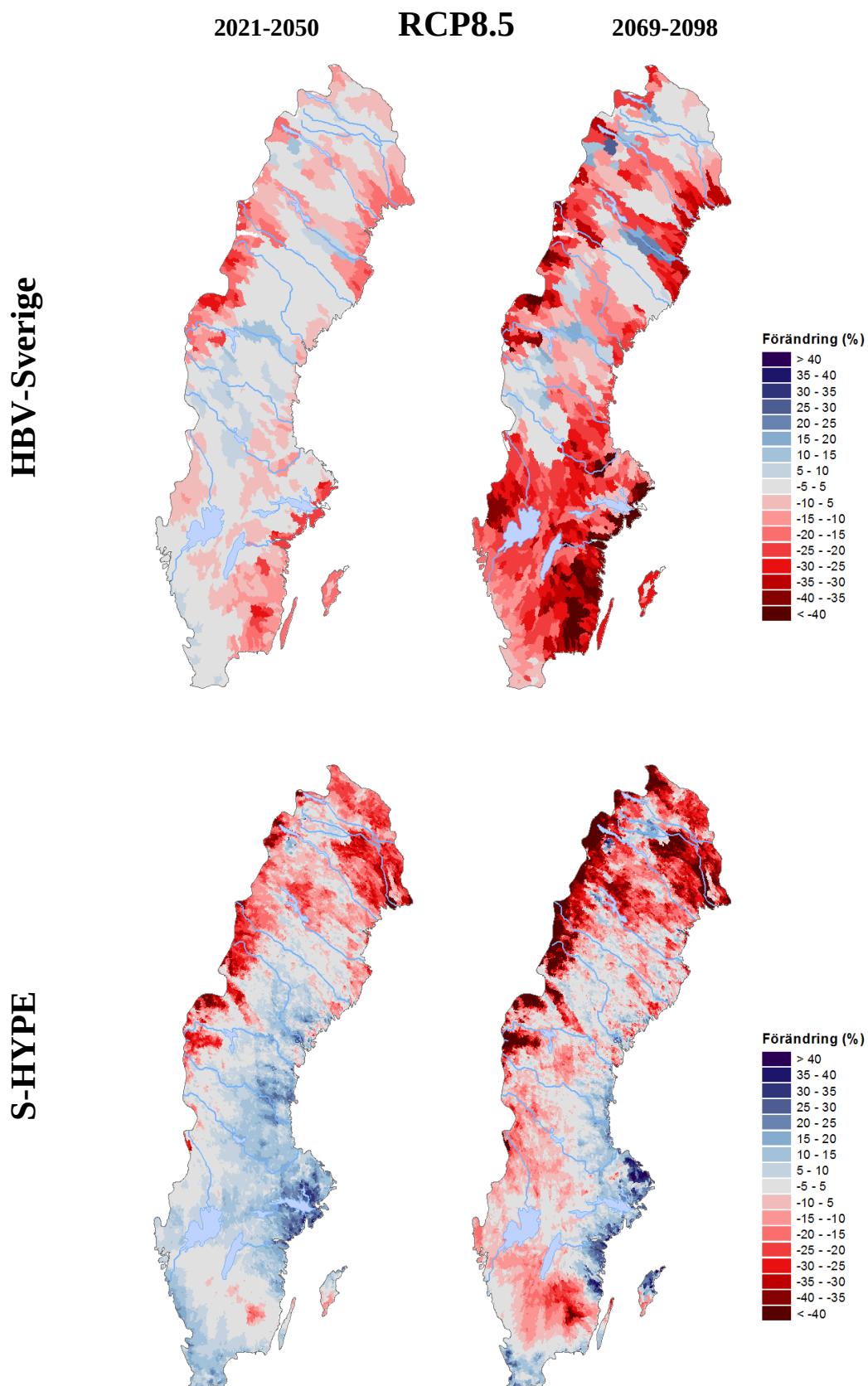


Procentuell förändring i lokal vårmedeltillrinning för respektive framtidsperiod jämfört med referensperioden 1963-1992, beräknat som ett 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på strålningsdrivningsscenario RCP8.5. Den övre raden visar resultatet med HBV-Sverige och den undre med S-HYPE.

Lokal somarmedeltillrinning (juni-augusti)

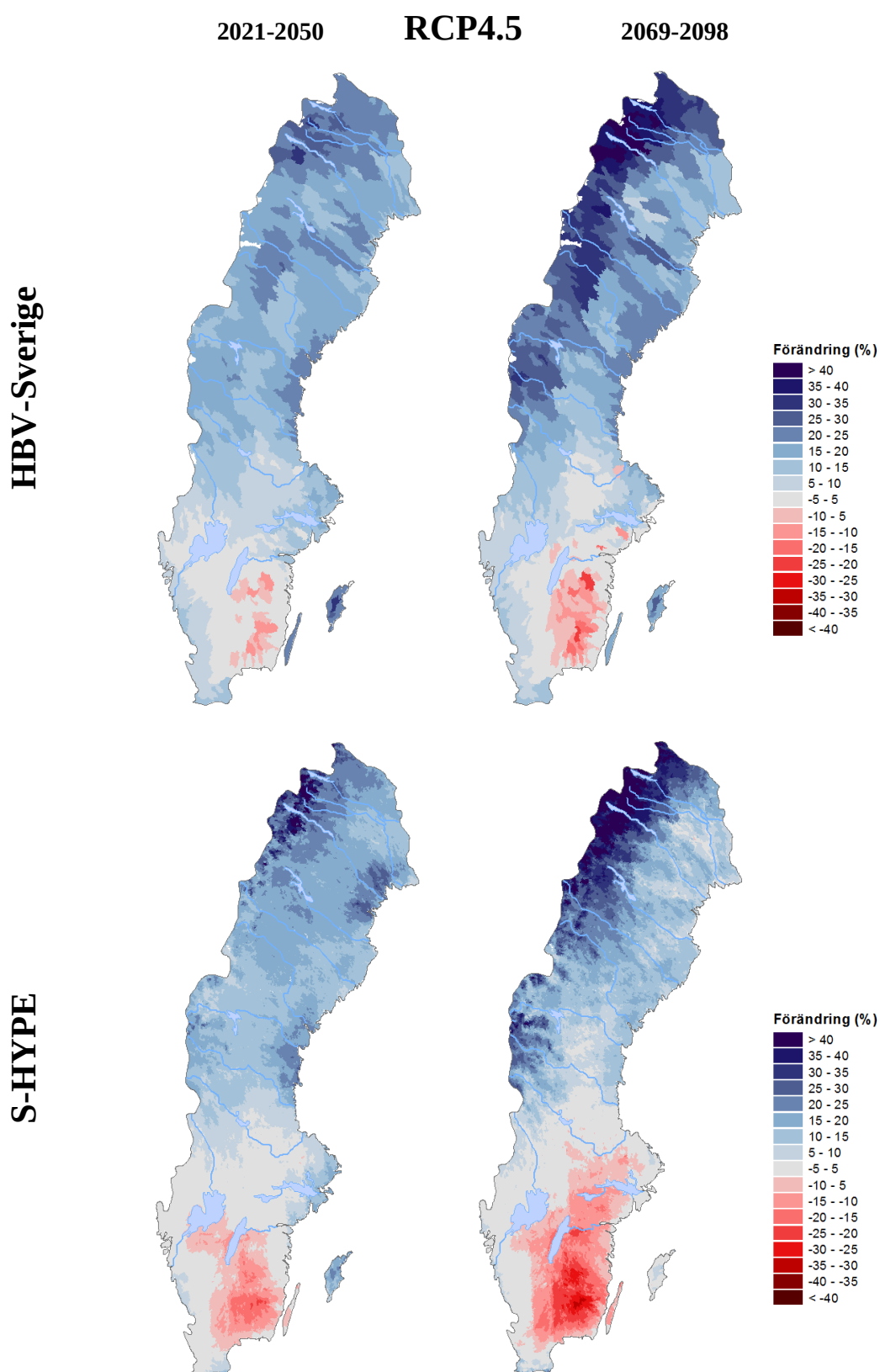


Procentuell förändring i lokal somarmedeltillrinning för respektive framtidsperiod jämfört med referensperioden 1963-1992, beräknat som ett 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på strålningsdrivningsscenario RCP4.5. Den övre raden visar resultatet med HBV-Sverige och den undre raden med S-HYPE.

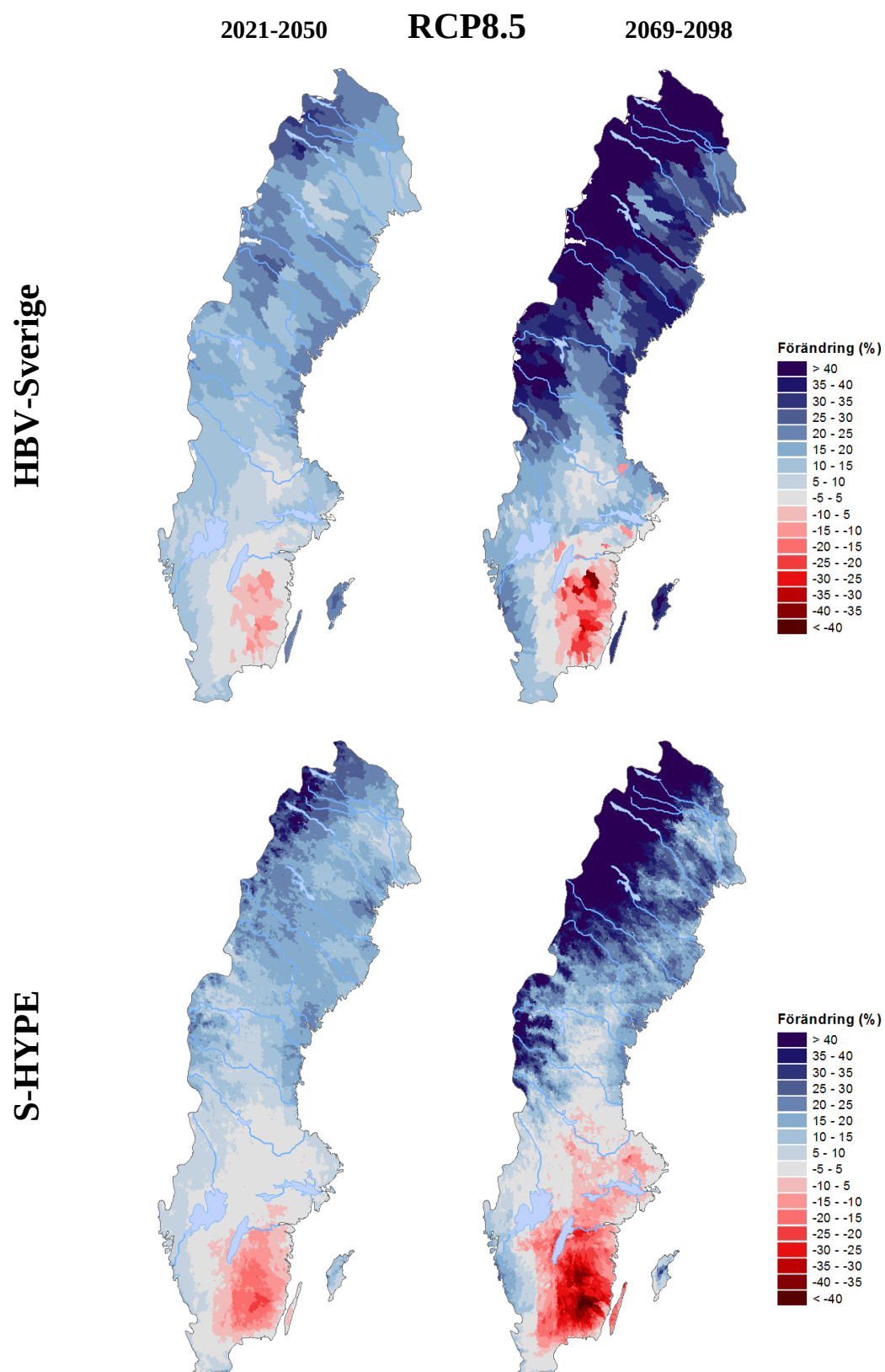


Procentuell förändring i lokal somarmedeltillrinning för respektive framtidsperiod jämfört med referensperioden 1963-1992, beräknat som ett 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på strålningsdrivningsscenario RCP8.5. Den övre raden visar resultatet med HBV-Sverige och den undre med S-HYPE.

Lokal höstmedeltillrinning (september-november)



Procentuell förändring i lokal höstmedeltillrinning för respektive framtidsperiod jämfört med referensperioden 1963-1992, beräknat som ett 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på strålningsdrivningsscenario RCP4.5. Den övre raden visar resultatet med HBV-Sverige och den undre raden med S-HYPE.



Procentuell förändring i lokal höstmedeltillrinning för respektive framtidsperiod jämfört med referensperioden 1963-1992, beräknat som ett 30-årsmedelvärde av 9 klimatscenarier baserade på strålningsdrivningsscenario RCP8.5. Den övre raden visar resultatet med HBV-Sverige och den undre med S-HYPE.

SMHIs publiceringar

SMHI ger ut sju rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationell publik och skrivs därför oftast på engelska. I de övriga serierna används det svenska språket.

Seriernas namn	Publiceras sedan
RMK (Report Meteorology and Climatology)	1974
RH (Report Hydrology)	1990
RO (Report Oceanography)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985
KLIMATOLOGI	2009

I serien KLIMATOLOGI har tidigare utgivits:

- 1 Lotta Andersson, Julie Wilk, Phil Graham, Michele Warburton (University KwaZulu Natal) (2009)
Local Assessment of Vulnerability to Climate Change Impacts on Water Resources in the Upper Thukela River Basin, South Africa – Recommendations for Adaptation
- 2 Gunn Persson, Markku Rummukainen (2010)
Klimatförändringarnas effekter på svenskt miljömålsarbete
- 3 Jonas Olsson, Joel Dahné, Jonas German, Bo Westergren, Mathias von Scherling, Lena Kjellson, Fredrik Ohls, Alf Olsson (2010)
En studie av framtida flödesbelastning på Stockholms huvudavloppssystem
- 4 Markku Rummukainen, Daniel J. A. Johansson, Christian Azar, Joakim Langner, Ralf Döscher, Henrik Smith (2011)
Uppdatering av den vetenskapliga grunden för klimatarbetet. En översyn av natur-vetenskapliga aspekter
- 5 Sten Bergström (2012)
Framtidens havsnivåer i ett hundraårsperspektiv – kunskapssammanställning 2012
- 6 Jonas Olsson och Kean Foster (2013)
Extrem korttidsnederbörd i klimatprojektioner för Sverige
- 7 FNs klimatpanel – Sammanfattning för beslutsfattare. Effekter, anpassning och sårbarhet. Bidrag från arbetsgrupp 2 (WG 2) till den femte utvärderingen (AR 5) från Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2014)
- 8 Att begränsa klimatförändringar (2014)
(Ej publicerad)
- 9 Erik Kjellström SMHI. Reino Abrahamsson, Pelle Boberg. Eva Jernbäcker Naturvårdsverket. Marie Karlberg, Julien Morel Energimyndigheten och Åsa Sjöström SMHI (2014)
Uppdatering av det klimatvetenskapliga kunskapsläget
- 10 Risker och konsekvenser för samhället av förändrat klimat – en kunskapsöversikt (2014)

11. Gunn Persson (2015)
Vägledning för användande av klimatscenarier
12. Lotta Andersson, Anna Bohman, Lisa van Well, Anna Jonsson, Gunn Persson och Johanna Farelius (2015)
Underlag till kontrollstation 2015 för anpassning till ett förändrat klimat
13. Gunn Persson (2015)
Sveriges klimat 1860-2014. Underlag till Dricksvattenutredningen.
14. Anna Eklund (2015)
Sveriges framtida klimat. Underlag till Dricksvattensutredningen.



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

ISSN 1654-2258