

Grundvattennivåer i ett förändrat klimat – nya klimatscenarier

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

maj 2015

SGU-rapport 2015:19



SGU

Sveriges geologiska undersökning
Geological Survey of Sweden

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

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

INNEHÅLL

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

FÖRORD

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

BAKGRUND OCH SYFTE

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

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

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

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

ALLMÄNT OM GRUNDTVATTEN

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

SGUs grundvattennät

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

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

Tidsvariationer i grundvattennivåer perioden 1975–2014

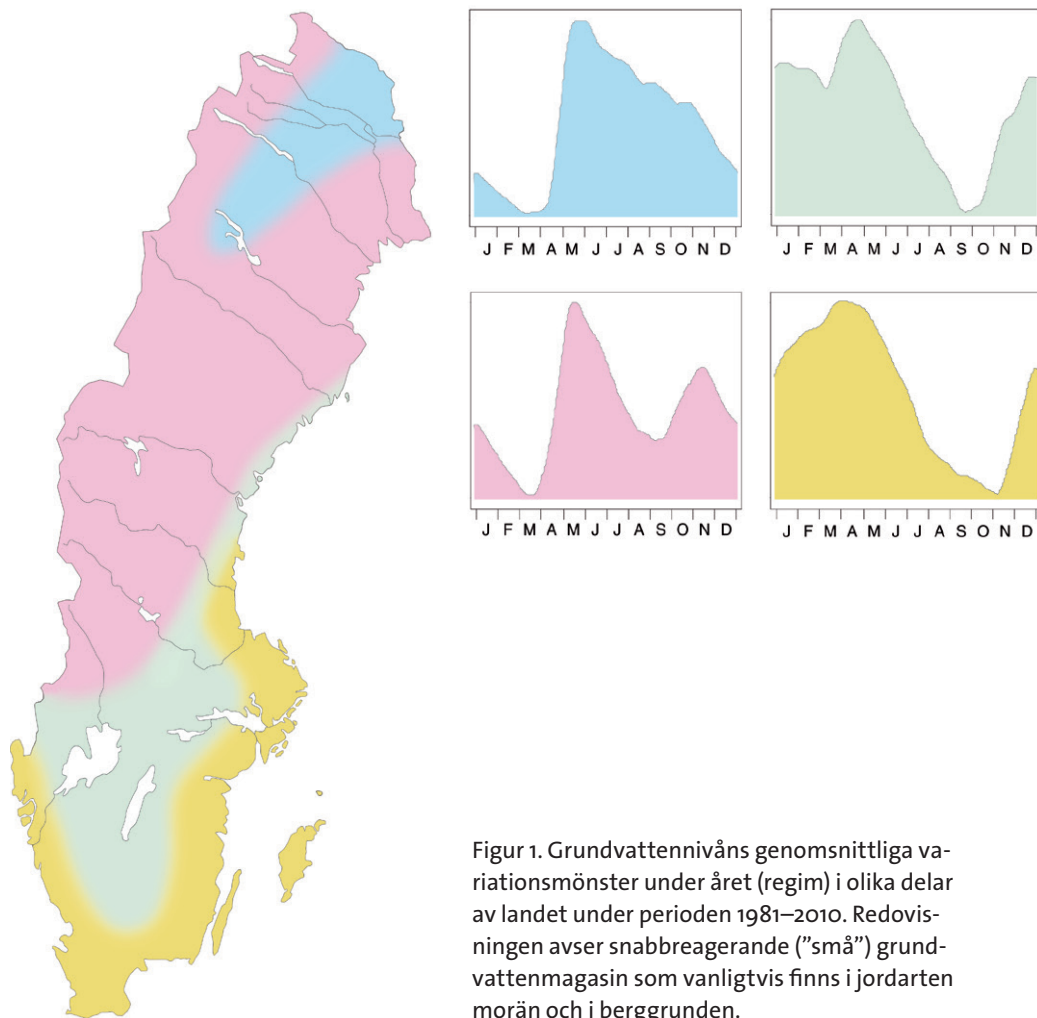
Uppgifter om grundvattennivåer i snabbreagerande, ”små” magasin från SGUs grundvattennät har sammanställts och utvärderats för perioden 1975–2014 (Lagergren 2015). Resultaten visar bl.a. på en tidigareläggning av grundvattenbildningen i samband med snösmältningen vilket har bidragit till att avsänkingsperioden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

Grundvattenmagasin

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

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

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



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

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

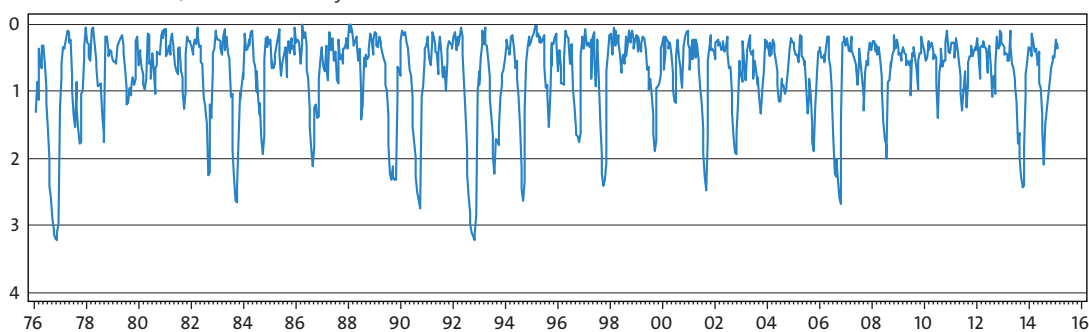
De långsamreagerande grundvattenmagasinen utgörs främst av våra isälvsavlagringar (s.k. rullstensåsar). Dessa är ofta större, sammanhängande sand- och grusavlagringar med god genomsläpplighet vilket skapar goda möjligheter för stora grundvattenuttag. Dessa möjligheter till större grundvattenuttag gör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

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

METODIK

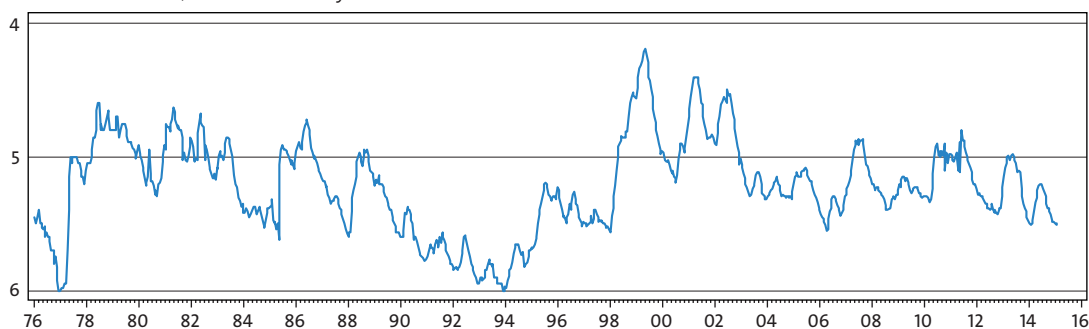
Den nu uppdaterade analysen av de beräknade framtida klimatförändringarnas effekter på grundvattennivåerna som utförts av SGU baseras på data framtagna av SMHI. I detta avsnitt

SGU, Grundvattennätet, Motala, station 60:46
Grundvattennivåer, meter under markytan



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

SGU, Grundvattennätet, Motala, station 60:32
Grundvattennivåer, meter under markytan



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

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

Klimatscenarier

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

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

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

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

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

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

Hydrologisk modell

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

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

Beräknade grundvattennivåer – data från SMHI

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

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

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

BERÄKNINGAR OCH ANALYSER VID SGU

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

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

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

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

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

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

Årsmedelvärden

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

Årstidsmedelvärden

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

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

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

Regimer

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

Grundvattnets nivåvariationer

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

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

Förväntade högsta och lägsta grundvattennivåer

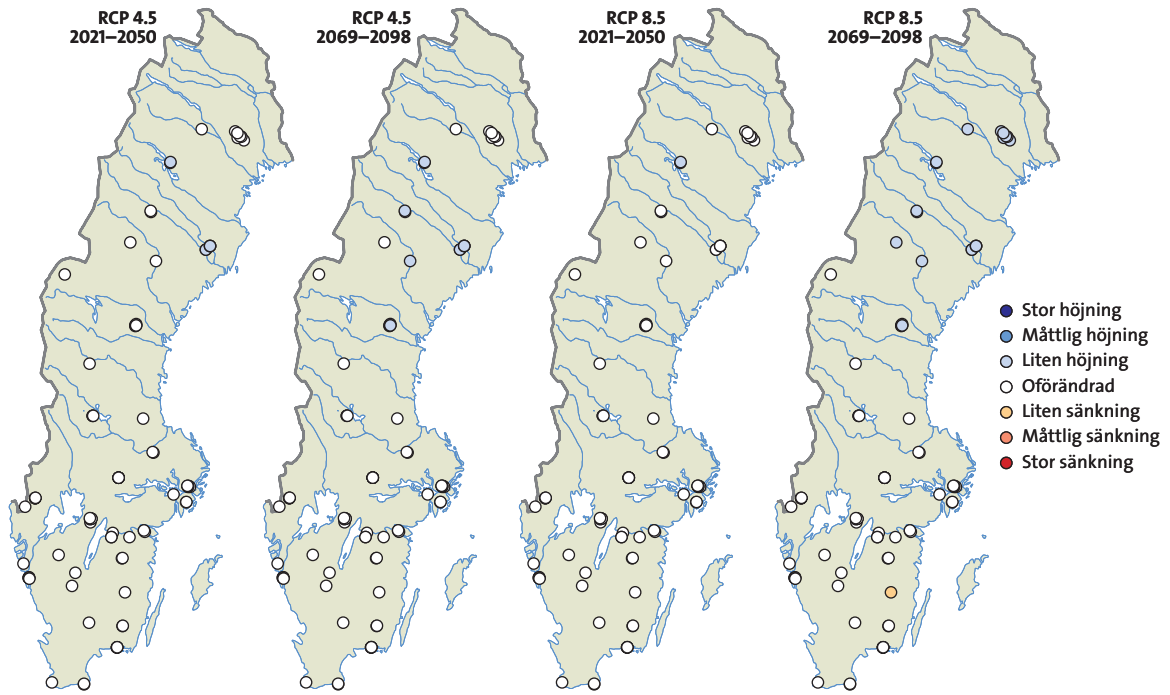
Analysen visar den förväntade förändringen av högsta och lägsta grundvattennivåer per tidsperiod, dvs. inte per enskilda år. För varje år beräknades först ett medelvärde av alla klimatmodeller där både den högsta och den lägsta grundvattennivån togs ut. För varje tidsperiod jämfördes sedan den högsta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

RESULTAT

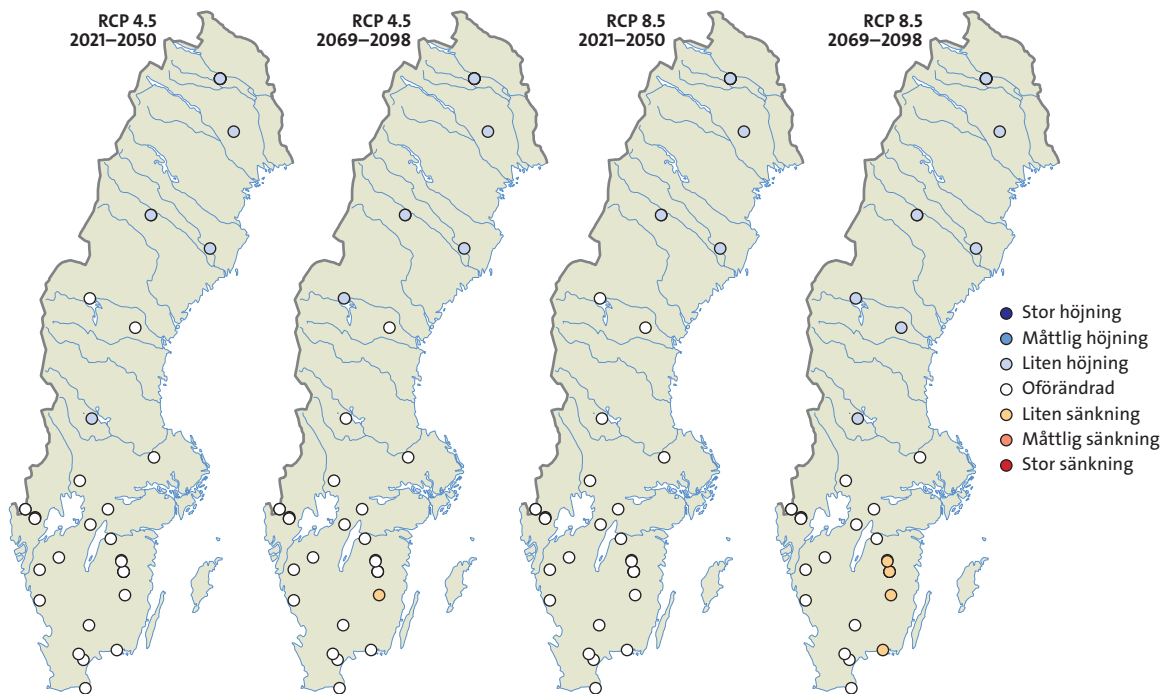
Årsmedelvärden

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

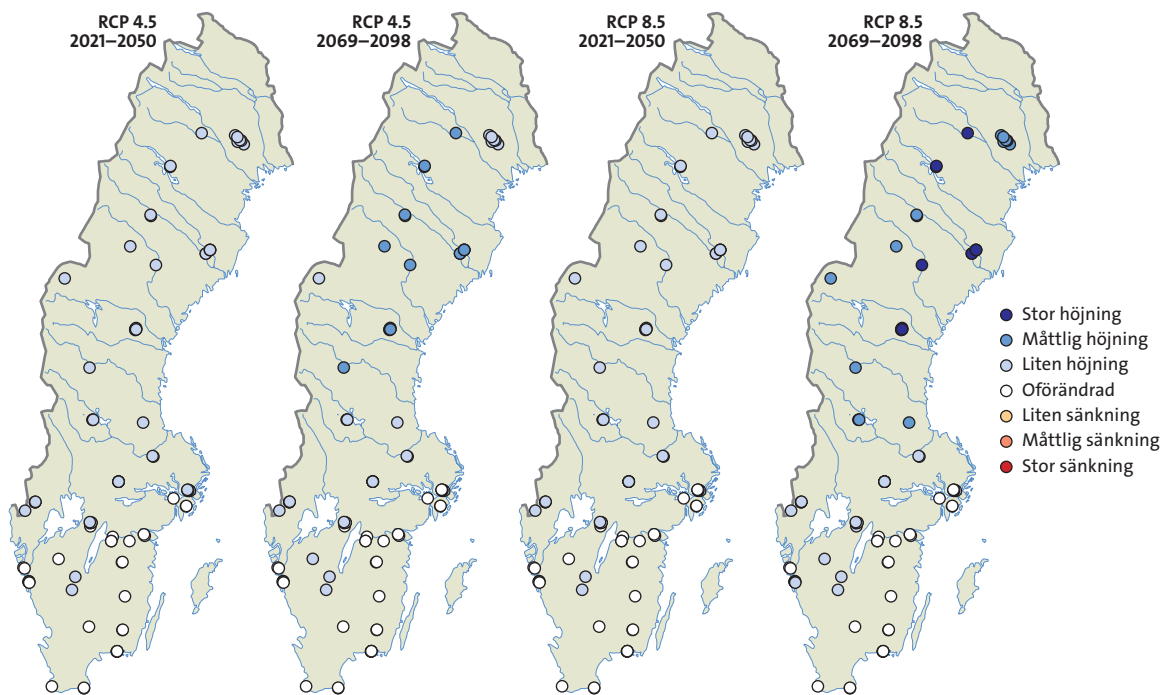
Även för långsamreagerande grundvattenmagasin är det i de nordliga delarna av Sverige som vi kan förvänta oss höjda grundvattennivåer. Utbredningen söderut av höjda grundvattennivåer förväntas bli större för långsamreagerande grundvattenmagasin än för de snabbreagerande magasinerna. Båda utsläppscenarierna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



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



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



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

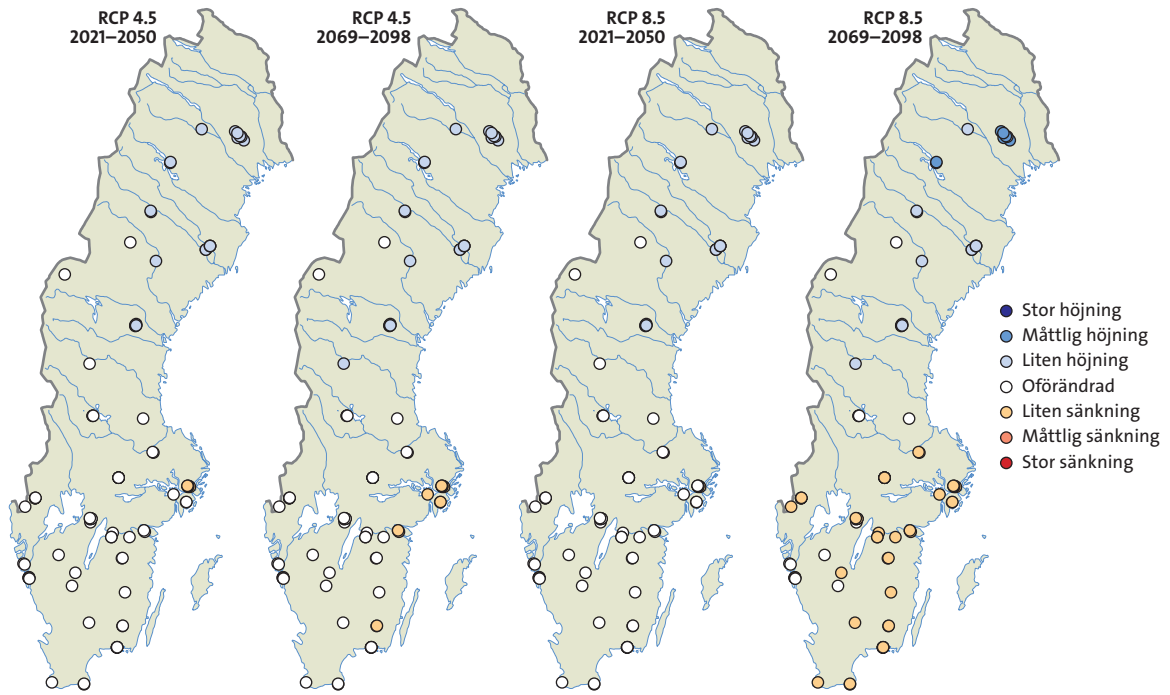
Årstidsmedelvärden för snabbreagerande grundvattenmagasin

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

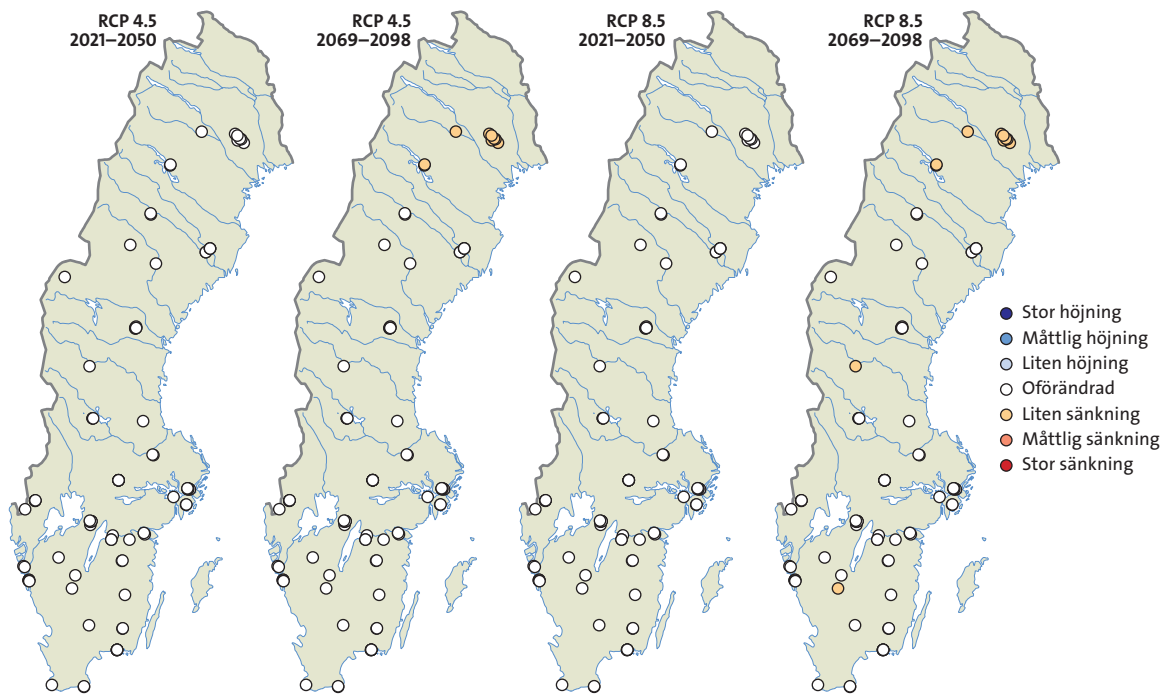
Även under vårmånaderna förväntas norra delarna av Sverige få en liten höjning av grundvattennivåerna för båda tidsperioderna och de två utsläppsscenarioerna. I slutet av seklet förutses en måttlig höjning i de nordligaste delarna (fig. 7). I södra Sverige förväntas i stort sett oförändrade grundvattennivåer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

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

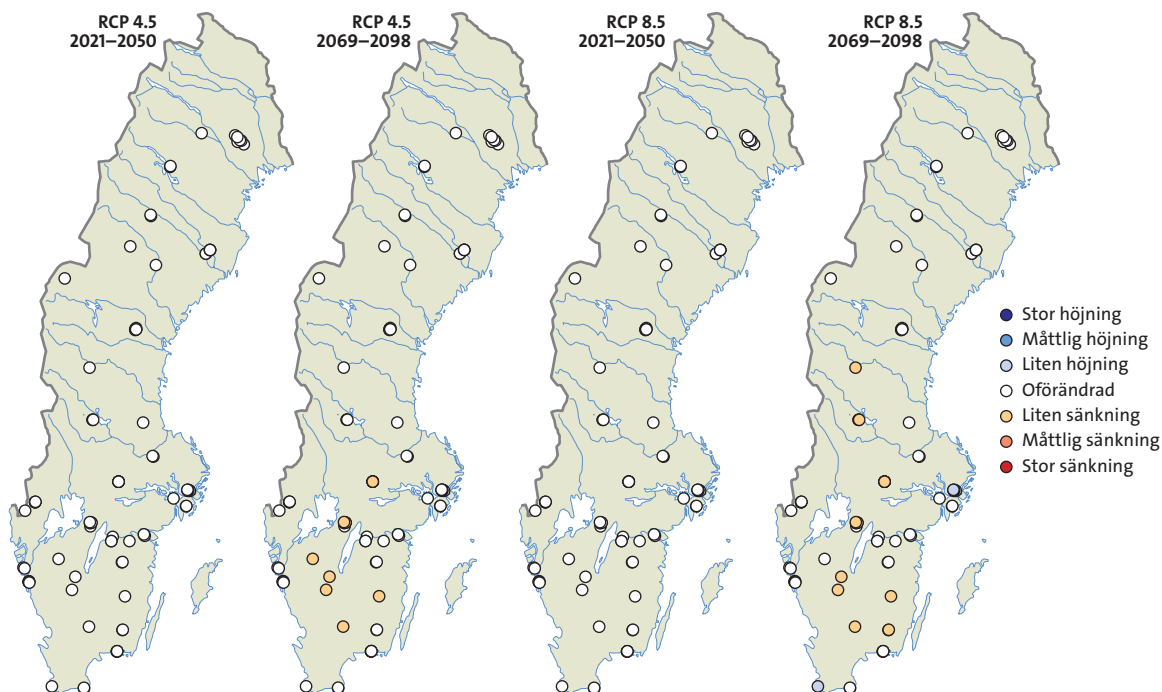
Under hösten kan i stort sett oförändrade grundvattennivåer förväntas i hela Sverige för perioden 2021–2050 med båda utsläppsscenarioerna (fig. 9). För perioden 2069–2098 beräknas grundvattennivåerna bli lite lägre i södra Sverige, och då främst i de sydöstra delarna, men oförändrade i resterande delar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



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



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



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

Grundvattennivåns regimer

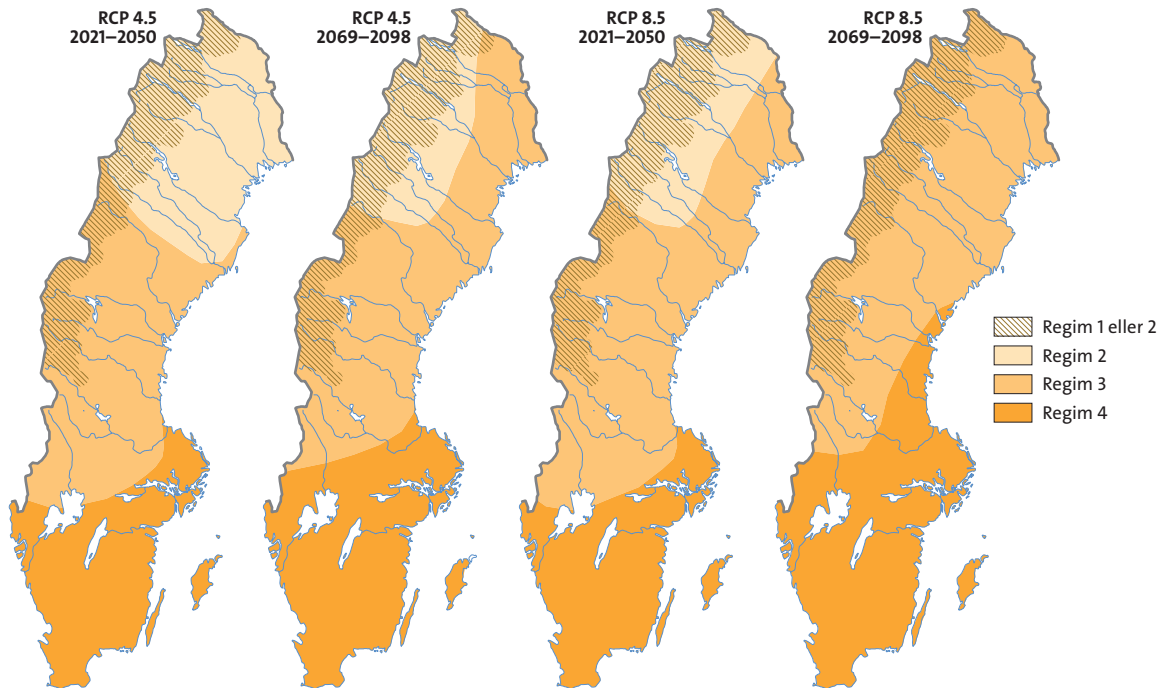
I framtiden förväntas att grundvattennivåernas variationsmönster förändras så att enbart tre regimområden, och i det mest extrema fallet, enbart två områden återstår (RCP 8.5, 2069–2098) jämfört med de fyra regimområden som finns idag. Det är främst den nordligaste regimen med den dominerande grundvattenbildningen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

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

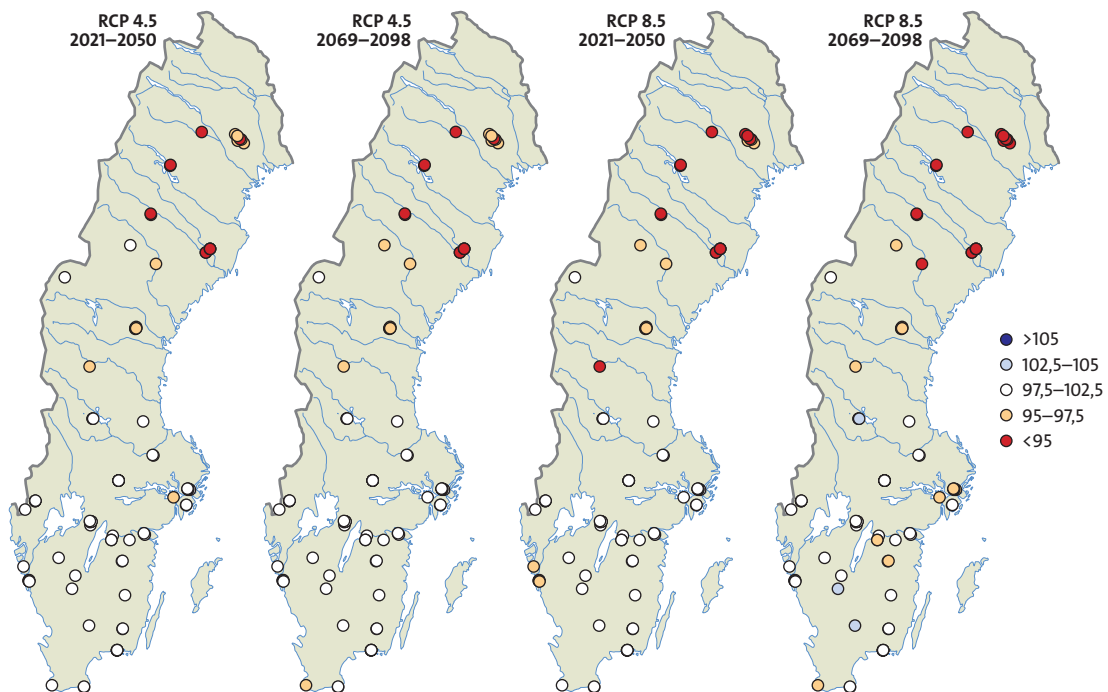
Grundvattnets nivåvariationer

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

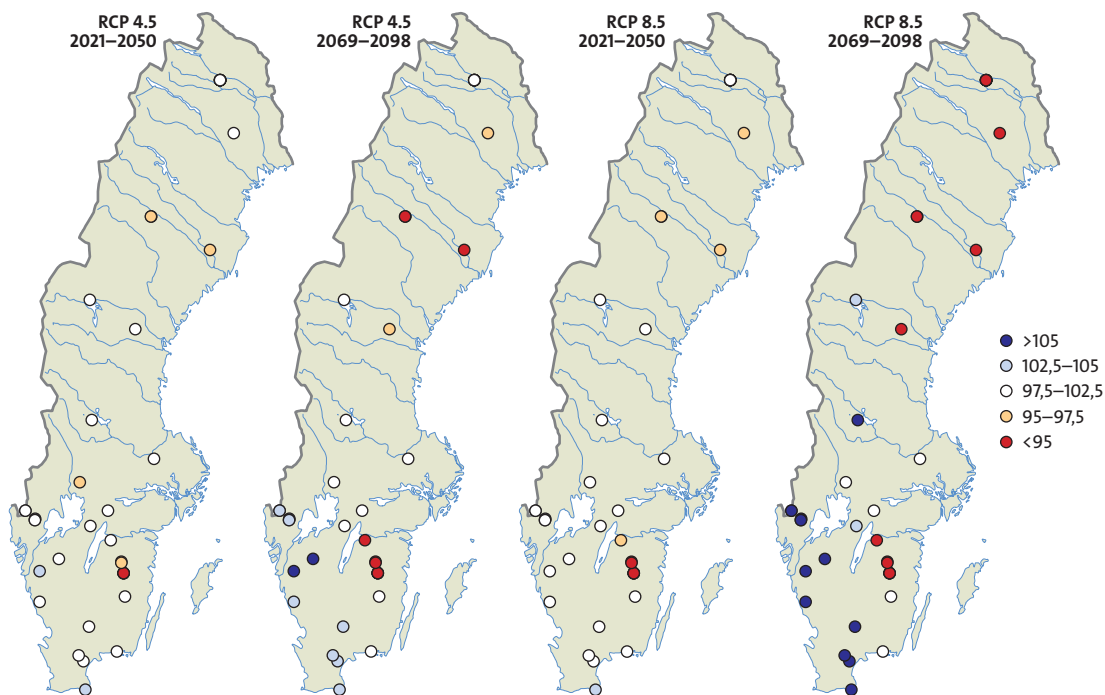
För stationerna i långsamreagerande grundvattenmagasin är resultatet mer varierat. Främst kan Västsverige förväntas få en större variation mellan de lägsta och högsta grundvattennivåerna medan mellersta Sverige (främst Östergötland) samt norra Sverige kan få en mindre variation av



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



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



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

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

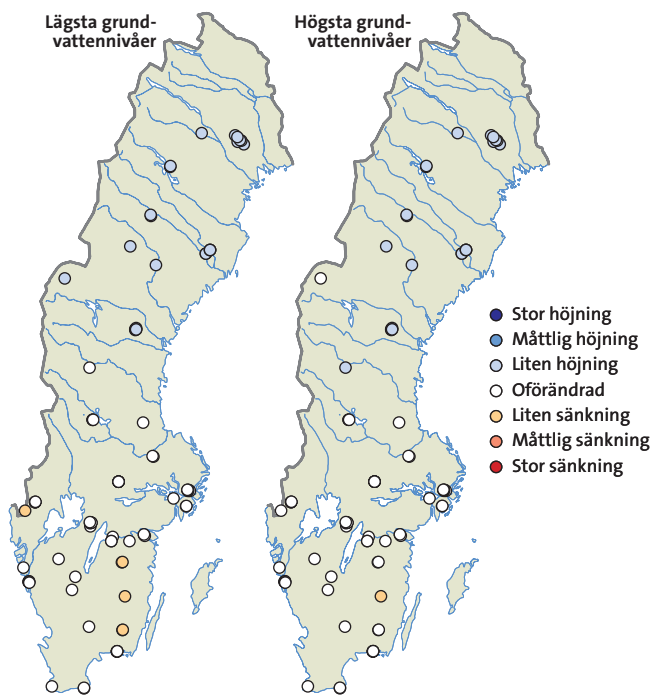
Förändringar i grundvattnets högsta och lägsta nivåer vid RCP 8.5

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

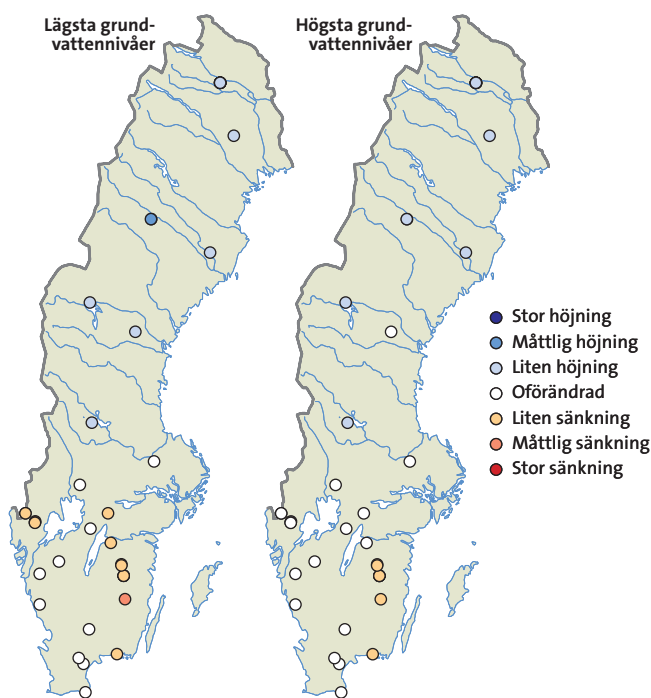
I mellersta och södra Sverige, förutom i de sydöstra delarna, förväntas de lägsta och högsta grundvattennivåerna bli oförändrade i de snabbreagerande grundvattenmagasinen. I sydöstra Sverige beräknas både de lägsta och de högsta grundvattennivåerna att sjunka. De sydöstra delarna kan enligt beräkningarna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

OSÄKERHETER

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



Figur 13. Snabbreagerande grundvattenmagasin för scenariot RCP 8,5 och perioden 2069–2098. Till vänster: förändringen av de lägsta grundvattennivåerna. Till höger: förändringen av de högsta grundvattennivåerna.



Figur 14. Långsamreagerande grundvattenmagasin för scenariot RCP 8,5 och perioden 2069–2098. Till vänster: förändringen av de lägsta grundvattennivåerna. Till höger: förändringen av de högsta grundvattennivåerna.

i fig. 15 och fig. 16 där beräknade min- och maxnivåer (baserat på data från samtliga modeller) i morän redovisas för perioden 2069 – 2098, utsläppsscenario RCP 8.5. Avvikelserna redovisas som skillnad i medelvärden av högsta och lägsta beräknade grundvattennivå jämfört med referensperioden för respektive årstid. Osäkerheten i beräkningarna under våren är mer påtaglig i södra och mellersta delen av landet där skillnaderna är stora mellan högsta och lägsta beräknade nivådifferens. Under sommaren är skillnaderna mellan beräknade högsta och lägsta nivådifferens mindre och mer jämnt fördelade över landet vilket kan tolkas som att säkerheten i den beräknade grundvattennivån är större under sommaren.



Figur 15. Skillnad mellan högsta och lägsta grundvattennivåskillnad för morän under våren för utsläppsscenarioet RCP 8,5, perioden 2069–2098. I södra och mellersta delen av landet är det stor skillnad mellan lägsta (till vänster) och högsta (till höger) beräknad nivåskillnad i förhållande till referensperioden.



Figur 16. Skillnad mellan högsta och lägsta grundvattennivåskillnad för morän under sommaren för utsläppsscenarioet RCP 8,5, perioden 2069–2098. Skillnaderna mellan lägsta (till vänster) och högsta (till höger) är mindre jämfört med våren och skillnaderna är även mer jämnt fördelade i förhållande till referensperioden.

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

DISKUSSION

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

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

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

Grundvattennivåförändring

Norra Sverige

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

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

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

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

Södra Sverige

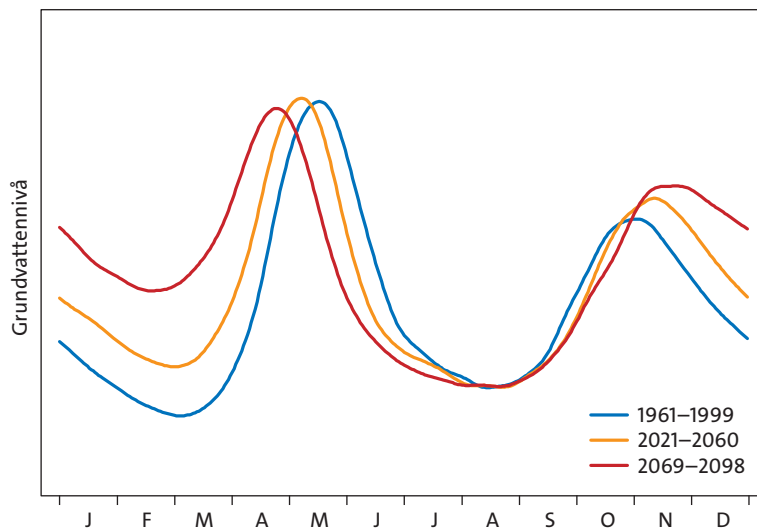
I sydöstra Sverige råder samma tendens som framkommit i tidigare studier (Sundén m.fl. 2010), nämligen att grundvattennivåerna generellt förväntas sjunka. Här förväntas grundvattennivå-

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

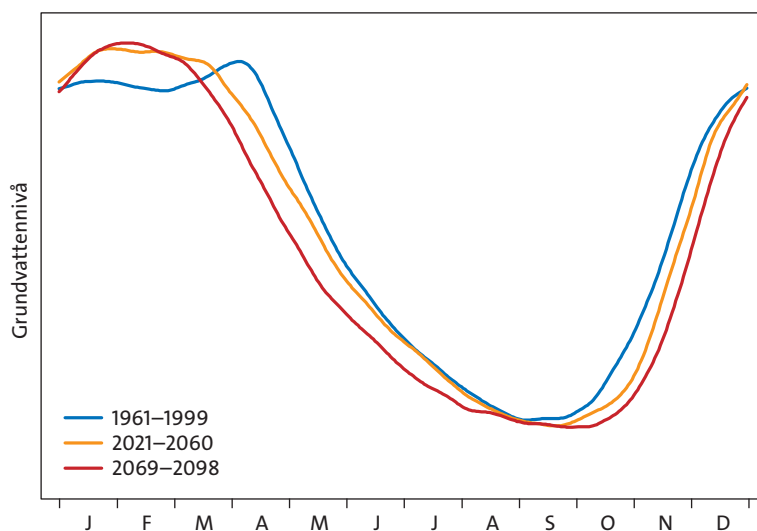
Den tydligaste förändringen kan iakttas för de högsta och lägsta grundvattennivåerna i södra Sverige vilka förväntas sjunka i både snabb- och långsamreagerande grundvattenmagasin.

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

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



Figur 17. Dygnsmedelvärden för station i Pålkem (37_49) i norra Sverige i snabbreagerande magasin. Diagrammet visar perioderna 1961–1990, 2021–2050 och 2069–2098 för RCP8.5.



Figur 18. Dygnsmedelvärden för station 5_1 i sydöstra Sverige i snabbreagerande magasin. Diagrammet visar perioderna 1961–1990, 2021–2050 och 2069–2098 för RCP8.5.

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

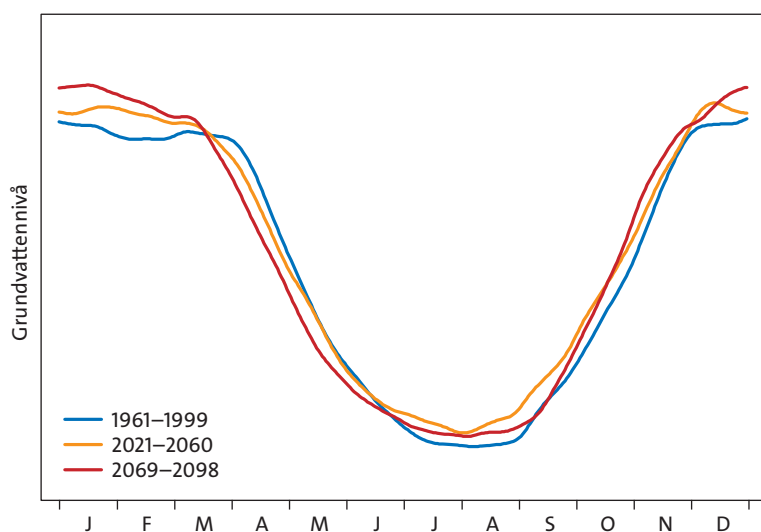
På Gotland finns det inte någon mätserie som går att koppla till de modellerade värdena vilket gör att de grundvattennivåer som beräknats med S-HYPE inte går att använda med tillräcklig noggrannhet. I stora drag bör resultaten från Kalmar län kunna säga något om hur förhållandena kan komma att förändras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

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

Förändring av grundvattentillgång

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

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



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

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

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

Effekter på vattenförsörjningen

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

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



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

Miljömål och vattenförvaltning

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

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

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

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

Sammanfattande slutsatser

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

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

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

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

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

REFERENSER

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

BILAGA 1

Förväntad förändring av grundvattennivån

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

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