

BILAGA 6

Sveriges framtida klimat



KLIMATOLOGI Nr 14, 2015

Sveriges framtida klimat

Underlag till Dricksvattenutredningen

Anna Eklund, Jenny Axén Mårtensson, Sten Bergström, Emil Björck, Joel Dahné, Lena Lindström, Daniel Nordborg, Jonas Olsson, Lennart Simonsson och Elin Sjökvist



Pämbild: Sjön Glan, Norrköpings vattentäkt.
Foto: Sten Bergström

KLIMATOLOGI Nr 14, 2015

Sveriges framtida klimat

Underlag till dricksvattenutredningen

Anna Eklund, Jenny Axén Mårtensson, Sten Bergström, Emil Björck, Joel Dahné,
Lena Lindström, Daniel Nordborg, Jonas Olsson, Lennart Simonsson och Elin
Sjökvist

Sammanfattning

De senaste resultaten från klimatforskningen har använts för att producera detaljerade analyser av Sveriges framtida klimat. Resultaten bygger på de klimatscenarier som använts av FN:s klimatpanel i dess femte utvärdering (AR5). I denna analys har två scenarier använts; RCP4.5 som innebär stora framtida utsläppsbegränsningar och RCP8.5 som innebär höga utsläpp av växthusgaser i framtiden.

Beräkningar av framtidens klimat och vattentillgång bygger på nytt underlag och delvis nya förutsättningar jämfört med tidigare analyser som presenterats av SMHI. De stora dragen i den beräknade förändringen av nederbörd, temperatur, vattentillgång och flöden kvarstår från tidigare utredningar. Användningen av RCP8.5-scenariet, med sin höga framtida koncentration av växthusgaser, förstärker effekterna jämfört med tidigare publicerade analyser.

Eftersom resultaten från FN:s klimatpanel (AR5) presenterades så sent som 2013 så har underlaget framtaget av SMHI präglats av ett intensivt utvecklingsarbete. Resultaten har krävt användande av ny metodik och resultaten kommer även fortsättningsvis att utvärderas av SMHI.

Analysen har gjorts för ett antal parametrar som är relevanta för dricksvattenförsörjningen. I tabellen nedan visas en översiktlig sammanfattning av resultaten.

Parameter	Förändring
Lufttemperatur	Ökning i hela landet, främst i norra Sverige, främst vintertid.
Medelnederbörd	Ökning i hela landet, främst i Norrlands inland, främst vinter och vår.
Kraftig korttidsnederbörd	Ökning i hela landet, främst för de korta varaktigheterna.
Vattentillgång	Ökning av årsmedel i hela landet förutom östra Götaland. Ökningen är störst på vintern. Minskning på sommaren, främst i östra Götaland.
100-årsflöde och 200-årsflöde	Ökning i stora delar av landet. Minskning i Norrlands inland och norra kustland samt nordvästra Svealand
Lågflöden	Mer vanligt i Götaland och Svealand, främst östra Götaland.
Havsnivåer	Stigande havsnivå, nettoökningen störst i södra Sverige.

Temperatur

Klimatberäkningarna visar på en ökning av årsmedeltemperaturen under innevarande sekel, men med stor spridning av resultaten. Störst beräknas ökningen bli i norr, vilket överensstämmer med tidigare resultat från såväl SMHI som IPCC. Skillnaderna mellan de två utsläppsscenarierna är små för perioden 2021-2050 men ökar mot slutet av århundradet. Scenario RCP4.5 innebär i medeltal en ökning på ca 3 grader till 2100 jämfört med perioden 1961-1990. För RCP8.5 är ökningen större, i medeltal ca 6 grader till 2100.

Nederbörd

Medelnederbörden beräknas öka i hela landet i framtiden. Störst väntas ökningen bli i Norrlands inland. Skillnaden mellan de två utsläppsscenarierna är små för perioden 2021-2050 men ökar mot slutet av århundradet. En ökning väntas under alla årstider, men främst för vintern och våren.

Den extrema korttidsnederbörden beräknas bli mer intensiv i ett framtida klimat. Detta gäller främst skyfall med kort varaktighet.

Vattentillgång och flöden

I framtiden väntas sett över hela året en ökning av vattentillgången i stora delar av landet, främst i norra Sverige och längs Västkusten. I sydöstra Sverige väntas istället en minskning vilket beror på ökad avdunstning. I större delen av landet väntas vårfloden bli lägre och vinterflödena väntas istället öka. Ändringen i vattentillgång skiljer sig åt mellan olika årstider. Sommartid väntas en minskad vattentillgång i större delen av landet, med den största minskningen i östra Götaland.

De extrema flödena väntas i framtiden inträffa mer sällan i Norrlands inland och norra kustland samt nordvästra Svealand. I övriga delar av landet väntas de extrema flödena bli vanligare. De nya beräkningarna visar att en större andel av Sveriges yta kan komma att utsättas för förstärkta extremflöden jämfört med tidigare beräkningar.

I framtiden väntas antalet dagar med låga flöden bli fler i Götaland och stora delar av Svealand. Den största förändringen beräknas ske i östra Götaland. Detta är en följd av att avdunstningen ökar till följd av ökad temperatur.

Havsnivå

Den globala havsnivån väntas stiga i framtiden. En beräknad övre gräns för ökningen är ungefär 1 m till år 2100 enligt IPCC:s senaste utvärdering. Landhöjningen motverkar havsnivåhöjningen, speciellt i norra Sverige.

Summary

The latest results from climate research have been used to produce detailed analyses of Sweden's future climate. The results build on the climate scenarios that have been used by the UN's climate panel in its Fifth Assessment Report (AR5). Two scenarios have been used in this analysis: RCP4.5, which significantly limits future emissions, and RCP8.5, which is a more conservative "business as usual" scenario.

Calculations of the future climate and water availability are based on new material and some new conditions compared to analyses previously presented by SMHI. The calculated changes in precipitation, temperature, water availability and flooding are broadly the same as earlier reports. The use of the RCP8.5 scenario, with its high future concentration of greenhouse gases, strengthens the effects compared to previous analyses.

Since the results of the UN's climate panel (AR5) were presented as late as 2013, the material produced by SMHI has involved intensive development. The results have required new methodologies and will continue to be evaluated by SMHI.

Analyses have been made for a number of parameters that are relevant to the supply of drinking water. The table below summarises the results.

Parameter	Change
Airtemperature	Increasing in the whole country, in particular in northern Sweden, mainly during winter.
Average precipitation	Increasing in the whole country, in particular inland Norrland, mainly during winter and spring.
Extreme short-term precipitation	Increasing in the whole country, mainly for short-term heavy showers.
Water availability	Increasing in the whole country except for eastern Götaland. The increase is greatest during the winter. Decreasing during summer, in particular in eastern Götaland.
100-year floods and 200-year floods	Increasing in large areas of the country. Decreasing in inland Norrland and the northern coast as well as north west Svealand.
Low river flows	Becoming more common in Götaland and Svealand, particularly in eastern Götaland.
Sea levels	Raised sea levels, with the greatest net rise in southern Sweden.

Temperature

Climate calculations show an increase in the mean annual temperature during the current century, but with a large spread of the result. The largest increase is calculated for the north, which is in agreement with earlier results from both SMHI and IPCC. The difference between the two emission scenarios is small for the period 2021-2050 but increases towards the end of the century. The RCP4.5 scenario implies an increase of around 3 degrees on average by 2100, compared to the period 1961-1990. The increase is greater for RCP8.5, giving an average of around 6 degrees by 2100.

Precipitation

Average precipitation is calculated to increase for the whole country in the future. The greatest increase is expected for inland Norrland. The difference between the two emission scenarios is small for the period 2021-2050 but increases by the end of the century. An increase is expected during all seasons, but mostly for winter and spring.

Extreme short-term precipitation is calculated to become more intensive in a future climate. This applies particularly to short torrential showers.

Water availability and flow

In the future, an increase in water availability is expected in large parts of the country, particularly in northern Sweden and along the West Coast. Southern Sweden can instead expect a reduction which is due to increased evaporation. For large parts of the country the spring floods are expected to be lower and the winter floods will increase. The change in water availability differs between the seasons. During summer a decreasing in water availability is expected in large parts of the country, in particular in eastern Götaland.

Extreme floods are expected to occur less often in inland Norrland, the northern coastal areas and for north western Svealand. In the rest of the country, extreme floods are expected to be more common. New calculations show that a larger part of Sweden's area could be susceptible to stronger extreme floods compared to earlier calculations.

In the future, more days with low river flows are expected in Götaland and large parts of Svealand. The greatest change is expected in eastern Götaland. This is a result of increased evaporation due to the rise in temperature.

Sea level

The global sea level is expected to rise in the future. A calculated upper limit for the increase has been put at about 1 m by the year 2100 according to the latest evaluation from IPCC. The land rise counteracts the rise in sea level, in particular for northern Sweden.

Innehållsförteckning

1	BAKGRUND OCH SYFTE	1
2	METODIK	2
2.1	Utsläppsscenarier	2
2.2	Klimatmodeller	3
2.3	Regionala klimatscenarier	3
2.4	Analys av extrem korttidsnederbörd	4
2.5	Anpassning av klimatdata för effektstudier	4
2.6	Hydrologisk modell	6
2.7	Tidsperioder	6
2.8	Osäkerheter och tolkning av resultat	7
2.8.1	Utsläppsscenarier	7
2.8.2	Klimatmodeller	7
2.8.3	Naturlig variabilitet	7
2.8.4	Upplösning	7
2.9	Begreppen återkomsttid, risk och sannolikhet	7
3	RESULTAT	9
3.1	Temperatur	9
3.1.1	Medeltemperatur för hela året	11
3.1.2	Medeltemperatur för vintern	12
3.1.3	Medeltemperatur för våren	13
3.1.4	Medeltemperatur för sommaren	14
3.1.5	Medeltemperatur för hösten	15
3.1.6	Värmeböljor	16
3.2	Nederbörd	17
3.2.1	Medelnederbörd för hela året	17
3.2.2	Medelnederbörd för vintern	19
3.2.3	Medelnederbörd för våren	20
3.2.4	Medelnederbörd för sommaren	21
3.2.5	Medelnederbörd för hösten	22
3.2.6	Största dygnsnederbörd	23
3.2.7	Största 7-dygnsnederbörd	24
3.2.8	Längsta torrperiod	25
3.3	Extrem korttidsnederbörd	26
3.3.1	Extrem nederbörd under 20 minuter	27
3.3.2	Extrem nederbörd under 1 timme	28
3.3.3	Extrem nederbörd under 3 timmar	29
3.3.4	Extrem nederbörd under 12 timmar	30
3.4	Vattentillgång och flöden	31

3.4.1	Vattentillgång för hela året.....	32
3.4.2	Vattentillgång för vintern	33
3.4.3	Vattentillgång för våren.....	34
3.4.4	Vattentillgång för sommaren.....	35
3.4.5	Vattentillgång för hösten	36
3.4.6	100-årsflöde	37
3.4.7	200-årsflöde	38
3.4.8	Lågflöden	39
3.5	Markfuktighet	40
3.6	Antal dagar med snötäcke.....	41
3.7	Havsnivåer.....	42
4	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	43
5	REFERENSER	43
	BILAGA A. KARTOR ÖVER SPRIDNINGEN.....	45

1 Bakgrund och syfte

Den statliga utredningen ”En trygg dricksvattenförsörjning” (hädanefter benämnd Dricksvattenutredningen) ska identifiera nuvarande och potentiella utmaningar för en säker dricksvattenförsörjning i landet, på kort och lång sikt. Utgångspunkten ska bland annat vara klimatförändringarnas förväntade effekter på dricksvattenförsörjningen. Utredningen ska också lämna en uppdaterad beskrivning av hur klimatförändringarna kan komma att påverka olika delar av landet.

Som ett underlag till utredningen har SMHI tagit fram denna klimatanalys för parametrar som är relevanta för dricksvattenförsörjningen. Urvalet av dessa har beslutats i diskussion med Dricksvattenutredningen och dess referensgrupp för klimat. I en separat rapport till Dricksvattenutredningen (Persson, 2015) ges en översikt över hur klimatet i Sverige förändrats fram till 2014. Rapporterna är bilagor till delbetänkandet ”Klimatförändringar och dricksvattenförsörjning”, utgiven i maj 2015.

Föreliggande rapport tar inte upp konsekvenserna för dricksvattenförsörjningen utan stannar vid förändringar i temperatur, nederbörd, vattentillgång, snötäcke och havsnivåer. Rapporten grundar sig på de klimatscenarier som använts av FNs klimatpanel i dess femte utvärdering (AR5). En diskussion om hur dessa scenarier skiljer sig från de som användes i klimat- och sårbarhetsutredningen ingår.

Eftersom resultaten från AR5 presenterades så sent som 2013 så har arbetet präglats av ett intensivt utvecklingsarbete. Resultaten har krävt användande och delvis utveckling av ny metodik och resultaten kommer även fortsättningsvis att utvärderas av SMHI.

Det material som redovisas i denna rapport är översiktligt. Studier av lokala förhållanden kan kräva mer detaljerade beräkningar.

2 Metodik

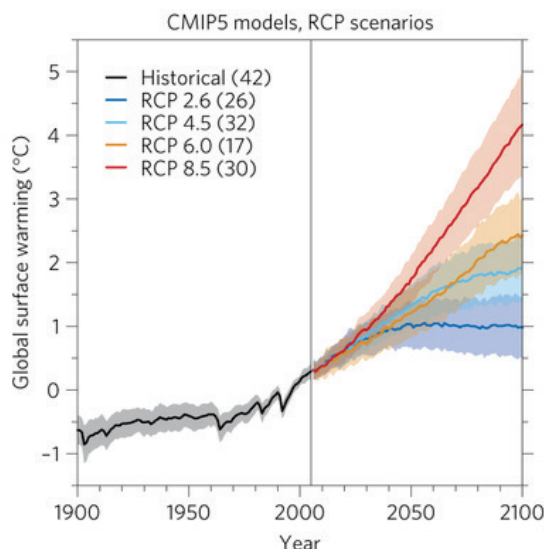
I analysen har de senaste resultaten från klimatforskningen använts för att producera detaljerade analyser av Sveriges framtida klimat. I följande avsnitt beskrivs metodiken och vilka antaganden som gjorts.

2.1 Utsläppsscenarioer

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, 2013) användes en ny generation utsläppsscenarioer vid namn RCP (Representative Concentration Pathways, Moss m. fl., 2010), se Figur 2.1. RCP-scenarierna betecknas med siffror som anger den strålningsdrivning de olika utvecklingsvägarna ger upphov till år 2100. Strålningsdrivningen är skillnaden mellan mängden energi från solinstrålning som träffar jorden och hur mycket energi som jorden strålar ut till rymden igen. Denna energi mäts i enheten watt per kvadratmeter, W/m^2 . I den lägsta RCP:en handlar det om $2,6 W/m^2$ och i den högsta $8,5 W/m^2$.

RCP8.5, den röda linjen i figuren, är det mest högintensiva scenariot, vilket innebär att utsläppen av växthusgaser på jorden fortsätter att öka, de andra scenarierna innefattar någon form av politiska beslut som begränsar utsläppen.

Fokus har i forskarvärlden legat på RCP4.5 och RCP8.5, och detta avspeglas i antalet globala modeller som ingår i ensemblerna i figur 2.1 (se siffrorna inom parentes). Dessa två scenarier fanns också tillgängliga som kompletta ensembler vid analysens start.



Figur 2.1 Global uppvärmning relativt år 2000 för de fyra olika RCP-scenarierna beskriven av ensembler av flera globala modeller (antalet visas inom parentes). Från IPCC (2013).

RCP-scenarierna skiljer sig från de tidigare av FN:s Klimatpanel framtagna SRES-scenarierna då de inte är direkt kopplade till en specifik samhällsekonomisk utveckling. De innefattar dock några grundläggande antaganden, vilka listas i tabell 2.1.

Tabell 2.1 Antaganden som ligger till grund för utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5.

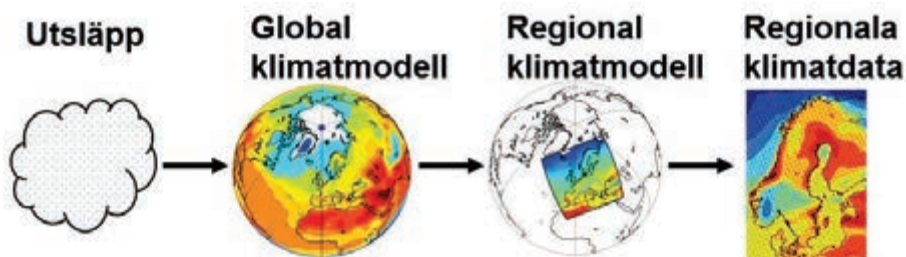
RCP4.5	RCP8.5
• Utsläppen av koldioxid ökar något och kulminerar omkring år 2040 • Befolkningsmängd något under 9 miljarder i slutet av seklet • Lågt arealbehov för jordbruksproduktion, bland annat till följd av större skördar och förändrade konsumtionsmönster • Omfattande skogsplanteringsprogram • Låg 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 RCP8.5 möjliggörs en jämförelse mellan effekterna av en framtid med höga utsläpp och en framtid med stora utsläpps begränsningar.

2.2 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. Modellen består av ett tredimensionellt rutnät som beskriver jordens atmosfär och dess återkoppling mellan land och hav. Varje ruta är i storleksordningen 200-300 km. Modellen simulerar hela jordens klimat och drivs av ett utsläppsscenario.

Upplösningen i den globala klimatmodellen gör informationen otillräcklig på regional skala, därför kopplas resultatet till en regional modell (RCM), som utför *dynamisk nedskalning*. Den regionala modellen har högre upplösning och kan därmed beskriva till exempel effekterna av den Skandinaviska fjällkedjan och Östersjön. Figur 2.2 beskriver dataflödet mellan klimatmodeller.



Figur 2.2 Illustration av beräkningsgången från utsläpp till regionala klimatdata.

2.3 Regionala klimatscenarier

Ett regionalt klimatscenario ges av kombinationen mellan utsläppsscenario, global klimatmodell och regional klimatmodell. Eftersom modellerna har olika egenskaper kan resultaten skilja sig åt. Genom att använda så många olika klimatscenarier som möjligt fås ett robustare resultat och statistiskt mått på osäkerheten i resultaten.

Rosby Centre har genomfört regional modellering för Europa baserat på data från nio olika globala klimatmodeller från olika institut, se tabell 2.2. Samtliga globala scenarier har skalats ner med den regionala klimatmodellen RCA4 (Strandberg 2014), för de två scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Detta ger totalt 18 klimatscenarier med upplösningen 50 km gånger 50 km. Dessa scenarier utgör underlaget i analysen. Det återstår att analysera hur RCA4 förhåller sig till andra regionala klimatmodeller.

Tabell 2.2 *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

2.4 Analys av extrem korttidsnederbörd

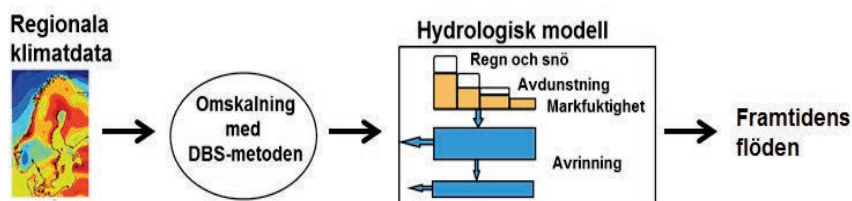
Analysen av extrem korttidsnederbörd utgår från resultaten av de regionala klimatmodellerna med en upplösning på 50 gånger 50 km. För varje gridruta i modellen och varje tidsperiod beräknades årliga maxvärden för 6 olika varaktigheter: 20 min, 1 tim, 3 tim, 6 tim, 12 tim och 1 dygn. En sannolikhetsfördelning (Gumbelfördelning (WMO, 1981)) anpassades för varje kombination av modellgridruta, tidsperiod och varaktighet. Ur denna fördelning beräknades nederbörden med 10 års återkomsttid. För varje kombination av modellgridruta och varaktighet beräknades därefter den relativa förändringen av 10-årsnederbörden från referensperioden till de båda perioderna 2021-2050 samt 2069-2098 (Olsson och Foster, 2013). Detta genomfördes för alla scenarier som ingår i de båda RCP-ensemblerna. För varje RCP-ensemble beräknades medelvärde samt max- och minförändring, avslutningsvis plottades resultatet i kartor över Sverige.

De regionala klimatmodellerna har en rumsupplösning på 50×50 km, vilket motsvarar ett avsevärt större område än den lokala skala på vilken extrem korttidsnederbörd har störst påverkan (ner till enskilda km²). I beräkningarna har man antagit att framtida förändringar på skala 50×50 km är representativa också för den lokala skalan, vilket inte behöver vara fallet.

2.5 Anpassning av klimatdata för effektstudier

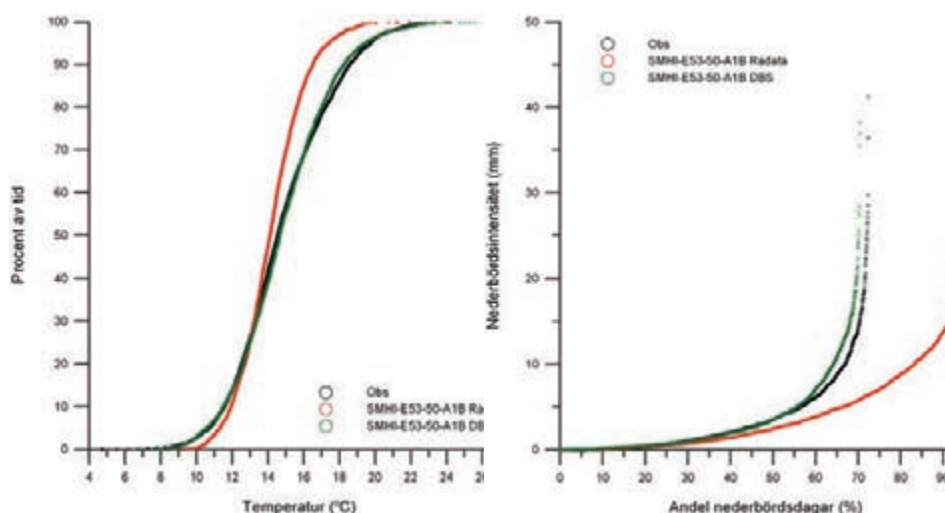
För användning av klimatmodellernas resultat i hydrologiska effektstudier krävs ett gränssnitt mellan klimatmodellen och den hydrologiska modellen. Anledningen är att

klimatmodellerna inte kan beskriva det nutida klimatet tillräckligt väl för att ge en rimlig hydrologisk respons. En metod som möjliggör en sådan anpassning är DBS-metoden (Distribution Based Scaling, Yang m.fl., 2010) som innebär att data från meteorologiska observationer används till att justera klimatmodellens resultat för att minimera de systematiska felen. Korrigeringsfaktorerna används vid beräkningen av framtidens klimat vilket leder till att klimatberäkningens utdata blir statistiskt jämförbart med observationer och kan användas som indata till en hydrologisk modell. Vid användning av DBS-metoden bibehålls både förändringar i medelvärden och de förändringar i klimatets variabilitet som ges av klimatmodellen. Se illustration av dataflödet vid DBS-skalering i figur 2.3.



Figur 2.3 Illustration av dataflödet från klimatmodeller till effektstudier via en hydrologisk modell.

Figur 2.4 visar exempel på en anpassning med DBS-metoden. Figuren visar rådata i form av temperatur och andel nederbördsdagar och deras nederbördsintensitet från en klimatmodell jämfört med när dessa rådata anpassats med DBS-metoden, dessutom visas observationer. Figuren visar att DBS-metoden väsentligt förbättrar överensstämmelsen med observerad data. Särskilt viktigt är att den överskattning av antal dagar med nederbörd som ges av klimatmodellen korrigeras.



Figur 2.4. Jämförelse mellan rådata från klimatmodeller och data som anpassats med DBS-metoden samt observationer. Till vänster dygnsmedeltemperatur (procent av tiden som viss dygnsmedeltemperatur underskrids och till höger nederbörd (andel dagar med olika nederbördsintensitet).

Anpassning av klimatmodelldata med hjälp av DBS-metoden används i denna studie för nederbörd och temperatur. Den observerade nederbörden och temperaturen har hämtats från den databas, PTHBV (Johansson, 2000; 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

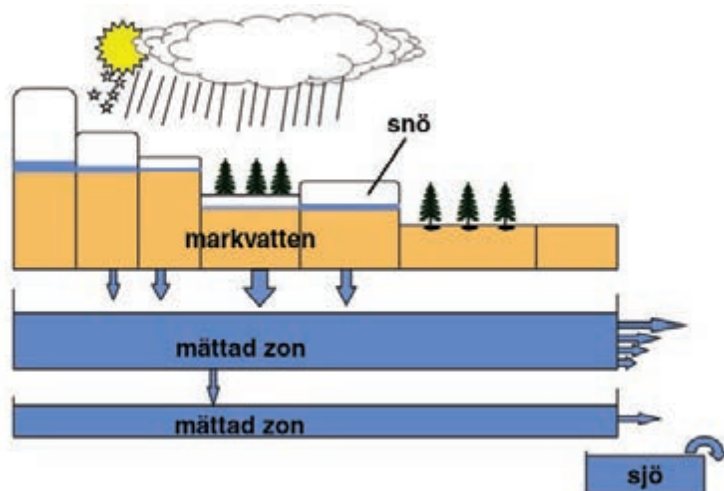
4 km med hjälp av en geostatistisk interpolationsmetod som benämns optimal interpolation.

En förutsättning när DBS-metoden används är att resultaten för framtida tidsperioder jämförs med historiskt klimat så som detta beskrivs av klimatmodellen och inte av meteorologiska observationer. Metoden innebär också att det inte är möjligt att jämföra individuella dagar eller år med observationsdata.

2.6 Hydrologisk modell

Till denna analys har den hydrologiska modellen HBV använts (Figur 2.5). Modellen beräknar daglig avrinning genom enkel fysikalisk beskrivning och kalibreras specifikt för olika vattendrag. Grunden är tre huvudmoduler; beräkning av snöns ackumulation och avsmältning, beräkning av markvatten samt beräkning av vattnets väg och dess påverkan från fysiska faktorer, så som terräng (Lindström m.fl., 1997). HBV-modellens beräkningsområden baseras på naturliga avrinningsområden och i dessa områden fördelas markarean på skog och öppen mark samt delas in i höjdzoner. Nederbördsberäkningarna görs separat för varje höjdzon och vegetationstyp. I modellen sker korrekationer av nederbörd och temperatur med avseende på höjd.

Den uppsättning av HBV-modellen som använts inom detta projekt går under namnet HBV-Sverige och täcker i stort sett hela Sveriges yta. Uppsättningen delar in Sverige i ca 1000 avrinningsområden. HBV-Sverige har tidigare använts av SMHI:s hydrologiska prognos och varningstjänst samt i tidigare klimatanalyser.



Figur 2.5 Beskrivning av HBV-modellens struktur för ett beräkningsområde.

2.7 Tidsperioder

För att studera en klimatförändring jämförs framtida medelvärden med medelvärden för en historisk period, en så kallad 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 på två år för att uppnå en jämvikt i vattenbalansen. Den hydrologiska referensperioden är därför 1963-1992.

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

2.8 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.

2.8.1 Utsläppsscenarioer

RCP-scenarierna är inte (som i tidigare scenarier) kopplade till givna socioekonomiska scenarier eller utsläppsscenarioer, utan utvecklingsbanorna kan nås genom en mängd olika kombinationer av ekonomiska, teknologiska, demografiska och politiska utvecklingar. Genom att studera fler utsläppsscenarioer 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 kraftiga utsläppsminskningar. Resultaten för dessa scenarier presenteras separat för varje enskild parameter och det är viktigt att påpeka att inget av de två scenarierna är mer sannolikt än den andra, utan att de tillsammans ger en bild av framtidsutvecklingen.

2.8.2 Klimatmodeller

Klimatmodeller har begränsningar i upplösning och kan inte beskriva alla detaljer i jordens klimatsystem. Olika klimatmodeller är uppbyggda på olika sätt och kan beskriva klimatet olika även om samma utsläppsscenario används. Ett vanligt sätt att hantera dessa skillnader är att använda en mängd resultat från olika klimatmodeller som skapar en *ensemble*, som kan beskriva spridningen hos modellerna. I denna studie används resultat från nio olika globala klimatmodeller, se Tabell 2.2. För varje parameter har ett medelvärde av ensemblen beräknats, samt min- och maxvärdet för att visa på spridningen i resultaten.

2.8.3 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 väl fungerande 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.

2.8.4 Upplösning

I denna analys har klimatscenedata skalats ned med DBS-metoden, vilket innebär en förändring av den geografiska upplösningen. Den högre upplösningen är nödvändig för att kunna använda klimatscenarioer i hydrologiska beräkningar. DBS-metoden är utformad så att klimatsignalen, d.v.s. 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 50 km gång 50 km stort ruttmönster i kartorna. Detta är inget beräkningsfel utan en effekt av DBS-skaleringen då klimatscenedatans låga upplösning ska anpassas till den höga upplösning som observationsdata har. Viktigt att ha i åtanke är att inte tolka varje enskild ruta utan se helheten i resultatet.

De meteorologiska resultaten i analysen har en upplösning på 4x4 km. Vid studier av absoluta medelvärden anses resultaten vara robusta och representativa för varje gridruta. 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, en tumregel är 5-10 stycken. Kartor som visar skillnader i temperatur eller nederbörd mellan referensperiod och framtida förhållanden har interpolerats och utjämnade kartsikt visats i rapporten.

2.9 Begreppen återkomsttid, risk och sannolikhet

Med en händelses återkomsttid menas att händelsen inträffar eller överträffas i genomsnitt en gång under denna tidsperiod. Det innebär att sannolikheten för exempelvis ett 100-årsflöde är 1 på 100 för varje enskilt år. Eftersom exponeringen för risken sker under flera

år blir den ackumulerade sannolikheten stor. För t.ex. ett hus som står i 100 år i ett område som endast är skyddat mot ett 100-årsflöde, är sannolikheten för översvämning under denna tid hela 63 %. Detta är skälet till att större dammar ofta dimensioneras för återkomsttider på, eller till och med bortom, 10 000 år. Då blir ändå sannolikheten under 100 års exponeringstid ca 1 %. Tabell 2.3 visar sambandet mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikheten.

Tabell 2.3 Sambandet mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikhet i procent.

Återkomsttid (år)	Sannolikhet under 50 år (%)	Sannolikhet under 100 år (%)
100	39	63
1000	5	9,5
10 000	0,5	1

Beräkning av återkomsttider sker med en teknik som kallas frekvensanalys och försvåras om dataserierna är korta eller om de är påverkade av regleringar i vattendrag. Det innebär exempelvis att ett 100-årsflöde kan komma att ändras när nya data kommer in.

3 Resultat

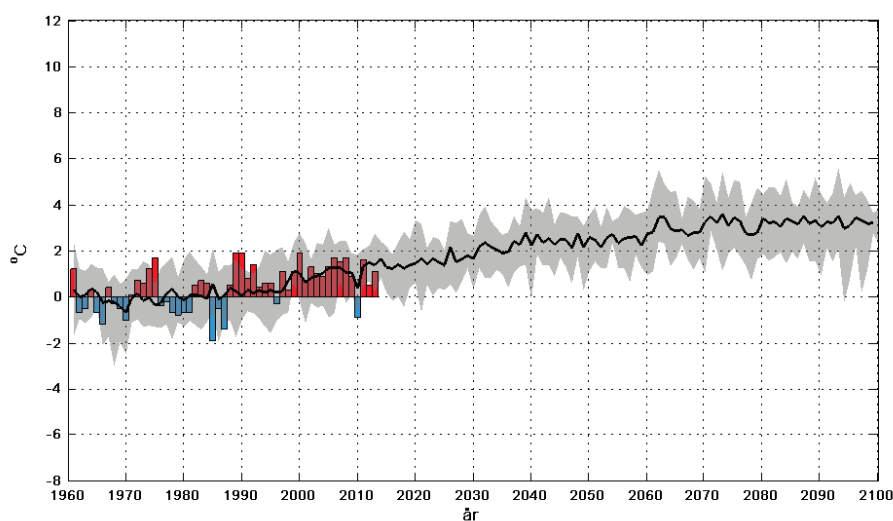
Kartorna som visas i kapitel 3 baseras på ett medelvärde för nio globala klimatmodeller för respektive utsläppsscenario RCP4.5 och RCP8.5. I bilaga A finns kartor som visar max- och minvärden. Detta ger en bild av spridningen mellan de olika beräkningarna.

3.1 Temperatur

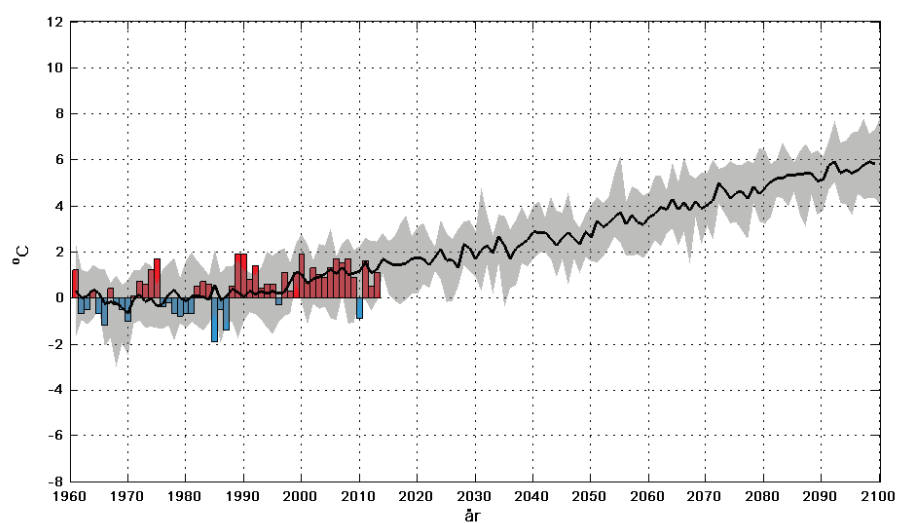
I följande avsnitt redovisas beräknade framtida förändringar av lufttemperaturen i Sverige. Först visas beräknad utveckling under perioden 1961 till 2100 för hela landet (figur 3.1 och 3.2). Därefter jämförs perioderna 2021-2050 och 2069-2098 med referensperioden 1961-1990. Slutligen visas den beräknade framtida utvecklingen av värmeböljor.

Lufttemperaturen väntas öka succesivt under detta århundrade (figur 3.1 och 3.2). Spridningen mellan de olika scenarierna är stor, men samtliga förutsäger en ökad temperatur. RCP4.5 innebär i medeltal en ökning på ca 3 grader till slutet av seklet jämfört med perioden 1961-1990. För RCP8.5 är ökningen större, i medeltal ca 6 grader till slutet av seklet.

Vattentemperaturen i sjöar och vattendrag beror till stor del på temperaturen i luften. Det finns dock en årstidsfördröjning eftersom vattnet värms upp långsammare än luften på våren och kyls ner långsammare på hösten. Några beräkningar har inte gjorts för framtida vattentemperaturer, men det kan antas att även de stiger när lufttemperaturen stiger.



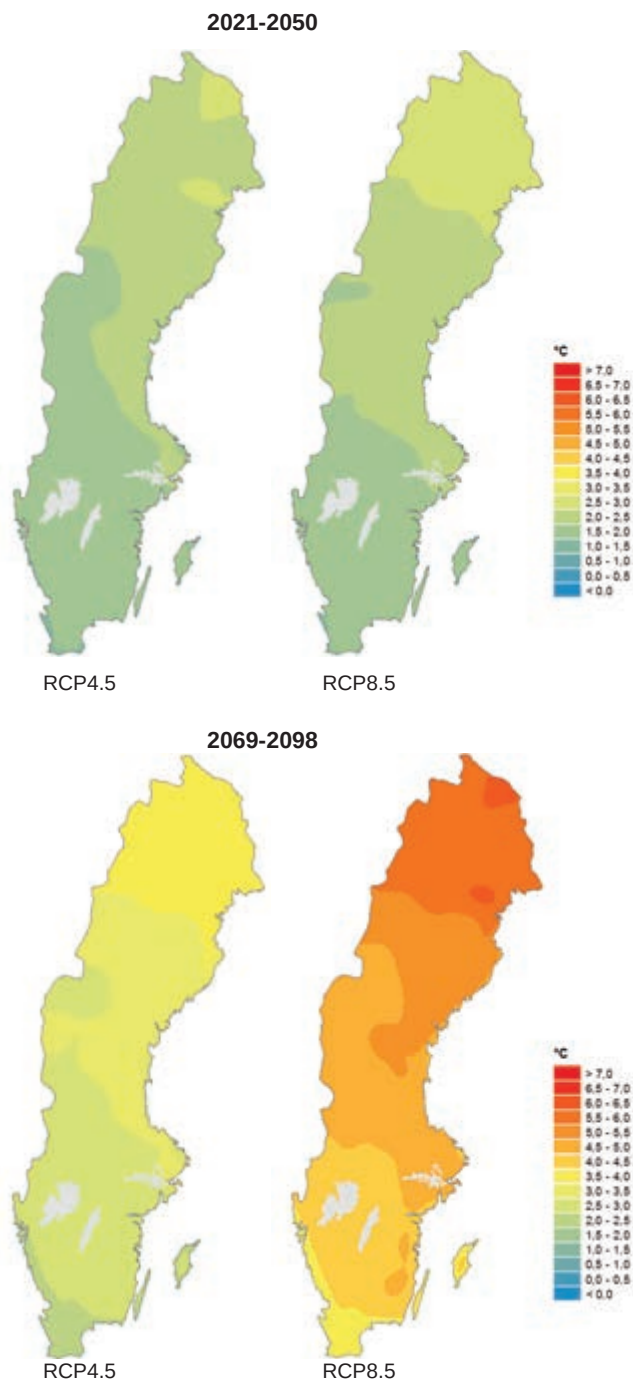
Figur 3.1 Beräknad förändring av årsmedeltemperaturen (°C) i Sverige under åren 1961-2100 jämfört med den normala (medelvärdet för 1961-1990). Staplarna visar historiska data som är framtagna från observationer, röda staplar visar temperaturer högre än den normala och blå staplar temperaturer lägre än den normala. Den svarta kurvan visar ett medelvärde för en ensemble med nio klimatscenarier för scenario RCP4.5. Det grå fältet visar variationsbredden mellan det högsta och lägsta värdet för medlemmarna i ensemblen.



Figur 3.2 Beräknad förändring av årsmedeltemperaturen (°C) i Sverige under åren 1961-2100 jämfört med den normala (medelvärde för 1961-1990). Staplarna visar historiska data som är framtagna från observationer, röda staplar visar temperaturer högre än den normala och blå staplar temperaturer lägre än den normala. Den svarta kurvan visar ett medelvärde för en ensemble med nio klimatscenarier för scenario RCP8.5. Det grå fältet visar variationsbredden mellan det högsta och lägsta värdet för medlemmarna i ensemblen.

3.1.1 Medeltemperatur för hela året

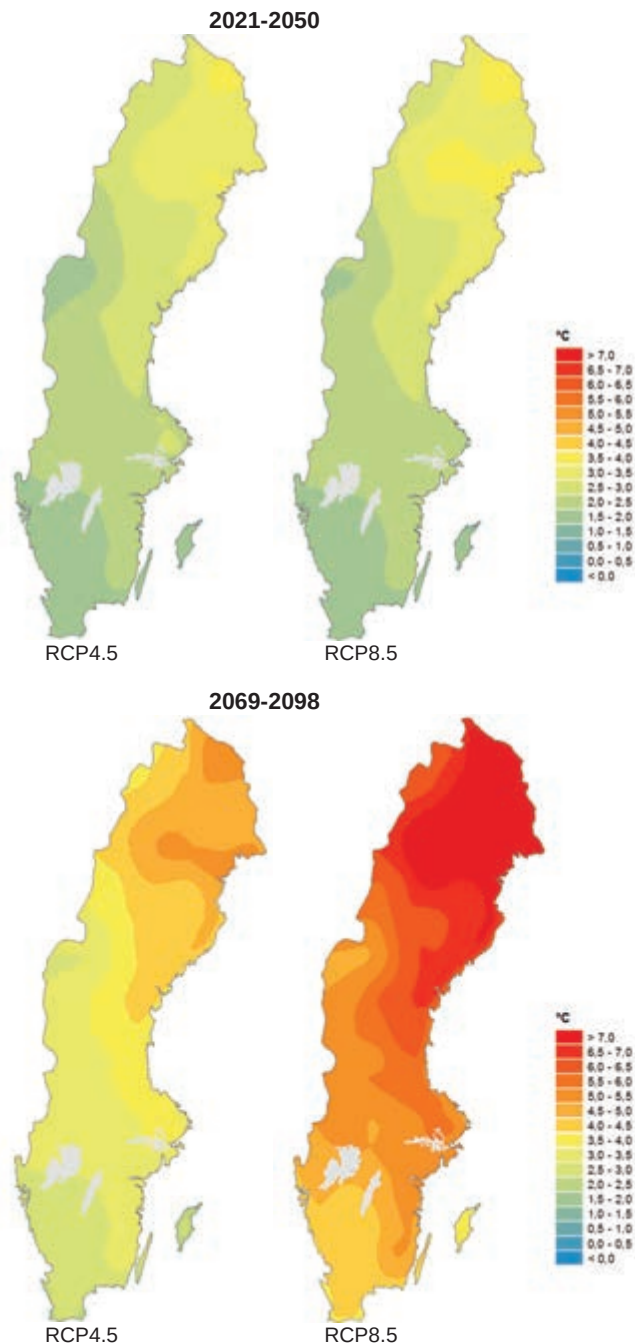
Kartor över den beräknade förändringen av årsmedeltemperaturen för Sverige redovisas i figur 3.3. Som framgår av figuren beräknas temperaturen bli högre i hela landet i framtidens klimat. Störst beräknas ökningen bli i norr, vilket överensstämmer med tidigare resultat från såväl SMHI som IPCC. Skillnaderna mellan de två utsläppsscenarierna är små för perioden 2021-2050 men ökar mot slutet av århundradet.



Figur 3.3 Förändring (grader) av årets medeltemperatur mellan referensperioden 1961-1990 och perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.1.2 Medeltemperatur för vintern

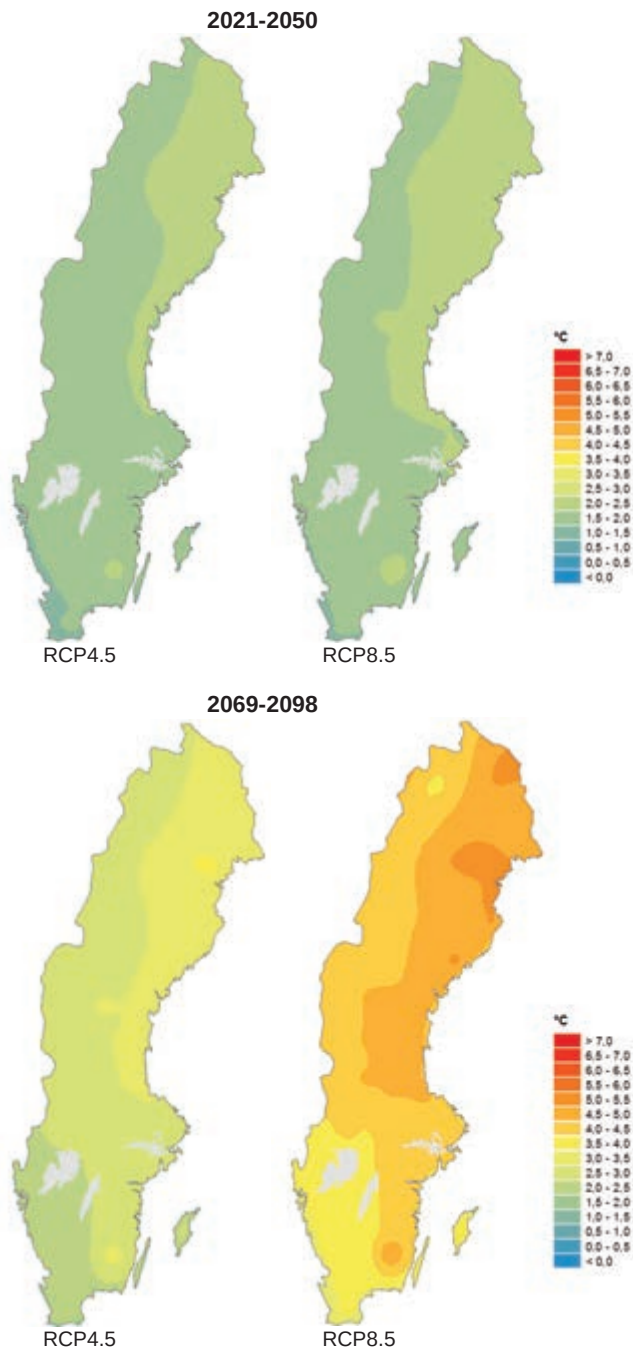
Den beräknade förändringen av vinterns (december, januari och februari) medeltemperatur redovisas i figur 3.4. Vintertemperaturen beräknas stiga mer än årsmedeltemperaturen, med den största ökningen i norra Sverige.



Figur 3.4 Förändring (grader) av medeltemperatur för vintern (december, januari och februari) mellan referensperioden 1961-1990 och perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.1.3 Medeltemperatur för våren

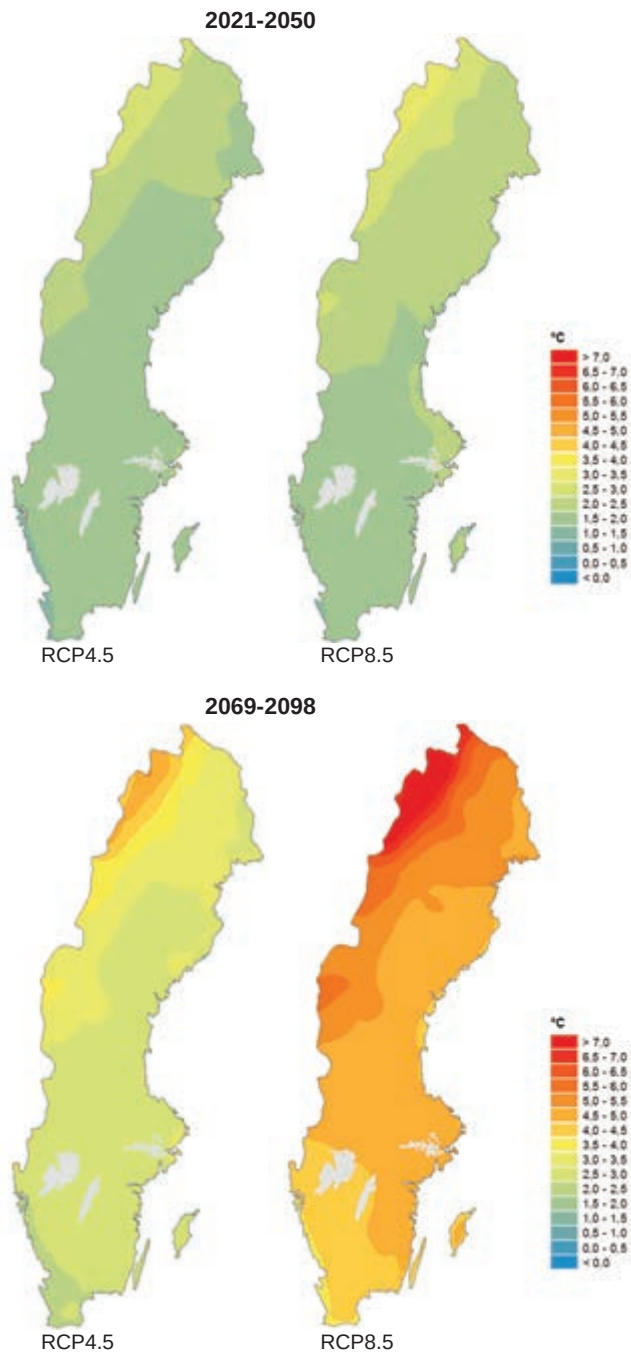
Den beräknade förändringen av vårens (mars, april och maj) medeltemperatur redovisas i figur 3.5. Vårens medeltemperatur beräknas stiga ungefär i nivå med årsmedeltemperaturen, med den största ökningen i nordöstra Sverige.



Figur 3.5 Förändring (grader) av medeltemperatur för våren (mars, april och maj) mellan referensperioden 1961-1990 och perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.1.4 Medeltemperatur för sommaren

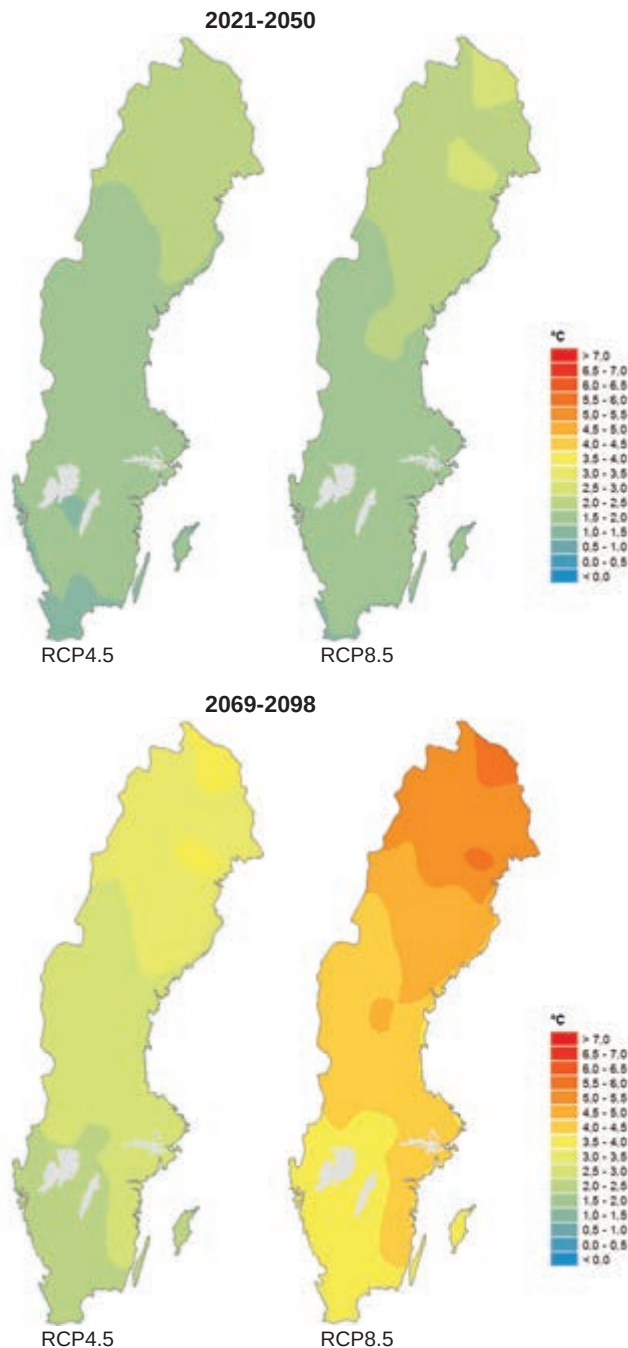
Den beräknade förändringen av sommarens (juni, juli och augusti) medeltemperatur redovisas i figur 3.6. Sommarens medeltemperatur beräknas stiga något mindre än årsmedeltemperaturen. Uppvärmningen blir mest påtaglig i fjälltrakterna.



Figur 3.6 Förändring (grader) av medeltemperatur för sommaren (juni, juli och augusti) mellan referensperioden 1961-1990 och perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.1.5 Medeltemperatur för hösten

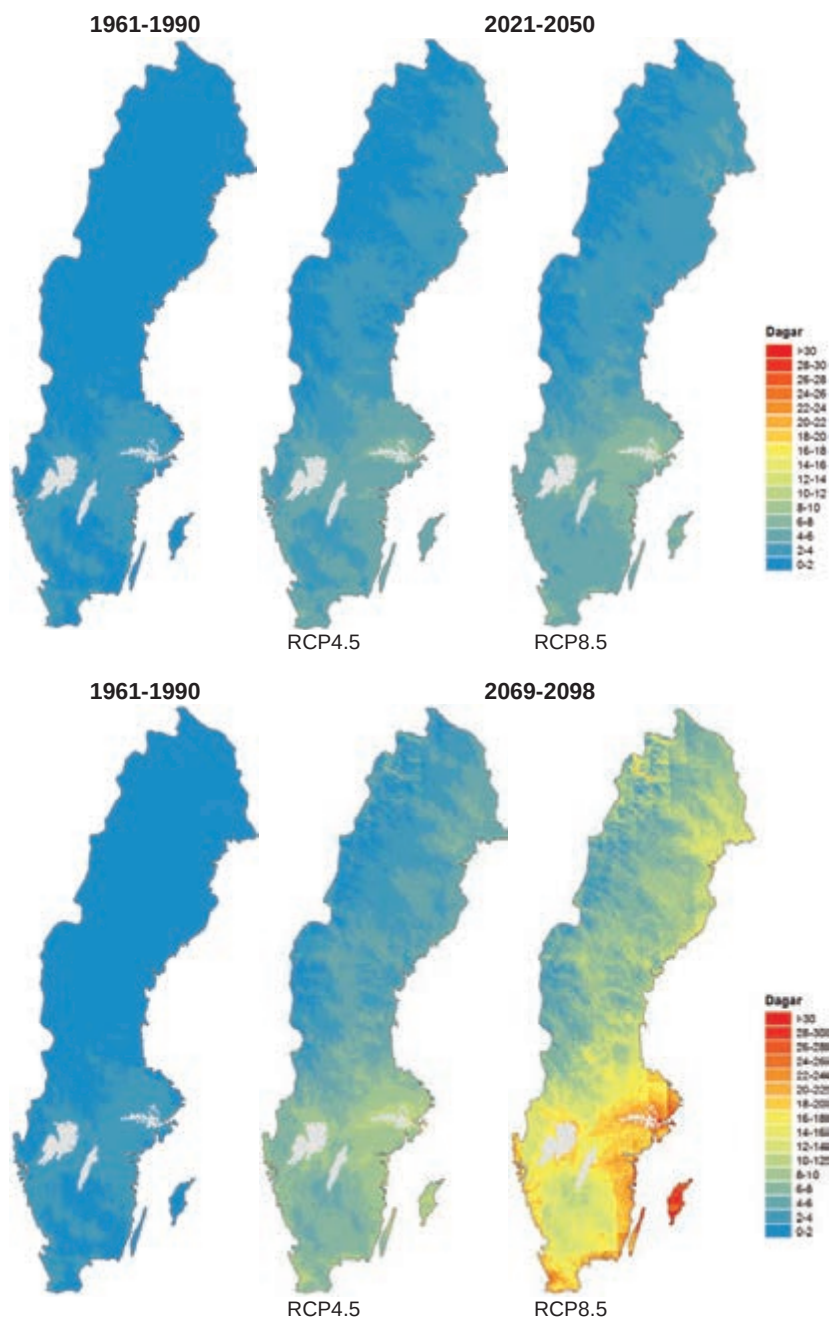
Den beräknade förändringen av höstens (september, oktober och november) medeltemperatur redovisas i figur 3.7. Uppvärmningen under hösten beräknas bli ganska lik den som gäller för hela året med de högsta värdena i norr.



Figur 3.7 Förändring (grader) av medeltemperatur för hösten (september, oktober och november) mellan referensperioden 1961-1990 och perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098

3.1.6 Värmeböljor

Den framtida beräknade förekomsten av värmeböljor visas i figur 3.8. En värmebölja definieras här som ett medelvärde för varje års maximalt antal sammanhängande dagar med en dygnsmedeltemperatur över +20°C. Beräkningarna visar en framtida ökning av förekomsten av långa värmeböljor i stort sett i hela landet. Speciellt påtagligt är detta för södra Sverige.



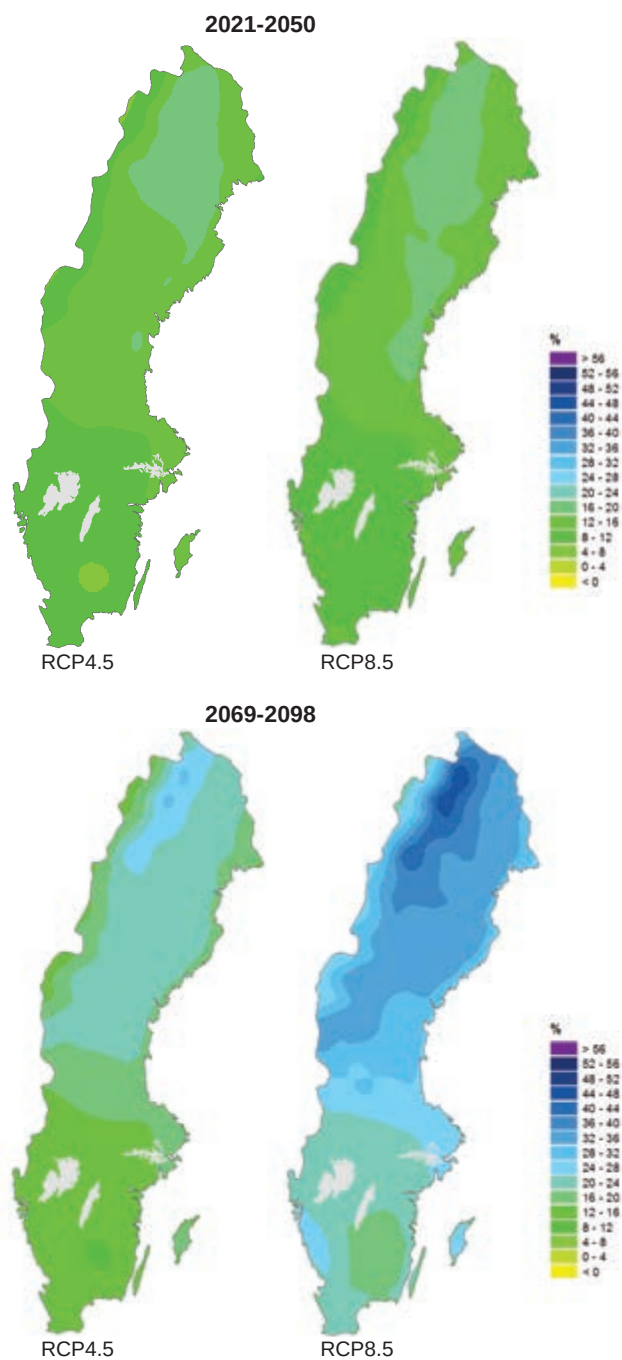
Figur 3.8 Maximalt antal sammanhängande dagar med dygnsmedeltemperatur över 20°C för referensperioden 1961-1990 samt för perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.2 Nederbörd

I följande avsnitt redovisas beräknade framtida förändringar av nederbörden per år, årstid samt för de högsta värdena under ett dygn respektive för en 7-dygnsperiod, som procentuell förändring mellan referensperioden 1961-1990 och perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.2.1 Medelnederbörd för hela året

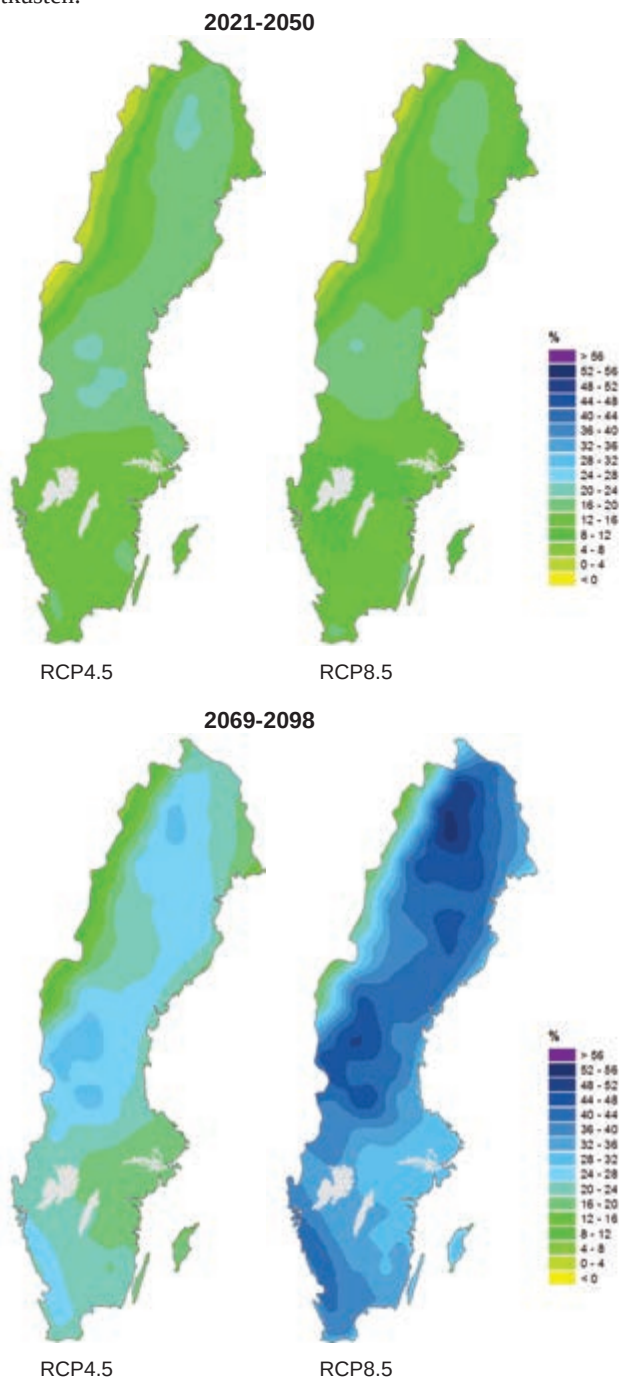
Den beräknade procentuella förändringen av medelnederbörden redovisas i figur 3.9. Som framgår av figuren beräknas nederbörden öka i hela landet i framtidens klimat. Störst beräknas ökningen bli i Norrlands inland. Skillnaderna mellan de två utsläppsscenarierna är små för perioden 2021-2050 men ökar mot slutet av århundradet.



Figur 3.9 Förändring (%) av årets medelnederbörd mellan referensperioden 1961-1990 och perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.2.2 Medelnederbörd för vintern

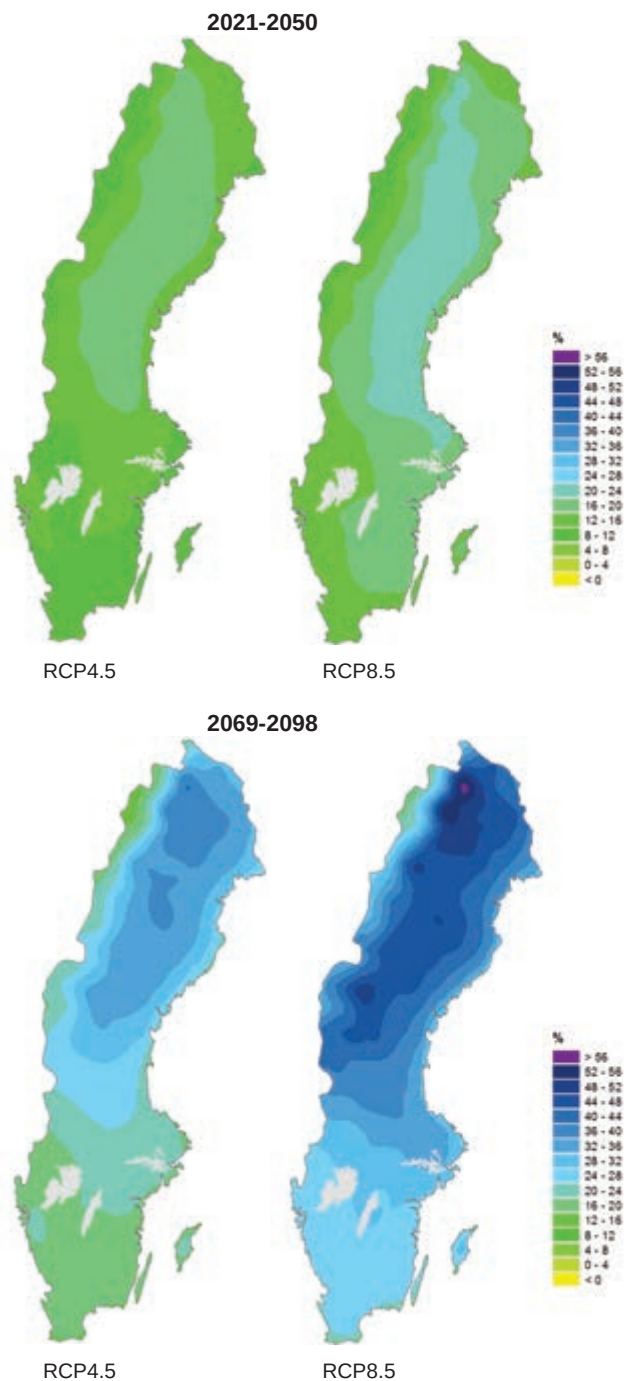
Den beräknade procentuella förändringen av vinterns (december, januari och februari) medelnederbörd redovisas i figur 3.10. Liksom för årsmedelnederbörden beräknas vinterns nederbörd öka i hela landet i framtidens klimat. Relativt sett blir ökningen dock större för vintern än för året som helhet. Störst beräknas ökningen bli i Norrlands inland samt på Västkusten.



Figur 3.10 Förändring (%) av medelnederbörd för vintern (december, januari och februari) mellan referensperioden 1961-1990 och perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.2.3 Medelnederbörd för våren

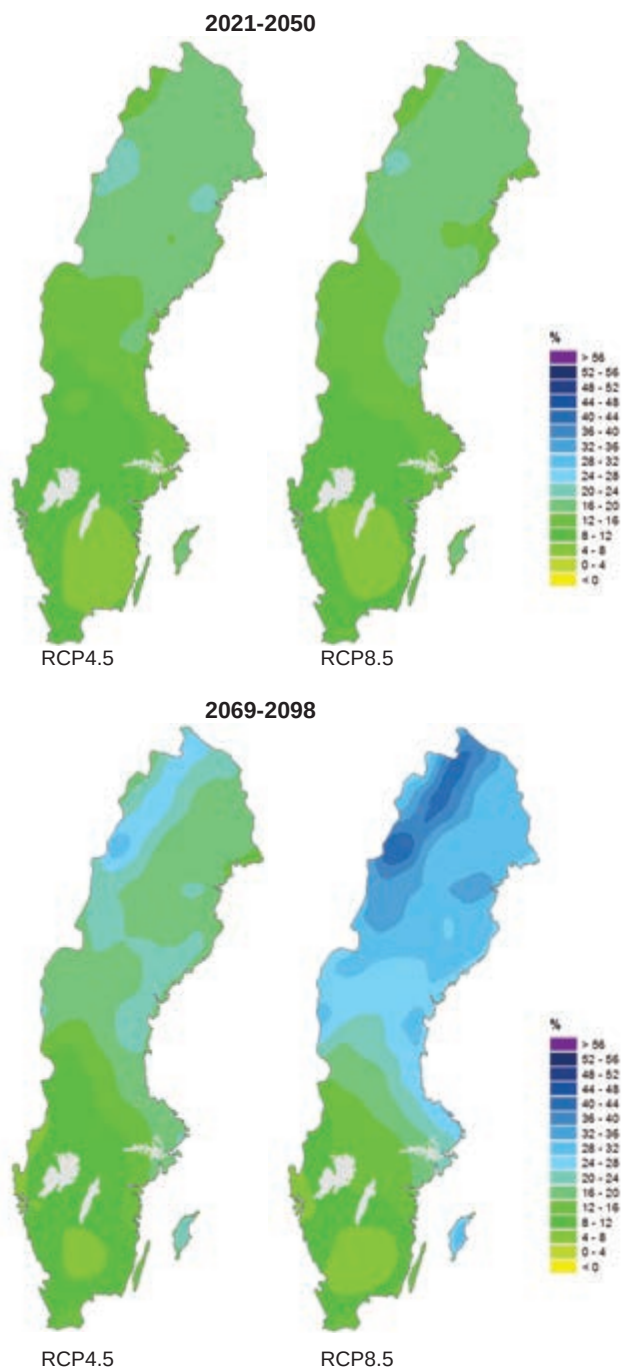
Den beräknade procentuella förändringen av vårens (mars, april och maj) medelnederbörd redovisas i figur 3.11. Liksom för vintern beräknas vårens nederbörd öka mer än årsmedelnederbörden. Störst beräknas ökningen bli i Norrlands inland.



Figur 3.11 Förändring (%) av medelnederbörd för våren (mars, april och maj) mellan referensperioden 1961-1990 och perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.2.4 Medelnederbörd för sommaren

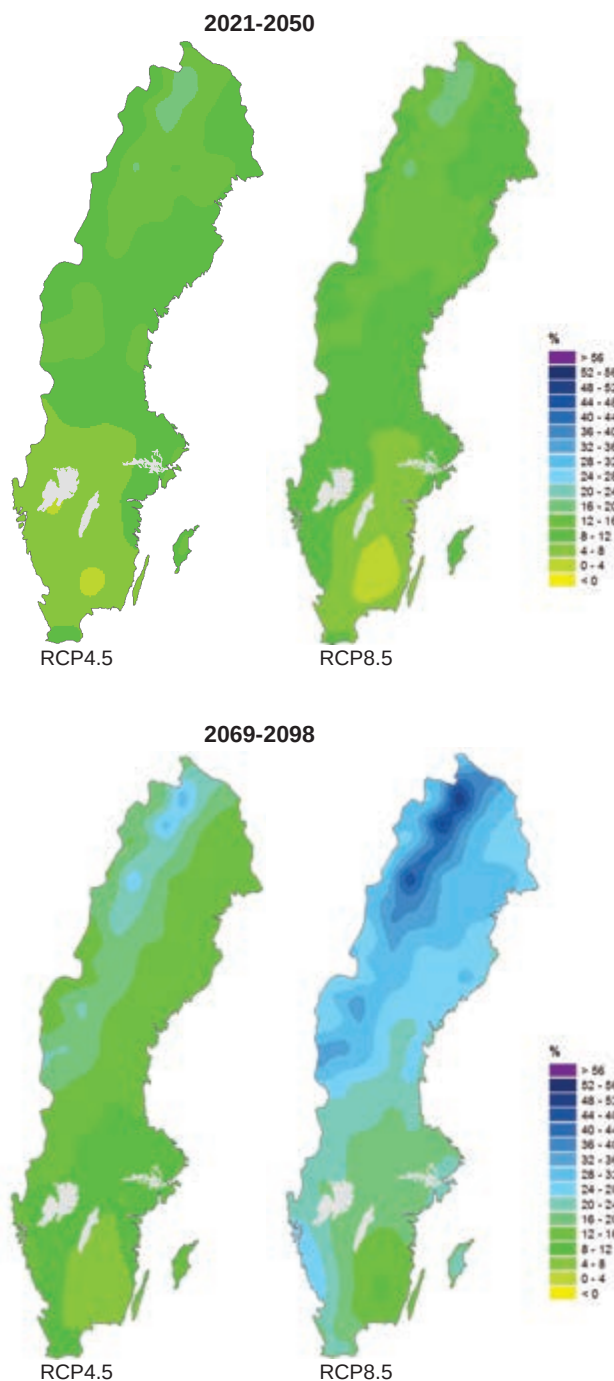
Den beräknade procentuella förändringen av sommarens (juni, juli och augusti) medelnederbörd redovisas i figur 3.12. Sommarens nederbörd beräknas öka i hela landet i framtidens klimat men ökningen blir mindre för sommaren än för året som helhet och vintern och våren. Störst beräknas ökningen bli i Norrland.



Figur 3.12 Förändring (%) av medelnederbörd för sommaren (juni, juli och augusti) mellan referensperioden 1961-1990 och perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.2.5 Medelnederbörd för hösten

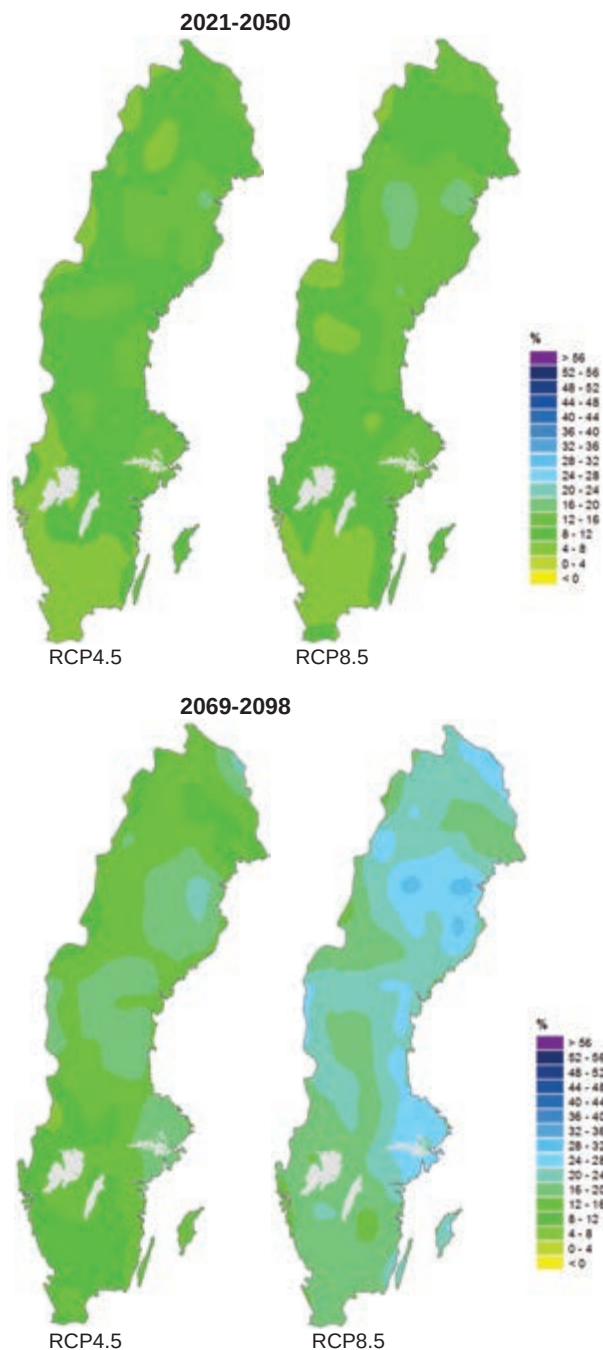
Den beräknade procentuella förändringen av höstens (september, oktober och november) medelnederbörd redovisas i figur 3.13. Höstens nederbörd beräknas öka i hela landet i framtidens klimat, men liksom för sommaren blir ökningen mindre än för året som helhet och vintern och våren. Störst beräknas ökningen bli i Norrland och längs Västkusten.



Figur 3.13 Förändring (%) av medelnederbörd för hösten (september, oktober och november) mellan referensperioden 1961-1990 och perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.2.6 Största dygnsnederbörd

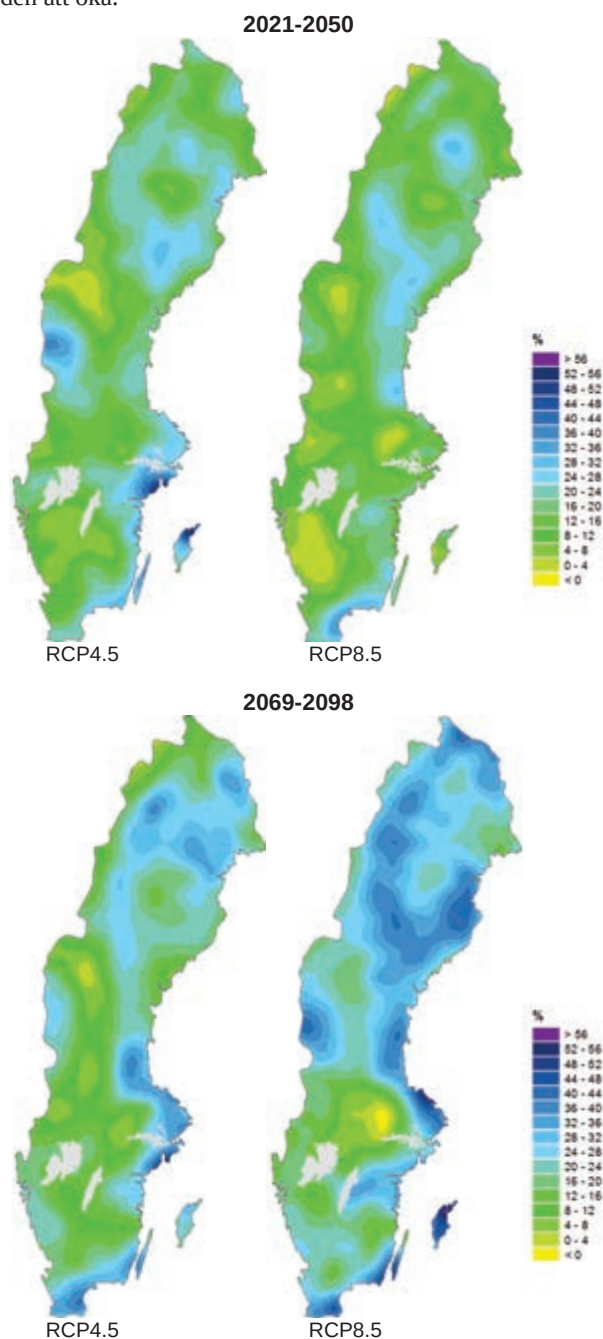
Den beräknade procentuella förändringen av den största dygnsnederbörden redovisas i figur 3.14. Den största dygnsnederbörden är ett medelvärde för varje års högsta dygnsnederbörd under 30-årsperioden. Den största dygnsnederbörden beräknas öka i hela landet i framtids klimat. Ökningen är förhållandevis likartad över hela landet med en tendens till ett maximum i mellersta Norrland.



Figur 3.14 Förändring (%) av den största dygnsnederbörden mellan referensperioden 1961-1990 och perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.2.7 Största 7-dygnsnederbörd

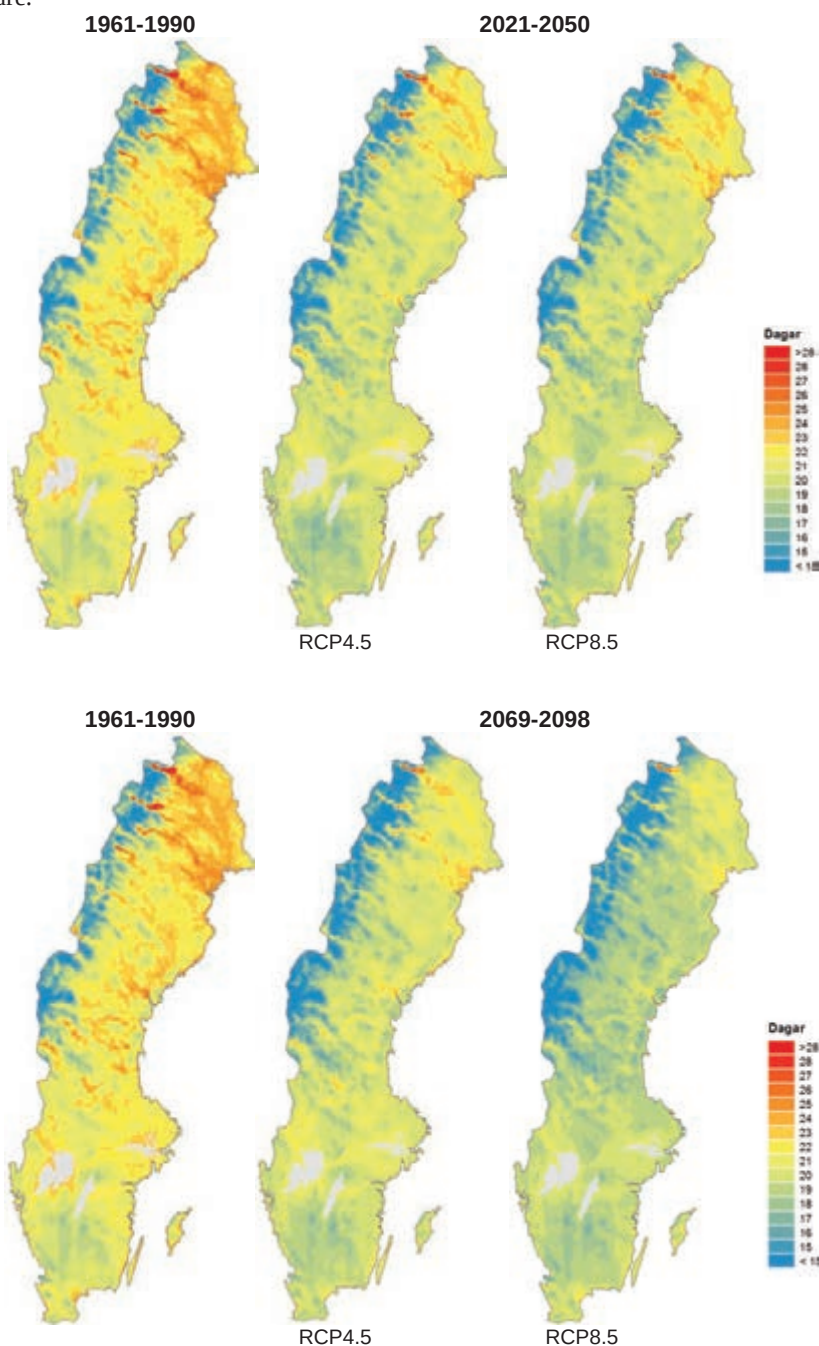
I figur 3.15 visas den beräknade procentuella förändringen av den största 7-dygnsnederbörden mellan referensperioden 1961-1990 och perioderna 2021-205 samt 2069-2098. Den största 7-dygnsnederbörden är ett medelvärde för varje års högsta 7-dygnsnederbörd under 30-årsperioden. I den största delen av landet väntas den största 7-dygnsnederbörden att öka.



Figur 3.15 Förändring (%) av den största 7-dygnsnederbörden mellan referensperioden 1961-1990 och perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.2.8 Längsta torrperiod

Längsta torrperiod definieras här som ett medelvärde av maximalt antal sammanhängande dagar per år med nederbörd mindre än 1 mm. I figur 3.16 visas den beräknade längsta torrperioden för referensperioden 1961-1990 samt för perioderna 2021-2050 och 2069-2098. I stora delar av landet väntas de längsta perioderna utan nederbörd bli något kortare.



Figur 3.16 Maximalt antal sammanhängande dagar per år med nederbörd mindre än 1 mm för referensperioden 1961-1990 samt för perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.3 Extrem korttidsnederbörd

Extrem nederbörd under kortare tid än ett dygn är främst av intresse för bedömningen av översvämningsrisker i tätorter samt spridning av föroreningar och andra ämnen. I avsnitt 3.3 redovisas beräkningar av förändringen av extrem korttidsnederbörd med återkomsttiden 10 år. Det betyder att sannolikheten för att detta värde inträffar eller överskrids under ett givet år på en given plats är 10 %.

Ändring i den extrema korttidsnederbörden visas för varaktigheterna 20 min, 1 timme, 3 timmar och 12 timmar, för de båda RCP-scenarierna och för de båda tidsperioderna 2021-2050 och 2069-2098 (tabell 3.1). För samtliga fall beräknas medelvärdet att öka och den största ökningen väntas för regn med 20 minuters varaktighet. Ökningen av extrem korttidsnederbörd uppvisar inga tydliga regionala skillnader.

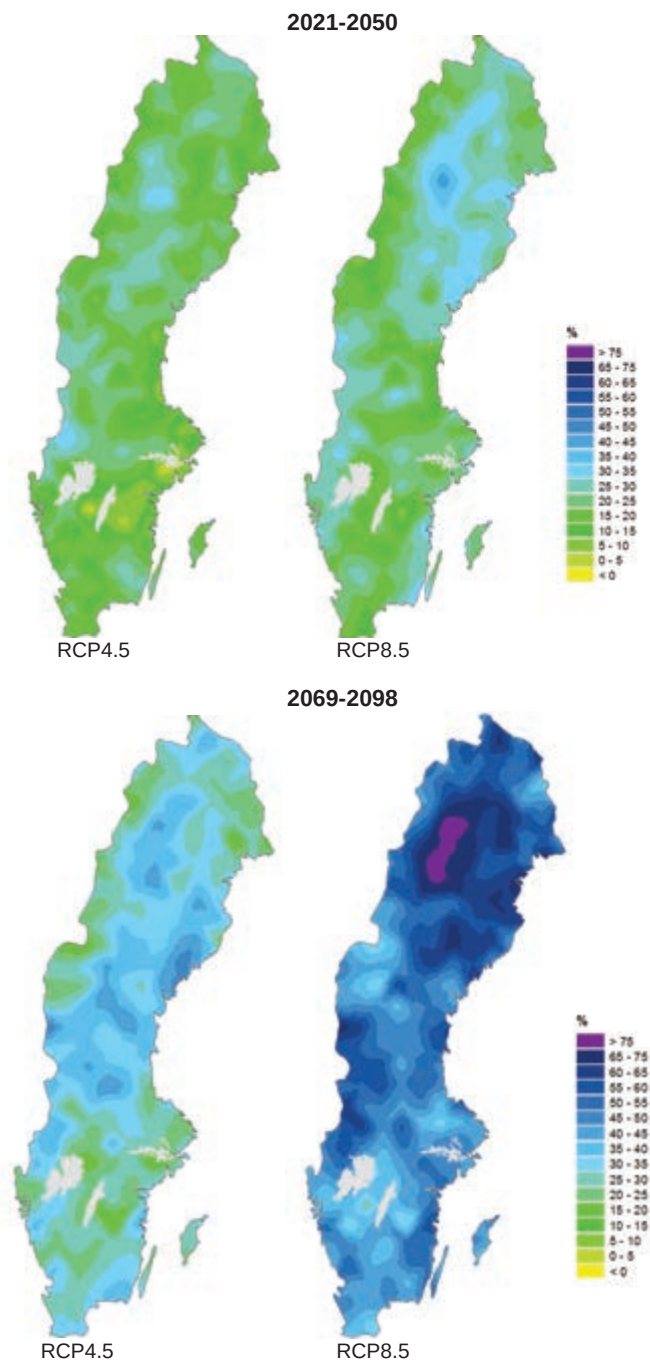
I figur 3.17-3.20 visa resultatet i kartform. I bilaga A visas även kartor för förändring i extremnederbörd för 6 timmar och 24 timmar.

Tabell 3.1 Procentuell ökning av korttidsnederbörd med 10 års återkomsttid från 1961-1900 till de båda perioderna 2021-2050 och 2069-2098. Beräkningen är gjord för olika varaktigheter på regnet och för scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Tabellen visar ett medelvärde för hela landet och för samtliga scenarier.

	2021-2050		2069-2098	
Varaktighet	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
20 min	19	23	30	51
1 timme	14	16	20	34
3 timmar	13	13	17	29
12 timmar	12	14	18	29

3.3.1 Extrem nederbörd under 20 minuter

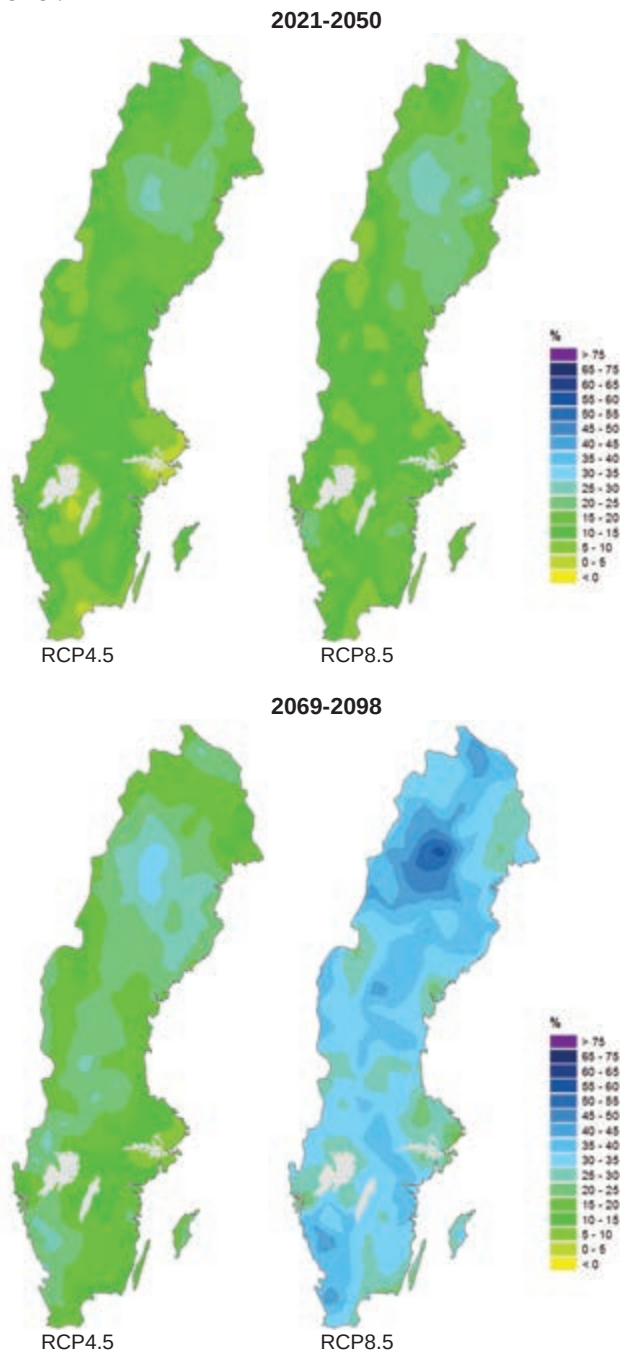
I figur 3.17 visas beräkningar av förändringen av extrem nederbörd under 20 minuter med återkomsttiden 10 år. Resultaten visar att extrem nederbörd under denna korta tidsperiod beräknas öka betydligt mer än nederbörden för tidsperioden en timme eller mer.



Figur 3.17 Förändring (%) av 20-minutersnederbörden med 10 års återkomsttid mellan referensperioden 1961-1990 och perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.3.2 Extrem nederbörd under 1 timme

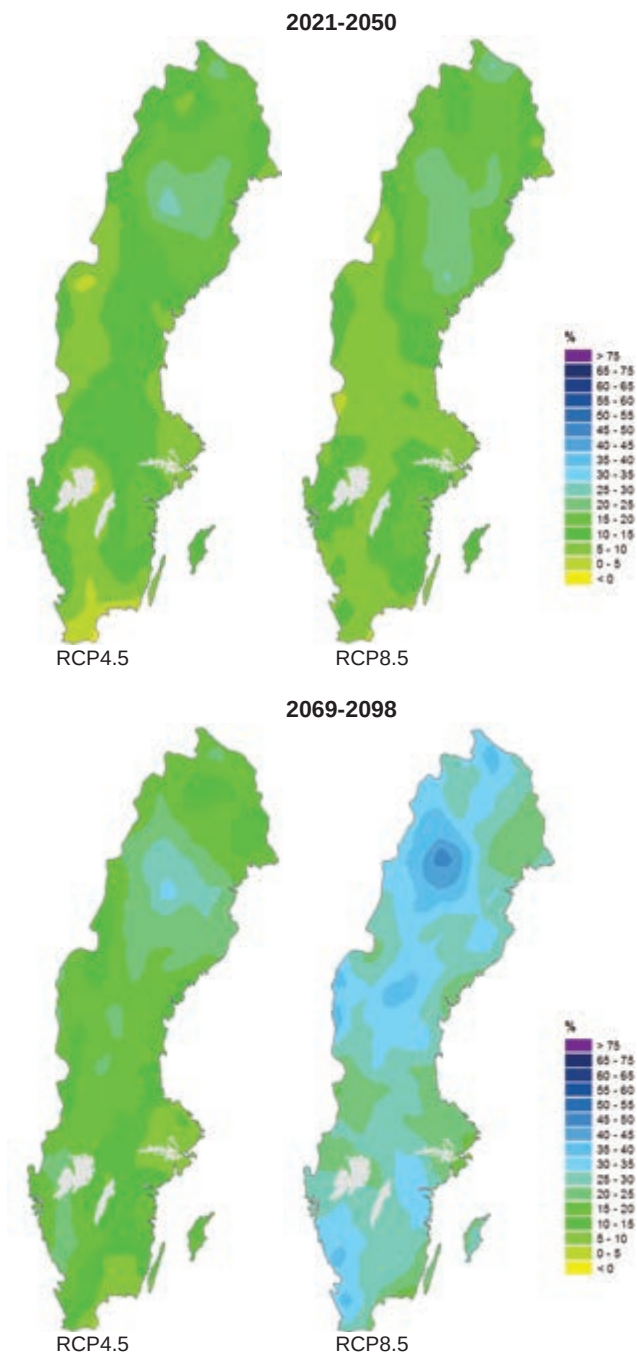
I figur 3.18 visas beräkningar av förändringen av extrem nederbörd under 1 timme med återkomsttiden 10 år. Resultaten visar att även 1-timmesextremer beräknas öka betydligt mer än nederbörden under längre tidsperioder, men inte lika mycket som 20-minutersextremer.



Figur 3.18 Förändring (%) av 1-timmesnederbörden med 10 års återkomsttid mellan referensperioden 1961-1990 och perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.3.3 Extrem nederbörd under 3 timmar

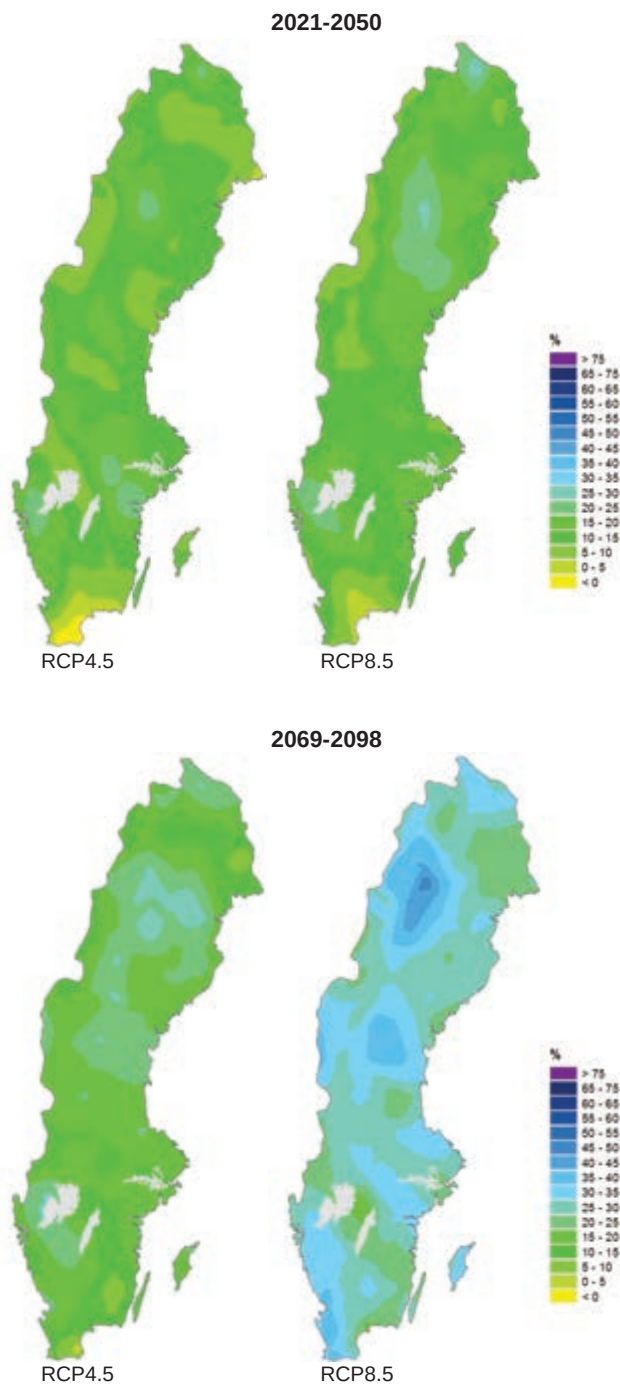
I figur 3.19 visas beräkningar av förändringen av extrem nederbörd under 3 timmar med återkomsttiden 10 år. Resultaten visar att 3-timmarsextremer beräknas öka över hela landet.



Figur 3.19 Förändring (%) av 3-timmarsnederbörden med 10 års återkomsttid mellan referensperioden 1961-1990 och perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.3.4 Extrem nederbörd under 12 timmar

I figur 3.20 visas beräkningar av förändringen av extrem nederbörd under 12 timmar med återkomsttiden 10 år. Resultaten visar att 12-timmarsextremer beräknas öka i princip i hela landet.



Figur 3.20 Förändring (%) av 12-timmarsnederbörden med 10 års återkomsttid mellan referensperioden 1961-1990 och perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.4 Vattentillgång och flöden

Vattentillgång och vattenflöden beror av nederbörd, snösmältning och avdunstning. I vissa fall är det den ökade nederbörden som påverkar vattentillgången mest, medan det i andra fall är den ökade avdunstningen eller den förändrade snösmältningen. Framtidens vattentillgång kommer därför att förändras på olika sätt i olika delar av landet. Förändringen kan också skilja sig för de olika parametrarna; vattentillgång, extrema flöden och lågflöden.

Vid perioder med kraftigt regn eller stor snösmältning kan vattendrag och sjöar översvämmas. I städer orsakas översvämningar vanligtvis av kraftig nederbörd under en kort tid, vilket behandlas i avsnitt 3.3.

Termen vattentillgång används för att beskriva hur stor tillgång på vatten det i medeltal finns i vattendragen. För att studera extrema flöden används s.k. 100-årsflöde (och 200-årsflöde) som är ett flöde som i genomsnitt inträffar en gång under en 100-årsperiod (200-årsperiod). Förekomst av lågflöden uttrycks som antal dagar med låga flöden i dagens och framtidens klimat.

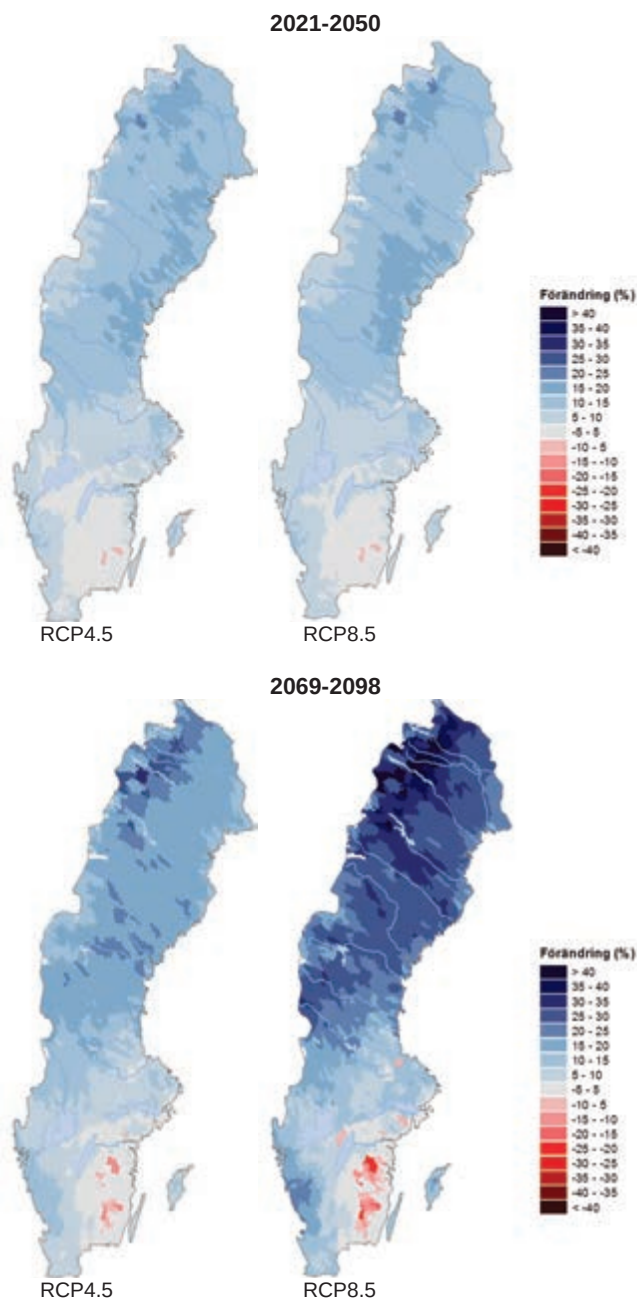
I följande avsnitt (3.4) redovisas den beräknade framtida förändringar av vattentillgången i Sverige per år, årstid samt extremvärde med en återkomsttid på 100 respektive 200 år samt förändringar i lågflöden.

Liksom för nederbörd och temperatur är beräkningarna baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda utsläppsscenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Den hydrologiska modellen är HBV-modellen som i detta fall satts upp för ca 1000 avrinningsområden i landet.

I samtliga beräkningar av vattentillgång och flöden används åren 1963-1992 som referensperiod. För framtida klimat används perioderna 2021-2050 och 2069-2098. Spridningen mellan resultat baserade på olika globala klimatmodeller redovisas i bilaga A.

3.4.1 Vattentillgång för hela året

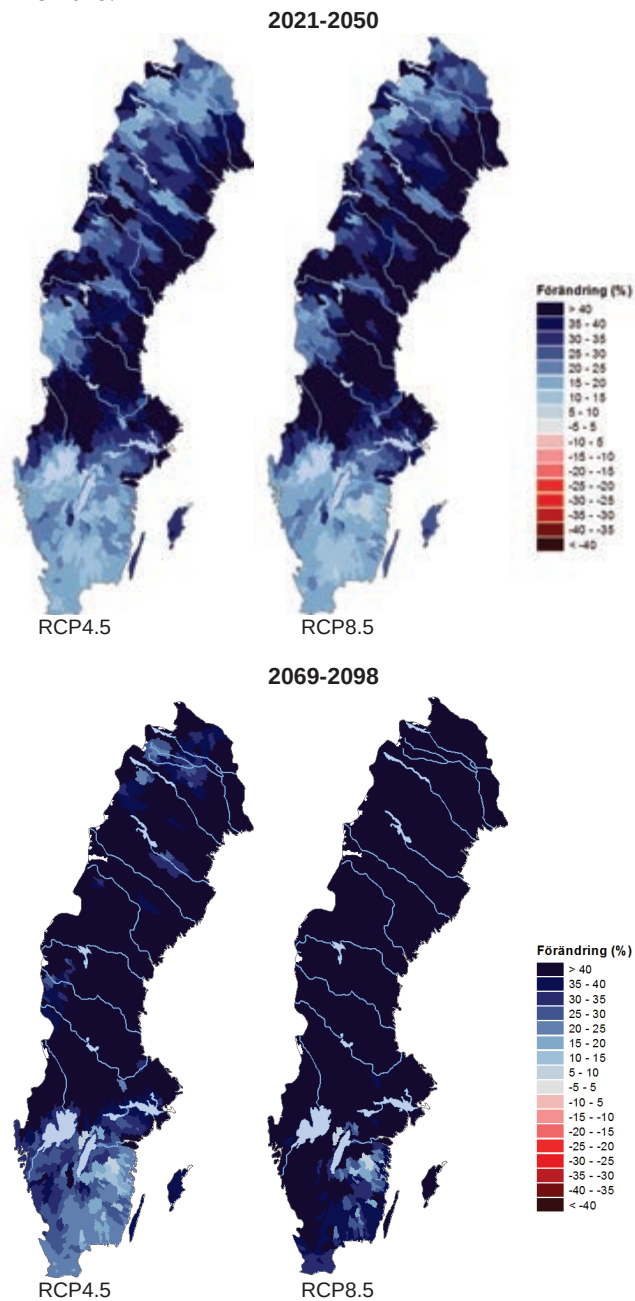
I figur 3.21 visas beräknad förändring (%) av vattentillgången mellan referensperioden 1963-1992 och de båda perioderna 2021-2050 samt 2069-2098. Den beräknade framtida förändringen visar på ökande vattentillgång i stora delar av landet med den största ökningen i norra Sverige och längs Västkusten. I sydöstra Sverige beräknas vattentillgången minska på grund av den ökande avdunstningen i ett varmare klimat. Förändringen skiljer sig dock mycket mellan olika årstider, se figur 3.22-3.25.



Figur 3.21 Förändring (%) av vattentillgången mellan referensperioden 1963-1992 och perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.4.2 Vattentillgång för vintern

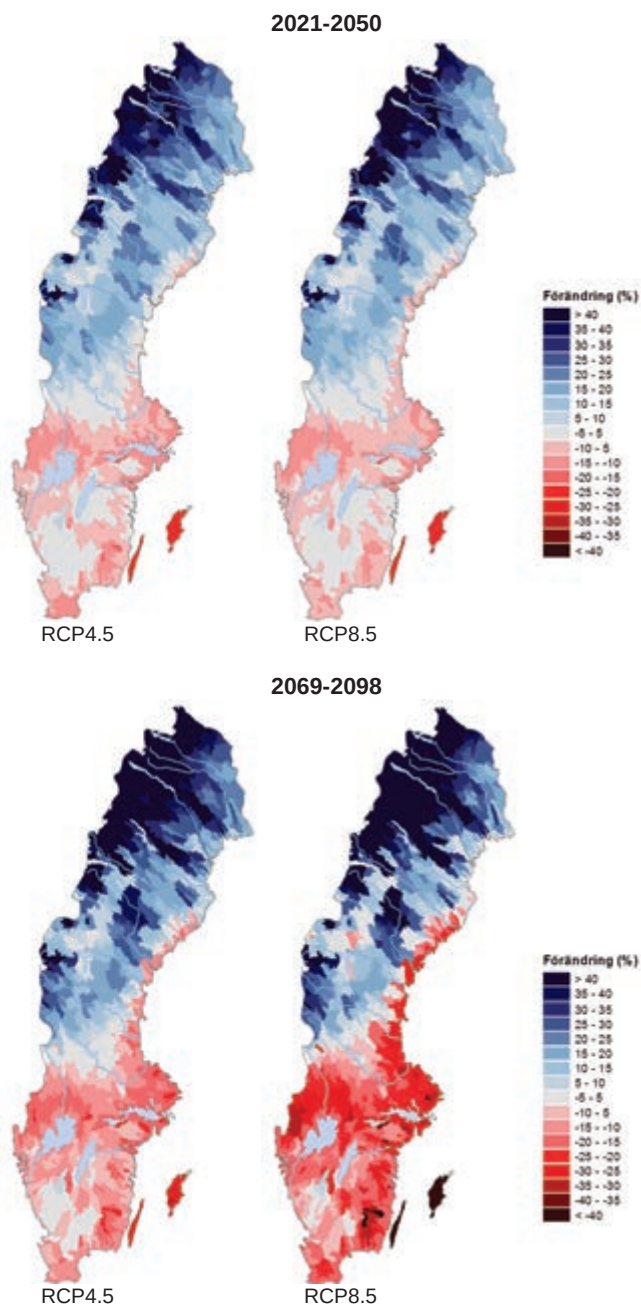
I figur 3.22 visas beräknad förändring (%) av vattentillgången under vintern (december, januari och februari). Varmare väder med mindre ackumulation av snö samt ökad nederbörd ger för samtliga scenarer stora ökningar av vattentillgången, speciellt i Svealand och Norrland.



Figur 3.22 Förändring (%) av vattentillgång för vintern (december, januari och februari) mellan referensperioden 1963-1992 och perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.4.3 Vattentillgång för våren

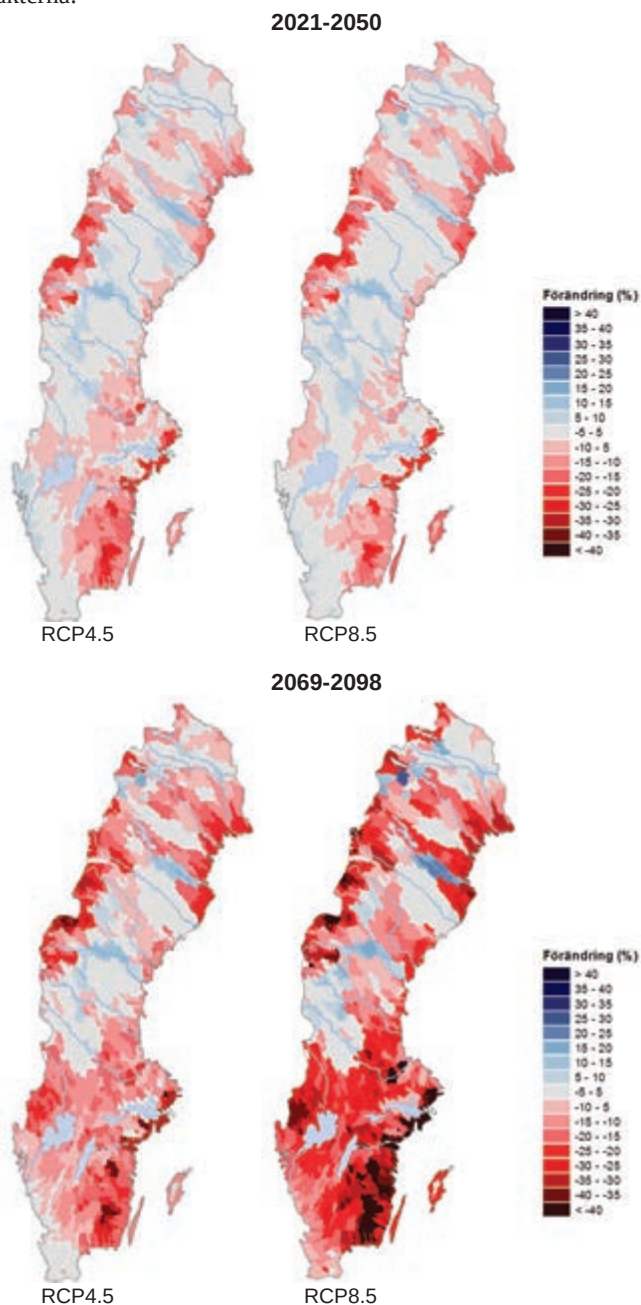
I figur 3.23 visas beräknad förändring (%) av vattentillgången under våren (mars, april och maj). Den markanta beräknade ökningen i norra Sverige beror på en tidigare vårflod som inte sträcker sig så långt in på sommaren i ett varmare klimat. I södra Sverige uteblir vårfloden allt oftare samtidigt som avdunstningen ökar. Detta leder till lägre vattentillgång i medeltal under våren. Procentuellt sett blir förändringen speciellt stor i områden med liten vattentillgång i dagens klimat såsom på Öland och Gotland.



Figur 3.23 Förändring (%) av vattentillgång för våren (mars, april och maj) mellan referensperioden 1963-1992 och perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.4.4 Vattentillgång för sommaren

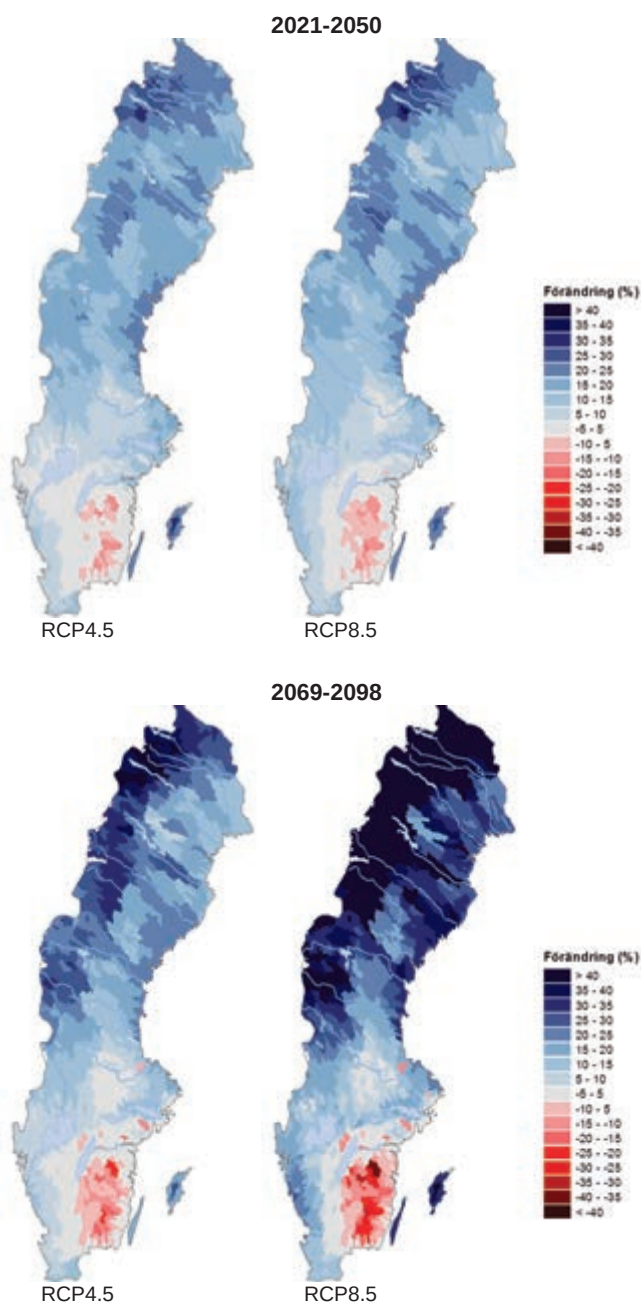
I figur 3.24 visas beräknad förändring (%) av vattentillgången under sommaren (juni, juli och augusti). Varmare väder med högre avdunstning samt minskad eller utebliven vårflood leder, trots ökad nederbörd, till minskad vattentillgång för sommaren i samtliga scenarier i stora delar av landet. Störst blir den beräknade minskningen i sydöstra Sverige samt i de södra fjälltrakterna.



Figur 3.24 Förändring (%) av vattentillgång för sommaren (juni, juli och augusti) mellan referensperioden 1963-1992 och perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.4.5 Vattentillgång för hösten

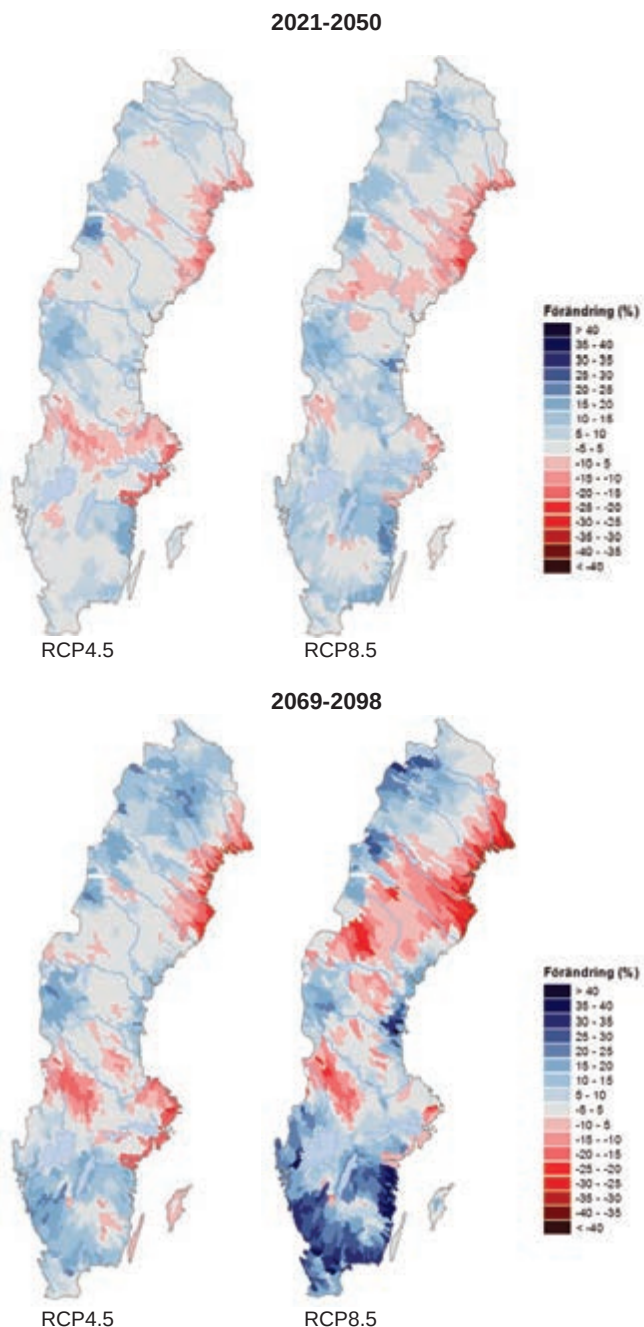
I figur 3.25 visas den beräknade förändringen (%) av vattentillgången under hösten (september, oktober och november). Vattentillgången beräknas öka under hösten i stora delar av landet med den största ökningen i norra Sverige och längs Västkusten. Ökningen i norr beror på en kombination av mer nederbörd och att den nederbörd som tidigare fallit som snö kommer att falla som regn i ett varmare klimat. I sydöstra Sverige beräknas vattentillgången under hösten att minska främst på grund av att den ökande avdunstningen torkat ur marken under sommaren.



Figur 3.25 Förändring (%) av vattentillgång för hösten (september, oktober och november) mellan referensperioden 1963-1992 och perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.4.6 100-årsflöde

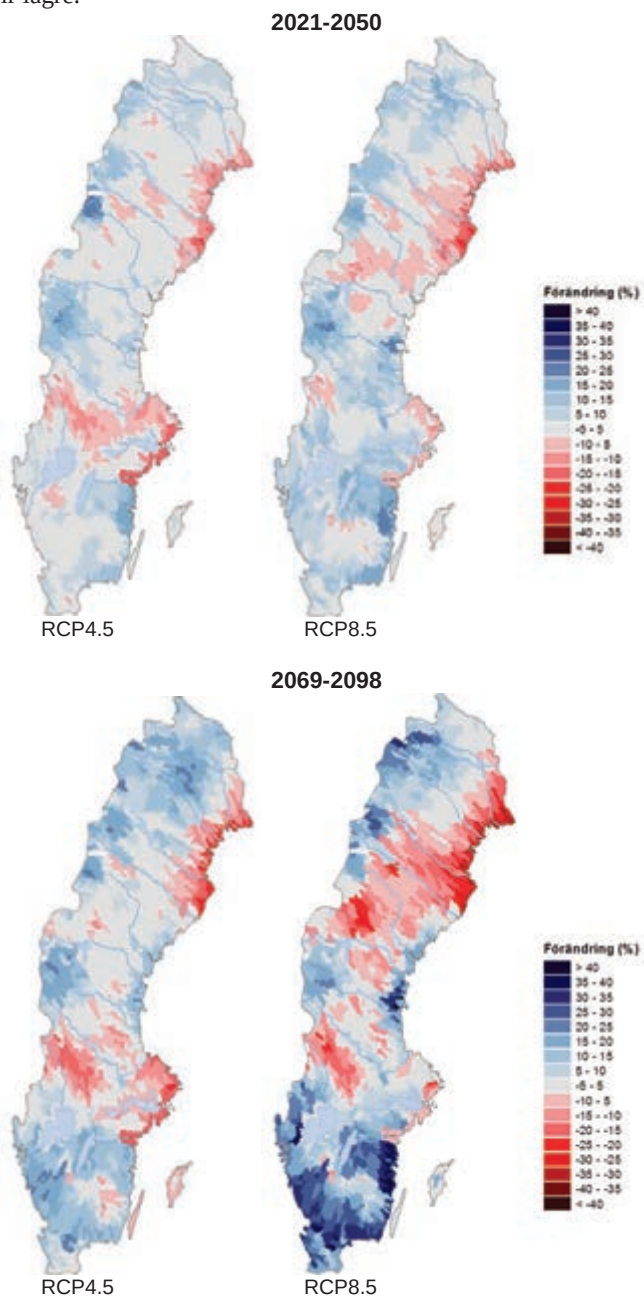
I figur 3.26 visas förändringen (%) i vattenflöden med en återkomsttid av 100 år. Dessa flöden beräknas öka i stora delar av landet utom i Norrlands inland och norra kustland samt nordvästra Svealand där de högsta flödena skapas av snösmältning under våren. På grund av detta beräknas 100-årsflödena minska eftersom vårfloden blir lägre.



Figur 3.26 Förändring (%) av 100-årsflödet mellan referensperioden 1963-1992 och perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.4.7 200-årsflöde

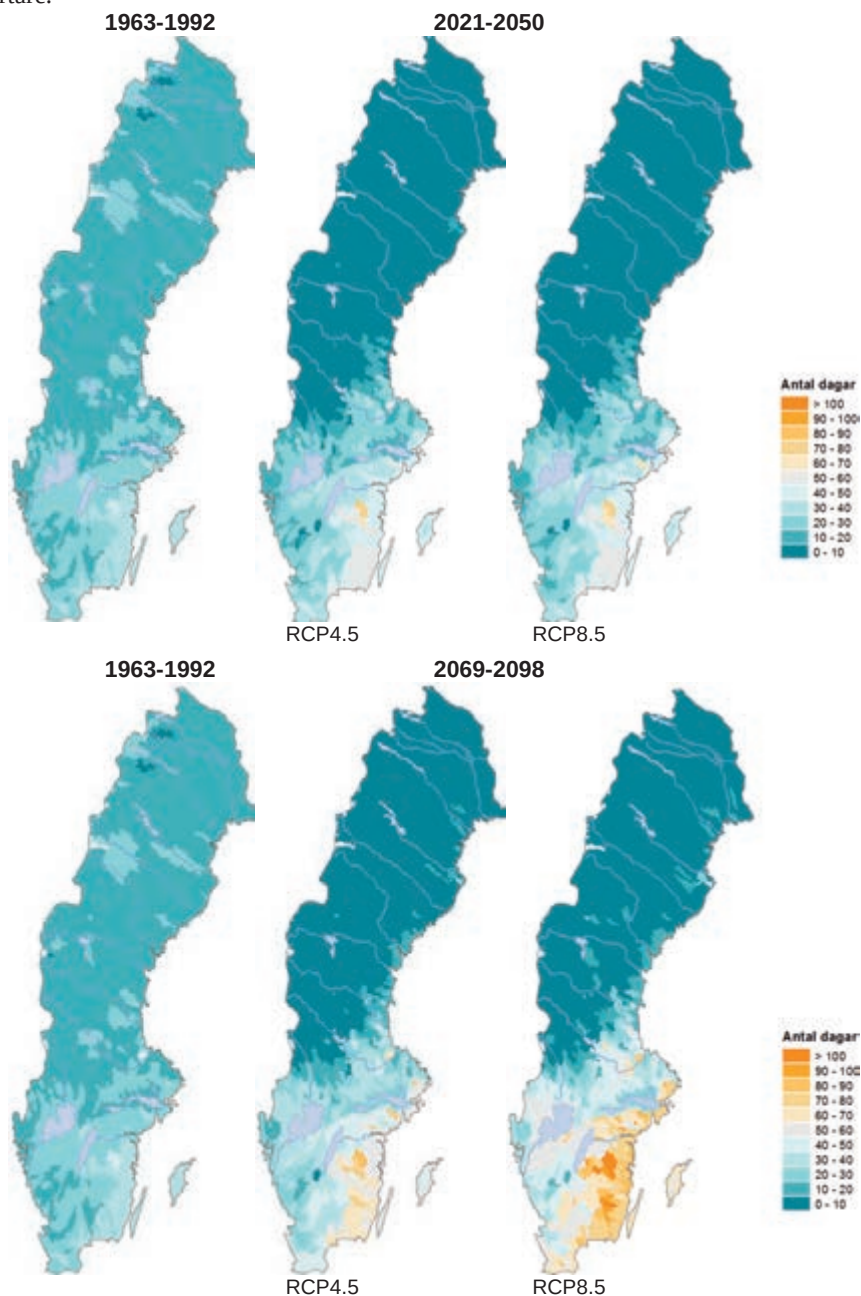
I figur 3.27 visas förändringen (%) i vattenflöden med en återkomsttid av 200 år. Liksom för 100-årsflödena beräknas 200-årsflödena öka i stora delar av landet utom i Norrlands inland och norra kustland samt nordvästra Svealand där de högsta flödena skapas av snösmältning under våren. På grund av detta beräknas 200-årsflödena minska eftersom vårfloren blir lägre.



Figur 3.27 Förändring (%) av 200-årsflödet mellan referensperioden 1963-1992 och perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.4.8 Lågflöden

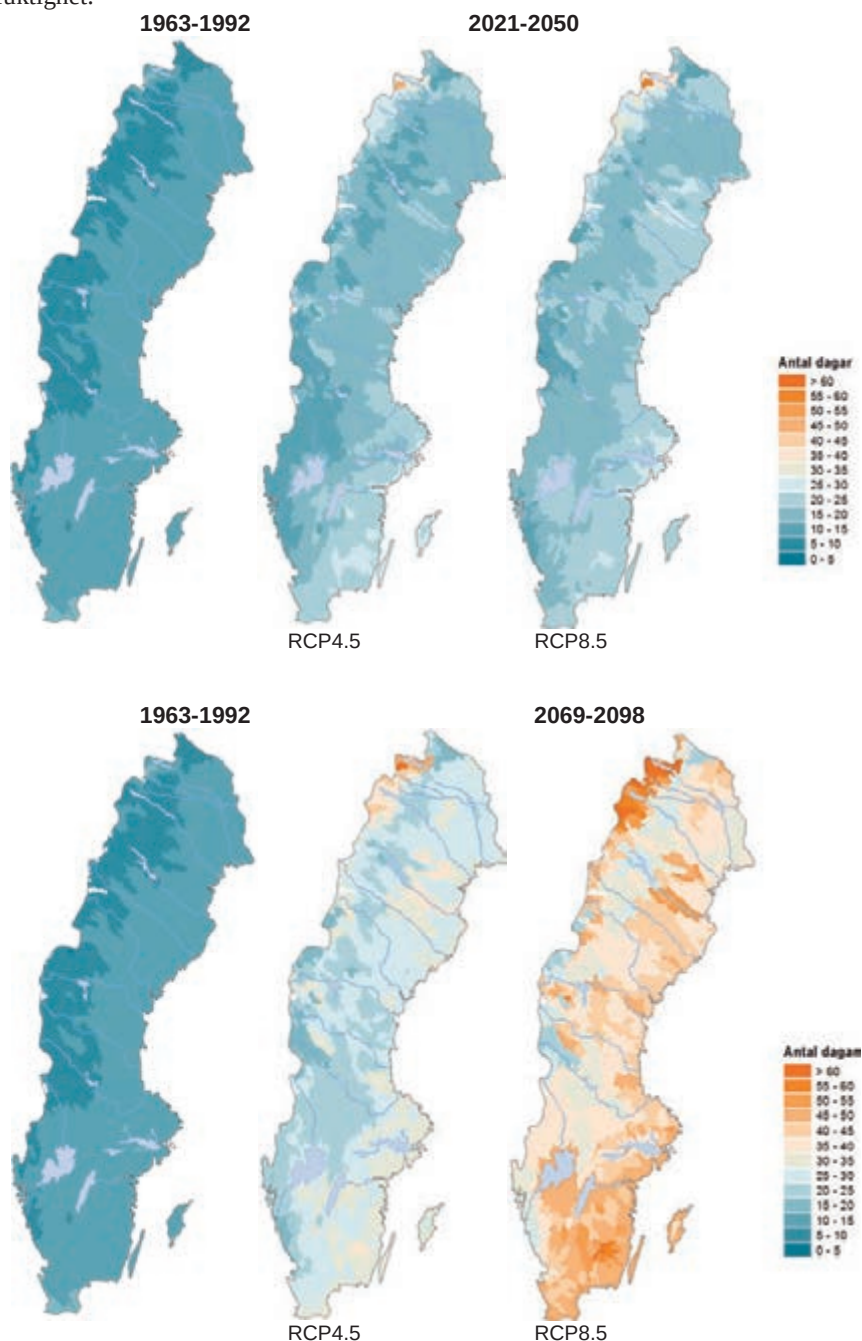
I figur 3.28 visas antal dagar per år med låga vattenflöden för referensperioden 1963-1992 samt för perioderna 2021-2050 och 2069-2098. Lågt vattenflöde definieras som flöden under medelvärdet av varje års lägsta vattenflöde för referensperioden 1961-1990. Antalet dagar med låga flöden beräknas minska i norra Sverige och öka i södra Sverige. Speciellt stor är ökningen i östra Götaland. De låga flödena kan på utsatta platser leda till brist på vatten. Ökningen av antalet dagar med lågflöden i sydöstra Sverige beror främst på den ökade avdunstningen. Norra Sverige har idag lågflöden under vintern. Eftersom framtidens vintrar väntas bli mildare med mer regn än snö, blir perioden med lågflöde kortare.



Figur 3.28 Antal dagar per år med låga vattenflöden för referensperioden 1963-1992 samt för perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.5 Markfuktighet

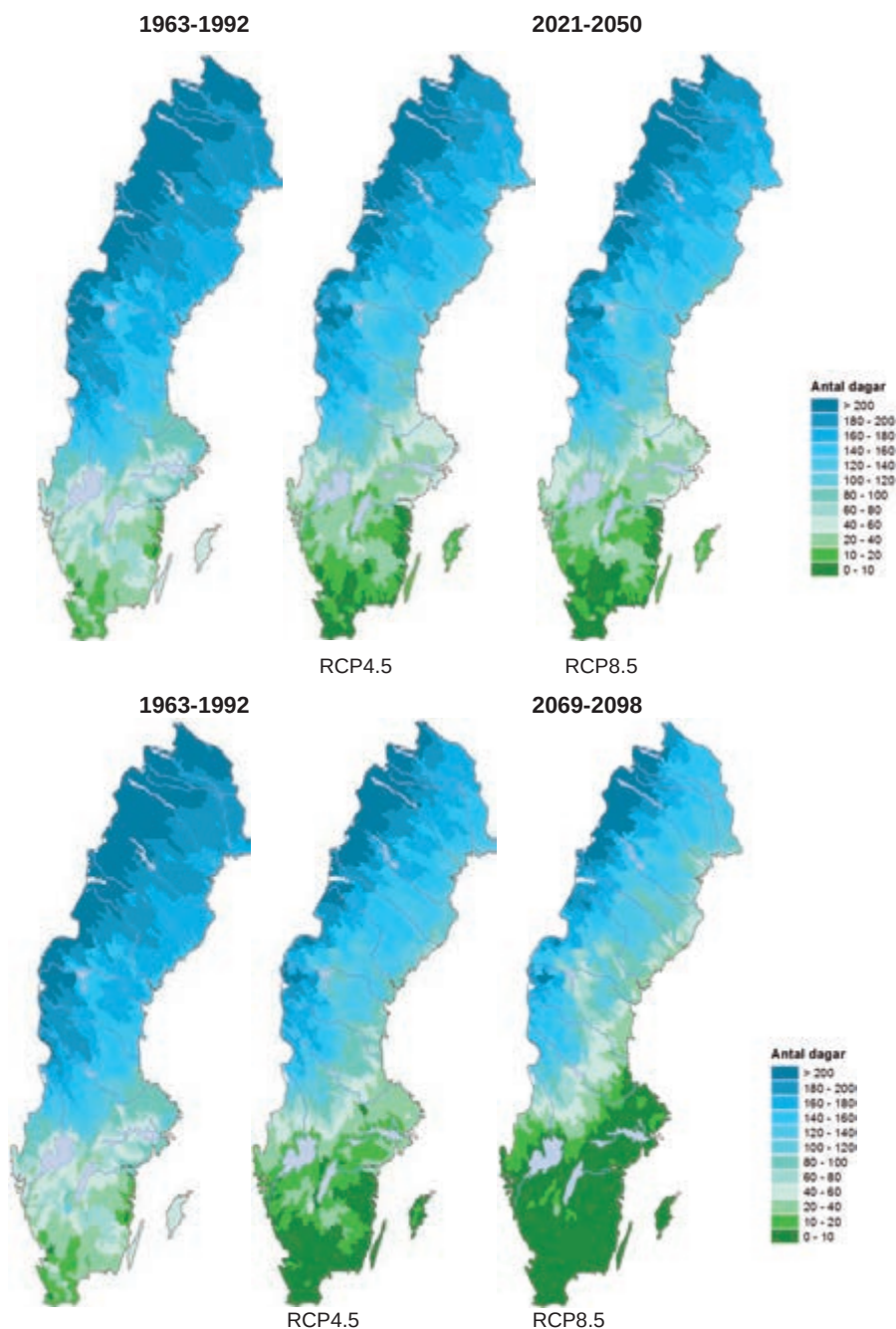
I figur 3.29 visas antal dagar per år med låg markfuktighet för referensperioden 1963-1992 samt för perioderna 2021-2050 och 2069-2098. Markfuktighet har beräknats med HBV-modellen. Låg markfuktighet definieras som markfuktighet lägre än medelvärdet av varje års lägsta markfuktighet för referensperioden 1963-1992. Låg markfuktighet, enligt denna definition, beräknas bli vanligare i hela landet i framtiden. Detta kan speciellt få stora konsekvenser i östra Götaland, där vi redan i dagens klimat ofta har låg markfuktighet.



Figur 3.29 Antal dagar per år med låg markfuktighet för referensperioden 1963-1992 samt för perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.6 Antal dagar med snötäcke

I figur 3.30 visas antal dagar per år med snötäcke för referensperioden 1963-1992 samt för perioderna 2021-2050 och 2069-2098. Snötäcket är beräknat med HBV-modellen och gränsen har satts till 5 mm i smält form. Beräkningarna visar att antalet dagar med snötäcke minskar i hela landet. I södra Sverige blir det ovanligt med snö enligt beräkningar med RCP8.5.

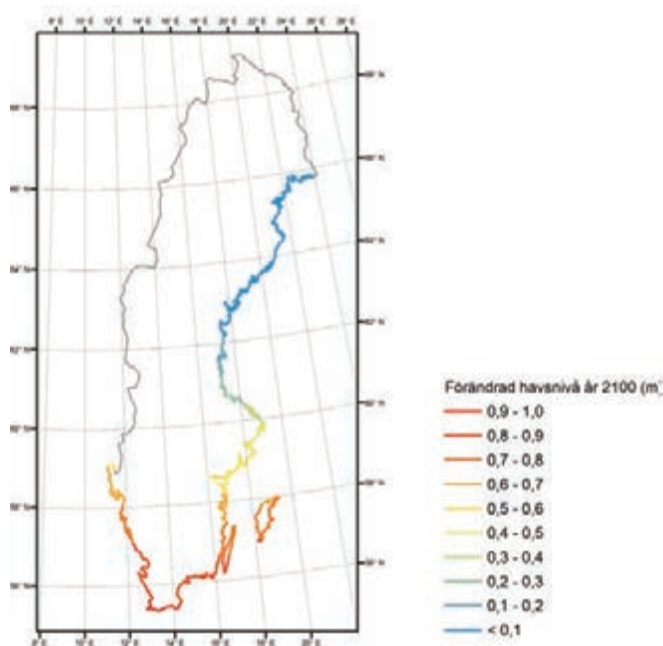


Figur 3.30 Antal dagar per år med snötäcke för referensperioden 1963-1992 samt för perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098.

3.7 Havsnivåer

FN:s klimatpanels (IPCC:s) senaste utvärdering av kunskapsläget (AR5) från september 2013 (IPCC, 2013) visar att havet kan komma att stiga med upp emot en meter under detta sekel. Utvecklingen beror på framtidens utsläpp av växthusgaser. IPCC konstaterar också att det är mycket troligt att den globala höjningen av havsnivån i genomsnitt var 1,7 millimeter per år under perioden 1901-2010. De senaste åren har takten ökat. Stigningen har uppmätts till cirka 3,2 millimeter per år under perioden 1993-2010.

Vid beräkningarna av regionala effekter för Sverige ska den framtida havsnivån justerats för den landhöjning som råder på platsen. Figur 3.31 visar vad en meters global havsnivåhöjning under 100 år betyder för ändringen av medelnivån för havet vid Sveriges kuster, när hänsyn tas till den lokala landhöjningen.



Figur 3.31 Nettoeffekten av en meters global havsnivåhöjning under 100 år, ifall hänsyn tas till den lokala landhöjningen. Beräkningen av landhöjningen är baserad på Lantmäteriets landhöjningsmodell NKG2005LU (Ågren och Svensson, 2007). Sveriges framtida klimat

4 Diskussion och slutsatser

De beräkningar av framtidens klimat och vattentillgång som redovisas i denna rapport bygger på ett helt nytt material och delvis nya förutsättningar än de tidigare analyser som presenterats av SMHI, exempelvis för Klimat- och sårbarhetsutredningen, vattenkraftindustrin, MSB:s översvämningskarteringar eller i Länsstyrelsernas klimatanalyser. Detta gäller främst följande moment i beräkningskedjan:

1. Utsläppsscenarierna är nya och delvis kraftigare. Det tillämpade RCP8.5-scenariet motsvarar betydligt högre utsläpp och koncentrationer av växthusgaser i atmosfären än de utsläppsscenarier som varit dominerande i tidigare publicerade hydrologiska beräkningar.
2. De globala klimatmodellerna har vidareutvecklats och urvalet av dessa skiljer sig från tidigare studier.
3. Till skillnad från att tidigare ha utnyttjat flera regionala klimatmodeller bygger beräkningarna på endast en regional modell (RCA4), som dessutom har utvecklats med tiden. Det återstår att analysera hur denna modell förhåller sig till andra regionala klimatmodeller.
4. Användningen av DBS-metoden, för att justera klimatmodellens resultat för att minimera de systematiska felen, började tillämpas först efter Klimat- och sårbarhetsutredningen. Metoden har dock använts i de flesta arbeten som gjorts åt vattenkraftindustrin, MSB och i de länsvisa klimatanalyserna.

Dessa ändrade förutsättningar gör det svårt att göra alltför detaljerade jämförelser med tidigare beräkningar, men det går ändå att dra en del generella slutsatser.

De stora dragen i förändringen av nederbörd, temperatur, vattentillgång och flöden kvarstår från tidigare utredningar. Användningen av RCP8.5-scenariet, med sin höga framtida koncentration av växthusgaser, förstärker de hydrologiska effekterna avsevärt jämfört med tidigare publicerade analyser.

Beträffande extrema vattenflöden så visar de nya beräkningarna att en större andel av Sveriges yta kan komma att utsättas för förstärkta extremflöden jämfört med tidigare beräkningar. Detta gäller även för jämförbara koncentrationsnivåer av växthusgaser.

Vid jämförelse av IPCC:s fem vetenskapliga utvärderingar är bedömningen av framtida globala havsnivåer förhållandevis stabil. Nivåerna ligger högre i utvärderingen från 2013 (AR5) än i den från 2007 (AR4).

5 Referenser

- IPCC (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the IPCC 5th Assessment Report. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- 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.

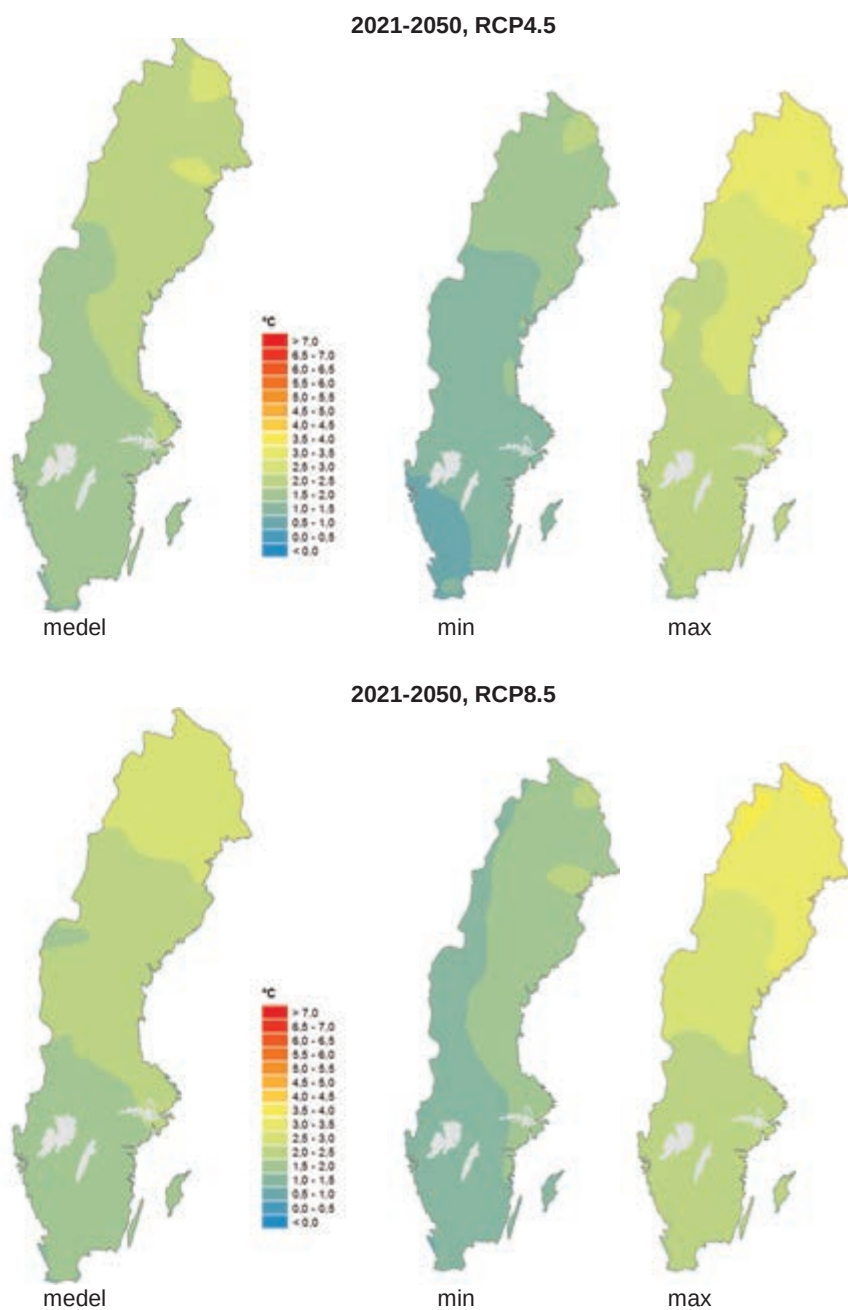
- Jones C, F. Giorgi och Asrar, G. (2011) The Coordinated Regional Downscaling Experiment: CORDEX, An international downscaling link to CMIP5: *CLIVAR Exchanges*, No. 56, Vol 16, No.2 pages 34-40.
- Lindström, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M. och Bergström, S. (1997) Development and test of the distributed HBV-96 model. *Journal of Hydrology* 201, 272-288.
- Moss, R., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P. och Wilbanks, T.J. (2010): The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463, 747–756.
- Olsson J. och Foster K. (2013). Extrem korttidsnederbörd i klimatprojektioner för Sverige. *Klimatologi* 6, SMHI.
- Persson G. (2015) Sveriges klimat 1860-2014. Underlag till dricksvattenutredningen. *Klimatologi* 13, SMHI.
- Strandberg, G., Bärring, L., Hansson, U., Jansson, C., Jones, C., Kjellström, E., Kolax, M., Kupiainen, M., Nikulin, G., Samuelsson, P., Ullerstig, A. och Wang, S. (2014). CORDEX scenarios for Europe from the Rossby Centre regional climate model RCA4. *Reports Meteorology and Climatology*, 116, SMHI.
- WMO (1981) Selection of distribution types for extremes of precipitation, WMO-No. 560, Operational Hydrology Report 15, World Meteorological Organization Geneva, Switzerland.
- Yang, W., Andréasson, J., Graham, L.P., Olsson, J., Rosberg, J. och 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.
- Ågren, J. och Svensson, R. (2007) Postglacial Land Uplift Model and System Definition for the New Swedish Height System RH 2000. Reports in Geodesy and Geographical Information Systems. LMV-Rapport 2007:4, Gävle.

Bilaga A. Kartor över spridningen

Kartorna som visas i kapitel 3 baseras på ett medelvärde för samtliga nio scenarier. I denna bilaga finns även kartor som visar max- och minvärden för RCP4.5 och 8.5. Detta ger en bild av spridningen mellan de olika beräkningarna.

Det lägsta respektive högsta värdet för varje beräkningspunkt har valts ut och de behöver inte vara baserade på samma globala modell.

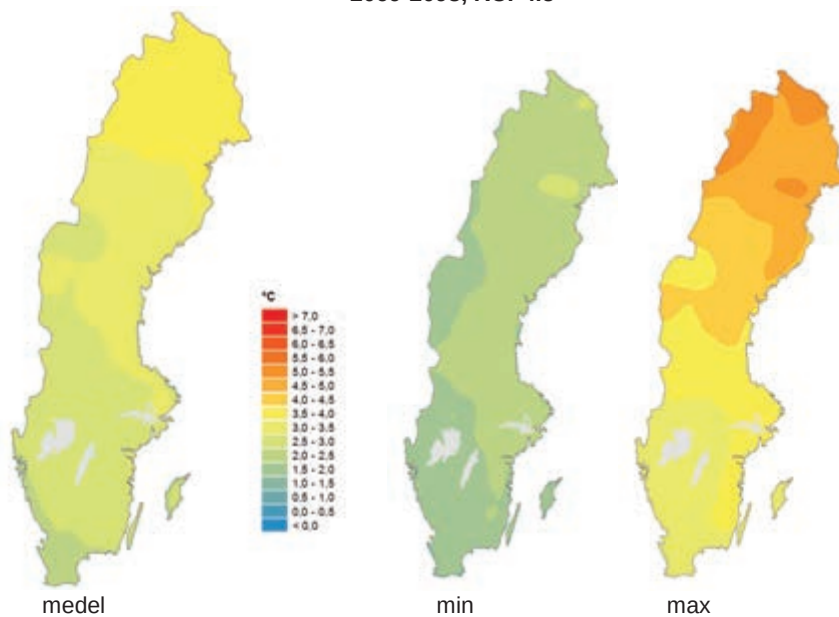
Årsmedeltemperatur



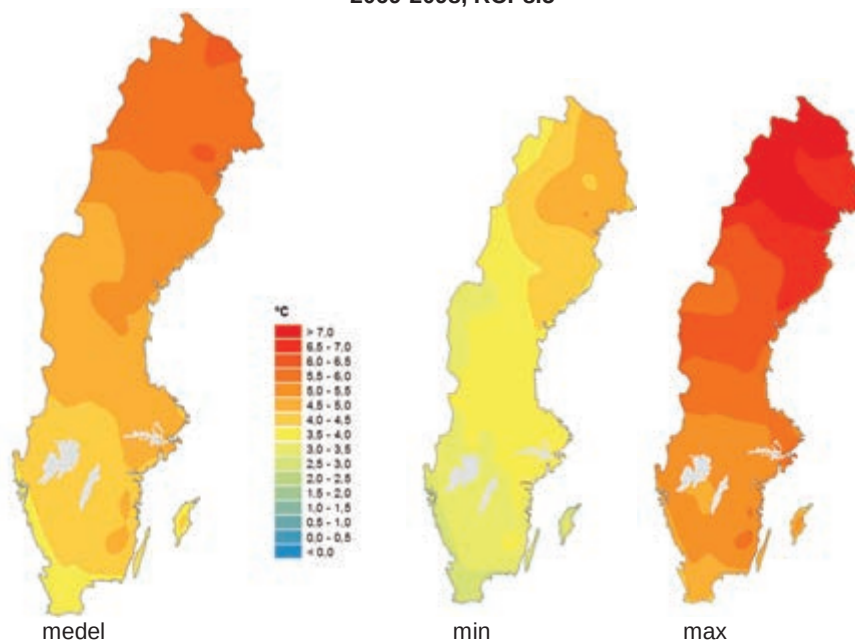
Figur A.1 Förändring (grader) av årets medeltemperatur mellan referensperioden 1961-1990 och 2069-2098. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för min och max visar resultat från den modell som ger minst respektive störst ändring för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

Årsmedeltemperatur

2069-2098, RCP4.5



2069-2098, RCP8.5

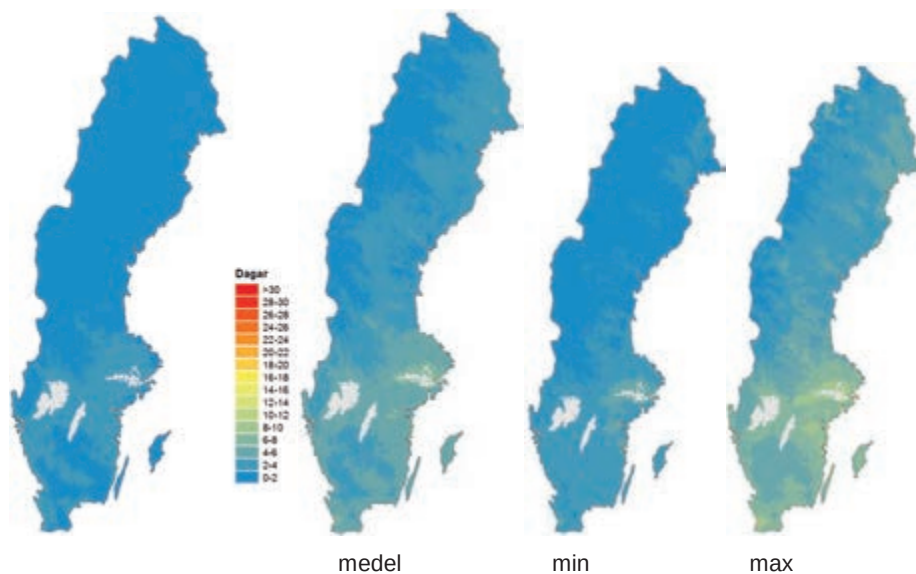


Figur A.2 Förändring (grader) av årets medeltemperatur mellan referensperioden 1961-1990 och 2069-2098. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för min och max visar resultat från den modell som ger minst respektive störst ändring för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

Värmebölja

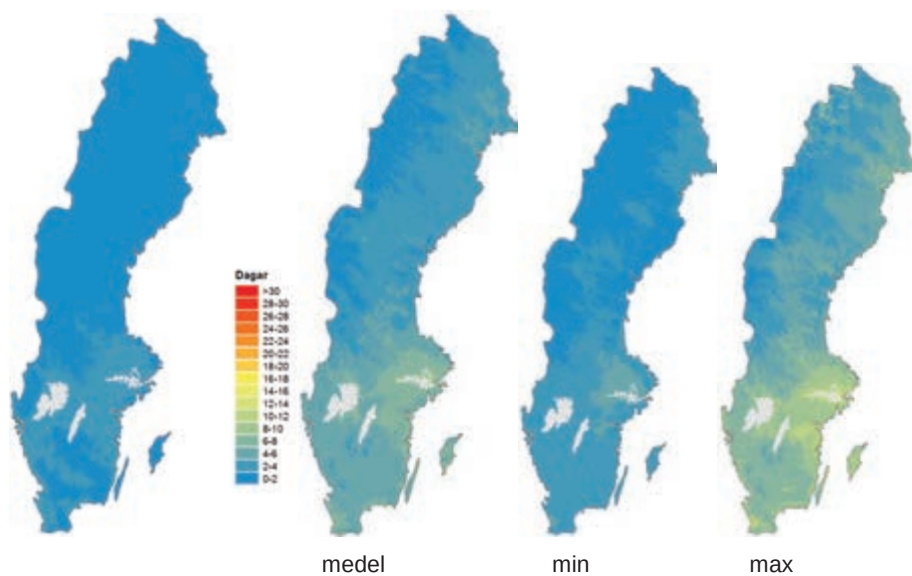
1961-1990

2021-2050, RCP4.5



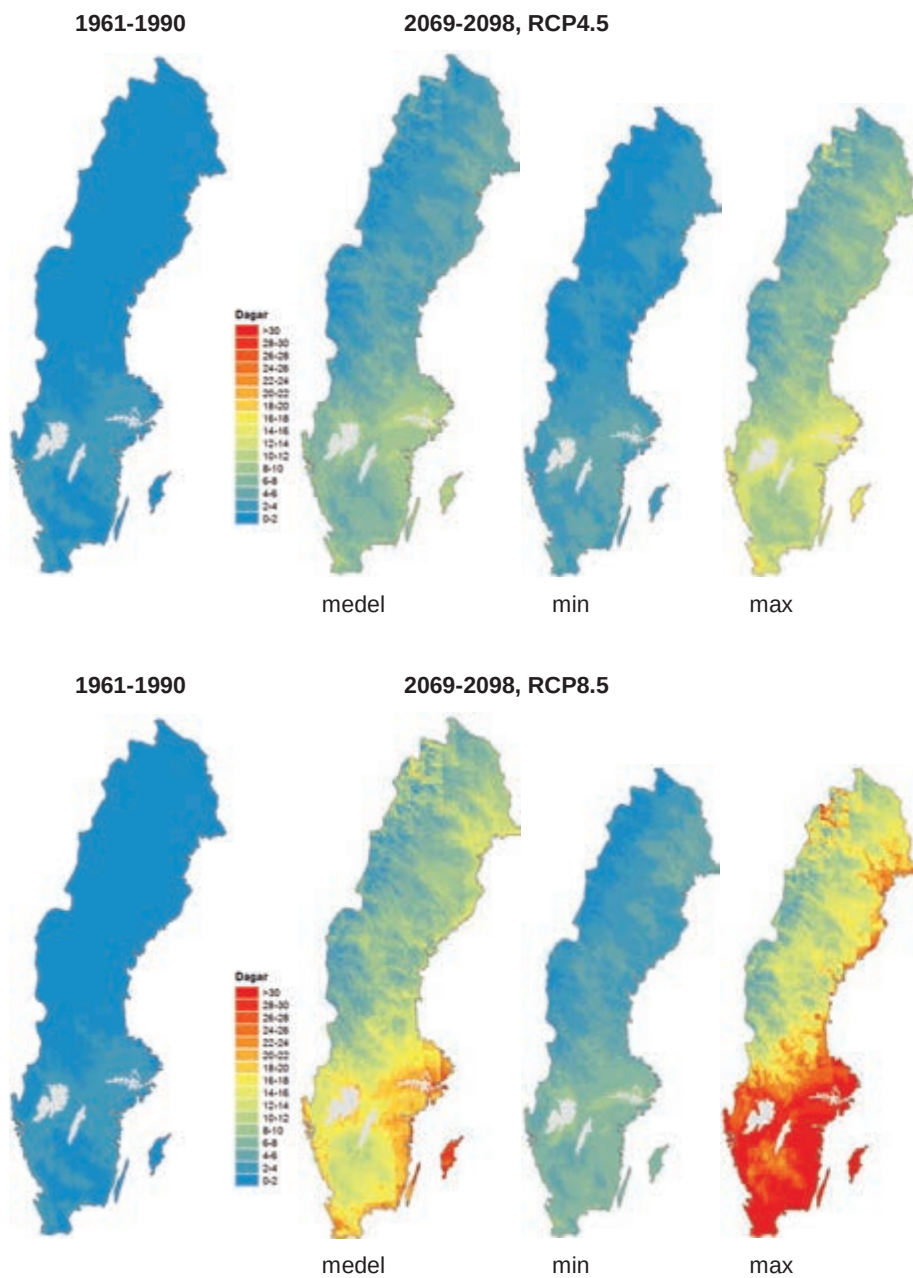
1961-1990

2021-2050, RCP8.5



Figur A.3 Maximalt antal sammanhängande dagar med dygnsmedeltemperatur över 20°C för referensperioden 1961-1990 och 2021-2050. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för min och max visar resultat från den modell som ger minst respektive flest antal dagar för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

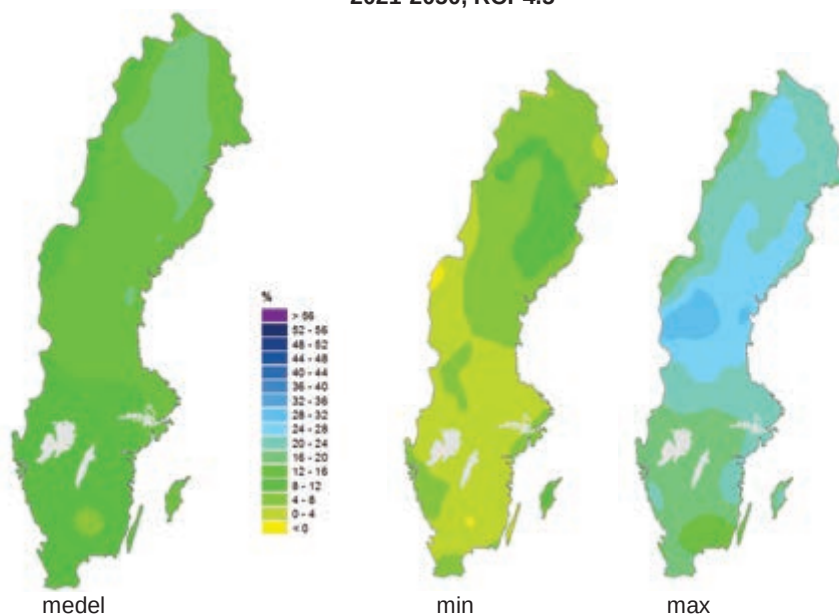
Värmebölja



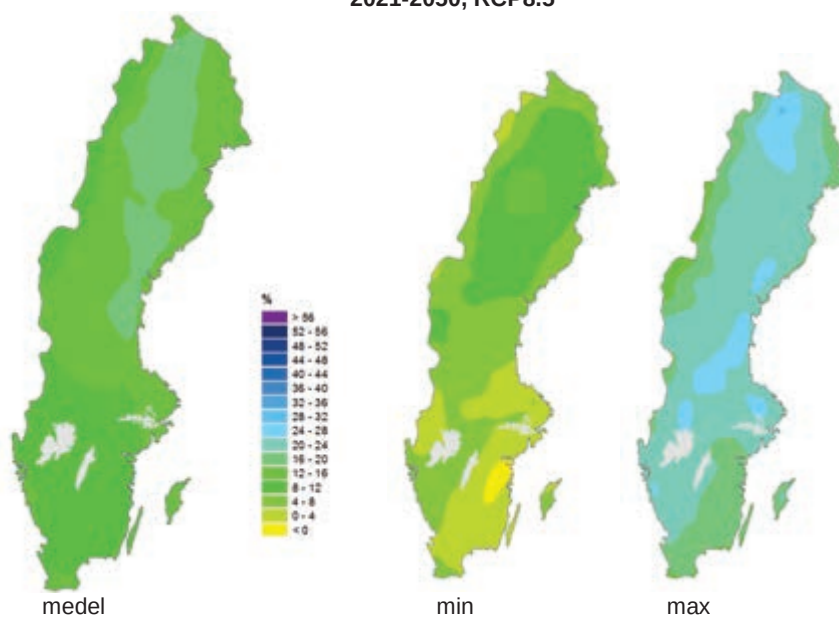
Figur A.4 Maximalt antal sammanhängande dagar med dygnsmedeltemperatur över 20°C för referensperioden 1961-1990 och 2069-2098. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för min och max visar resultat från den modell som ger minst respektive flest antal dagar för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

Medelnederbörd

2021-2050, RCP4.5

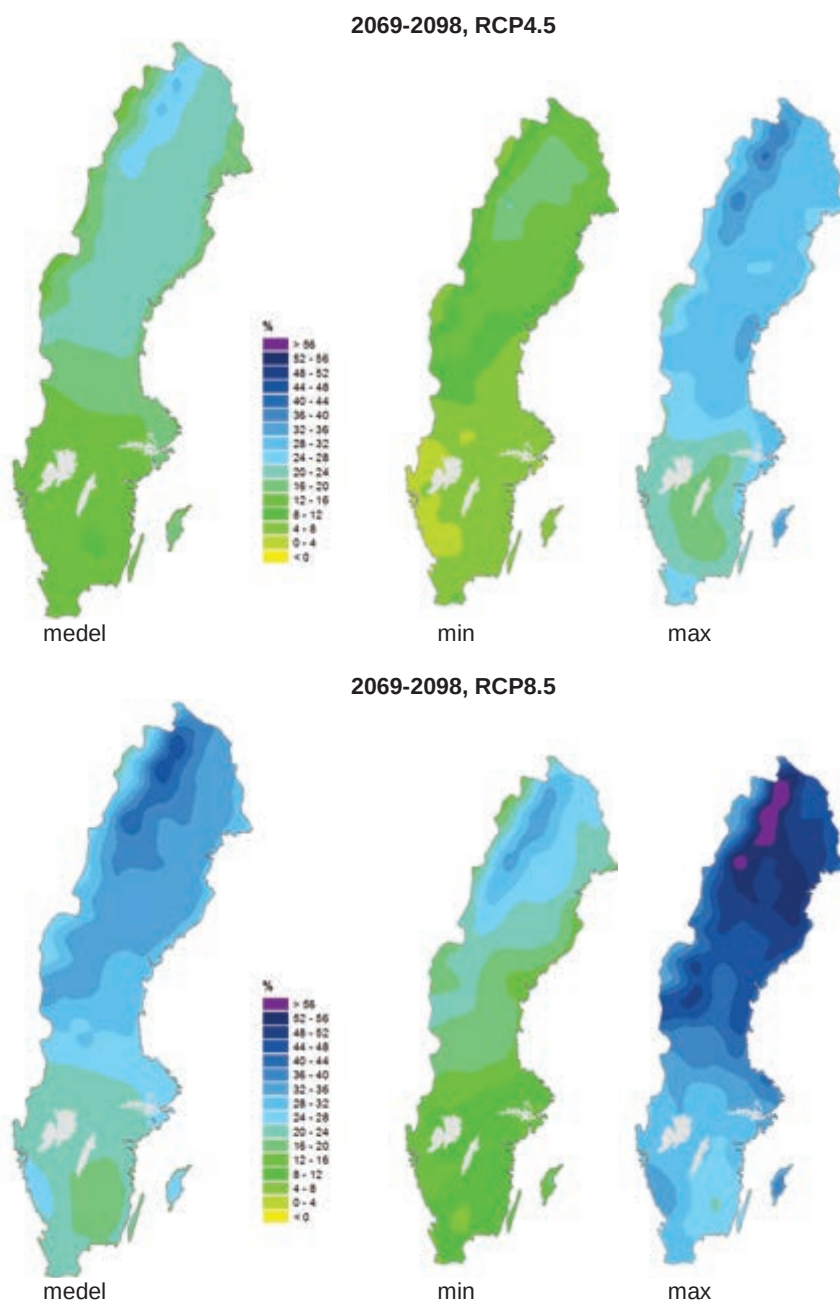


2021-2050, RCP8.5



Figur A.5 Förändring (%) av årets medelnederbörd mellan referensperioden 1961-1990 och 2021-2050. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för min och max visar resultat från den modell som ger den lägsta respektive högsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

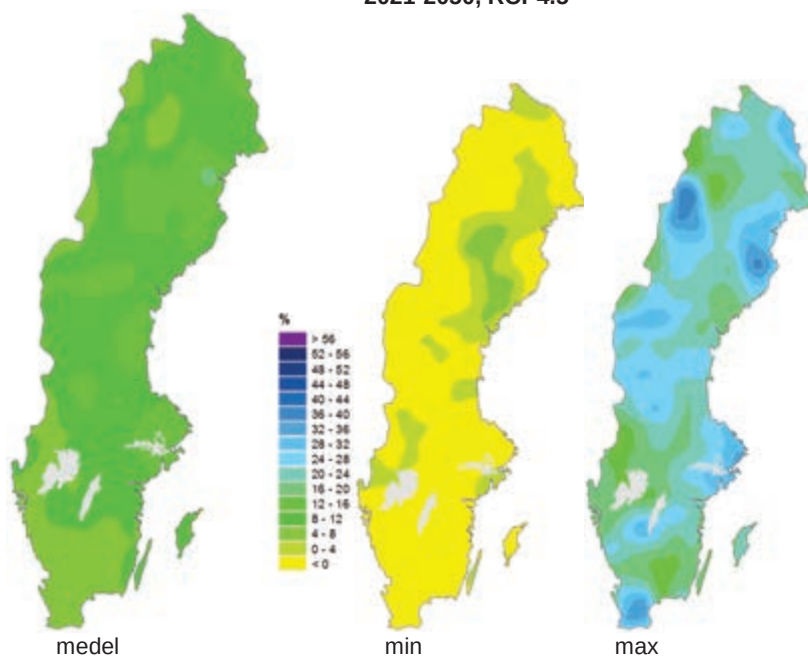
Medelnederbörd



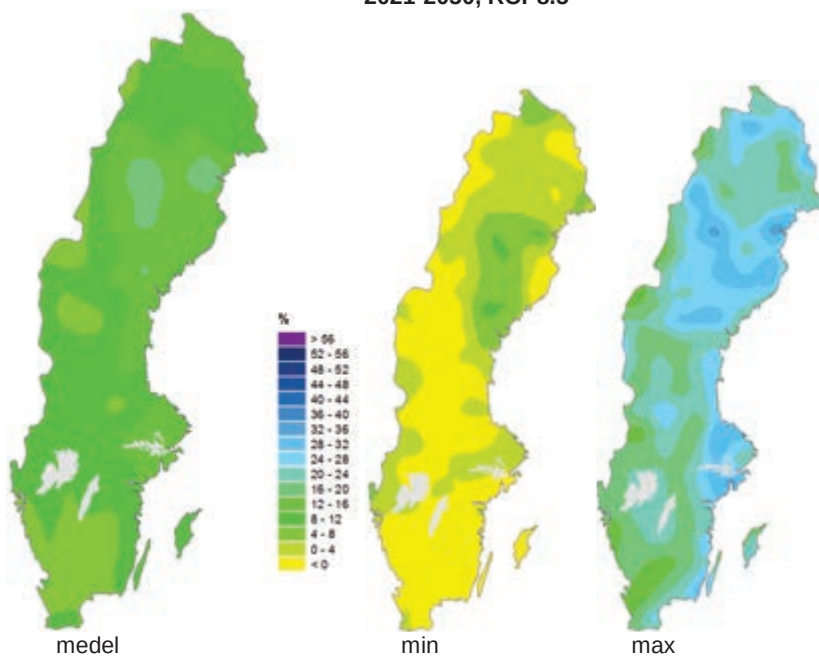
Figur A.6 Förändring (%) av årets medelnederbörd mellan referensperioden 1961-1990 och 2069-2098. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för min och max visar resultat från den modell som ger den lägsta respektive högsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

Största dygnsnederbörd

2021-2050, RCP4.5



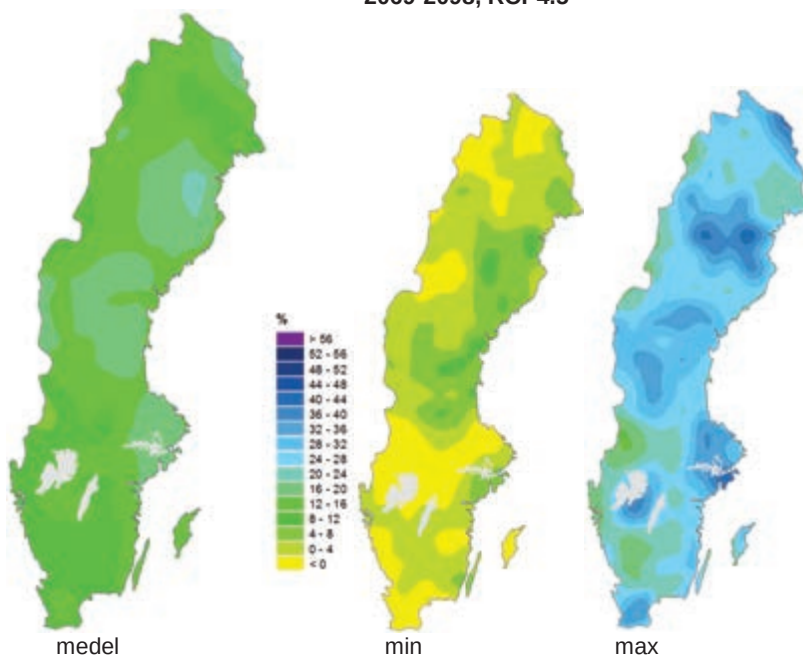
2021-2050, RCP8.5



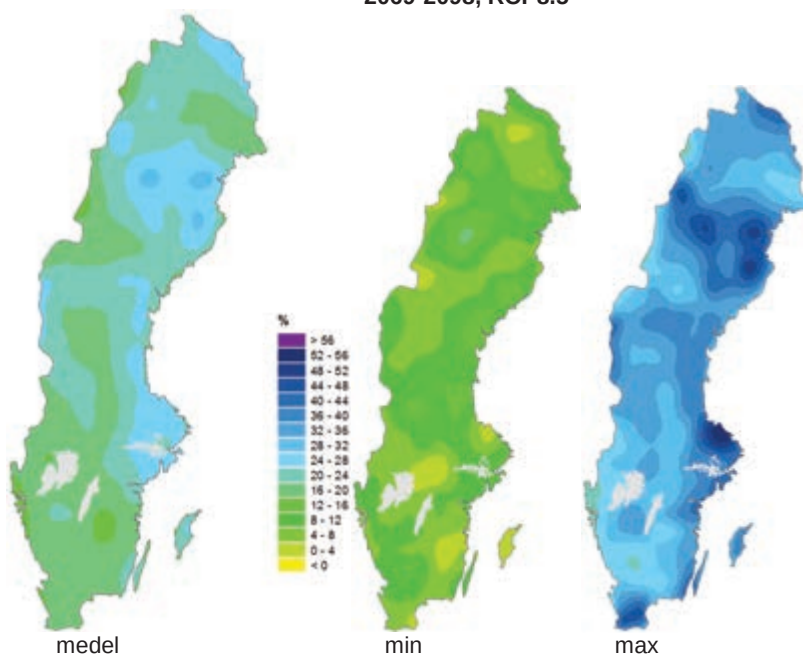
Figur A.7 Förändring (%) av den största dygnsnederbörden mellan referensperioden 1961-1990 och 2021-2050. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för min och max visar resultat från den modell som ger den lägsta respektive högsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller

Största dygnsnederbörd

2069-2098, RCP4.5



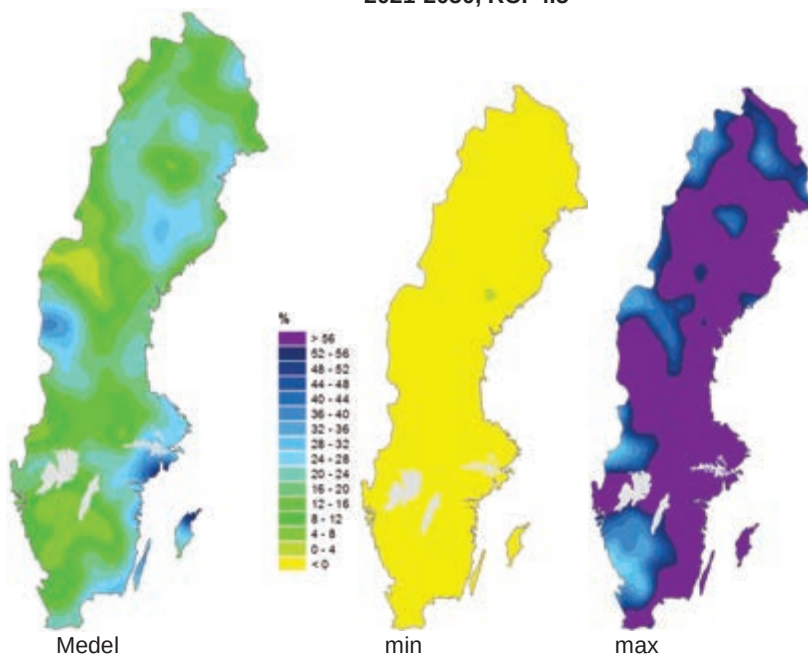
2069-2098, RCP8.5



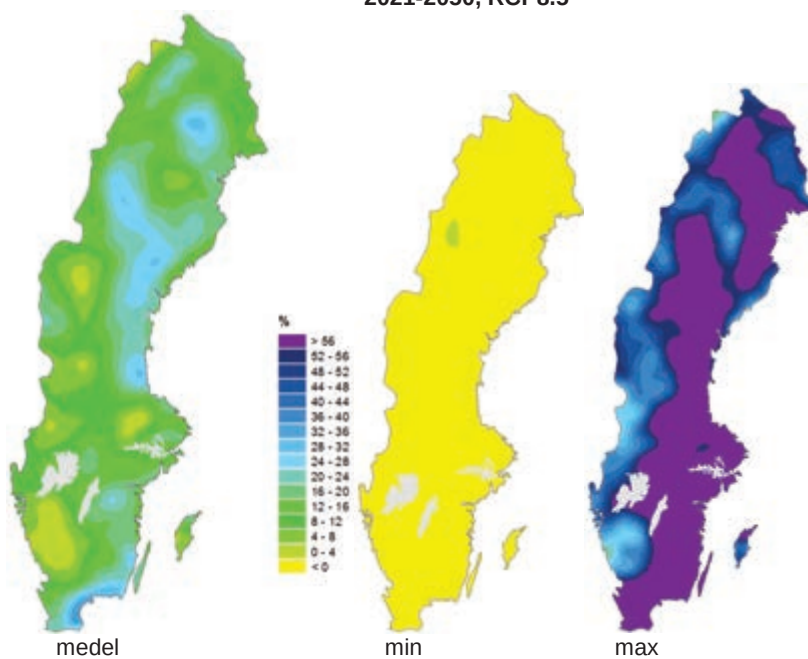
Figur A.8 Förändring (%) av den största dygnsnederbörden mellan referensperioden 1961-1990 och 2069-2098. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för min och max visar resultat från den modell som ger den lägsta respektive högsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

Största 7-dygnsnederbörd

2021-2050, RCP4.5



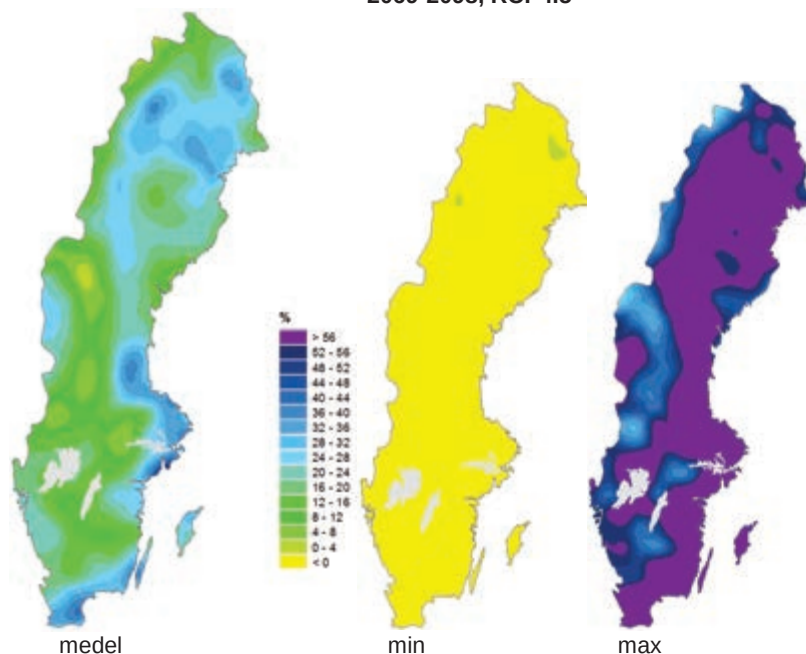
2021-2050, RCP8.5



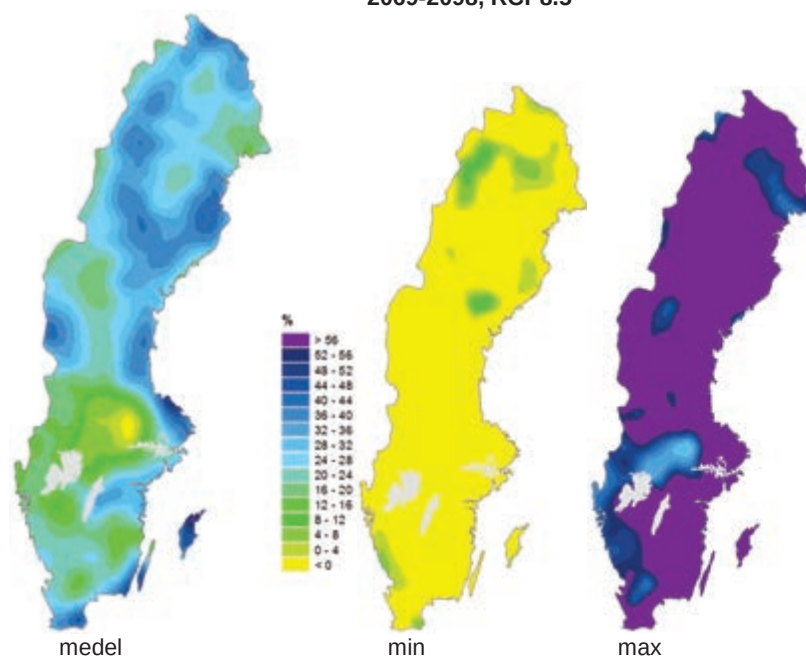
Figur A.9 Förändring (%) av den största 7-dygnsnederbörden mellan referensperioden 1961-1990 och 2021-2050. Den största 7-dygnsnederbörden är ett medelvärde för varje års högsta 7-dygnsnederbörd under 30-årsperioden. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

Största 7-dygnsnederbörd

2069-2098, RCP4.5



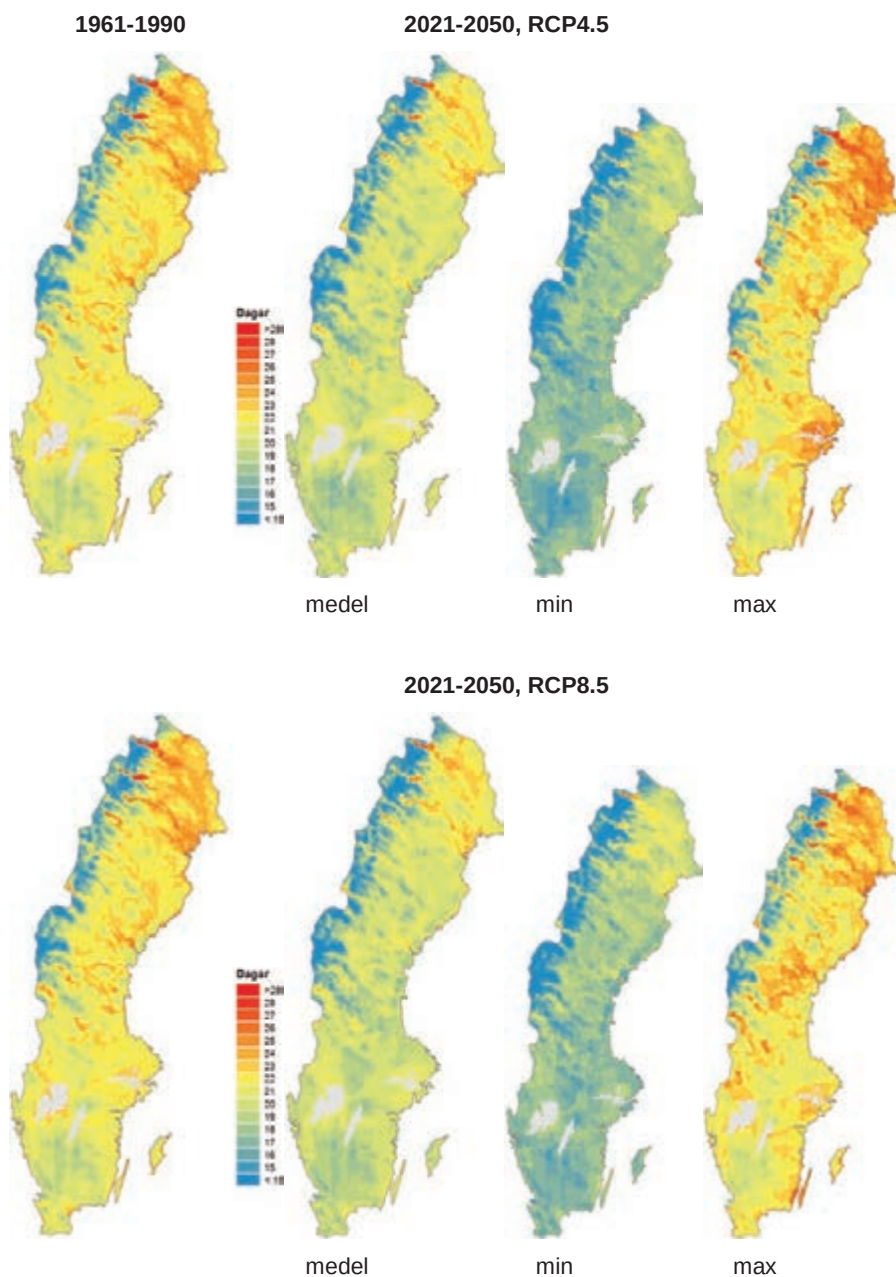
2069-2098, RCP8.5



Figur A.10 Förändring (%) av den största 7-dygnsnederbörden mellan referensperioden 1961-1990 och 2069-2098. Den största 7-dygnsnederbörden är ett medelvärde för varje års högsta 7-dygnsnederbörd under 30-årsperioden. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

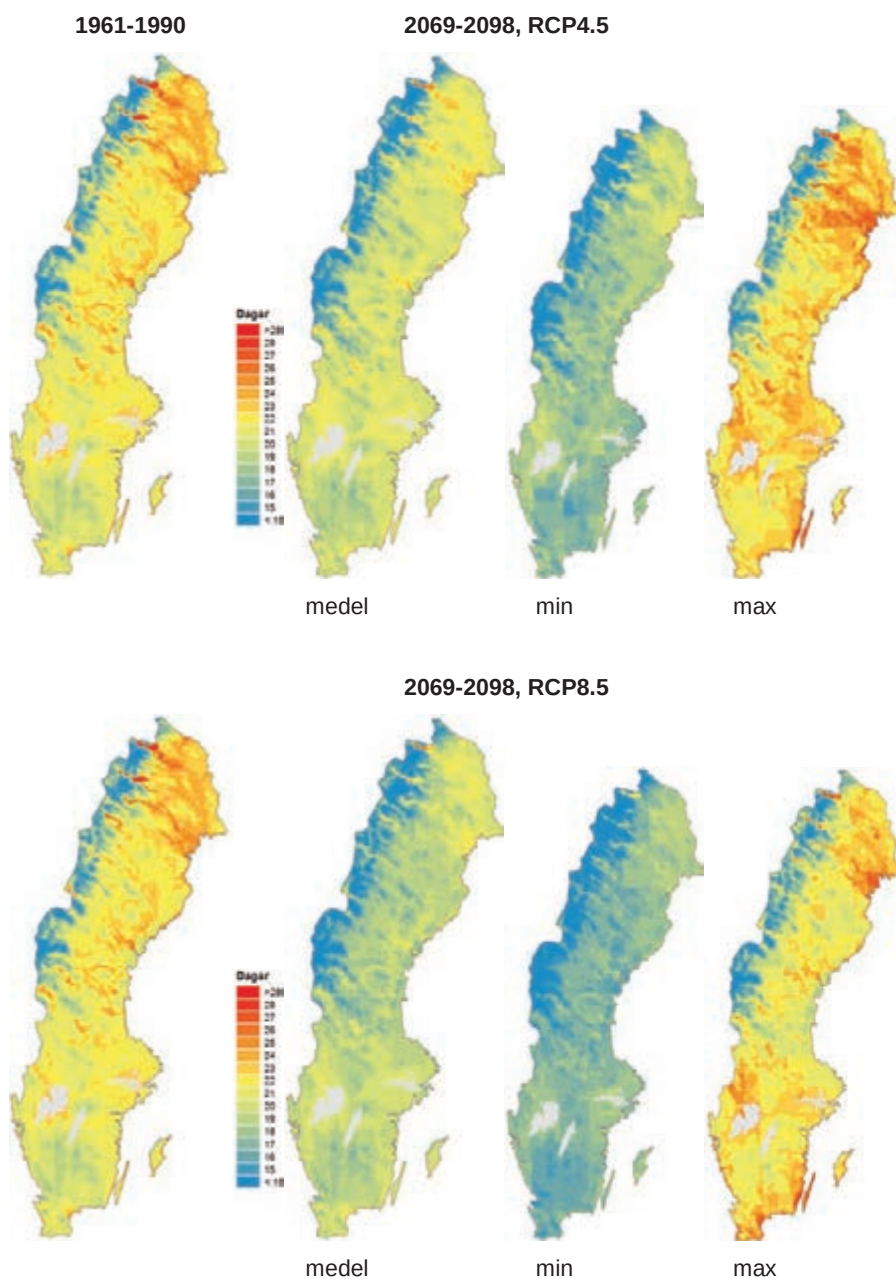
Längsta torrperiod

Längsta torrperiod definieras här som maximalt antal sammanhängande dagar per år med nederbörd mindre än 1 mm.



Figur A.11 Maximalt antal sammanhängande dagar per år med nederbörd mindre än 1 mm för referensperioden 1961-1990 och 2021-2050. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

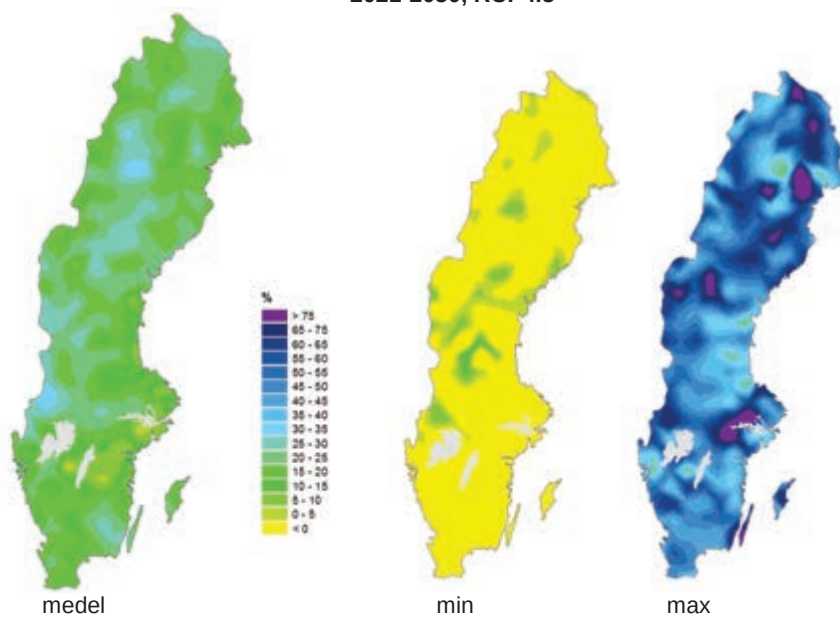
Längsta torrperiod



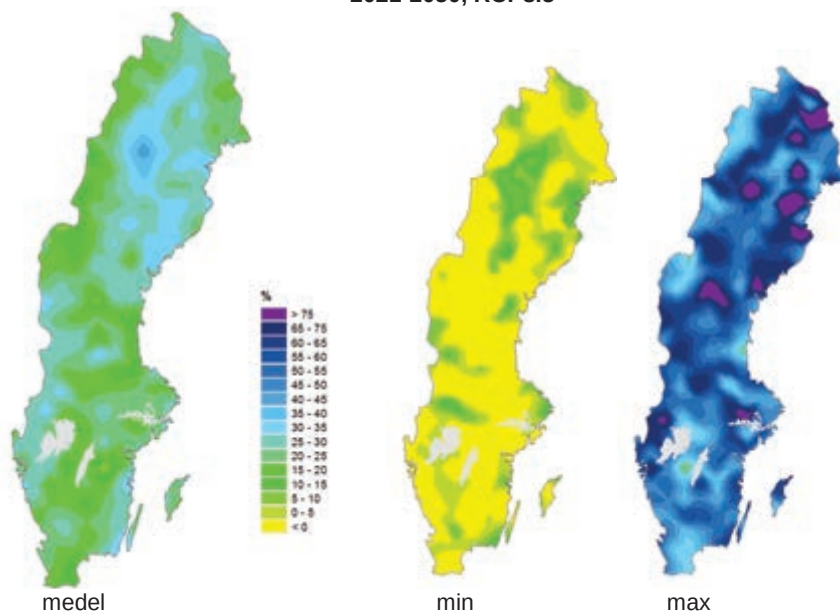
Figur A.12 Maximalt antal sammanhängande dagar per år med nederbörd mindre än 1 mm för referensperioden 1961-1990 och 2069-2098. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

Extremnederbörd 20 min

2021-2050, RCP4.5



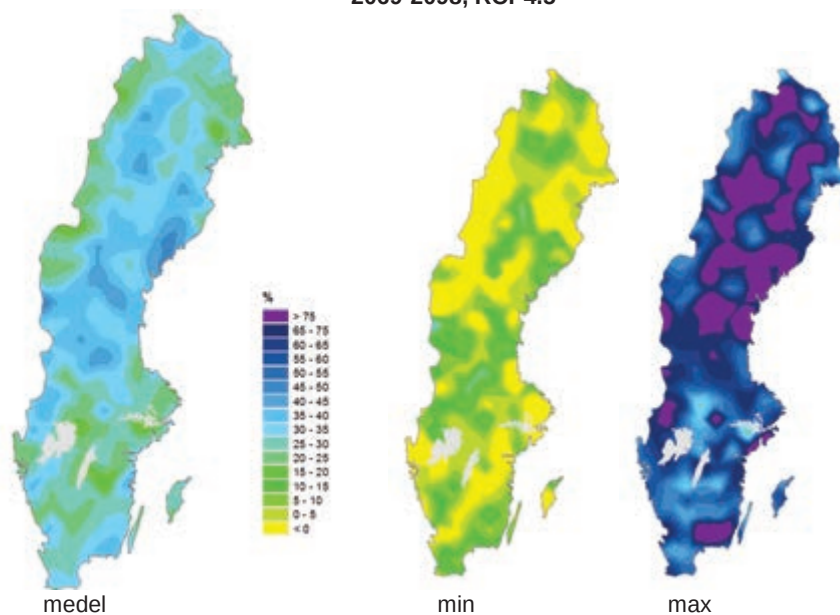
2021-2050, RCP8.5



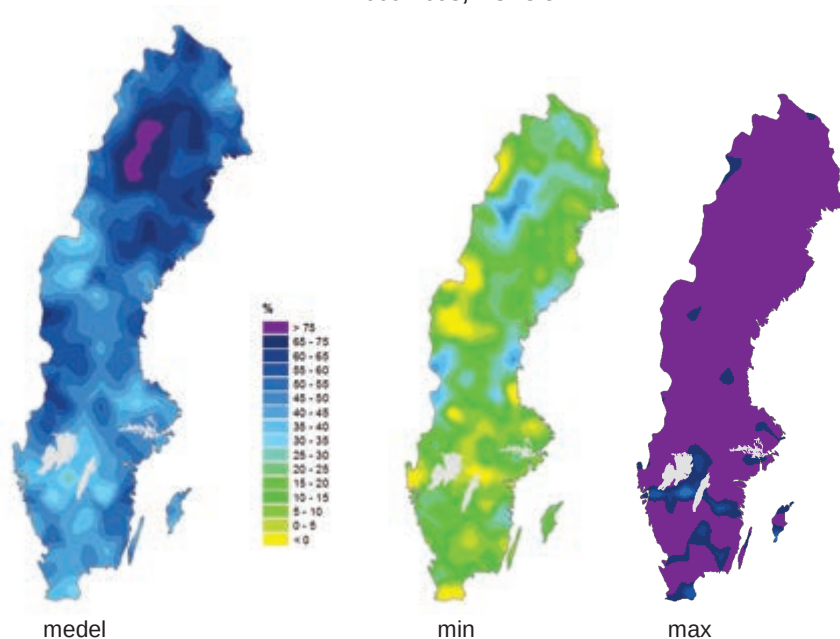
Figur A.13 Förändring (%) av 20-minutersnederbörden med 10 års återkomsttid mellan referensperioden 1961-1990 och 2021-2050. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

Extremnederbörd 20 min

2069-2098, RCP4.5

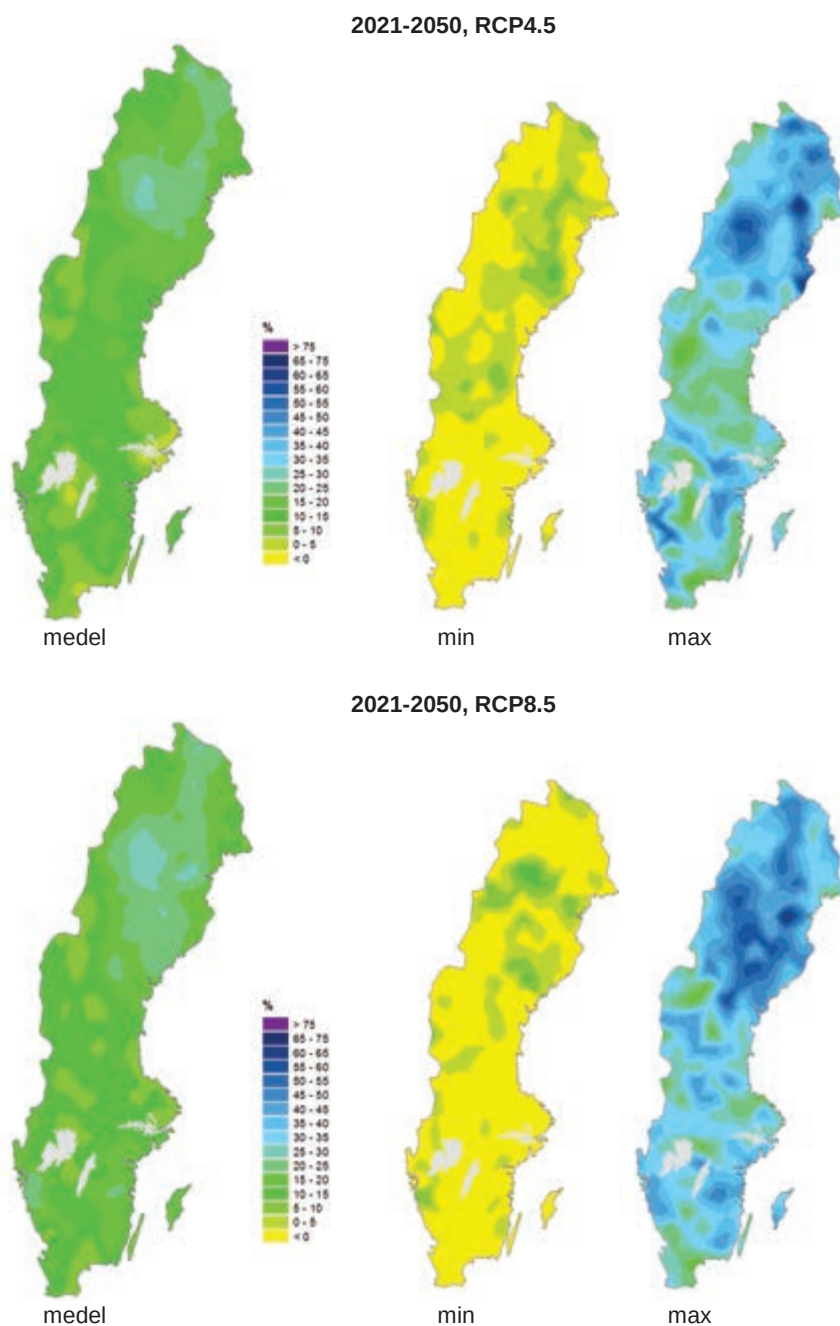


2069-2098, RCP8.5



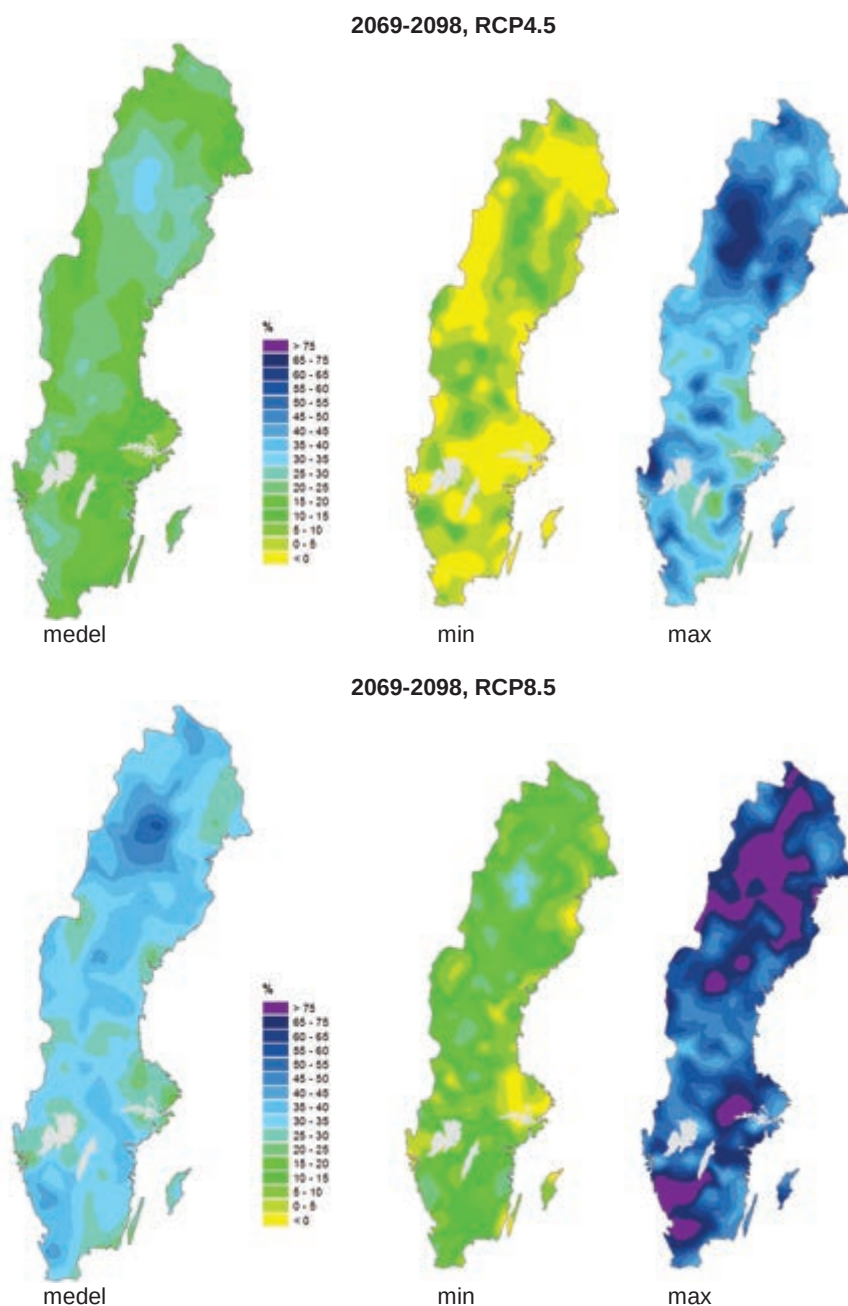
Figur A.14 Förändring (%) av 20-minutersnederbörden med 10 års återkomsttid mellan referensperioden 1961-1990 och 2069-2098. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

Extrem nederbörd 1 timme



Figur A.15 Förändring (%) av 1-timmesnederbörden med 10 års återkomsttid mellan referensperioden 1961-1990 och 2021-2050. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

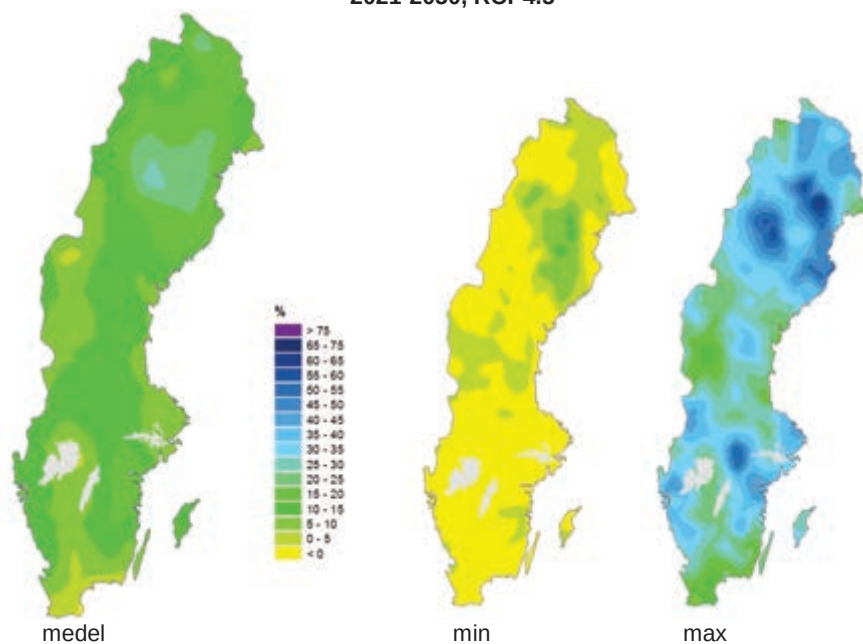
Extrem nederbörd 1 timme



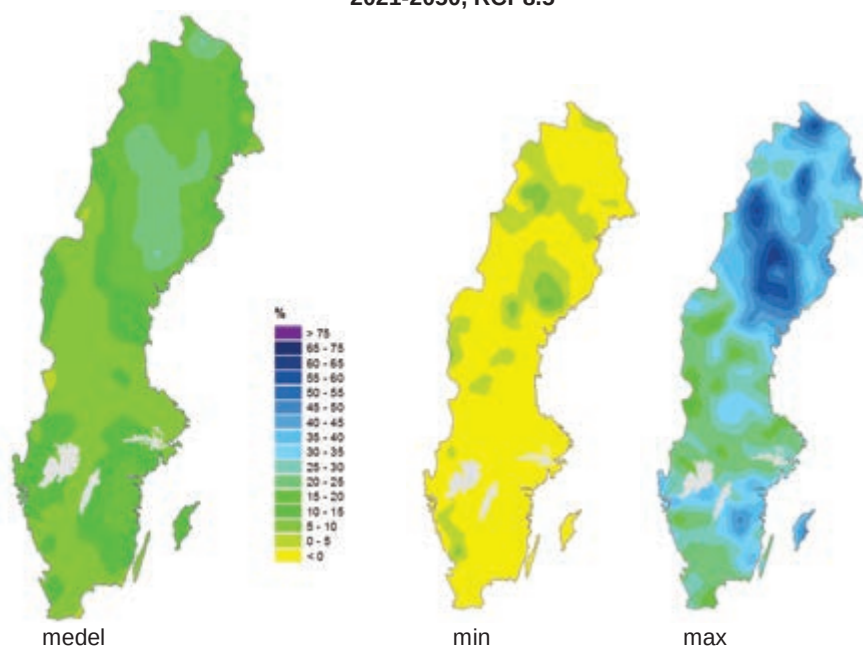
Figur A.16 Förändring (%) av 1-timmesnederbörden med 10 års återkomsttid mellan referensperioden 1961-1990 och 2069-2098. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

Extrem nederbörd 3 timmar

2021-2050, RCP4.5



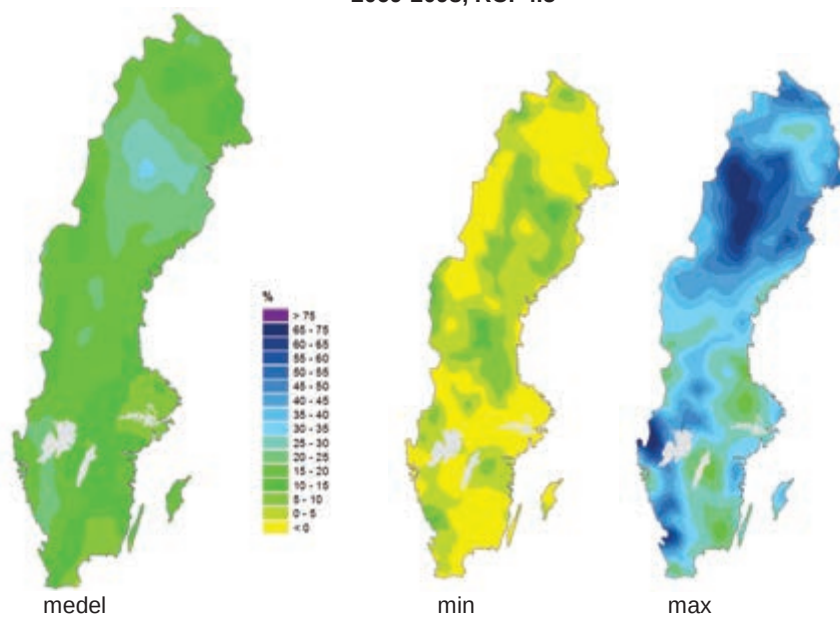
2021-2050, RCP8.5



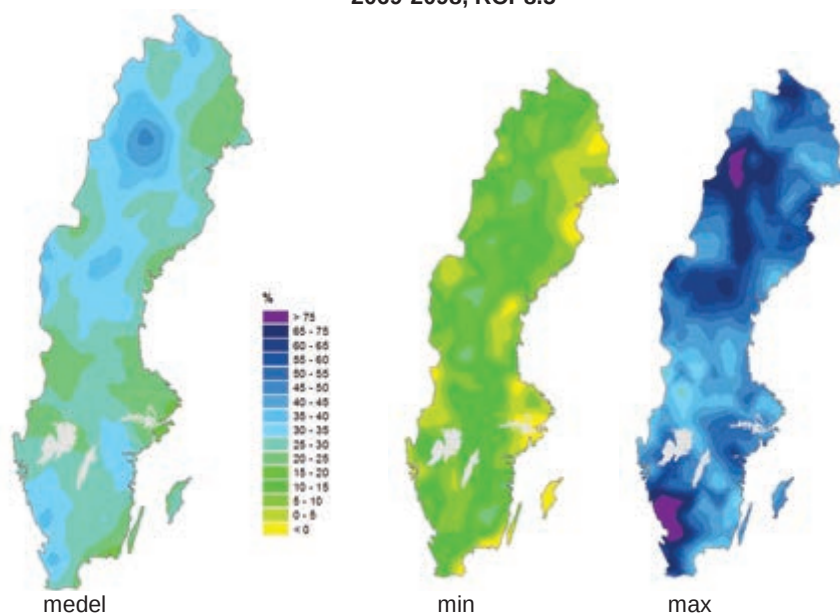
Figur A.17 Förändring (%) av 3-timmarsnederbörden med 10 års återkomsttid mellan referensperioden 1961-1990 och 2021-2050. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

Extrem nederbörd 3 timmar

2069-2098, RCP4.5



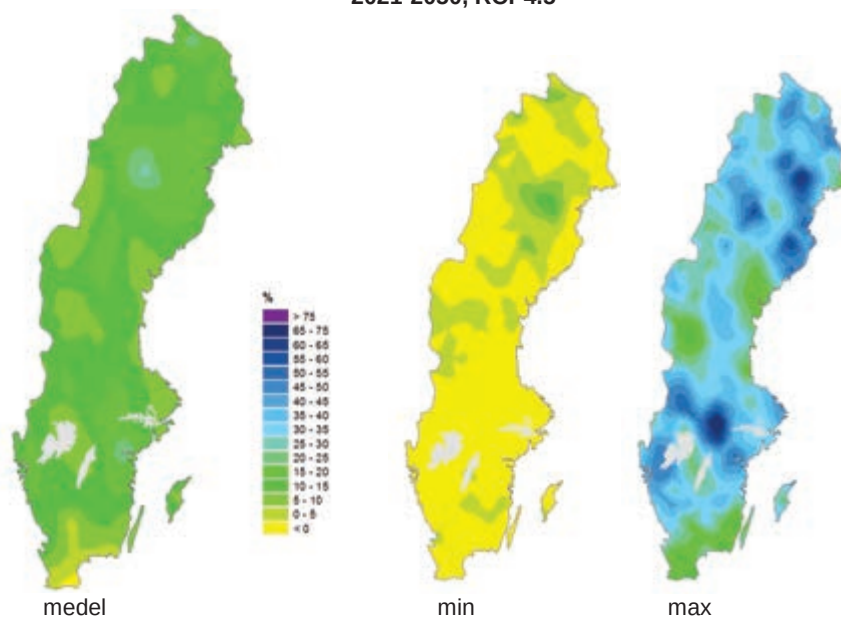
2069-2098, RCP8.5



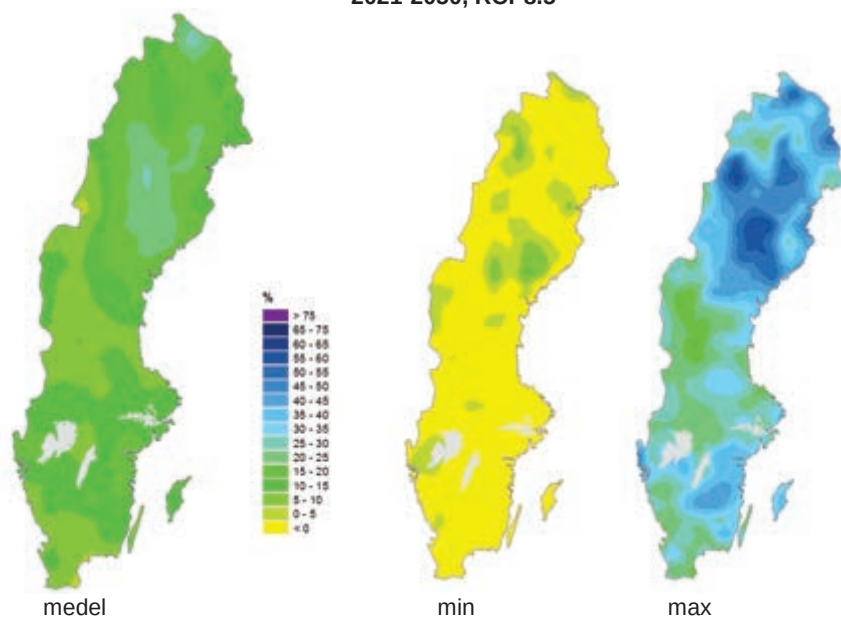
Figur A.18 Förändring (%) av 3-timmarsnederbörden med 10 års återkomsttid mellan referensperioden 1961-1990 och 2069-2098. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

Extrem nederbörd 6 timmar

2021-2050, RCP4.5



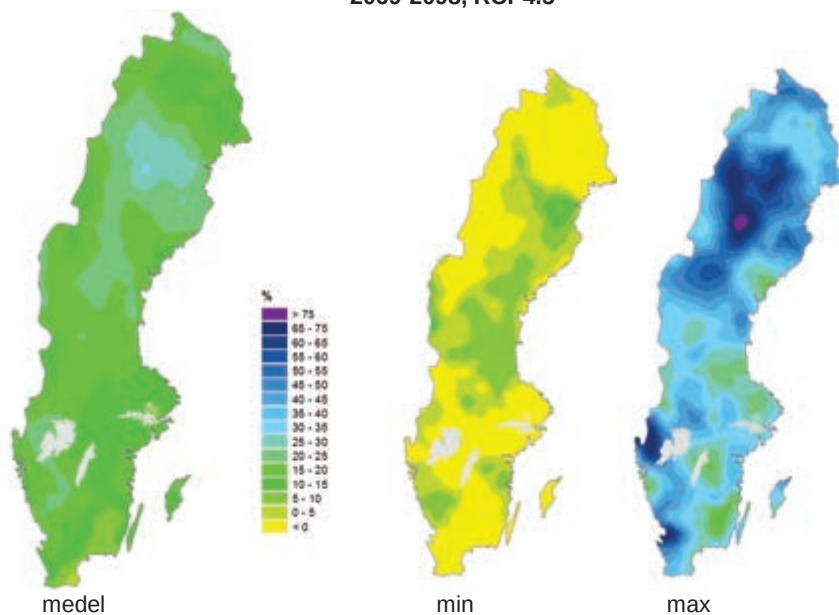
2021-2050, RCP8.5



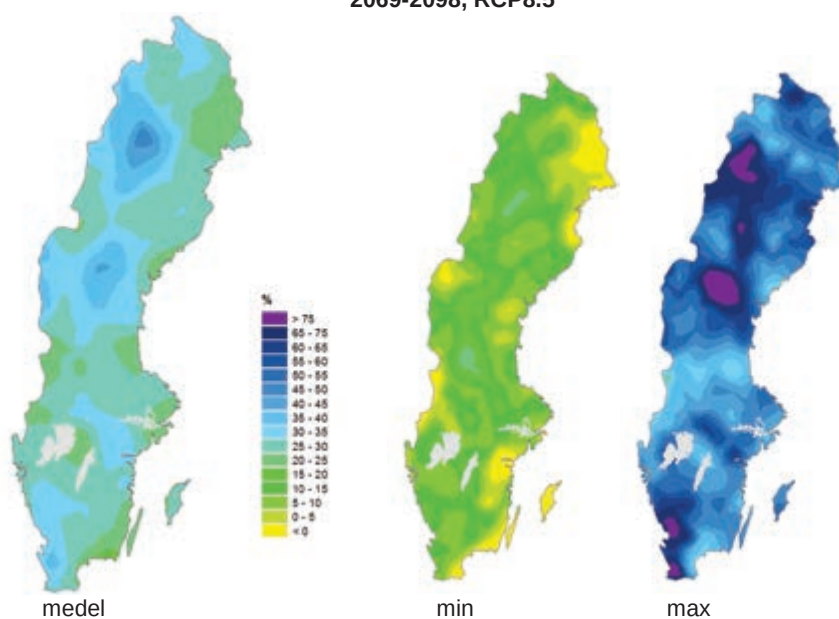
Figur A.19 Förändring (%) av 6-timmarsnederbörden med 10 års återkomsttid mellan referensperioden 1961-1990 och 2021-2050. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

Extrem nederbörd 6 timmar

2069-2098, RCP4.5



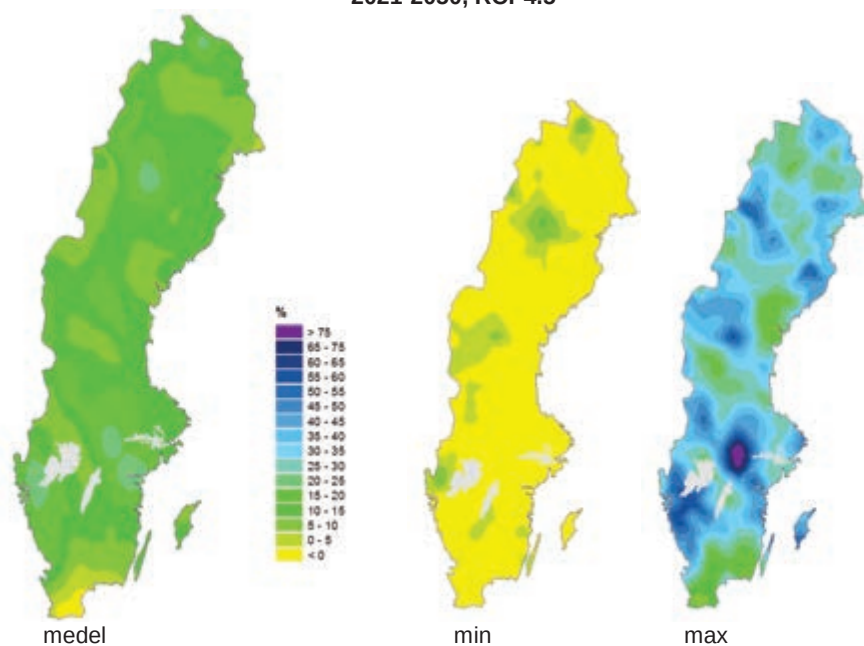
2069-2098, RCP8.5



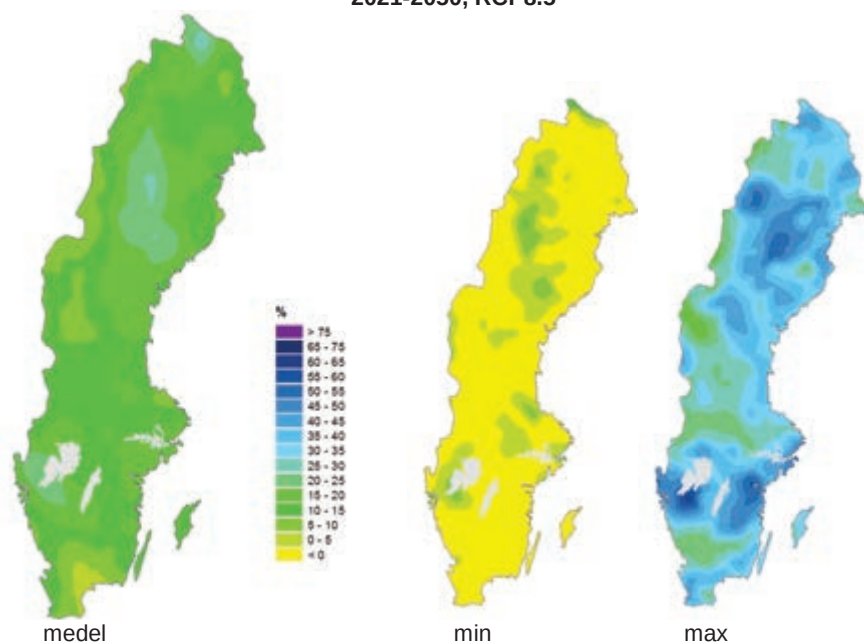
Figur A.20 Förändring (%) av 6-timmarsnederbörden med 10 års återkomsttid mellan referensperioden 1961-1990 och 2069-2098. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

Extrem nederbörd 12 timmar

2021-2050, RCP4.5



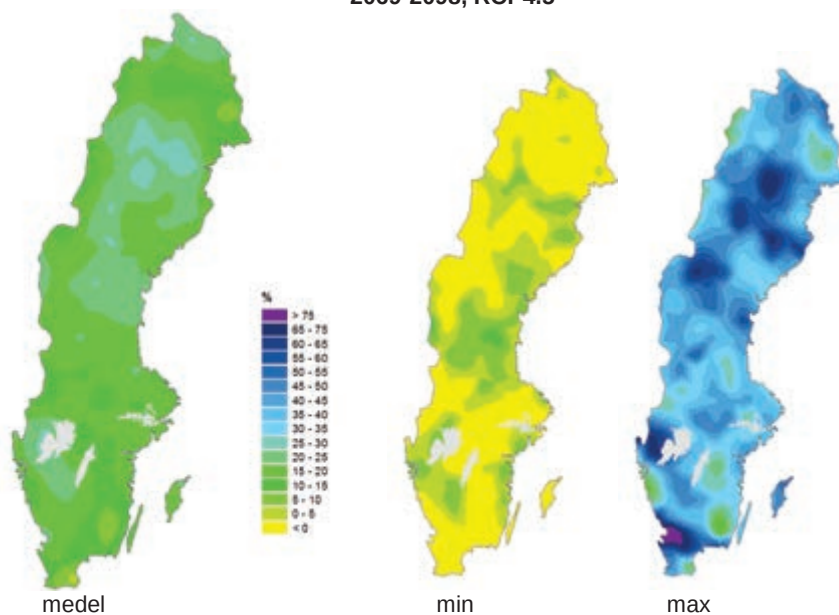
2021-2050, RCP8.5



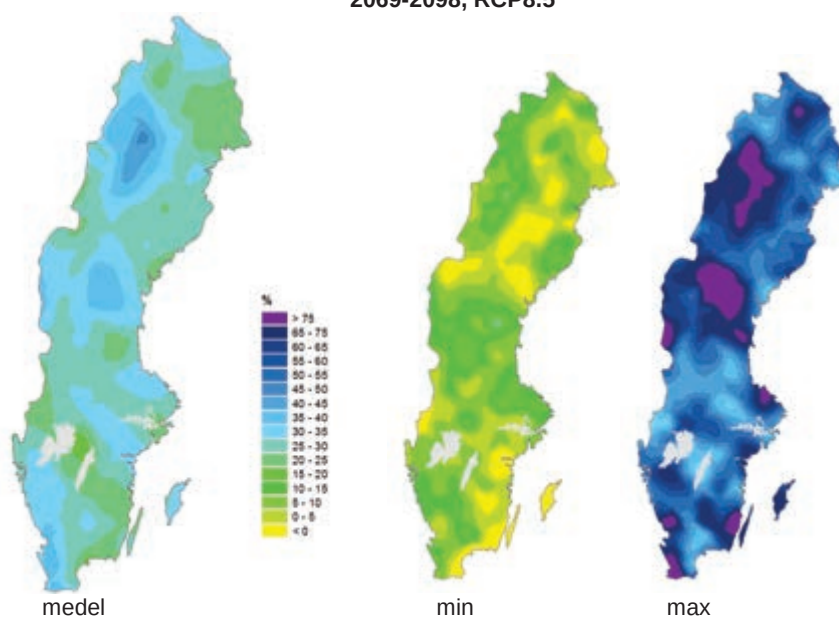
Figur A.21 Förändring (%) av 12-timmarsnederbörden med 10 års återkomsttid mellan referensperioden 1961-1990 och 2021-2050. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

Extrem nederbörd 12 timmar

2069-2098, RCP4.5



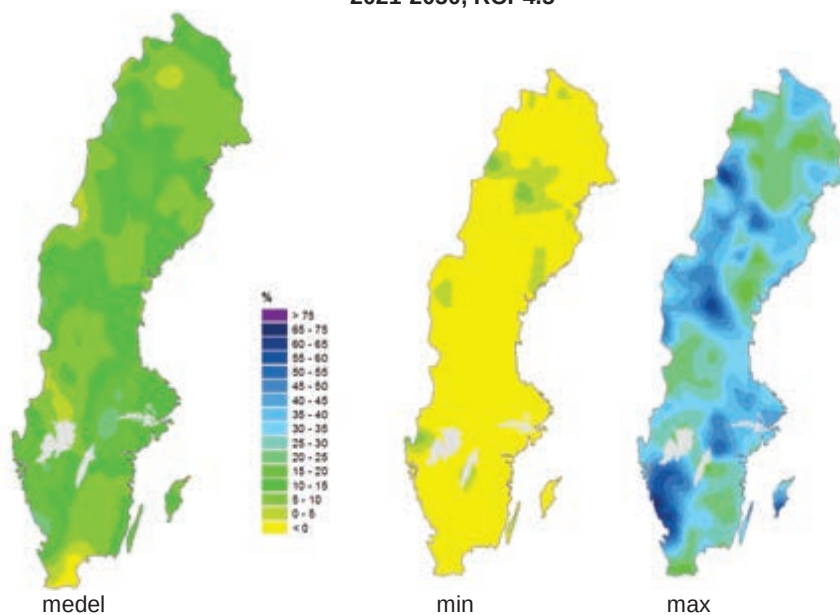
2069-2098, RCP8.5



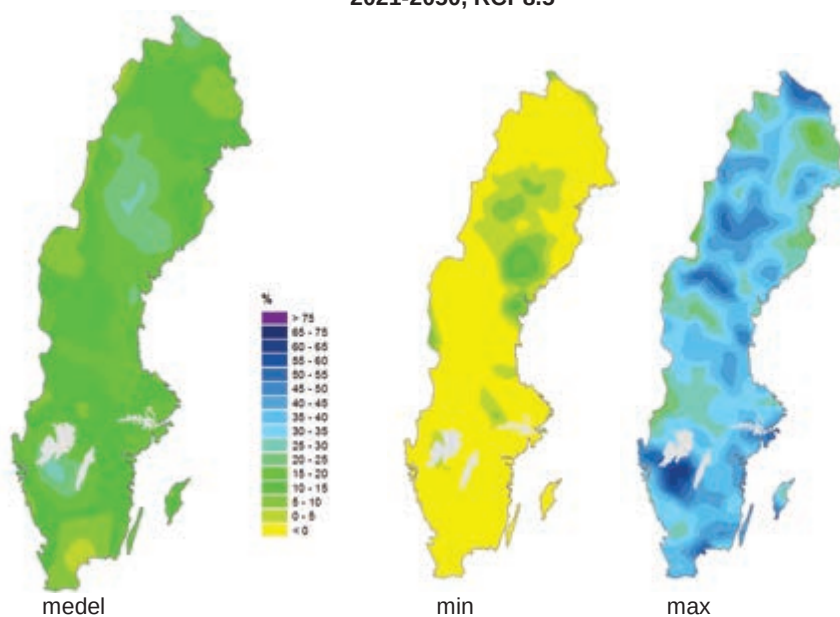
Figur A.22 Förändring (%) av 12-timmarsnederbörden med 10 års återkomsttid mellan referensperioden 1961-1990 och 2069-2098. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller

Extrem nederbörd 24 timmar

2021-2050, RCP4.5



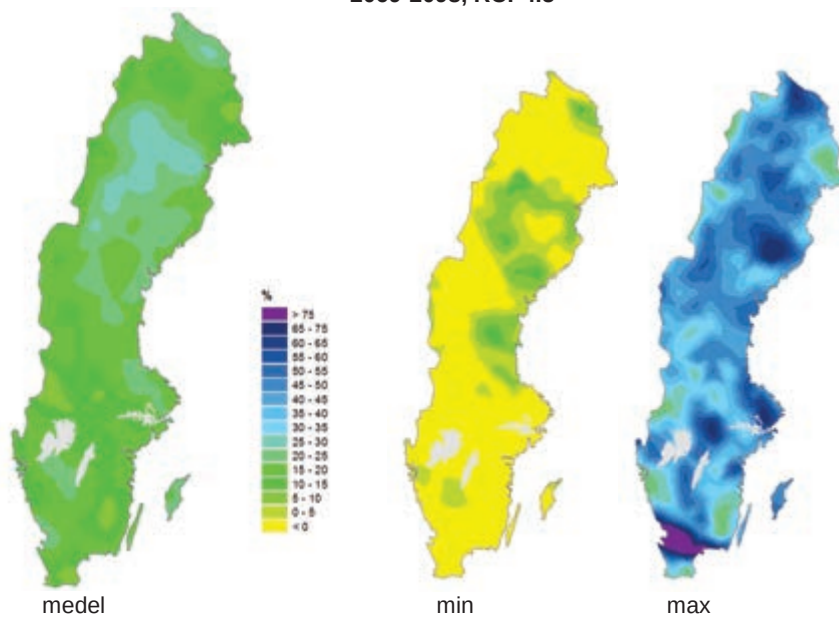
2021-2050, RCP8.5



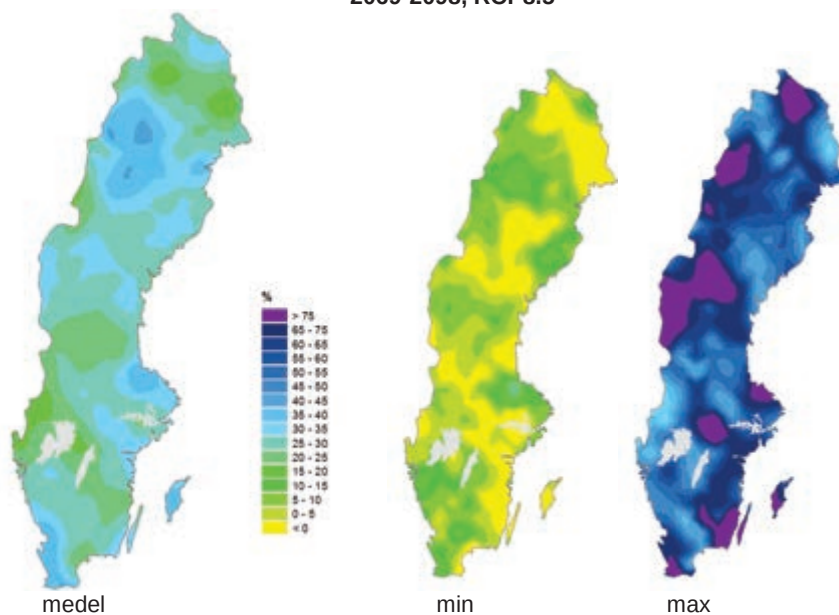
Figur A.23 Förändring (%) av 24-timmarsnederbörden med 10 års återkomsttid mellan referensperioden 1961-1990 och 2021-2050. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

Extrem nederbörd 24 timmar

2069-2098, RCP4.5



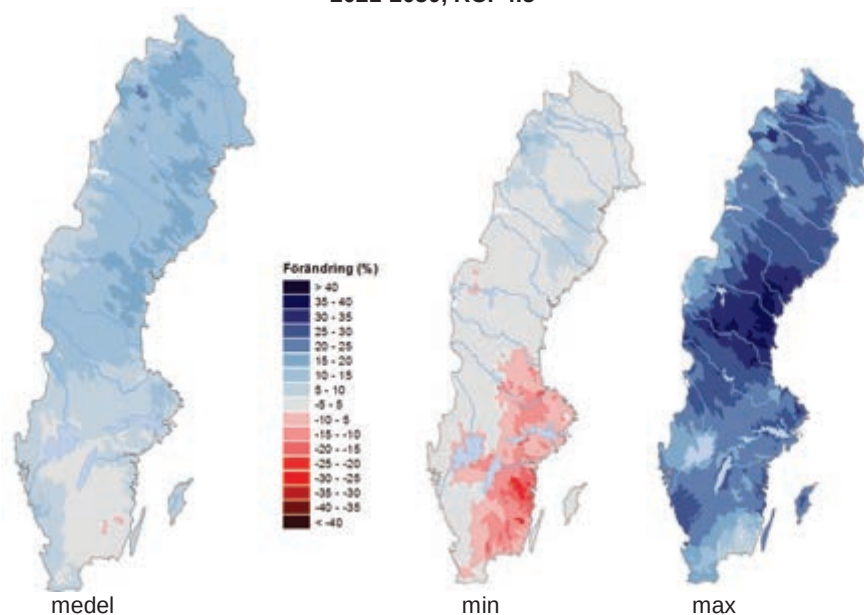
2069-2098, RCP8.5



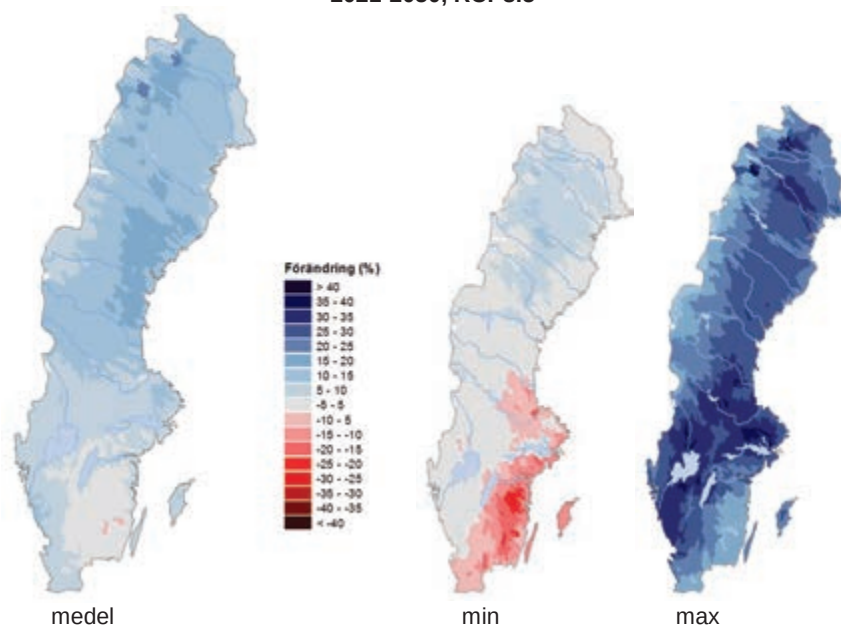
Figur A.24 Förändring (%) av 24-timmarsnederbörden med 10 års återkomsttid mellan referensperioden 1961-1990 och 2069-2098. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

Vattentillgång för hela året

2021-2050, RCP4.5



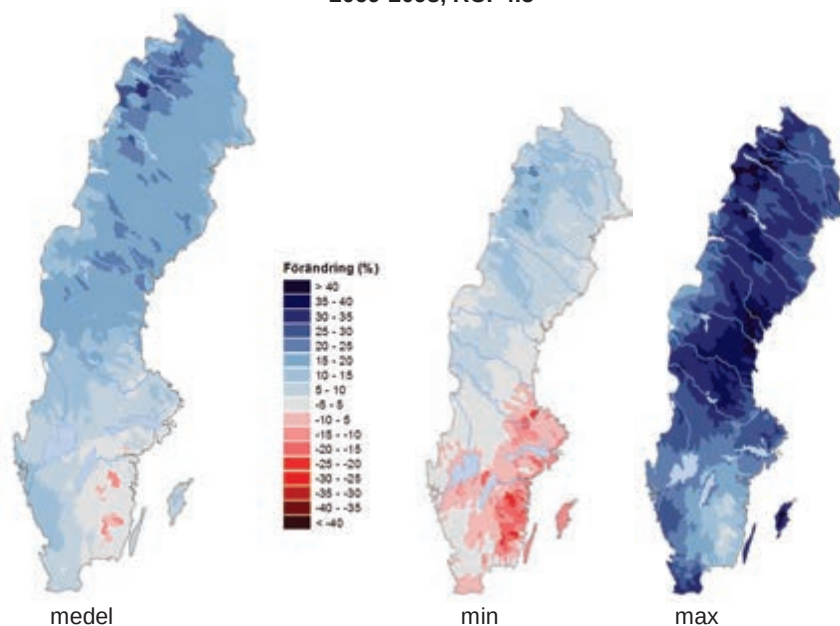
2021-2050, RCP8.5



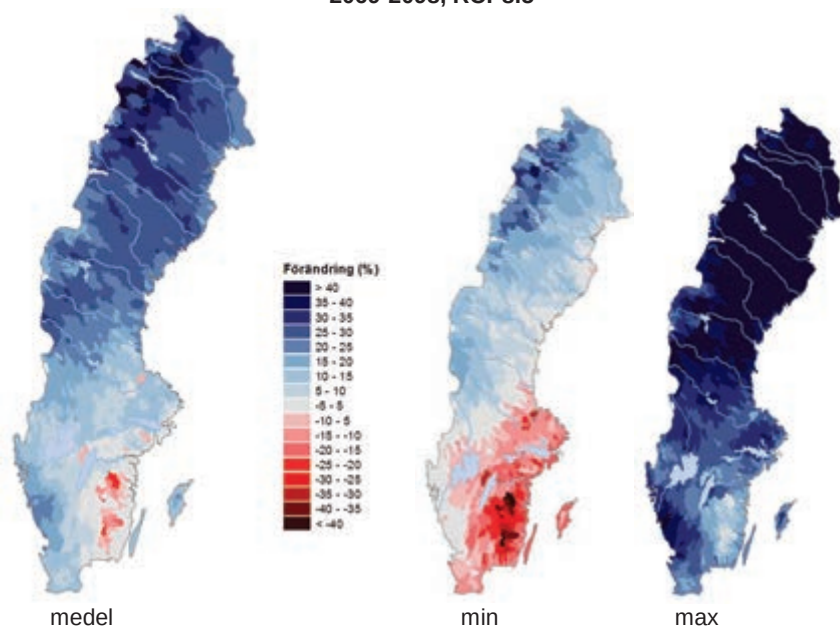
Figur A.25 Förändring (%) av Vattentillgång mellan referensperioden 1963-1992 och 2021-2050. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

Vattentillgång för hela året

2069-2098, RCP4.5



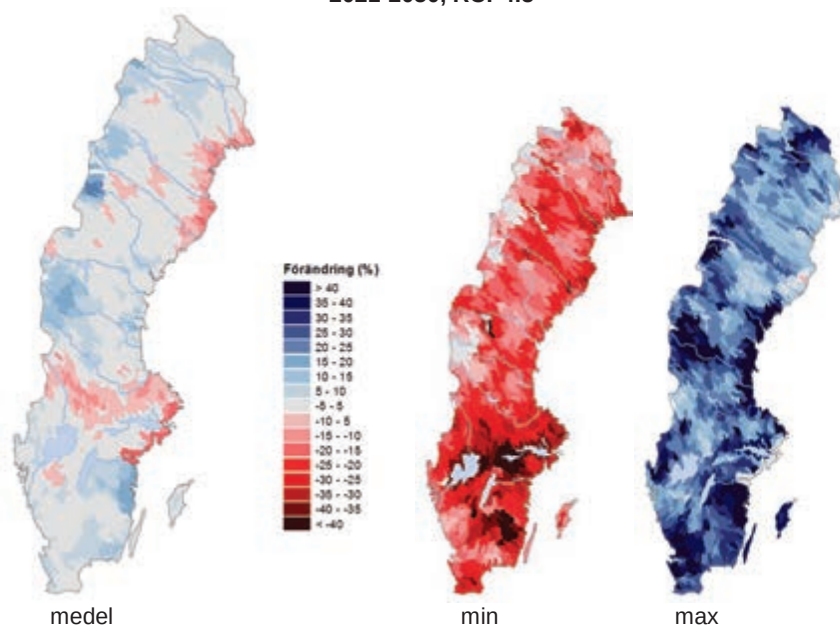
2069-2098, RCP8.5



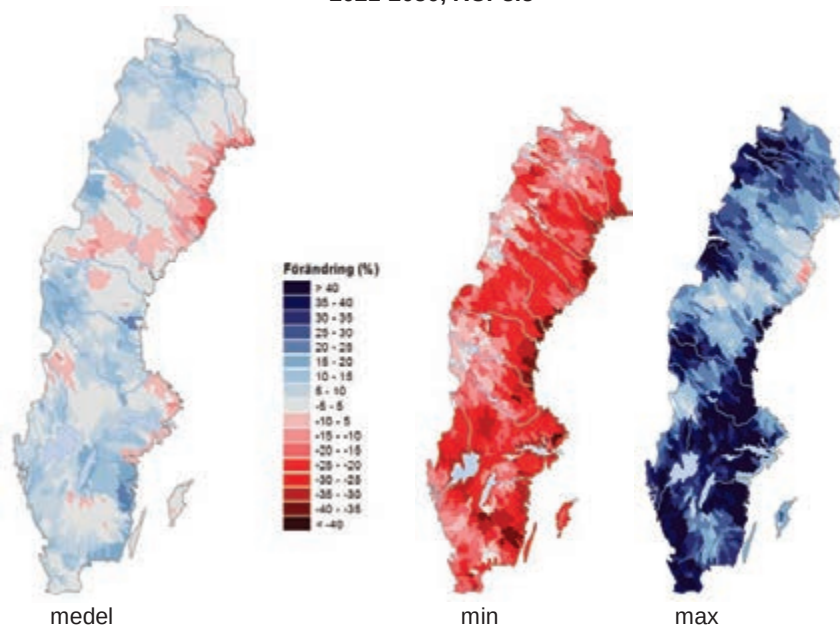
Figur A.26 Förändring (%) av vattentillgång mellan referensperioden 1963-1992 och 2069-2098. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

100-årsflöde

2021-2050, RCP4.5



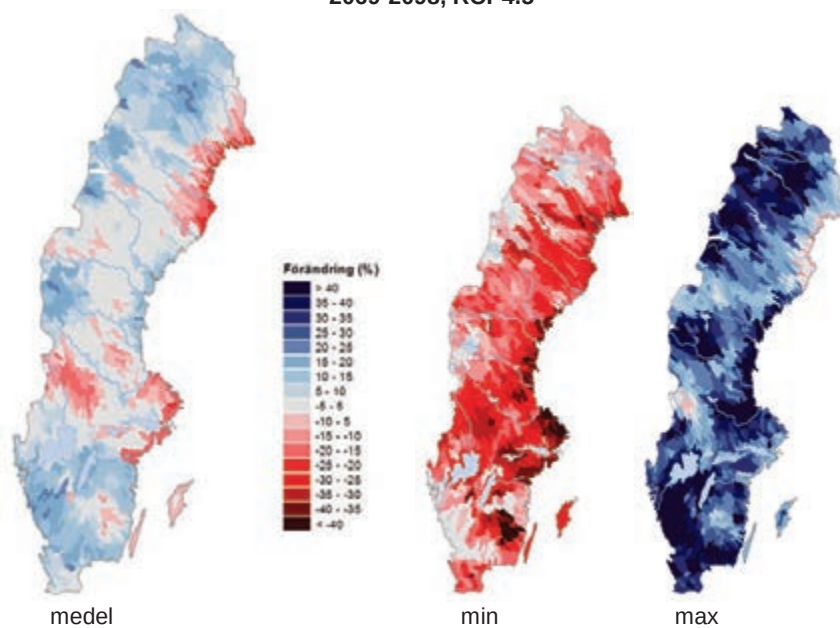
2021-2050, RCP8.5



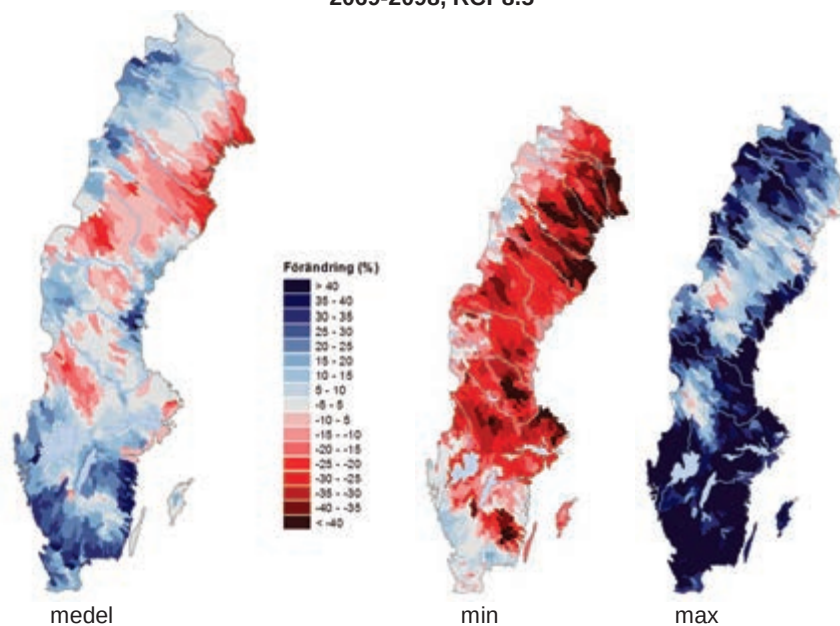
Figur A.27 Förändring (%) av 100-årsflödet mellan referensperioden 1963-1992 och 2021-2050. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

100-årsflöde

2069-2098, RCP4.5

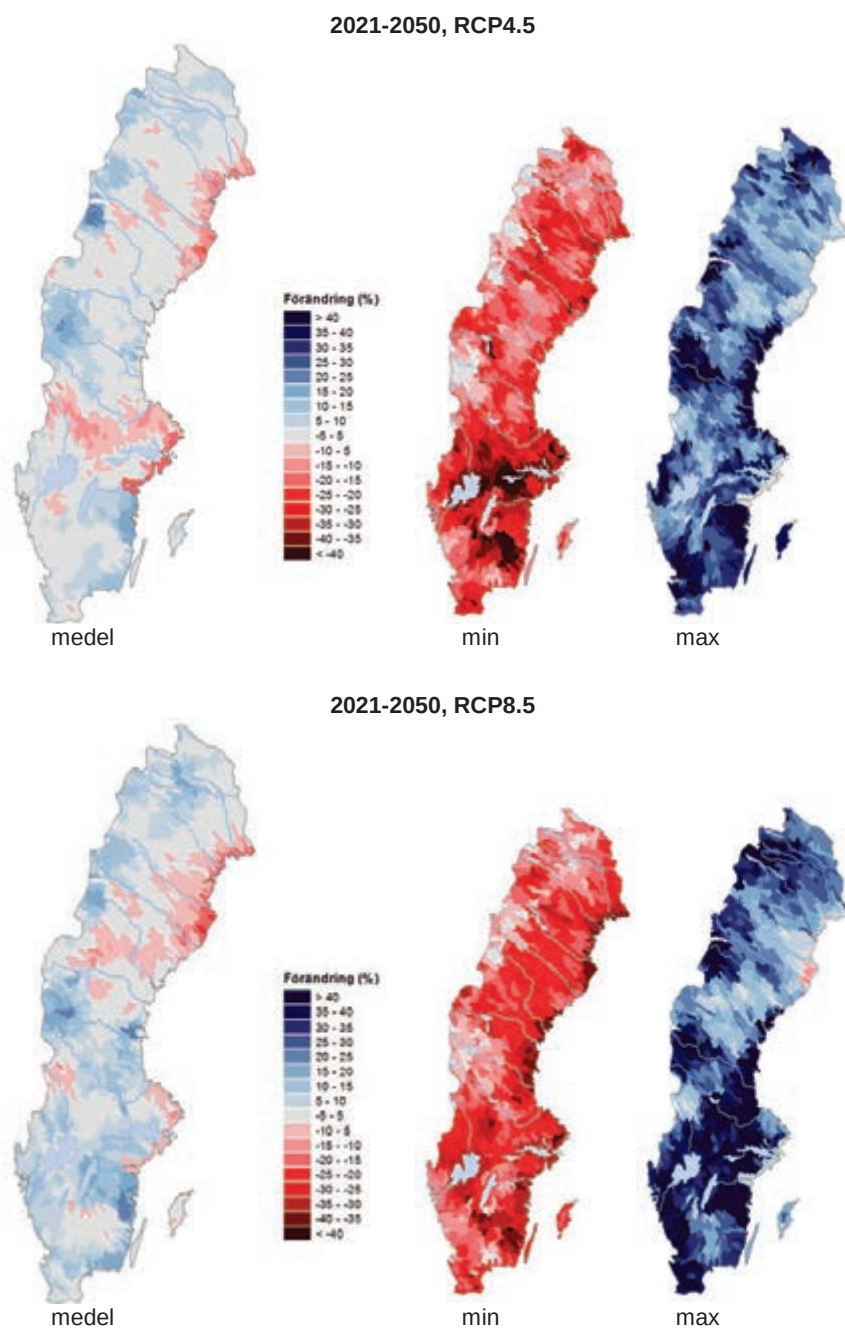


2069-2098, RCP8.5



Figur A.28 Förändring (%) av 100-årsflödet mellan referensperioden 1963-1992 och 2069-2098. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

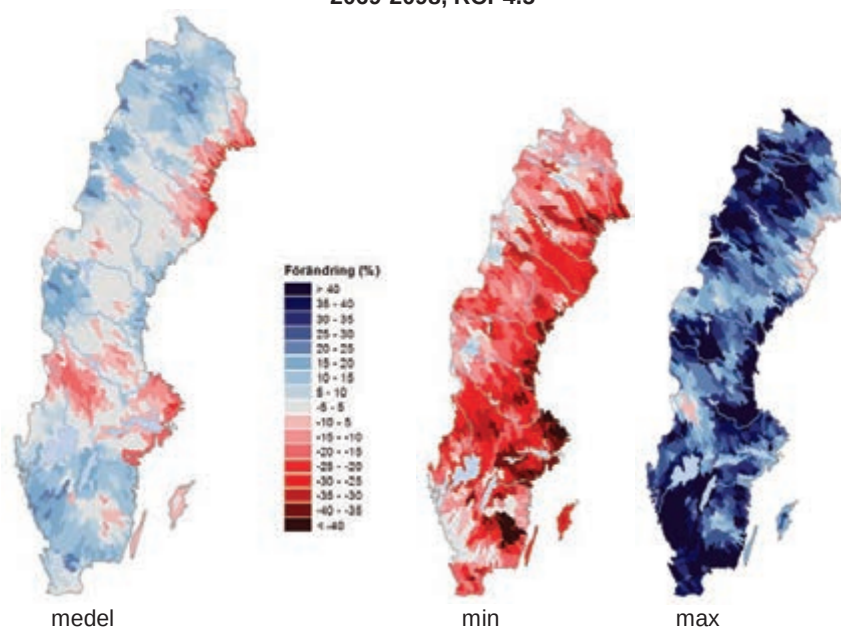
200-årsflöde



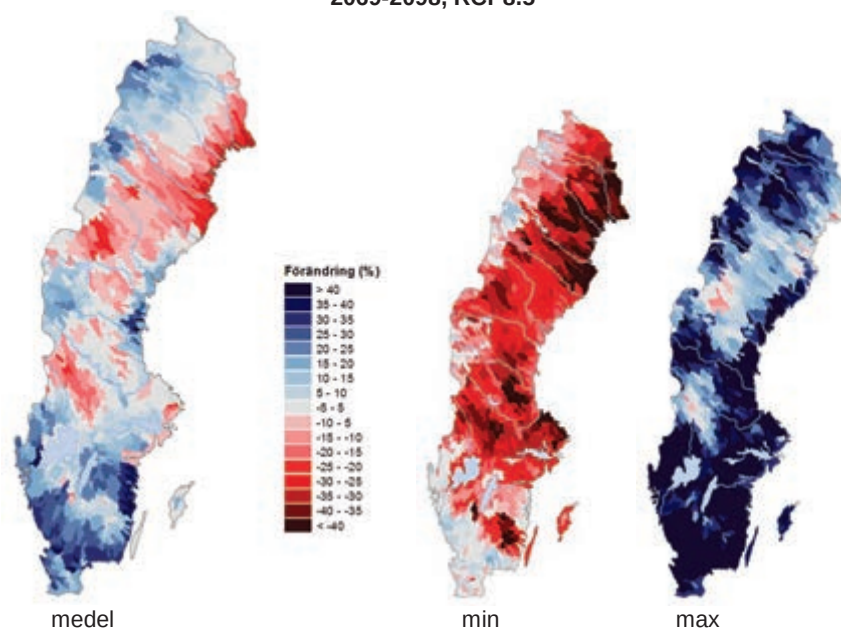
Figur A.29 Förändring (%) av 200-årsflödet mellan referensperioden 1963-1992 och 2021-2050. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

200-årsflöde

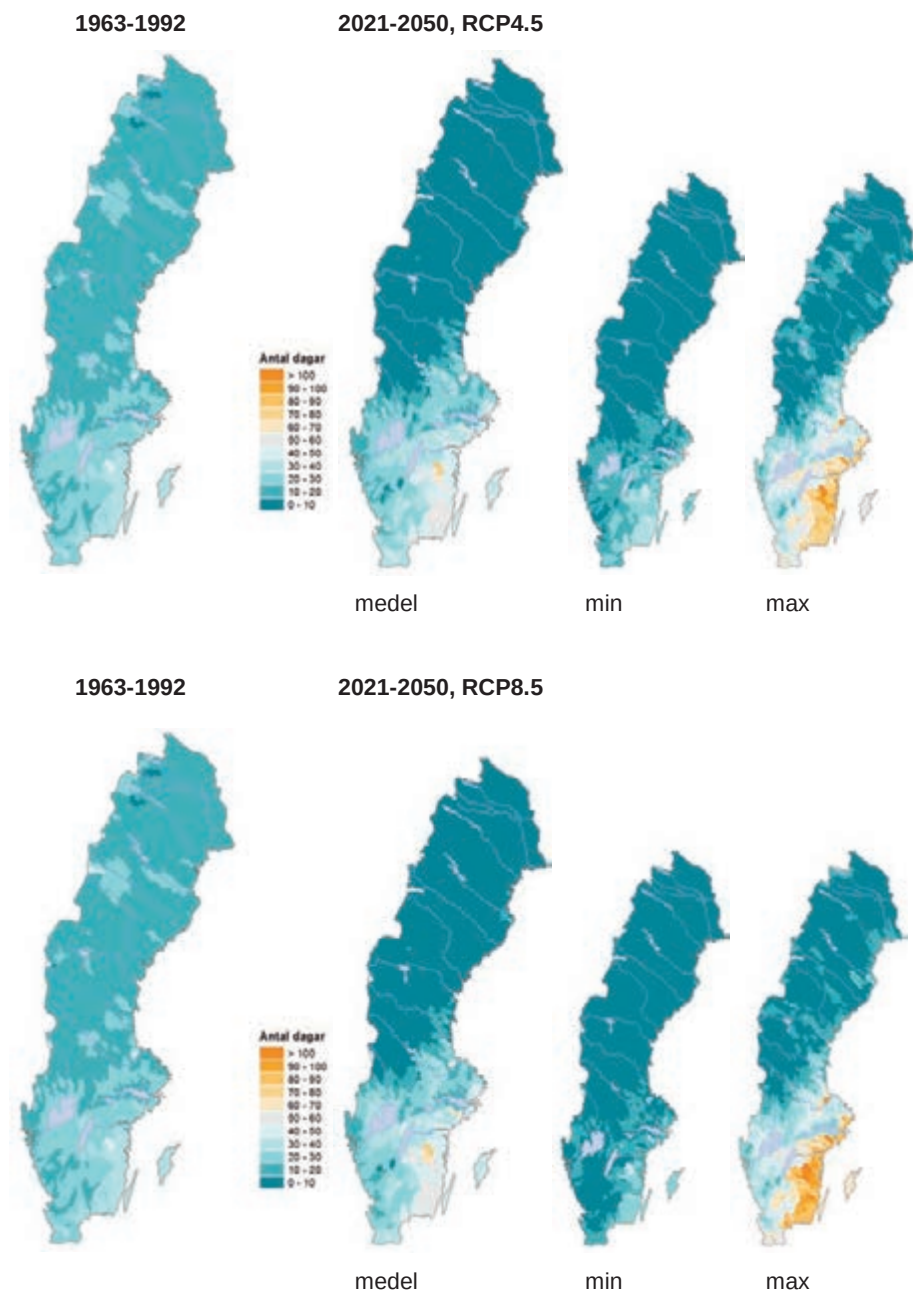
2069-2098, RCP4.5



2069-2098, RCP8.5



Figur A.30 Förändring (%) av 200-årsflödet mellan referensperioden 1963-1992 och 2069-2098. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

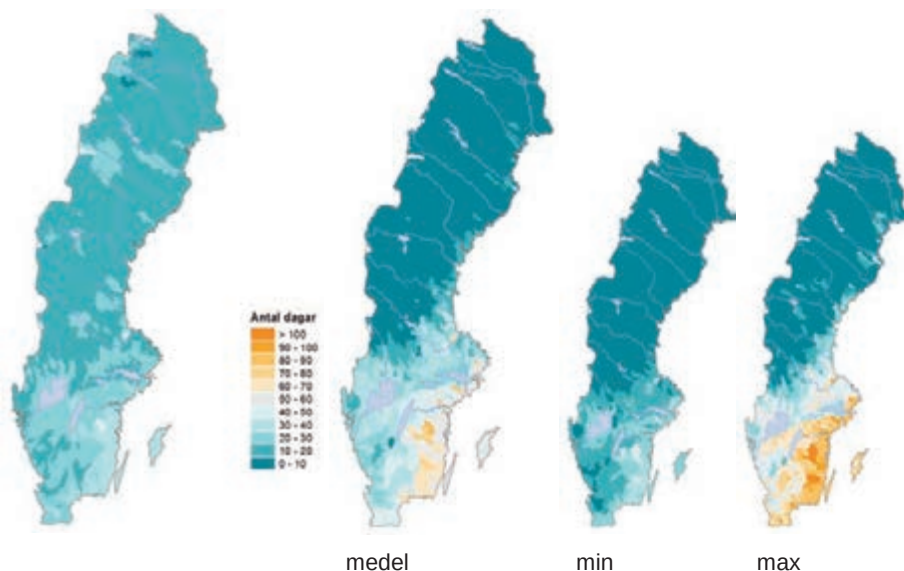
Lågflöden

Figur A.31 Antal dagar per år med låga vattenflöden för referensperioden 1963-1992 samt för perioden 2021-2050. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Lågt vattenflöde definieras som flöden under medelvärdet av alla års lägsta vattenflöde för referensperioden 1961-1990. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

Lågflöden

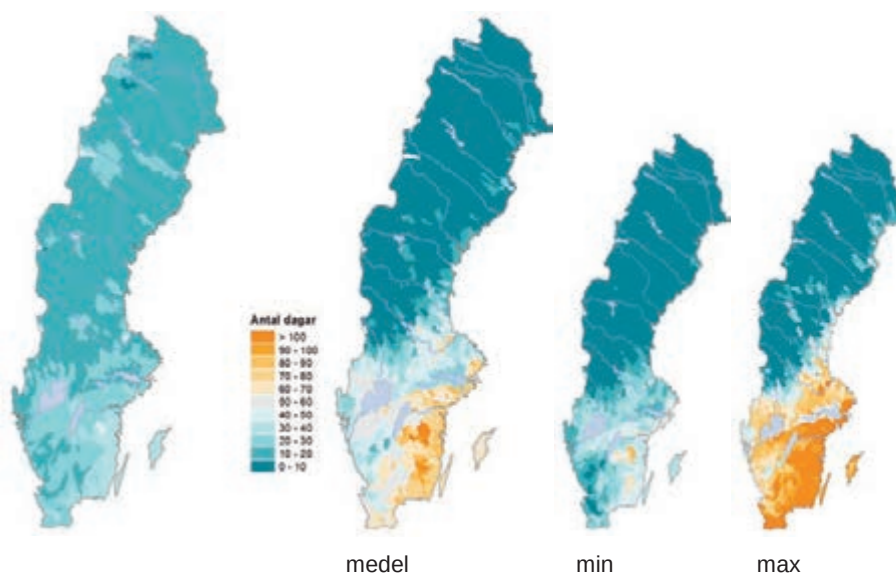
1963-1992

2069-2098, RCP4.5



1963-1992

2069-2098, RCP8.5

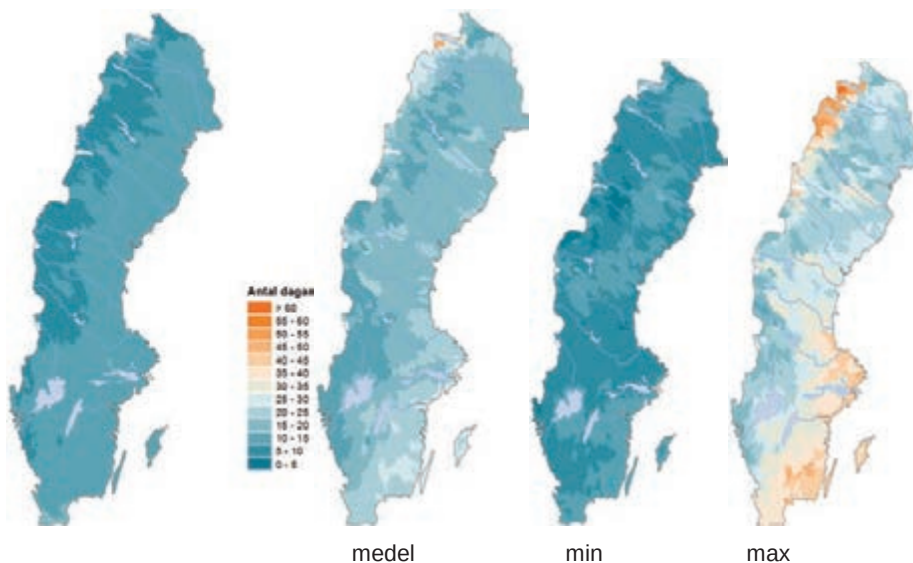


Figur A.32 Antal dagar per år med låga vattenflöden för referensperioden 1963-1992 samt för perioden 2069-2098. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Lågt vattenflöde definieras som flöden under medelvärdet av alla års lägsta vattenflöde för referensperioden 1961-1990. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

Markvattenhalt

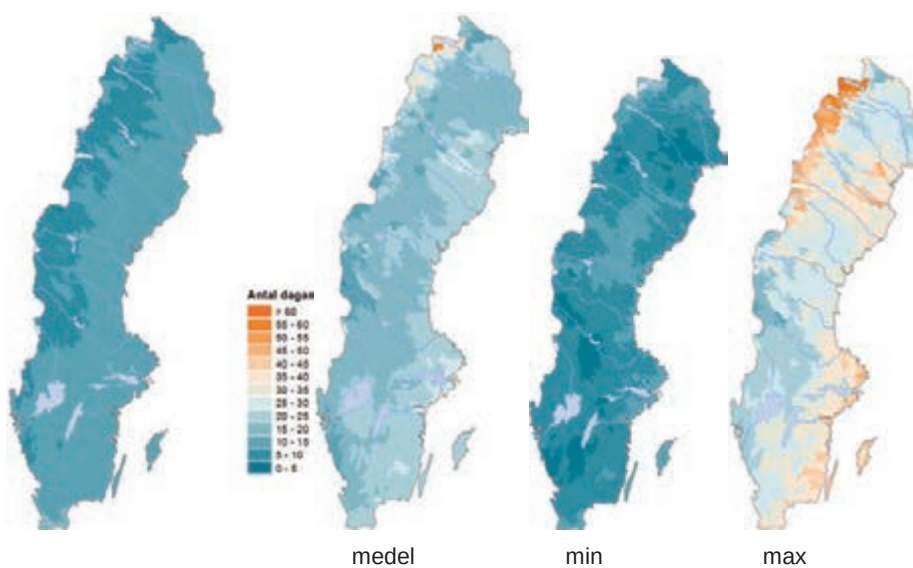
1963-1992

2021-2050, RCP4.5

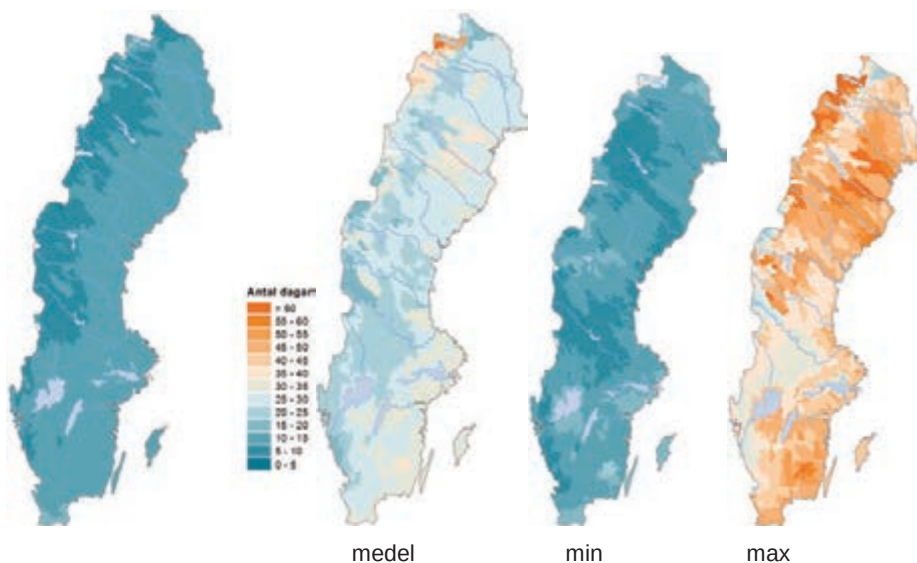
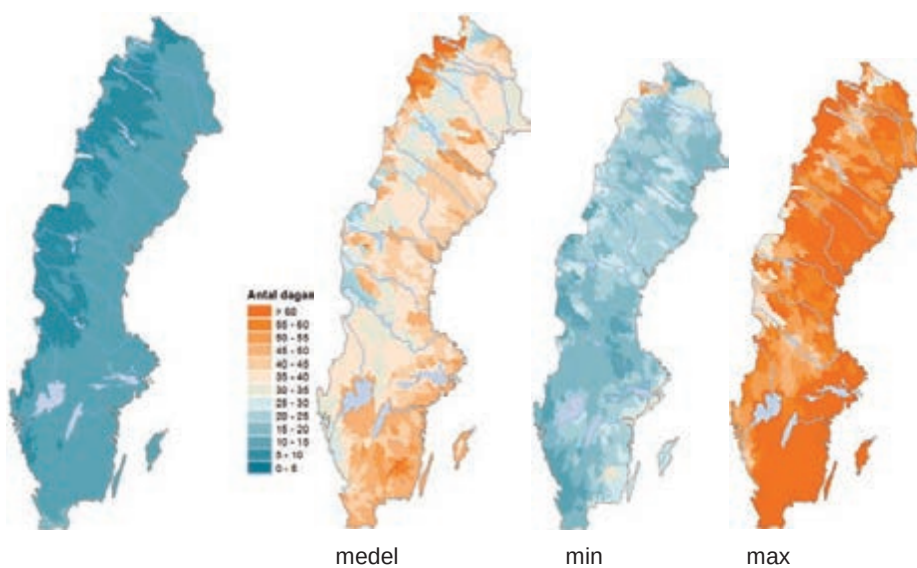


1963-1992

2021-2050, RCP8.5

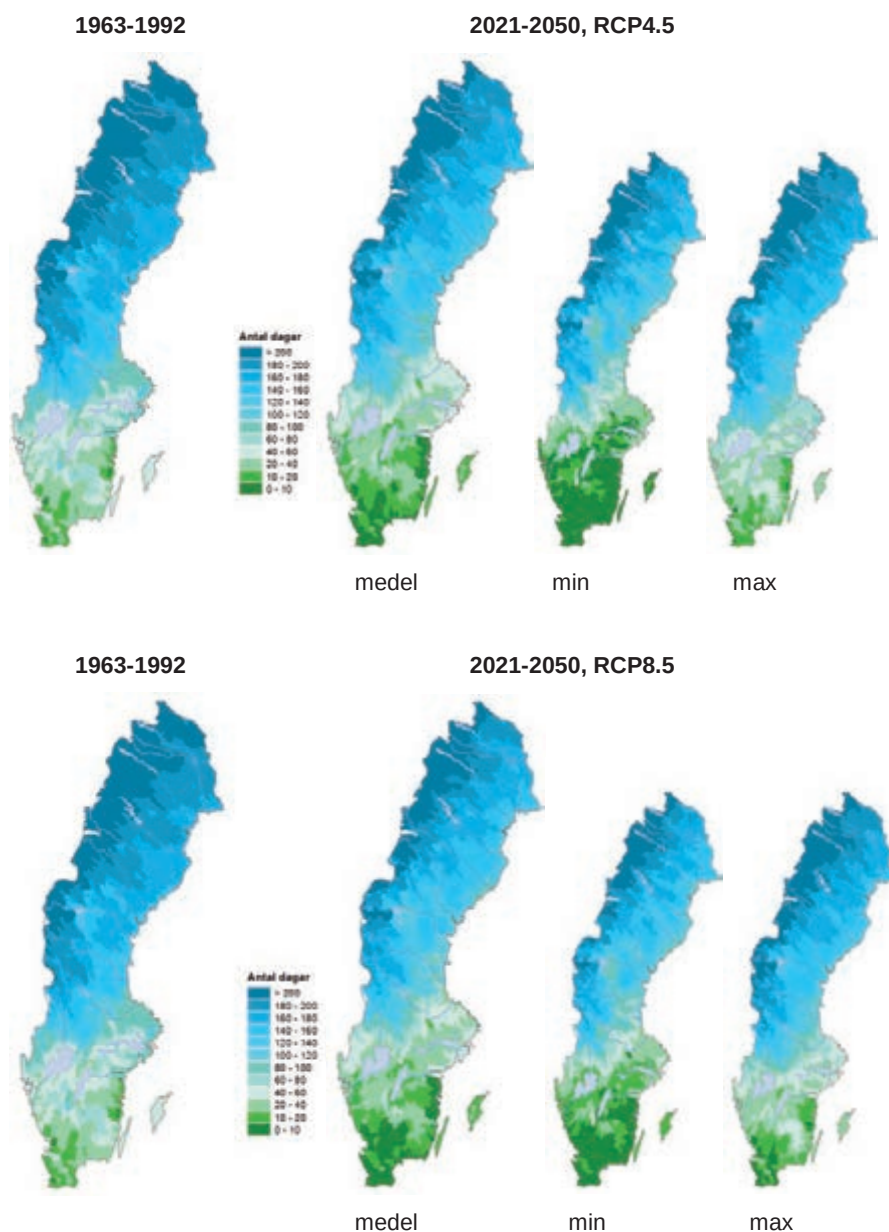


Figur A.31 Antal dagar per år med låg markvattenhalt för referensperioden 1963-1992 samt för perioden 2021-2050. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Låg markvattenhalt definieras som markvattenhalt under medelvärde av alla års lägsta vattenflöde för referensperioden 1961-1990. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

Markvattenhalt**1963-1992****2069-2098, RCP4.5****1963-1992****2069-2098, RCP8.5**

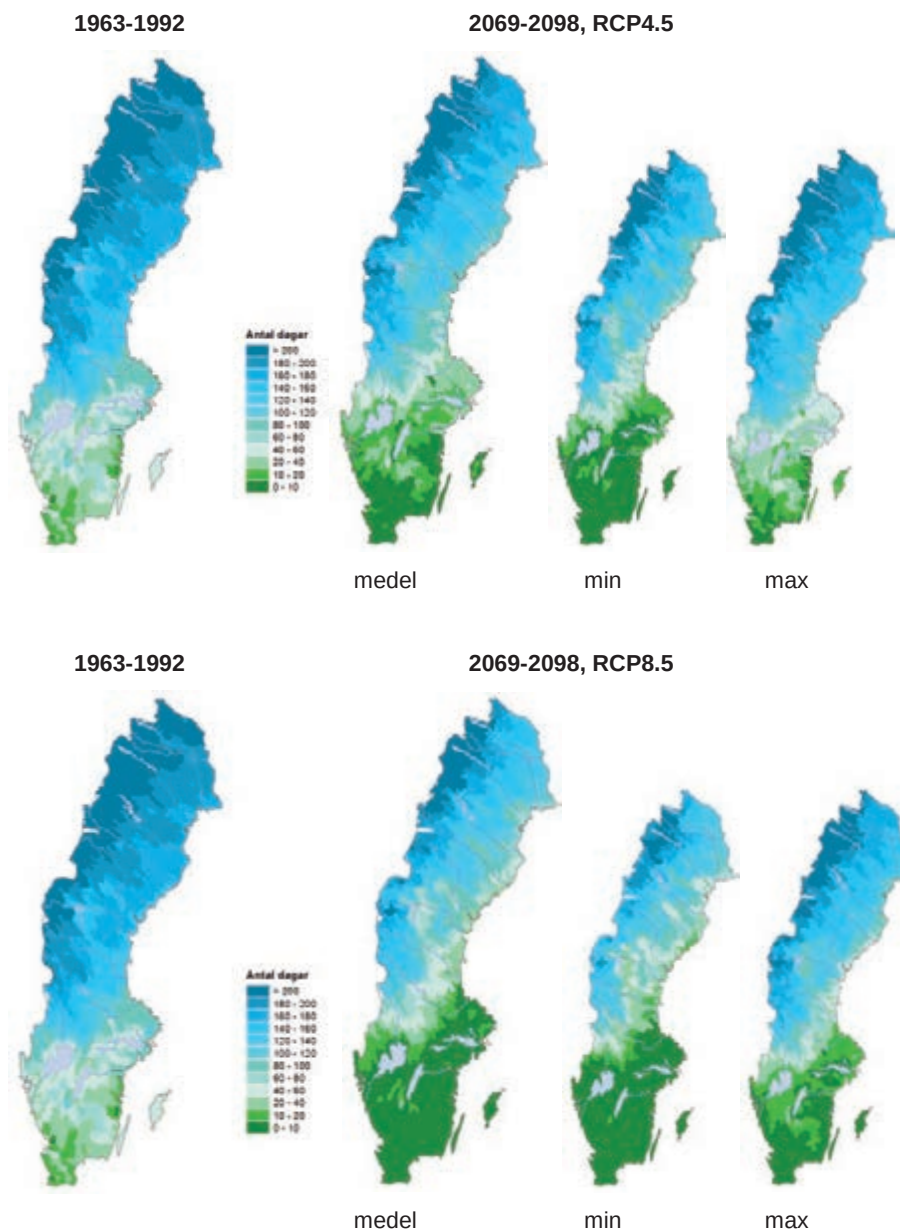
Figur A.32 Antal dagar per år med låg markvattenhalt för referensperioden 1963-1992 samt för perioden 2069-2098. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Låg markvattenhalt definieras som markvattenhalt under medelvärdet av alla års lägsta vattenflöde för referensperioden 1961-1990. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

Antal dagar med snötäcke



Figur A.33 Antal dagar per år med snötäcke för referensperioden 1963-1992 och 2021-2050. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

Antal dagar med snötäcke



Figur A.34 Antal dagar per år med snötäcke för referensperioden 1963-1992 och 2069-2098. Beräkningarna är baserade på resultat från nio globala klimatmodeller och för de båda scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. Kartorna för max och min visar resultat från den modell som ger den högsta respektive lägsta ökningen för varje beräkningspunkt. De vänstra kartorna är ett medelvärde för samtliga modeller.

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:

- | | |
|--|---|
| <p>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</p> <p>2 Gunn Persson, Markku Rummukainen (2010)
Klimatförändringarnas effekter på svenskt miljömålsarbete</p> <p>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</p> <p>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</p> <p>5 Sten Bergström (2012)
Framtidens havsnivåer i ett hundraårsperspektiv – kunskapssammanställning 2012.</p> <p>6 Jonas Olsson och Kean Foster (2013)
Extrem korttidsnederbörd i klimatprojektioner för Sverige.</p> | <p>7 Bidrag från arbetsgrupp 2 (WG 2) till den femte utförningen (AR 5) från Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. (2014)
FNs klimatpanel – Sammanfattning för beslutsfattare. Effekter, anpassning och sårbarhet.</p> <p>8 Att begränsa klimatförändringar. (2014)
(Ej publicerad)</p> <p>9. Eric Kjellström SMHI. Reino Abrahamsson, Pelle Boberg. Eva Jernbäcker Naturvårdsverket. Marie Karlberg, Julien Morel
Energimyndigheten och Åsa Sjöström SMHI. (2014)
Uppdatering av det klimatvetenskapliga kunskapsläget</p> <p>10- Risker och konsekvenser för samhället av förändrat klimat – en kunskapsöversikt (2014)</p> <p>11. Gunn Persson (2015)
Vägledning för användande av klimatscenarier.</p> <p>12 Lotta Andersson, Anna Bohman, Lisa van Well, Anna Jonsson, Gunn Persson och Johanna Farelus (2015)
Underlag till kontrollstation 2015 för anpassning till ett förändrat klimat.</p> |
|--|---|



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

BILAGA 7

Grundvattennivåns tidsmässiga
variationer i morän och jämförelser
med klimatscenarier

Grundvattennivåns tidsmässiga variationer i morän och jämförelser med klimatscenarier

Hanna Lagergren

maj 2015

SGU-rapport 2015:20



Omslagsbild: Artesiskt vatten ur ett prospekteringsrör i Stekenjokk. Foto: Fredrik Theolin.

Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00
fax: 018-17 92 10
e-post: sgu@sgu.se
www.sgu.se

INNEHÅLL

Inledning	5
Bakgrund	5
Grundvattennivåer med klimatscenarier	5
Nederbörd och temperaturer mellan 1975–2014	6
Sveriges regimområden	6
Metoder	7
Stationsurval	7
Regressionsanalys och signifikans	8
Exempel på observerade nivåserier 1975–2014	9
Resultat	9
Grundvattennivåns månadsmedelvärden i tioårsperioder	9
Förändringar i månadsmedelvärden i regimområdena	11
Grundvattennivåer i västra och östra Götaland	12
Trender i grundvattennivåns årsmedelvärden	12
Förändringar i högsta och lägsta grundvattennivåer	13
Skillnader mellan högsta och lägsta grundvattennivåer	14
Dagförskjutning av lägsta och högsta grundvattennivå	14
Diskussion	15
Referenser	16
Bilaga 1	17
Bilaga 2	19

INLEDNING

Inom Sveriges geologiska undersöknings (SGU) Grundvattennät har mätningar av grundvattennivåer utförts i mer än 40 år (Nordberg & Persson 1974). Syftet med nivåmätningarna är att beskriva och förklara tidsmässiga variationer i grundvattnets mängd i förhållande till klimat, geologi och topografi i olika delar av Sverige. Nivåerna varierar under året beroende på temperatur, nederbörd, jordar etc. Variationerna i södra Sverige skiljer sig således markant från norra Sverige.

Syftet med detta arbete var att undersöka eventuella trender och förändringar i uppmätta grundvattennivåer för perioden 1975–2014 inom områden med olika hydrologiska regimer. I arbetet har förändringar i variationsvidden (skillnad mellan högsta och lägsta nivå), medelnivåer och tider under året för maximi- och miniminivåer i olika delar av landet studerats med regressionsanalys för ett urval av stationerna inom SGUs Grundvattennät.

Klimatrelaterade förändringar i grundvattenbildning och grundvattennivå har de senaste åren behandlats i olika rapporter. Bland annat har nivådata från SGUs Grundvattennät använts för kalibrering av modeller för att beräkna grundvattennivåer i ett framtida klimat med hjälp av klimatscenarioer (Rodhe m.fl. 2009, Sundén m.fl. 2010). Ett delmål i den nu utförda studien var att utvärdera om den tidigare prognostiserade förändringen i grundvattennivå till följd av klimats förändring kan observeras i uppmätta nivåer.

Framtagandet av denna rapport ger ett stöd för uppföljningen av miljö kvalitetsmålet *Grundvatten av god kvalitet* som SGU ansvarar för. Rapporten kan också användas som ett komplement till de klimatstudier där grundvattennivåer beräknas i ett framtida klimat. Den utgör även ett underlag till den statliga utredningen *Dricksvattenutredningen* (L 2013:02).

BAKGRUND

Grundvattennivåer med klimatscenarioer

För att kunna relatera dagens redan observerade grundvattennivåer till framtida prognostiserade nivåer återges här resultaten från ett antal tidigare rapporter där grundvattennivåer beräknats fram med hjälp av olika klimatscenarioer.

I slutrapporten av det SGU-finansierade projektet Grundvattennivåer i ett förändrat klimat (Rodhe m.fl. 2009) användes en modell för att beräkna grundvattenbildning och grundvattennivåer för perioden 2071–2100 jämfört med referensperioden 1961–1990. I denna studie utfördes beräkningar för markklasserna morän och grov jord. Markklassen grov jord i modellen motsvarar långsamreagerande, större grundvattenmagasin i exempelvis isälvsavlagringar. Resultaten från modellkörningarna i morän visade att medelgrundvattennivåerna i norra Sverige kan komma att öka medan medelnivåerna i södra Sverige förutspås sjunka med 0,1–0,3 m, främst i Götaland och östra Svealand. Skillnaderna mellan den högsta och den lägsta nivån under ett år förväntas dock minska i norra Sverige på grund av att senvinterns låga nivåer ökar jämfört med idag. Detta beror på att kortare perioder med snölagring förväntas. Grundvattennivåns avsänkingsperiod (recession) under sommaren förväntas också bli längre vilket medför lägre nivåer under sensommaren. Detta innebär i sin tur att grundvattenbildningen under hösten inträffar senare med ett tydligare maximum.

I södra och mellersta Sverige ser grundvattnets nivåvariationer under året i stället ut att öka. Detta beror till stor del på att mer regn kan komma under vintern i stället för snö som kan lagras och fördröja grundvattenbildningen. Grundvattenmagasinen fylls på under större delen av hösten och vintern vilket ger högre nivåer i början på året och en mindre markerad snösmältningstopp. Sommarens nivåer förväntas sjunka på grund av stor avdunstning eller förbli oförändrade jämfört med dagens regim.

Sundén m.fl. (2010) har arbetat vidare med modelleringar av grundvattennivåer med den grundvattenmodell som användes av Rodhe m.fl. (2009). Fem olika modeller och två klimat-

scenarier användes vilka gav stora skillnader i resultaten för perioden 2071–2100. Störst var skillnaderna i beräknade månadsmedelvärden mellan olika modeller och scenarier under vinterhalvåret, då grundvattenbildningen normalt är mer komplex. Nästan alla resultat visade en höjd grundvattennivå under början av året för de flesta stationer som ingick i modellen (14 stycken). Precis som tidigare beskrivits av Rodhe m.fl. (2009) ser nivåerna ut att öka främst i norra Sverige, medan de kan komma att minska i sydöstra delarna av landet samt längs Norrlandskusten. Under sommaren och hösten kan nivåerna bli lägre i framtiden för att vid slutet av året vara oförändrade eller öka något. Modellerna visar att högsta- och lägstanivåerna förmodligen inte kommer att förändras så mycket i framtiden, dock kommer skillnader i månadsmedelvärdena mellan extremnivåerna att bli mycket större.

Nederbörd och temperaturer mellan 1975–2014

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SHMI) har upp till 150 års observationsdata med nederbörd och temperatur. De senaste 23 åren har varit de mest nederbördsrika och varmaste åren som uppmätts, även om kortare perioder med höga temperaturer och stor nederbörd observerats tidigare. Den största temperaturökningen har skett i norra Sverige. Årsmedeltemperaturen har varit mycket över den normala, speciellt under vintern och våren som de senaste 23 åren ökat med mellan 1 och 1,5 °C, jämfört med referensperioden 1961–1990 (Kjellström m.fl. 2014). Perioden 1975–2014 började med lägre årsmedeltemperaturer än normalt. År 1985 började dock temperaturen stiga ordentligt under alla årstider utom hösten, som inte förrän 1995 visade en ökning av årsmedeltemperaturen. Från år 2005 har temperaturen sjunkit något under vintern och hösten men fortfarande har årsmedeltemperaturen varit mycket över de normala.

Årsmedelnederbörden har ökat nästan konstant under hela perioden (1975–2014) med ett mindre uttalat maximum runt år 2000. Under sommarmånaderna mellan 1970 och 1975 uppmättes de lägsta nederbördsmängderna sedan 1800-talet. Nederbörden har därefter ökat fram till år 1995 då den minskade en aning för att sedan stiga igen. Vinterns högsta nederbördsmängd uppmättes 1990. Nederbördsmängden har därefter hållit sig relativt stabil (SMHI 2014a, b).

Sveriges regimområden

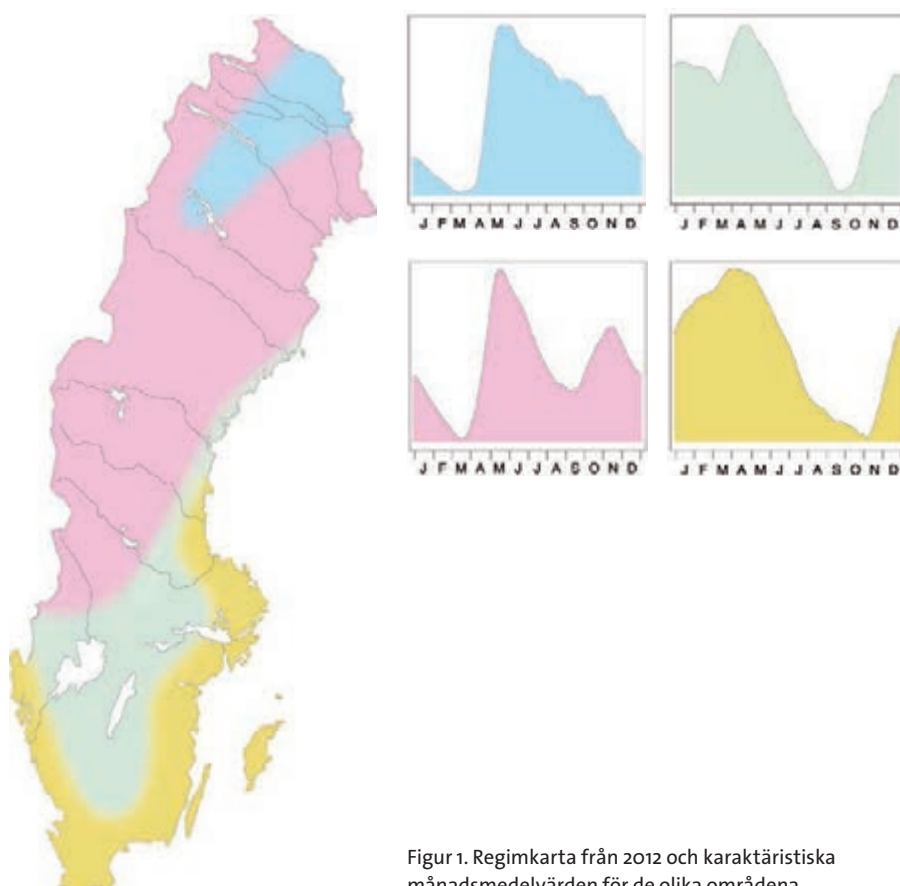
Det finns en stor skillnad i grundvattennivåns årstidsvariation mellan olika platser i Sverige. För att förklara grundvattennivåernas årstidsvariationer i områden där de hydrologiska och klimatologiska förutsättningarna är likartade, har SGU delat in Sverige i fyra grundvattenregimer med hjälp av data från Grundvattennätet (fig. 1). Regimkartan baseras på nivådata från snabbreagerande grundvattenmagasin som vanligtvis utgörs av morän.

Regim 1 omfattar endast en mindre del av inre nordligaste Norrland och karaktäriseras av snabbt stigande grundvattennivåer på våren som en effekt av kraftig snösmältning. Då avdunstning och snölagringen normalt hindrar vidare grundvattenbildning under hösten och vintern, minskar nivåerna sedan gradvis ända fram till nästa års snösmältning.

I regim 2 inkluderas större delen av Norrland inklusive norra Norrlandskusten och två maxnivåer kan normalt observeras, en på våren i samband med snösmältning och en under senhösten då avdunstningen minskat.

Regim 3 täcker södra Sveriges inland och där är grundvattennivån vanligen som lägst under sensommaren medan den sedan stiger i samband med höstens regn och låga avdunstning. När nederbörden kommer i form av snö upphör grundvattenbildningen och nivåerna minskar igen fram till snösmältningen på våren.

Regim 4 utgörs av södra Sveriges kustområden och i dessa områden saknas betydande snölagring vilket leder till att grundvattennivån stiger på grund av nederbörd i form av regn från sen höst till vår. Under sommarhalvåret sjunker grundvattennivån då avdunstningen är hög.



Figur 1. Regimkarta från 2012 och karaktäristiska månadsmedelvärden för de olika områdena.

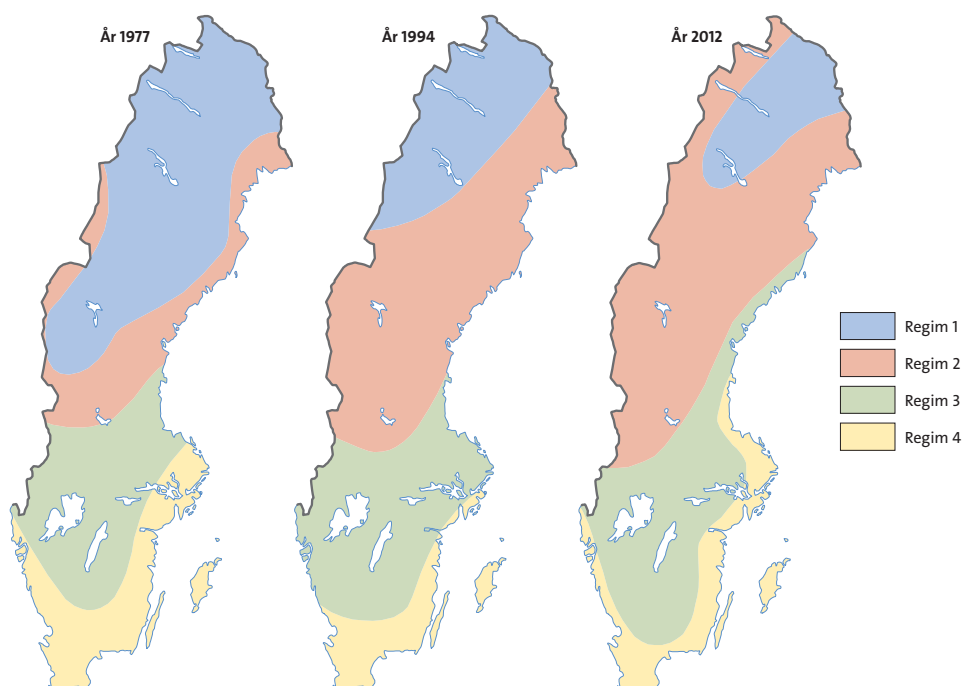
Den första regimkartan framställdes 1977 (fig. 2) och sedan dess har ytterligare två kartor framställts (år 1994 och år 2012) för att korrigera för ändrade variationsmönster i grundvattennivåer till följd av förändrade temperatur- och nederbördsmönster. Regimkartan från år 2012 skiljer sig tydligt från tidigare kartor. Framför allt har de hydrologiska förhållandena i norra Sverige påverkats. Regim 1 utgjorde år 1977 en stor del av inre Norrland men har på senare år krympt avsevärt och utgör idag bara den nordligaste delen av Norrland.

METODER

Stationsurval

De mätstationer som skulle ingå i analysen valdes ut från Grundvattennätet som idag består av ca 300 mätstationer fördelade på ett sjuttioal observationsområden runt om i Sverige. Följande kriterier användes:

- Tidsserierna ska ha startat senast år 1980 och nivåmätningar ska inte ha avslutats.
- Bara stationer i morän (små snabbreagerande grundvattenmagasin) valdes.
- Berginstallerade rör som överlagras av morän filtreras bort.
- Mätstationer ska ha nivåserier som bedömts med kvalitetsklass A eller B (se nedan).



Figur 2. Regimområdenas utseenden genom åren. Störst förändring har skett i norra Sverige. Regim 1 har minskat betydligt och regim 4 utgörs idag i större omsträckning av södra Sveriges kustområden.

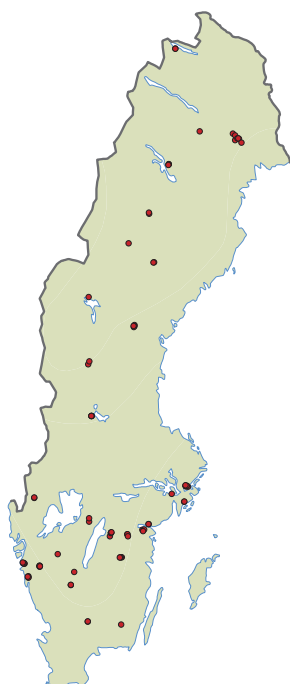
Då det fanns uppdaterade utvärderingar av grundvattennätet från år 2014 gjordes ett urval (sista punkten i kriterielistan) för att utesluta mätstationer som uppvisar brister i mätdata. Bristerna kan bland annat bero på igensättningar i rör eller på att röret är för kort (grundvattennivån är lägre än rörets botten eller grundvattennivån går över rörets överkant). Nivåserierna har tidigare utvärderats visuellt och varje station har klassificerats enligt följande:

- A. Ingen anmärkning.
- B. Enstaka avvikande värden.
- C. Kurvan har märkligt utseende.

Det slutliga antalet mätstationer som användes i detta arbete är 82 mätstationer fördelade på 29 observationsområden (fig. 3).

Regressionsanalys och signifikans

Förändringen i grundvattnets medel-, min- och maxvärden, nivåskillnad (skillnad mellan högsta och lägsta nivåer) och dagförskjutning av min- och maxnivå för perioden 1975–2014 beräknades med regressionsanalys för varje station och regimområde. Regressionsanalysen utfördes med programvaran SAS (Statistical Analysis System) på traditionellt sätt med linjär anpassning och minsta kvadratmetoden. Regressionsanalys utfördes också för att avgöra signifikansen hos trenderna. Signifikansnivån 5 % användes. Trenderna kan antingen vara positivt statistiskt signifikant eller ej signifikant (ökande nivåer alternativt senare dagförskjutning), eller negativt statistiskt signifikant eller ej signifikant (minskande nivåer alternativt tidigare dagförskjutning).



Figur 3. Aktuella mätstationer efter stationsurvalet.

Exempel på observerade nivåserier 1975–2014

Figur 4 visar några exempel på observerade nivåserier från stationsurvalet för perioden 1975–2014. Stationerna representerar olika delar av landet, från Jokkmokk i norra Norrland till Emmaboda i sydvästra Sverige. Årsmedelvärden har också beräknats som tydligare visar mellan-årsskillnader.

Stationerna i Jokkmokk och Åsele som representerar norra Norrland visar på relativt oförändrade nivåer. En lite större variation i mellanårsmedelvärden syns de sista 20 åren i tidsserien för stationen i Jokkmokk men även större inomårsvariationer observeras de sista tio åren. Stationen i Mora visar på relativt oförändrade årsmedelnivåer och högstanivåer, men en tydlig höjning av lägstanivån de senaste femton åren. Enstaka år med små inomårsvariationer verkar dock komma ungefär vart tionde år. Stationerna i Nissafors och Emmaboda i södra Sverige visar tydligast på att årsmedelnivåerna ökat. I Nissafors framgår också tydligt speciellt torra år, som 1976, 1996 och 2003.

RESULTAT

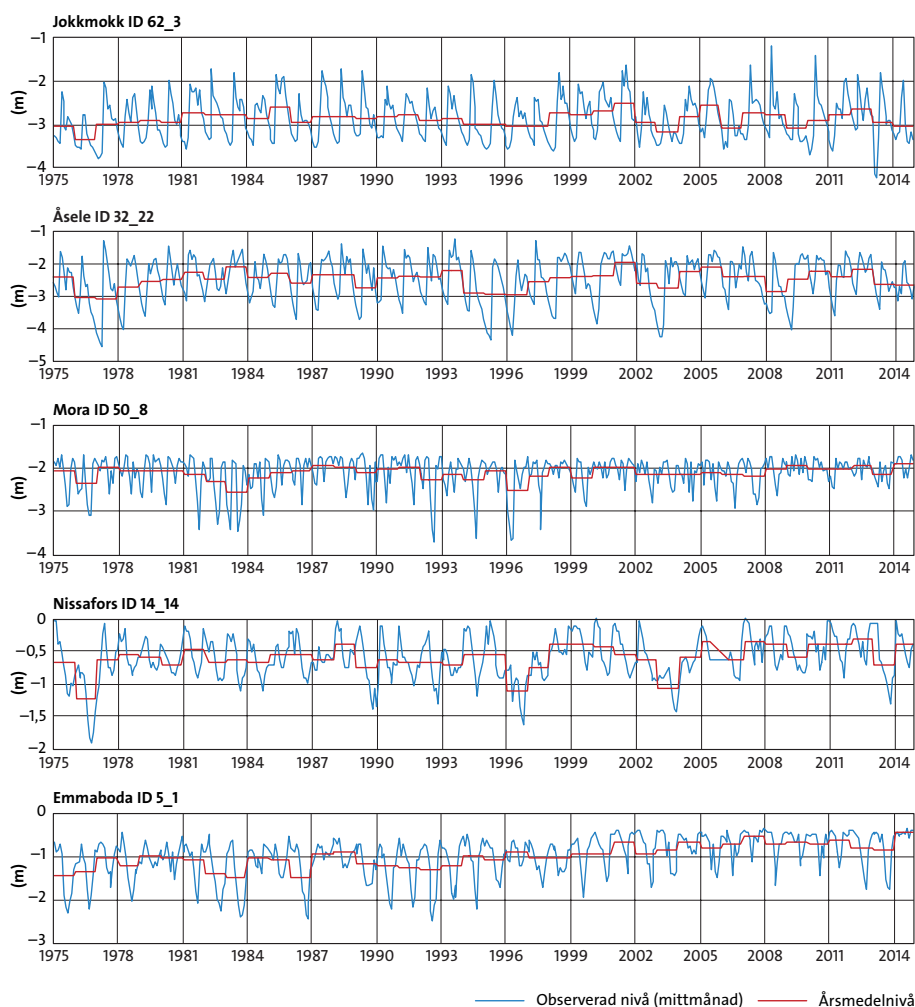
Grundvattennivåns månadsmedelvärden i tioårsperioder

För att undersöka hur grundvattennivåernas variation under året har förändrats under 40 år beräknades månadsmedelvärden för varje station och månad för perioderna 1975–1984, 1985–1994, 1995–2004 och 2005–2014. Därefter beräknades ett medelvärde för varje månad och tioårsperiod. Genom att dela in perioden i tioårsintervall kommer också effekter av regionala variationer i klimatet att framträda tydligare.

Av figur 5 att döma har de senaste tio åren (2005–2014) präglats av tydligt förhöjda grundvattennivåer under vintern och sommaren, vilket också lett till mer utjämnade nivåer över året.

Detta beror på att nederbörden under vintern fallit mer som regn än som snö på senare år. Maxvärdet i samband med snösmältningen har ökat något vilket tyder på att nederbörden under vintern har ökat något.

En successivt ökad nederbörd under sommaren sedan 1970-talet har lett till betydligt högre grundvattennivåer under sommarmånaderna. Från SMHI:s tidsserier över nederbörd framgår det dock att det under de första tio åren (1975–1985, blå linje) kom exceptionellt mycket mer nederbörd under hösten (sep–nov) än vad det kommit senaste 30 åren (SMHI 2014b). I figur 5 kan man tydligt se att månadsmedelnivån i oktober under perioden 1975–1984 är ungefär lika med månadsmedelnivån de senaste tio åren (2005–2014). Samtidigt som nederbörden ökat under sommaren har det också blivit varmare på hösten. Grundvattennivåns avsänkingsperiod under sommaren har de senaste 20 åren därför förlängts med ett par veckor.

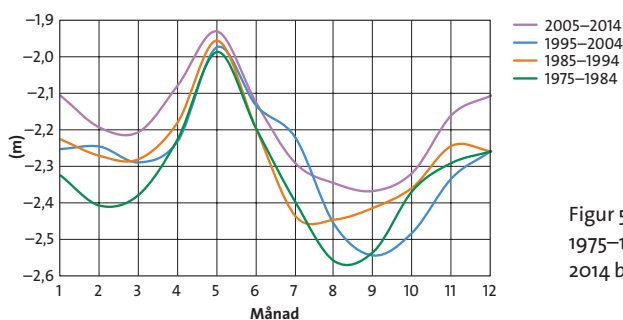


Figur 4. Exempel på nivåserier för några utvalda stationer som representerar norra Sverige (högst upp) och södra Sverige (längst ner). Figurerna visar observerade mittmånadsvärden (blå) och beräknade årsmedelvärden (röd).

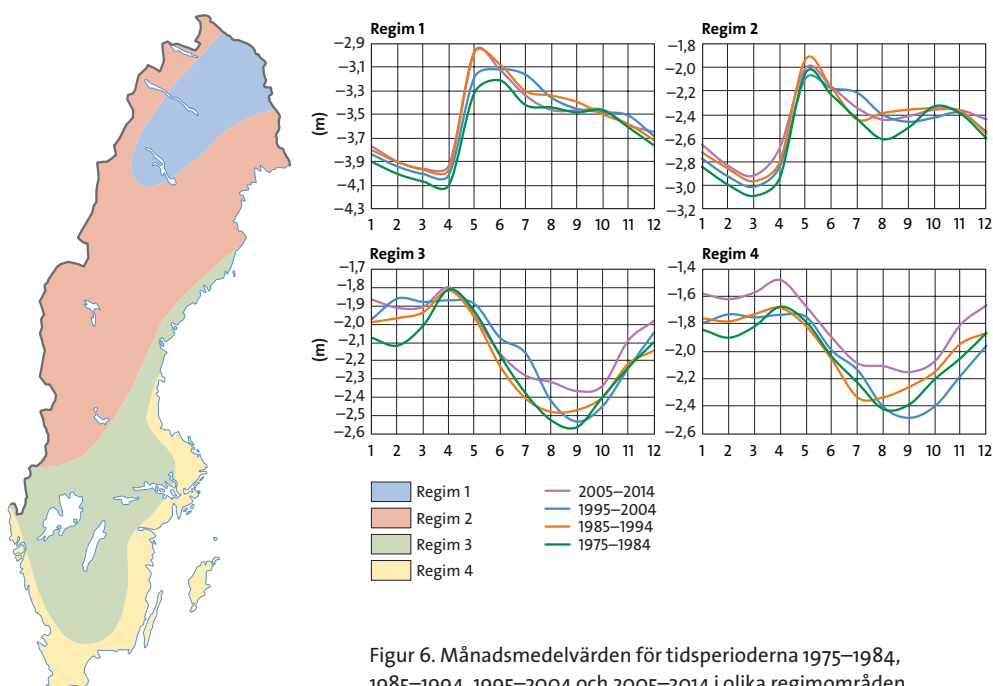
Förändringar i månadsmedelvärden i regimområdena

Då de hydrologiska och klimatologiska förutsättningarna är olika i olika delar av landet, beräknades månadsmedelnivåer för fyra tioårsperioder mellan 1975 och 2014. Stationerna i grundvattnet grupperades i områden enligt den senast framställda regimkartan (fig. 1). Detta ger en mer rättvisande bild av förändringar i säsongsvariationerna i olika delar av landet. Beräknade månadsmedelvärden för respektive station finns presenterade i bilaga 2.

I nordligaste Sverige (regim 1) är temperaturen vintertid mycket låg. Den förhöjda årsmedeltemperaturen under perioden 1975–2014 har fortfarande inte varit tillräckligt hög för att nederbörden ska övergå från snö till regn. Den ökande grundvattenbildningen i samband med snösmältningen tyder dock på att nederbörden under vintern har ökat. Effekten av den större snölagringen under vintern framgår tydligt i figur 6 i regim 1 som uppvisar uppemot 30 cm högre nivåer i samband med snösmältningen på våren de senaste tio åren (2005–2014) och perioden 1985–1994 jämfört med perioden 1975–1984.



Figur 5. Månadsmedelvärden för perioderna 1975–1984, 1985–1994, 1995–2004 och 2005–2014 beräknade för samtliga aktuella stationer.



Figur 6. Månadsmedelvärden för tidsperioderna 1975–1984, 1985–1994, 1995–2004 och 2005–2014 i olika regimområden.

I regim 2 syns en något större grundvattenbildning under vintern än i regim 1 men maxnivån i samband med snösmältningen är relativt oförändrad. En ökad grundvattenbildning under sommaren är synlig i alla regimområden. En intressant iakttagelse är att det under perioden 1995–2004 fanns förhöjda grundvattennivåer redan i juli i nästan hela landet.

De största förändringarna i grundvattennivåer i nuvarande regimer ser vi i södra Sverige. Snölagring under vintern har i stort sett uteblivit och grundvattenbildning har i stället ägt rum hela hösten och vintern, vilket också lett till en i stort sett utebliven snösmältningstopp mellan åren 1985 och 2004. I södra Sveriges kustområden (regim 4) har de senaste tio åren uppvisat förhöjda grundvattennivåer under alla årstider och ett maxvärde vid snösmältningen är åter synligt. Detta kan bero på en liten temperaturminskning men med fortsatt stor nederbörd under vintern. Avsänkingsperioden under sommarhalvåret har också blivit längre senaste 20 åren (1995–2014) jämfört med åren 1975–1984, vilket till stor del beror på att höstarna de senaste 20 åren varit varmare än tidigare (SMHI 2014b).

Grundvattennivåer i västra och östra Götaland

Tidigare arbeten med beräknade framtida grundvattennivåer har rapporterat att grundvattennivåerna i sydöstra Sverige i framtiden kan komma att minska under våren (Rodhe m.fl. 2009). Trender i uppmätta grundvattennivåer från de senaste 40 åren tyder på att grundvattennivåns maxnivå i samband med snösmältningen minskat något från 1975 till 2004 i östra Götaland för att sedan öka de sista tio åren (2005–2014). Förutom en ökning i nivån de första månaderna på året har nivåerna i östra Götaland de första 30 åren av tidsserien varit relativt oförändrade. Nivåerna i början av året har dock ökat under hela tidsserien i både östra och västra Götaland, men framför allt i östra Götaland. De senaste tio åren har grundvattennivåerna i östra Götaland ökat mycket under nästan alla årets månader, samtidigt som nivåerna i västra Götaland under samma tid ökat främst under sommaren och vintern. Medelnivån i västra Götaland har de senaste tio åren (2005–2014) varit högre under vintern än på våren då maxnivån vanligtvis brukar uppmätas (fig. 7). Även om en liten effekt av snösmältningen faktiskt kan observeras har nederbörden i form av regn under vintern bidragit mer till grundvattenbildningen än vad smältvattnet på våren gjort.

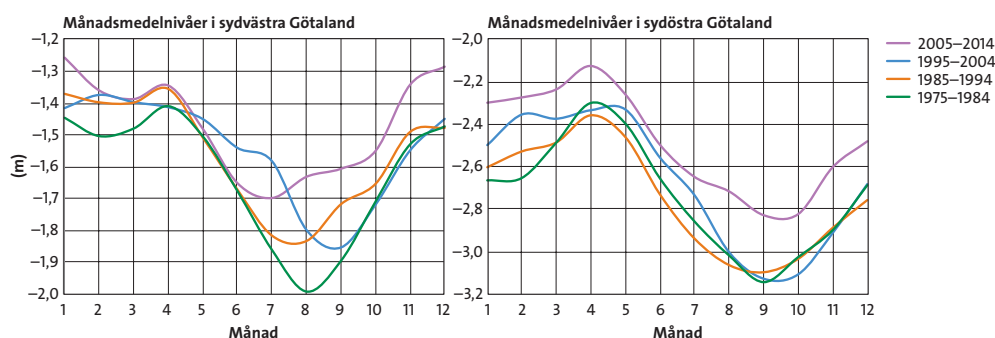
En av de största skillnaderna i grundvattennivåer mellan östra och västra Götaland är längden på avsänkingsperioden under sommaren och hösten. I östra Götaland har avsänkingsperioden de senaste 20 åren förlängts ungefär två veckor, precis som den generella trenden för hela södra Sveriges kustområden (fig. 5). Grundvattennivåns avsänkingsperiod i västra Götaland har varierat mycket under hela perioden och både förkortats och förlängts med mellan två och fyra veckor. De stora skillnaderna i årsmedelnivåer under sommaren tyder på att sydvästra Sverige fått en större nederbörd än sydöstra Sverige, vilket stämmer överens med nederbördsdata från SMHI (2014d).

Totalt har medelgrundvattennivån de senaste 40 åren höjts ungefär 30 cm under sommaren i västra Götaland och ca 25 i östra Götaland, vilket medfört att nivån blivit mer utjämnad under året. Precis som tidigare noteras en förhöjd grundvattenbildning i juli mellan åren 1995 och 2004, vilket tydligast observeras i sydvästra Sverige.

Trender i grundvattennivåns årsmedelvärden

Förändringar i grundvattennivåns årsmedelvärden har beräknats för varje station och regim och finns presenterade i tabell 1. Då säsongsvariationerna påverkas olika mycket vid ändrade klimatförhållanden har också medelnivåer beräknats för olika perioder under året. Om dessa förändringar är signifikanta eller inte har testats i samband med regressionsanalysen (bilaga 1).

Årsmedelnivåerna har ökat mest i regim 4, södra Sveriges kustområden. Ökningen är ca 25 cm på våren och sommaren. Minst påverkan på årsmedelnivåerna observeras i norra



Figur 7. Månadsmedelnivåer beräknade för tioårsperioder för sydvästra Sverige (t.v.) och sydöstra Sverige (t.h.).

Tabell 1. Förändring i grundvattennivåns årsmedelvärden (i meter) och för olika månadsperioders medelvärden under perioden 1975–2014 i olika regimer.

	Hela året	Feb–jun	Jul–sep
Regim 1	+0,12	+0,19	+0,04
Regim 2	+0,08	+0,08	+0,11
Regim 3	+0,15	0,00	+0,16
Regim 4	+0,23	+0,24	+0,22

Sverige. Undantaget är under våren i inre delarna av norra Norrland (regim 1) där stor snöackumulering skett vilket resulterat i mycket smältvatten. Där har nivåerna ökat omkring 20 cm. Regressionsanalysen (bilaga 1) visar att nivåtrenden under sommaren i regime 1 inte är signifikant, även om en liten ökning på några centimeter har observerats.

Trenderna i årsmedelnivån är signifikant positiva för majoriteten av stationerna i Sverige, dvs. vi ser signifikant ökande grundvattennivåer. Medelnivåerna för perioden juli–september i de inre delarna av södra Sverige (regim 3) har ökat omkring 15 cm medan medelnivåerna under perioden februari–juni har hållit sig oförändrade. Förändringarna i årsmedelnivån för de olika säsongerna överensstämmer med de ändrade säsongsvariationerna i olika regimer som presenterats i figur 6.

Förändringar i högsta och lägsta grundvattennivåer

I stora delar av landet har både högsta och lägsta grundvattennivåer (tabell 2) ökat mellan åren 1975 och 2014. Lägstanivåerna i regime 2 visar på en övervägande signifikant ökning på upp till två decimeter under alla månadsperioder och den största ökningen har skett på våren och lite mindre under sommaren.

Maxnivån i regime 1, som omfattar de inre delarna av norra Norrland, har ökat märkbart (21 cm). Denna förändring är dock inte signifikant.

Södra Sveriges kustområden (regim 4) är det område vars högstaniivåer och lägstaniivåer förändrats mest och som har störst andel signifikanta trender. Både signifikant positiva och negativa trender i minnivån observeras mellan juli och september. Dock visar fortfarande fler stationer en positiv trend vilket gör att nivåerna generellt för området har ökat 20 cm. Ökningen

Tabell 2. Förändringar i maxnivåer och minnivåer i olika regimer och för olika månadsperioder.

Maxnivå (m)				Minnivå (m)			
	Hela året	Feb–jun	Jul–sep		Hela året	Feb–jun	Jul–sep
Regim 1	+0,21	+0,25	+0,06	Regim 1	+0,13	+0,13	+0,03
Regim 2	0,0	−0,01	+0,08	Regim 2	+0,17	+0,19	+0,13
Regim 3	+0,06	−0,03	+0,18	Regim 3	+0,17	+0,06	+0,15
Regim 4	+0,20	+0,21	+0,15	Regim 4	+0,22	+0,28	+0,20

Tabell 3. Förändringar i skillnad mellan högsta och lägsta grundvattennivåer (i meter) i olika regimer och för olika månadsperioder.

	Hela året	Feb–jun	Jul–sep
Regim 1	+0,08	+0,12	+0,03
Regim 2	–0,17	–0,21	–0,06
Regim 3	–0,11	–0,09	+0,03
Regim 4	–0,02	–0,08	+0,05

av minnivån i södra Sveriges kustområden ligger mellan 20 och 30 cm under alla månadsperioder och för maxnivån omkring 15–20 cm. Ökningen i maxnivå har inträffat under våren medan minnivån ökat som mest mellan februari och juni när snösmältningen infaller.

Den största ökningen av högstanivån och lägstಾನivån i de inre delarna av södra Sverige (regim 3) inträffar båda under sommaren och är omkring 20 cm. Den minsta förändringen i högsta- och lägstಾನivån för samma regim observerades på våren. Det finns en liten övervägande negativ trend i maxnivån under våren i regim 3 som visar att denna minskat ett par centimeter. Minskningen är liten men signifikant.

Skillnader mellan högsta och lägsta grundvattennivåer

Skillnaden mellan den högsta och den lägsta uppmätta grundvattennivån för en månad skiljer sig normalt under olika delar av året. För att undersöka om dessa skillnader förändrats de senaste 40 åren har regressionsanalys utförts. Resultaten från signifikanstesterna finns i bilaga 1.

Nivåskillnaden mellan den högsta och den lägsta nivån per år har i regim 2 och 3 minskat signifikant med några centimeter under perioden juli–september. Under perioden februari–juni har skillnaden minskat betydligt mer, ca 20 cm (tabell 3). Den största minskningen har skett under våren i regim 2 som representerar norra Sverige förutom norra Norrlands inland. Trenderna i grundvattnets nivåskillnader i kustområdena i södra Sverige (regim 4) är både positiva och negativa och sammantaget är förändringen nästan lika med noll. Nordligaste Norrland, dvs. regim 1, saknar helt signifikanta trender, även om en liten ökning upp till ca 10 cm observerats. Antalet stationer med positiva trender ökar längre söderut i landet, men det är bara stationerna i regim 3 och 4 som har haft övervägande signifikant positiva trender under perioden juli till september och där har skillnaden mellan max- och minnivån ökat några centimeter. Perioden februari till juni har under de senaste 40 åren präglats av övervägande signifikant negativa trender, dvs. minskande nivåskillnader.

Dagförskjutning av lägsta och högsta grundvattennivå

Den totala dagförskjutningen av min- och maxnivåer mellan månaderna februari–juni och juli–september för perioden 1975–2014 beräknades med regressionsanalys. Maxnivåerna i respektive regim infaller allt tidigare på året (tabell 4), vilket tydligt visar att temperaturen i landet

Tabell 4. Dagförskjutning av lägsta och högsta grundvattennivåer vid olika månadsperioder för olika regimområden.

Dagförskjutning av maxnivå (dag)			Dagförskjutning av minnivå (dag)		
	Feb–jun	Jul–sep		Feb–jun	Jul–sep
Regim 1	–6	–19	Regim 1	–13	–1
Regim 2	–6	–3	Regim 2	–3	+3
Regim 3	–18	–2	Regim 3	+17	–2
Regim 4	–8	–5	Regim 4	+3	–7

har ökat och påskyndat snösmältningen. Vårens maximala grundvattennivå har under perioden 1975–2014 inträffat omkring en vecka tidigare i större delen av landet. I regim 3, dvs. stora delar av södra Sverige, har grundvattennivåns maximum under våren tidigare lagts 18 dagar under de senaste 40 åren.

Maxnivåerna under perioden juli–september infaller också tidigare, speciellt i regim 1, nordligaste Norrland, som visar en tidigareläggning med 19 dagar. Det finns en tydlig skillnad i dagförskjutningen av lägstanivåerna mellan norra och södra Sverige. I södra Sverige har lägstanivån generellt uppmätts senare under våren i och med att grundvattenbildning kunnat ske under större delen av vintern vilket förhöjt grundvattennivåerna i början på året. I norra Sverige har inte grundvattenbildning kunnat ske på vintern då temperaturen fortfarande varit låg. Snösmältningen kommer dock tidigare nu än för 40 år sedan vilket medfört att vinterns lägstanivå också uppmätts tidigare. Trenden i dagförskjutningen av lägstanivån på sommaren är i stort sett inte signifikant i hela landet. Undantaget är södra Sveriges kustområden där lägstanivån generellt har uppmätts en vecka tidigare, vilket sannolikt beror på att nederbörden ökat speciellt mycket under sommaren i dessa delar av landet.

DISKUSSION

För att kunna se effekter från globala klimatförändringar krävs det ofta mycket långa tidsserier. 40 år är en relativt kort period ur ett klimatperspektiv men tidsmässiga förändringar i uppmätta grundvattennivåer har ändå visat sig överensstämma till viss del med de trender som kan noteras i modellberäknade grundvattennivåer i ett framtida klimat (Rodhe m.fl. 2009, Sundén m.fl. 2010).

Den modellberäknade grundvattennivån i framför allt östra Götaland blir lägre i ett framtida klimat. Samtidigt har vi sett att de uppmätta grundvattennivåerna ökat i vissa delar i detta område under perioden 1975–2014 (t.ex. stationen i Emmaboda, fig. 4). Grundvattennivåns årsmedelvärden har de senaste 40 åren generellt också ökat mest i södra Sverige även om klimat-scenarier visar att främst norra Sverige kommer att få den största ökningen av grundvattennivån till nästa sekelskifte.

I hela södra Sverige uppvisar grundvattnet tydligt förhöjda månadsmedelnivåer i början på året. I östra Götaland har nivåerna mellan åren 1975 och 2004 i övrigt varit relativt oförändrade, eller till och med minskat under vissa månader på året, medan de tio senaste åren (2005–2014) har inneburit speciellt höga nivåer även sommartid för hela landet. Enligt klimatscenarierna som använts av Rodhe m.fl. (2009) och Sundén m.fl. (2010) kommer grundvattennivåerna vintertid att öka i södra Sverige, medan lägstanivåerna under sommaren förväntas minska till nästa sekelskifte. De lokala förhållandena är dock mycket betydelsefulla och avgörande för nivåvariationen, vilket gör att beräkningar för ett helt regimområde kan ge alltför generella resultat som kan avvika från verkligheten för en specifik plats.

De modellberäknade grundvattennivåernas variationsvidd över hela året, dvs. skillnaderna mellan lägsta och högsta nivå under året, förväntas minska i södra Sverige och öka i norra Sve-

rige till nästa sekelskifte (Rodhe m.fl. 2009, Sundén m.fl. 2010). De senaste 40 årens uppmätta nivåer har dock visat på delvis andra trender med en mindre variationsvidd i södra Sverige där snösmältningstoppen minskat och lägstanivåerna under året ökat på grund av mer nederbörd. Det är dock endast marginellt fler stationer som visar en signifikant negativ trend i nivåskillnaden (minskande variationsvidd) jämfört med det antal stationer som har positiv trend, vilket gör att den totala minskningen i nivåskillnad är liten. Många stationer i södra Sverige visar också på en signifikant positiv trend, dvs. skillnaden mellan högsta och lägsta grundvattennivå har ökat. Detta betyder att de modellberäknade förändringarna i grundvattennivåerna i södra Sverige till viss del ändå överensstämmer med observerade förändringar för perioden 1975–2014. Förändringen i variationsvidd i nordligaste Sverige (regim 1) var inte signifikant även om den generella variationsvidden minskat uppemot en decimeter i denna regim. Norra Sverige förutom norra Norrlands inland (regim 2) uppvisade däremot övervägande signifikant negativa trender bland stationerna, vilket går i linje med klimatscenarierna.

En annan likhet med de modellberäknade grundvattennivåerna enligt framtida klimatscenarier är att de uppmätta nivåernas avsänkingsperiod under sommaren har förlängts de senaste 20 åren, även om dagförskjutningen av lägstanivån totalt sett för perioden 1975–2014 infaller tidigare. Detta kan förklaras av att det föll rikligt med nederbörd hela sommaren mellan åren 1985 och 1994 vilket resulterade i en betydande grundvattenbildning med maxvärden under sommaren. Avsänkingsperioden blev därför väldigt kort under den perioden, framför allt i södra Sverige vilket påverkade medelvärdet för hela perioden 1975–2014.

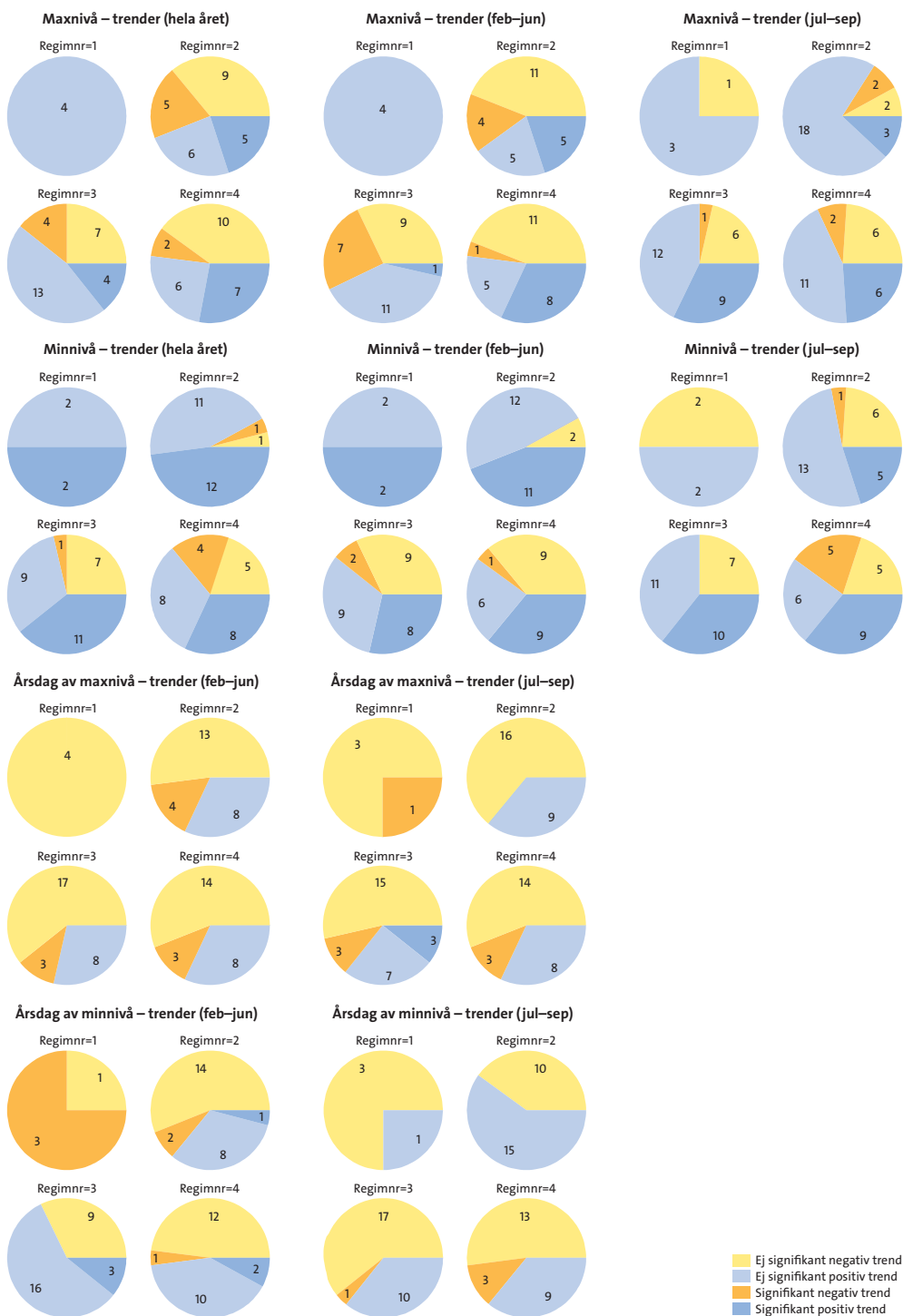
Den kanske största och viktigaste förändringen i grundvattennivåer är den som har observerats under vinterhalvåret, där grundvattennivåerna blivit betydligt högre. Denna trend överensstämmer med de modellberäknade grundvattennivåerna som beskrivits i tidigare rapporter. I södra Sverige har grundvattennivåns maxvärde i samband med snösmältningen minskat påtagligt på 40 år och även inträffat tidigare, vilket förkortat vintersäsongen.

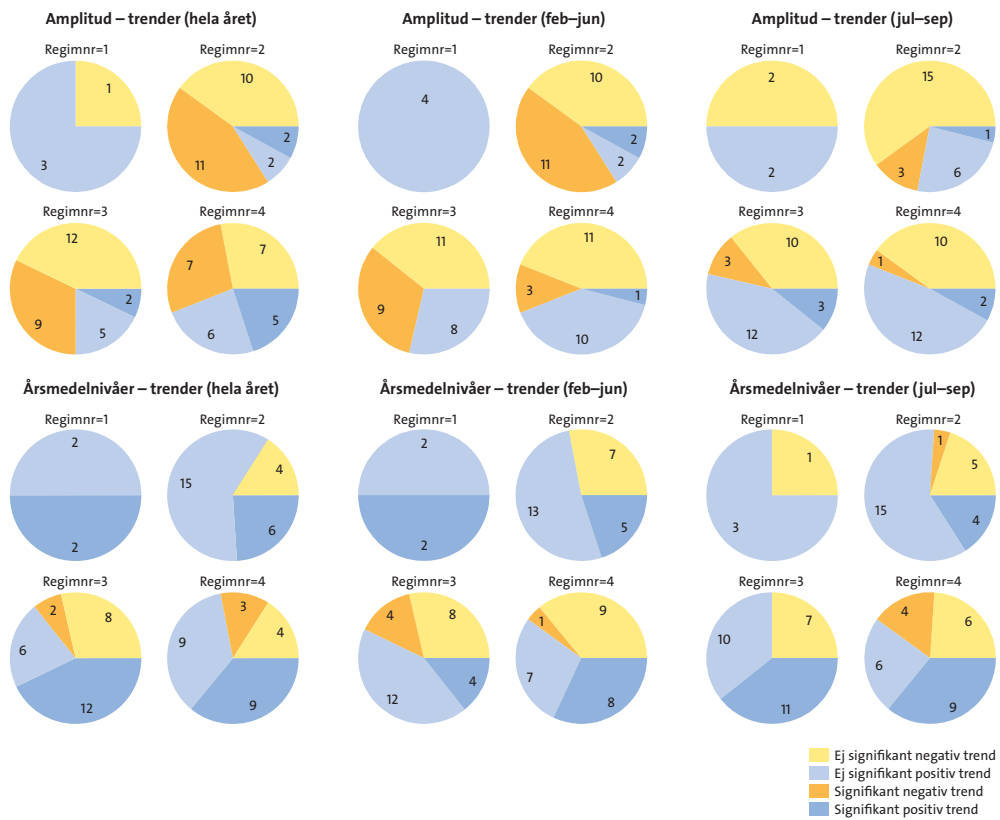
REFERENSER

- Kjellström, E., Abrahamsson, R., Boberg, P., Jernbäcker, E., Karlberg, M., Morel, J. & Sjöström, Å., 2014: Uppdatering av det klimatvetenskapliga kunskapsläget. *SMHI Klimatologi* 9, 68 s.
- Nordberg, L. & Persson, G., 1974: The national groundwater network of Sweden. *Sveriges geologiska undersökning Ca* 48, 160 s.
- Rodhe, A., Lindström, G. & Dahné, J., 2009: *Grundvattennivåer i ett förändrat klimat*. Slutrapport från SGU-projektet Grundvattenbildning i ett förändrat klimat. Proj nr 60-1642/2007, 44 s.
- Sundén, G., Maxe, L. & Dahné, J., 2010: Grundvattennivåer och vattenförsörjning vid ett förändrat klimat. *Sveriges geologiska undersökning SGU-rapport 2010:12*, 44 s.
- SMHI, 2014a: *Klimatindikator – temperatur*. <<http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur/klimatindikator-temperatur-1.2430>>. Hämtat 2014-11-19.
- SMHI, 2014b: *Klimatindikator – nederbörd*. <<http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/nederbord/klimatindikator-nederbord-1.2887>>. Hämtat 2014-11-26.
- SMHI, 2014c: Årets väder 2003. *SMHI Väder och vatten* 13, 13 s. <http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.11504!vov2003.pdf>.
- SMHI, 2014d: *Sveriges klimat har blivit varmare och blötare*. <<http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat-har-blivit-varmare-och-blotare-1.21614>>. Hämtat 2014-12-05.

BILAGA 1

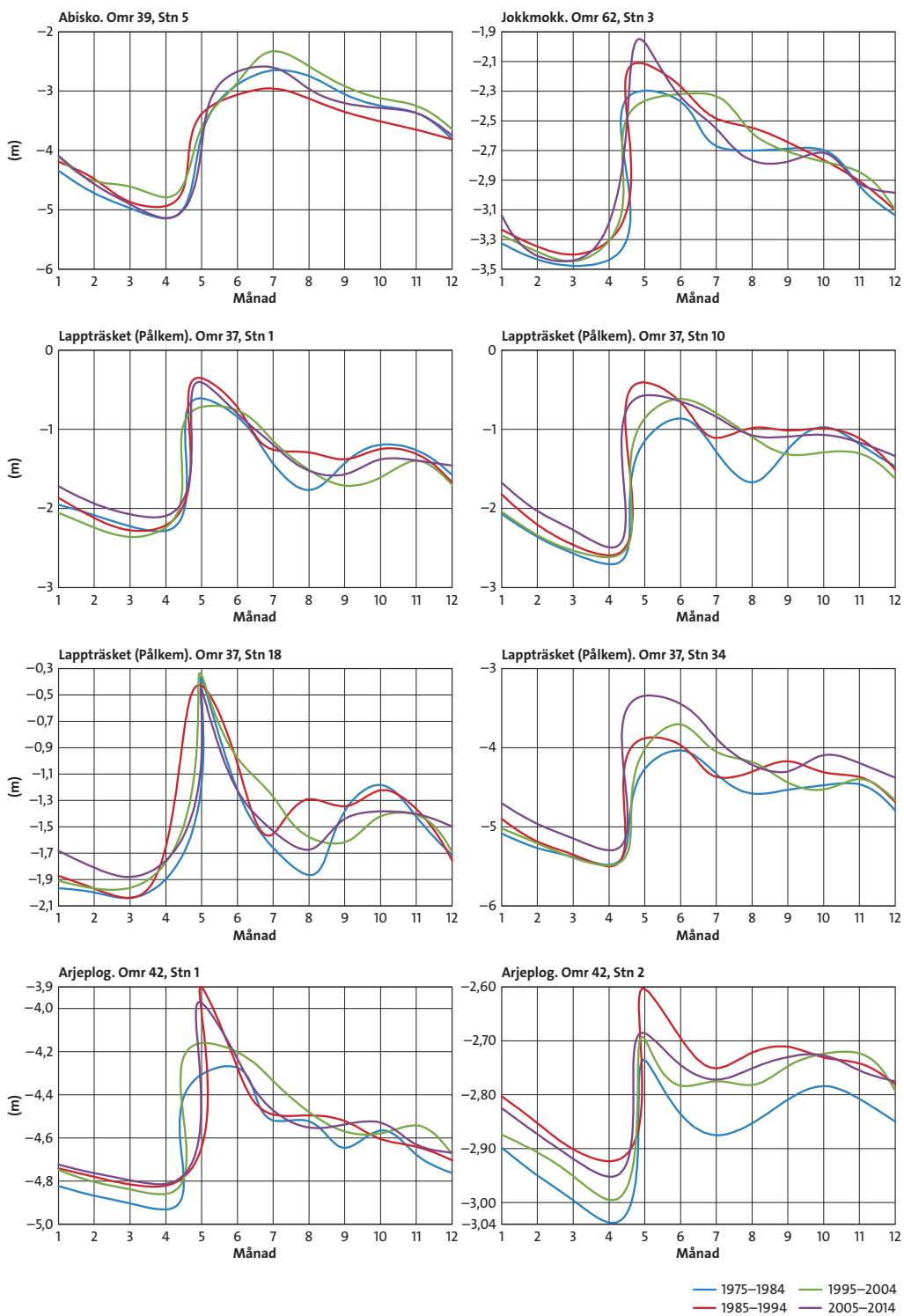
Fördelning av antal stationer med positiva och negativa trender vid respektive regimområde. Paj-diagrammen visar även om trenderna är signifikanta eller inte.

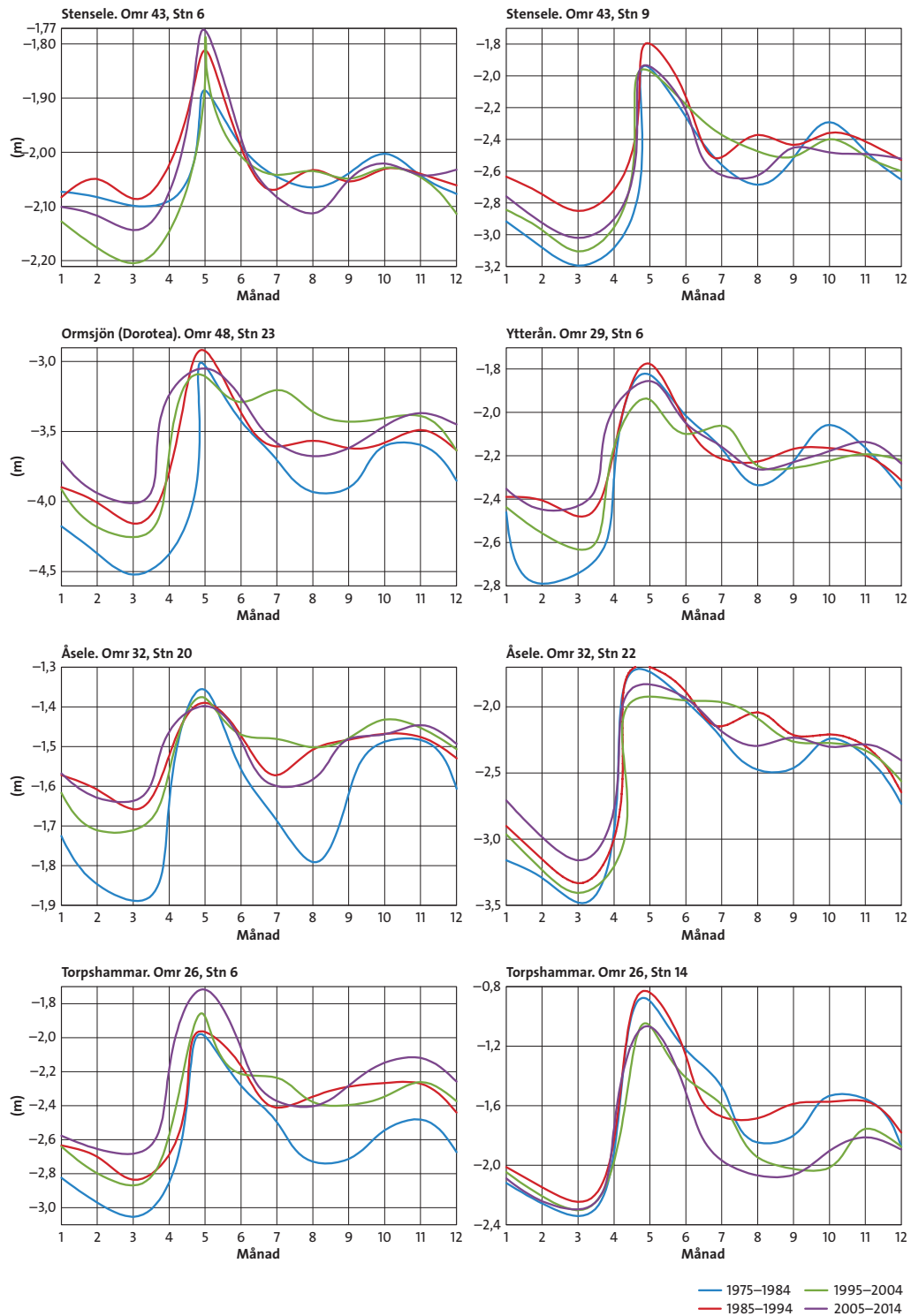


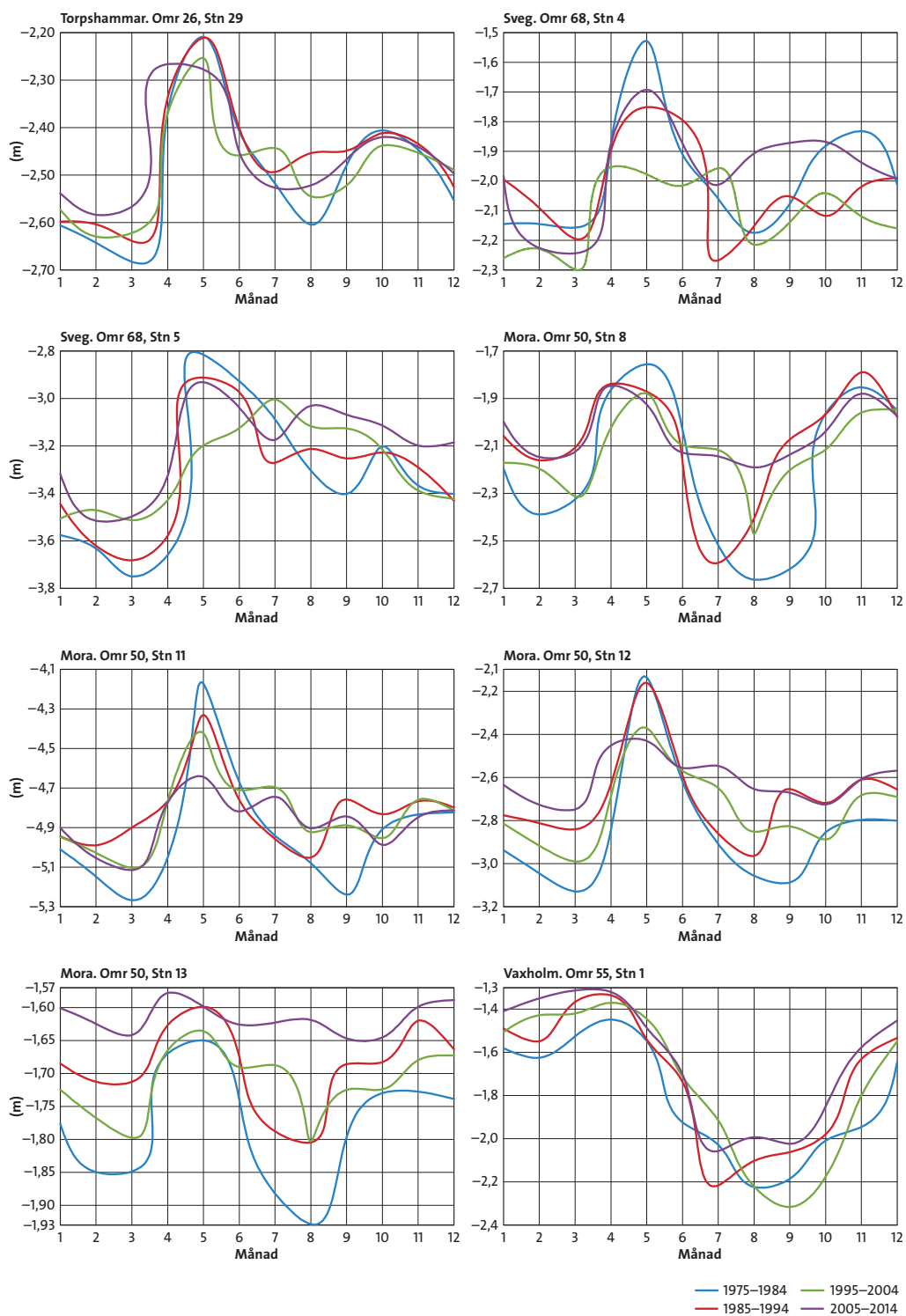


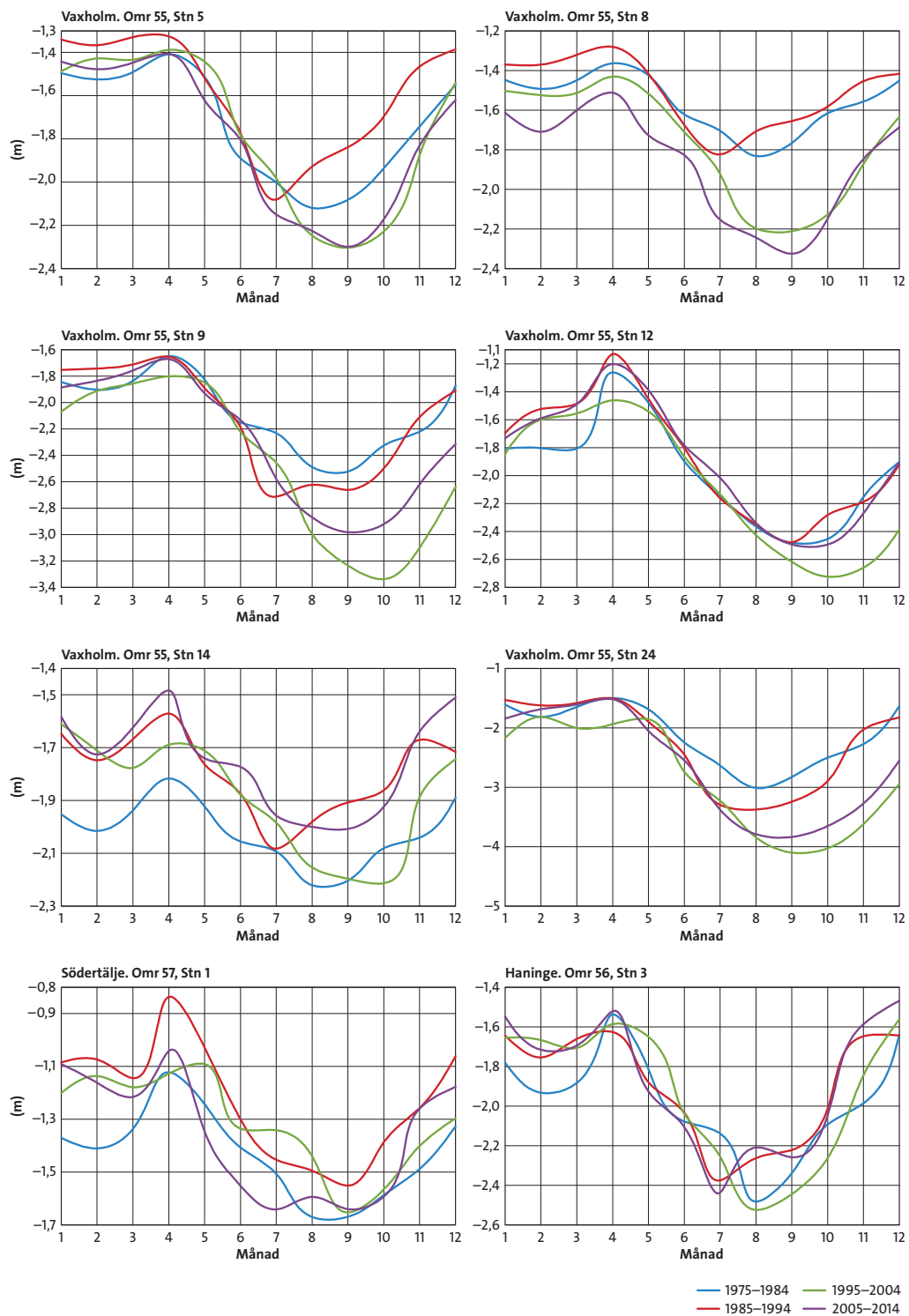
BILAGA 2

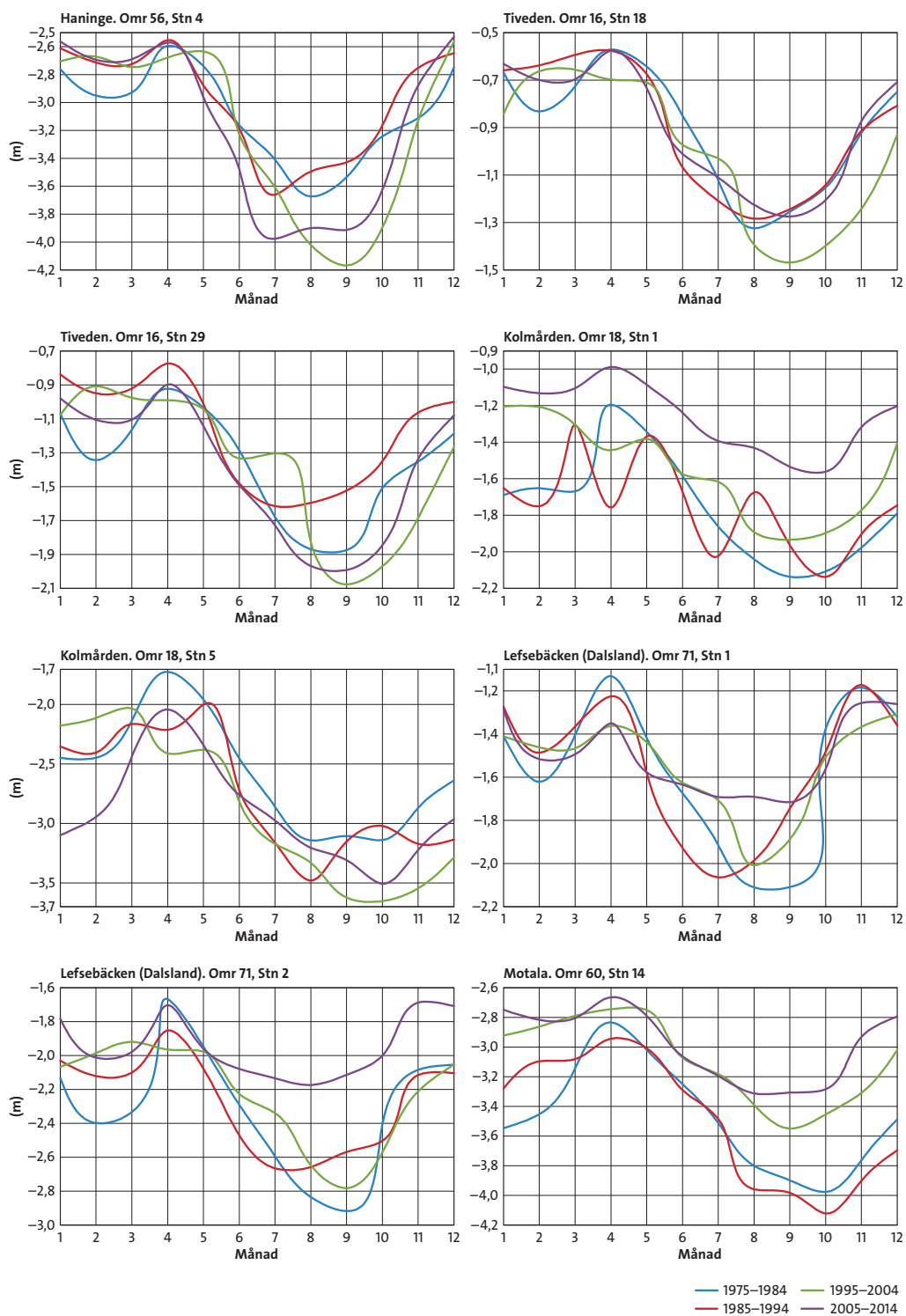
Månadsmedelnivåer för respektive station.

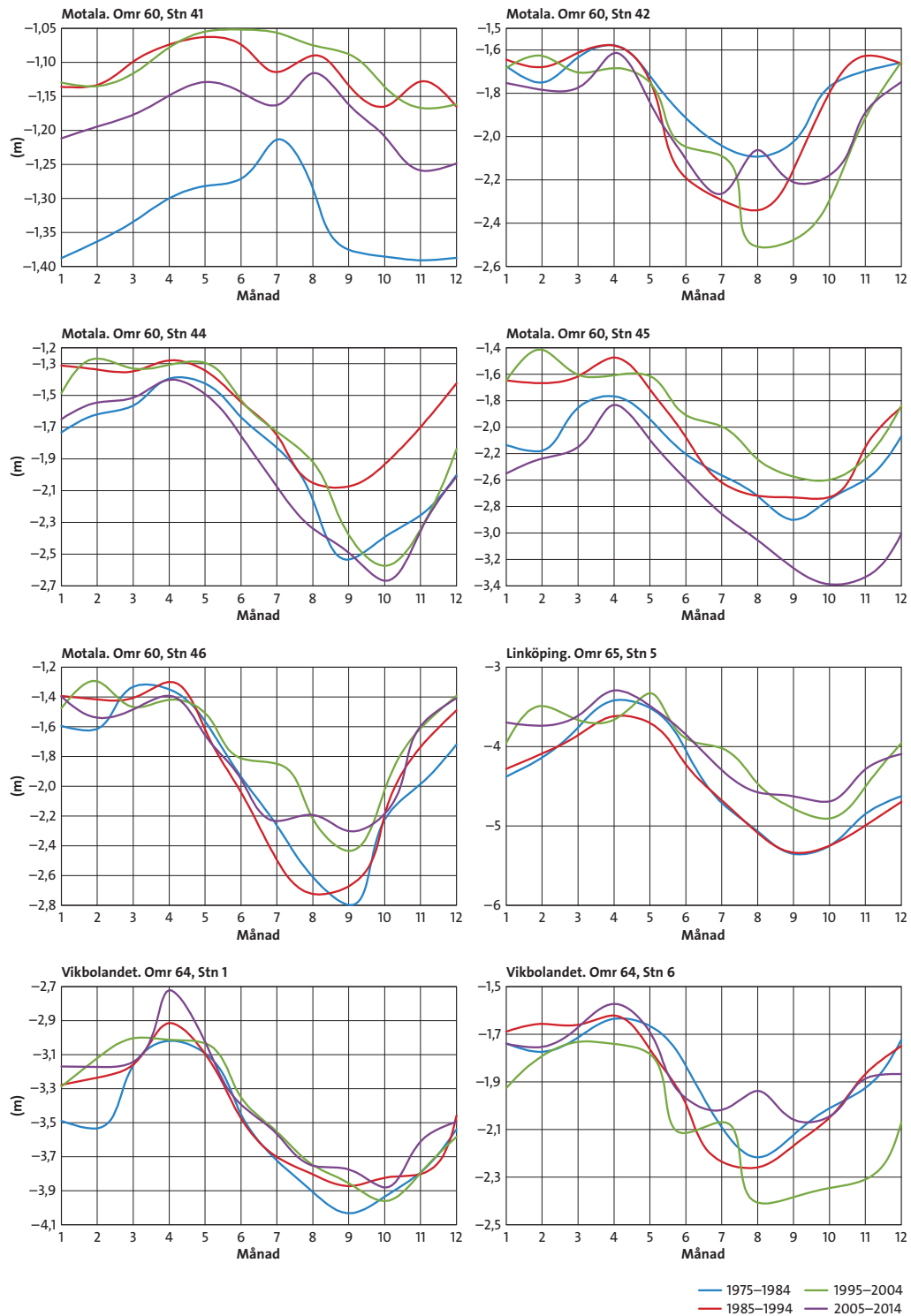


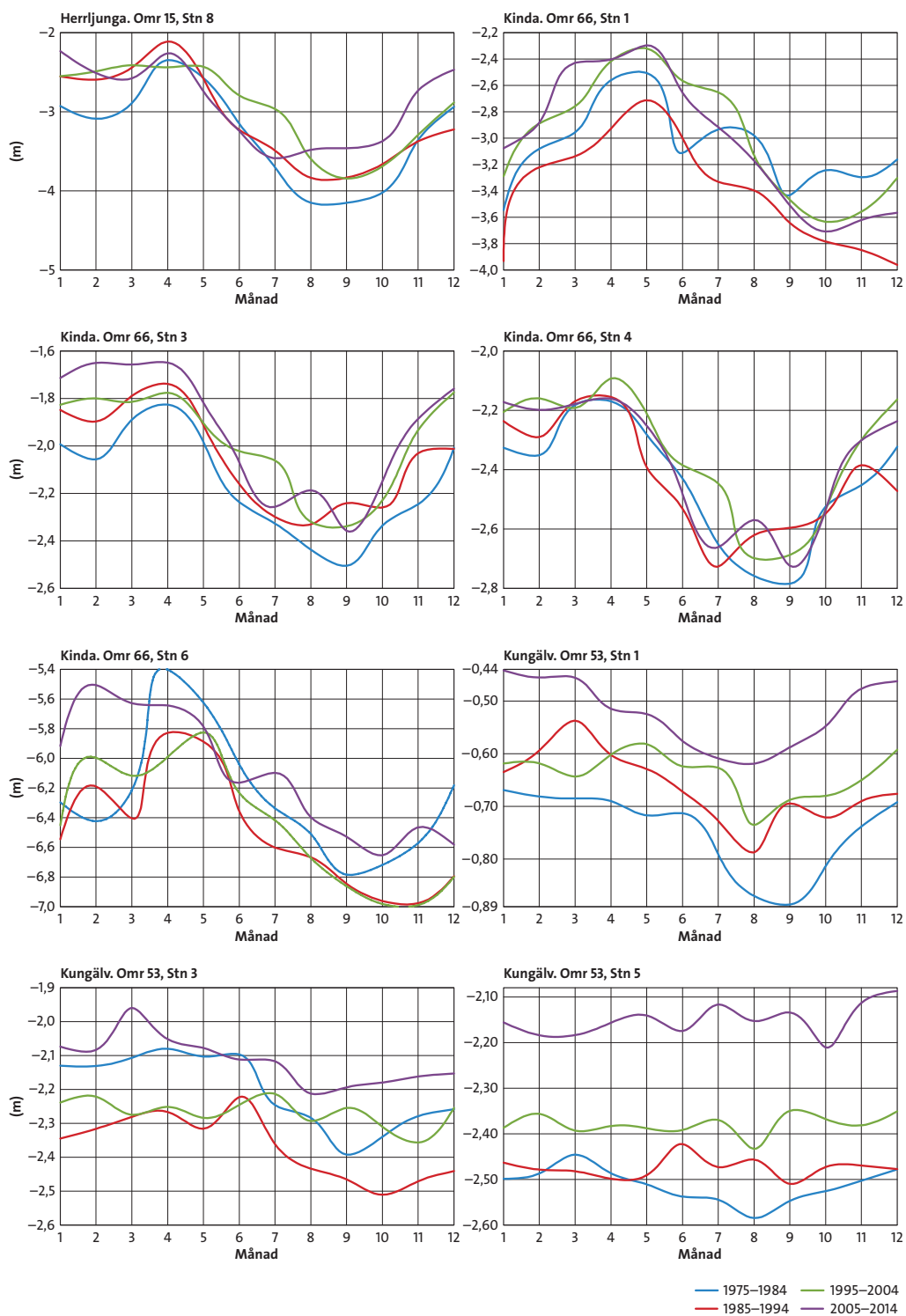


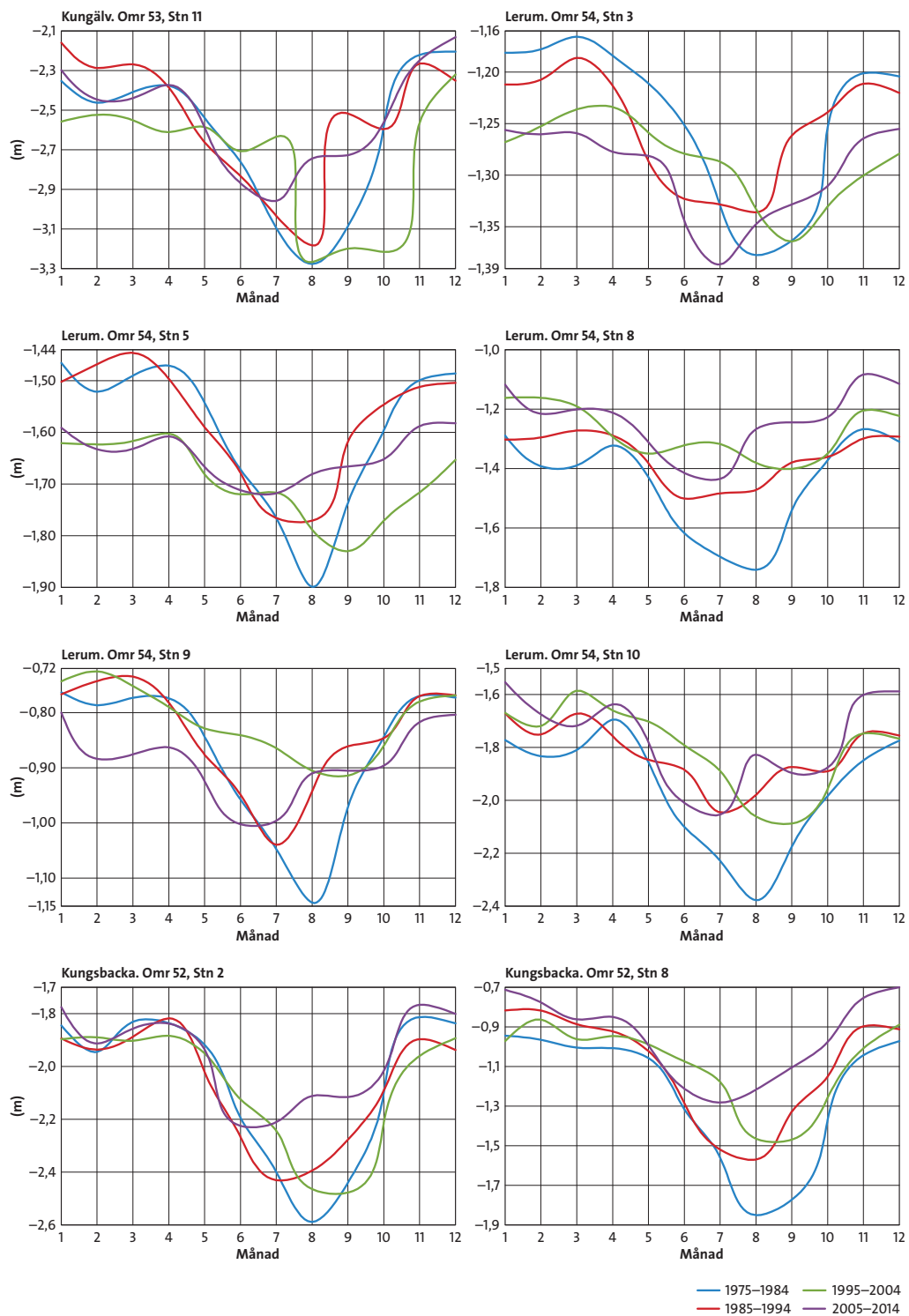


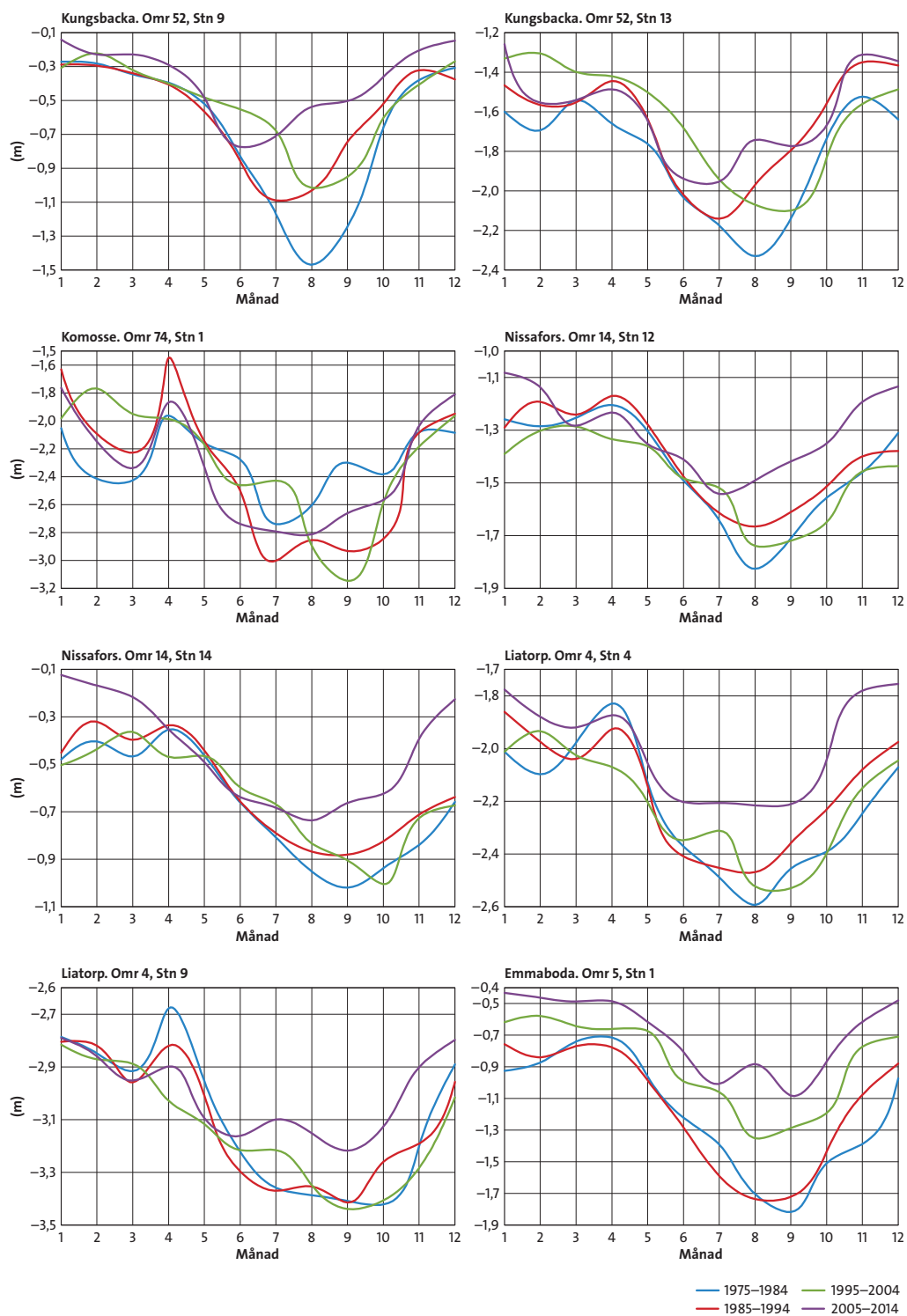












BILAGA 8

Grundvattennivåer i ett
förändrat klimat

Grundvattennivåer i ett förändrat klimat – nya klimatscenarier

Emil Vikberg, Bo Thunholm, Magdalena Thorsbrink (SGU)
Joel Dahné (SMHI)

maj 2015

SGU-rapport 2015:19



Omslagsbild: Rullstensås i Rörbäcksnäs i norra Dalarna skapad av inlandsisens smältvatten. Denna typ av isälvsavlagring är en av våra viktigaste grundvattenresurser för den allmänna vattenförsörjningen och ett exempel på långsamreagerande grundvattenmagasin. Foto: Magdalena Thorsbrink.

Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00
fax: 018-17 92 10
e-post: sgu@sgu.se
www.sgu.se

INNEHÅLL

Förord	5
Bakgrund och Syfte	5
Allmänt om grundvatten	5
SGUs grundvattennät	5
Tidsvariationer i grundvattennivåer perioden 1975–2014	6
Grundvattenmagasin	6
Metodik	7
Klimatscenarier	8
Hydrologisk modell	9
Beräknade grundvattennivåer – data från SMHI	9
Beräkningar och analyser vid SGU	10
Årsmedelvärden	10
Årstidsmedelvärden	10
Regimer	11
Grundvattnets nivåvariationer	11
Förväntade högsta och lägsta grundvattennivåer	11
Resultat	11
Årsmedelvärden	11
Årstidsmedelvärden för snabbreagerande grundvattenmagasin	13
Grundvattennivåns regimer	15
Grundvattnets nivåvariationer	15
Förändringar i grundvattnets högsta och lägsta nivåer vid RCP 8.5	17
Osäkerheter	17
Diskussion	20
Grundvattennivåförändring	20
Norra Sverige	20
Södra Sverige	20
Förändring av grundvattentillgång	22
Effekter på vattenförsörjningen	23
Miljömål och vattenförvaltning	24
Sammanfattande slutsatser	24
Referenser	25
Bilaga 1. Förväntad förändring av grundvattennivån	26

FÖRORD

Rapporten är framtagen för att kunna beskriva klimatförändringarnas påverkan på grundvattennivåerna. Resultatet kommer att användas för att fortsätta diskussionen om hur både den allmänna och den enskilda dricksvattenförsörjningen förväntas påverkas av klimatförändringarna. Rapporten är finansierad av SGU som ett underlag till den statliga utredningen *Dricksvattenutredningen* (L 2013:02). Bakgrundsmaterialet är framtaget av SMHI genom modellkörningar i den hydrologiska modellen S-HYPE.

BAKGRUND OCH SYFTE

Grundvatten har stor betydelse för såväl den allmänna som den enskilda vattenförsörjningen. Grundvattnet har även stor betydelse i andra sammanhang. Ett exempel kan vara när ett förändrat portryck i marken till följd av en förändrad grundvattennivå påverkar markens stabilitet. Påverkan på grundvattnet är därför en viktig del i arbetet med att analysera effekterna av ett förändrat klimat.

För att beskriva risken för påverkan på vattenförsörjningen och effekter för andra av grundvattnet beroende system är studier av den framtida grundvattennivån en viktig del. Prognostiserade grundvattennivåer kan till exempel ge indikationer på hur tillgången på vatten beräknas förändras och hur grundvattenkvaliteten kan komma att påverkas, men även ge stöd för andra viktiga analyser av effekter till följd av en förändrad grundvattennivå.

SGU har i tidigare arbeten presenterat hur grundvattennivåerna och grundvattenkemi förväntas förändras med ett förändrat klimat (Ojala m.fl. 2007, Rodhe m.fl. 2009, Sundén m.fl. 2010, Aastrup m.fl. 2012). Sundéns m.fl. (2010) arbete kring grundvattennivåer gjordes på snabbreagerande grundvattenmagasin med ett mindre antal stationer i SGUs grundvattennät samt äldre utsläppsscenarier. I arbetet av Rodhe m.fl. (2009) ingick både snabbreagerande och långsamreagerande grundvattenmagasin där grundvattennivåerna beräknats med SMHIs hydrologiska modell HBV-modellen (Bergström 1976, Lindström m.fl. 1997). Resultaten av Rodhe m.fl. (2009) för perioden 2071–2100 visade på en förändrad grundvattenbildning och därmed lägre grundvattennivåer i landets södra delar, speciellt i den sydöstra delen, samt längs norra delen av Norrlandskusten. Grundvattennivåns variationsvidd under året minskade enligt Rodhe m.fl. (2009) i norra Sverige, beroende på lägre vinterlägvatten. I södra Sverige ökade variationsvidden något.

Genom arbete av Lagergren (2014) visades att det går att använda SMHIs hydrologiska modell S-HYPE för att modellera grundvattennivåer på delavrinningsområdesskala. I och med tillkomsten av nyare utsläppsscenarier, samt det faktum att SMHIs modell går att använda för grundvattenmodellering, kan nu en förnyad studie genomföras som inkluderar ett större antal områden och som också ger resultat för både långsamreagerande och snabbreagerande grundvattenmagasin.

ALLMÄNT OM GRUNDVATTEN

Grundvattennivån är den nivå i marken där alla porer är vattenfyllda och där trycket är lika med atmosfärstrycket. Beroende på jordart, topografi och markförhållanden varierar avståndet ned till grundvattennivån. På en och samma plats varierar grundvattennivån över året beroende på variationer i nederbörd, avdunstning och växternas upptag av vatten.

SGUs grundvattennät

SGUs grundvattennät startade i slutet av 1960-talet och det ursprungliga syftet var att studera tidsmässiga variationer i grundvattnets mängd och beskaffenhet i förhållande till geologi, topografi och klimat för att kunna använda informationen för referensändamål, prognoser, miljö-

kontroll och resursberäkningar (Nordberg & Persson 1974). Mätningarna i grundvattennätet genomförs vanligtvis två gånger per månad och används bland annat som underlag för SGUs månadsvisa presentationer av grundvattennivåerna i olika delar av Sverige. För närvarande utförs mätningar i ca 300 observationsrör som är grupperade i ett sjuttiotal områden i landet. Tack vare de långa tidsserierna över grundvattennivåerna kan värdefulla bearbetningar genomföras över hur dessa har varierat över åren.

Tidsvariationer i grundvattennivåer perioden 1975–2014

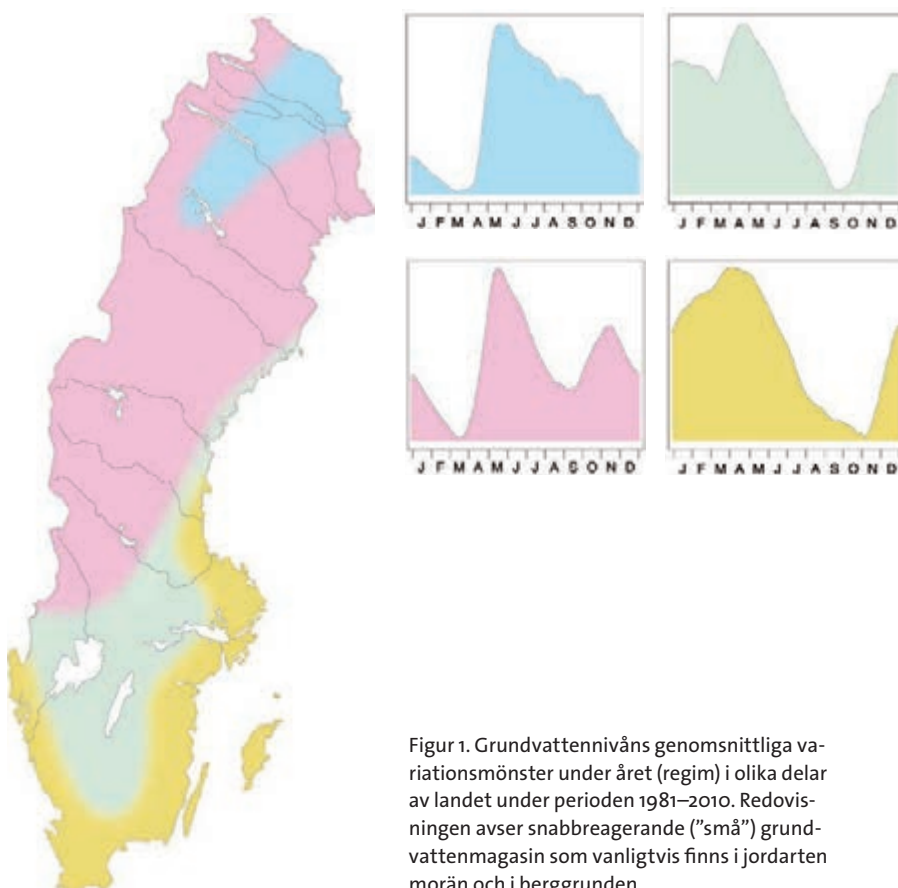
Uppgifter om grundvattennivåer i snabbreagerande, ”små” magasin från SGUs grundvattennät har sammanställts och utvärderats för perioden 1975–2014 (Lagergren 2015). Resultaten visar bl.a. på en tidigareläggning av grundvattenbildningen i samband med snösmältningen vilket har bidragit till att avsänkingsperioden under sommaren har blivit längre under den studerade perioden. Nivåökningen i samband med snösmältningen har minskat i stora delar av landet och grundvattennivåerna under vinterns första månader har ökat, främst i södra delarna av landet. Grundvattennivåerna uppvisar en generell ökning under perioden i praktiskt taget hela landet, även i de sydöstra delarna.

Grundvattenmagasin

Ett grundvattenmagasin är en geologisk bildning, eller en del av en sådan, som innehåller grundvatten som fungerar som en hydraulisk enhet. I grundvattenmagasinet kan vattnet förekomma endera i sprickor eller i porer vilka sinsemellan är sammanbundna så att vatten kan tillföras, lagras, röra sig i och lämna magasinet antingen via en lågpunkt, t.ex. en källa, genom grundvattenuttag i brunnar eller genom läckage till angränsande grundvattenmagasin eller ytvatten. Grundvattenmagasinen kan delas in i snabbreagerande (”små”) respektive långsamreagerande (”stora”) magasin. De snabbreagerande har en kort responstid och en stor årlig nivåamplitud medan de långsamreagerande har en lång responstid och en liten nivåamplitud under året. Detta innebär att de snabbreagerande grundvattenmagasinen påverkas snabbare av en förändrad grundvattenbildning till följd av förändrade hydrologiska förhållanden jämfört med de långsamreagerande, där förändringen märks först efter en längre tid och först när förändringen är tillräckligt stor.

Snabbreagerande grundvattenmagasin finns bl.a. i morän och i berg och de är av stor vikt för den enskilda vattenförsörjningen, då det är där som de flesta enskilda brunnarna finns. Grundvattenmagasinen reagerar snabbt på nederbörd och torka vilket gör att de är känsliga för torrperioder men även för perioder med mycket nederbörd. I dessa magasin har nederbörd, avdunstning och växternas upptag en stor inverkan på grundvattennivåerna.

De snabbreagerande grundvattenmagasinen kan karaktäriseras med hjälp av regimkurvor som visar på när under året grundvatten bildas och när det sker en avsänkning av grundvattennivåerna. Regimkurvornas utseende beror av hydrogeologi och klimat vilket gör att regimkurvorna ser olika ut beroende på var i landet man befinner sig (fig. 1). En sammanställning som utfördes för perioden 1981–2010 uppvisar fyra regioner med olika regimer (SGU 2013). Längst i söder är grundvattennivån högst under våren och lägst under hösten (regim 4), vilket främst beror på genomsnittliga årstidsvariationer i avdunstning och växternas vattenupptag. I de inre delarna av Götaland och Svealand sjunker grundvattennivåerna under vintern till följd av minskad eller utebliven grundvattenbildning (regim 3). I större delen av Norrland dominerar nivåminskningen under vintern, vilket innebär att den lägsta grundvattennivån infaller precis före snösmältningen (regim 1 och 2). Den största skillnaden jämfört med tidigare sammanställningar är att utbredningen av regionen med den nordligaste regimen (regim 1) tydligt har minskat.



Figur 1. Grundvattennivåns genomsnittliga variationsmönster under året (regim) i olika delar av landet under perioden 1981–2010. Redovisningen avser snabbreagerande ("små") grundvattenmagasin som vanligtvis finns i jordarten morän och i berggrunden.

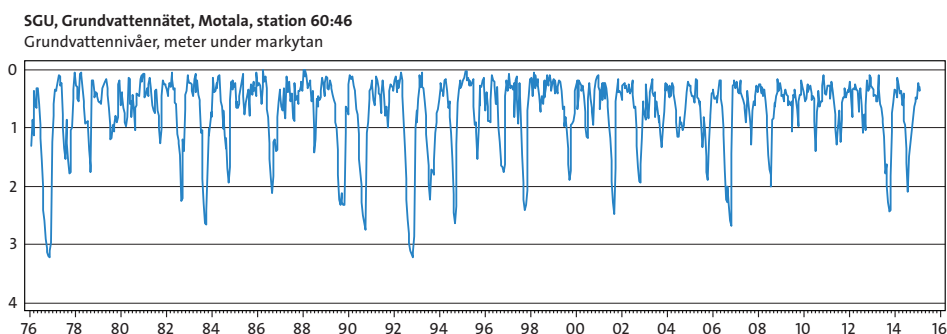
I medeltal över ett år, sett över alla stationer i SGU grundvattennät, varierar grundvattennivåerna i de snabbreagerande grundvattenmagasinen ca 3 m i höglänta områden med öppna akviferer och mindre genomsläpplig morän (fig. 2). I låglänta områden med slutna akviferer och mer genomsläpplig morän är amplituden normalt mindre, i många fall mindre än 1 m.

De långsamreagerande grundvattenmagasinen utgörs främst av våra isälsavlagringar (s.k. rullstensåsar). Dessa är ofta större, sammanhängande sand- och grusavlagringar med god genomsläpplighet vilket skapar goda möjligheter för stora grundvattenuttag. Dessa möjligheter till större grundvattenuttag gör att de långsamreagerande grundvattenmagasinen är av stor vikt för den allmänna vattenförsörjningen.

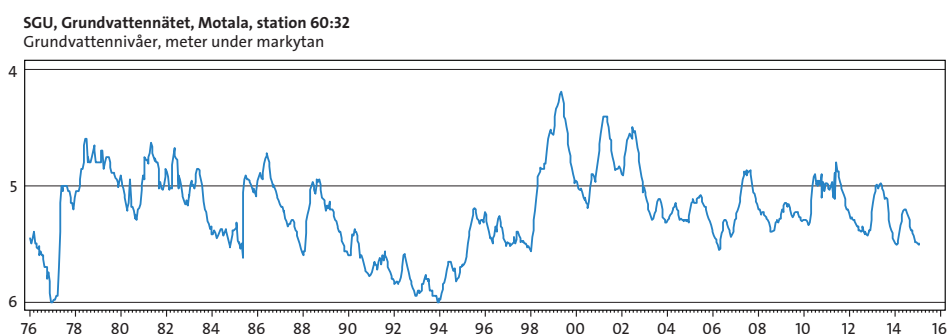
Långsamreagerande grundvattenmagasin är mindre känsliga för årstidsvariationer och det är främst mellanårsvariationerna som har betydelse för grundvattennivåerna. Här är variationerna under året små medan mellanårsvariationerna kan vara större. De är exempelvis normalt att grundvattennivåerna kan stiga eller sjunka under fler år i rad (fig. 3).

METODIK

Den nu uppdaterade analysen av de beräknade framtida klimatförändringarnas effekter på grundvattennivåerna som utförts av SGU baseras på data framtagna av SMHI. I detta avsnitt



Figur 2. Grundvattennivåer under perioden 1976–2015 för en station i ett snabbreagerande ("litet") magasin i SGUs grundvattennät, Motala station 60:46.



Figur 3. Grundvattennivåer under perioden 1976–2015 för en station i ett långsamreagerande ("stort") magasin i SGUs grundvattennät, Motala station 60:32.

beskrivs kortfattat den metodik som legat till grund för framtagandet av underlaget, dels internationellt, dels vid SMHI, och därefter följer en mer detaljerad beskrivning av de beräkningar och analyser som har utförts av SGU.

Klimatscenarier

Underlaget till rapporten, som beskrivs närmare i avsnittet Beräknade grundvattennivåer – data från SMHI, har baserats på två olika utsläppsscenarier, RCP 4.5 och RCP 8.5 (SMHI 2015). Dessa skiljer sig åt genom vilken strålningsdrivning som de representerar och de skiljer sig från de SRES-scenarier som tidigare använts av FNs klimatpanel (SMHI 2015).

RCP 4.5 innebär att utsläppen av koldioxid till en början ökar något för att kulminera kring år 2040. Det bedrivs en kraftfull klimatpolitik och befolkningens mängden ligger strax under 9 miljarder. Vidare antas att energiintensiteten är låg. Energiintensiteten beskriver förhållandet mellan den totala energiförbrukningen och bruttonationalprodukten och en låg energiintensitet innebär en mer effektiv energianvändning. Samtidigt råder ett lågt arealbehov för jordbruksproduktion (större skördar och förändrade konsumtionsmönster) och det bedrivs omfattande skogsplanteringsprogram.

RCP 8.5 innebär att koldioxidutsläppen är tre gånger dagens nivå vid år 2100 och att det sker en kraftig ökning av metanutsläppen. Jordens befolkning ökar till 12 miljarder vilket leder till

ökade anspråk på betes- och odlingsmark. Det råder en fortsatt men långsam teknikutveckling mot energieffektivitet och det finns ett fortsatt stort behov av fossila bränslen. Energiintensiteten är hög och det bedrivs ingen mer offensiv klimatpolitik än i dagsläget. Det innebär betydligt större utsläpp och högre koncentrationer av växthusgaser än vad som tidigare har använts i hydrologiska modeller.

För att studera hur jordens klimat reagerar på den förändrade strålningsbalansen till följd av de studerade klimatscenerierna används i ett första steg s.k. klimatmodeller. Dessa är matematiska modeller som beskriver förhållanden mellan till exempel lufttryck, temperatur, fuktighet och vind. Modellerna är i ett första steg globala och i nästkommande, nedskalade beräkningssteg regionala. För Europa har Rossby Centre tillämpat nio olika globala modeller för beräkningar enligt de två scenarierna. Nästa länk i kedjan innan de hydrologiska effektstudierna tar vid är att resultatet från de regionala klimatmodellerna omskalas. För Sverige har detta utförts av SMHI med den s.k. DBS-metoden (distributionsbaserad skalering, SMHI 2015).

De hydrologiska effekterna av det förändrade klimatet kan slutligen beskrivas med olika hydrologiska vattenbalansmodeller. I rapporten Klimatanalys för Sverige (Eklund m.fl. 2015), som beskriver klimatförändringarnas påverkan på temperatur, nederbörd, ytvattentillgång etc., görs detta med beräkningar utförda med HBV-modellen (Bergström 1976, Lindström m.fl. 1997). För beskrivningen av påverkan på grundvattennivåerna som redovisas i denna rapport har i stället vattenbalansmodellen S-HYPE tillämpats. HBV-modellen har stora likheter med HYPE. Båda modellberäkningarna har utförts av SMHI.

Hydrologisk modell

HYPE är en hydrologisk beräkningsmodell som utvecklats av SMHI mellan åren 2005 och 2007. S-HYPE är en modell som har anpassats för Sverige och är uppdelad på 37 000 delavrinningsområden. S-HYPE är främst kalibrerad med avseende på vattenföring och vattenkvalitetsparametrar. Modellen byggs upp av delavrinningsområden som beskrivs av olika jordklasser och markanvändningsklasser som tillsammans utgör landklasser. Varje kombination av jord- och markanvändningsklass, dvs. landklass, har en given uppsättning parametervärden som beskriver förhållandena inom delavrinningsområdet. Varje delavrinningsområde kan innehålla flera olika landklasser där resultatet viktats med avseende på andelen av varje landklass inom delavrinningsområdet. För denna studie har SGU enbart använt data som representerar grundvattennivåförändringar i jordklasserna morän och grovjord (som kan anses representera isälvmaterial) och markanvändningsklassen barrskog.

I S-HYPE görs beräkningar av en relativ nivåförändring av grundvattennivån utifrån de parametervärden som har satts upp för landklassen. Modellen består av tre jordlager med olika mäktighet och olika vattenhållande egenskaper som kan ange vattenflöden i varje landklass. Det finns ingen separat beräkningsdel för grundvatten i HYPE eller S-HYPE utan grundvattennivån definieras av den mättade zonens vatteninnehåll. Mer information om grundvattenberäkningar och teori finns i Lindström m.fl. (2010), Strömqvist m.fl. (2012) och Lagergren (2014). För beräkningarna som utfördes av SMHI användes S-HYPE version 2012_2 och HYPE version 4.8.0.

Beräknade grundvattennivåer – data från SMHI

För att beskriva grundvattennivåernas förändring i ett framtida klimat har SMHI levererat dygnsvärden för grundvattennivåer beräknade med S-HYPE för 109 delavrinningsområden för perioden 1961–2100. Urvalet av de 109 delavrinningsområdena gjordes med utgångspunkt från SGUs grundvattennät och arbetet av Lagergren (2014).

Beräkningarna i S-HYPE är baserade på data för de nio klimatmodellerna och de två utsläppsscenerierna (RCP 4.5 och RCP 8.5). Data som SGU erhållit har endast beräknats för

markanvändningen barrskog och för jordklasserna morän och grovjord. Värdena är inte absoluta grundvattennivåer utan återspeglar den relativa förändringen i ett givet numeriskt spann. Detta spann är 0–1 i jordklassen morän och 0–2,5 i jordklassen grovjord.

BERÄKNINGAR OCH ANALYSER VID SGU

För att utvärdera om de beräknade grundvattennivåerna i S-HYPE överensstämmer med de uppmätta nivåerna i SGUs grundvattennät har en särskild studie utförts (Lagergren 2014). En stark korrelation erhöles för grundvattennivåer beräknade i moränjordar där den omättade zonen generellt är liten. Vidare visade analyser att grundvattennivåer beräknade med S-HYPE för jordklassen grovjord uppvisade stor osäkerhet och att jordklassen kan behöva delas upp för att öka modellens noggrannhet.

Av de 109 delavrinningsområdena har de data som uppvisar en bra korrelation mellan uppmätta grundvattennivåer och med S-HYPE beräknade grundvattennivåer använts. Endast delavrinningsområden med en korrelationskoefficient som var högre än 0,6 har inkluderats i studien vilket innebar ca 90 stationer för morän och 38 stationer för grovjord (isälvsmaterial). Orsaken till att det i vissa delavrinningsområden går bättre att korrelera SGUs grundvattennivåmätningar till de med S-HYPE beräknade värdena beror på att modellen för vissa områden på ett bättre sätt beskriver de verkliga förhållanden inom berört delavrinningsområde.

Utvärderingen av den relativa förändringen i grundvattennivå har vid SGU tagits fram genom att använda differenser mellan de med S-HYPE beräknade framtida grundvattennivåerna och de med S-HYPE beräknade grundvattennivåerna för referensperioden 1961–1990. De framtida grundvattennivåerna har beräknats för utsläppsscenarierna RCP 4.5 och RCP 8.5 för de två perioderna 2021–2050 och 2069–2098.

Eftersom modellen beräknar relativa grundvattennivåer redovisar de statistiska bearbetningar som utförts vid SGU enbart en relativ beskrivning av förändringen och inte någon beskrivning av förändringar i absoluta grundvattennivåer. Den relativa förändringen har ett numeriskt värde men redovisas i kartorna i resultatdelen med en beskrivande text, se bilaga 1.

SGUs redovisning återspeglar den framtida förändringen vid de stationer som visar en god korrelation mellan beräknade och uppmätta grundvattennivåer. Den visar således inte en heltäckande kartbild över förändringen av grundvattennivåerna i Sverige.

Nedan beskrivs de olika typer av analyser som utförts av SGU för att åskådliggöra förändringarna i beräknade, framtida grundvattennivåer jämfört med referensperioden 1961–1990.

Årsmedelvärden

Medelvärden av grundvattennivåer har beräknats för de nio klimatmodellerna för varje utsläppsscenario och tidsperiod sett över ett helt år för varje station och typ av grundvattenmagasin. Resultaten redovisas med beskrivningen oförändrad, liten, måttlig eller stor förväntad påverkan på grundvattennivåerna. För att se vad texten numeriskt innebär i relativ differens av grundvattennivåerna mellan tidsperioderna och referensperioden för beräknade värden från S-HYPE, se bilaga 1.

Årstidsmedelvärden

På samma sätt som för årsmedelvärden har årstidsmedelvärden beräknats för de nio klimatmodellerna, där vinter definierats som perioden december–februari, vår som mars–maj, sommar som juni–augusti och höst som september–november för varje station och typ av grundvattenmagasin. Eftersom årstidsvariationerna är relativt små i långsamreagerande magasin så redovisas dessa inte i avsnittet med årstidsvariationer, se exempel i figur 2.

Resultaten redovisas med beskrivningen oförändrad, liten, måttlig eller stor förväntad påverkan på grundvattennivåerna. För att se vad texten numeriskt innebär i relativ differens av grund-

vattennivåerna mellan tidsperioderna och referensperioden för beräknade värden från S-HYPE, se bilaga 1.

Regimer

Regimstudier har utförts för snabbreagerande grundvattenmagasin för de båda utsläppsscenarierna RCP 4.5 och RCP 8.5. Regimkurvorna beskriver den årstidsvisa grundvattennivåförändringen och åskådliggör när under året som grundvatten bildas och när det sker en avsänkning av grundvattennivåerna. Varje delavrinningsområde har tilldelats en regim, beroende på hur delavrinningsområdets årstidsvariation ser ut över tidsperioden. Regimgränserna är dragna utifrån vilken regim som delavrinningsområdena tillhör.

Grundvattnets nivåvariationer

En ytterligare studie av inomårsvariationen har gjorts. Den visar förändringen i regimmönstret kopplat till enskilda delavrinningsområden. Kartor har framställts som visar hur grundvattennivåernas fluktuationsintervall förväntas förändras på årsbasis. Analysen är främst intressant för en bedömning av förändringen i nivåvariationen hos de snabbreagerande grundvattenmagasinen men är även av intresse för måttligt långsamreagerande magasin.

Teckenförklaringen i de framställda kartorna visar tidsperiodens variation i procent mot referensperioden. Intervallet 97,5–102,5 % innebär ingen större förändring. Värden under 97,5 % innebär att den maximala variationen kommer att minska, dvs. att avståndet mellan högsta och lägsta grundvattennivån förväntas vara mindre i framtiden än jämfört med referensperioden 1961–1990. Värden över 102,5 % innebär att avståndet mellan högsta och lägsta grundvattennivå kommer att öka jämfört med referensperioden.

Förväntade högsta och lägsta grundvattennivåer

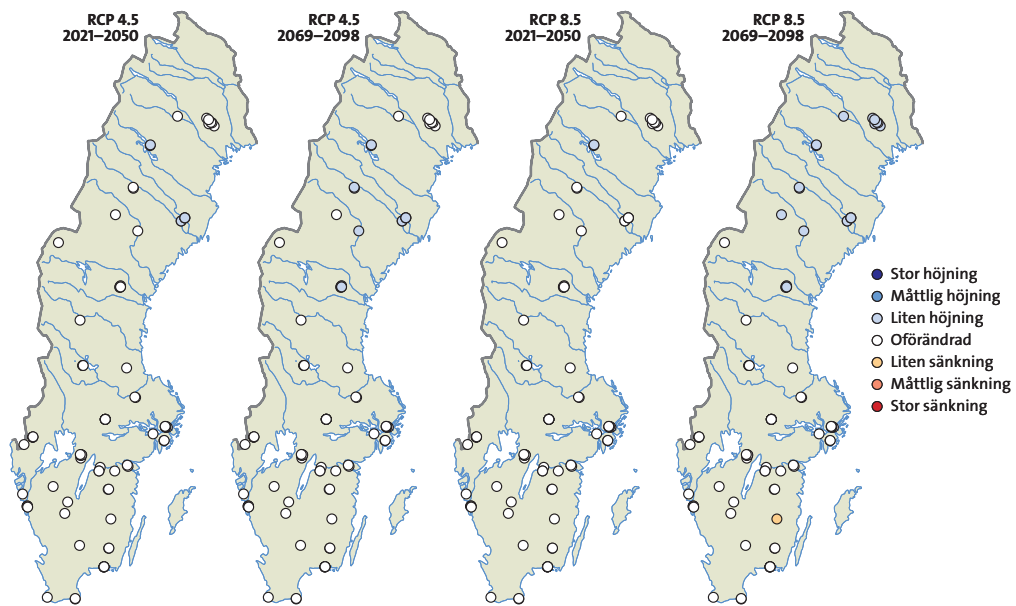
Analysen visar den förväntade förändringen av högsta och lägsta grundvattennivåer per tidsperiod, dvs. inte per enskilda år. För varje år beräknades först ett medelvärde av alla klimatmodeller där både den högsta och den lägsta grundvattennivån togs ut. För varje tidsperiod jämfördes sedan den högsta respektive lägsta grundvattennivån mot de högsta respektive lägsta grundvattennivåerna för referensperioden. Analysen ger en indikation på hur grundvattentillgången kan komma att ändras för hela tidsperioden.

RESULTAT

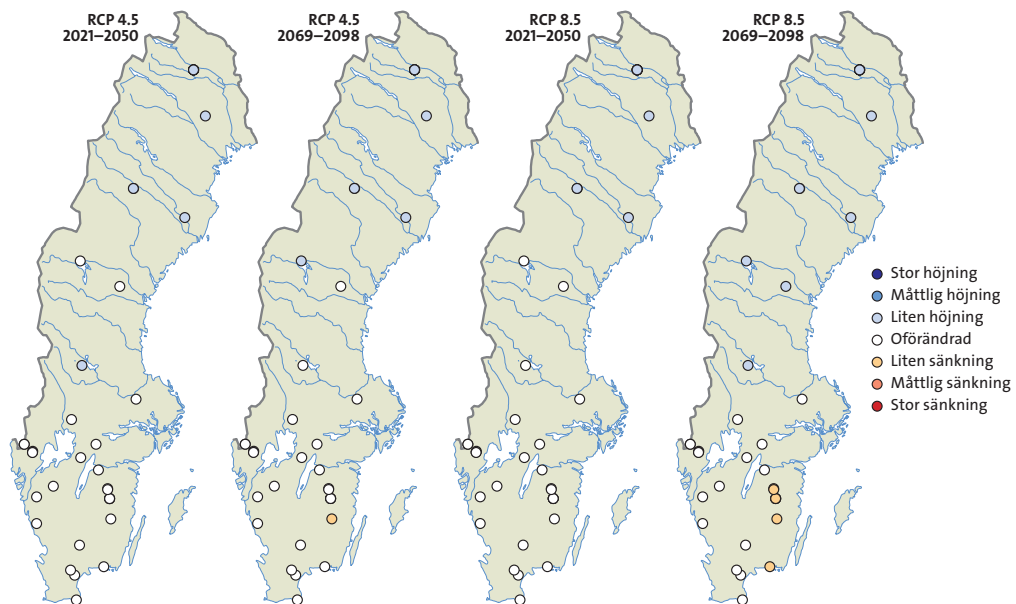
Årsmedelvärden

För snabbreagerande grundvattenmagasin förväntas grundvattennivåernas årsmedelvärden öka något i de nordliga delarna av Sverige. Detta är mest tydligt i slutet av seklet, perioden 2069–2098 och RCP 8.5 (fig. 4). För resterande delar av Sverige förväntas grundvattennivåerna inte förändras nämnvärt. Eventuellt kan delar av sydöstra Sverige få sjunkande grundvattennivåer i slutet av seklet.

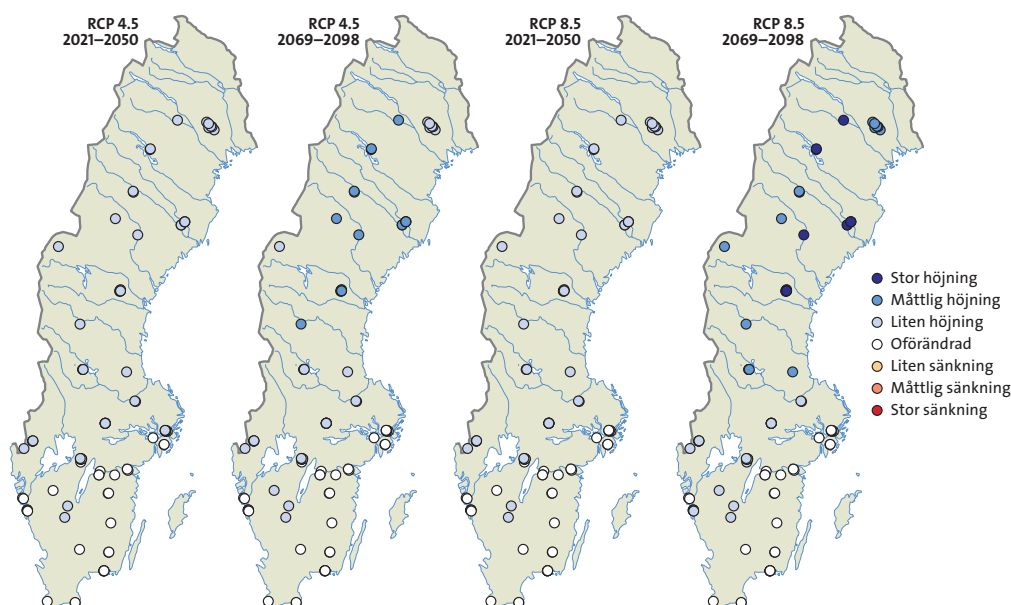
Även för långsamreagerande grundvattenmagasin är det i de nordliga delarna av Sverige som vi kan förvänta oss höjda grundvattennivåer. Utbredningen söderut av höjda grundvattennivåer förväntas bli större för långsamreagerande grundvattenmagasin än för de snabbreagerande magasinerna. Båda utsläppsscenarierna (RCP 4.5 och RCP 8.5) visar att grundvattennivåerna kan förväntas sjunka i sydöstra Sverige i slutet av seklet, men det blir mer tydligt för RCP 8.5 än för RCP 4.5 (fig. 5).



Figur 4. Snabbreagerande grundvattenmagasin. Grundvattennivåernas avvikelse från referensperiodens årsmedelvärde för tidsperioderna 2021-2050 och 2069-2098 och de två utsläppsscenarierna RCP 4.5 och RCP 8.5.



Figur 5. Långsamreagerande grundvattenmagasin. Grundvattennivåernas avvikelse från referensperiodens årsmedelvärde för tidsperioderna 2021-2050 och 2069-2098 för de två utsläppsscenarierna RCP 4.5 och RCP 8.5.



Figur 6. Årstidsmedelvärden för vinter i snabbreagerande grundvattenmagasin. Grundvattennivåernas avvikelser mot referensperiodens årstidsmedelvärden för tidsperioderna 2021–2050 och 2069–2098 för de två utsläppsscenarierna RCP 4.5 och RCP 8.5.

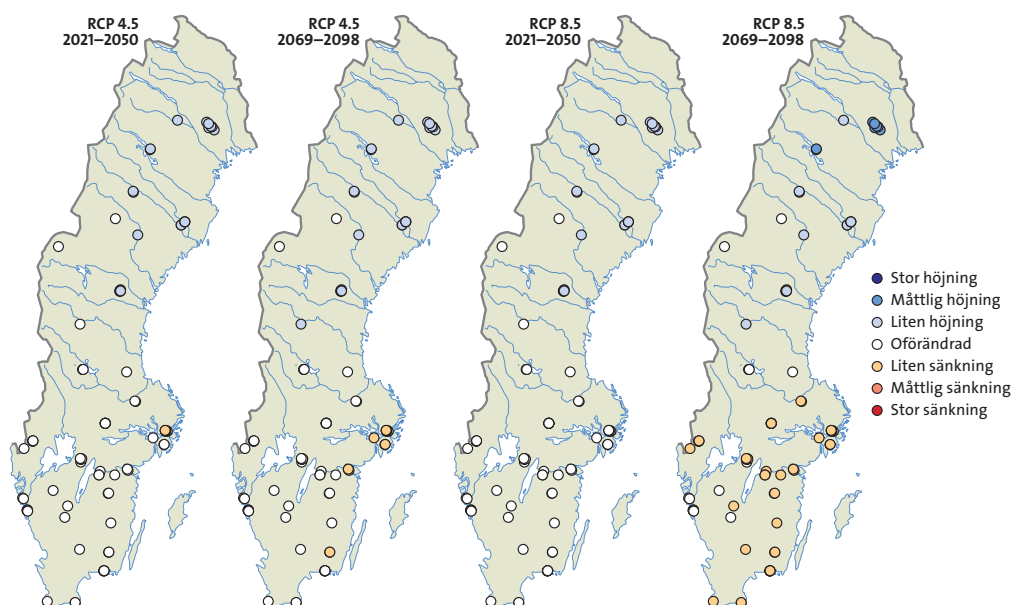
Årstidsmedelvärden för snabbreagerande grundvattenmagasin

Ser man istället till hur grundvattennivåerna kommer att förändras under årets olika årstider så förväntas den största förändringen av grundvattennivåerna att ske i början av året (vintern) genom höjda grundvattennivåer (fig. 6). Främst kan höjda grundvattennivåer (måttlig till stor förändring) noteras i de norra och mellersta delarna av Sverige under vintermånaderna (december till februari, fig. 6) där grundvattennivåerna förväntas höjas oavsett utsläppsscenario och tidsperiod. Vid en jämförelse mellan de olika scenarierna ses den största skillnaden för perioden 2069–2098 (fig. 6). För södra Sverige förväntas grundvattennivåerna under vintern vara oförändrade även med det kraftigaste utsläppsscenariot RCP 8.5 och tidsperioden 2069–2098.

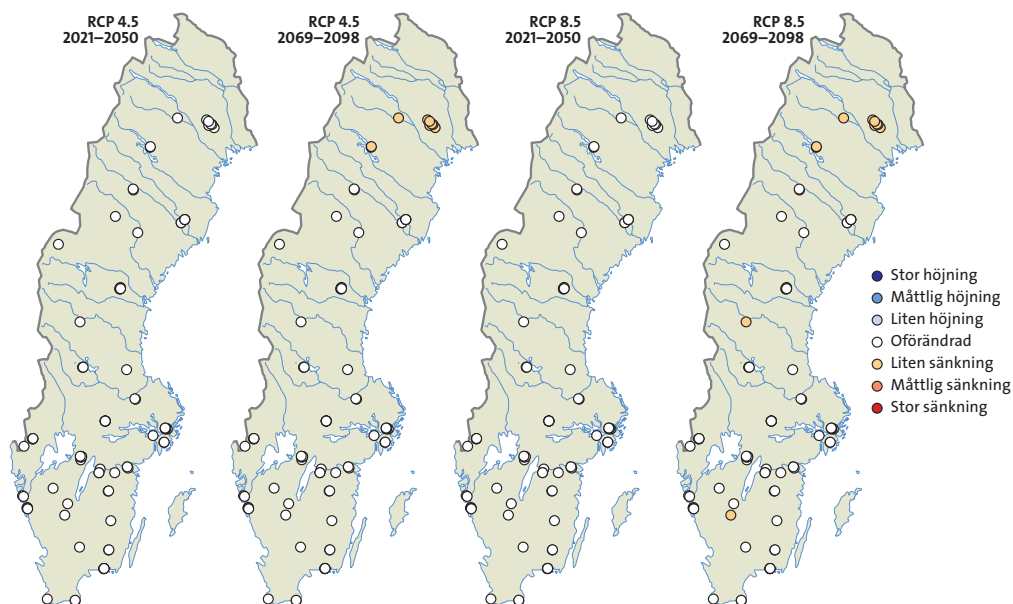
Även under vårmånaderna förväntas norra delarna av Sverige få en liten höjning av grundvattennivåerna för båda tidsperioderna och de två utsläppsscenarierna. I slutet av seklet förutses en måttlig höjning i de nordligaste delarna (fig. 7). I södra Sverige förväntas i stort sett oförändrade grundvattennivåer för utsläppsscenario RCP 4.5 medan grundvattennivåerna däremot kan förväntas sjunka för utsläppsscenario RCP 8.5. Förändringen bedöms bli en liten sänkning av grundvattennivåerna, där i princip hela sydöstra Sverige kan påverkas för perioden 2069–2098 (fig. 7). I sydvästra Sverige förväntas grundvattennivåerna bli oförändrade.

Sommarmånaderna förväntas i stort sett få oförändrade grundvattennivåer i hela Sverige (fig. 8). De allra nordligaste delarna kan få en liten sänkning av grundvattennivåerna i slutet av seklet med båda utsläppsscenarierna (fig. 8). Det finns även en tendens till att enstaka delavrinningsområden i Härjedalen och Jönköping kan väntas få en liten sänkning av grundvattennivåer.

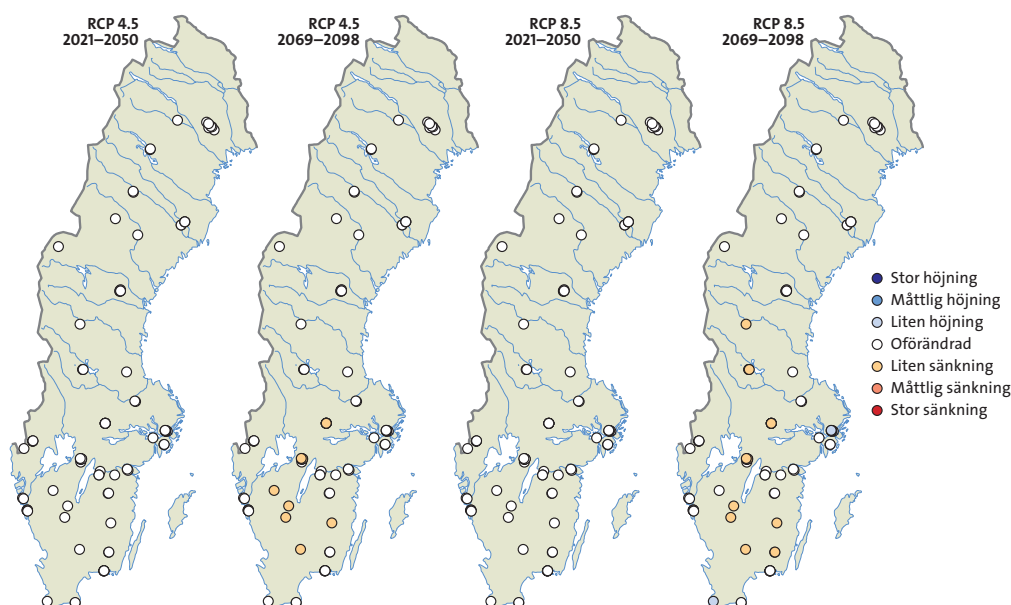
Under hösten kan i stort sett oförändrade grundvattennivåer förväntas i hela Sverige för perioden 2021–2050 med båda utsläppsscenarierna (fig. 9). För perioden 2069–2098 beräknas grundvattennivåerna bli lite lägre i södra Sverige, och då främst i de sydöstra delarna, men oförändrade i resterande delar av Sverige (fig. 9).



Figur 7. Årstidsmedelvärden för vår i snabbreagerande grundvattenmagasin. Grundvattennivåernas avvikelse mot referensperiodens årstidsmedelvärden för tidsperioderna 2021–2050 och 2069–2098 för de två utsläppsscenarierna RCP 4.5 och RCP 8.5.



Figur 8. Årstidsmedelvärden för sommar i snabbreagerande grundvattenmagasin. Grundvattennivåernas avvikelse mot referensperiodens årstidsmedelvärden för tidsperioderna 2021–2050 och 2069–2098 för de två utsläppsscenarierna RCP 4.5 och RCP 8.5.



Figur 9. Årstidsmedelvärden för höst i snabbreagerande grundvattenmagasin. Grundvattennivåernas avvikelser mot referensperiodens årstidsmedelvärden för tidsperioderna 2021–2050 och 2069–2098 för de två utsläppsscenarierna RCP 4.5 och RCP 8.5.

Grundvattennivåns regimer

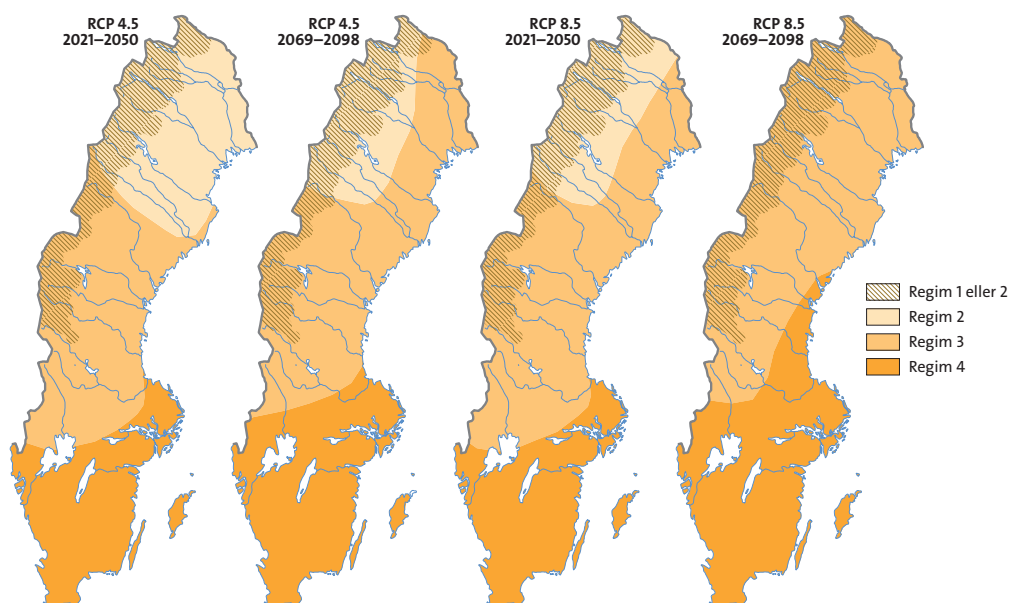
I framtiden förväntas att grundvattennivåernas variationsmönster förändras så att enbart tre regimområden, och i det mest extrema fallet, enbart två områden återstår (RCP 8.5, 2069–2098) jämfört med de fyra regimområden som finns idag. Det är främst den nordligaste regimen med den dominerande grundvattenbildningen vid snösmältningen som försvinner. I stället kommer det i detta område att ske en grundvattenbildning även under hösten, då nederbörden förmodas komma som regn och inte som snö, vilket den gör idag.

Gränsen mellan regimområde 3 och 4 förväntas förflytta sig norrut jämfört med dagens gräns men den förmodas inte förflytta sig längre än till en linje mellan Gästrikland och Värmland. Eventuellt kan regimgränsen komma att förflytta sig något längre norrut längs Norrlands-kusten vid RCP 8.5. I fjällkedjan har underlagsdata från SMHI inte kunnat användas på grund av stora lokala variationer. Likt situationen idag förväntas regimerna 1 och 2 förekomma i fjällkedjan även i ett framtida klimat (fig. 10).

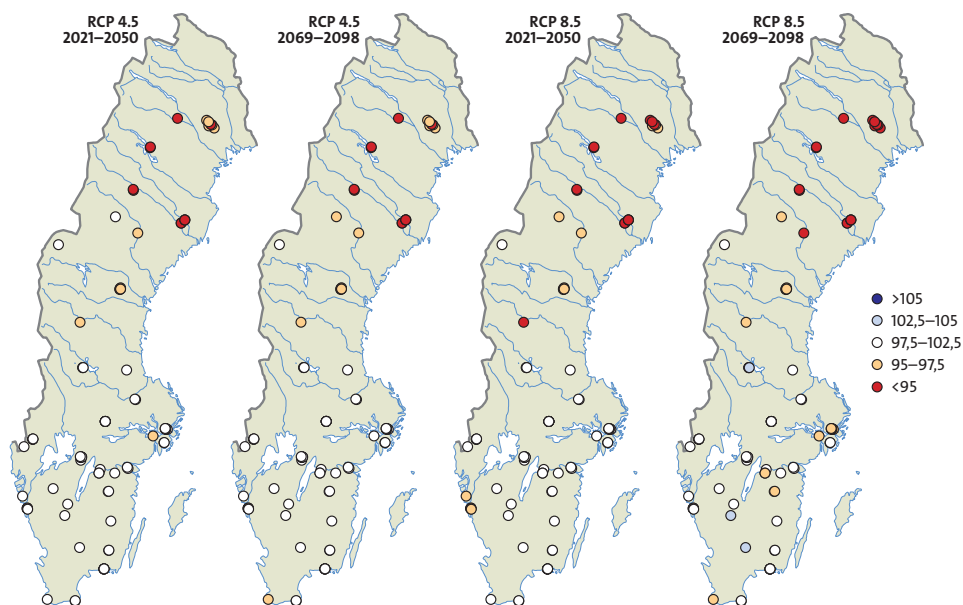
Grundvattnets nivåvariationer

För de snabbreagerande grundvattenmagasinen beräknas grundvattennivåerna i norra Sverige fluktuera mindre jämfört med idag medan grundvattennivåerna i södra Sverige förväntas få ett oförändrat variationsmönster (fig. 11). För RCP 8.5 i slutet av seklet kan en större skillnad mellan lägsta och högsta nivåer lokalt förväntas förekomma i de inre delarna av södra och mellersta Sverige samtidigt som det också kan förekomma mindre spännvidd i nivåvariationerna även i Mälardalsregionen och strax söder därom.

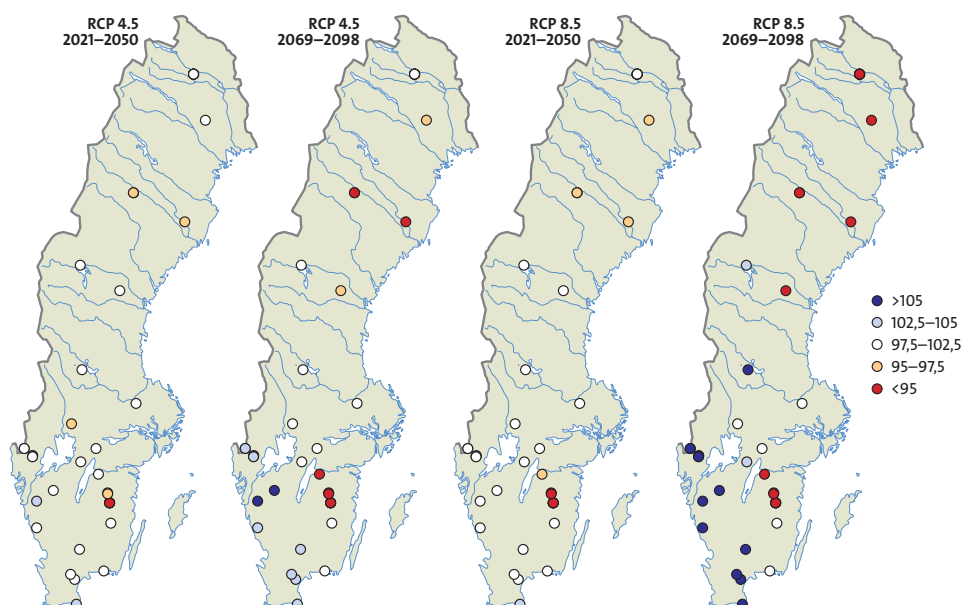
För stationerna i långsamreagerande grundvattenmagasin är resultatet mer varierat. Främst kan Västsverige förväntas få en större variation mellan de lägsta och högsta grundvattennivåerna medan mellersta Sverige (främst Östergötland) samt norra Sverige kan få en mindre variation av



Figur 10. Snabbreagerande grundvattenmagasin. Grundvattenregimer för olika tidsperioder och de två utsläppsscenarierna RCP 4.5 och RCP 8.5. Likt situationen idag förväntas regimerna 1 och 2 förkomma i fjällkedjan även i ett framtida klimat (rastrerat område).



Figur 11. Snabbreagerande grundvattenmagasin. Förändring i skillnad mellan grundvattennivåernas högsta och lägsta grundvattennivå mellan referensperioden och tidsperioderna 2021–2050 och 2069–2098 för utsläppsscenarierna RCP 4.5 och RCP 8.5.



Figur 12. Långsamreagerande grundvattenmagasin. Förändring i skillnad mellan grundvattennivåernas högsta och lägsta grundvattennivå mellan referensperioden och tidsperioderna 2021–2050 och 2069–2098 för utsläppsscenarierna RCP 4.5 och RCP 8.

grundvattennivåerna (fig. 12). Den största skillnaden i landet kan ses för perioden 2069–2098 och RCP 8.5 där det antingen blir större eller mindre variationsintervall över hela Sverige. En noterbar skillnad mellan scenarierna är att förändringarna är relativt likartade för perioden 2021–2050 men att för RCP 8.5 blir de förväntade förändringarna större under perioden 2069–2098.

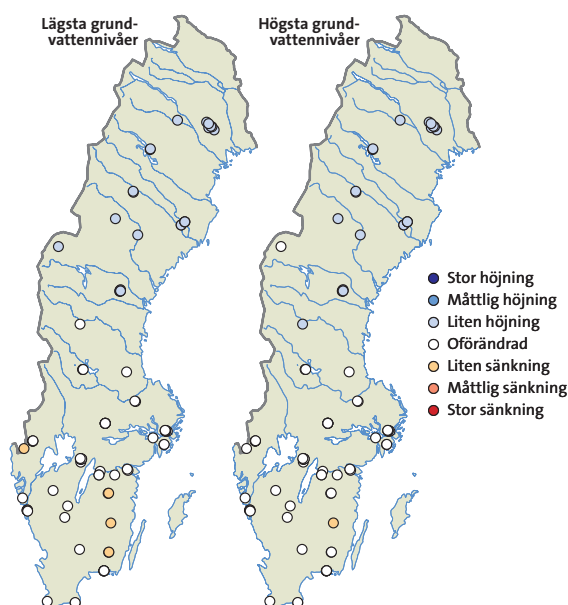
Förändringar i grundvattnets högsta och lägsta nivåer vid RCP 8.5

Både i långsamreagerande och snabbreagerande grundvattenmagasin väntas en höjning av såväl de lägsta som de högsta grundvattennivåerna i de norra delarna av Sverige. Figurerna 13 och 14 visar kartor för scenariot RCP 8.5 och perioden 2069–2098. De största förändringarna av hur de lägsta respektive högsta grundvattennivåerna förväntas förändras kan ses för långsamreagerande grundvattenmagasin.

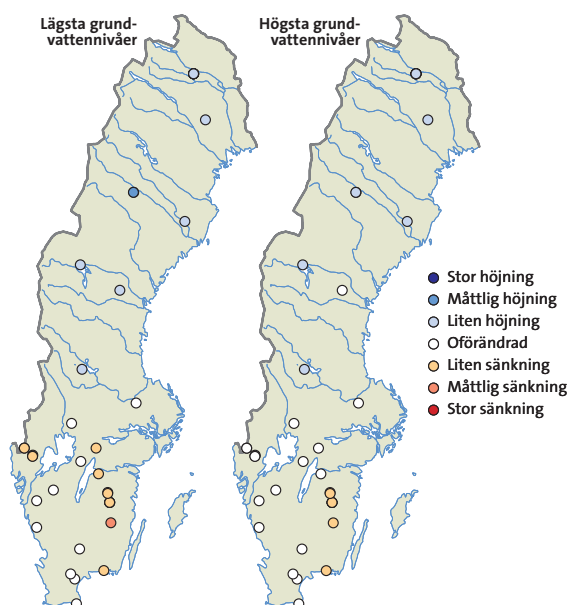
I mellersta och södra Sverige, förutom i de sydöstra delarna, förväntas de lägsta och högsta grundvattennivåerna bli oförändrade i de snabbreagerande grundvattenmagasinen. I sydöstra Sverige beräknas både de lägsta och de högsta grundvattennivåerna att sjunka. De sydöstra delarna kan enligt beräkningarna få ännu lägre lägsta grundvattennivåer än idag (fig. 13). I de långsamreagerande magasinerna väntas en större del av södra Sverige få sänkta lägsta grundvattennivåer. I vissa delar av södra Sverige väntas även sänkta högsta grundvattennivåer men inte i lika stort område som för området med en sänkning av de lägsta grundvattennivåerna.

OSÄKERHETER

De beräknade grundvattennivåerna har osäkerheter som beror på olika faktorer. Eftersom resultatet baseras på beräkningar från nio olika globala modeller så kan den modellberoende osäkerheten skattas hos de beräknade grundvattennivåerna. Ett exempel för vår och sommar redovisas

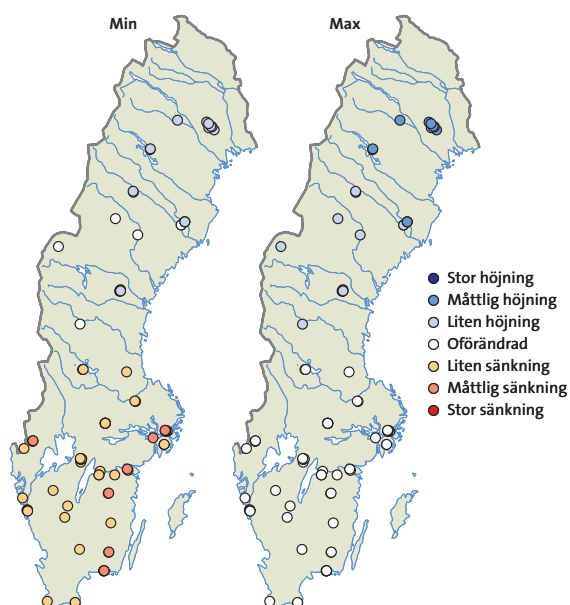


Figur 13. Snabbreagerande grundvattenmagasin för scenariot RCP8.5 och perioden 2069–2098. Till vänster: förändringen av de lägsta grundvattennivåerna. Till höger: förändringen av de högsta grundvattennivåerna.

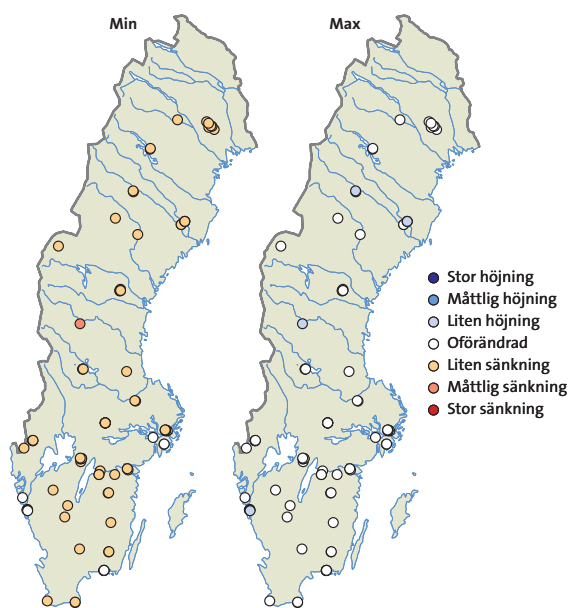


Figur 14. Långsamreagerande grundvattenmagasin för scenariot RCP8.5 och perioden 2069–2098. Till vänster: förändringen av de lägsta grundvattennivåerna. Till höger: förändringen av de högsta grundvattennivåerna.

i fig. 15 och fig. 16 där beräknade min- och maxnivåer (baserat på data från samtliga modeller) i morän redovisas för perioden 2069 – 2098, utsläppsscenario RCP8.5. Avvikelserna redovisas som skillnad i medelvärden av högsta och lägsta beräknade grundvattennivå jämfört med referensperioden för respektive årstid. Osäkerheten i beräkningarna under våren är mer påtaglig i södra och mellersta delen av landet där skillnaderna är stora mellan högsta och lägsta beräknade nivådifferens. Under sommaren är skillnaderna mellan beräknade högsta och lägsta nivådifferens mindre och mer jämnt fördelade över landet vilket kan tolkas som att säkerheten i den beräknade grundvattennivån är större under sommaren.



Figur 15. Skillnad mellan högsta och lägsta grundvattennivåskillnad för morän under våren för utsläppsscenarioet RCP 8.5, perioden 2069–2098. I södra och mellersta delen av landet är det stor skillnad mellan lägsta (till vänster) och högsta (till höger) beräknad nivåskillnad i förhållande till referensperioden.



Figur 16. Skillnad mellan högsta och lägsta grundvattennivåskillnad för morän under sommaren för utsläppsscenarioet RCP 8.5, perioden 2069–2098. Skillnaderna mellan lägsta (till vänster) och högsta (till höger) är mindre jämfört med våren och skillnaderna är även mer jämnt fördelade i förhållande till referensperioden.

De redovisade exemplen visar tydligt hur beräkningarna kan ge varierande resultat under olika tider på året och i olika delar av landet. En annan uppdelning, exempelvis på enskilda månader, skulle antagligen ge en tydligare bild av osäkerhetens variation under året och i olika delar av landet.

DISKUSSION

Utförda arbeten visar att modellen S-HYPE kan användas för att modellera grundvattennivåer för delavrinningsområden i Sverige, men för att dessa ska kunna användas för denna typ av studier krävs det att det finns mätserier med uppmätta grundvattennivåer inom delavrinningsområdet som kan korreleras mot de beräknade grundvattennivåerna. Är korrelationen bra kan modellen och de beräknade grundvattennivåerna användas för det specifika delavrinningsområdet.

Inom SGUs Grundvattennät finns idag endast mätserier för ett fåtal av landets delavrinningsområden. Av dessa mätserier visar enbart en mindre andel en god korrelation mellan uppmätta grundvattennivåer och de med S-HYPE beräknade värdena. Det innebär att studien inte kan visa en bild av förväntade grundvattennivåer över hela Sverige.

I bedömningarna som gjordes i Sundén m.fl. (2010) och Rodhe m.fl. (2009) användes endast ett urval av stationer från SGUs grundvattennät. Genom att den här studien har baserats på data från betydligt fler delavrinningsområden går det nu att dra fler och mer robusta slutsatser, t.ex. rörande framtida regimförändringar. Dock visar resultaten från Sundén m.fl. (2010) och Rodhe m.fl. (2009) och den nu utförda studien på en samstämmig bild kring de stora dragen i grundvattennivåernas förväntade förändringar vilket stärker tilltron till resultaten i studierna. Bilden som ges är att de största förändringarna förväntas ske i början av året och främst i norra delen av Sverige. Båda studierna visar vidare på att avsänkningen av grundvattennivåerna under sommarhalvåret väntas förlängas. Skillnaden mot Sundén m.fl. (2010) är att här och i Rodhe m.fl. (2009) tas två magasin typer upp. Den nu utförda studien visar även på skillnader mellan scenarierna och skillnader mellan modellerna men ger även underlag för flera tidsperioder.

Grundvattennivåförändring

Norra Sverige

I norra Sverige förväntas de största förändringarna i grundvattennivåerna främst inträffa under första halvan av året och innebära höjda grundvattennivåer. Detta bör hänga samman med de klimatförändringar som väntas under vintern och våren, med förändrade nederbördstyper och förskjutning av snösmältningen till tidigare på året. Även temporära milda perioder under vintern bedöms kunna bidra till en tidigarelagd grundvattennivåhöjning.

I norra Sverige bedöms vidare att den grundvattennivåhöjning som sker under första halvan av året inte kommer att räcka till för att kompensera den förmodat ökade avdunstningen och växternas upptag av vatten under sommaren. Detta i kombination med en tidigareläggning av snösmältningen leder till att grundvattennivåerna sänks under sommaren. Däremot återställs grundvattennivåerna under hösten när nederbörden faller som regn.

Både de högsta och de lägsta grundvattennivåerna i norra Sverige förväntas stiga samtidigt som grundvattennivåernas amplitud minskar. Genom att nederbörden kan förmodas falla i form av regn längre in på hösten jämfört med idag så gör det att grundvattennivåerna är högre i början av vintern jämfört med idag. Detta påverkar längden av perioden med de lägsta grundvattennivåerna innan snösmältningens början. Därutöver kan den mest intensiva snösmältningsperioden komma att dämpas.

Förändringen blir extra tydlig då man visar förändringarna i grundvattennivåer i ett diagram. Här kan en tydlig tidigareläggning av grundvattennivåns maximum i samband med snösmältningen iakttas. Däremot blir grundvattennivåerna högre under hösten vilket kan bero på att en större del av nederbörden faller som regn (fig. 17).

Södra Sverige

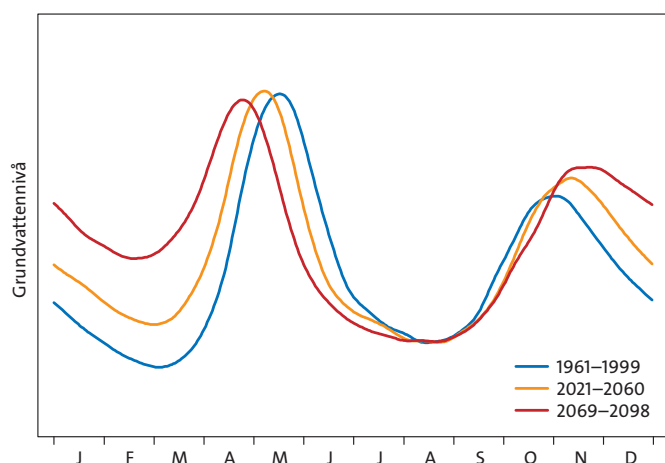
I sydöstra Sverige råder samma tendens som framkommit i tidigare studier (Sundén m.fl. 2010), nämligen att grundvattennivåerna generellt förväntas sjunka. Här förväntas grundvattennivå-

erna bli lägre både under hösten och på våren. Att grundvattennivåerna sänks under hösten i sydöstra Sverige beror antagligen på den ökade avdunstningen, både som en följd av högre temperaturer och på grund av en förlängd växt- och odlingssäsong.

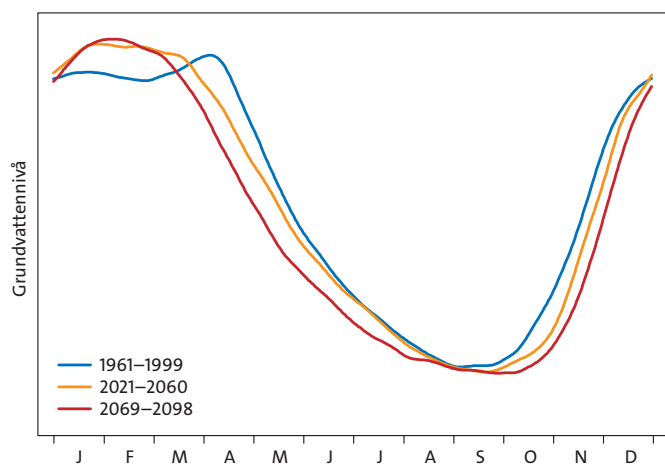
Den tydligaste förändringen kan iakttas för de högsta och lägsta grundvattennivåerna i södra Sverige vilka förväntas sjunka i både snabb- och långsamreagerande grundvattenmagasin.

Förändringar i nivåamplitud varierar beroende på vilken del av södra Sverige som avses, då denna skiljer sig på västkusten och ostkusten. Amplituden förväntas öka på västkusten medan den minskar på ostkusten. På västkusten är den troliga orsaken att grundvattennivåerna under sommaren blir lägre medan nivåerna på vintern blir förhållandevis oförändrade. På ostkusten beräknas grundvattennivåerna vid ingången på perioden med grundvattenbildning vara lägre samtidigt som perioden med avsänkning väntas öka längre in på hösten.

I sydöstra Sverige blir perioden med avsänkning längre men grundvattennivåerna blir inte nödvändigtvis lägre. Den största grundvattenbildningen väntas tidigare på året samtidigt som grundvattenbildningen fortsätter längre in på hösten. De högsta grundvattennivåerna beräknas främst att bli högre under början av året (fig. 18).



Figur 17. Dygnsmedelvärden för station i Pålkem (37_49) i norra Sverige i snabbreagerande magasin. Diagrammet visar perioderna 1961–1990, 2021–2050 och 2069–2098 för RCP 8.5.



Figur 18. Dygnsmedelvärden för station 5_1 i sydöstra Sverige i snabbreagerande magasin. Diagrammet visar perioderna 1961–1990, 2021–2050 och 2069–2098 för RCP 8.5.

I de sydvästra delarna ses, liksom i sydost, en tendens med högre grundvattennivåer i början av året. Även här ses en tendens med högre grundvattennivåer under sommarhalvåret, vilket skulle kunna bero på fler lågtryck och större regnmängder som bidrar till grundvattenbildning även under sommarhalvåret. Perioden med avsänkning av grundvattnet förväntas inte förändras lika mycket i de sydvästra delarna av landet som på ostkusten (fig. 19).

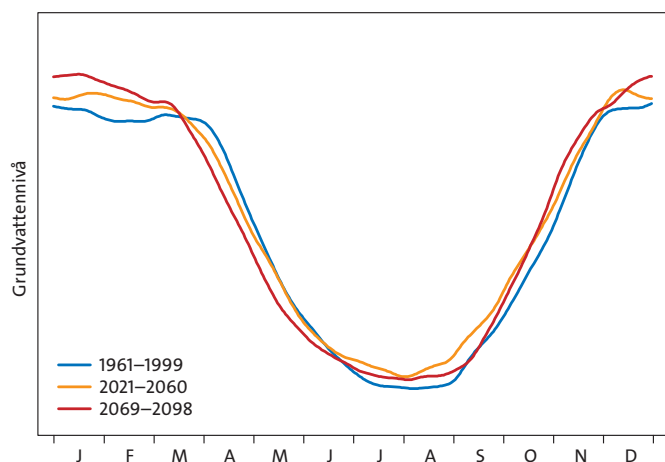
På Gotland finns det inte någon mätserie som går att koppla till de modellerade värdena vilket gör att de grundvattennivåer som beräknats med S-HYPE inte går att använda med tillräcklig noggrannhet. I stora drag bör resultaten från Kalmar län kunna säga något om hur förhållandena kan komma att förändras på Gotland. Det kan dock förekomma skillnader, främst med tanke både på skilda geologiska förutsättningar men även på grund av att Gotland är en ö i Östersjön. I stora drag beräknas perioden med sjunkande grundvattennivåer bli längre och eventuellt kan grundvattennivåerna under vintern bli något högre än för referensperioden.

Eftersom det i resultatdelen endast har gjorts en uppdelning i årstider kan detta göra att resultatet för sommarmånaderna blir en aning missvisande då enstaka månader kan försvinna i statistiken genom att de resterande månaderna inte visar på en lika stor förändring. Ett exempel visas figur 20 där årstidsmedelvärdet visar på en oförändrad situation medan det för specifika månader kan finnas en större förändring.

Förändring av grundvattentillgång

Även om grundvattennivåförändringarna i södra Sverige bedöms bli mindre än i norra Sverige så är det här som konsekvenserna kan förväntas bli störst för grundvattentillgången. Detta gäller särskilt i sydöstra Sverige. En viktig orsak till detta är att grundvattennivåerna, och därmed också grundvattentillgången, förväntas minska i de sydöstra delarna av Sverige under hösten. Detta, tillsammans med bedömningen att de långsamreagerande magasinerna (isälvsmaterial) i södra Sverige kan förväntas få en ökad skillnad mellan min- och maxnivåerna, stärker bedömningen att det periodvis och särskilt under hösten finns risk för minskad vattentillgång.

Som figurerna 17 och 18 visar förväntas främst de sydöstra delarna av landet få lägre lägsta grundvattennivåer vilket kan komma att påverka grundvattentillgången. Det gäller främst under sommarhalvåret och början av hösten då grundvattennivåerna som regel är som lägst. Detta kan påverka både den enskilda och den allmänna vattenförsörjningen genom att möjligheterna till grundvattenuttag kan komma att minska när grundvattennivåerna blir lägre. Tillsammans



Figur 19. Dygnsmedelvärden för station (52_13) på västkusten, södra Sverige, i snabbreagerande magasin. Diagrammet visar perioderna 1961–1990, 2021–2050 och 2069–2098 för RCP 8.5.

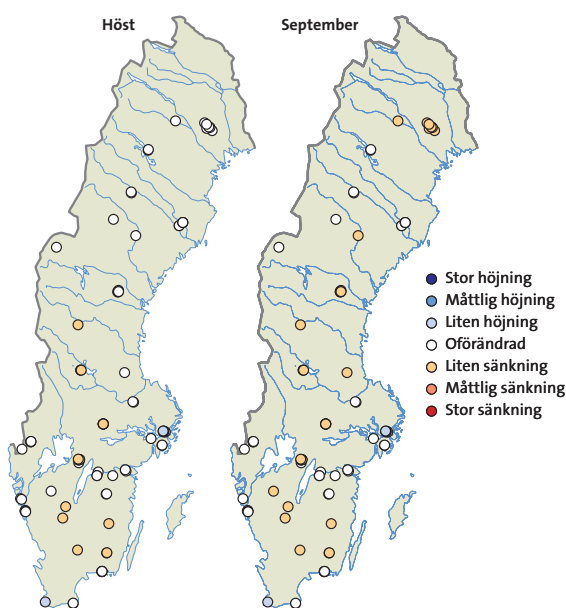
med bedömningen att vi förmodas få längre perioder med sjunkande grundvattennivåer under sommarhalvåret gör detta att påverkan bedöms bli som störst på tillgången i de grundvattenmagasin som har den minsta marginalen, dvs. där det råder en knapp tillgång redan idag.

För de vattentäkter som idag har konstgjord grundvattenbildning kommer behovet av infiltration att öka vilket ställer krav på att det finns tillräcklig tillgång i de ytvattendrag som används för infiltrationen.

Effekter på vattenförsörjningen

För den allmänna dricksvattenförsörjning som baseras på grundvatten förväntas den största utmaningen till följd av ett förändrat klimat finnas i de sydöstra delarna av Sverige eftersom det där förväntas att nybildningen av grundvatten minskar, vilket kan resultera i en minskad grundvattentillgång. Den allmänna vattenförsörjningen kan indirekt även komma att behöva förse större områden med vatten i de fall vattentillgången blir för knapp i områden som idag försörjs via enskilt vatten. Detta gäller speciellt i kustområden där magasinvolymen är liten och förlängda sommarperioder utan grundvattenbildning kan förväntas bidra till vattenbrist. I norra Sverige däremot kan de förhöjda grundvattennivåerna komma att påverka de vattentäkter som har konstgjord grundvattenbildning genom att den omättade zonen kan komma att minska. Det skulle även kunna leda till att mängden ytvatten som behöver infiltreras kan minska, men för att kunna förutsäga detta krävs mer ingående studier av vattenbalanser och uttagsbehov.

Även ytvattenbaserad vattenförsörjning kan påverkas genom en större andel ytnära grundvattenavrinning till ytvattendrag i landets nordliga delar. Ytligt grundvatten är generellt surare än djupare (äldre grundvatten) och det kan innehålla mer metaller och har generellt sätt en högre halt av humusämnen. I områden där grundvattentillgången istället minskar och grundvattennivåerna sänks förväntas detta även medföra minskade flöden till ytvatten och ökade problem med vattentillgång vid ytvattenverk (Aastrup m.fl. 2012).



Figur 20. Differenser i månadsmedelvärden för september månad jämfört med årstidsmedelvärdet för hösten för 2069-2098 och RCP 8.5 i snabbreagerande grundvattenmagasin.

Miljömål och vattenförvaltning

Två av de sex preciseringarna av miljömålet *Grundvatten av god kvalitet* är direkt berörda av förändrade grundvattennivåer varav den ena kopplar samman arbetet med miljömålet med arbetet inom vattenförvaltningen. De två preciseringarna är: 3. *God kvantitativ grundvattenstatus* som säger att "Grundvattenförekomster som omfattas av förordningen (2004:660) om förvaltning av kvaliteten på vattenmiljön har god kvantitativ status" samt 4. *Grundvattennivåer* som säger att "Grundvattennivåerna är sådana att negativa konsekvenser för vattenförsörjning, markstabilitet eller djur- och växtliv i angränsande ekosystem inte uppkommer".

Inom vattenförvaltningen gäller grundprincipen att den kvantitativa och kemiska statusen ska vara god till målåret 2015 (med undantag t.o.m. 2027) och att statusen inte får försämras i de vattenförekomster som är beslutade att ingå i arbetet med vattenförvaltningen. Med försämrad kvantitativ status avses att det råder en negativ vattenbalans där uttagen av grundvatten är större än nybildningen av grundvatten i förekomsten. För de grundvattenförekomster där det idag råder en negativ kvantitativ status eller en risk att statusen försämrats är det extra viktigt att den framtida förvaltningen tar höjd för de förväntade förändringarna till följd av ett förändrat klimat.

Visserligen förväntas de mer markanta och drastiska förändringarna i våra grundvattentillgångar till följd av ett förändrat klimat uppstå efter det uppsatta målåret, men då de mål och intentioner som vattenförvaltningen grundar sig på förväntas bestå i ett mycket långt tidsperspektiv så måste ett långsiktigt tänkande som sträcker sig bortanför förvaltningens uppsatta målår tillämpas. Redan nu ingår i rapporteringen till EU-kommissionen att redogöra för de åtgärder som vidtas i medlemsstaterna i syfte att följa upp och arbeta förebyggande när det gäller konsekvenserna av ett förändrat klimat (European Commission, WFD Reporting guidance, version 4.9). Beaktande de resultat som kommit fram i denna studie så bedöms dessa åtgärder, liksom åtgärder för att verka för miljömålen, bli som viktigast att vidta i sydöstra Sverige inklusive Gotland och Öland.

Vidare bör poängteras att det i både arbetet med miljömål och vattenförvaltning tas särskild hänsyn till grundvattenberoende ekosystem. Detta får inte glömmas bort trots att fokus i detta arbete är vattentillgångar ur ett vattenförsörjningsperspektiv.

Sammanfattande slutsatser

För långsamreagerande grundvattenmagasin, belägna i isälvsmaterial och som är viktiga för den allmänna vattenförsörjningen, kan de viktigaste slutsatserna sammanfattas som följer:

- Grundvattnets årsmedelnivå beräknas höjas i större delen av Sverige utom i landets sydöstra delar där nivåerna istället beräknas sjunka. Detta gäller både snabbreagerande och långsamreagerande magasin men har störst betydelse för de långsamreagerande magasinerna och därmed för den allmänna vattenförsörjningen.
- Grundvattnets maximi- och miniminivåer beräknas öka i norra Sverige medan de istället beräknas minska i södra Sverige. Mönstret är inte lika tydligt för de snabbreagerande magasinerna som för de långsamreagerande grundvattenmagasinerna.
- Nivåfluktuationerna beräknas minska i norra delen av landet medan de beräknas öka i landets södra och sydvästra delar.

För snabbreagerande grundvattenmagasin belägna i främst morän och som främst är viktiga för den enskilda vattenförsörjningen, kan de viktigaste slutsatserna sammanfattas som följer:

- Den största beräknade förändringen i ett framtida klimat är att grundvattennivåernas regim förändras, dvs. grundvattennivåernas årstidsvariation väntas förändras, främst i den norra delen av Sverige. Detta har främst betydelse för den enskilda vattenförsörjningen.
- Grundvattennivåerna beräknas vara lägre under sensommar och tidig höst, vilket kan påverka den enskilda vattenförsörjningen till följd av en längre period utan grundvattenbildning under sommarhalvåret.
- Grundvattennivåerna beräknas fluktuera mindre i norra Sverige medan det i södra Sverige beräknas bli i stort sett oförändrade nivåvariationer.

De nio globala modellerna som har använts som underlag till rapporten ger varierande resultat vilket är en osäkerhet som måste beaktas vid bedömningen.

REFERENSER

- Aastrup, M., Thunholm, B., Sundén, G. & Dahné, J., 2012. Klimatets påverkan på koncentrationer av kemiska ämnen i grundvatten. *Sveriges geologiska undersökning SGU-rapport 2012:27*, 41 s.
- Bergström, S., 1976: Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. *SMHI Reports RHO 7*, 134 s.
- Eklund, A., Axén Mårtensson, J., Bergström, S., Björck, E., Dahné, J., Lindström, L., Nordborg, D., Olsson, J., Simonsson, L. & Sjökvist, E., 2015: Sveriges framtida klimat. Underlag till Dricksvattenutredningen. *SMHI Klimatologi 14*.
- Lagergren, H., 2014: *Kan den hydrologiska modellen S-HYPE användas för att beräkna grundvattennivåer med tillräcklig noggrannhet?* Examensarbete vid Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, Sverige, 56 s.
- Lagergren, H., 2015: Grundvattennivåns tidsmässiga variationer i morän och jämförelser med klimatscenarier. *Sveriges geologiska undersökning SGU-rapport 2015:20*, 27 s.
- Lindström G., Johansson B., Persson M., Gardelin M. & Bergström S., 1997: Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model. *Journal of Hydrology* 201, 272–288.
- Lindström, G., Pers, C.P., Rosberg, R., Strömqvist, J. & Arheimer, B., 2010: Development and test of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) model – A water quality model for different spatial scales. *Hydrology Research* 41.3–4, 295–319.
- Nordberg, L. & Persson, G., 1974: The national groundwater network of Sweden. *Sveriges geologiska undersökning Ca 48*, 160 s.
- Ojala L., Thunholm B., Maxe L., Persson G. & Bergmark M., 2007: Kan grundvattenmålet klaras vid ändrade klimatförhållanden? – underlag för analys. *Sveriges geologiska undersökning SGU-rapport 2007:09*, 53 s.
- Rodhe A., Lindström G. & Dahné J., 2009: *Grundvattennivåer i ett förändrat klimat*. Sveriges geologiska undersökning, slutrapport, FoU-projekt, 44 s.
- SMHI 2015: Vägledning för användande av klimatscenarier. *Klimatologi 11*, 61 s.
- Strömqvist, J., Arheimer, B., Dahné, J., Donnelly, C. & Lindström, G., 2012: Water and nutrient predictions in ungauged basins: set-up and evaluation of a model at the national scale, *Hydrological Sciences Journal* 57, 229–247.
- Sundén, G., Maxe, L. & Dahné, J., 2010: Grundvattennivåer och vattenförsörjning vid ett förändrat klimat. *Sveriges geologiska undersökning SGU-rapport 2010:12*, 44 s.
- Sveriges geologiska undersökning, 2014: Bedömningsgrunder för grundvatten. *Sveriges geologiska undersökning SGU-rapport 2013:01*, 235 s.

BILAGA 1**Förväntad förändring av grundvattennivån**

Det är generellt svårt att ange exakta värden för hur mycket det innebär i grundvattennivåförändring i meter för de olika magasinstyperna. Grovt betraktat kan en stor förändring i snabbreagerande grundvattenmagasin motsvara minst en halv meters förändring. För långsamt reagerande grundvattenmagasin är det desto mer osäkert vilket gör att det inte går att sätta någon siffra på förändringen.

Numeriska värden	Text
>0,25	Stor höjning
0,25 till 0,15	Måttlig höjning
0,15 till 0,05	Liten höjning
0,05 till -0,05	Oförändrad
-0,05 till -0,15	Liten sänkning
-0,15 till -0,25	Måttlig sänkning
≤0,25	Stor sänkning

Statens offentliga utredningar 2015

Kronologisk förteckning

1. Deltagande med väpnad styrka i utbildning utomlands. En utökad beslutsbefogenhet för regeringen. Fö.
2. Värdepappersmarknaden MiFID II och MiFIR. + Bilagor. Fi.
3. Med fokus på kärnuppgifterna. En angelägen anpassning av Polismyndighetens uppgifter på djurområdet. Ju.
4. Ett svenskt tonnageskattesystem. Fi.
5. En ny svensk tullagstiftning. Fi.
6. Mer gemensamma tobaksregler. Ett genomförande av tobaksprodukt-direktivet. S.
7. Krav på privata aktörer i välfärden. Fi.
8. En översyn av årsredovisningslagarna. Ju.
9. En modern reglering av järnvägstransporter. Ju.
10. Gränser i havet. UD.
11. Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2015. Kontroll, dokumentation och finansiering för ökad säkerhet. M.
12. Överprövning av upphandlingsmål m.m. Fi.
13. Tillämpningsdirektivet till utstationeringsdirektivet – Del I. A.
14. Sedd, hörd och respekterad. Ett ändamålsenligt klagomålssystem i hälso- och sjukvården. S.
15. Attraktiv, innovativ och hållbar – strategi för en konkurrenskraftig jordbruks- och trädgårdsnäring. N L.
16. Ökat värdeskapande ur immateriella tillgångar. N.
17. För kvalitet – Med gemensamt ansvar. S.
18. Lösöreköp och registerpant. Ju.
19. En ny ordning för redovisningstillsyn. Fi.
20. Trygg och effektiv utskrivning från slutenvård. S.
21. Mer trygghet och bättre försäkring. Del 1 + 2. S.
22. Rektorn och styrkedjan. U.
23. Informations- och cybersäkerhet i Sverige. Strategi och åtgärder för säker information i staten. Ju Fö.
24. En kommunallag för framtiden. Del A + B. Fi.
25. En ny säkerhetsskyddslag. Ju.
26. Begravningsclearing. Ku.
27. Skatt på dubbdäcksanvändning i tätort? Fi.
28. Gör Sverige i framtiden – digital kompetens. N.
29. En yrkesinriktning inom teknikprogrammet. U.
30. Kemikalieskatt. Skatt på vissa konsumentvaror som innehåller kemikalier. Fi.
31. Datalagring och integritet. Ju.
32. Nästa fas i e-hälsoarbetet. S.
33. Uppgiftslämnarservice för företagen. N.
34. Ett effektivare främjandeförbud i lotterilagen. Fi.
35. Service i glesbygd. N.
36. Systematiska jämförelser. För lärande i staten. S.
37. Översyn av lagen om skiljeförfarande. Ju.
38. Tillämpningsdirektivet till utstationeringsdirektivet – Del II. A.
39. Myndighetsdatalag. Ju.
40. Stärkt konsumentskydd på bolånemarknaden. Ju.
41. Ny patentlag. Ju.
42. Koll på anläggningen. N.
43. Vägar till ett effektivare miljöarbete. M.
44. Arbetslöshet och ekonomiskt bistånd. S.
45. SÖK – statsbidrag för ökad kvalitet. U.
46. Skapa tilltro. Generell tillsyn, enskildas klagomål och det allmänna ombudet inom socialförsäkringen. S.

47. Kollektiv rättighetsförvaltning på upphovsrättsområdet. Ju.
48. Bostadsmarknaden och den ekonomiska utvecklingen. Fi.
49. Nya regler för revisorer och revision. Ju.
50. Hela lönen, hela tiden. Utmaningar för ett jämställt arbetsliv. A.
51. Klimatförändringar och dricksvattenförsörjning. N.

Statens offentliga utredningar 2015

Systematisk förteckning

Arbetsmarknadsdepartementet

- Tillämpningsdirektivet till
utstationeringsdirektivet – Del I. [13]
- Tillämpningsdirektivet till
utstationeringsdirektivet – Del II. [38]
- Hela lönen, hela tiden. Utmaningar för ett
jämfäst arbetsliv. [50]

Finansdepartementet

- Värdepappersmarknaden
MiFID II och MiFIR. + Bilagor [2]
- Ett svenskt tonnageskattesystem. [4]
- En ny svensk tullagstiftning. [5]
- Krav på privata aktörer i välfärden. [7]
- Överprövning av upphandlingsmål m.m.
[12]
- En ny ordning för redovisningstillsyn. [19]
- En kommunallag för framtiden.
Del A + B. [24]
- Skatt på dubbdäcksanvändning i tätort?
[27]
- Kemikalieskatt. Skatt på vissa konsu-
mentvaror som innehåller kemikalier.
[30]
- Ett effektivare främjandeförbud i
lotterilagen. [34]
- Bostadsmarknaden och den ekonomiska
utvecklingen. [48]

Försvarsdepartementet

- Deltagande med väpnad styrka
i utbildning utomlands. En utökad
beslutsbefogenhet för regeringen. [1]

Justitiedepartementet

- Med fokus på kärnuppgifterna. En ange-
lägen anpassning av Polismyndig-
hetens uppgifter på djurområdet. [3]
- En översyn av årsredovisningslagarna. [8]
- En modern reglering

- av järnvägstransporter. [9]
- Lösöreköp och registerpant. [18]
- Informations- och cybersäkerhet
i Sverige. Strategi och åtgärder för säker
information i staten. [23]
- En ny säkerhetsskyddslag. [25]
- Datalagring och integritet. [31]
- Översyn av lagen om skiljeförfarande. [37]
- Myndighetsdatalag. [39]
- Stärkt konsumentskydd på
bolånemarknaden. [40]
- Ny patentlag. [41]
- Kollektiv rättighetsförvaltning på
upphovsrättsområdet. [47]
- Nya regler för revisorer och revision. [49]

Kulturdepartementet

- Begravningsclearing. [26]

Miljö- och energidepartementet

- Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2015.
Kontroll, dokumentation och finansie-
ring för ökad säkerhet. [11]
- Vägar till ett effektivare miljöarbete. [43]

Näringsdepartementet

- Attraktiv, innovativ och hållbar – strategi
för en konkurrenskraftig jordbruks-
och trädgårdsnäring. [15]
- Ökat värdeskapande ur immateriella
tillgångar. [16]
- Gör Sverige i framtiden – digital
kompetens. [28]
- Uppgiftslämnarservice för företagen. [33]
- Service i glesbygd. [35]
- Koll på anläggningen. [42]
- Klimatförändringar och dricksvatten-
försörjning. [51]

Socialdepartementet

Mer gemensamma tobaksregler.

Ett genomförande av tobaks-
produkt direktivet. [6]

Sedd, hörd och respekterad. Ett
ändamålsenligt klagomålssystem
i hälso- och sjukvården. [14]

För kvalitet – Med gemensamt ansvar. [17]

Trygg och effektiv utskrivning från slutenvård. [20]

Mer trygghet och bättre försäkring.

Del 1 + 2. [21]

Nästa fas i e-hälsoarbetet. [32]

Systematiska jämförelser. För lärande i
staten. [36]

Arbetslöshet och ekonomiskt bistånd. [44]

Skapa tilltro. Generell tillsyn,
enskildas klagomål och det allmänna
ombudet inom socialförsäkringen. [46]

Utbildningsdepartementet

Rektorn och styrkedjan. [22]

En yrkesinriktning inom teknik-
programmet. [29]

SÖK – statsbidrag för ökad kvalitet. [45]

Utrikesdepartementet

Gränser i havet. [10]