

Klimatmodellering av grundvatten – grundläggande analys

Calle Hjerne, Anders Retzner, Eva Hellstrand & Bo Thunholm

april 2024

SGU-rapport 2024:04



Ändring genomförd 27 maj 2024

Sidan 16, tredje stycket. Sista meningen har tagits bort:
"Exempelvis innebär det att om det under 85 dygn inte varit mer än 10 mm potentiell grundvattenbildning under rullande 30 dygn är grundvattentorkan vid tillfället 55 dygn."

Ändringar genomförda 19 mars 2025

Sidan 32, figur 11 och sidan 33, figur 12 samt bilaga 1, figurerna 10–18. Figurerna har justerats.

Under senare arbete inom regeringsuppdraget *Analys av grundvattenmagasinens robusthet och utsatthet för klimatförändringar* förbättrades beräkningsmetoden för grundvattentorkans längd, framför allt med avseende på grundvattentorka under vinterhalvåret. Förbättringen påverkar resultat i områden där årets längsta grundvattentorka sker under vintern, vilket i första hand är Norrlands fjälltrakter och Norrlands inland. Justeringen av figurerna påverkar inte diskussion och slutsatser. Slutrapportering för regeringsuppdraget görs i rapport RR 2025:01.

Omslagsbild: Tussilago i torr jord.
Fotograf: iStock

Författare: Calle Hjerne, Anders Retzner, Eva Hellstrand, Bo Thunholm

Granskad av: Björn Holgersson

Ansvarig enhetschef: Lars Molde

Redaktör: Lina Rönnåsen

Sveriges geologiska undersökning

Box 670, 751 28 Uppsala

tel: 018-17 90 00

e-post: sgu@sgu.se

www.sgu.se

FÖRORD

Denna rapport beskriver hur Sveriges geologiska undersökning (SGU) har genomfört en klimatmodellering som visar hur grundvattnet i Sverige kan komma att påverkas av framtida förändringar i klimatet. SGU vill särskilt lyfta fram att resultaten i rapporten inte utgör ett fullständigt underlag för klimatanpassning av samhället med avseende på grundvatten. För det krävs ytterligare klimatmodellering, analyser och konsekvensbedömningar. De grundläggande analyserna och resultatet som redovisas i rapporten speglar endast medelvärden och deras förväntade förändring för tre utvalda klimatindikatorer. Dessa klimatindikatorer har dock valts ut för att utgöra en grund till en analys av förändrade grundvattenförhållanden i ett framtida klimat.

Rapporten har tagits fram av en arbetsgrupp på SGU bestående av Calle Hjerne, Anders Retzner, Eva Hellstrand och Bo Thunholm. Anders Retzner har ansvarat för beräkningarna medan Calle Hjerne har ansvarat för resultatredovisningen och rapporteringen. Arbetet genomfördes till största del inom SGU:s ordinarie verksamhet, men slutfördes och avrapporterades under 2024 inom ramen för regeringsuppdraget *Analys av grundvattenmagasinens robusthet och utsatthet för klimatförändringar*.

Arbetsgruppen vill rikta ett stort tack till SMHI för ett mycket bra stöd och samarbete. Även Björn Holgersson och Josef Källgården, båda på SGU, tackas för många värdefulla synpunkter.

Läsanvisning

Den primära målgruppen för rapporten är personer som arbetar med frågeställningar som direkt eller indirekt berörs av grundvatten. Det kan till exempel vara handläggare hos vattenproducenter, kommuner och länsstyrelser, eller konsulter som arbetar med vattenförsörjningsfrågor, mark-användningsplanering eller infrastrukturprojekt.

På ett övergripande plan är rapporten också lämplig för beslutsfattare och andra myndigheter eller organisationer, som till exempel Svenskt Vatten och Lantbrukarnas Riksförbund. Detta eftersom grundvatten och dess förändring i ett framtida klimat spelar en mycket viktig roll för vårt samhälle.

För att fullt ut kunna ta del av rapporten behövs en viss grundläggande kunskap om grundvatten. Oavsett om läsaren har kunskap om grundvatten eller ej, är det mycket viktigt att vara medveten om de osäkerheter och begränsningar som finns i beräkningarna för att resultaten inte ska användas på ett felaktigt sätt.

Vid publiceringen av rapporten hade SGU tyvärr ingen operativ digital tjänst för att hålla resultaten tillgängliga för nedladdning och för vidare användning. En sådan tjänst kan dock bli aktuell i ett senare skede.

INNEHÅLL

Förord	3
Läsanvisning	3
Innehåll	4
Sammanfattning	5
Bakgrund	6
Klimatscenarier och klimatmodeller	7
Beräkningsmodell för grundvatten	10
Klimatindikatorer för grundvatten	12
Potentiell grundvattenbildning	13
Grundvattentorka	16
Fyllnadsgrad	17
Utgångsläge 1961–2020	18
Potentiell grundvattenbildning	18
Grundvattentorka	22
Fyllnadsgrad	25
Resultat av klimatmodellering	28
Potentiell grundvattenbildning	28
Grundvattentorka	31
Fyllnadsgrad	34
Diskussion och slutsatser	37
Möjliga konsekvenser för samhället	38
Förslag för fortsatta studier	40
Referenser	41
Bilaga 1. Resultatkartor	42
Innehåll bilaga 1	42

SAMMANFATTNING

Grundvatten spelar en mycket stor roll för flera funktioner i det svenska samhället. Det är därför viktigt att utreda hur grundvattnet i Sverige kan komma att påverkas i framtiden, till exempel av förändringar i klimatet. Denna rapport beskriver hur Sveriges geologiska undersökning (SGU) har genomfört en klimatmodellering med avseende på grundvattnet.

Den kanske mest uppenbara betydelsen av grundvattnet är för vattenförsörjning, men det kan till exempel också vara avgörande för vissa ekosystem. Det är inte bara för lite grundvatten som kan skapa problem, utan även för mycket grundvatten kan medföra negativa konsekvenser. Till exempel kan höga grundvattennivåer öka risken för översvämning och försämrad bärighet i mark.

Rapporten presenterar beräkningar av grundvattenförhållanden som genomförts med SGU:s modell SGU-HYPE, vilken är en modifierad version av SMHI:s avrinningsmodell HYPE. Beräkningar har utförts både för de väderförhållanden som varit under perioden 1961–2020, och för olika klimatscenarier för perioden 2011–2100. För åren 1961–2020 har SMHI:s så kallade PTHBV-data för temperatur och nederbörd använts. För 2011–2100 har tre olika klimatscenarier samt 17 klimatmodeller använts vid beräkningarna. Inom denna studie har det inte varit möjligt att inkludera grundvattenkvalitet eftersom den beräkningsmodell som använts inte inkluderar någon modellering av grundvattenkemi eller föroreningar.

Samtliga beräkningar och resultat i rapporten avser så kallade små grundvattenmagasin, vilket till exempel kan beröra enskild vattenförsörjning, jordbruk, infrastruktur och undermarksanläggningar. Resultaten avseende förändring av grundvattenförhållanden presenteras utifrån tre klimatindikatorer. Inom ramen för denna rapport kan dessa mycket kortfattat beskrivas så här:

- **Potentiell grundvattenbildning** (mm) är i princip beräknad grundvattenbildning för ett generaliserat och idealiserat område i ett permanent inströmningsområde.
- En period av **grundvattentorka** (dygn) startar om den totala potentiella grundvattenbildningen under de senaste 30 dygna varit mindre än 10 mm. Den slutar om den potentiella grundvattenbildningen blir lika med eller större än 10 mm under de senaste 30 dygna.
- **Fyllnadsgrad** (enhetslös) är en normering av grundvattennivå för en specifik plats. Normeringen görs så att det blir en jämn (rektangulär) fördelning av nivåerna, från 0 till 100 där noll indikerar att nivån är lika låg som den lägsta nivån och 100 att den är lika med den högsta nivån för den specifika platsen.

I den grundläggande analys som presenteras i denna rapport redovisas endast resultat för medelvärden och förändring av medelvärden för 30-årsperioder. För perioden 2011–2100 kan de viktigaste resultaten sammanfattas med:

- Alla tre klimatindikatorer visar på likartade förändringar, men resultaten avseende grundvattentorka uppvisar de tydligaste förändringarna.
- Förändringen för klimatindikatorerna är mer påtagliga för kraftigare klimatscenarier och senare tidsperioder.
- Översiktligt kan de förväntade förändringarna sammanfattas med:
 - Kortare grundvattentorka på vintern samt ökad potentiell grundvattenbildning och fyllnadsgrad i fjällkedjan och Norrlands inland.
 - Oförändrad eller minskad potentiell grundvattenbildning och fyllnadsgrad i Götaland och i stora delar av Svealand.
 - Längre grundvattentorka i Götaland och i stora delar Svealand samt längs Norrlands-kusten där de större förändringarna ofta uppträder nära kusten eller de större sjöarna.

Det är dock ofta de mer extrema händelserna snarare än normalläget som blir avgörande för samhället och klimatanpassningen vad det gäller grundvatten. Dessutom är det inte givet att samhällskonsekvenserna står i direkt proportion till förändringarna. Detta beror på att användningen eller beroendet av grundvatten och de geologiska förhållandena kan variera stort mellan olika områden. Det är därför viktigt att analysen av klimatmodelleringen fördjupas, bland annat genom fokus på mer extrema händelser och delar av året, till exempel enskilda årstider och månader. Det är också mycket viktigt att klimatförändringarnas påverkan på grundvattenkemi och grundvattenkvalitet ingår i fortsatta studier.

BAKGRUND

Grundvatten spelar en mycket viktig roll för vårt samhälle. Drygt 40 procent av allt kommunalt vatten i Sverige är naturligt eller konstgjort grundvatten (SCB 2022). Utöver detta tillkommer grundvatten för ca 1,2 miljoner permanentboende med egen brunn i jord eller berg och ytterligare ungefär lika många som försörjs av grundvatten vid fritidsboende (Maxe 2007). Grundvatten står sammantaget alltså för ungefär hälften av Sveriges dricksvattenförsörjning, och troligtvis mer än så sommartid.

Grundvatten används inte bara som dricksvatten utan kan också användas för djurhållning, bevattning och inom annat näringsliv. Grundvatten kan även vara en resurs genom att vara kvar i marken, till exempel genom att upprätthålla vattentryck så att det inte uppstår sättningar i mark. Det finns också många ekosystem i Sverige som är mer eller mindre direkt beroende av grundvatten. Grundvatten är dock inte bara en resurs utan kan dessutom påverka samhället i en mer negativ betydelse, till exempel kan ovanligt höga grundvattennivåer öka risken för översvämning och försämrad bärighet i mark. Grundvatten kan också påverka undermarksanläggningar, som tunnlar eller VA-ledningar, genom inläckage som måste hanteras.

När grundvatten används som en resurs är det viktigt att både mängden och kvaliteten uppfyller behoven. Det finns även ett samspel mellan dessa aspekter. Om det till exempel görs stora grundvattenuttag på en plats kan kvaliteten försämras.

Nybildningen av grundvatten, vilket också kallas grundvattenbildning, sker framför allt genom att nederbörd i form av regn eller smältvatten infiltrerar markytan och rinner ner genom marken och bildar grundvatten. Förutom nederbörd är också avdunstning från mark och växter en viktig faktor för hur stor grundvattenbildningen är. Avdunstning är mycket beroende av temperaturen.

Grundvattnet påverkas väldigt mycket, både i mängd och kvalitet, av de lokala markförhållandena på platsen. Det kan handla om jordart, jordlagerföljd, jorddjup, mineralsammansättning, topografi, berggrund, kontakt med ytvatten och inte minst mänsklig lokal påverkan genom till exempel pumpning eller läckande vattenrör. Sverige har en mycket varierande geologi och därmed skiljer sig grundvattenresurserna åt väldigt mycket inom landet, med allt från mycket stora uttagsmöjligheter som kan försörja hela städer till mycket små som kanske inte ens är tillräckliga för ett hushåll.

Den förändring av klimatet som pågår påverkar inte bara temperaturen utan även nederbörden. Enligt de klimatmodelleringar som SMHI publicerar på sin webbplats (SMHI 2024a) är det förväntat att både temperaturen och nederbörden ökar i Sverige i framtiden.

Den ökande temperaturen skulle innebära en ökad avdunstning och därmed minskad grundvattenbildning och lägre grundvattennivåer. Däremot skulle den ökande nederbörden medföra en ökad grundvattenbildning och högre grundvattennivåer. Den förväntade, framtida förändringen i nederbörd och temperatur skulle därmed ha motsatta effekter.

En enkel tolkning av detta skulle kunna vara att de förväntade förändringarna tar ut varandra med avseende på grundvatten, och att de därmed inte skulle få någon större effekt för samhället. Detta är dock en alltför förenklad och felaktig tolkning vilket delvis beror på att förändringen i temperatur och nederbörd inte förväntas vara jämnt fördelad över landet och årstiderna. Det beror också på de mycket varierande geologiska förhållandena i Sverige och att behovet av grundvatten varierar stort inom Sverige och är olika under året.

Ett antal studier av grundvatten i ett framtida klimat har tidigare utförts baserade på SGU:s och SMHI:s data. Grundvattennivåns förändrade årstidsvariation i ett framtida klimat har beräknats med olika scenarier (Rodhe m.fl. 2009, Sundén m.fl. 2010, Vikberg m.fl. 2015). Resultaten visar bland annat att snösmältningen under våren kommer att avta i södra och mellersta Sverige, vilket innebär lägre grundvattennivåer och därmed ett försämrat utgångsläge för vattenförsörjningen inför sommaren. Liknande förändringar i årstidsvariation har även noterats i mätningar av grundvattennivåer som påbörjades i slutet av 1960-talet (Lagergren 2015). Förändrade variationsmönster i grundvattennivå kan även medföra förändringar i grundvattenkemin (Aastrup m.fl. 2012). Exempelvis kan perioder med grundvattennivåer nära markytan ge ökade halter av organiskt material och metaller.

Inom SGU:s arbete med vattenförvaltning och miljömålet *Grundvatten av god kvalitet* har både grundvattnets kvalitet och kvantitet central betydelse. Vattenförvaltningen har dock främst fokus på de stora grundvattenmagasinen vilka inte berörs primärt av denna rapport. Inom miljömålsarbetet förekommer bland annat en så kallad precisering: ”*Grundvattennivåerna är sådana att negativa konsekvenser för vattenförsörjning, markstabilitet eller djur- och växtliv i angränsande ekosystem inte uppkommer*”. Detta innebär att klimatets framtida förändring kan få stor betydelse.

Sammantaget finns det ett stort behov av att utreda hur grundvattentillgången och grundvattennivåerna kan komma att förändras i framtiden.

KLIMATSCENARIER OCH KLIMATMODELLER

Vårt klimat har förändrats och allt tyder på att det kommer fortsätta göra det även i framtiden. Klimatförändringar är ett mycket omfattande och komplext område och SGU har inom ramen för denna rapport varken möjlighet eller ambition att beskriva orsaker, effekter, åtgärder, med mera på ett utförligt sätt.

För att kunna förstå och använda resultaten från denna rapport är det dock lämpligt att ta del av några grundläggande förutsättningar och begrepp som presenteras nedan. Följande avsnitt är en enkel sammanfattning av SMHI:s information (SMHI 2024b) som rekommenderas för den som vill fördjupa sig inom området. SMHI har också en klimatscenariotjänst där man själv kan se hur till exempel temperatur och nederbörd förväntas att ändras i framtiden (SMHI 2024a). Även IPCC:s webbplats (IPCC 2024) kan rekommenderas för ytterligare information.

Klimatmodellering utförs för att göra prediktioner om framtiden för olika faktorer, som till exempel temperatur. Eftersom det är okänt hur utsläpp och markanvändning med mera kommer att utvecklas framöver är det vanligt att utföra klimatmodellering utifrån olika klimatscenarier för att täcka in olika möjliga framtidsutvecklingar. Det finns många olika scenarier som skulle kunna användas, men inom ramen för detta arbete har tre olika så kallade RCP:er (eng. *Representative Concentration Pathways*) använts i likhet med de som SMHI presenterar i sin klimatscenariotjänst, RCP 2,6, RCP 4,5 och RCP 8,5.

Enkelt uttryckt motsvarar en RCP en specifik utveckling av jordens strålningsbalans, vilket är skillnaden mellan energin i solinstrålningen som träffar jorden och hur mycket energi som strålar ut från jorden (enhet W/m²). Siffrorna för respektive RCP visar förändringen, strålnings-

drivningen, från år 1750 till år 2100. Med andra ord innebär en högre siffra, en större strålningsdrivning och därmed en större förändring av jordens strålningsbalans.

En RCP är inte kopplad till specifika tekniska, ekonomiska eller politiska åtgärder utan varje RCP kan uppnås genom olika samhällsutveckling. Förutom koldioxid finns det också andra faktorer som påverkar strålningsdrivningen, som markanvändning, metan, svaveldioxid och kväveoxid. Därför är det ingen strikt koppling mellan RCP:er och koldioxidhalt i atmosfären. Översiktligt kan dock de RCP:er som använts (IPCC 2014) sammanfattas enligt följande:

- **RCP 2,6:** Koldioxidutsläppen är som störst omkring 2020 och minskar därefter till att bli negativa innan 2100. Det är sannolikt att den globala medeltemperaturen ökar med 0,3–0,7 °C från 1985–2005 till 2081–2100.
- **RCP 4,5:** Koldioxidutsläppen är som störst omkring 2040 för att därefter minska. Det är sannolikt att den globala medeltemperaturen ökar med 1,1–2,6 °C från 1985–2005 till 2081–2100.
- **RCP 8,5:** Fortsatt höga och ökande koldioxidutsläpp. Det är sannolikt att den globala medeltemperaturen ökar med 2,6–4,8 °C från 1985–2005 till 2081–2100.

För att kunna omsätta ett klimatscenario i olika effekter, till exempel temperaturförändring, krävs omfattande beräkningar. Detta görs med hjälp av så kallade klimatmodeller. Klimatet på en plats är beroende av klimatet på andra delar av jorden. Därför måste också beräkningarna göras i globala modeller där markytan, hav och atmosfär inkluderas i ett rutnät. Beräkningarna är oerhört krävande varför upplösningen måste vara låg i en global modell. Detaljeringsgraden i resultaten blir därför ofta inte tillräckligt bra för det som ska analyseras, som i detta fall förändring av grundvattenförhållanden i Sverige. Lösningen blir att göra en så kallad nedskalning i ett eller flera steg till en regional eller lokal modell genom att utgå från en global modell, men använda en högre upplösning i beräkningarna över ett visst område som man är intresserad av. Metoden för nedskalning är komplicerad och den mer intresserade läsaren hänvisas till SMHI:s information om detta (SMHI 2024c).

Det är omöjligt att ta hänsyn till alla fysikaliska processer som styr klimatet i en detaljerad skala. Därför finns det olika klimatmodeller som var och en kan vara behäftad med olika förenklingar och osäkerheter, vilket gör att resultatet kan skilja sig mellan olika klimatmodeller. Vid klimatmodellering är det vanligt att man använder sig av flera (nedskalade) klimatmodeller och analyserar resultaten gemensamt för dem. En uppsättning sådana klimatmodeller kallas ofta för en ensemble. SGU har inom ramen för detta projekt studerat förändringar för grundvattennivåer och grundvattenbildning i ett framtida klimat med hjälp av myndighetens nationella grundvattenmodell, SGU-HYPE. Denna modell tar in tidsserier för nederbörd och temperatur och genererar därefter tidsserier med grundvattennivåer och grundvattenbildning. Grundvattenmodellen beskrivs mer ingående i kommande kapitel. Inom ramen för denna klimatmodellering har SMHI tillhandahållit drivdata till SGU-HYPE i form av tidsserier av temperatur och nederbörd från sjutton olika klimatmodeller nedskalade till ett rutnät med cellstorlek 4×4 km. Detta underlag är samma som använts för den hydrologiska delen av SMHI:s klimatscenariotjänst (SMHI 2024d).

Klimatmodeller kan inte förutsäga exakt hur vädret kommer vara en viss dag eller år i framtiden. Därför analyseras resultaten över längre tidsperioder. Ju kortare tidsperiod, färre år eller färre tillfällen som används för analysen desto osäkrare blir resultaten. Därför blir det till exempel mycket mer osäkert vilken medeltemperatur det kommer att bli det varmaste året än vilken medeltemperatur det är i genomsnitt över samma tidsperiod. SGU har valt att presentera resultaten från klimatmodelleringen för samma 30-årsperioder som SMHI gör, det vill säga referensperiod 1971–2000 samt 2011–2040, 2041–2070 och 2071–2100.

Vid klimatmodellering är det intressanta vilken förändring som kan förväntas i framtiden varför resultaten ofta presenteras som en förändring utifrån en referensperiod. I praktiken görs det genom att köra varje klimatmodell för alla de framtida tidsperioder man vill utvärdera samt för referensperioden. För varje klimatmodell får man ett värde för referensperioden samt ett värde för varje framtida tidsperiod. Förändringen beräknas först separat för varje klimatmodell och därefter beräknas medelförändringen av ensemblen (i detta fall de sjutton modellerna). Eftersom de olika modellerna kan uppvisa olika resultat redovisas också hur samstämmiga resultaten är med hjälp av *standardavvikelse* och *robusthet*.

Standardavvikelsen visar hur stor spridningen är mellan de olika modellerna i samma enhet som klimatindikatorn som utvärderats. Värdet av en standardavvikelse indikerar att ungefär 68 procent av modellerna är inom detta värde från medelvärde av modellerna.

Robusthet visar hur stor andel av modellerna som uppvisar en positiv förändring jämfört med referensperioden. Om till exempel robustheten är 100 procent för temperatur visar det att alla modeller resulterar i en ökad temperatur jämfört med referensperioden. Om robustheten är 35 procent för nederbörd visar det att sex av de 17 modellerna inom ensemblen visar på en ökad nederbörd medan övriga (elva) visar på en minskad (eller helt oförändrad) nederbörd jämfört med referensperioden. Tabell 1 visar ett fiktivt exempel för den principiella beräkningen av medelförändring, standardavvikelse och robusthet.

Tabell 1. Fiktivt beräkningsexempel.

Klimatmodell	Referensperiod (°C)	Framtida period (°C)	Förändring (°C)
A	5,07	6,44	1,37
B	5,95	6,25	0,30
C	5,18	5,84	0,66
D	5,69	5,99	0,30
E	5,01	5,52	0,51
F	5,10	5,92	0,82
G	5,46	6,08	0,62
H	5,26	5,52	0,26
I	5,08	5,57	0,49
J	5,09	5,57	0,48
K	5,68	5,90	0,22
L	5,33	6,25	0,92
M	5,11	6,33	1,22
N	5,42	5,72	0,30
O	5,02	6,05	1,03
P	5,95	5,55	-0,40
Q	5,88	5,78	-0,10
Medelförändring:			0,53°C
Standardavvikelse:			0,44°C
Robusthet:			88 %

BERÄKNINGSMODELL FÖR GRUNDVATTEN

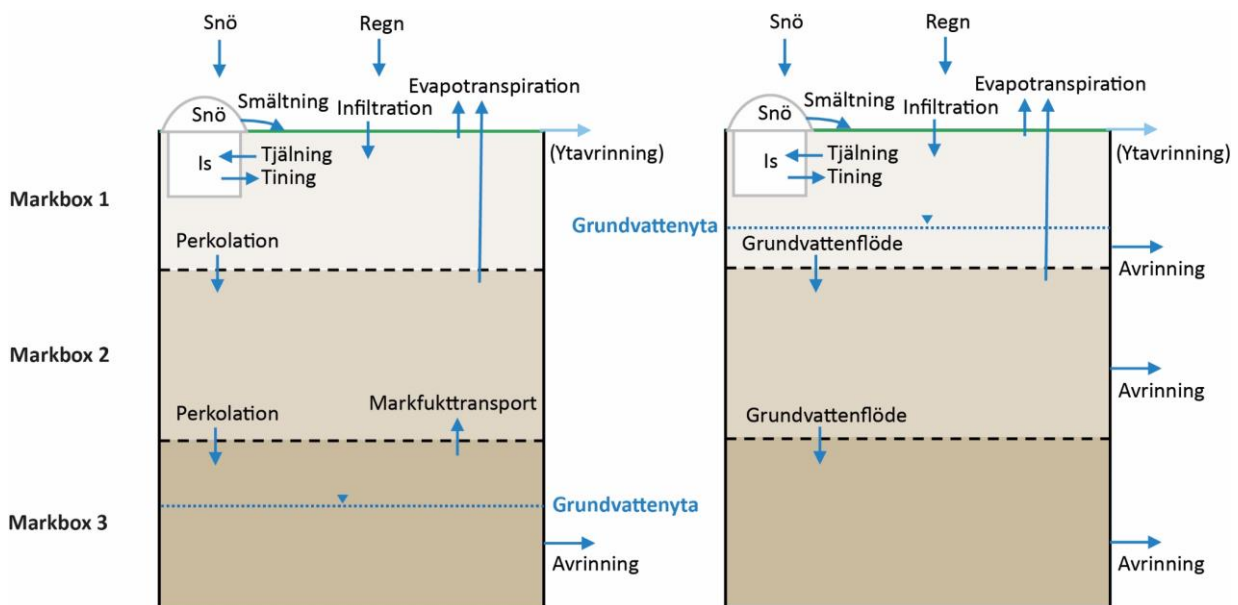
Under 2018–2020 utvecklade SGU en beräkningsmodell med syfte att beräkna grundvattennivåer, SGU-HYPE, vilken är en modifierad version av SMHI:s vattenbalansmodell HYPE. För den som vill veta mer om HYPE, och därmed grunden för SGU-HYPE, rekommenderas SMHI:s sidor om detta (SMHI 2024e). HYPE har kalibrerats av SMHI för svenska avrinningsområden och benämns då S-HYPE.

Det finns stora likheter mellan HYPE och SGU-HYPE, men också några betydelsefulla och fundamentala skillnader. En viktig skillnad är att S-HYPE är kalibrerad mot uppmätta ytvattenflöden medan SGU-HYPE är kalibrerad mot uppmätta grundvattennivåer. HYPE har många funktioner som inte används i SGU-HYPE, till exempel flöde till ytvatten från olika marktyper och flöden av andra ämnen än vatten. På motsvarande sätt finns det några processer som utvecklats i SGU-HYPE för att bättre kunna beskriva vattenflöden till och från grundvattnet i marken och som alltså helt saknas i HYPE.

En annan viktig skillnad mellan modellerna är den geografiska upplösningen. S-HYPE använder topografiskt indelade delavrinningsområden medan SGU-HYPE beräknar resultat i samma 4×4 km rutnät som drivdata (nederbörd och temperatur) tillhandhålls från SMHI. Denna skillnad i geografisk upplösning bottnar i att S-HYPE beräknar ytvattenflöde som är naturligt begränsat av ytlig topografi medan SGU-HYPE beräknar grundvattennivåer som beror mer på geologiska faktorer. Det sker heller inget grundvattenflöde mellan rutorna i SGU-HYPE.

I grunden är SGU-HYPE en vattenbalansmodell som består av tre markboxar. Vattenflödet kan bara ske vertikalt upp och ner mellan markboxarna och genom markytan samt ut ur modellen som avrinning. Parametrar som porositet och fältkapacitet kan definieras för varje markbox för att styra hur grundvattnet rör sig i modellen. I SGU-HYPE tillförs inget grundvatten från något närliggande område och i normala fall når grundvattenytan inte upp till markytan vilket i praktiken betyder att SGU-HYPE i allmänhet beskriver ett inströmningsområde.

Drivdata för modellen är dygnsvärden av temperatur och nederbörd. Figur 1 visar en principiell skiss för markboxarna och vattentransport i SGU-HYPE.



Figur 1. Principiella skisser för SGU-HYPE med grundvattenytan i markbox 3 (till vänster) respektive markbox 1 (till höger).

Vattnet går i figur 1 in i översta markboxen (1) som infiltration, antingen direkt från regn eller indirekt från smältande snö. I översta markboxen kan vatten lagras som is. Det nedåtriktade flödet till markbox 2 och 3 sker genom perkolation eller grundvattenflöde beroende på om det sker över eller under grundvattenytan. Det finns också uppåtriktat flöde genom markfukttransport och evapotranspiration till luften, men från grundvattnet sker det framför allt avrinning. I modellen kan det ske en ytavrinning på markytan vid kraftig nederbörd, men i praktiken sker det mycket sällan i modellen.

Grundvattenytans läge i modellen avgörs av vattenbalansen och de parametrar som beskriver porositet och fältkapacitet. Genom att ta hänsyn till grundvattenytans förändring och avrinningen kan grundvattenbildningen i modellen beräknas för varje dygn.

Att endast beskriva marken på en plats som en endimensionell modell med hjälp av tre boxar som i SGU-HYPE är givetvis en stark förenkling, då det i verkligheten kan finnas stora variationer i tre dimensioner inom ett område. SGU-HYPE bör därför betraktas som en generaliserad beskrivning av ett (permanent) inströmningsområde vilket är mycket viktigt att ta hänsyn till vid utvärdering och slutsatser av resultat.

SGU använder modellen SGU-HYPE kontinuerligt varje vecka för att beskriva aktuella grundvattennivåer i relativa termer för två typer av grundvattenmagasin, vilka kallas *små* respektive *stora magasin*. Modellen används också för att beskriva möjliga grundvattennivåer upp mot 6 månader framåt i tiden, baserat på olika möjliga väderutvecklingar.

SGU-HYPE är kalibrerad mot uppmätta grundvattennivåer, utifrån platser där SGU har tillgång till längre tidsserier. I den modelluppsättning som används kontinuerligt varje vecka baseras den generella parameteruppsättningen (parametreringen) på en sammanvägning av stationskalibreringarna inom vissa områden för respektive modelluppsättning avseende *små* respektive *stora magasin*. Undantag görs för områden nära en kalibrerad nivåstation, där det sker en viss viktning mot den specifika parametreringen för den närliggande nivåstationen. Vidare, så används olika generella parameteruppsättningar för båda modelluppsättningarna, för *över* respektive *under högsta kustlinjen* då det noterats att det finns en viss systematisk skillnad i respons mellan dessa två områden. För små magasin tillkommer även en specifik parametrering för Öland och Gotland i syfte att bättre beskriva den relativt snabba förändringen av grundvattennivåer som kan ske där, beroende på sedimentärt berg med tunna jordtäcken.

Under arbetet med klimatmodelleringen noterades att den specifika parametreringen för vissa stationer resulterade i en tydligt avvikande grundvattenbildningsrespons jämfört med grundvattenbildningsresponsen för den generella parametreringen, trots att den relativa grundvattennivåresponsen var liknande för de två fallen. En anledning till detta avvikande beteende gällande grundvattenbildning kan vara att den geologiska lagerföljden för vissa stationer kan vara starkt avvikande från det normala fallet, vilket för små magasin generellt är morän. Till exempel kan det gälla nivåstationer där nivåobservationen görs i berg som överlagras av jord. Det skulle då i princip utgöra två skilda grundvattenmagasin med vitt skilda egenskaper och parametrering, ett övre i jord och ett undre i berg, där grundvattenytan ibland kan befinna sig i det övre magasinet i jord och ibland i det undre i berg. Det finns också en stor sannolikhet att hela den grundvattenbildning som sker i det övre magasinet i realiteten inte når det undre magasinet vilket förutsätts i HYPE.

För att undvika sådana lokala avvikelser, som troligen inte är signifikanta för den modellerade grundvattenbildningen i området i stort, har SGU valt att inte inkludera viktningen vid närhet till specifika nivåstationer vid beräkning av den grundvattenbildning som normalt ingår vid modellering med SGU-HYPE. Av samma skäl ingår inte heller den speciella parametreringen som normalt används för Öland och Gotland i klimatmodelleringen med SGU-HYPE. Detta innebär att det vid klimatmodelleringen med SGU-HYPE endast använts två parametreringar

för små magasin för beräkning av grundvattenbildning – en över, och en under högsta kustlinjen – vilka båda betraktas motsvara ett permanent inströmningsområde i ett övre, öppet magasin bestående av morän.

För beräkning av grundvattennivåer har dock den modell som normalt används för SGU-HYPE använts vilket inkluderar viktning mot kalibrerade nivåstationer.

Inom ramen för den klimatmodellering som presenteras i denna rapport ingår endast modellen för små magasin. Klimatförändringarnas påverkan på stora magasin är givetvis minst lika viktigt att studera men det finns flera anledningar till gällande avgränsning i denna rapport.

Ett viktigt skäl är valet att studera både kortare perioder utan grundvattenbildning (till exempel under en sommar) samt sammanlagd grundvattenbildning över längre tidsperioder. Det är främst för små magasin som det är relevant att titta på och jämföra båda dessa tidshorisonter. För stora magasin är kortare perioder utan grundvattenbildning troligen inte kritiskt på samma sätt eftersom de kan magasinera mera grundvatten.

En annan anledning till att denna rapport endast presenterar modelleringsresultat för små magasin är att SGU-HYPE inkluderar en fördröjningsfunktion för stora magasin som inte finns i modellen för små magasin. Denna fördröjningsfunktion finns med för att simulera den långsammare responsen i grundvattennivå som kan uppstå på grund av en stor omättad zon mellan markytan och grundvattenytan, men också på grund av långsamt grundvattenflöde från sekundära tillrinningsområden. Konceptuellt beror därmed grundvattennivåns förändring i SGU-HYPE för stora magasin på både grundvattenbildning direkt i magasinet och grundvattenflöde från annat område eller magasin. Det blir därmed tveksamt att beräkna grundvattenbildning i stora magasin baserat på förändring av grundvattennivå på samma sätt som det görs för små magasin. Det bör dock vara möjligt att inkludera förändringar av själva grundvattennivån i stora magasin i fortsatta klimatmodelleringar med SGU-HYPE.

Eftersom efterfrågan är stor på underlag kring hur grundvattennivåer påverkas till följd av klimatförändringar anser SGU sammantaget att det är bättre att presentera resultaten för små magasin så snart som möjligt. Myndigheten har därför valt att inte invänta att det också ska finnas resultat framme för stora magasin innan denna rapport publiceras. Klimatmodellering för stora grundvattenmagasin bör dock ingå i framtida, liknande studier.

KLIMATINDIKATORER FÖR GRUNDVATTEN

För att följa och beskriva hur ett förändrat klimat kan påverka samhället används så kallade klimatindikatorer. Vanliga klimatindikatorer är till exempel lufttemperatur, nederbörd eller snötäcke.

Ett framtida förändrat klimat kan påverka både grundvattenkvantiteten (mängden) och grundvattenkvaliteten (kemin). Idealt skulle en klimatindikator beskriva hur mycket grundvatten av god kvalitet som kan pumpas upp för en specifik plats och hur det kommer förändras över tid. De geologiska förutsättningarna i Sverige varierar dock mycket, både vad det gäller kvantitet och kvalitet, vilket gör det omöjligt att använda en sådan klimatindikator i en nationell skala. Inom ramen för denna studie är det heller inte möjligt att redovisa klimatindikatorer för grundvattenkvalitet eftersom den beräkningsmodell som använts (SGU-HYPE) inte inkluderar någon modellering av grundvattenkemi eller föroreningar.

Eftersom det inte är möjligt att till exempel använda grundvattenuttag som en klimatindikator studeras här i stället tre mer generella frågeställningar som ofta har en stor betydelse för grundvattnets påverkan för samhället:

- Hur stor är grundvattenbildningen?
- Hur långa är perioderna med ingen eller mycket begränsad grundvattenbildning?
- Hur varierar grundvattennivån?

Dessa tre frågeställningar ligger till grund för de klimatindikatorer som presenteras mer utförligt lite längre fram i detta avsnitt. Klimatindikatorerna är potentiell grundvattenbildning, grundvattentorka och fyllnadsgrad. Som tidigare nämnts har de geologiska förutsättningar mycket stor betydelse för grundvattnet (se avsnitt *Bakgrund*). Det innebär bland annat att de klimatindikatorer som presenteras inte är lika relevanta för alla platser och syften. Exempelvis finns det små grundvattenmagasin med mycket begränsad lagringskapacitet. För dessa magasin kanske det är viktigast hur långa perioder det är med ingen eller mycket begränsad grundvattenbildning. Däremot kanske det inte har någon praktisk betydelse att den årliga grundvattenbildningen förändras eftersom den ändå är större än vad magasinet kan lagra över längre tid. Det finns också stora grundvattenmagasin där det kan lagras mycket vatten. För sådana magasin kanske det inte spelar någon roll hur lång torrperiod det är på sommaren utan det snarare är den långsiktiga förändringen av årlig grundvattenbildning som spelar roll.

Det som är avgörande för samhället är ofta de extrema händelserna snarare än hur normalläget är. Det gäller inte minst i grundvattensammanhang. Till exempel är det viktigt att det finns en tillförlitlig vattenförsörjning året runt, varje år. Det är inte tillräckligt att man har tillgång till dricksvatten i nio av tio år eller i 300 av årets dagar. Eftersom extremhändelserna ofta är dimensionerande för samhället borde det vara fokus för klimatmodellering. I denna rapport är det däremot förändringar i medelvärden över 30-årsperioder som analyseras och redovisas. Det beror dels på att en analys av extremhändelser är mycket mer komplicerad och medför större osäkerheter, dels på att detta är den första klimatrapporten baserad på SGU-HYPE och det är lämpligt att först analysera de övergripande trenderna innan detaljerna analyseras.

De klimatindikatorer som tagits fram inom ramen för denna rapport är modellerade med SGU-HYPE för *små magasin*. Modellens och rapportens begränsningar förklaras i avsnitt *Beräkningsmodell för grundvatten*. Dock är det rimligt att den generella påverkan på stora magasin är likartad som den i små magasin. Till exempel är det rimligt att grundvattenbildningen i stora magasin minskar om klimatmodelleringen för små magasin indikerar en tydlig minskning. Det är dock långt ifrån säkert att minskningen skulle vara lika stor.

Potentiell grundvattenbildning

Grundvattenbildning är en nyckelparameter i de flesta hydrogeologiska utredningar oavsett om det gäller dricksvattenförsörjning, grundvattenflöde till en våtmark, inläckage till en undermarksanläggning, föroreningsspridning, etc. Även om vädret är mycket betydelsefullt för grundvattenbildningen krävs det platsspecifika undersökningar för att utreda den verkliga grundvattenbildningen för ett område eftersom den också är mycket beroende av de lokala geologiska förhållandena. Dessutom kan mänsklig verksamhet påverka grundvattenbildningen, till exempel på grund av hårdgjorda ytor eller läckande vattenrör. Även om det funnits sådan detaljkunskap över hela landet hade det inte varit möjligt att inkludera i den modell som använts.

Den beräknade grundvattenbildning som presenteras i denna rapport är en generaliserad grundvattenbildning som, med tanke på beräkningsmodellen, bedöms motsvara en idealiserad kolumn av morän i ett öppet grundvattenmagasin i ett permanent inströmningsområde. För att tydligt skilja denna beräknade grundvattenbildning från den verkliga, som givetvis är mycket mer komplex och varierande, benämns den som *potentiell grundvattenbildning*. Observera att det kan finnas andra definitioner i andra studier av begreppet potentiell grundvattenbildning än den som används här.

Det viktiga i sammanhanget är att skilja på potentiell och verklig grundvattenbildning och att de inte per automatik kan antas vara lika vid en hydrogeologisk utredning. Det är dock ett rimligt antagande att den verkliga grundvattenbildningen kommer att påverkas på ett likartat sätt som den potentiella grundvattenbildningen i ett framtida klimat. Det bedöms därför som relevant att ha potentiell grundvattenbildning som en klimatindikator. En likartad påverkan innebär till exempel att det är rimligt att den verkliga grundvattenbildningen också minskar om den potentiella grundvattenbildningen minskar, men det är långt ifrån säkert att minskningen skulle vara lika stor.

Som nämnts ovan finns det många faktorer som gör att den verkliga grundvattenbildningen kan skilja från den potentiella. Ett urval av dessa faktorer är:

- **Topografiskt läge:** Kan avgöra om området endast periodvis, eller aldrig, är ett inströmningsområde. Det kan till exempel vara avgörande för ytavrinning men även indirekt också evapotranspirationen om det till exempel är i en nord- eller sydsluttning.
- **Avvikande (eller avsaknad av) jordart:** Kan påverka genom annan porositet och fältkapacitet och därmed perkolation av vatten genom omättad zon. Några mycket uppenbara fall där det bör skilja sig från morän (som modellen är uppsatt för) är lera, grus eller berg (utan jord). Ett annat vanligt exempel är berg som överlagras av jord där grundvattenbildning tidvis sker i jordlagret, vid hög grundvattenyta, men annars sker i berget.
- **Heterogen geologi:** Även om jordarten över lag motsvarar till exempel en morän kan det förekomma inslag av andra jordarter eller partier med avvikande hydrauliska egenskaper som påverkar grundvattenbildning, till exempel lager med lera, sand eller grus eller ovanligt mycket makroporer.
- **Avvikande växtlighet:** Påverkar genom evapotranspiration.
- **Mänsklig aktivitet:** Kan påverka på många sätt, till exempel genom hårdgjorda ytor eller avsiktlig eller oavsiktlig konstgjord infiltration. Även pumpning kan påverka grundvattenbildningen då man genom avsänkning kan göra ett utströmningsområde till inströmningsområde.
- **Ytvattenkontakt:** Kan medföra betydande grundvattenbildning om de geologiska, topografiska och hydrauliska förhållandena är de rätta. Det kan också variera med tiden på grund av varierande grundvatten- och ytvattennivåer samt grundvattenuttag.
- **Dimensionalitet:** Den potentiella grundvattenbildning så som den beräknas med SGU-HYPE i en punkt kan betraktas som en 2D-modellering (en rumslig dimension + tid) medan den verkliga grundvattenbildningen är en 4D-process (tre rumsliga dimensioner + tid).

Denna punktlista visar endast ett urval av de faktorer som lokalt bör kunna påverka grundvattenbildning och ska inte betraktas som heltäckande, men inom en hydrogeologisk utredning där potentiell grundvattenbildning används är det mycket viktigt att reflektera över och bedöma hur den skiljer sig från den verkliga grundvattenbildningen.

Vid hydrogeologiska utredningar är det vanligt att den grundläggande frågeställningen i en vattenbalansberäkning inte bara involverar grundvattenbildningen till ett magasin utan också grundvattenflödet mellan eller inom magasin. Ett vanligt exempel där detta är viktigt att beakta är utredningar av uttagsmöjligheter i berg. Där sker ofta grundvattenbildningen i ovanliggande jord för att genom grundvattenflöde övergå till berget. I transporten mellan jord och berg kan det dock finnas hydrauliska restriktioner som gör att inte allt grundvatten kan flöda till underliggande berg även om det finns en hydraulisk drivkraft från jord till berg. Ett annat exempel kan vara vattenresursutredningar för större magasin, som isälvavlagringar. Där kan en del av vattenbalansen styras av grundvattenbildningen direkt i grundvattenmagasinet men där också en stor del av tillskottet kan komma genom grundvattenflöde från angränsande magasin.

Det är också vanligt att man inom utredningar använder någon slags beräkningsmetod, till exempel numerisk flödesmodellering, vilket alltid innebär en mer eller mindre förenklad bild av verkligheten. Till exempel förenklas ofta den hydrauliska heterogeniteten och det är också vanligt att beräkningar utförs med antagande om stationära förhållanden eller låg tidsupplösning. Beroende på syfte och metod kan det medföra att det inte är lämpligt att ansätta den verkliga grundvattenbildningen eller grundvattenflödet i beräkningen. Exempelvis kan grundvattenbildningen vara stor under vinterhalvåret i södra Sverige, men på grund av att det sammanfaller med höga grundvattennivåer och att den hydrauliska konduktiviteten i ytliga jordlager kan vara förhöjd, blir den långsiktiga effekten av denna grundvattenbildning inte fullt ut relevant för en vattenbalansberäkning över en årscykel. Om det däremot sker grundvattenbildning under perioder med låga grundvattennivåer är det sannolikt att en mycket större andel av denna är relevant för en flödesmodellering med låg tidsupplösning.

Slutsatsen av resonemanget är att man inte bör använda sig av den potentiella grundvattenbildningen rakt av för en beräkning inom en hydrogeologisk utredning. Det krävs även plats- och metodspecifika överväganden för eventuella justeringar i ett antal steg, vilket illustreras i figur 2. Det bedöms dock relevant att använda sig av potentiell grundvattenbildning som en klimatindikator eftersom den ändå på ett generellt plan kan beskriva variationen av grundvattenbildning i tid och rum.



Figur 2. Principiell skiss över förhållandet mellan potentiell grundvattenbildning, verklig grundvattenbildning och grundvattenflöde samt den grundvattenbildning och det grundvattenflöde som kan användas i beräkningar och utredningar. Mellan respektive steg behöver olika överväganden och eventuella justeringar göras.

Grundvattentorka

För en del områden kan grundvattenbildningen vara stor, sett över en årscykel, men den långsiktiga magasineringsförmågan av grundvatten kan vara begränsad. Det kan då innebära att det, trots en stor grundvattenbildning till exempel på vintern, kan det bli en bristande grundvattentillgång för att marken helt enkelt inte kan lagra tillräckligt mycket grundvatten som kan användas senare under sommaren. Förutom själva magasineringsförmågan i marken blir det därför också viktigt att beakta hur långa perioderna är, då det inte sker någon, eller mycket marginell, grundvattenbildning.

Ibland används begreppet *grundvattentorka* för perioder med låga eller sjunkande grundvattennivåer eller perioder med mycket liten eller ingen grundvattenbildning. Oavsett olika detaljer i definitionerna av begreppet grundvattentorka så har de det gemensamt att grundvattenbildningen bör vara begränsad under tidsperioden. Det är däremot inte givet när en period av grundvattentorka börjar och slutar eftersom det kan vara en generell trend med mycket begränsad grundvattenbildning och sjunkande grundvattennivåer över längre tid, men där det vid enstaka tillfällen kan bli en grundvattenbildning och därmed tillfällig grundvattennivåhöjning. Det kan i sådana fall vara motiverat att perioden av grundvattentorka är sammanhängande trots den lilla, tillfälliga lättnaden.

Inom ramen för denna studie används den dagliga potentiella grundvattenbildningen som underlag för beräkning av perioder av grundvattentorka. Utgångspunkten är att det inte är rimligt att betrakta några få dagar utan grundvattenbildning som grundvattentorka. Därför har SGU inom denna studie valt att definiera att en grundvattentorka startar när den ackumulerade potentiella grundvattenbildningen är mindre än 10 mm under de senaste 30 dygnen. Likaså avbryts perioden av grundvattentorka om den ackumulerade potentiella grundvattenbildningen är lika med eller större än 10 mm under de senaste 30 dygnen.

Det kan givetvis diskuteras varför det just ska vara en ackumulerad potentiell grundvattenbildning av 10 mm under rullande 30 dygn som avgör grundvattentorkan. Det kunde kanske lika gärna vara någon annan ackumulerad grundvattenbildning och annan tidsperiod eller att det är förändringen i den relativa grundvattennivån som avgör grundvattentorkan. Utan att ha gjort några mer ingående studier av detta har dock SGU konstaterat att en ackumulerad potentiell grundvattenbildning på mer än 10 mm under 30 dygn ofta inneburit en tydlig och stabil återhämtning av grundvattennivåer, vilket skulle vara rimligt att tolka som ett avbrott av grundvattentorkan. Om det använts ett lägre gränsvärde, till exempel 5 mm under 10 dygn, har det noterats att grundvattentorkan kan ha avbrutits trots att lättnaden varit högst marginell och tillfällig. Det är också rimligt att en potentiell grundvattenbildning av 10 mm oftast har en signifikant betydelse även om grundvattenflödet till det magasin som nyttjas kan vara betydligt lägre.

I Sverige kan det uppstå grundvattentorka både sommartid och vintertid. På sommaren beror en mycket begränsad grundvattenbildning oftast på att evapotranspirationen är stor i förhållande till nederbörden medan grundvattentorka vintertid beror på att nederbörden lagras som snö och is på eller nära markytan.

Eftersom det ofta finns ett kontinuerligt behov av grundvatten för till exempel dricksvattenförsörjning varje dag, året runt, är det rimligt att det är den längsta årliga perioden av grundvattentorka som används som klimatindikator, oavsett om den infaller på vintern eller sommaren. Undantag finns givetvis, till exempel för bevattning sommartid eller vattenförsörjning av fritidsboende som kan ha en mycket ojämn förbrukning över året. I denna studie relateras dock begreppet *grundvattentorka* alltid till årets längsta period, oavsett om den infaller under sommar- eller vinterhalvåret.

Fyllnadsgrad

Grundvattennivån har i sig betydelse för grundvattenförhållandena, i viss mån oavsett grundvattenbildningen, även om de två faktorerna har ett naturligt samband. Låga grundvattennivåer kan till exempel vara en riskfaktor för sättningar i mark. De kan också spela en teknisk roll för möjligheten till grundvattenuttag då låga grundvattennivåer kan göra att vattennivån i en brunn knappt når upp till pumpen. Även höga nivåer kan vara viktiga att beakta då de till exempel direkt eller indirekt kan ha ett samband med dålig bärighet i mark och risk för skred. Vid tillfällen med höga grundvattennivåer är också förmågan att lagra mer vatten i marken nedsatt vilket kan resultera i en ökad risk för översvämningar och mättad ytavrinning.

På grund av lokala geologiska, topografiska och meteorologiska förhållanden kan grundvattennivån uttryckt i meter under markytan skilja stort mellan olika platser även om jordarten generellt kan klassas som morän, både vad det gäller medelnivå och differens mellan högsta och lägsta nivå. Det är därför inte lämpligt att använda grundvattennivå uttryckt i meter som en klimatindikator. I stället används *fyllnadsgrad* som klimatindikator.

Fyllnadsgrad är enhetslös och noll indikerar att nivån är lika låg som den lägsta grundvattennivån och 100 att den är lika med den högsta grundvattennivån för den specifika platsen och perioden som analyseras. För att beräkna fyllnadsgrad används kumulativ relativ frekvens, vilket innebär att nivåerna normeras för den specifika platsen och den period som analyseras. Normeringen görs så att det blir en likformig sannolikhetsfördelning, även kallad rektangulär fördelning, från 0 till 100. I praktiken visar detta hur många procent av observationerna som ligger under fyllnadsgraden i fråga. Till exempel innebär det att 10 procent av observationerna är lägre än fyllnadsgrad 10. Följaktligen är 90 procent av observationerna högre än fyllnadsgrad 10.

Att använda fyllnadsgrad är ett praktiskt sätt att beskriva hur nivåobservationer förhåller sig till varandra, speciellt om de inte är jämnt fördelade vilket ofta är fallet med grundvattennivåer om de uttrycks i meter. Det möjliggör också en mer direkt jämförelse mellan olika platser utan att behöva ta hänsyn till att grundvattennivån kan skilja stort mellan dessa.

Eftersom denna studie omfattar perioden från 1961 till 2100 kommer också de beräknade nivåerna för hela denna tidsperiod ligga till grund för beräkningen av fyllnadsgrad. Det innebär att fyllnadsgrad 0 respektive 100 indikerar att nivån är lika med den lägsta respektive högsta beräknade för hela perioden 1961–2100. Under denna period varierar dock antal tidsserier som finns tillgängliga för studien. Det finns en tidsserie för historiska data 1961–2021 och totalt 51 olika tidsserier för klimatmodellerna under perioden 1971–2100. För att alla datum ska få samma totala vikt vid beräkning av fyllnadsgrad användes följande viktning:

- 1961–1970: Endast historisk tidsserie – vikt 1
- 1971–2021: Historisk tidsserie – vikt 0,5
Klimatdataserie (totalt 51 st) – vikt 0,5/51
- 2022–2100: Klimatdataserie (totalt 51 st) – vikt 1/51

Anledningen till att den historiska tidsserien, som baseras på väderobservationer, viktats högre för den gemensamma perioden 1971–2021 är att det faktiska vädret anses vara mer relevant än klimatdataserierna. Dock krävs att klimatdataserierna är inkluderade i beräkningen eftersom det inte kan uteslutas att vissa av dem annars resulterat i en nivå som ligger utanför referensskalan, det vill säga fyllnadsgrad 0–100.

UTGÅNGSLÄGE 1961–2020

I detta avsnitt redovisas de tre klimatindikatorerna beräknade för tidsperioden 1961–2020. Det gäller dels den period som använts som referensperiod för klimatmodellering, 1971–2000, dels en jämförelse mellan de två perioderna 1961–1990 och 1991–2020. Drivdata i form av nederbörd och temperatur har för dessa perioder hämtats från SMHI:s så kallade PTHBV-data (SMHI 2024f).

Det är inte helt lätt att göra relativa jämförelser mellan olika klimatindikatorer baserat på de kartor som publiceras i denna rapport. Detta gäller både för förändring över tid och geografiska skillnader, eftersom de av nödvändighet redovisas i olika enheter både i absoluta tal och förändringar. För att ändå underlätta detta redovisas alla klimatindikatorer med samma geografiska detaljeringsgrad och likartad färgsättning i kartorna. Vad det gäller förändringen över tid indikerar en ljusgrå färg ingen eller liten förändring medan de blåa och röda färger visar på mer respektive mindre grundvatten. Det kan diskuteras hur stora intervall som ska användas för de olika klimatindikatorerna. Utgångspunkten för skalorna har dock varit att den relativa förändringen ska vara ungefär densamma för samma färg, oavsett klimatindikator, även om det inte är möjligt fullt ut.

Potentiell grundvattenbildning

I figur 3 visas medelvärde för den beräknade potentiella grundvattenbildningen för referensperioden 1971–2000 till vänster och en jämförelse mellan de två 30-årsperioderna 1961–1990 och 1991–2020 till höger. Rodhe m.fl. (2006) har tidigare presenterat potentiell grundvattenbildning beräknad för perioden 1961–2003 med HBV-modellen som är en föregångare till HYPE. Överlag är den potentiella grundvattenbildning som presenteras i figur 3 för perioden 1971–2000 relativt väl överensstämmande med de resultat som Rodhe m.fl. (2006) presenterade för markklassen *morän*, speciellt om man ser till de regionala skillnaderna över landet. Att stora likheter mellan resultaten kan noteras är inte så oväntat eftersom både studien av Rodhe m.fl. (2006) och den som nu presenteras har stora konceptuella likheter. Till exempel är både HBV-modellen och SGU-HYPE massbalansmodeller där flera av parametrar är liknande och båda studierna använde PTHBV som drivdata. Dessutom användes erfarenheterna från den tidigare HBV-modelleringen vid parametreringen av SGU-HYPE. Det är dock några skillnader mellan modellerna som mycket väl kan förklara de skillnader som noteras. Exempelvis kalibrerades HBV-modellen mot ytvattenavrinning medan SGU-HYPE kalibrerades mot grundvattennivåer. En annan skillnad är att de båda studierna är gjorda för olika perioder och resultatet i Rodhe m.fl. (2006) presenterades för delavrinningsområden medan den för SGU-HYPE visas för 4×4 km rutor. Den likhet som de båda studierna uppvisar ska dock inte tas som intäkt för att de är korrekta eftersom SGU-HYPE delvis är baserad på erfarenheter från Rodhe m.fl. (2006).

I slutändan bedöms det dock inte som kritiskt att den potentiella grundvattenbildningen eventuellt skiljer sig mellan de olika studierna eftersom potentiell grundvattenbildning, som diskuterats ovan, inte är desamma som den verkliga grundvattenbildningen eller den som bör ansättas i hydrogeologiska beräkningar. Det viktiga i sammanhanget bedöms i stället vara de regionala skillnaderna som framträder och de skillnader som kan noteras för olika tidsperioder.

De områden som generellt sett har lägst potentiell grundvattenbildning återfinns framför allt i de östra delarna av Götaland och Svealand men även nära kuster, större sjöar och i större dalgångar. I figur 3 är det tydligt att det också kan finnas stora skillnader i potentiell grundvattenbildning inom relativt korta avstånd. Det verkar vara speciellt tydligt nära kuster, större sjöar och i större dalgångar vilket i sig inte är oväntat eftersom det är områden med varierande förhållanden som lokalt kan påverka väderförhållanden.

Jämförelsen mellan de två perioderna 1961–1990 och 1991–2020 visar att det finns en del områden, som Öland, Gotland och Uppland, där medelvärdet av den potentiella grundvattenbildningen är lägre under den senare perioden. Det finns också områden, som stora delar av västkusten och Norrland, där den i stället är högre.

Figur 4 visar fördelningen av den årliga potentiella grundvattenbildningen för fyra platser för respektive 30-årsperiod. En översiktlig analys av dessa exempel visar bland annat att den potentiella grundvattenbildningen kan variera stort mellan olika år för samma plats. Exempelvis är den potentiella grundvattenbildningen under det torraste året nästan alltid mindre än hälften av medelåret. I vissa fall skiljer det betydligt mer, till exempel för Öland där medelåret har en potentiell grundvattenbildning som är mer än 3,5 gånger så stor som under det torraste året.

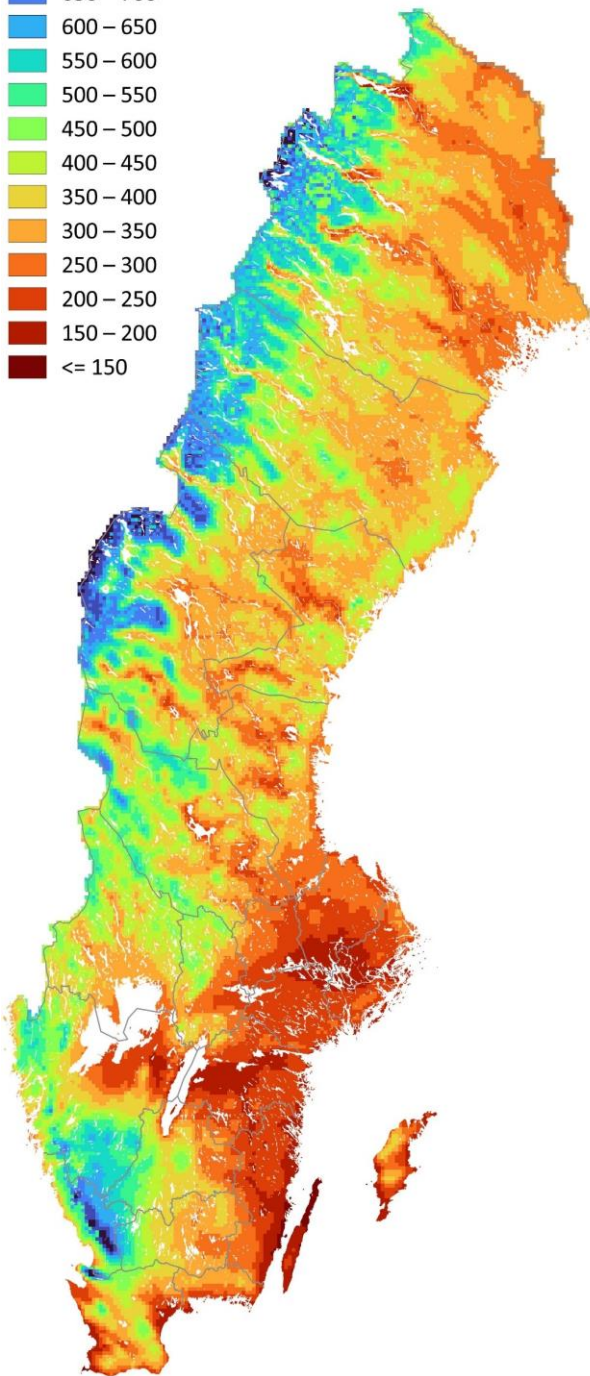
Det är också tydligt att de mer extrema åren inte alltid följer medelförändringen. Ett exempel är Kungsbacka där medelvärdet ökat, men minimivärdet är nästan identiskt, mellan de två perioderna. En notering som kan göras för exemplet på Öland är att mellanårsvariationen är mindre 1991–2020 än 1961–1990. Ett annat intressant exempel är Hallsberg där medelvärdet inte förändrats särskilt mycket, men 90-percentilen och det maximala värdet ökat. Dessa exempel är givetvis ingen fullständig analys utan illustrerar endast komplexiteten i variationen för grundvattenbildningen och behovet av fortsatta analyser av data.

Potentiell grundvattenbildning - årlig (medel)
Små grundvattenmagasin

Historik
Period: 1961–2020

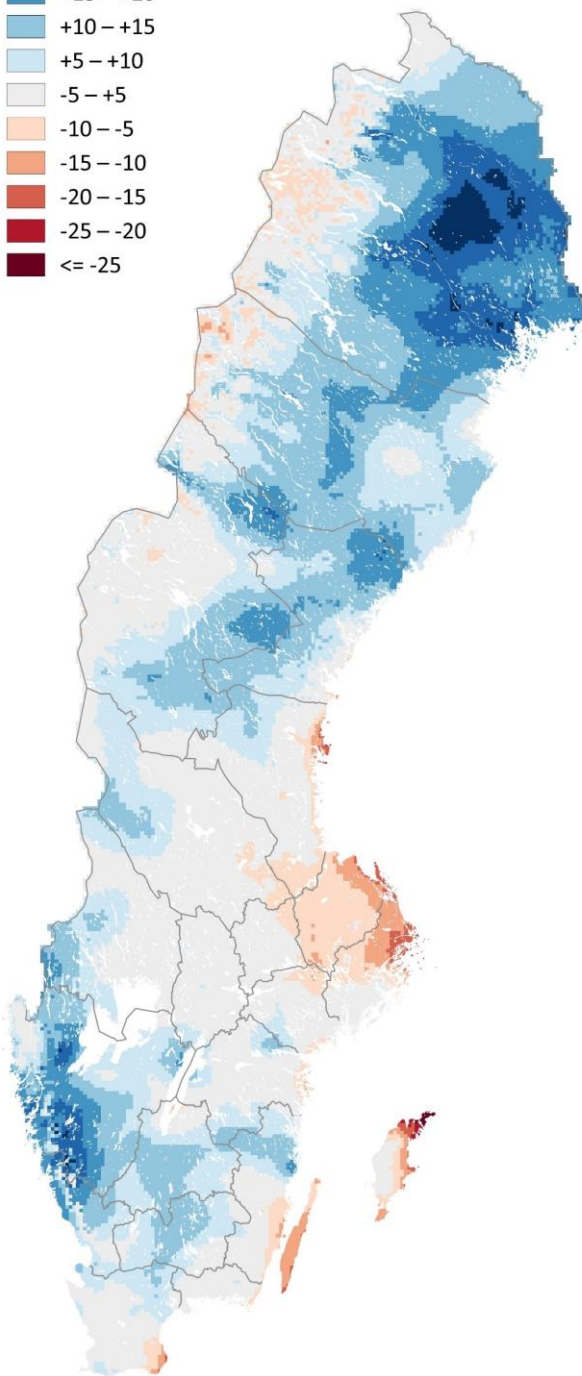
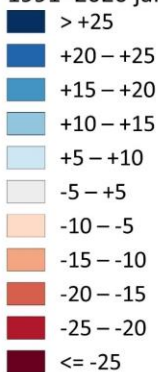
Potentiell grundvattenbildning (mm)

Referensperiod 1971–2000



Förändring (%)

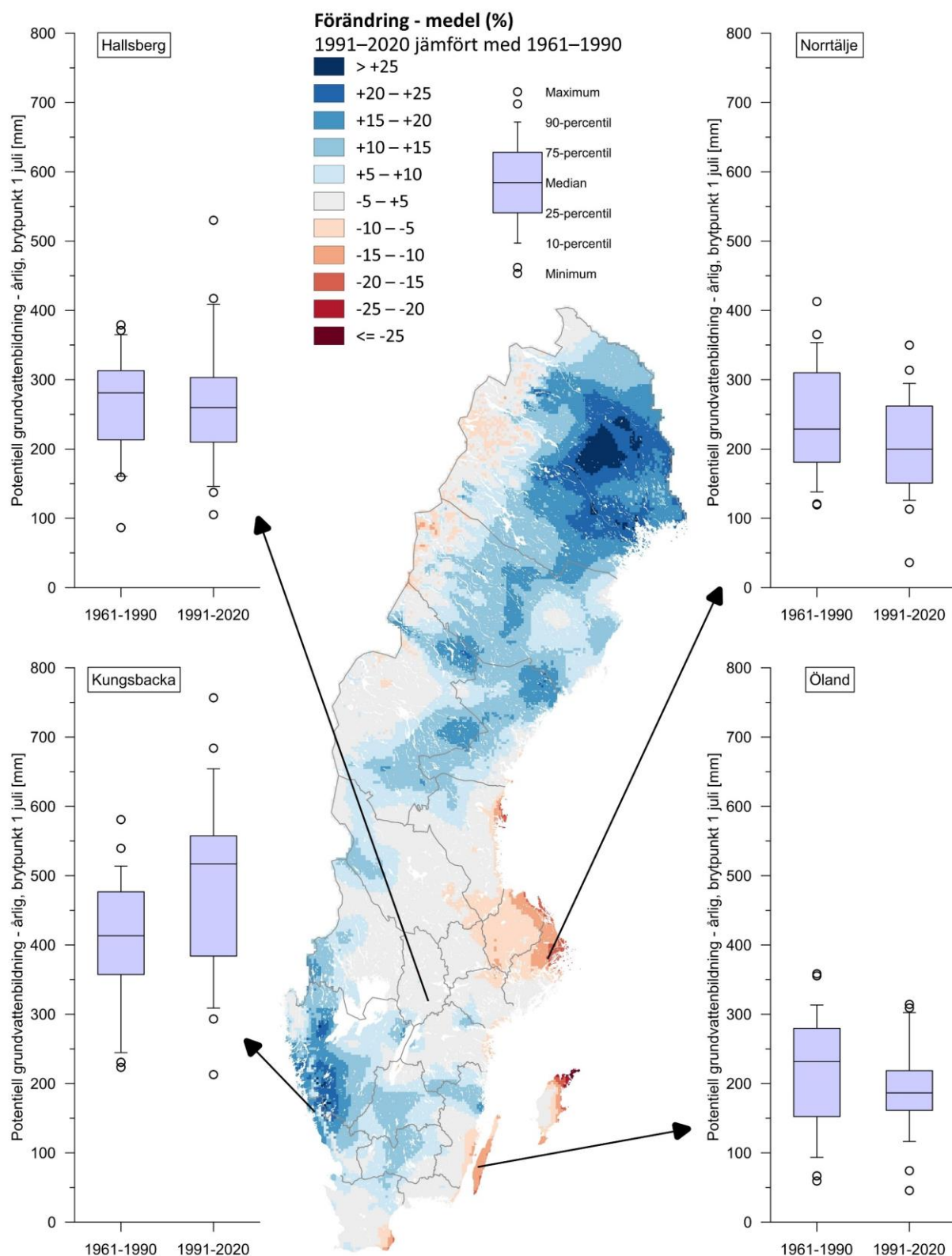
1991–2020 jämfört med 1961–1990



Figur 3. Medel för årlig potentiell grundvattenbildning i små grundvattenmagasin för referensperioden 1971–2000, samt förändring mellan perioderna 1961–1990 och 1991–2020.

Potentiell grundvattenbildning - årlig Små grundvattenmagasin

Historik
Period: 1961–2020



Figur 4. Fördelning av årlig potentiell grundvattenbildning i små grundvattenmagasin under perioderna 1961–1990 och 1991–2020 för fyra platser i Sverige.

Grundvattentorka

I figur 5 visas medelvärde för den längsta årliga grundvattentorkan för referensperioden 1971–2000 till vänster och en jämförelse mellan de två 30-årsperioderna 1961–1990 och 1991–2020 till höger. Geografiskt sett återfinns den längsta grundvattentorkan mestadels i de östra delarna av Svealand och Götaland samt Skåne, och är som mest uttalad nära kusten och de större sjöarna. Även längst upp i norr finns delar med relativt lång grundvattentorka, men där är det under vintertid som de längsta torkaperioderna infaller till skillnad mot i södra Sverige där sommartorkan dominerar.

Förändringen med avseende på grundvattentorka mellan de två 30-årsperioderna har ett likartat mönster som förändringen av den potentiella grundvattenbildningen. Det område som uppvisar den största ökningen är östra Svealand norr om Mälaren. Delar av fjällkedjan uppvisar ganska stora minskningar, vilket beror på vintertorkan blivit kortare.

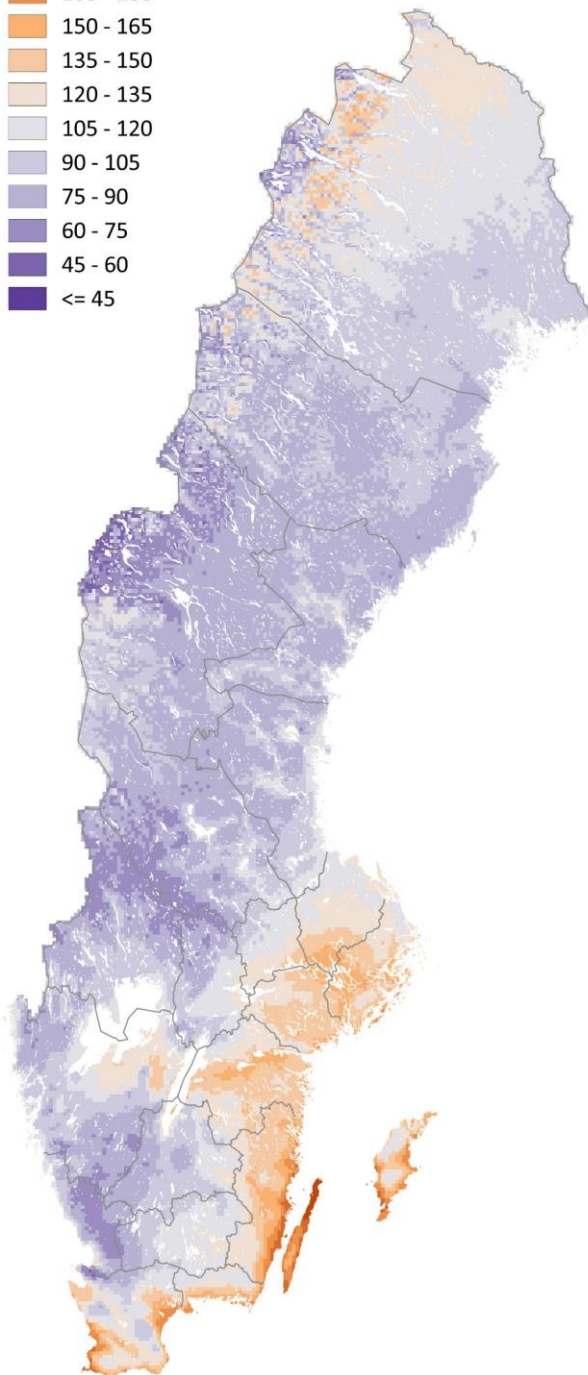
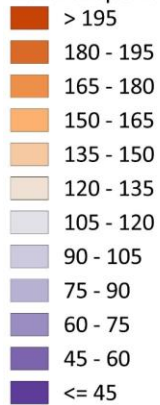
Figur 6 visar fördelningen av grundvattentorkan för fyra platser för respektive 30-årsperiod. Den maximala grundvattentorkan är mestadels 1,4 till 1,8 gånger så lång som grundvattentorka under medelåret. Denna skillnad mellan det torraste året och medelåret är betydligt mindre än motsvarande skillnad för potentiell grundvattenbildning.

Liksom för den potentiella grundvattenbildningen visar exemplen att förändringen för de mer extrema åren inte nödvändigtvis följer förändringen av medelvärdet. Ett exempel är Öland där grundvattentorkan över lag blivit längre, men året med tydligt kortast grundvattentorka inträffat under perioden 1991–2020. Ett annat exempel är Kungsbacka där medelvärdet minskar något, medan åren med längst grundvattentorka fått en avsevärt mycket kortare grundvattentorka under den senare perioden.

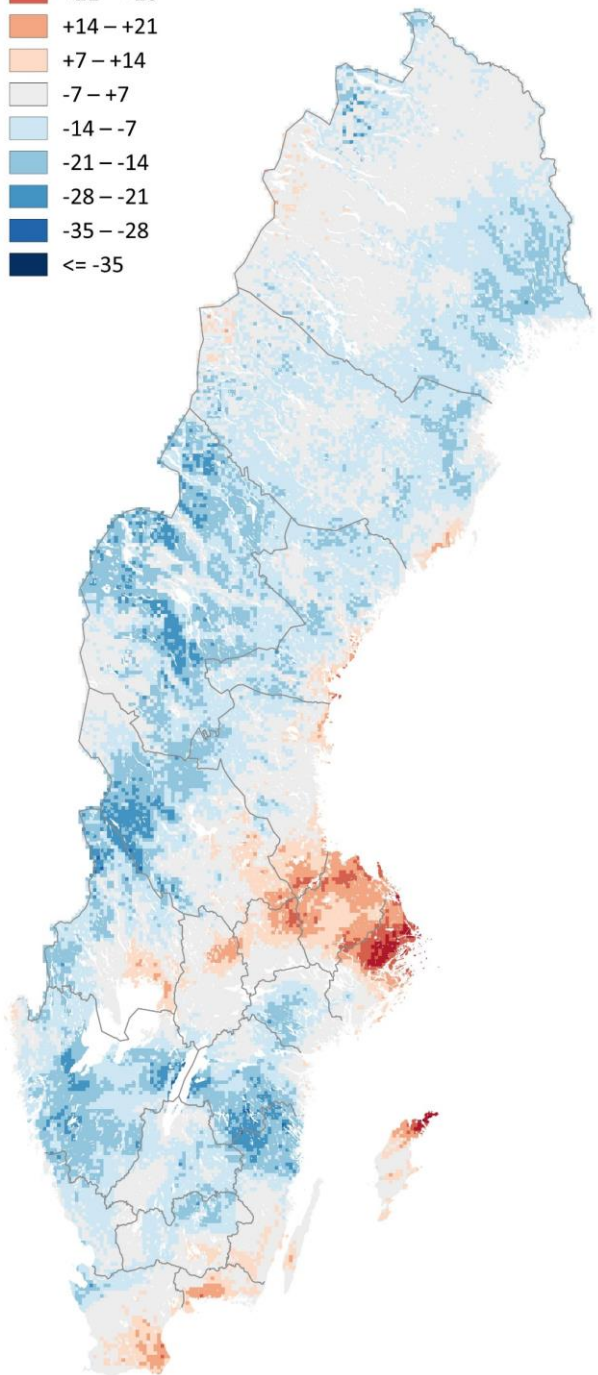
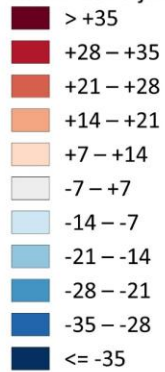
Grundvattentorka - längsta årlig period (medel)
Små grundvattenmagasin

Historik
Period: 1961–2020

Grundvattentorka (dygn)
Referensperiod 1971–2000



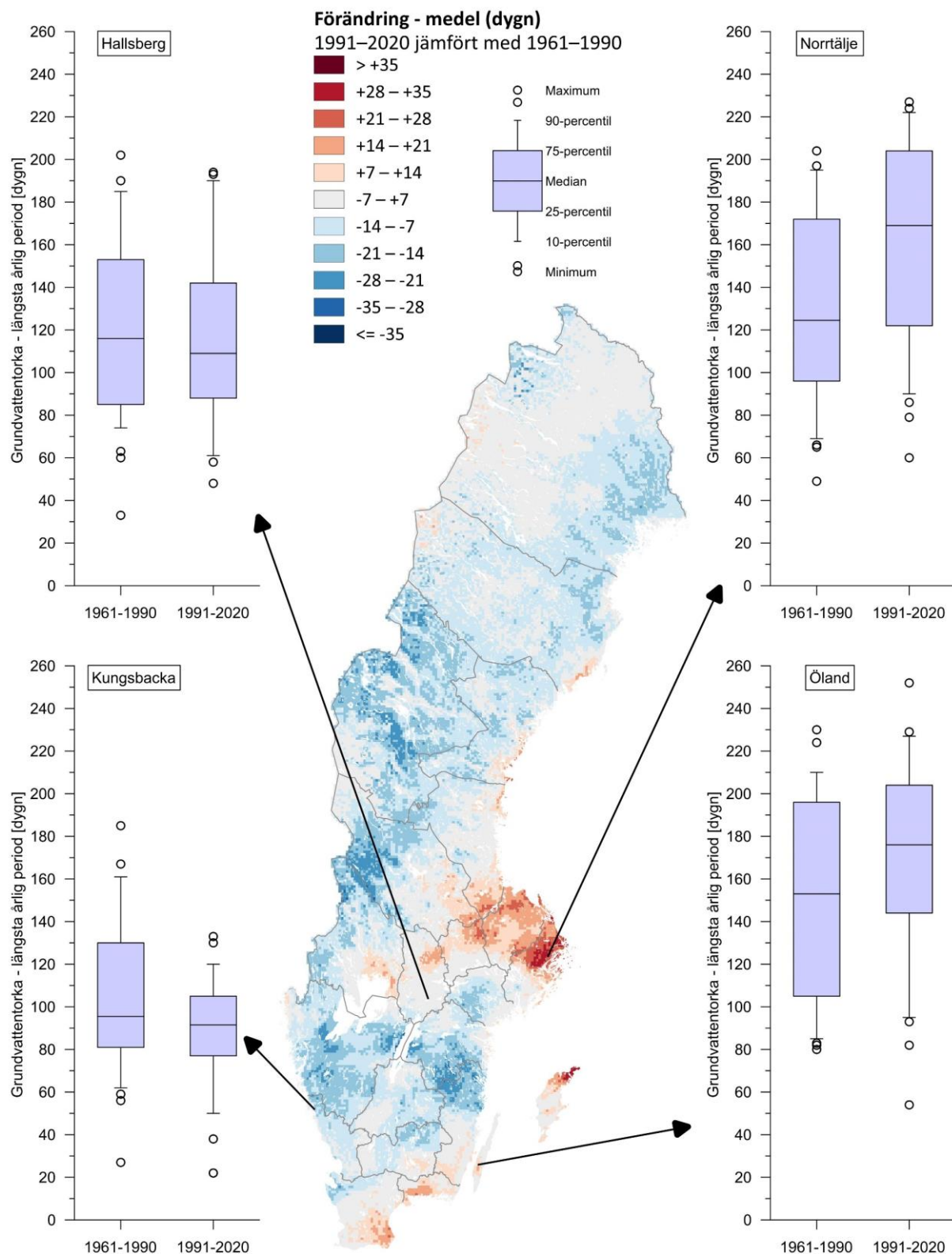
Förändring (dygn)
1991–2020 jämfört med 1961–1990



Figur 5. Medel för längsta årliga grundvattentorka i små grundvattenmagasin för referensperioden 1971–2000, samt förändring mellan perioderna 1961–1990 och 1991–2020.

Grundvattentorka - längsta årlig period Små grundvattenmagasin

Historik
Period: 1961–2020



Figur 6. Fördelning av längsta årlig grundvattentorka i små grundvattenmagasin under perioderna 1961–1990 och 1991–2020 för fyra platser i Sverige.

Fyllnadsgrad

I figur 7 visas medelvärde för fyllnadsgrad för referensperioden 1971–2000 till vänster och en jämförelse mellan de två 30-årsperioderna 1961–1990 och 1991–2020 till höger. Eftersom beräkningen av fyllnadsgrad per definition innebär en normering är det högst väntat att medelvärdet för 1971–2000 ligger nära 50. Vissa områden uppvisar dock en något avvikande medelfyllnadsgrad, vilket endast beror på att hela perioden 1961–2100 ligger till grund för beräkningen. Det är mycket möjligt att de andra tidsperioderna uppvisar en annan fördelning av fyllnadsgrad. Mer intressant är i stället jämförelsen mellan 1961–1990 och 1991–2020 som uppvisar likartade geografiska mönster som motsvarande resultat för potentiell grundvattenbildning och grundvattentorka. Även om det inte är möjligt att fullt ut göra en visuell jämförelse mellan figurerna 3, 5 och 7 är dock intrycket att förändringen av fyllnadsgrad inte är lika tydlig som för potentiell grundvattenbildning och grundvattentorka.

Figur 8 visar fördelningen av årsmedelfyllnadsgrad för fyra platser för respektive 30-årsperiod. Likt motsvarande figurer för potentiell grundvattenbildning (figur 4) och grundvattentorka (figur 6) visar exemplen att förändringen för de mer extrema åren inte nödvändigtvis följer den generella förändringen. För till exempel Hallsberg är den generella förändringen relativt liten, men året med lägst årsmedelfyllnadsgrad under perioden 1961–1990 avviker betydligt. I Kungsbacka har fyllnadsgraden över lag ökat under den senare perioden. Dock uppvisar åren med lägst årsmedelfyllnadsgrad ungefär samma värden för det under båda perioderna.

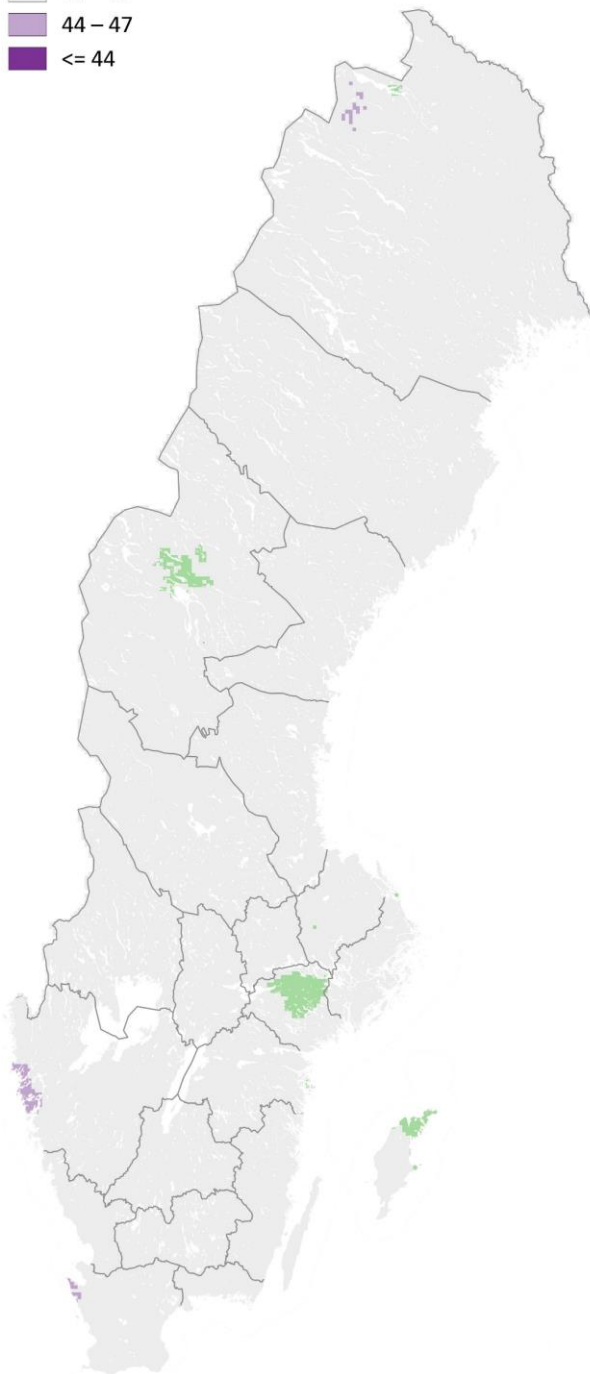
Fyllnadsgrad - årsmedel (medel)
Små grundvattenmagasin

Historik
Period: 1961–2020

Fyllnadsgrad

Referensperiod 1971–2000

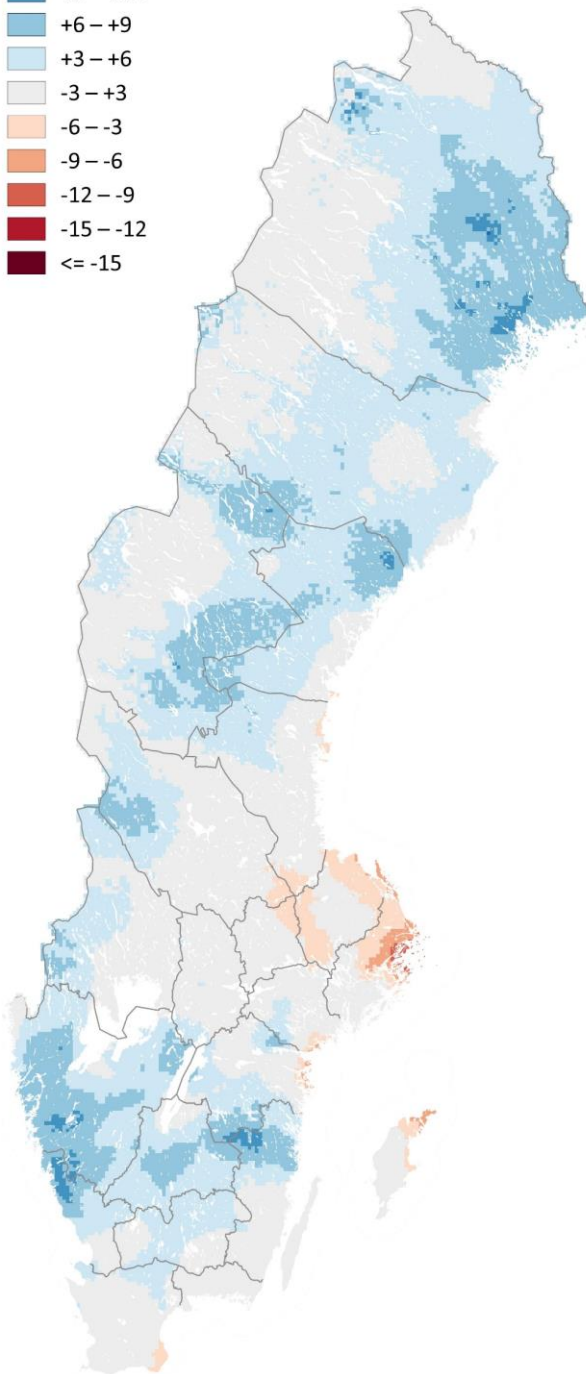
- > 56
- 53 – 56
- 47 – 53
- 44 – 47
- <= 44



Förändring

1991–2020 jämfört med 1961–1990

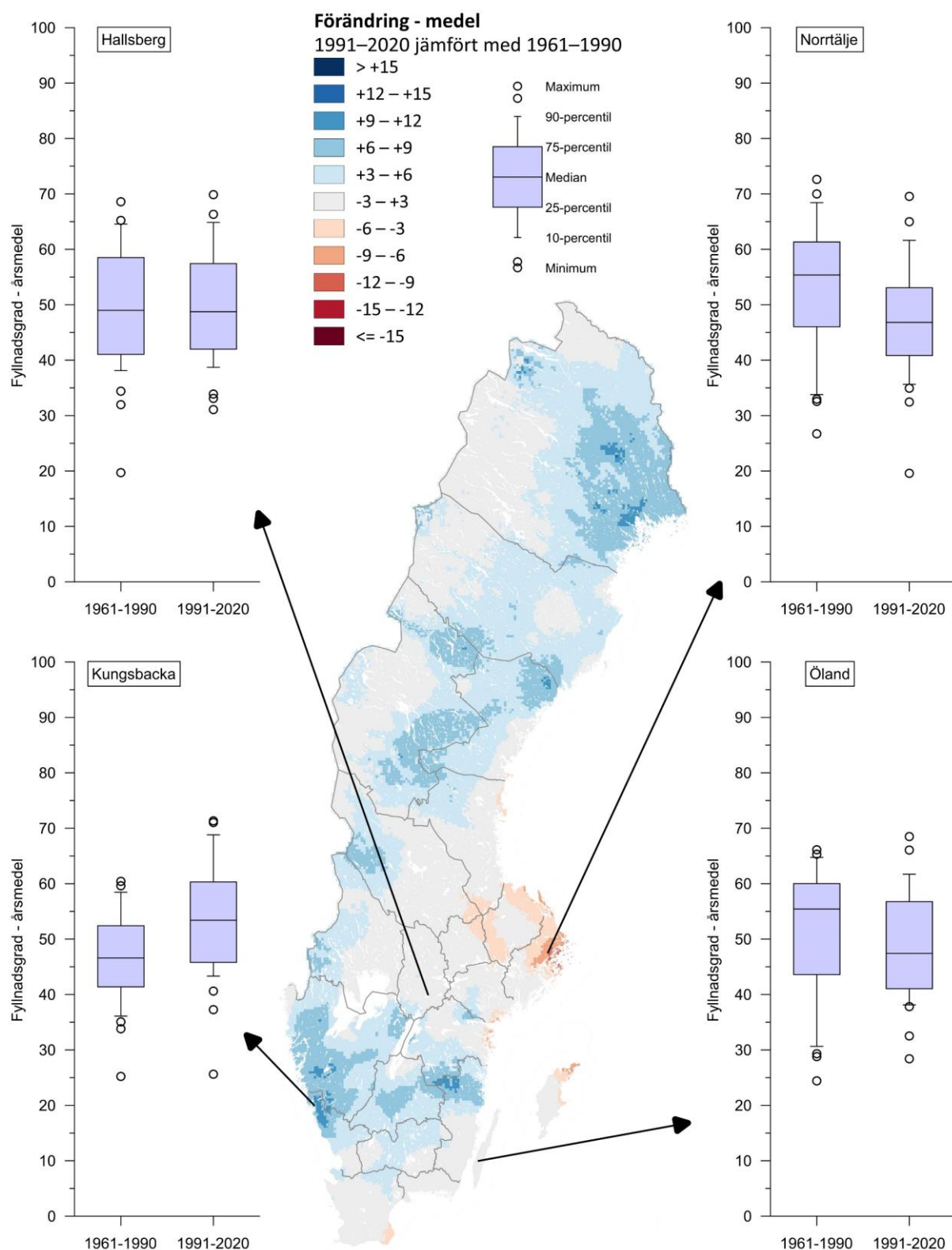
- > +15
- +12 – +15
- +9 – +12
- +6 – +9
- +3 – +6
- 3 – +3
- 6 – -3
- 9 – -6
- 12 – -9
- 15 – -12
- <= -15



Figur 7. Årsmedel för fyllnadsgrad i små grundvattenmagasin för referensperioden 1971–2000, samt förändring mellan perioderna 1961–1990 och 1991–2020.

Fyllnadsgrad - årsmedel Små grundvattenmagasin

Historik
Period: 1961–2020



Figur 8. Fördelning av årsmedel för fyllnadsgrad i små grundvattenmagasin under perioderna 1961–1990 och 1991–2020 för fyra platser i Sverige.

RESULTAT AV KLIMATMODELLERING

I detta avsnitt redovisas översikter av de tre klimatindikatorerna beräknade för tidsperioden 2011–2100. Samtliga resultat presenteras i form av nationella kartor i bilaga 1. Observera att alla resultat här och i bilagan är relativt referensperioden för modelleringen, 1971–2000.

I de följande avsnitten presenteras resultaten från klimatscenario RCP 4,5 och perioden 2071–2100 mer utförligt än de andra perioderna och scenarierna. Syftet med att lyfta fram detta exempel är att kunna kommentera detaljer och hur resultaten kan tolkas, vilket kan tillämpas för övriga scenarier och tidsperioder.

Observera att exemplet endast är ett av många resultat. Det ska inte på något sätt tolkas som att SGU förordar att det just det resultatet ska användas som underlag för till exempel klimat-anpassningar. Vilka scenarier och tidsperioder som ska användas som underlag för fortsatta utredningar är upp till respektive användare att bestämma.

Potentiell grundvattenbildning

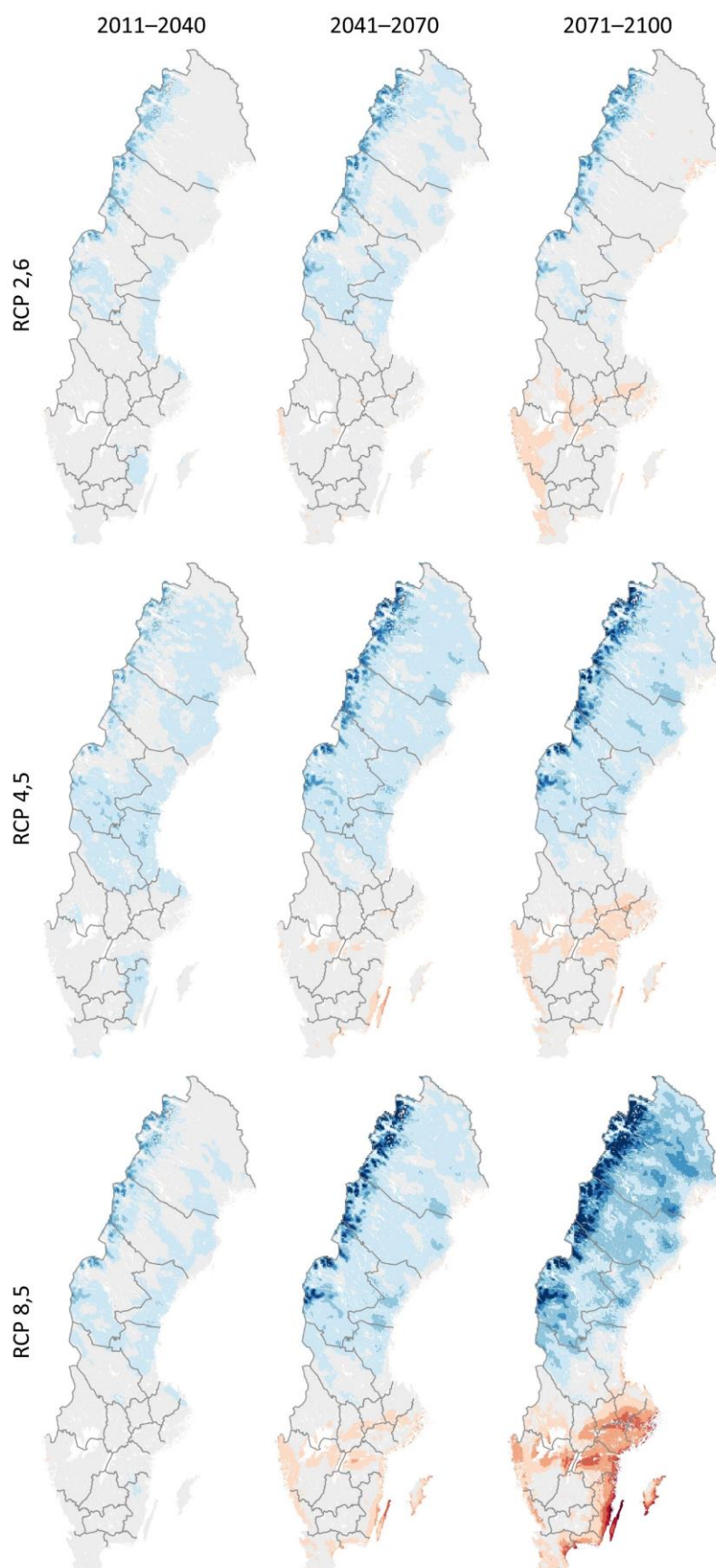
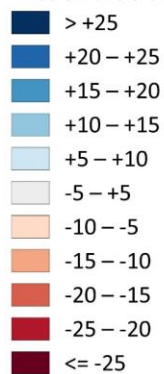
Figur 9 visar en översikt av förändringen för den potentiella grundvattenbildningen i små grundvattenmagasin för tre olika klimatscenarier och tre tidsperioder enligt medel av de sjutton klimatmodellerna. Det är många gemensamma drag för de olika fallen men förändringarna blir tydligare och större för senare tidsperioder och högre RCP. I Dalarna och Norrland, med undantag för vissa delar närmast kusten, tyder resultaten på att medelvärdet av den potentiella grundvattenbildningen skulle öka eller vara oförändrad. För delar av Götaland och Svealand, samt vissa delar av Norrlandskusten tyder resultaten i stället på att medelvärdet av den potentiella grundvattenbildningen skulle minska. Detta är tydligast för områden nära kusten och de större sjöarna. Värt att nämna är att nuvarande tidsperiod (2011–2040) inte uppvisar någon noterbar minskning av den potentiella grundvattenbildningen relativt referensperioden (1971–2000) jämfört med vad som kommer i framtiden, oavsett RCP.

Det är dock inte tillräckligt att endast beakta medel av de olika modellerna vilket är tydligt om exemplet i figur 10 med RCP 4,5 och perioden 2071–2100 betraktas. Om det till exempel skulle vara aktuellt att göra en utredning i Kronobergs län visar medel av modellerna att förändringen skulle ligga i intervallet $\pm 5\%$. I större delen av länet visar dock kartan för standardavvikelsen att den skulle vara i storleksordningen 10–15 procentenheter från medelvärdet av modellerna. Det innebär att ganska många av modellerna uppvisar ett resultat som tyder på en betydligt större förändring än $\pm 5\%$. Kartan för robusthet visar också att det för den allra största delen av länet är fler modeller som uppvisar en minskad potentiell grundvattenbildning än en ökad.

Att standardavvikelsen är förhållandevis stor jämfört med medelvärdet av modellerna gäller inte bara Kronobergs län utan är ett generellt drag för resultaten som presenteras i figur 10. Det är också ett gemensamt drag för de andra tidsperioderna och klimatscenarierna som presenteras i bilaga 1.

Potentiell grundvattenbildning
Årlig (medel)
Små grundvattenmagasin

Förändring (%)
Medelvärde av modeller



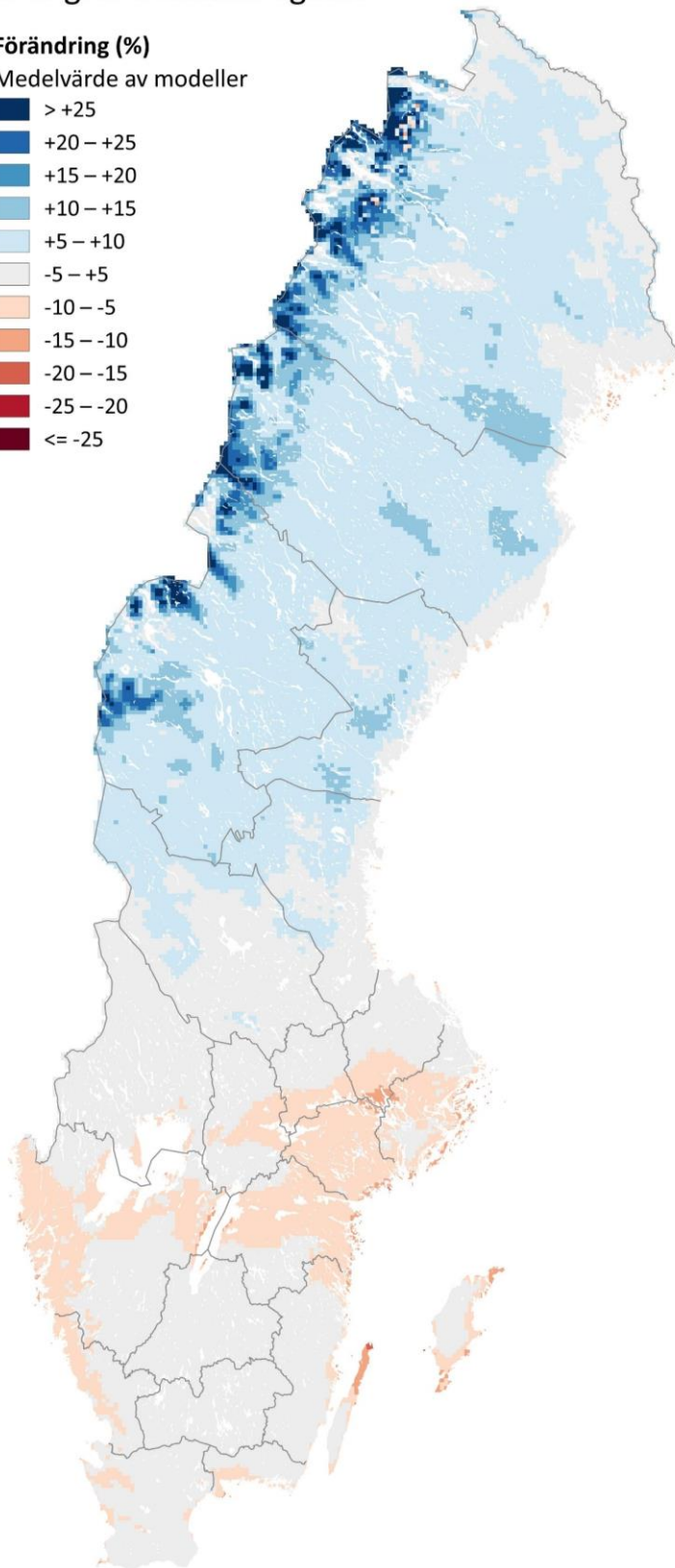
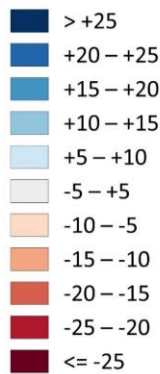
Figur 9. Förändring av medelvärde för årlig potentiell grundvattenbildning i små grundvattenmagasin för tre klimatscenarier och tre tidsperioder. Kartorna visar medelvärdet av modellensembeln.

Potentiell grundvattenbildning - årlig (medel)
Små grundvattenmagasin

RCP 4,5
Period: 2071–2100

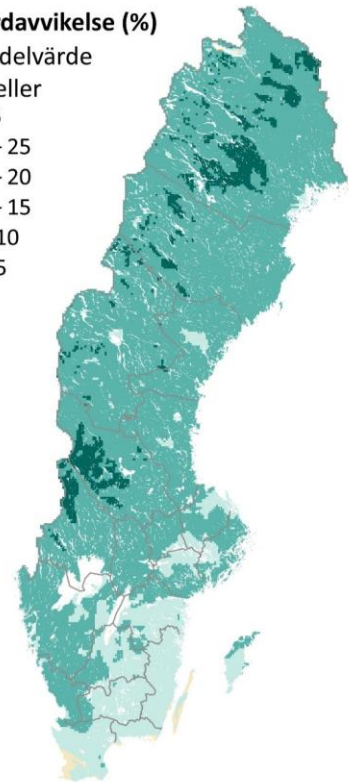
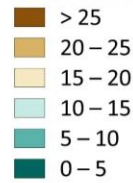
Förändring (%)

Medelvärde av modeller



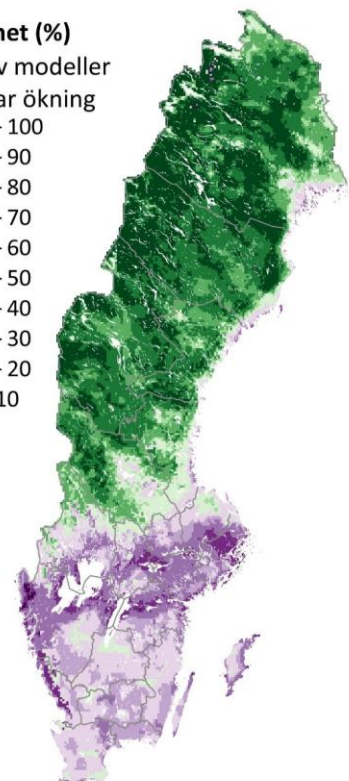
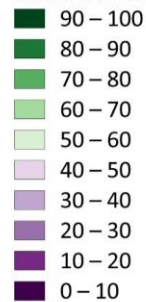
Standardavvikelse (%)

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



Figur 10. Resultat av klimatmodellering för RCP 4,5 och perioden 2071–2100 med avseende på förändring av medelvärde för årlig potentiell grundvattenbildning i små grundvattenmagasin. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Grundvattentorka

Figur 11 visar en översikt av förändringen för medelvärde av den längsta årliga grundvattentorkan för tre olika klimatscenarier och tre tidsperioder enligt medel av modellensembeln. Den geografiska fördelningen av förändringen påminner om motsvarande kartor för potentiell grundvattenbildning (se figur 9), men förändringen är mycket tydligare för grundvattentorka än för potentiell grundvattenbildning.

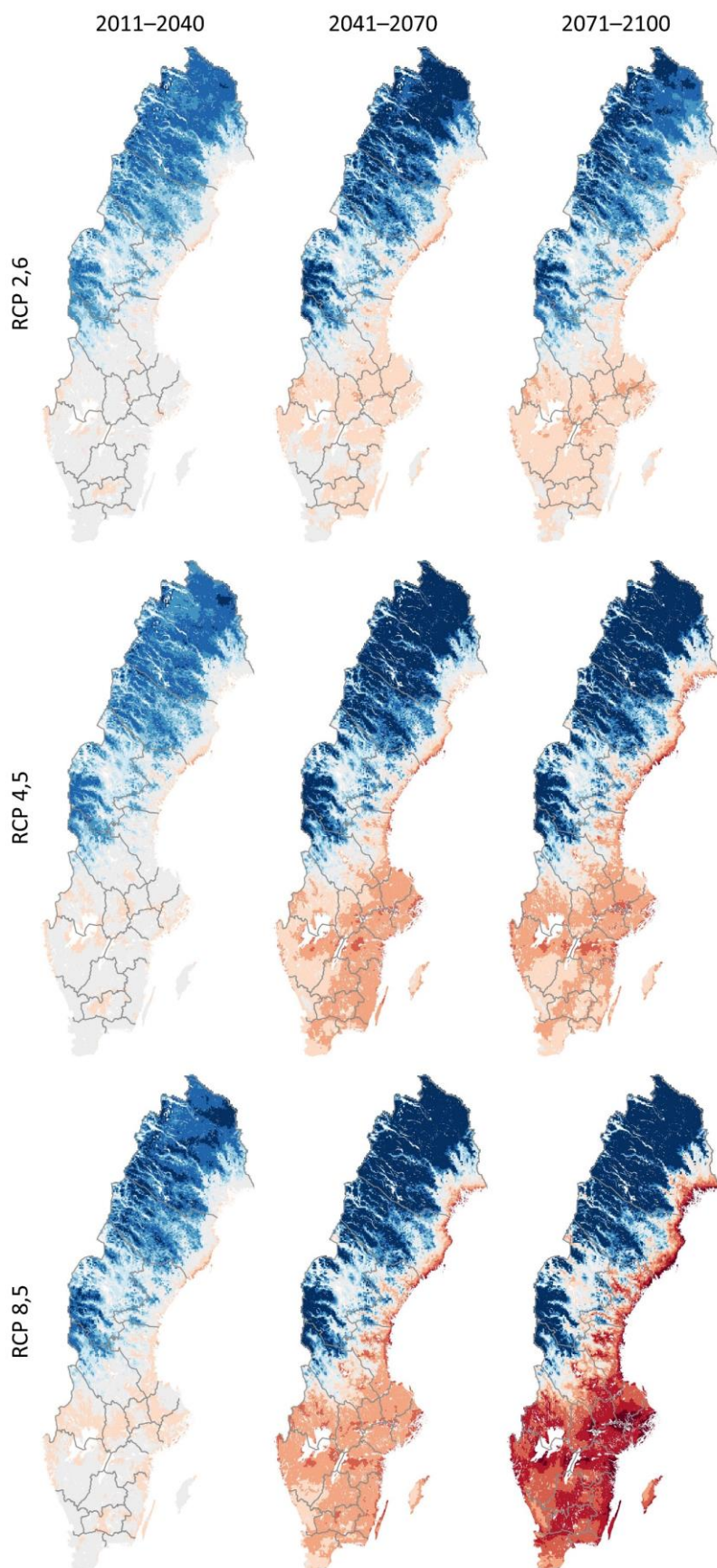
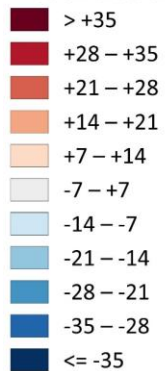
Området där det förväntas bli en förlängd grundvattentorka omfattar i princip hela Götaland, Svealand och Norrlandskusten med undantag för vissa delar av Dalarna. Sett till den längsta årliga perioden av grundvattentorka kommer den bli förkortad i stora delar av fjällkedjan och Norrlands inland. Detta beror på att vintertorkan dominerar i området under referensperioden och den förväntas bli kortare i ett varmare klimat. Däremot är det förväntat att sommartorkan kommer bli längre även i detta område. Nuvarande tidsperiod (2011–2040) uppvisar endast mindre ökning av grundvattentorkan relativt referensperioden (1971–2000), oavsett RCP. Som förväntat blir förändringarna mera omfattande ju senare tidsperioder och högre RCP som beaktas.

Precis som för potentiell grundvattenbildning är det viktigt att analysera modellensembelns variation innan resultaten används, exempelvis för utredningar. I figur 12 visas resultatet för RCP 4,5 och perioden 2071–2100 med avseende på förändring av medelvärdet av grundvattentorkan. Till skillnad från den potentiella grundvattenbildningen i figur 10 är medelvärdet av modellensembeln över lag lika stor eller större än standardavvikelsen i figur 12, vilket indikerar att modellerna uppvisar ett tydligare resultat för grundvattentorka. Det stöds även av kartan för robusthet där färgen på de flesta håll är tydligt grön eller lila, vilket indikerar att en stor andel av modellerna visar på en förlängning respektive en förkortning av grundvattentorkan.

Grundvattentorka
Längsta årlig period (medel)
Små grundvattenmagasin

Förändring (dygn)

Medelvärde av modeller



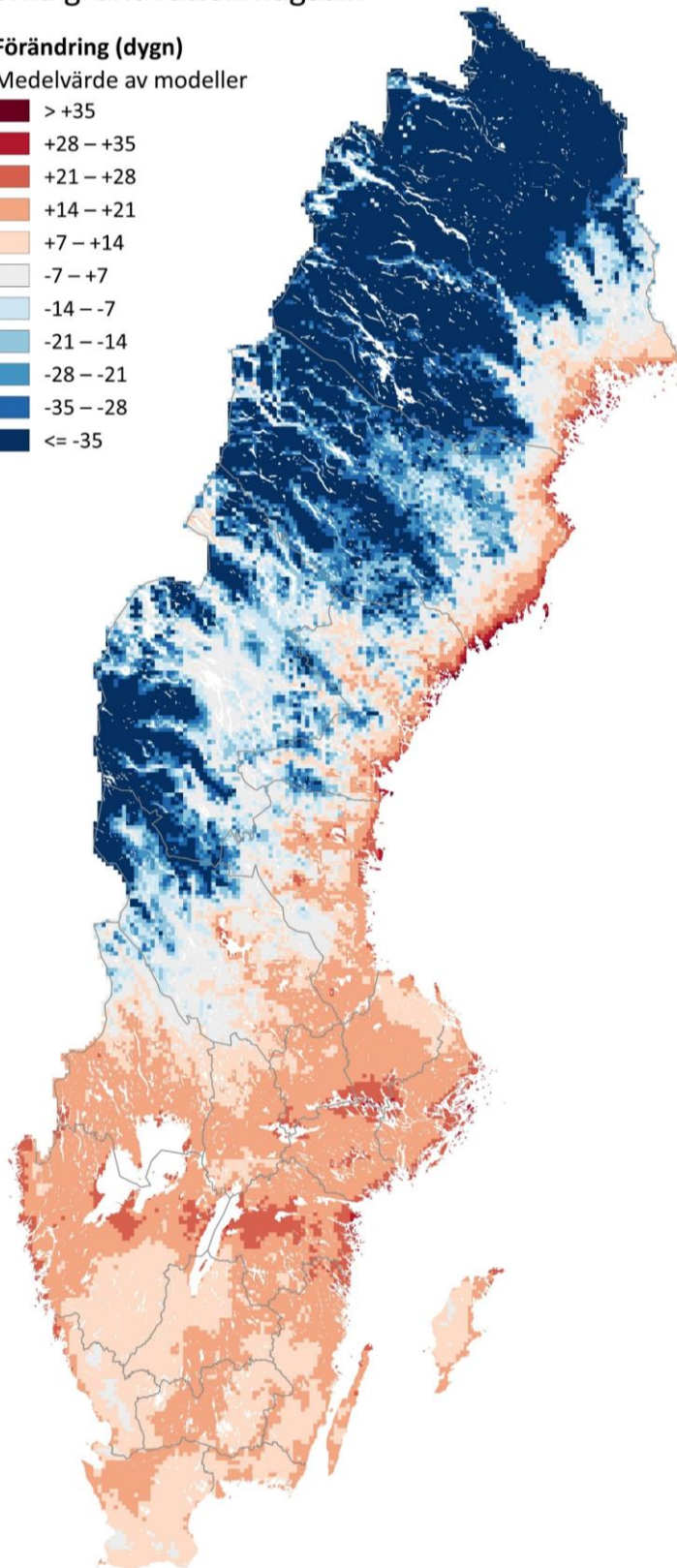
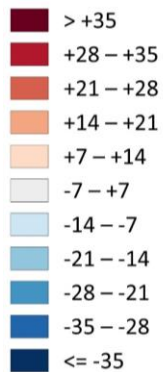
Figur 11. Förändring av medelvärde för längsta årliga grundvattentorka i små grundvattenmagasin för tre klimatscenarier och tre tidsperioder. Kartorna visar medelvärdet av modellensembeln.

Grundvattentorka - längsta årlig period (medel)
Små grundvattenmagasin

RCP 4,5
Period: 2071–2100

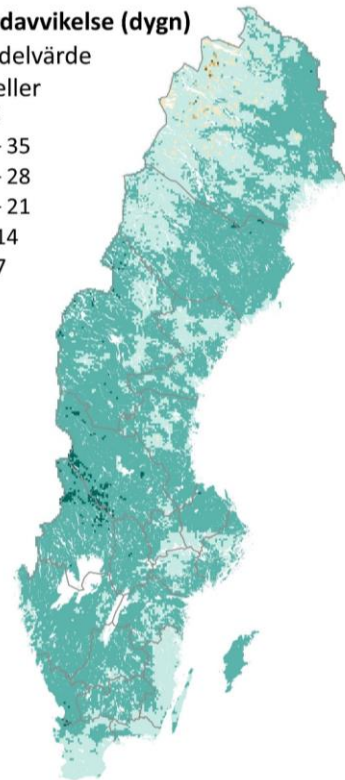
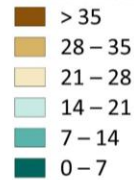
Förändring (dygn)

Medelvärde av modeller



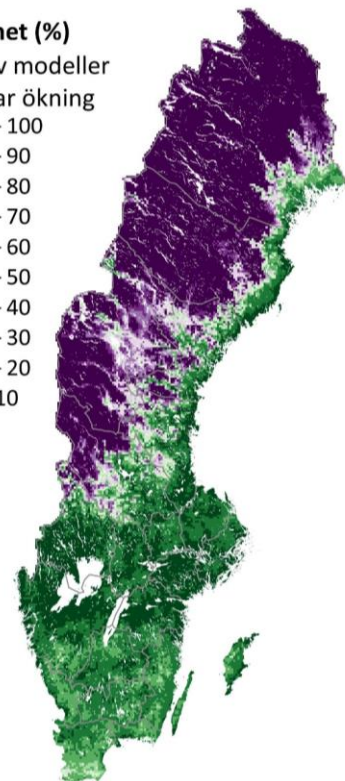
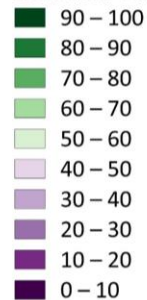
Standardavvikelse (dygn)

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



Figur 12. Resultat av klimatmodellering för RCP 4,5 och perioden 2071–2100 med avseende på förändring av medelvärde för längsta årliga period av grundvattentorka i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

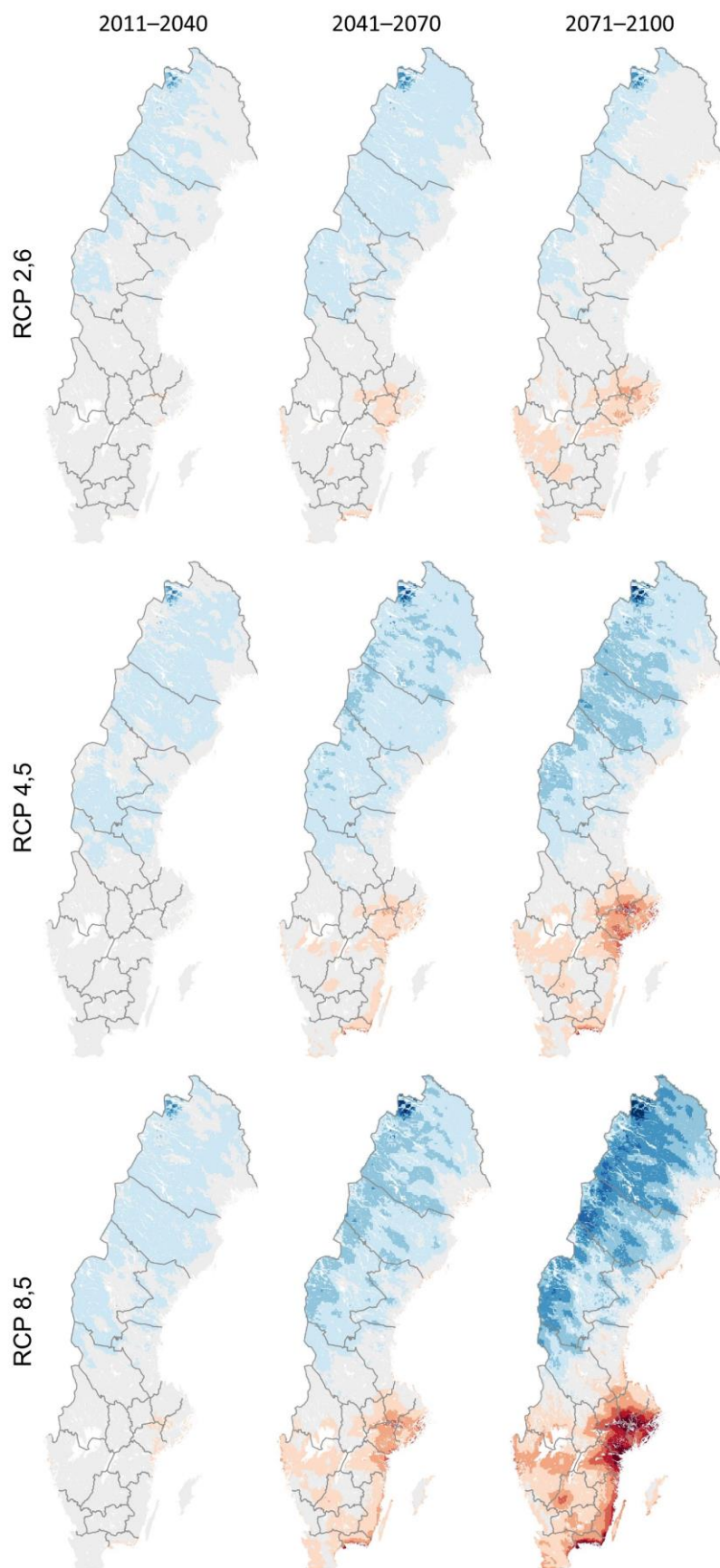
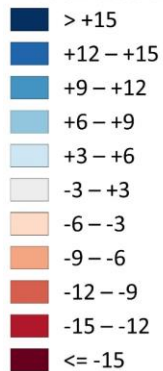
Fyllnadsgrad

Figur 13 visar en översikt av förändringen av fyllnadsgrad för tre olika klimatscenarier och tre tidsperioder enligt medel av modellensembeln. Resultaten är relativt lika de för potentiell grundvattenbildning vilket inte är oväntat eftersom båda analyseras som ett årsmedelvärde. Noterbart är till exempel att det under första perioden, 2011–2040, endast ser ut att bli en ökad fyllnadsgrad i norra Sverige, men ingen eller mycket marginell minskning i södra Sverige. För de senare tidperioderna blir förändringen tydligare för alla RCP, men helt förväntat större ju högre RCP scenariot har.

En översiktlig analys av exemplet för RCP 4,5 och perioden 2071–2100 i figur 14 visar att det blir en ökad medelfyllnadsgrad i fjälltrakterna och Norrlands inland. I delar av södra Sverige minskar i stället medelfyllnadsgraden. I områdena med ökad fyllnadsgrad är standardavvikelsen generellt sett lägre än i områdena med minskad fyllnadsgrad. Även robustheten tyder på mer samstämmiga modellresultat för fjälltrakterna och Norrlands inland än Götaland och Svealand. En tolkning av detta är att ökningen som visas i norra Sverige är ett säkrare modellresultat än motsvarande minskning i södra Sverige.

Fyllnadsgrad
Årsmedel (medel)
Små grundvattenmagasin

Förändring
Medelvärde av modeller



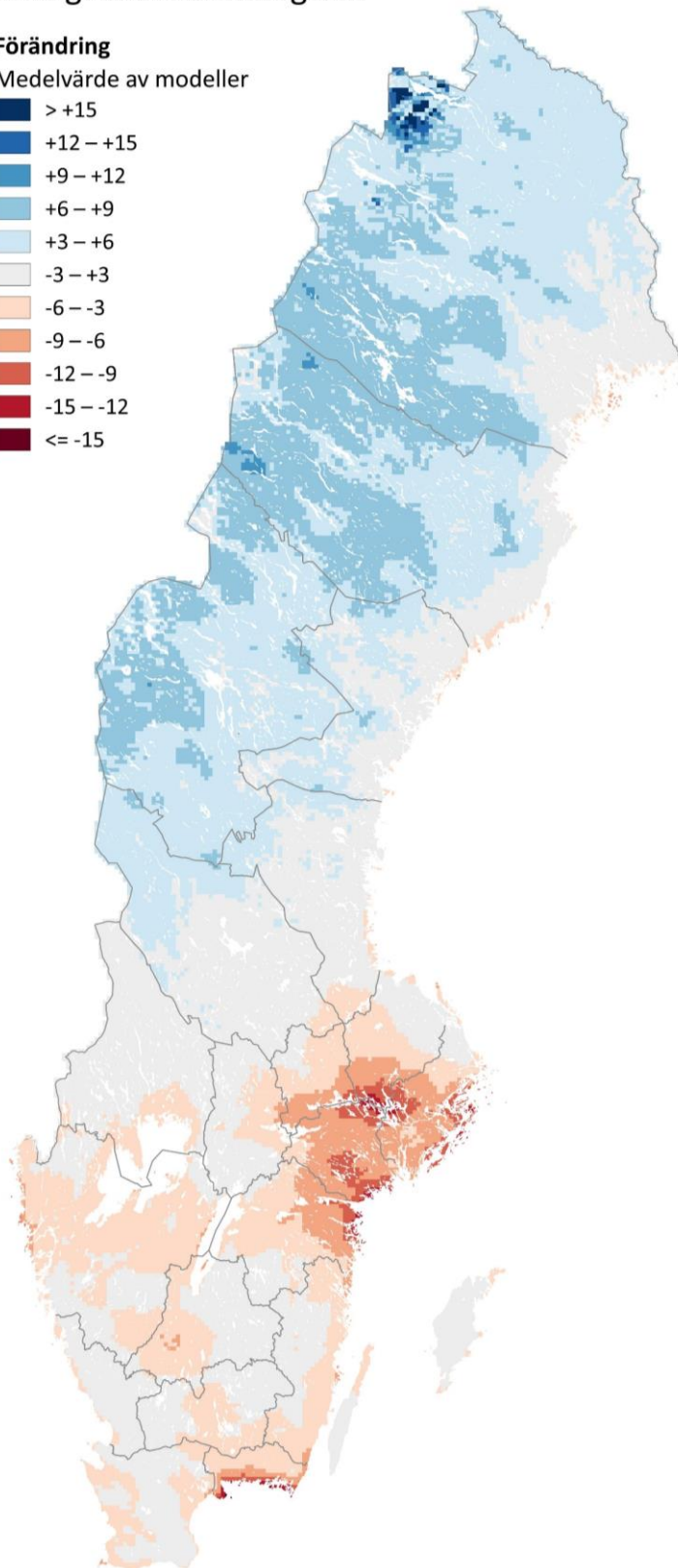
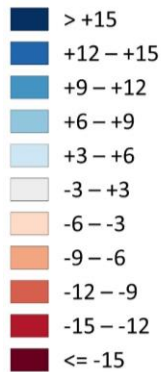
Figur 13. Förändring av medelfyllnadsgrad i små grundvattenmagasin för tre klimatscenarier och tre tidsperioder jämfört med referensperioden 1971–2000. Kartorna visar medelvärdet av modellensembeln.

Fyllnadsgrad - årsmedel (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 4,5
Period: 2071–2100

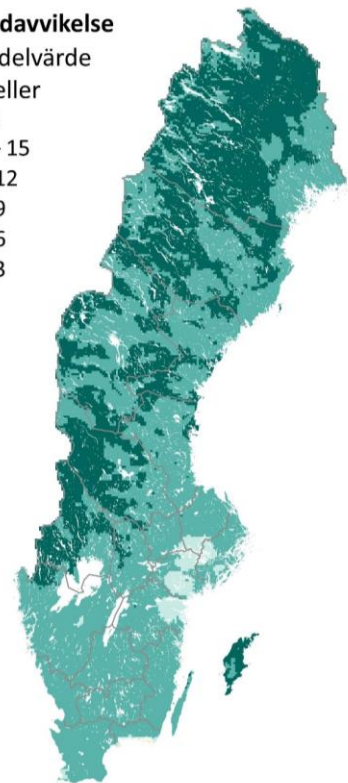
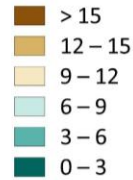
Förändring

Medelvärde av modeller



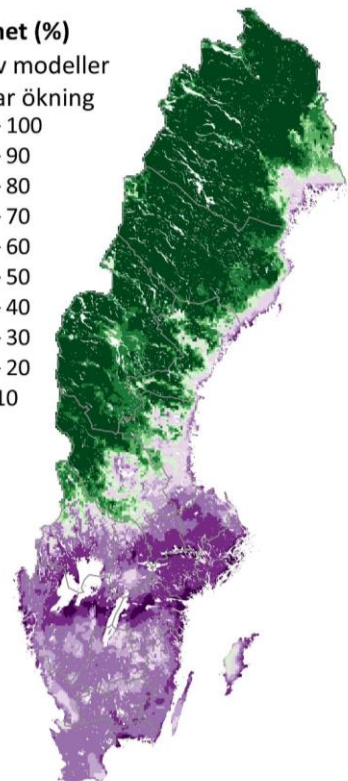
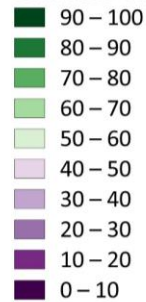
Standardavvikelse

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



Figur 14. Resultat av klimatmodellering för RCP 4,5 och perioden 2071–2100 med avseende på förändring av medelfyllnadsgrad i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Denna rapport är en inledande studie av den utförda klimatmodelleringen med SGU-HYPE och omfattar därför endast en analys av medelförändringar i små grundvattenmagasin med avseende på årsmedelvärden för potentiell grundvattenbildning och fyllnadsgrad samt medelförändring av grundvattentorka. Dessa klimatindikatorer skulle gemensamt kunna antas beskriva en medelförändring av grundvattentillgång i små magasin.

Det finns stora geografiska skillnader i Sverige vad det gäller potentiell grundvattenbildning och grundvattentorka där medelvärdet under perioden 1971–2000 i vissa områden kan vara många gånger högre än i andra områden. Det kan också vara stora skillnader inom ganska korta avstånd. Vid jämförelsen mellan 1961–1990 och 1991–2020 noteras relativt tydliga, men också varierande, förändringar för klimatindikatorerna. Detaljanalysen för några utvalda platser visar också att variationen mellan enskilda år kan vara stor för samma plats.

För klimatmodelleringen (2011–2100) finns det många likheter i resultaten mellan de olika klimatindikatorerna. Detta är inte oväntat med tanke på att grundläggande drivdata, det vill säga temperatur och nederbörd, är gemensamma för dem. Till exempel visar resultaten att grundvattentillgången i framtiden över lag skulle öka sett på årsbasis i fjällkedjan och Norrlands inland. I stora delar av Götaland och Svealand samt även längs Norrlandskusten tyder resultaten på ett övergripande plan på att det skulle bli en minskad eller oförändrad grundvattentillgång i framtiden. En minskad grundvattentillgång ser ut att vara mest uttalad i områden nära kusten eller de större sjöarna. Observera att denna kust- och sjönära effekt inte är kopplad till någon avvikande parametrisering av SGU-HYPE för dessa områden utan måste bero på en förändring i drivdata, det vill säga temperatur och nederbörd.

Om endast modellensembelns medelförändringar för 2011–2100 betraktas ser de generellt ut att vara måttliga och geografiskt ganska jämnt fördelade jämfört med de förändringar som noterats mellan perioderna 1961–1990 och 1991–2020. Vid en sådan jämförelse är det dock mycket viktigt att tänka på att det endast är ett utfall för perioden 1961–2020 som jämförs med ett medel av sjutton olika utfall (klimatmodeller) för 2011–2100. Det visar också på betydelsen att väga in variationen mellan de olika klimatmodellerna vid vidare utredningar för klimatanpassningar.

Över lag är variationen mellan de olika klimatmodellerna förhållandevis stor jämfört med modellensembelns medelförändringar, speciellt för potentiell grundvattenbildning och fyllnadsgrad. Den förhållandevis stora variationen är särskilt tydligt vid en jämförelse med de resultat som SMHI presenterar för förändringar i temperatur och nederbörd för samma klimatmodeller, perioder och klimatscenarier. För temperatur och nederbörd är samstämmigheten mellan de olika modellerna betydligt större. En möjlig förklaring till den förhållandevis stora variationen i grundvattentillgång, trots tydliga trender för temperatur och nederbörd, skulle kunna vara att resultatet från vissa klimatmodeller visar på en något större temperaturökning men en måttligare nederbördsökning medan andra klimatmodeller skulle kunna ha en mer måttlig temperaturökning och en något större nederbördsökning. Eftersom ökad temperatur och ökad nederbörd ger motsatta effekter vad det gäller grundvattenbildning skulle effekten för grundvattentillgången kunna bli en minskning i det första fallet (stor temperaturökning och måttlig nederbördsökning), men en ökning i det andra fallet (måttlig temperaturökning och stor nederbördsökning). Detta trots att klimatmodellerna är relativt samstämmiga vad det gäller temperatur- och nederbördsförändringar.

Förändringarna är mer påtagliga för högre RCP och senare tidsperioder vilket är helt förväntat. Den klimatindikator som uppvisar de tydligaste resultaten och minsta osäkerheten i denna studie är grundvattentorka. Det kan tolkas som att sommarhalvåret skulle innebära en minskad grundvattentillgång och vinterhalvåret en ökad grundvattentillgång. För potentiell grundvattenbildning och fyllnadsgrad, som i denna studie redovisas på årsbasis, skulle denna skillnad mellan sommar-

och vinterhalvåret i viss mån ta ut varandra och dess förändring därmed inte bli lika stor. Dock kommer det krävas ytterligare analyser för att kunna fastställa detta, till exempel genom att studera potentiell grundvattenbildning och fyllnadsgrad på månads- eller årstidsbasis.

Resultaten gällande medelvärden av klimatindikatorerna under perioden 1961–2020 kan kortfattat sammanfattas:

- Det är stora skillnader i potentiell grundvattenbildning och grundvattentorka inom landet.
- Områdena med minst potentiell grundvattenbildning återfinns mestadels i de östra delarna av Götaland och Svealand, men även nära kuster, större sjöar och i större dalgångar.
- Områdena med längst grundvattentorka återfinns i huvudsak i de östra delarna av Svealand och Götaland samt Skåne och är som mest uttalad nära kuster och de större sjöarna.

Gällande förändring av medelvärden för klimatindikatorerna för perioden 2011–2100 är de viktigaste resultaten:

- Alla tre klimatindikatorer visar på liknande resultat, men grundvattentorka uppvisar de tydligaste resultaten
- Förändringen för klimatindikatorerna är mer påtagliga för högre RCP och senare tidsperioder
- Översiktligt kan de förväntade förändringarna sammanfattas med:
 - Ökad potentiell grundvattenbildning och fyllnadsgrad samt en kortare (vinter)grundvattentorka i fjällkedjan och Norrlands inland.
 - Oförändrad eller minskad potentiell grundvattenbildning och fyllnadsgrad i Götaland och i stora delar av Svealand.
 - Längre grundvattentorka i Götaland och i stora delar Svealand samt längs Norrlands-kusten där de större förändringarna ofta uppträder nära kusten eller de större sjöarna.

Möjliga konsekvenser för samhället

Grundvatten spelar en mycket viktig roll för det svenska samhället, både som resurs och potentiellt problem. Samhället är i mångt och mycket anpassat till historiska förhållanden. En förändring av grundvattenförhållandena på grund av klimatförändringar kan därför medföra stora konsekvenser för samhället.

Som tidigare beskrivits i denna rapport är det i slutändan ofta de mer extrema händelserna snarare än normalläget som blir avgörande för samhället och klimatanpassningen vad det gäller grundvatten. Ett exempel är vattenförsörjning som måste fungera varje år, året runt. Då blir det den torraste perioden eller året som sätter begränsningen för grundvattentillgången. Av flera skäl, framför allt resursmässiga, var det endast möjligt att analysera förändringarna av medelvärdena med avseende på små magasin inom ramen för denna studie. SGU anser dock att det är mycket viktigt för samhället att gå vidare i detta arbete med fortsatta analyser som även ska inkludera mer extrema händelser och andra typer av grundvattenmagasin.

Punktlistan sammanfattar några av de samhällskonsekvenser som kan uppstå på grund av en förändrad grundvattentillgång:

- En långsiktigt minskad grundvattenbildning kan ge en gradvis försämrad grundvattentillgång och öka risken för vattenbrist. Detta bedöms framför allt vara betydelsefullt för grundvattenmagasin som kan lagra mycket vatten, vilket ofta är fallet för de magasin som används för allmän vattenförsörjning.
- Längre perioder med grundvattentorka kan, även om det saknas en långsiktig trend i grundvattentillgång, periodvis försämma grundvattentillgången. Detta påverkar främst grundvattenmagasin med en begränsad lagringsförmåga. Det bedöms kunna medföra stora konsekvenser

för enskild dricksvattenförsörjning, men även för livsmedelsproduktion på grund av minskad vattentillgång för djurhållning och bevattning. En lång grundvattentorka kan även påverka tillväxten för grödor och skog. Vid grundvattentorka är det också en stor risk att vattenbehovet ökar för till exempel bevattning.

- Förhöjda grundvattennivåer kan medföra en försämrad markstabilitet och bärighet i mark. Höga grundvattennivåer medför också en minskad förmåga att magasinera ytterligare vatten i marken och därmed ökad risk för översvämningar vid nederbördstillfällen.
- Låga grundvattennivåer kan medföra en ökad risk för sättningar och sinande brunnar.

Denna rapport behandlar endast de kvantitativa aspekterna av grundvatten, men vattenkvalitet är ofta en minst lika betydelsefull faktor för en tillförlitlig dricksvattenförsörjning som mängden grundvatten. Det finns samband mellan mängd grundvatten och vattenkvalitet, vilket innebär att förändring av vattenkvalitet i framtida klimat också måste beaktas. Några möjliga tänkbara konsekvenser relaterade till vattenkvaliteten i ett framtida klimat kan vara:

- Högre temperatur kan ge en förändrad vattenkvalitet, bland annat genom att både den kemiska vittringen och den mikrobiella aktiviteten brukar öka med stigande temperatur.
- En förändrad grundvattennivå kan ge ändrade oxidationsförhållanden, vilket kan påverka utlakning och lösning av olika ämnen, och därmed en förändrad vattenkvalitet.
- En förändrad grundvattenkvantitet kan ge förändrade grundvattenflöden och därmed förändrad vattenkvalitet i till exempel en brunn.
- Extremt höga grundvattennivåer kan ge översvämningar och inflöde av grundvatten med en sämre kvalitet till brunnar.
- En minskad grundvattenkvantitet kan öka risken för saltvatteninträngningar i brunnar, både i kustnära områden och områden med saltare grundvatten på större djup.
- En förändrad vattenkvalitet kan medföra utökad behov av vattenrening.

Konsekvenser behöver inte stå i direkt proportion till den förändring som sker. Det beror på att både användningen eller beroendet av grundvatten och de geologiska förhållandena kan variera stort mellan olika områden. Exempelvis behöver inte en minskad grundvattenbildning med 20 procent få någon konsekvens alls för ett grundvattenmagasin om den nuvarande grundvattenbildningen är stor eller om nyttjandegraden är låg. I andra områden kan en liten förändring få en stor konsekvens om magasinets lagringsförmåga är liten eller nyttjandegraden redan i dagsläget ligger nära kapacitetsgränsen. För att utreda vilka konsekvenser som förväntas uppstå behövs bland annat en ökad kunskap om grundvattenuttag och grundvattenmagasinens robusthet, det vill säga förmåga att motstå och hantera förändringar.

För en konsekvensutredning eller klimatanpassningsutredning är det givetvis viktigt att också välja vilka scenarier som ska ingå. SGU tar dock inte ställning till vilken tidsperiod eller RCP som ska användas som planeringsunderlag. Det är något som behöver beslutas inom den specifika utredningen och kan bero på en mängd olika faktorer som till exempel syfte, karaktär och behov av säkerhetsmarginal för utredningen.

Förutom att välja tidsperioder och RCP krävs också ställningstaganden till vilka specifika värden som ska användas inom en utredning. Detta eftersom det inte är givet att det är medelvärdet av modellensembeln som ska användas. Exempelvis kan medelvärdet av modellerna för potentiell grundvattenbildning visa på oförändrade förhållanden men standardavvikelsen vara 10 procent. Då är det inte givet om den ska antas vara oförändrad, öka eller minska i en utredning, eller hur mycket den ska antas förändras. Även detta beslut kommer att behöva göras inom en utredning och kan till exempel bero på vilken säkerhetsmarginal som är lämplig att använda.

Förslag för fortsatta studier

Denna studie utgör endast en liten delmängd av den kunskap som behövs för att göra en konsekvensanalys och anpassning av det svenska samhället till grundvattenförhållanden i ett framtida klimat. Resultaten i studien visar att det kan bli både mer och mindre grundvatten för olika platser och under olika perioder. Dessutom varierar beroendet av grundvatten och de geologiska förhållandena väldigt mycket i Sverige. Konsekvenserna av de förändrade grundvattenförhållandena är till stor del osäkra eller okända. De kan troligtvis också skilja betydligt mellan olika platser och tidpunkter, vilket behöver utredas för att kunna genomföra lämpliga klimatanpassningar i samhället. Det finns därför ett stort behov av ytterligare studier:

- Utökad analys av klimatmodelleringen med fokus på mer extrema händelser och delar av året, till exempel enskilda årstider och månader.
- Utökad klimatmodellering och analys för att inkludera andra grundvattenförhållanden, i första hand fyllnadsgrad för stora magasin men också slutna magasin.
- Ingående studier av klimatpåverkan på grundvattenkemi.
- Konsekvensanalyser av förändrade grundvattenförhållanden. Dessa bör inkludera:
 - Grundvattenmagasinens robusthet, det vill säga deras förmåga att motstå förändringar, för en mängd olika geologiska typmiljöer
 - Både en minskad och ökad grundvattentillgång
 - Både grundvattenkvantitet och grundvattenkvalitet
 - Både opåverkade förhållanden och under påverkan av uttag
 - Olika samhällssegment och dess uttag, till exempel enskild vattenförsörjning, allmän vattenförsörjning, livsmedelsförsörjning och infrastruktur

Konsekvensanalyser bör göras i nationell och regional skala för att se på de övergripande mönstren för samhället, men också i lokal skala för specifika objekt och projekt. De bör därför också göras av olika aktörer där till exempel SGU kan göra de övergripande analyserna medan andra aktörer bör ansvara för och genomföra de mer ämnesspecifika, lokala och platsspecifika utredningarna.

Klimatmodelleringen inkluderar stora datamängder, även om resultaten sammanfattas i övergripande klimatindikatorer för längre perioder. För att resultaten ska kunna nyttjas effektivt av samhället behövs en användarvänlig digital tjänst där olika samhällsaktörer får tillgång till data för specifika platser eller områden som kan användas i fortsatta utredningar.

REFERENSER

- Aastrup, M., Thunholm, B., Sundén, G., & Dahné, J., 2012: Klimatets påverkan på koncentrationer av kemiska ämnen i grundvatten. *SGU-rapport 2012:27*. Sveriges geologiska undersökning.
- Lagergren, H., 2015: Grundvattennivåns tidsmässiga variationer i morän och jämförelser med klimatscenarier. *SGU-rapport 2015:20*. Sveriges geologiska undersökning.
- Maxe, L., 2007: Enskild vattenförsörjning – kunskapsunderlag inför uppföljning av nytt delmål. *SGU-rapport 2007:10*. Sveriges geologiska undersökning.
- IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 s.
- IPCC, 2024: *The Intergovernmental Panel on Climate Change*. <<https://www.ipcc.ch/>> Åtkommen 19 januari 2024.
- Rodhe, A., Lindström, G. & Dahné, J., 2009: Grundvattennivåer i ett förändrat klimat. Slutrapport från SGU-projektet ”Grundvattenbildning i ett förändrat klimat”, SGU:s diarienummer 60-1642/2007. Institutionen för Geovetenskaper, Uppsala universitet och Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut.
- SCB, 2022: Vattenanvändningen i Sverige 2020 MI27 - Vattenuttag och vattenanvändning 2022:1. Statistiska Centralbyrån.
- SMHI, 2024a: *Fördjupad klimatscenariotjänst*. <<https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier>> Åtkommen 19 januari 2024.
- SMHI, 2024b: *Klimat – statistik, forskning och vägledning*. <<https://www.smhi.se/klimat>> Åtkommen 19 januari 2024.
- SMHI, 2024c: *Om klimatscenariotjänsten: Hydrologi*. <<https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/om-klimatscenariotjansten/hydrologiska-klimatmodeller-1.177374>> Åtkommen 19 januari 2024.
- SMHI, 2024d: *Fördjupad klimatscenariotjänst – Hydrologi*. <<https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/hyd/>> Åtkommen 13 februari 2024.
- SMHI, 2024e: *The HYPE wiki pages*. <<http://www.smhi.net/hype/wiki/doku.php>> Åtkommen 19 januari 2024.
- SMHI, 2024f: *Griddade nederbörd- och temperaturdata – PTHBV*. <<https://www.smhi.se/data/ladda-ner-data/griddade-nederbord-och-temperaturdata-pthbv>> Åtkommen 19 januari 2024.
- Sundén G., Maxe, L. & Dahné, J., 2010: Grundvattennivåer och vattenförsörjning vid ett förändrat klimat. *SGU-rapport 2010:12*. Sveriges geologiska undersökning.
- Vikberg, E., Thunholm, B., Thorsbrink, M. & Dahné, J., 2015: Grundvattennivåer i ett förändrat klimat – nya klimatscenarier. *SGU-rapport 2015:19*. Sveriges geologiska undersökning.

BILAGA 1. RESULTATKARTOR

Innehåll bilaga 1

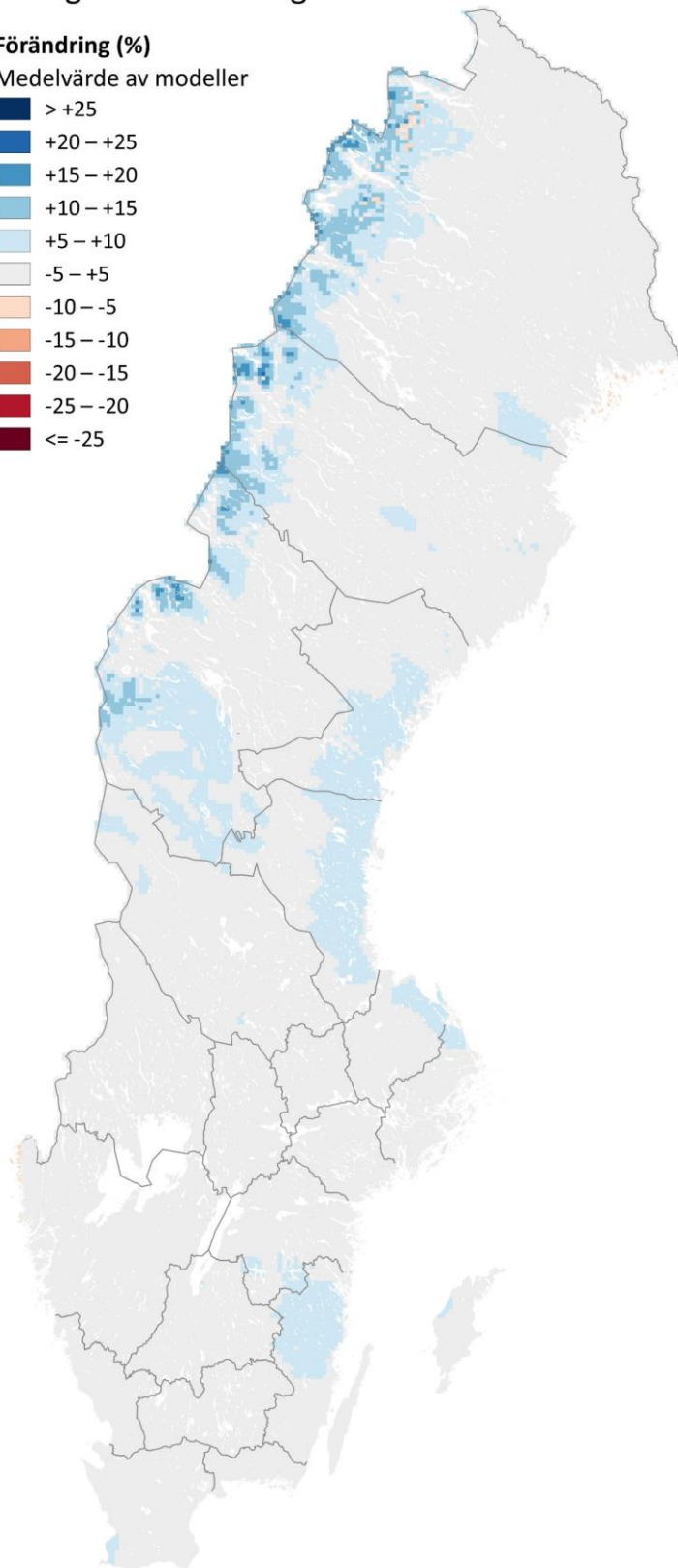
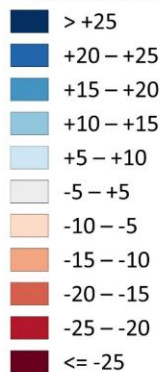
Potentiell grundvattenbildning	43
Vid RCP 2,6	43
Vid RCP 4,5	46
Vid RCP 8,5	49
Grundvattentorka	52
Vid RCP 2,6	52
Vid RCP 4,5	55
Vid RCP 8,5	58
Fyllnadsgrad	61
Vid RCP 2,6	61
Vid RCP 4,5	64
Vid RCP 8,5	67

Potentiell grundvattenbildning - årlig (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 2,6
Period: 2011–2040

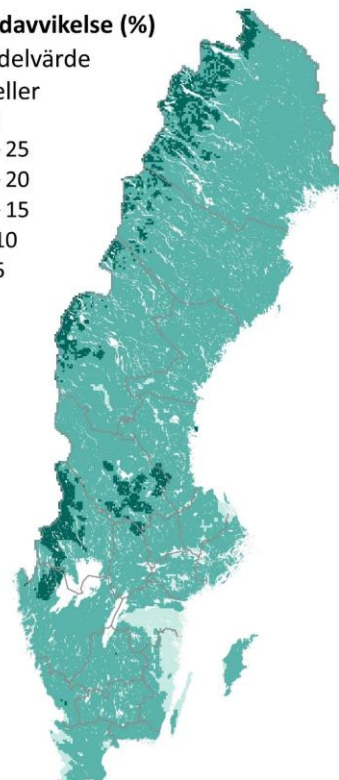
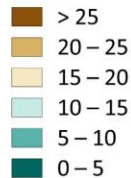
Förändring (%)

Medelvärde av modeller



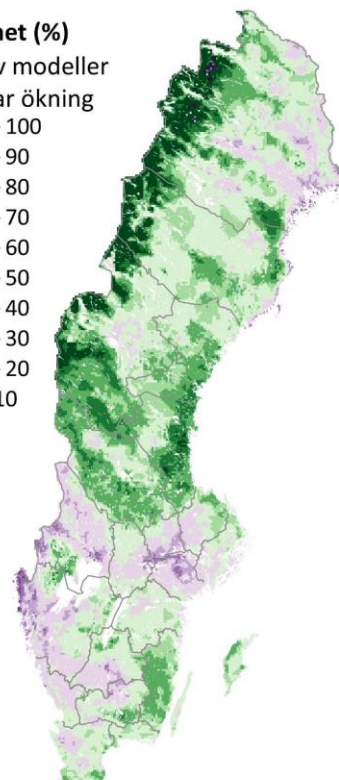
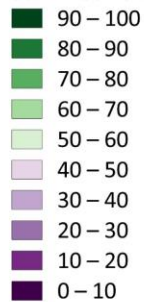
Standardavvikelse (%)

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



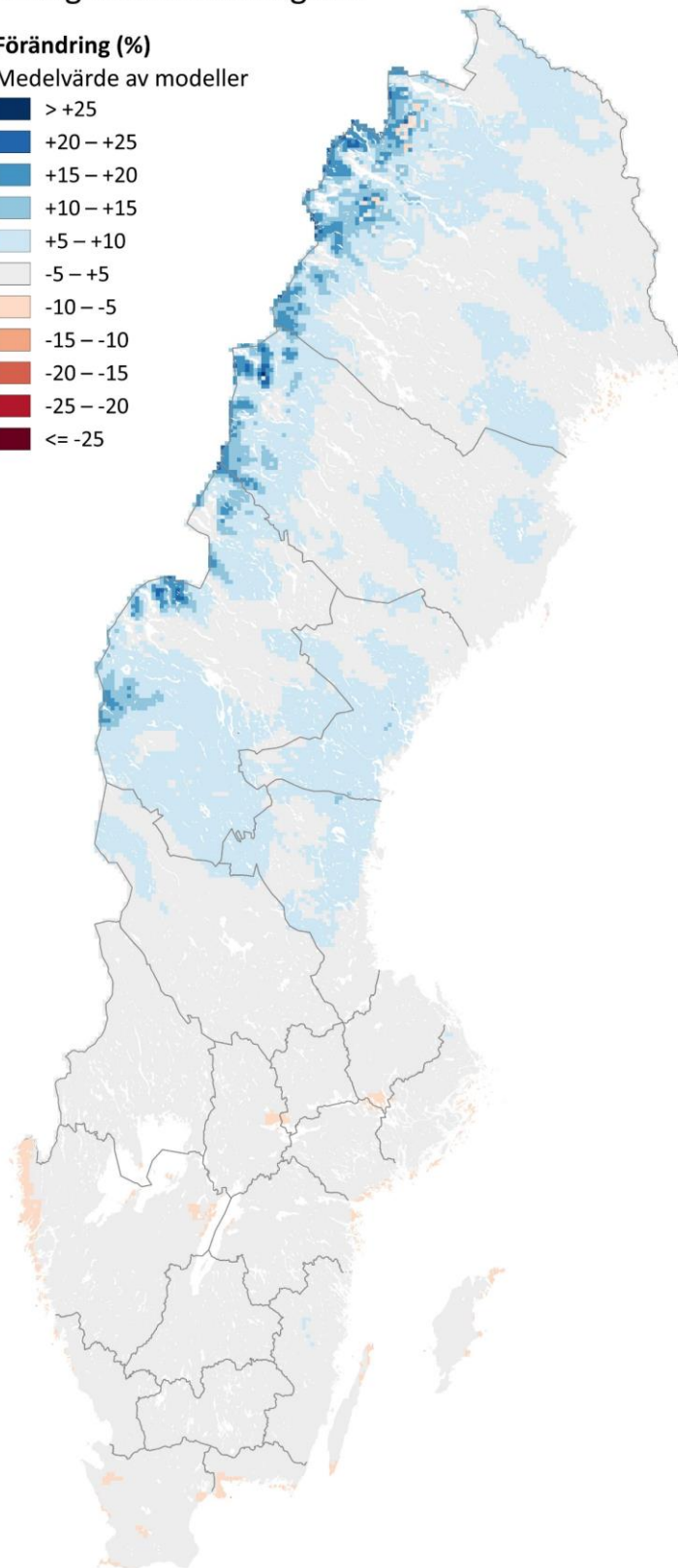
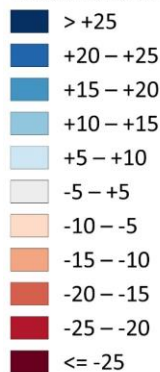
Figur B1-1. Resultat av klimatmodellering för RCP 2,6 och 2011–2040 med avseende på förändring av medelvärde för årlig potentiell grundvattenbildning i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Potentiell grundvattenbildning - årlig (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 2,6
Period: 2041–2070

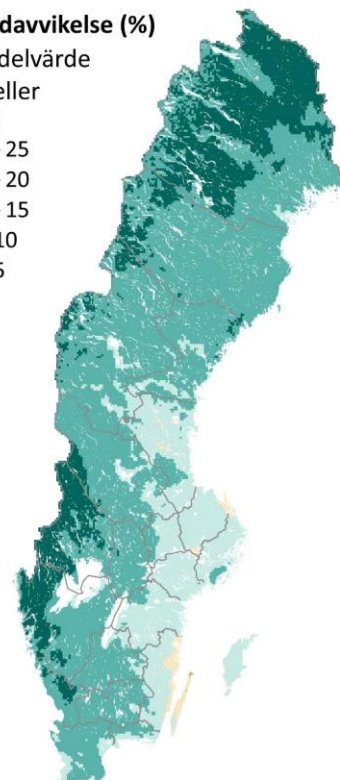
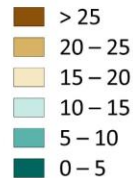
Förändring (%)

Medelvärde av modeller



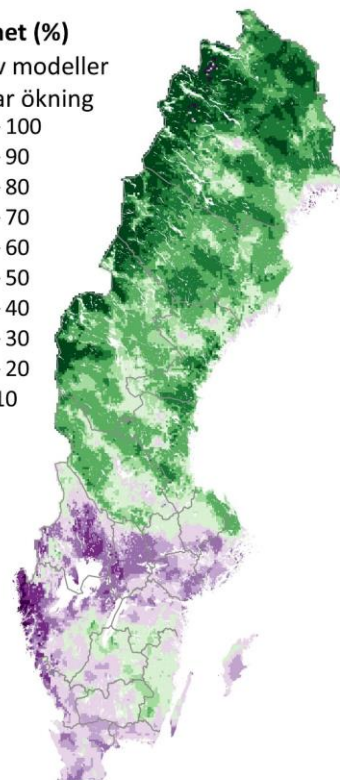
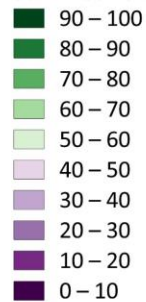
Standardavvikelse (%)

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



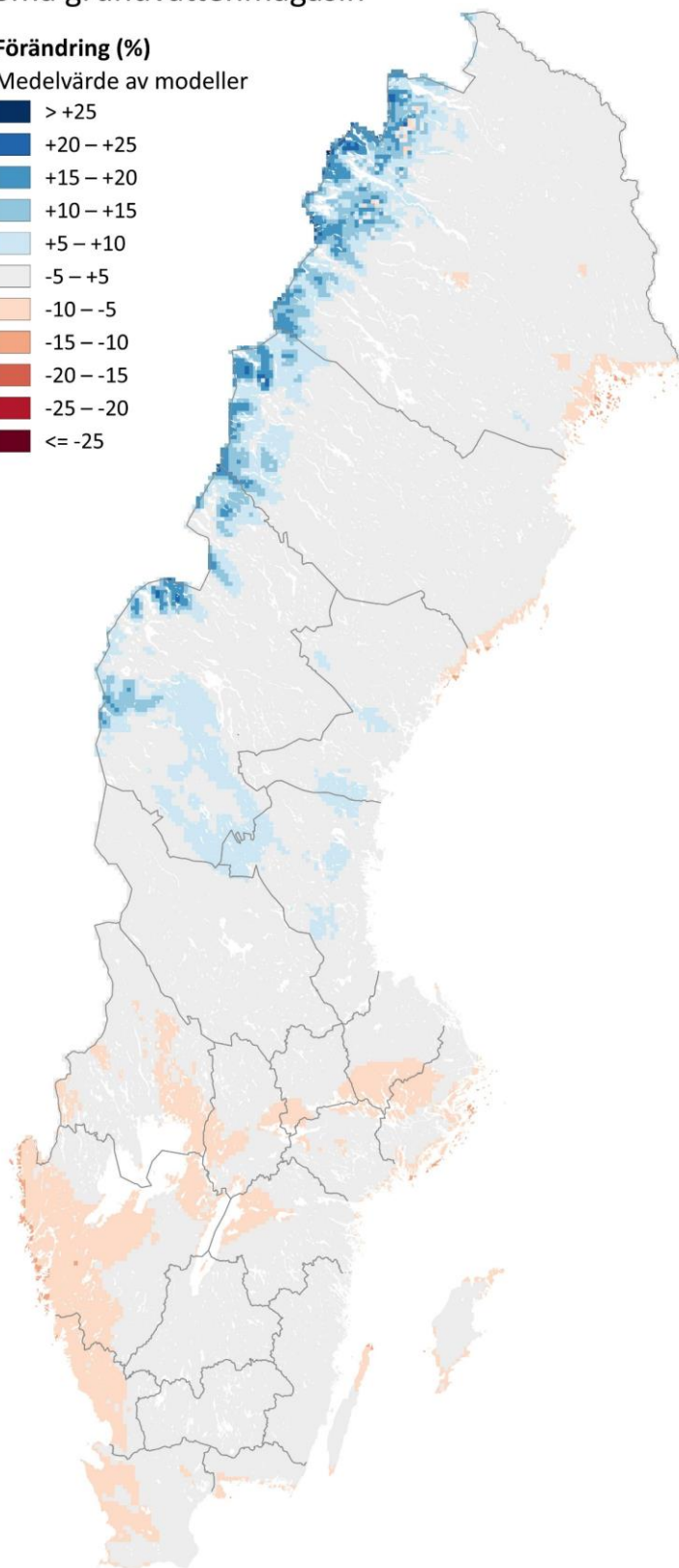
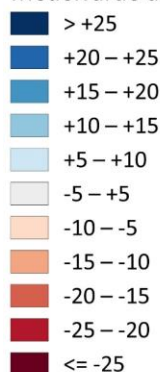
Figur B1-2. Resultat av klimatmodellering för RCP 2,6 och 2041–2070 med avseende på förändring av medelvärde för årlig potentiell grundvattenbildning i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Potentiell grundvattenbildning - årlig (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 2,6
Period: 2071–2100

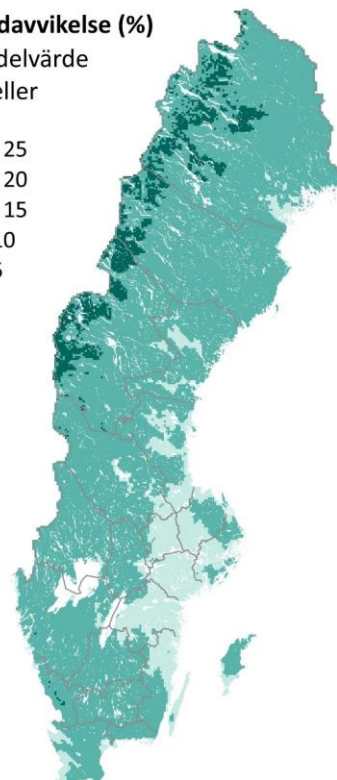
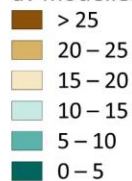
Förändring (%)

Medelvärde av modeller



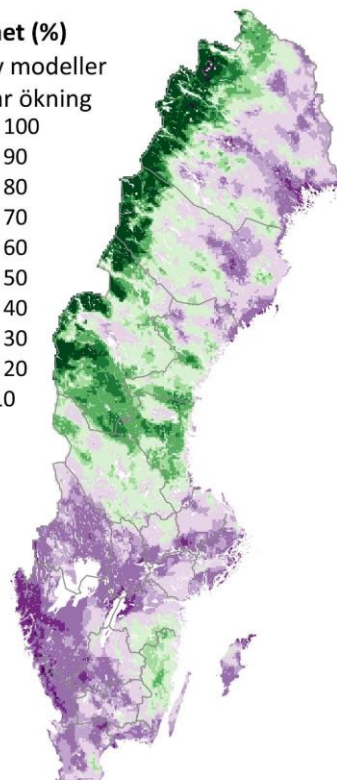
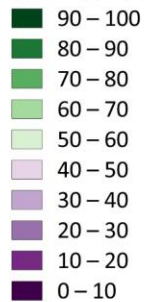
Standardavvikelse (%)

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



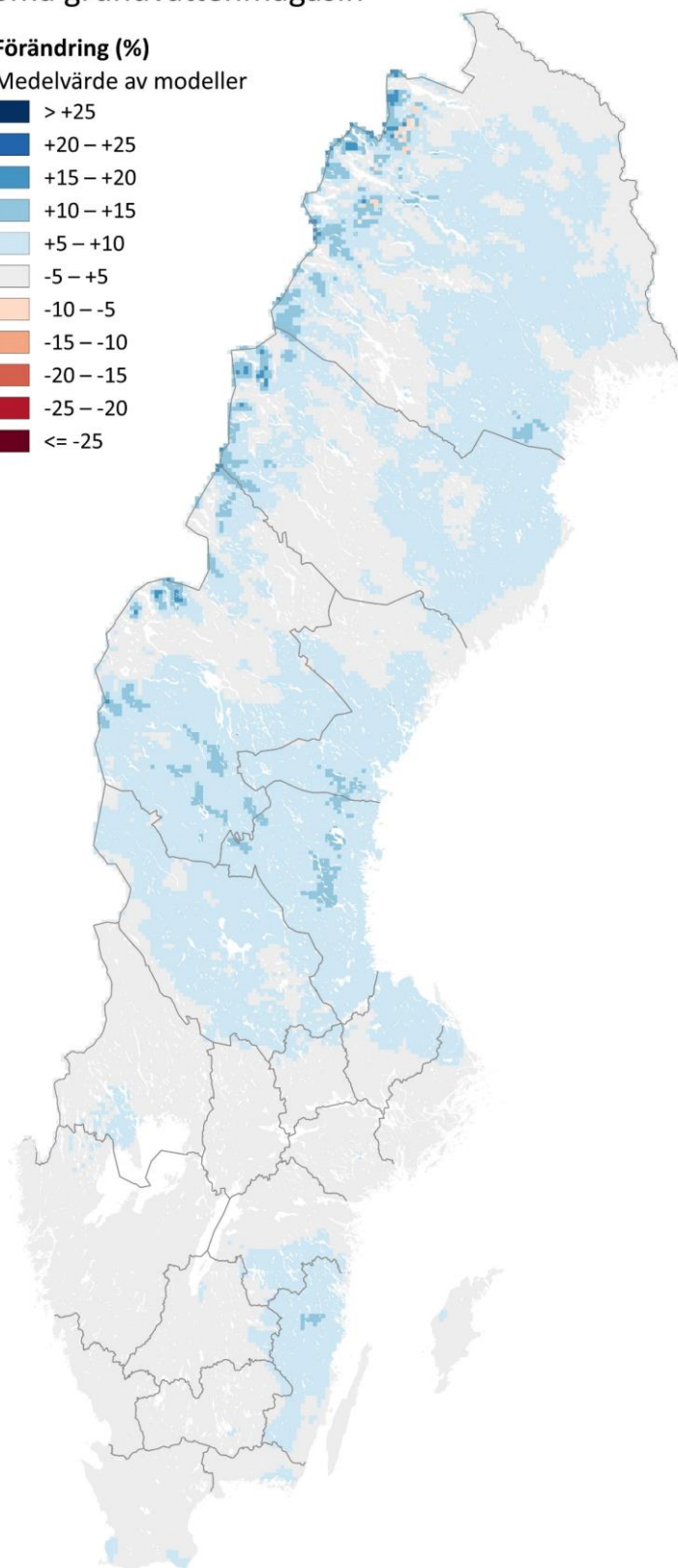
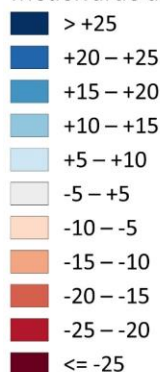
Figur B1-3. Resultat av klimatmodellering för RCP 2,6 och 2071–2100 med avseende på förändring av medelvärde för årlig potentiell grundvattenbildning i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Potentiell grundvattenbildning - årlig (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 4,5
Period: 2011–2040

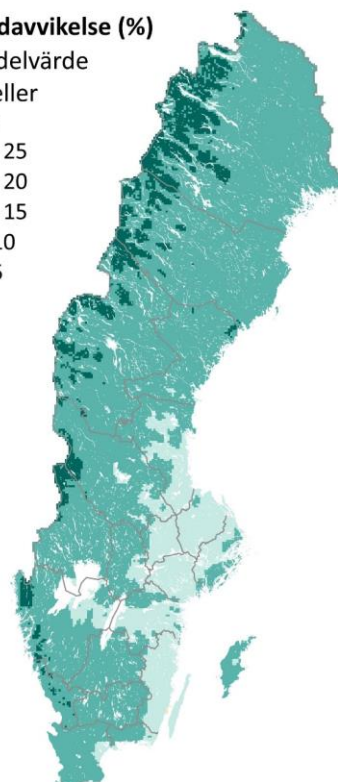
Förändring (%)

Medelvärde av modeller



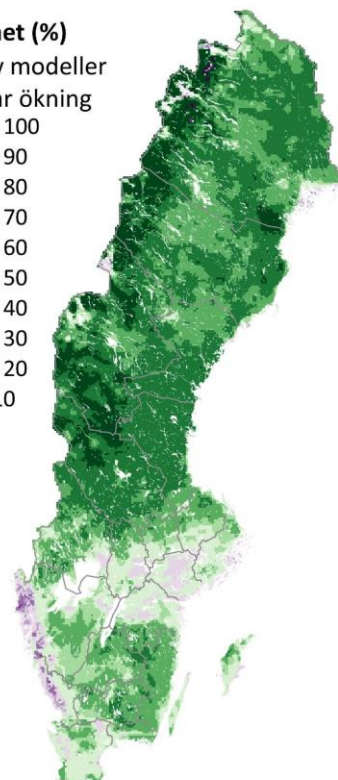
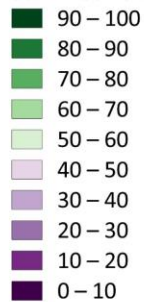
Standardavvikelse (%)

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



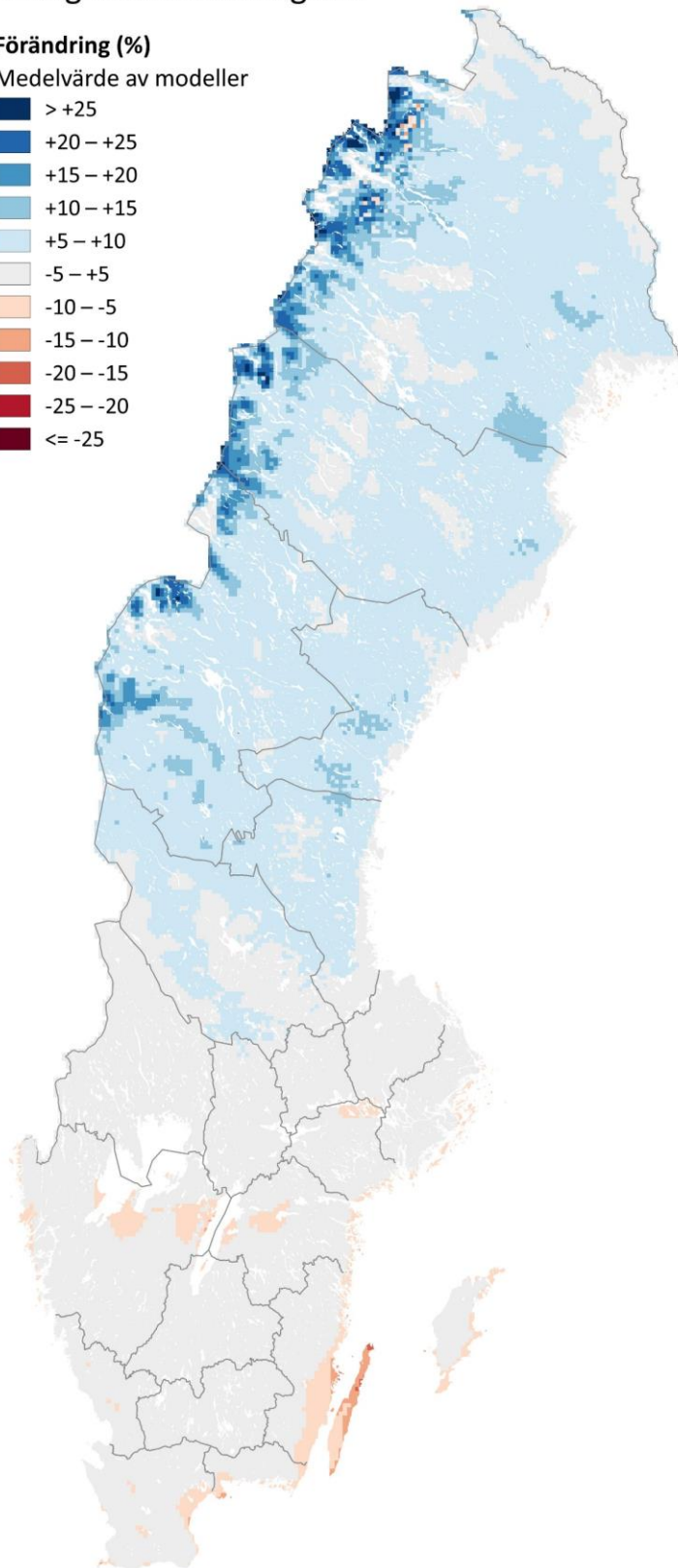
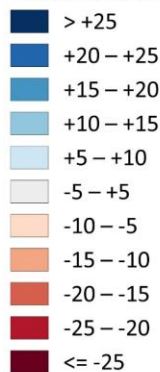
Figur B1-4. Resultat av klimatmodellering för RCP 4,5 och 2011–2040 med avseende på förändring av medelvärde för årlig potentiell grundvattenbildning i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Potentiell grundvattenbildning - årlig (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 4,5
Period: 2041–2070

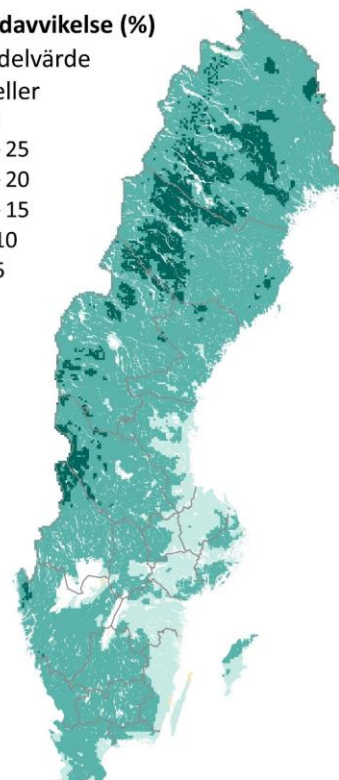
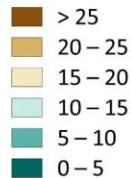
Förändring (%)

Medelvärde av modeller



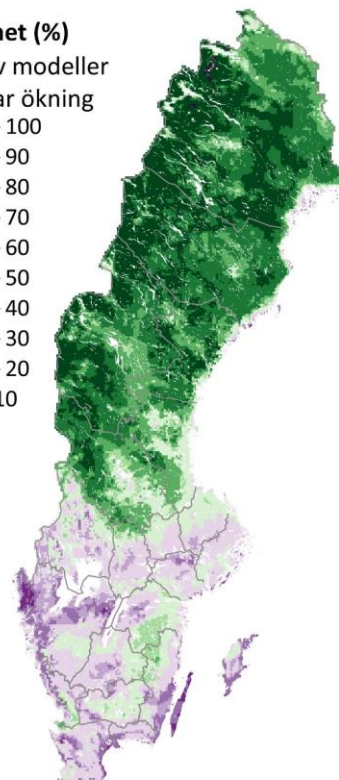
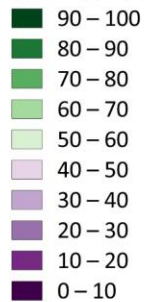
Standardavvikelse (%)

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



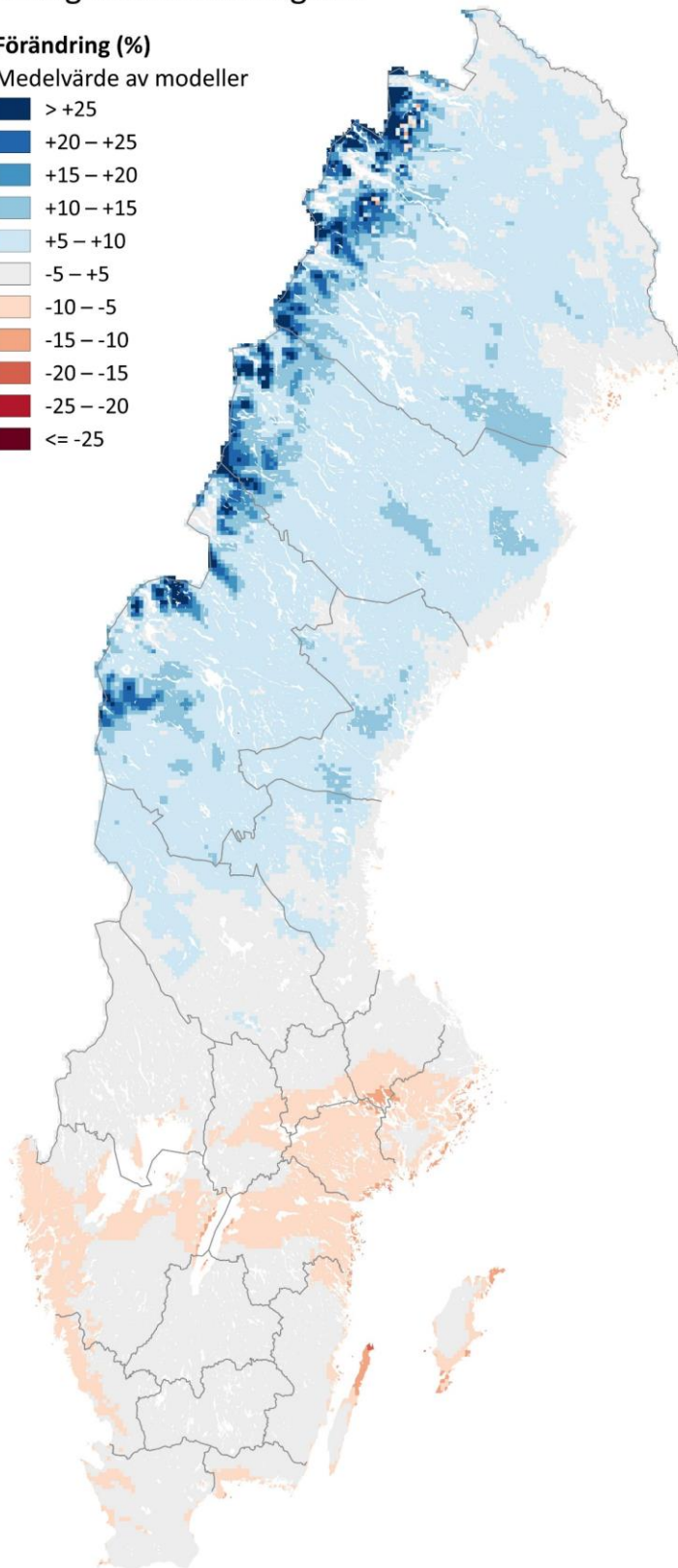
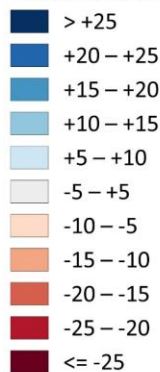
Figur B1-5. Resultat av klimatmodellering för RCP 4,5 och 2041–2070 med avseende på förändring av medelvärde för årlig potentiell grundvattenbildning i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Potentiell grundvattenbildning - årlig (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 4,5
Period: 2071–2100

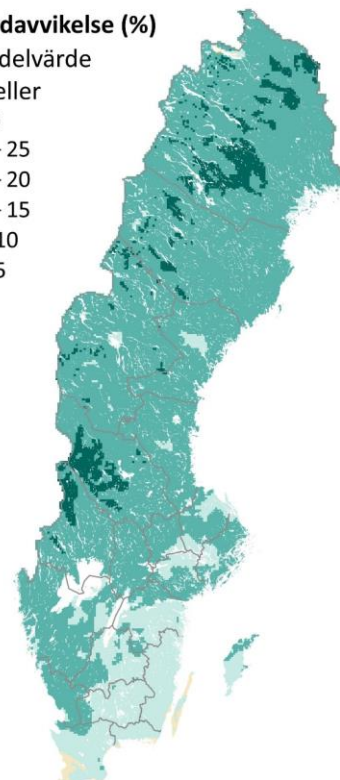
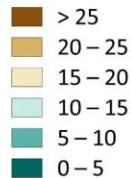
Förändring (%)

Medelvärde av modeller



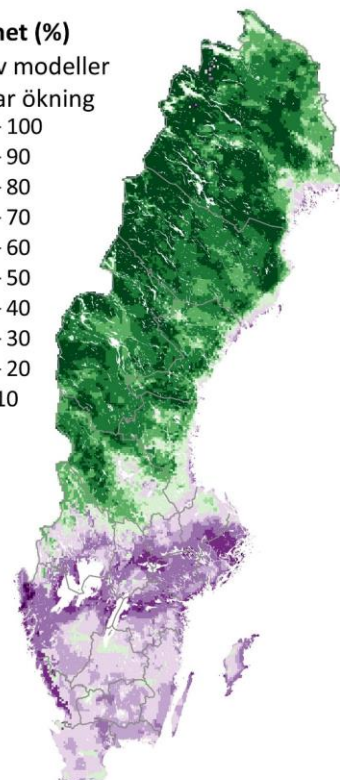
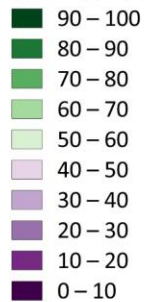
Standardavvikelse (%)

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



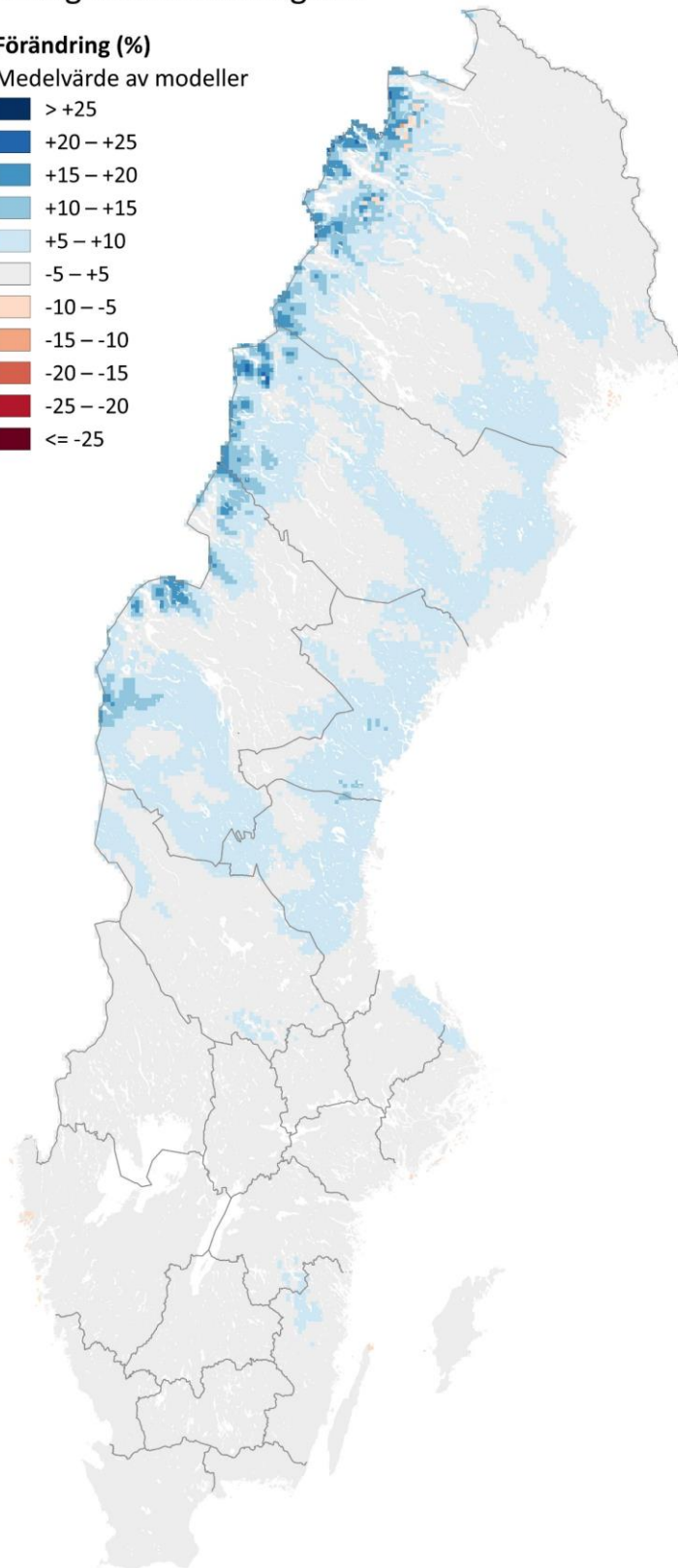
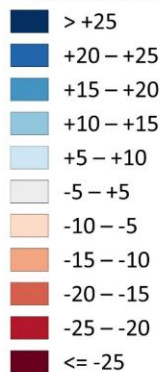
Figur B1-6. Resultat av klimatmodellering för RCP 4,5 och 2071–2100 med avseende på förändring av medelvärde för årlig potentiell grundvattenbildning i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Potentiell grundvattenbildning - årlig (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 8,5
Period: 2011–2040

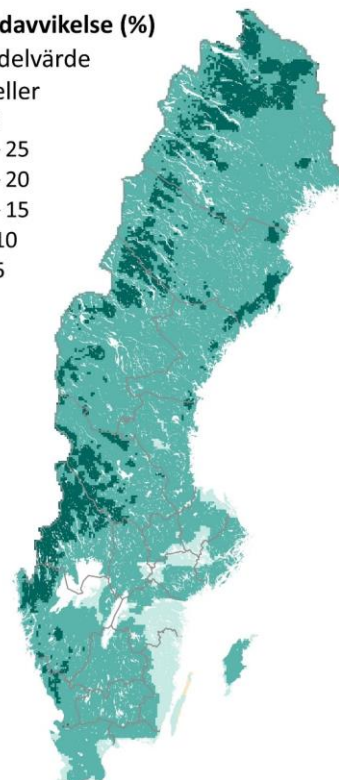
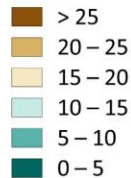
Förändring (%)

Medelvärde av modeller



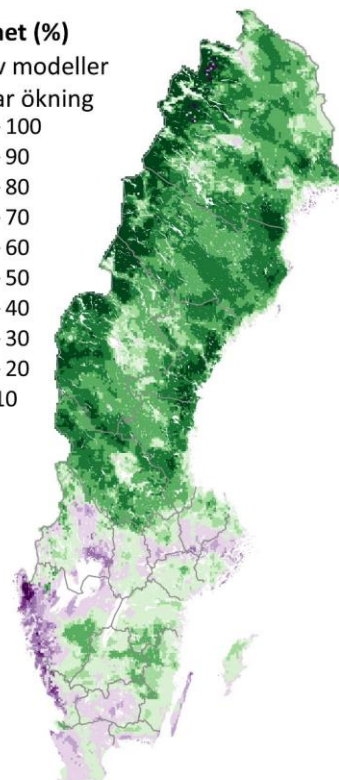
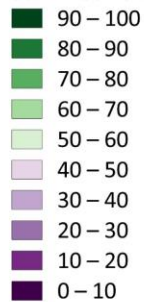
Standardavvikelse (%)

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



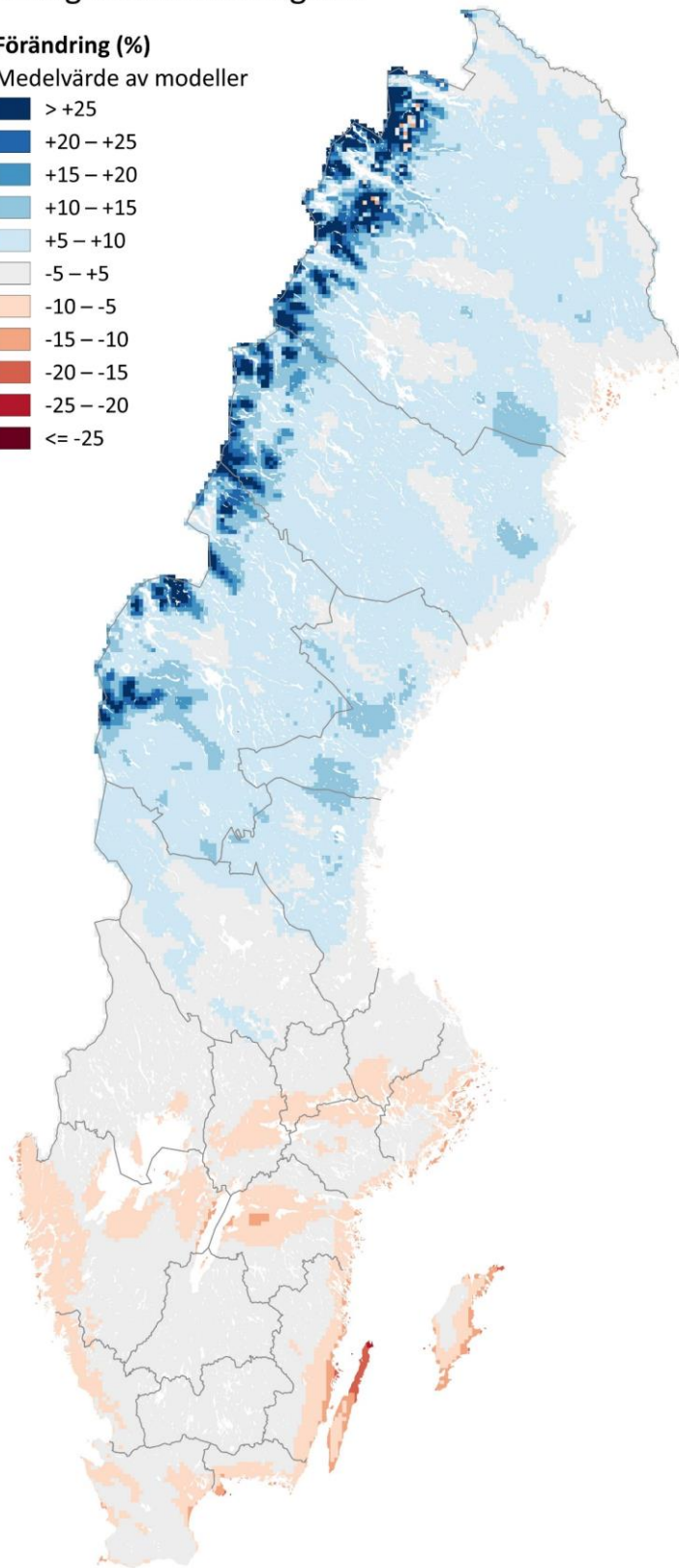
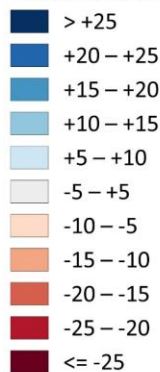
Figur B1-7. Resultat av klimatmodellering för RCP 8,5 och 2011–2040 med avseende på förändring av medelvärde för årlig potentiell grundvattenbildning i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Potentiell grundvattenbildning - årlig (medel)
Små grundvattenmagasin

RCP 8,5
Period: 2041–2070

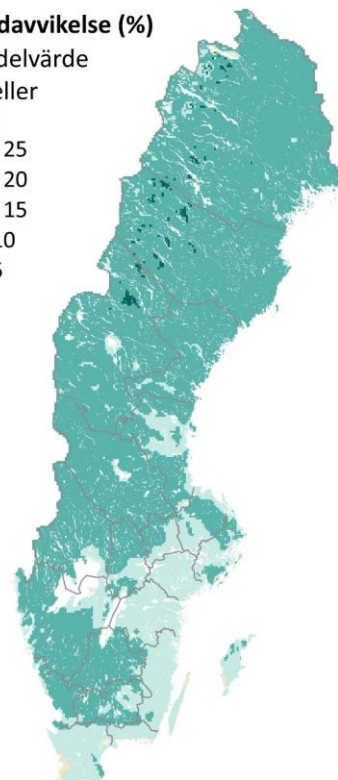
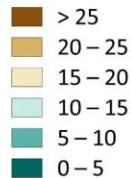
Förändring (%)

Medelvärde av modeller



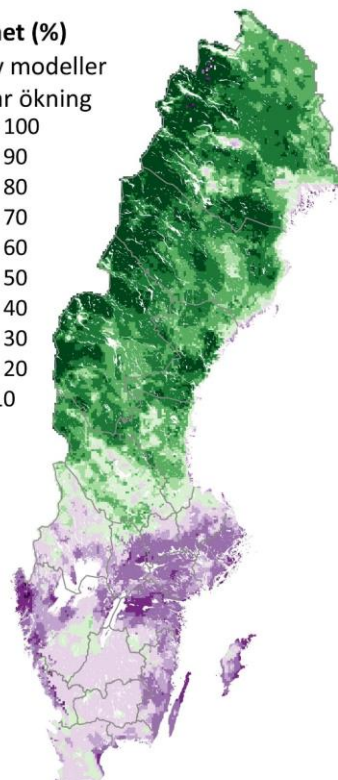
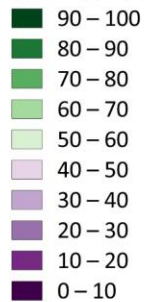
Standardavvikelse (%)

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



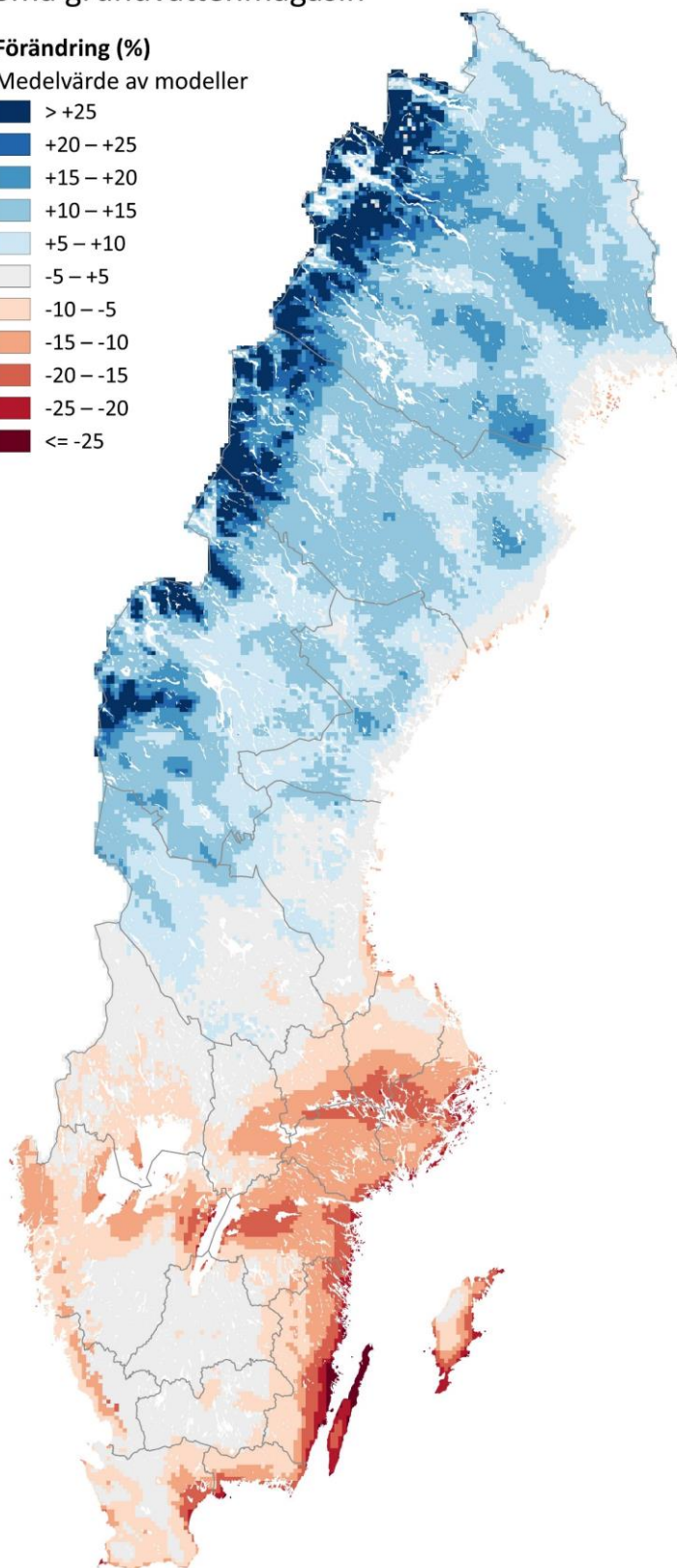
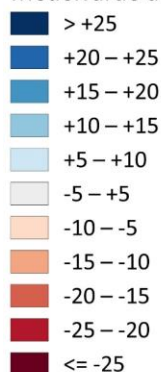
Figur B1-8. Resultat av klimatmodellering för RCP 8,5 och 2041–2070 med avseende på förändring av medelvärde för årlig potentiell grundvattenbildning i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Potentiell grundvattenbildning - årlig (medel)
Små grundvattenmagasin

RCP 8,5
Period: 2071–2100

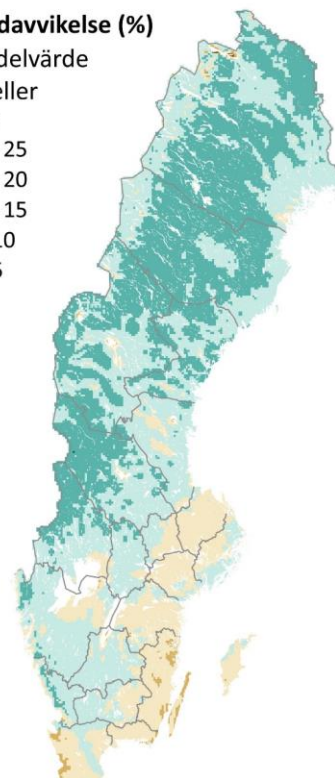
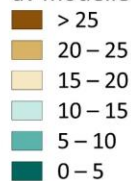
Förändring (%)

Medelvärde av modeller



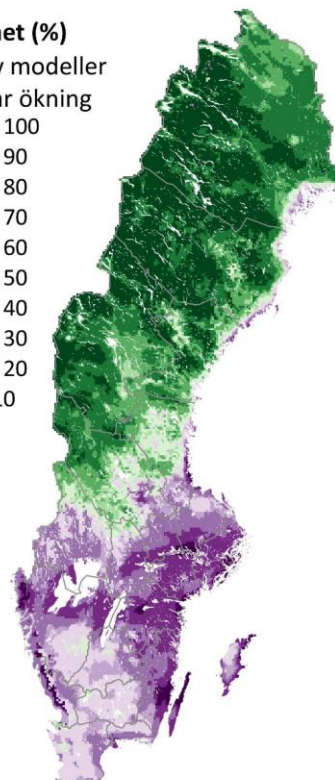
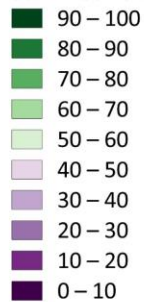
Standardavvikelse (%)

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



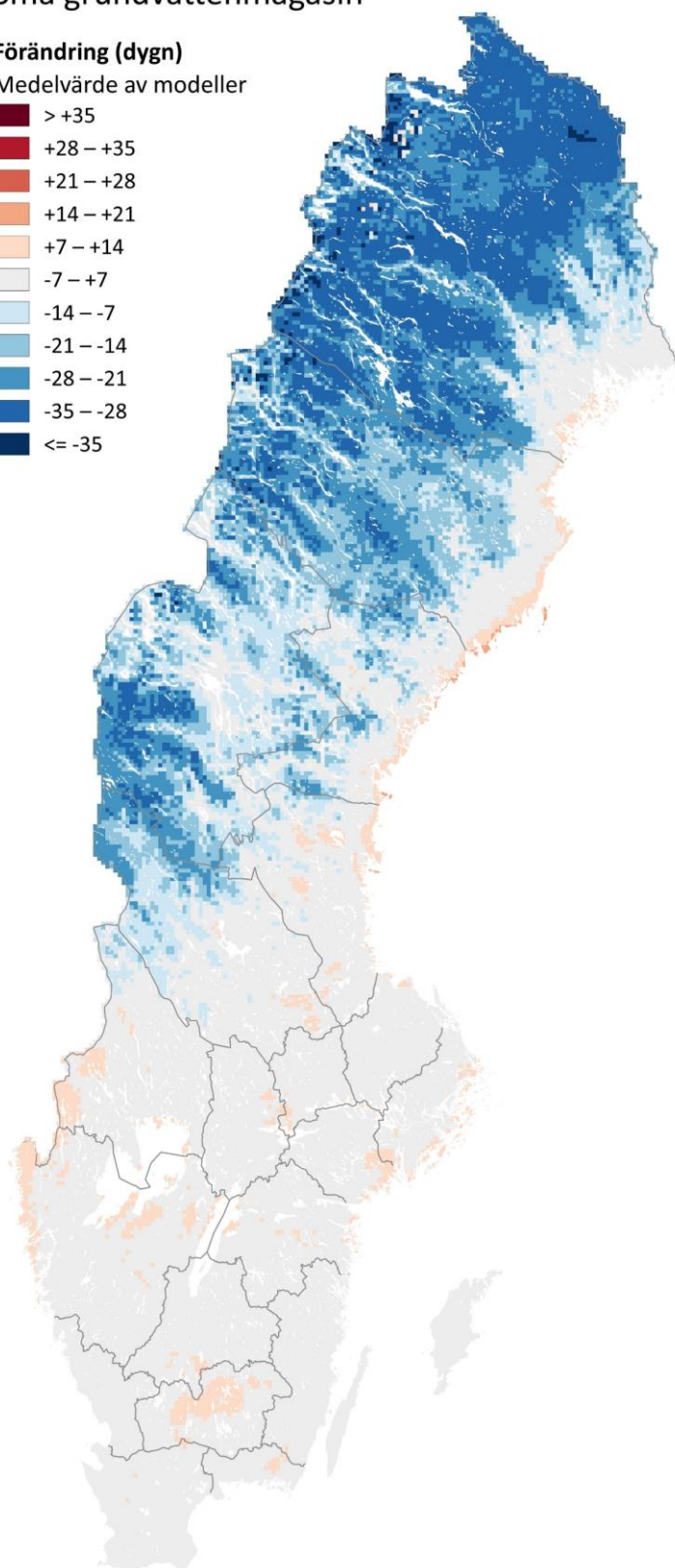
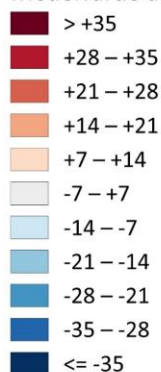
Figur B1-9. Resultat av klimatmodellering för RCP 8,5 och 2071–2100 med avseende på förändring av medelvärde för årlig potentiell grundvattenbildning i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Grundvattentorka - längsta årlig period (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 2,6
Period: 2011–2040

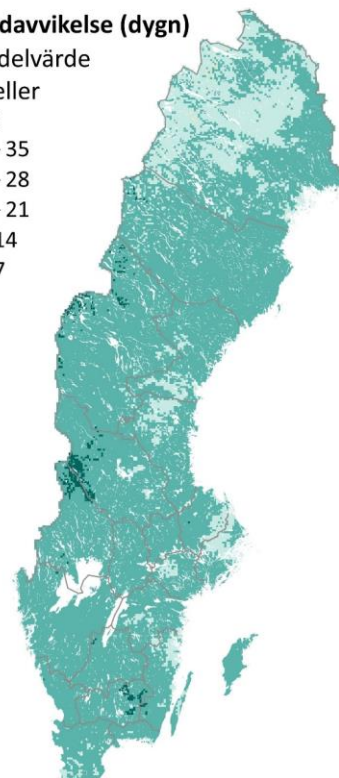
Förändring (dygn)

Medelvärde av modeller



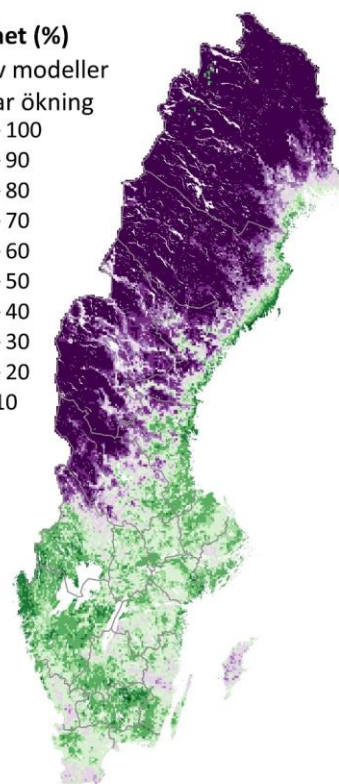
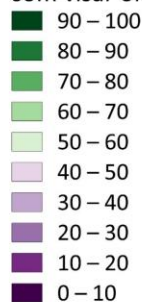
Standardavvikelse (dygn)

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



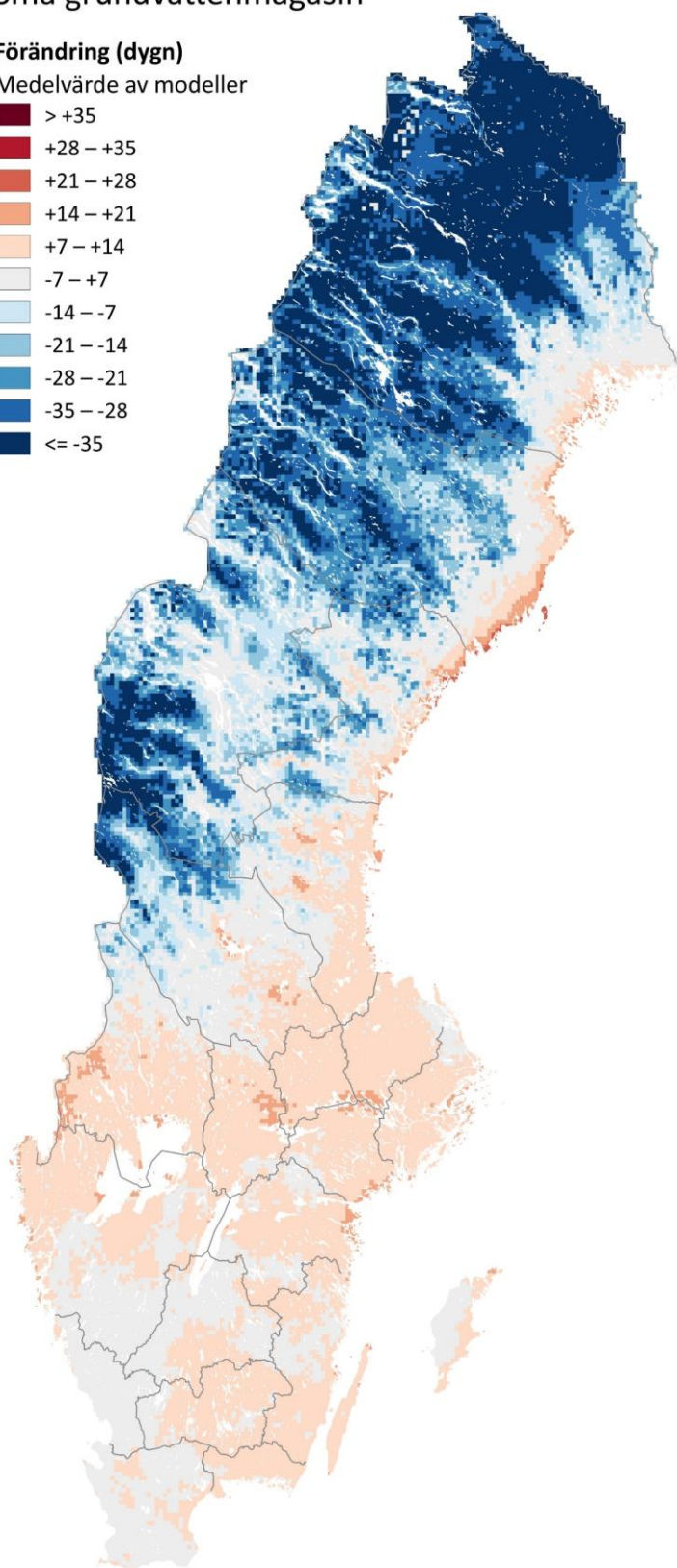
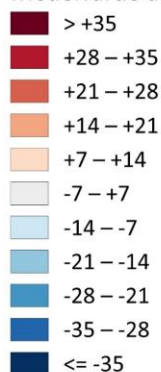
Figur B1-10. Resultat av klimatmodellering för RCP 2,6 och 2011–2040 med avseende på förändring av medelvärde för längsta årliga period av grundvattentorka i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Grundvattentorka - längsta årlig period (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 2,6
Period: 2041–2070

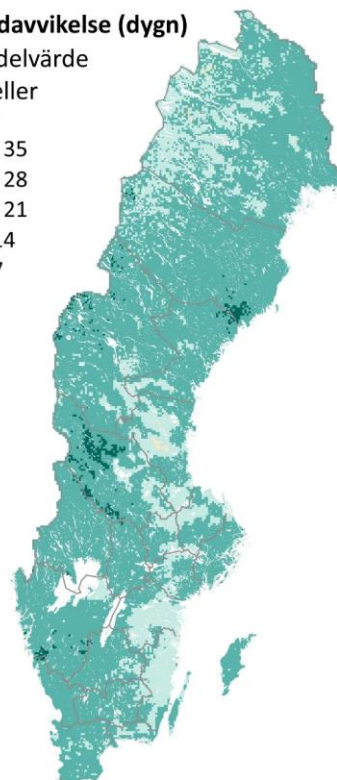
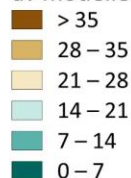
Förändring (dygn)

Medelvärde av modeller



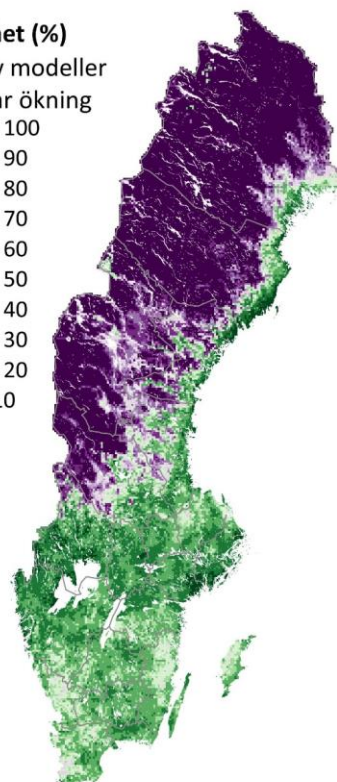
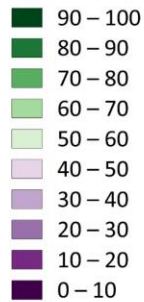
Standardavvikelse (dygn)

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



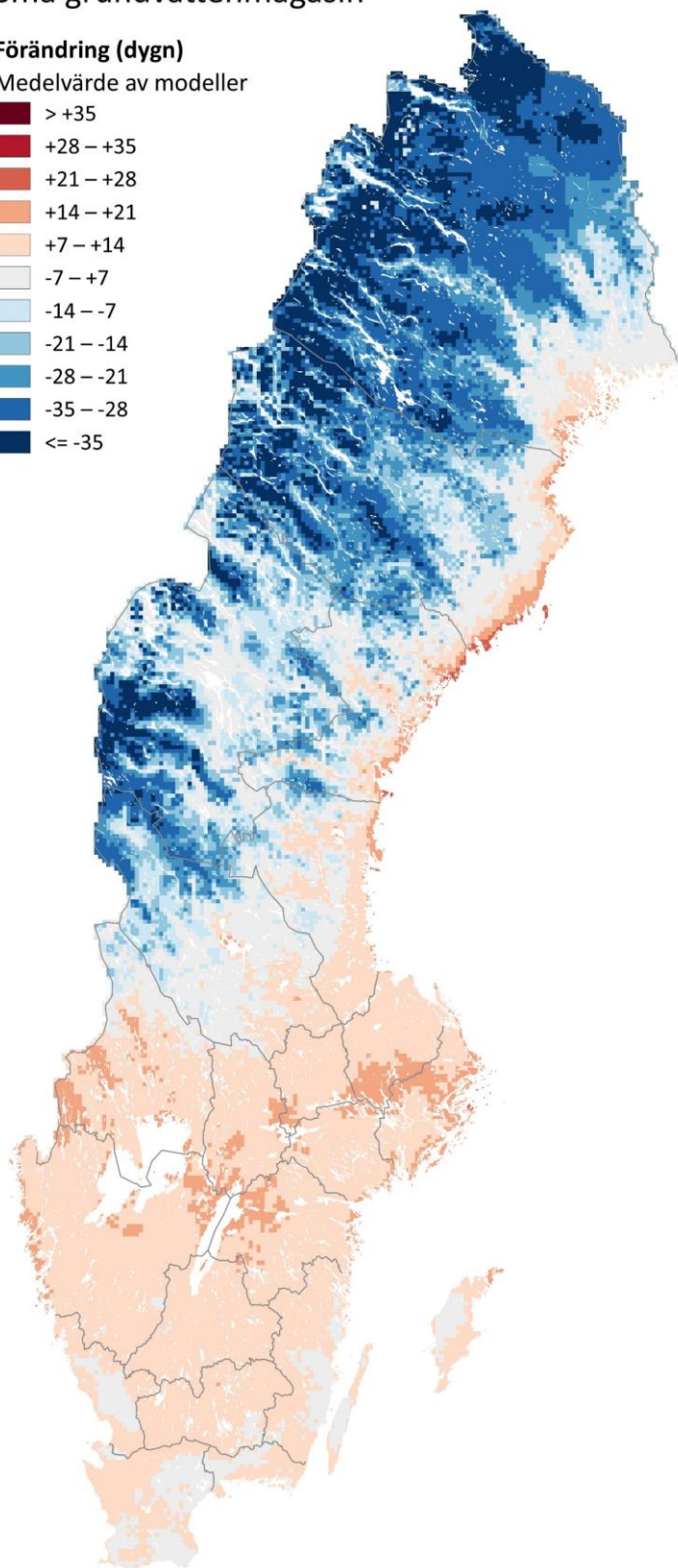
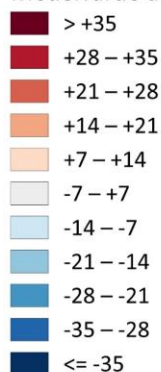
Figur B1-11. Resultat av klimatmodellering för RCP 2,6 och 2041–2070 med avseende på förändring av medelvärde för längsta årliga period av grundvattentorka i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Grundvattentorka - längsta årlig period (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 2,6
Period: 2071–2100

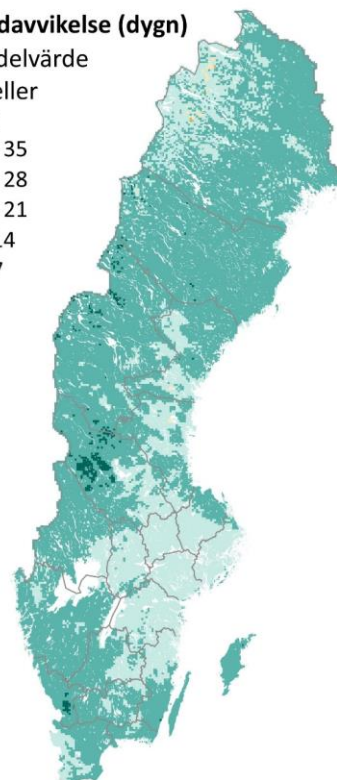
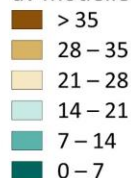
Förändring (dygn)

Medelvärde av modeller



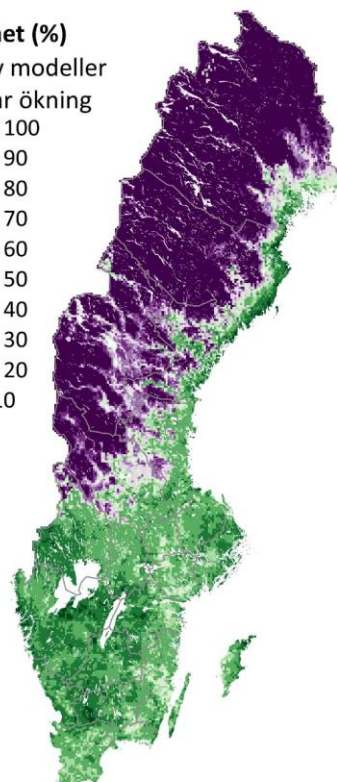
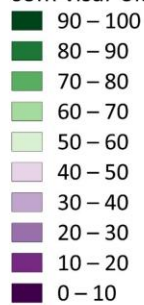
Standardavvikelse (dygn)

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



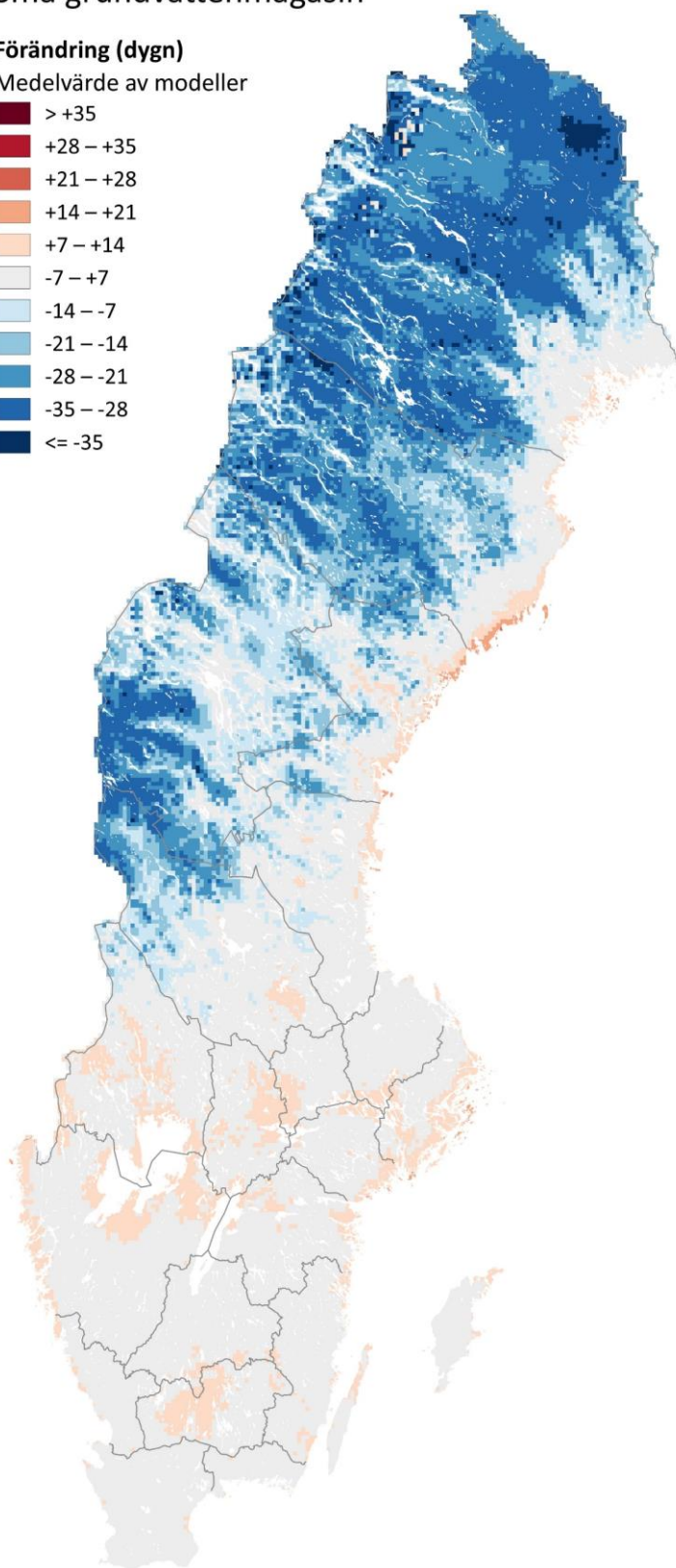
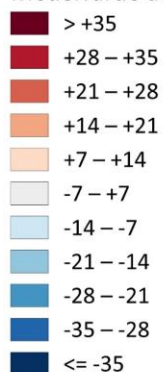
Figur B1-12. Resultat av klimatmodellering för RCP 2,6 och 2071–2100 med avseende på förändring av medelvärde för längsta årliga period av grundvattentorka i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Grundvattentorka - längsta årlig period (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 4,5
Period: 2011–2040

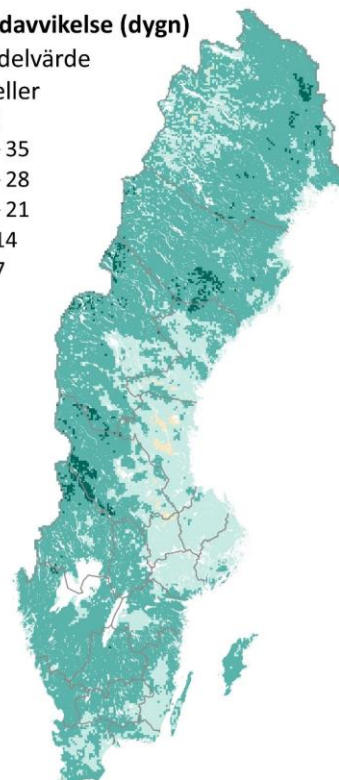
Förändring (dygn)

Medelvärde av modeller



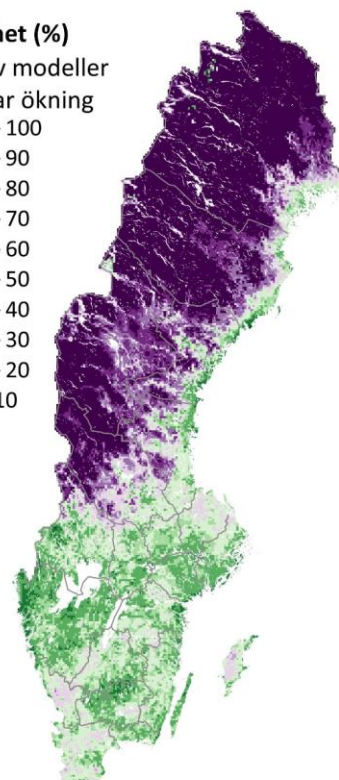
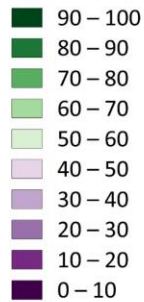
Standardavvikelse (dygn)

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



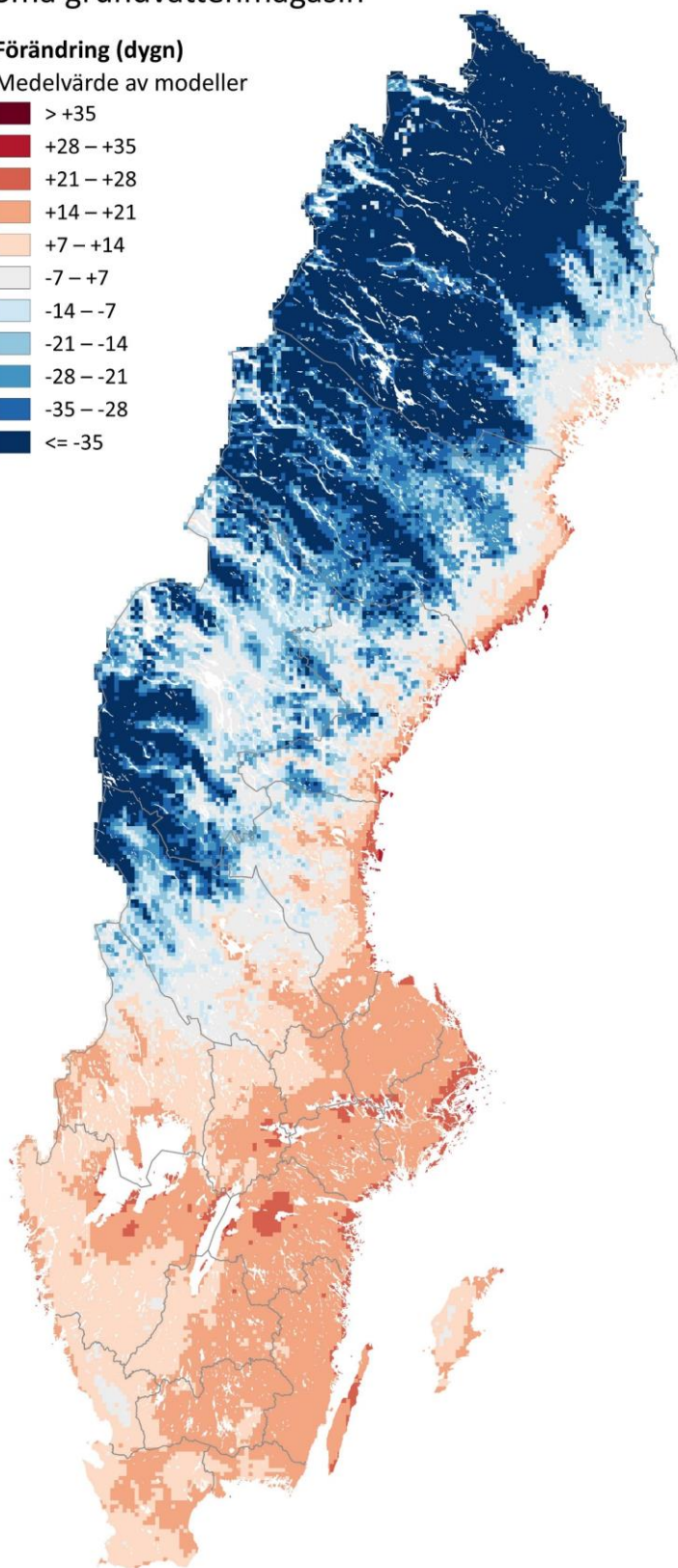
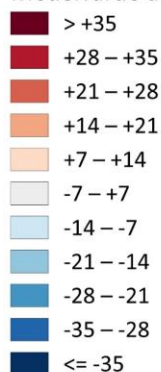
Figur B1-13. Resultat av klimatmodellering för RCP 4,5 och 2011–2040 med avseende på förändring av medelvärde för längsta årliga period av grundvattentorka i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Grundvattentorka - längsta årlig period (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 4,5
Period: 2041–2070

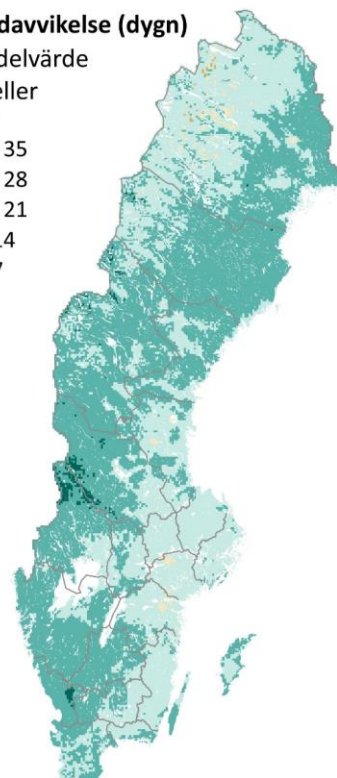
Förändring (dygn)

Medelvärde av modeller



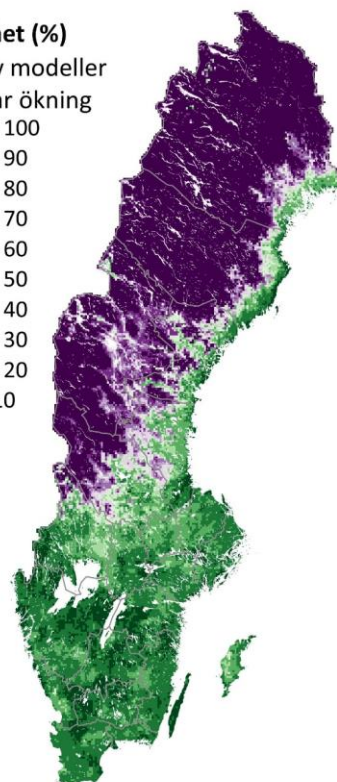
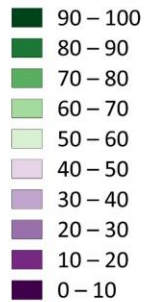
Standardavvikelse (dygn)

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



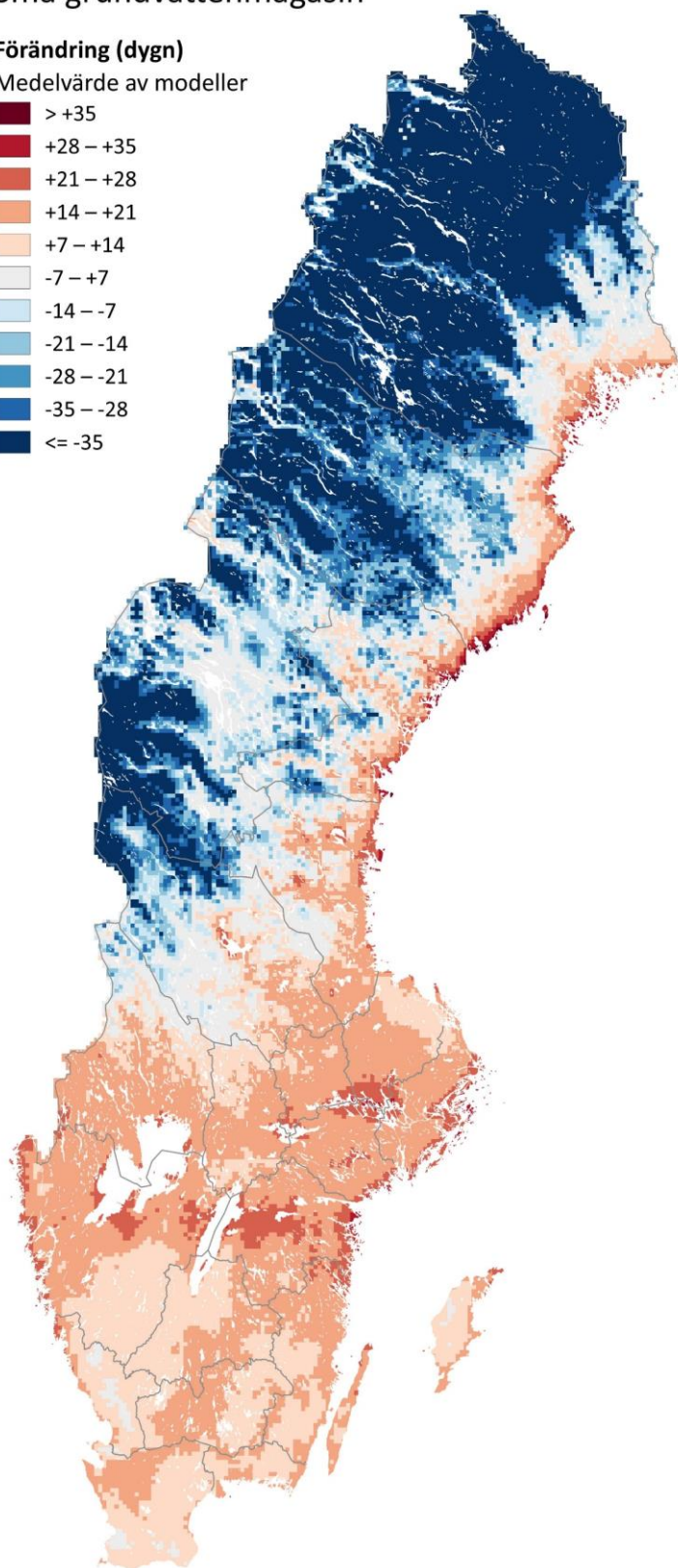
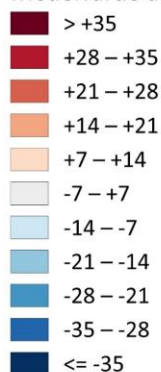
Figur B1-14. Resultat av klimatmodellering för RCP 4,5 och 2041–2070 med avseende på förändring av medelvärde för längsta årliga period av grundvattentorka i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Grundvattentorka - längsta årlig period (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 4,5
Period: 2071–2100

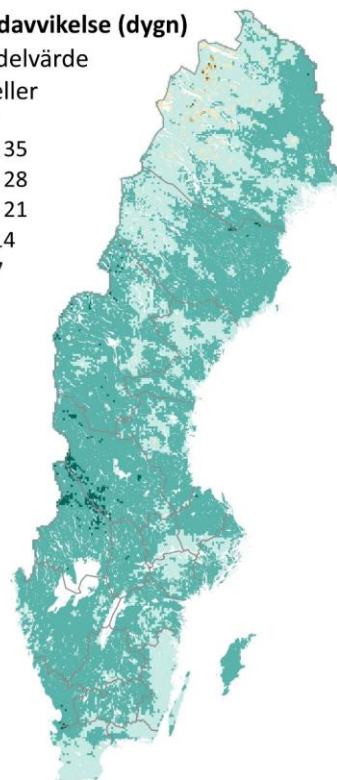
Förändring (dygn)

Medelvärde av modeller



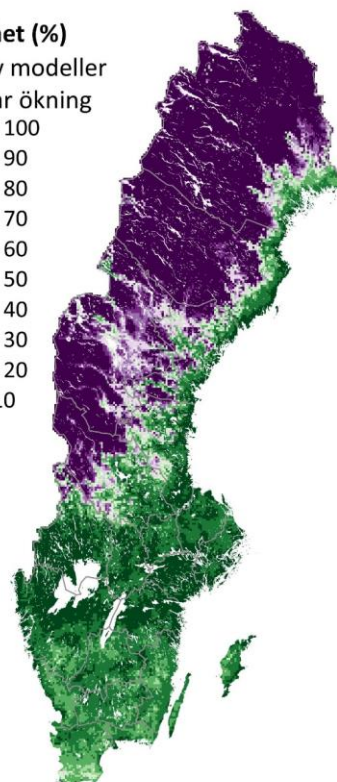
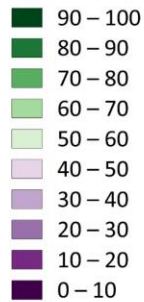
Standardavvikelse (dygn)

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



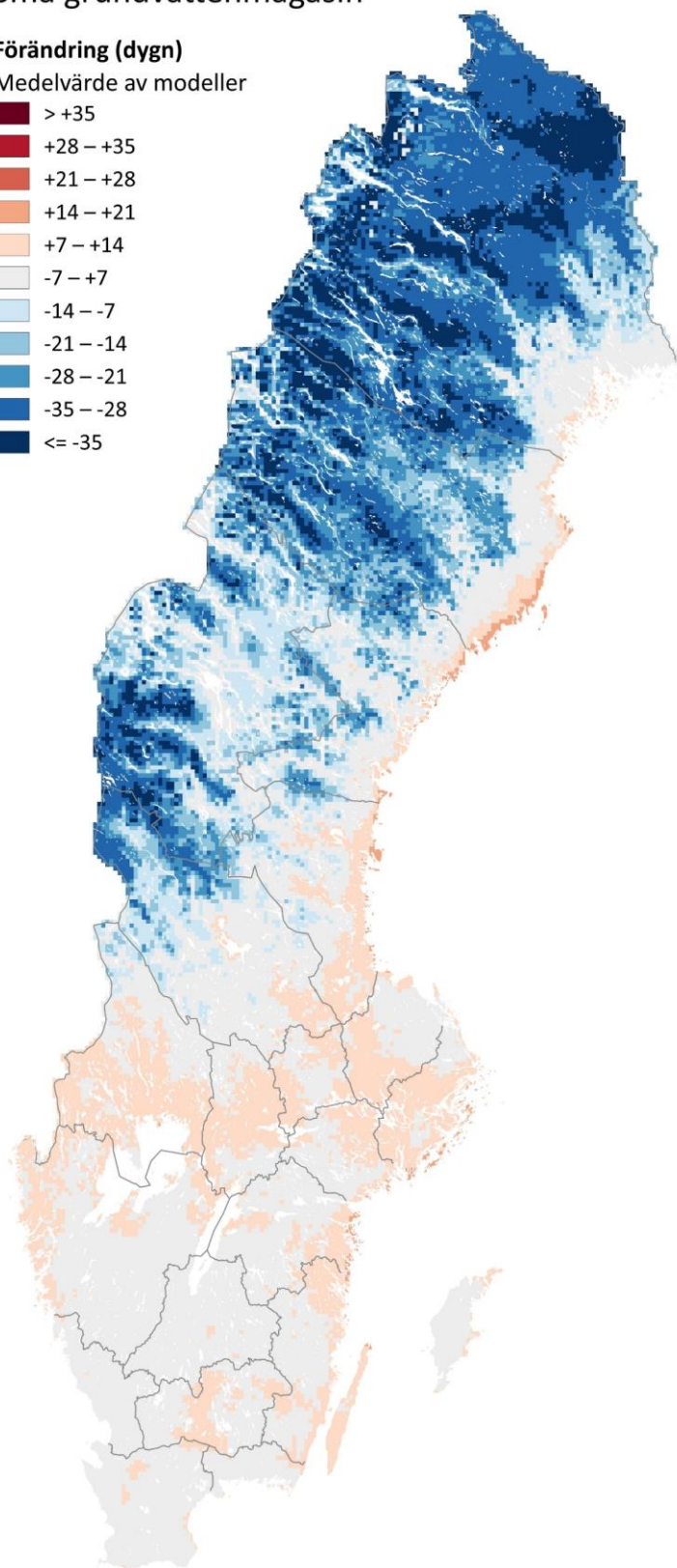
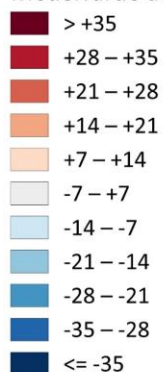
Figur B1-15. Resultat av klimatmodellering för RCP 4,5 och 2071–2100 med avseende på förändring av medelvärde för längsta årliga period av grundvattentorka i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Grundvattentorka - längsta årlig period (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 8,5
Period: 2011–2040

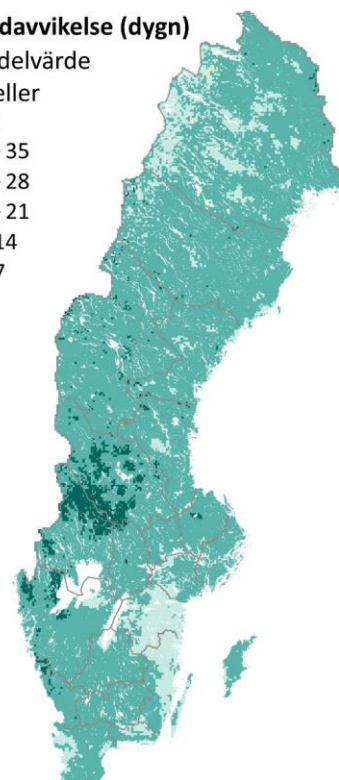
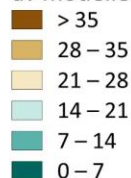
Förändring (dygn)

Medelvärde av modeller



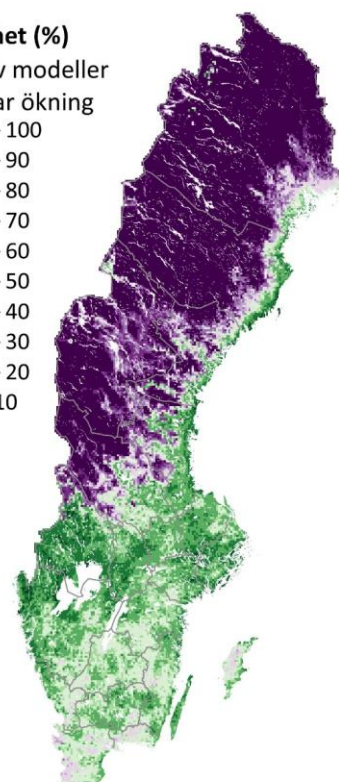
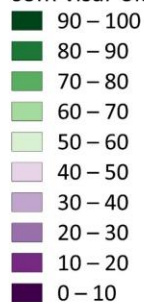
Standardavvikelse (dygn)

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



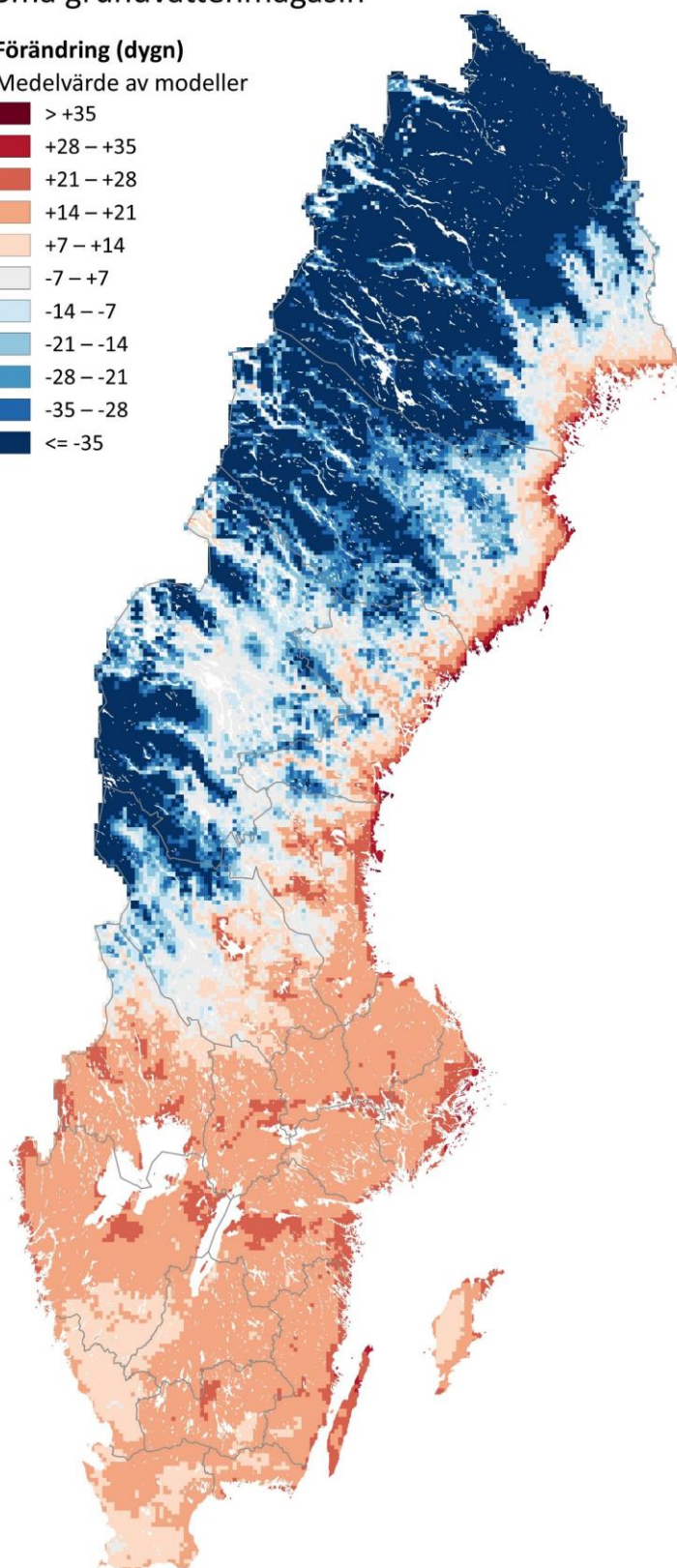
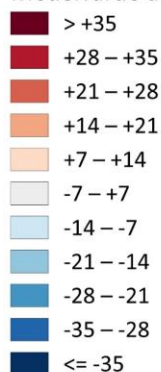
Figur B1-16. Resultat av klimatmodellering för RCP 8,5 och 2011–2040 med avseende på förändring av medelvärde för längsta årliga period av grundvattentorka i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Grundvattentorka - längsta årlig period (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 8,5
Period: 2041–2070

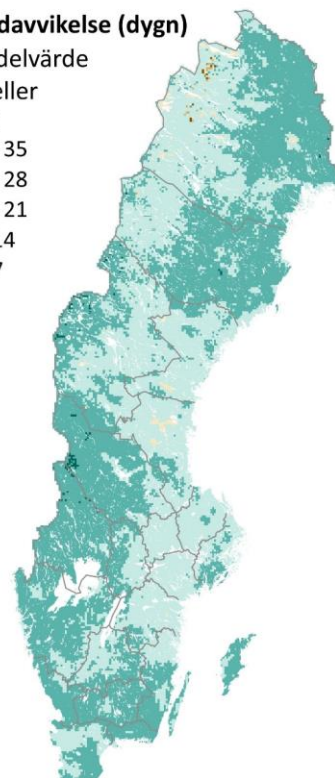
Förändring (dygn)

Medelvärde av modeller



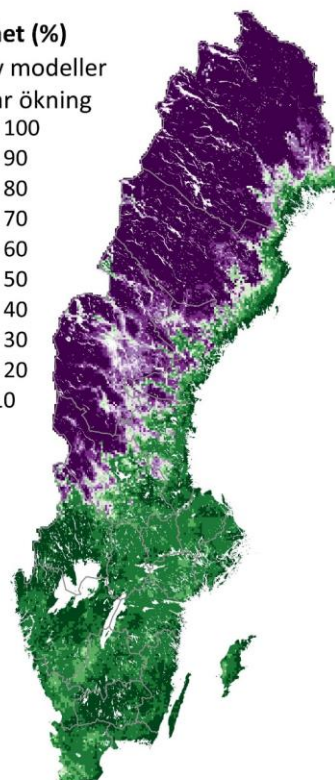
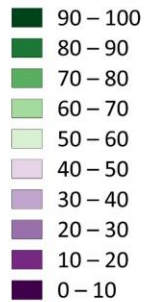
Standardavvikelse (dygn)

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



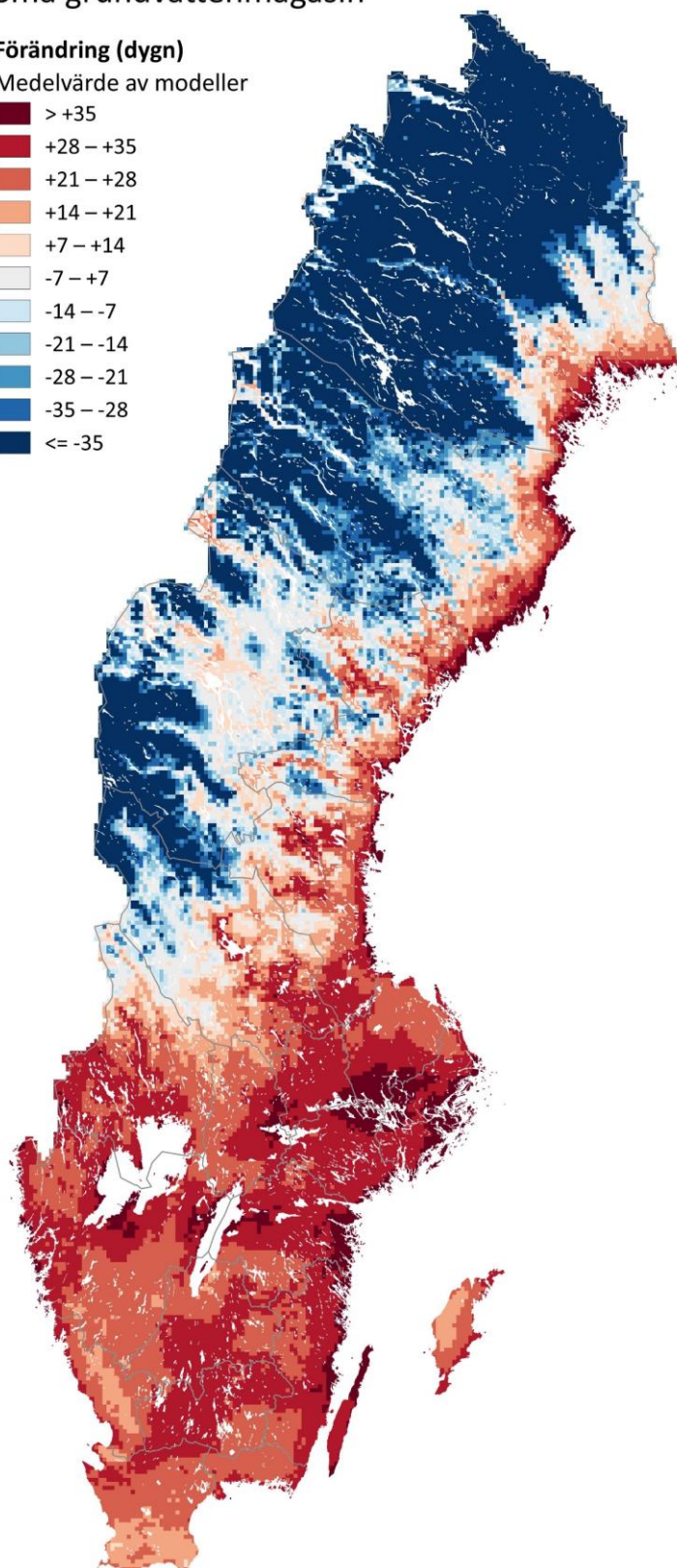
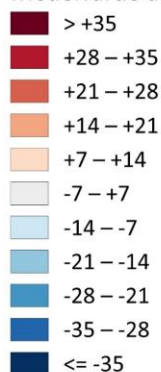
Figur B1-17. Resultat av klimatmodellering för RCP 8,5 och 2041–2070 med avseende på förändring av medelvärde för längsta årliga period av grundvattentorka i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Grundvattentorka - längsta årlig period (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 8,5
Period: 2071–2100

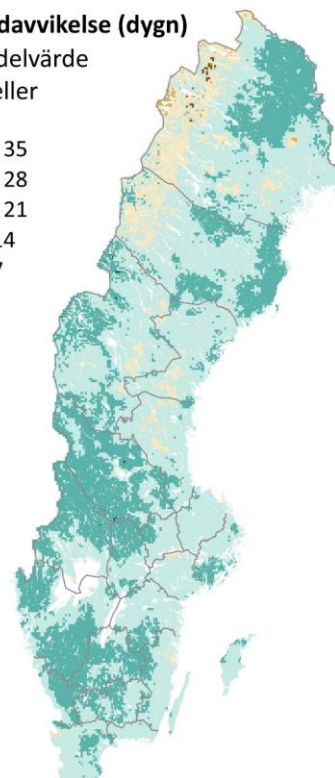
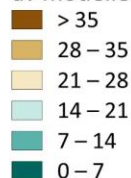
Förändring (dygn)

Medelvärde av modeller



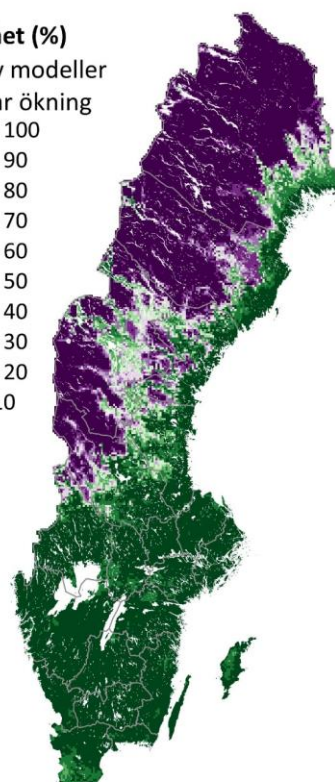
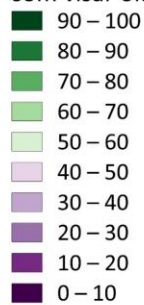
Standardavvikelse (dygn)

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



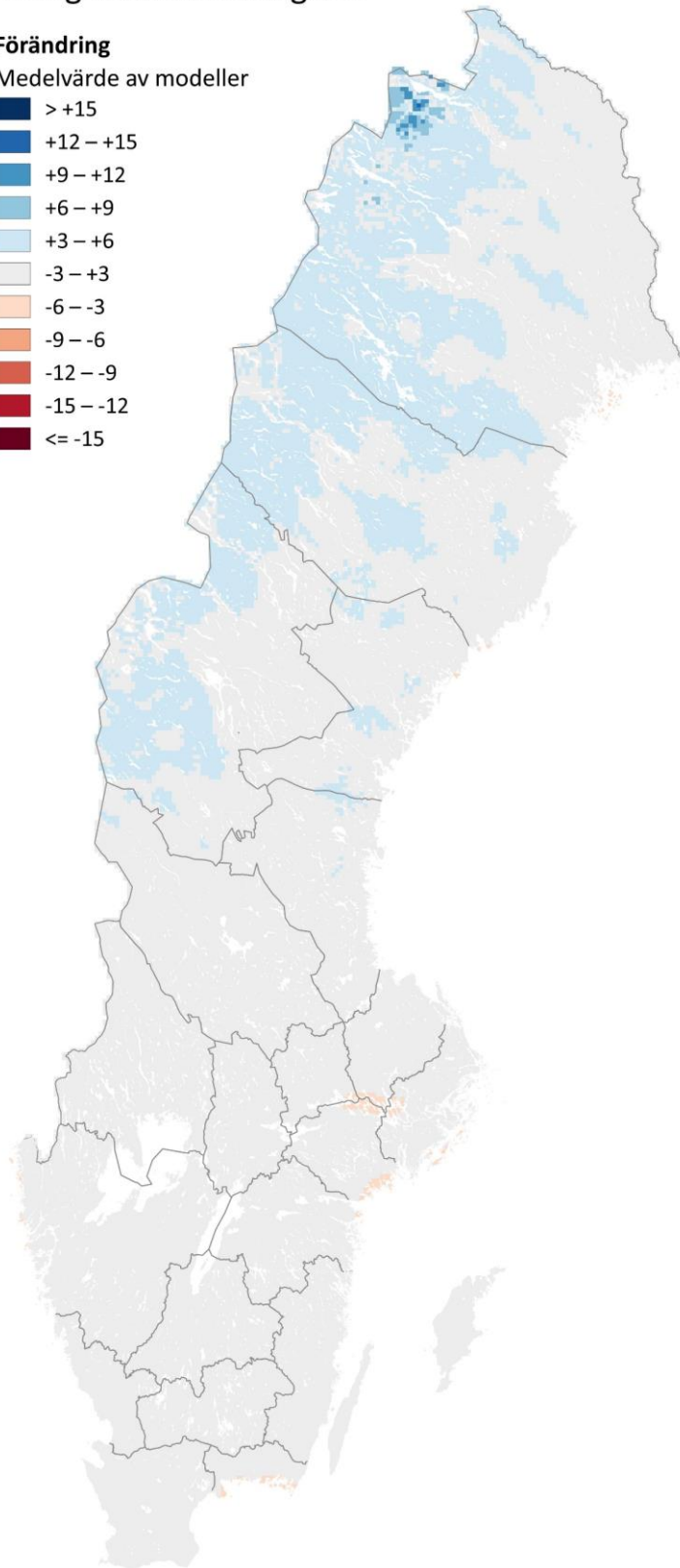
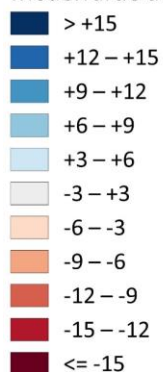
Figur B1-18. Resultat av klimatmodellering för RCP 8,5 och 2071–2100 med avseende på förändring av medelvärde för längsta årliga period av grundvattentorka i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Fyllnadsgrad - årsmedel (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 2,6
Period: 2011–2040

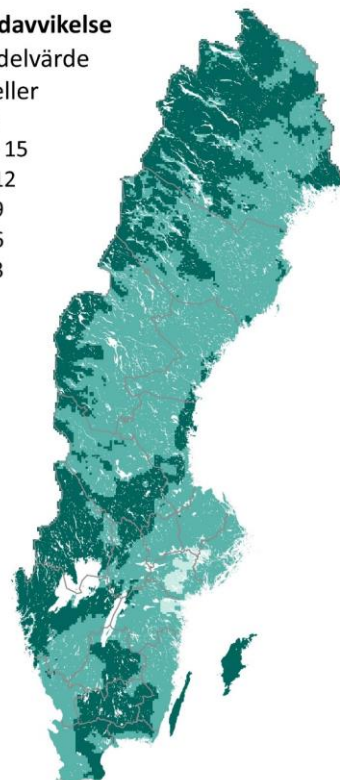
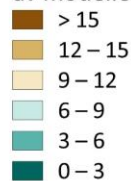
Förändring

Medelvärde av modeller



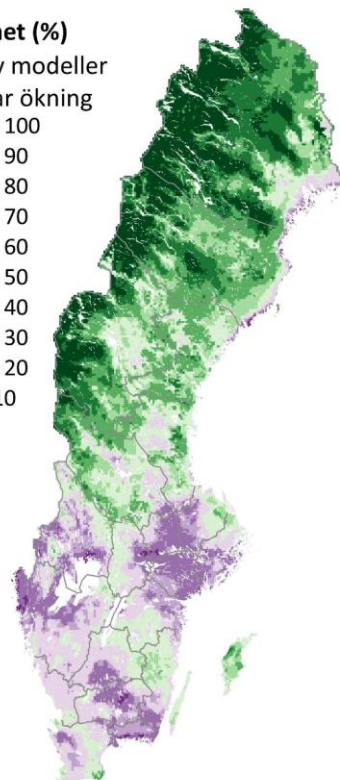
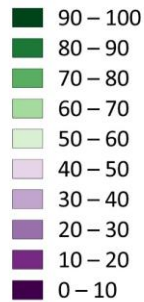
Standardavvikelse

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



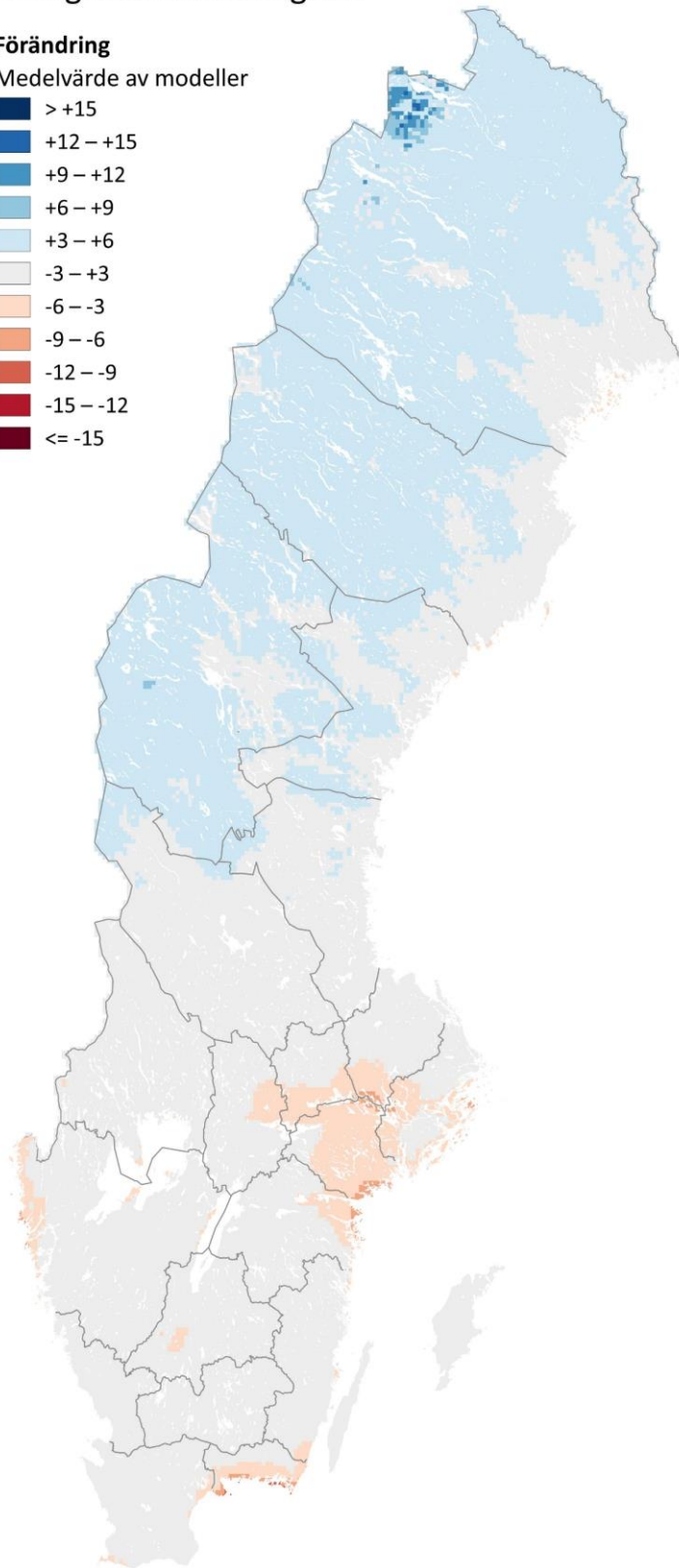
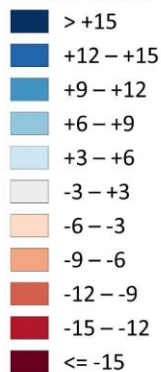
Figur B1-19. Resultat av klimatmodellering för RCP 2,6 och 2011–2040 med avseende på förändring av medelfyllnadsgrad i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Fyllnadsgrad - årsmedel (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 2,6
Period: 2041–2070

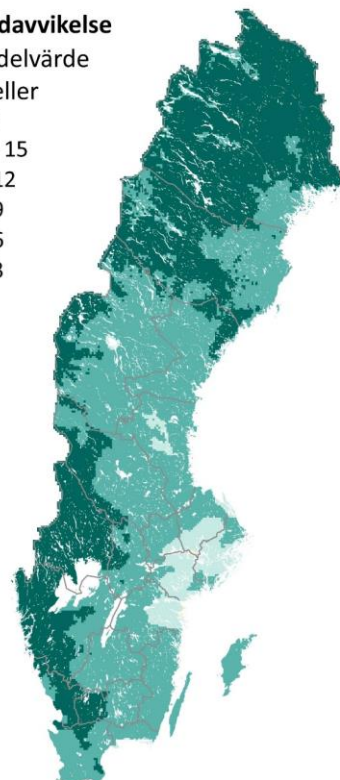
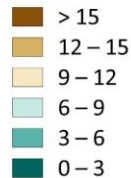
Förändring

Medelvärde av modeller



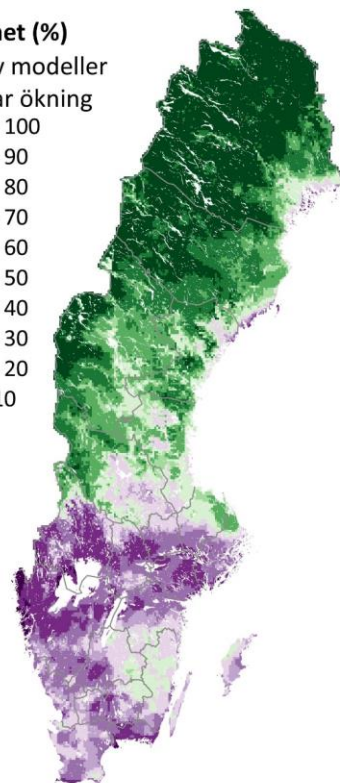
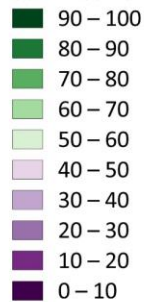
Standardavvikelse

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



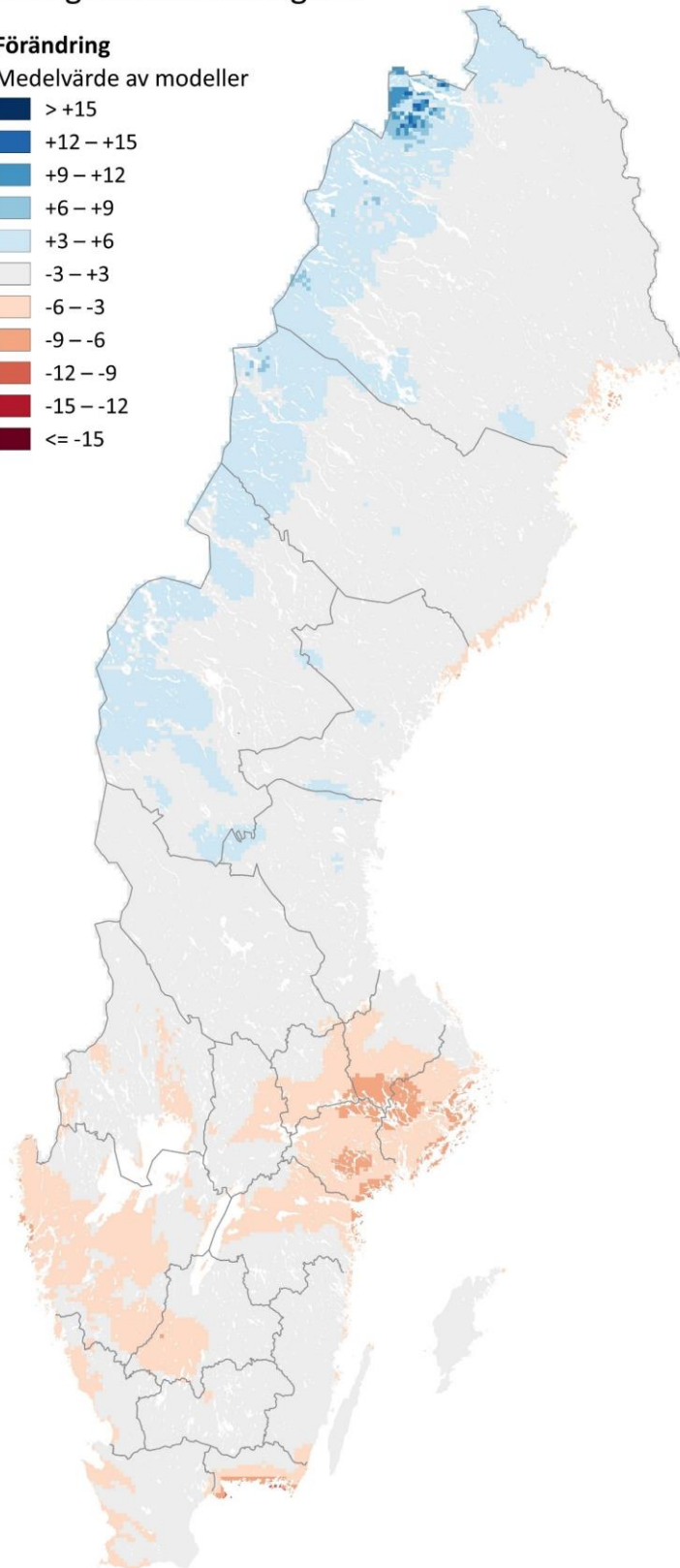
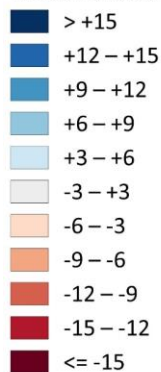
Figur B1-20. Resultat av klimatmodellering för RCP 2,6 och 2041–2070 med avseende på förändring av medelfyllnadsgrad i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Fyllnadsgrad - årsmedel (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 2,6
Period: 2071–2100

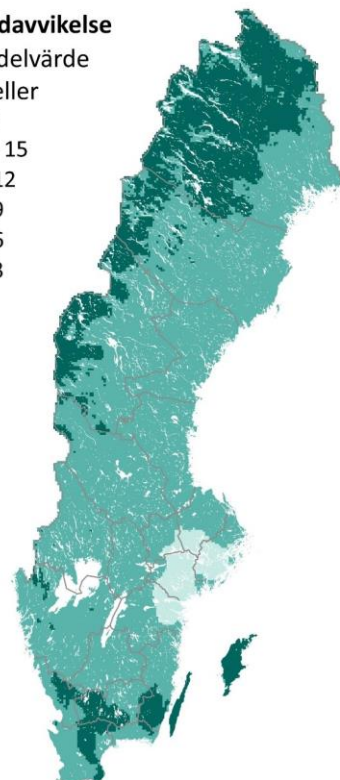
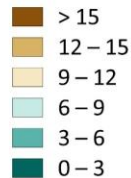
Förändring

Medelvärde av modeller



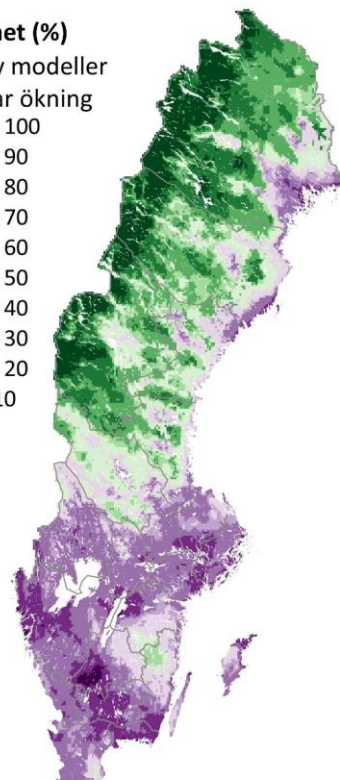
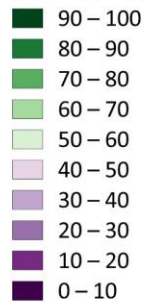
Standardavvikelse

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



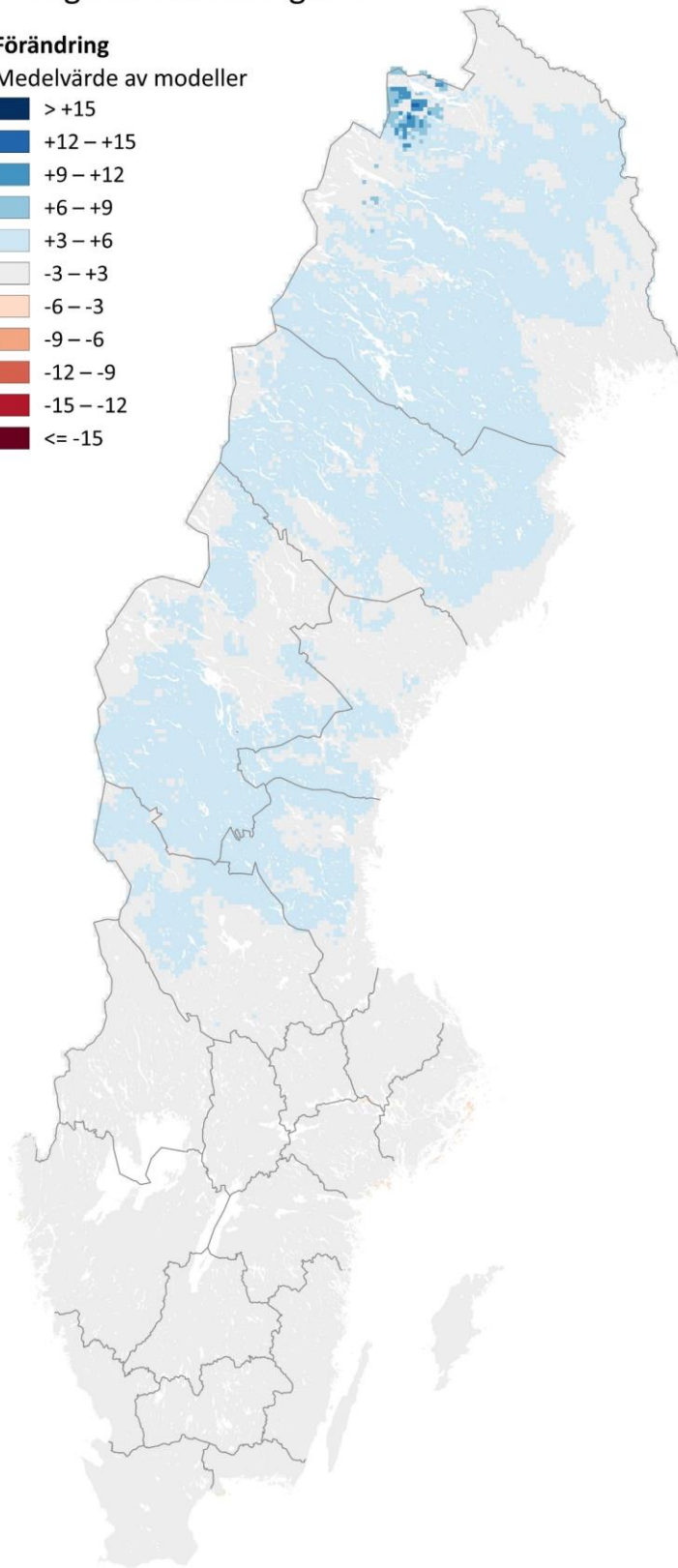
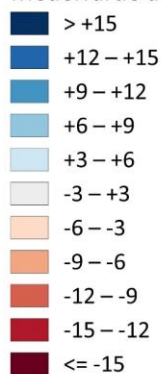
Figur B1-21. Resultat av klimatmodellering för RCP 2,6 och 2071–2100 med avseende på förändring av medelfyllnadsgrad i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Fyllnadsgrad - årsmedel (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 4,5
Period: 2011–2040

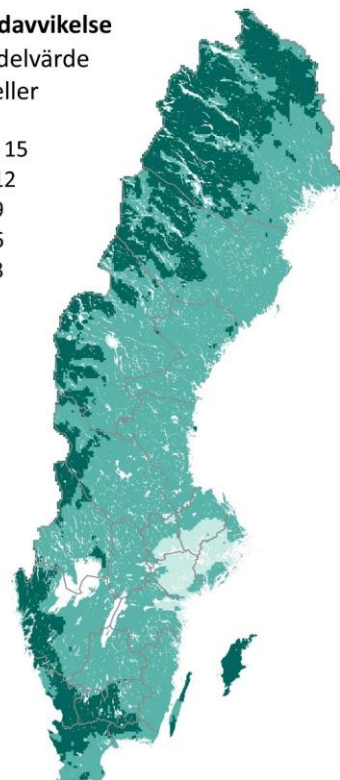
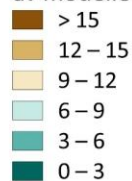
Förändring

Medelvärde av modeller



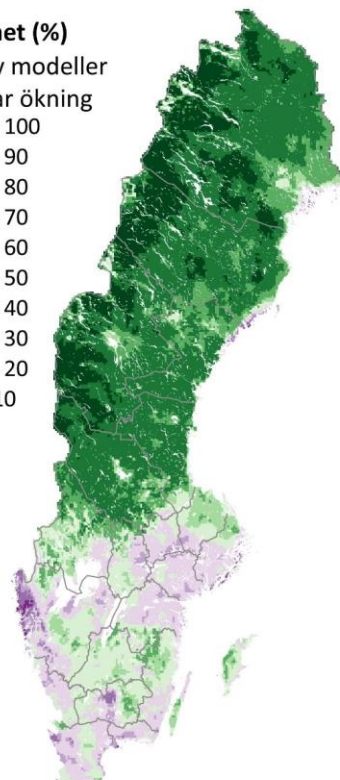
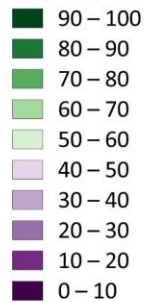
Standardavvikelse

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



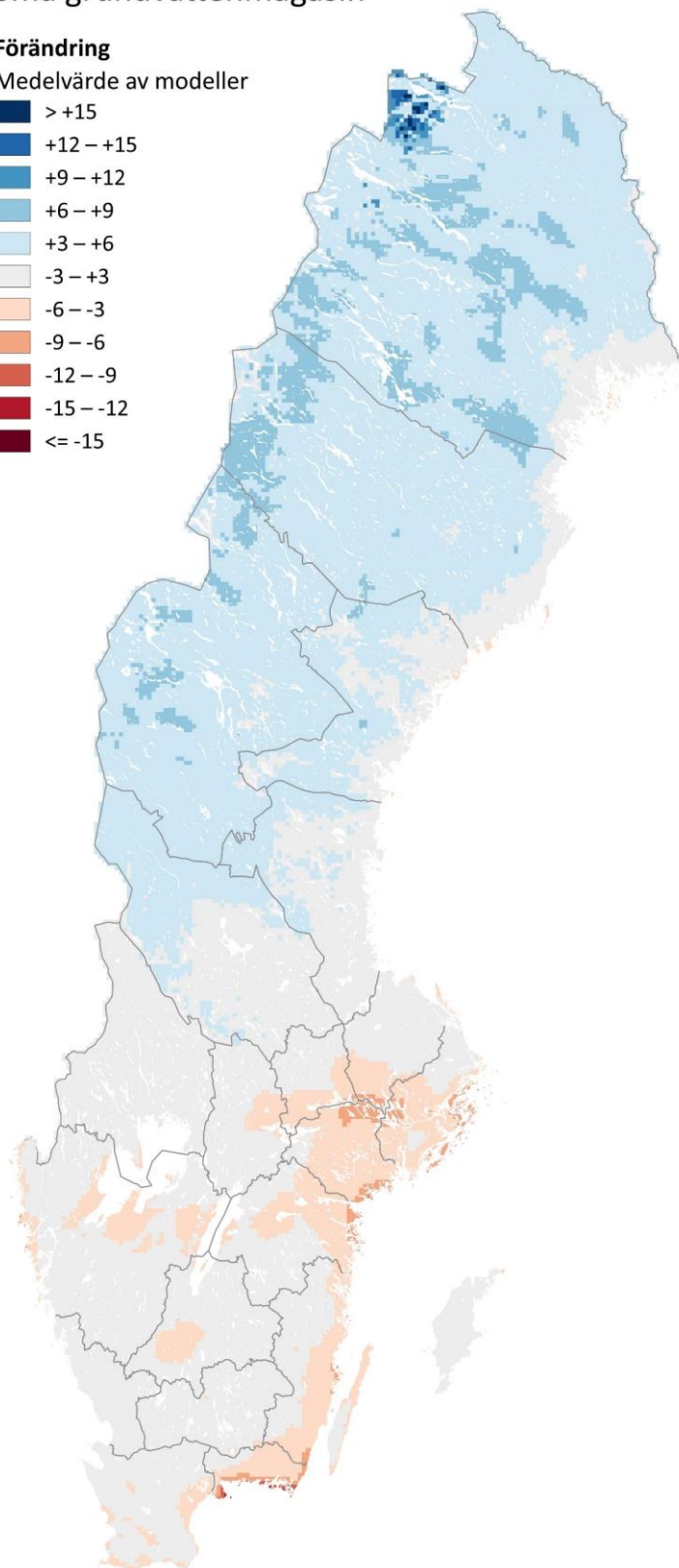
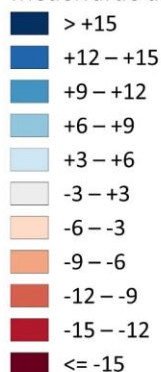
Figur B1-22. Resultat av klimatmodellering för RCP 4,5 och 2011–2040 med avseende på förändring av medelfyllnadsgrad i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Fyllnadsgrad - årsmedel (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 4,5
Period: 2041–2070

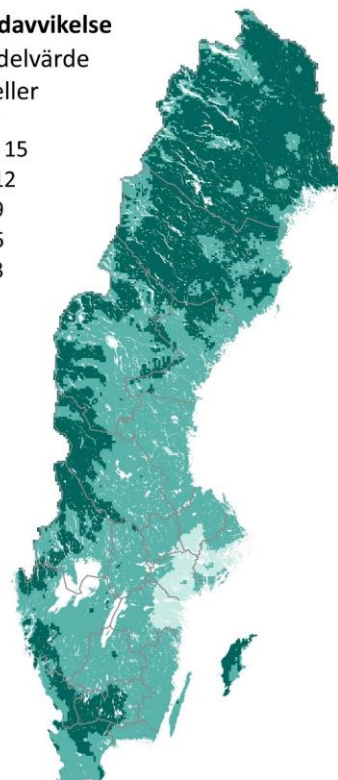
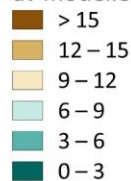
Förändring

Medelvärde av modeller



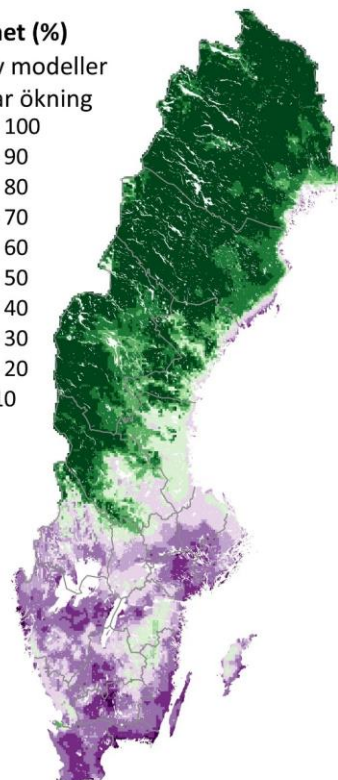
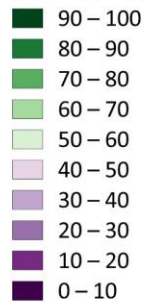
Standardavvikelse

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



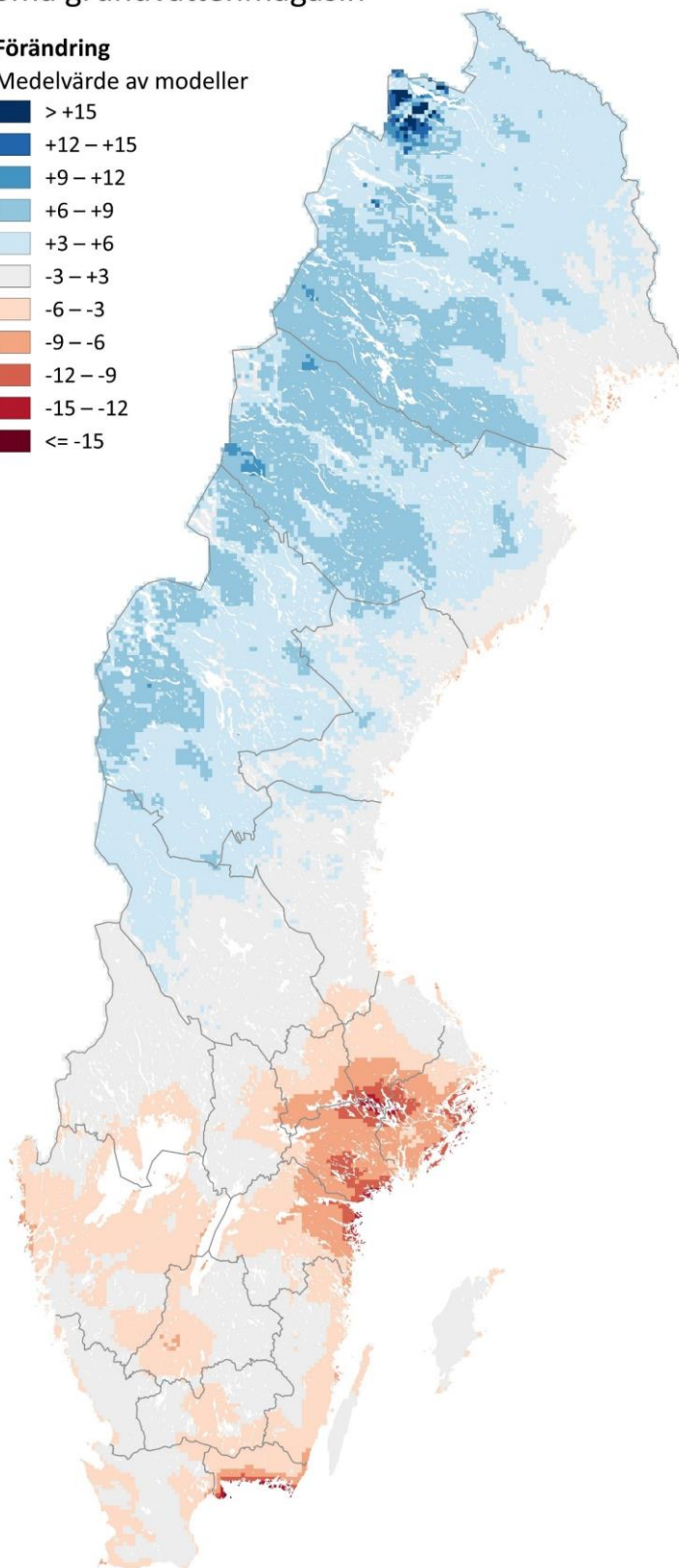
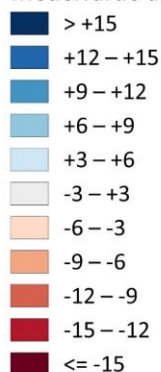
Figur B1-23. Resultat av klimatmodellering för RCP 4,5 och 2041–2070 med avseende på förändring av medelfyllnadsgrad i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Fyllnadsgrad - årsmedel (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 4,5
Period: 2071–2100

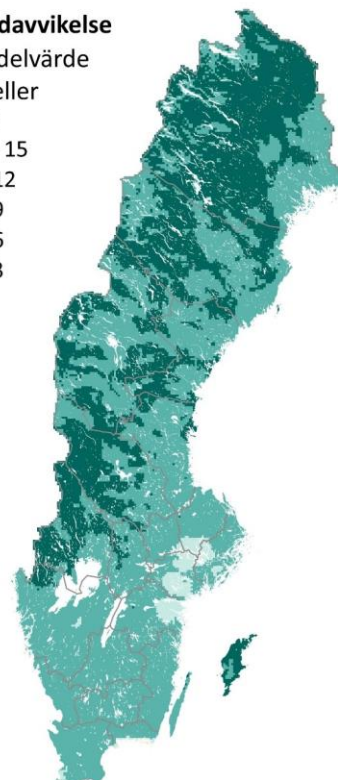
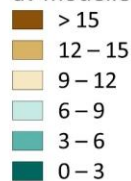
Förändring

Medelvärde av modeller



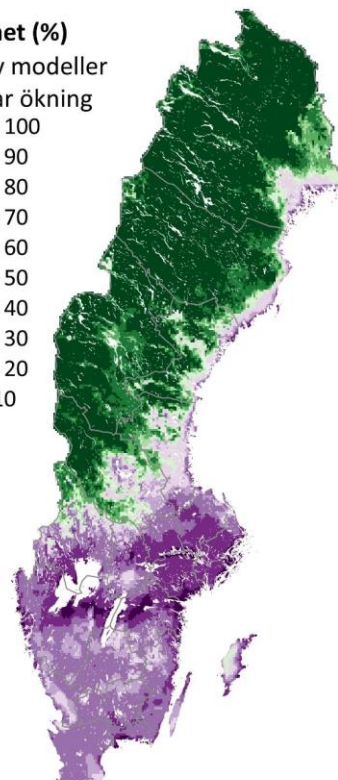
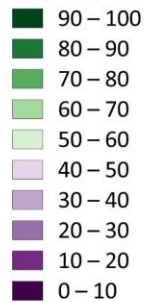
Standardavvikelse

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



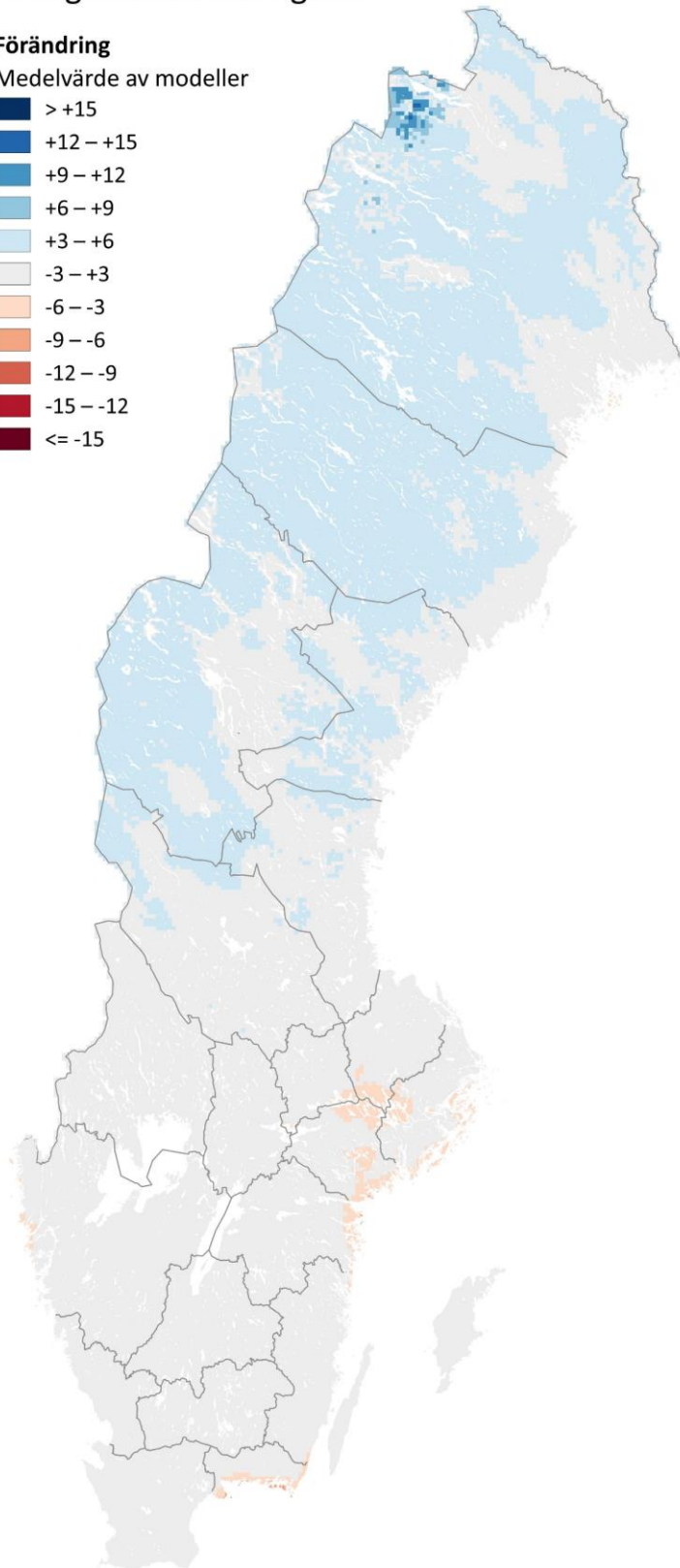
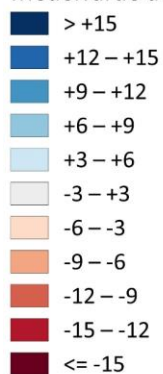
Figur B1-24. Resultat av klimatmodellering för RCP 4,5 och 2071–2100 med avseende på förändring av medelfyllnadsgrad i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Fyllnadsgrad - årsmedel (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 8,5
Period: 2011–2040

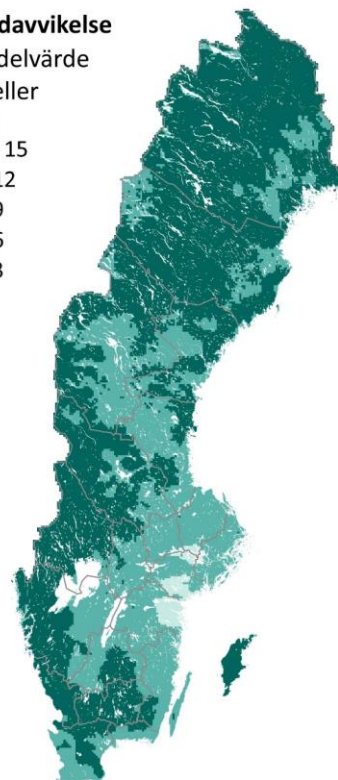
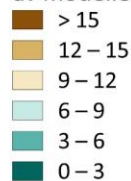
Förändring

Medelvärde av modeller



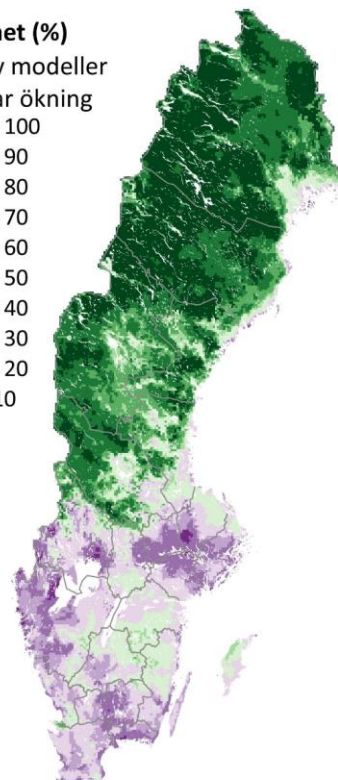
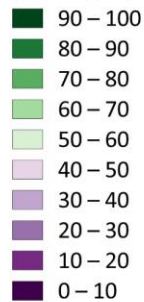
Standardavvikelse

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



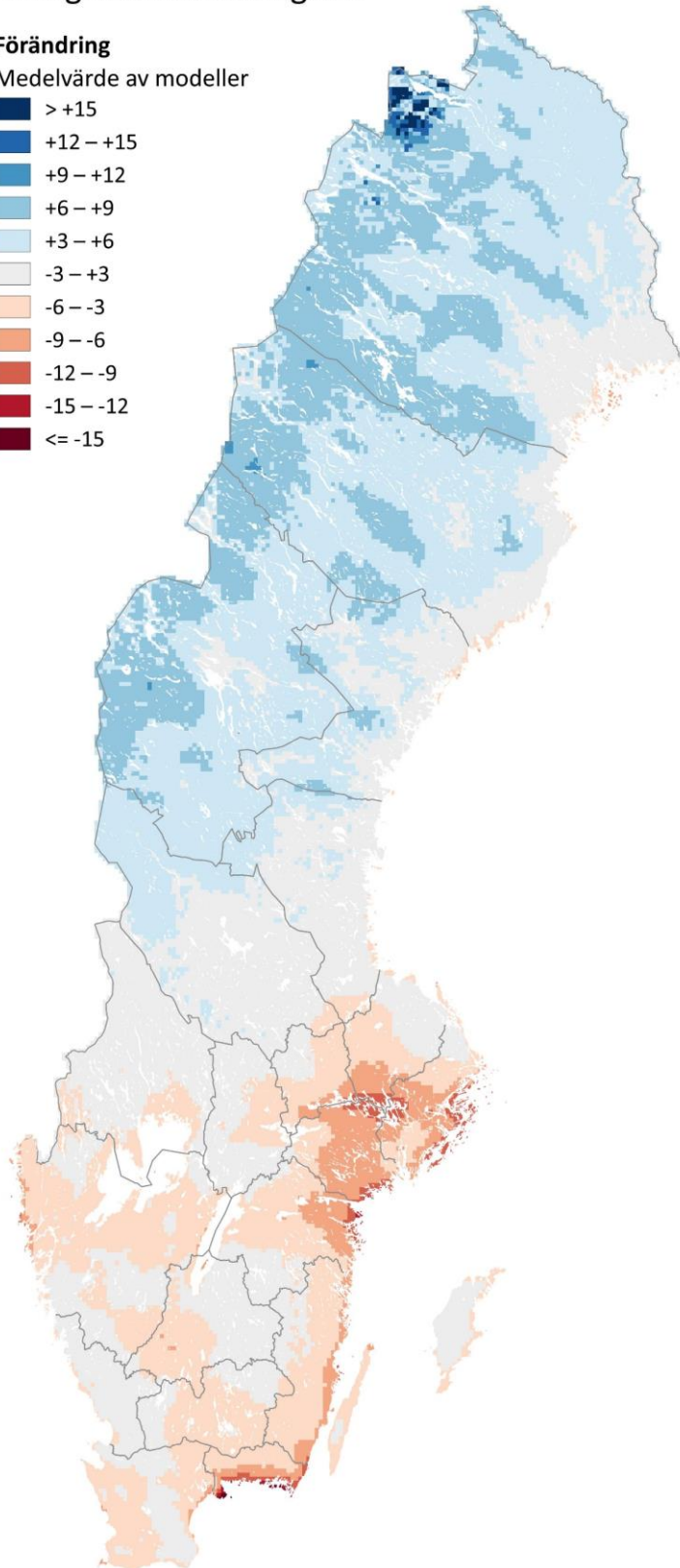
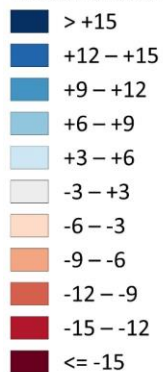
Figur B1-25. Resultat av klimatmodellering för RCP 8,5 och 2011–2040 med avseende på förändring av medelfyllnadsgrad i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Fyllnadsgrad - årsmedel (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 8,5
Period: 2041–2070

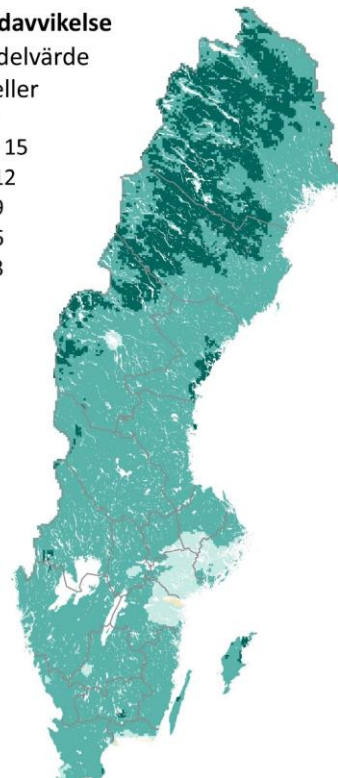
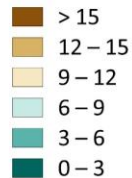
Förändring

Medelvärde av modeller



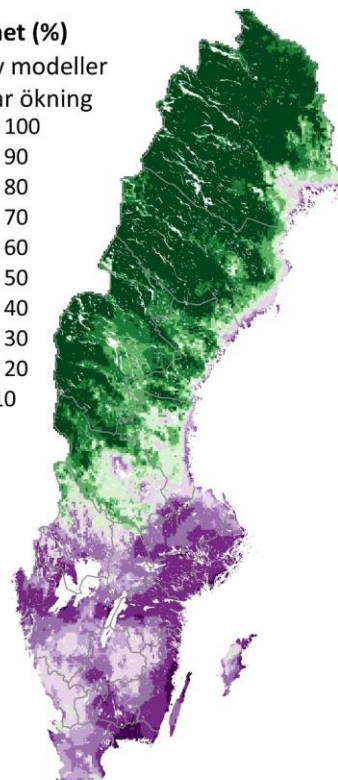
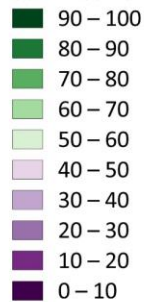
Standardavvikelse

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



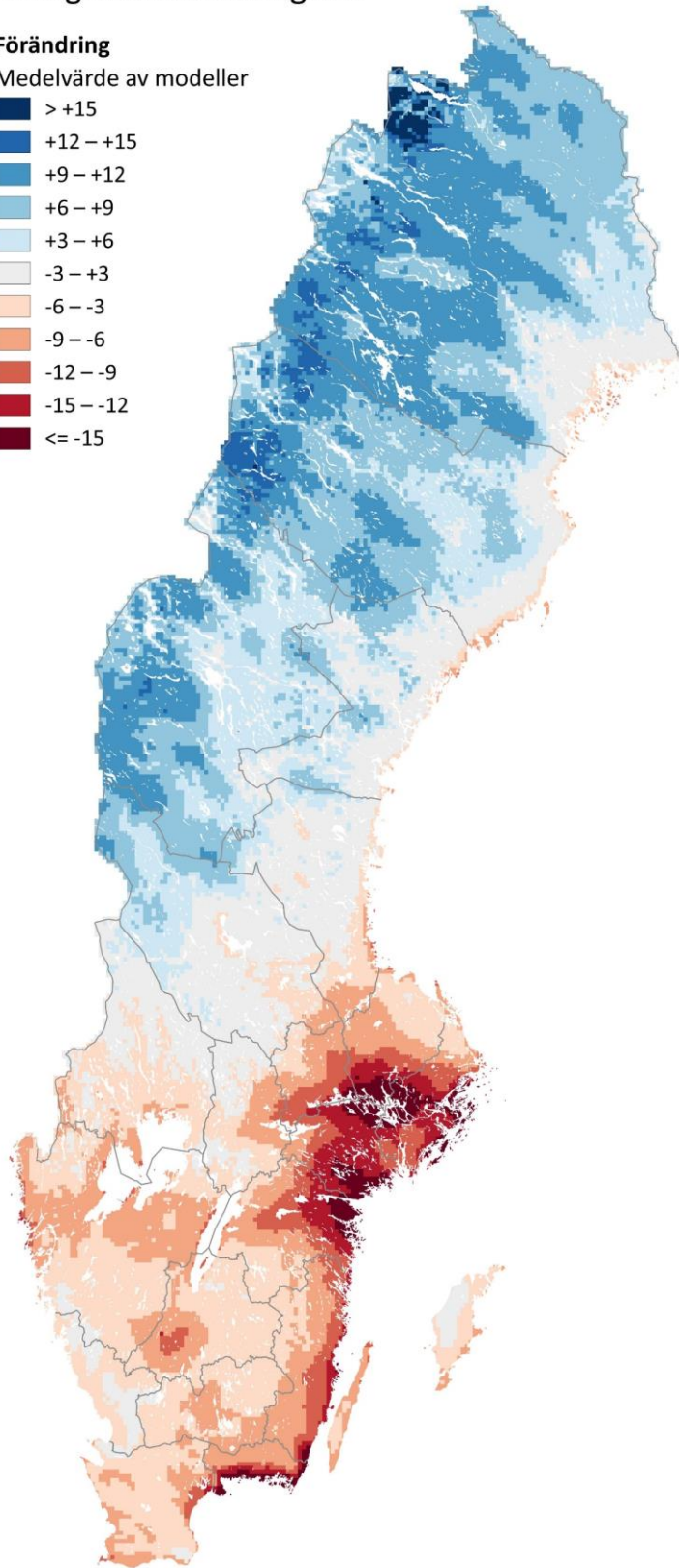
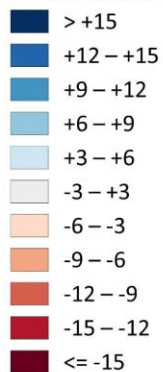
Figur B1-26. Resultat av klimatmodellering för RCP 8,5 och 2041–2070 med avseende på förändring av medelfyllnadsgrad i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.

Fyllnadsgrad - årsmedel (medel) Små grundvattenmagasin

RCP 8,5
Period: 2071–2100

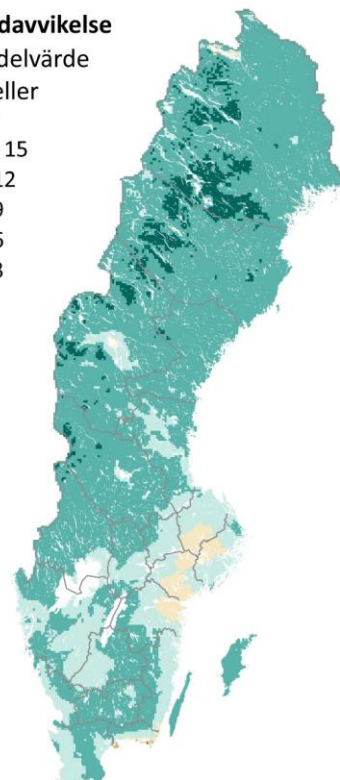
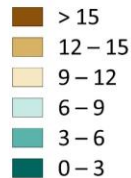
Förändring

Medelvärde av modeller



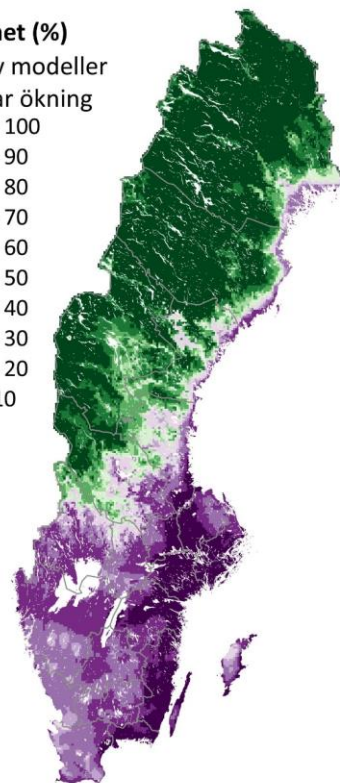
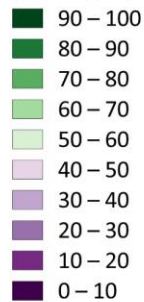
Standardavvikelse

från medelvärde
av modeller



Robusthet (%)

Andel av modeller
som visar ökning



Figur B1-27. Resultat av klimatmodellering för RCP 8,5 och 2071–2100 med avseende på förändring av medelfyllnadsgrad i små grundvattenmagasin jämfört med referensperioden 1971–2000. Den stora kartan till vänster visar medelvärdet av modellensembeln, medan de två mindre kartorna till höger visar standardavvikelsen samt robustheten för ensemblen.