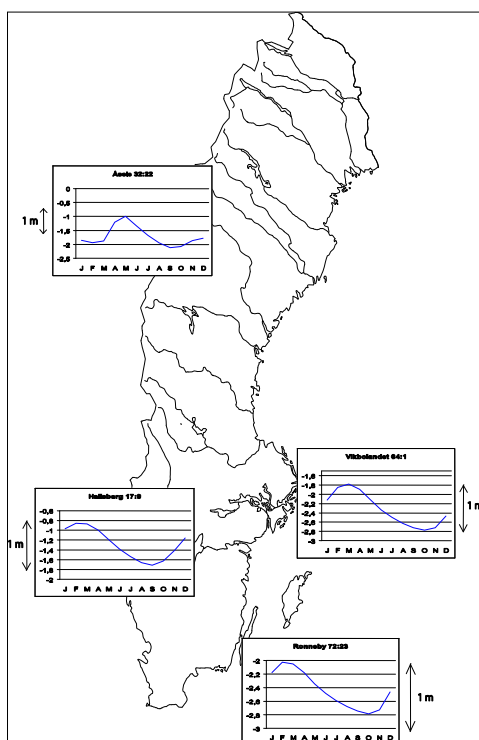


Grundvattennivåer och vattenförsörjning vid ett förändrat klimat

Gustav Sundén & Lena Maxe, SGU
Joel Dahné, SMHI

September 2010

SGU-rapport 2010:12



FÖRORD

Rapporten är framtagen inom projektet *Kan grundvattenmålet klaras vid ändrade klimatförhållanden? – vattenförsörjning vid ett förändrat klimat* finansierat av Naturvårdsverket under anslag 34:2 Miljöövervakning m.m., Programområde Miljömålsuppföljning 2009 (SGUs Dnr 08-1765/2008).

Projektet är utfört av en arbetsgrupp med medarbetare vid SMHI och SGU. Projektet utgör en fortsättning på det arbete med grundvatten och klimatförändringar som SGU inlett med två projekt finansierade genom Naturvårdsverkets miljömålsuppföljning respektive SGUs anslag för interna forskningsprojekt. Resultat från de tidigare projekten finns redovisade i SGU-rapport 2007:9.

FÖRORD	1
INLEDNING	3
MILJÖMÅLET GRUNDVATTEN AV GOD KVALITET	4
GRUNDVATTENNIVÅER VID ETT FÖRÄNDRAT KLIMAT	4
GRUNDVATTENREGIMER	5
UTVECKLING AV EN GRUNDVATTENNIVÅMODELL	6
MODELLERING AV GRUNDVATTENNIVÅER I SGUS GRUNDVATTENNÄT	7
<i>Använda stationer</i>	7
<i>Klimatscenarier</i>	8
<i>Drivdata till GRV-modellen (nederbörd och temperatur)</i>	10
<i>Modellering av framtida grundvattennivåer med GRV-modellen</i>	11
NIVÅFÖRÄNDRINGAR – MODELLRESULTAT	12
<i>Åsele (32022) – Inre Norrland</i>	12
<i>Tärnsjö (23021) – Norra Svealand</i>	14
<i>Böda (7009) – Öland</i>	15
<i>Ronneby (72023) – Södra Götaland</i>	16
REGIMFÖRÄNDRING – MODELLRESULTAT	17
<i>Åsele (32022) – Inre Norrland</i>	17
<i>Tärnsjö (23021) – Norra Svealand</i>	18
<i>Böda (7009) – Öland</i>	19
<i>Ronneby (72024) – Södra Götaland</i>	20
<i>Framtida regimkarta</i>	20
GRUNDVATTENKVALITET VID ETT FÖRÄNDRAT KLIMAT	23
BETYDELSEN FÖR GRUNDVATTEN SOM DRICKSVATTEN	24
DRICKSVATTENFÖRSÖRJNINGEN VID ETT FÖRÄNDRAT KLIMAT	26
DRICKSVATTENFÖRSÖRJNINGEN IDAG	26
<i>Allmänna vattentäkter</i>	26
<i>Enskilda vattentäkter</i>	27
VATTENFÖRSÖRJNINGSPÄNOR – VIKTIGA FÖR KLIMATSÄKRAD VATTENFÖRSÖRJNING	28
PÅGÅENDE ARBETE FÖR KLIMATSÄKRAD VATTENFÖRSÖRJNING	29
DISKUSSION	31
REFERENSER	34
ACKNOWLEDGEMENT	36
BILAGA 1 – VARAKTIGHETSKURVOR	37
BILAGA 2 – REGIMKURVOR	41
BILAGA 3 – PARAMETERUPPSÄTTNINGAR FÖR MODELLERADE STATIONER	44

INLEDNING

Ett förändrat klimat påverkar våra vattentillgångar på olika sätt. Vatten är vårt viktigaste livsmedel men även en effektiv transportör av föroreningar. Vid ett ändrat nederbördsmonster och stigande medeltemperaturer förändras de naturliga kemiska och biologiska förhållandena i sjöar, vattendrag och grundvatten. Fler extremväder och större nederbördsmängder kan medföra ökade vattenflöden vilket kan leda till översvämningar och skred.

I klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU 2007) togs klimatrelaterade problem med den framtida vattenförsörjningen upp. SGU bidrog till utredningen med resultat från två olika projekt, dels ett tidigare miljömålsprojekt ("Kan grundvattenmålet klaras vid ändrade klimatförhållanden?") som miljömålsrådet finansierade under år 2006 och dels ett samtidigt pågående SGU-finansierat FoU-projekt. Resultaten från de båda projekten sammanfattades i en SGU rapport (Ojala m.fl. 2007). Resultaten visade bl.a. att inom miljömålsperspektivets tidsram fram till 2020 kommer inte klimatet att genomgå så stora förändringar men att eftersom vattenförsörjningen redan idag är känslig för extremvädersituationer är det viktigt att ta hänsyn till ett förändrat klimat i planering och åtgärder. I ett längre tidsperspektiv, fram till 2070-talet, gjordes en skattning av antalet grundvattenförekomster, grundvattentäkter och människor som påverkas vid ett förändrat klimat. För de större grundvattenmagasinen, dvs. sand- och grusåsarna, skattades att grundvattennivåerna i större delen av landet skulle stiga med någon eller några 10-tals cm. I de sydöstra delarna av landet beräknades däremot att en minskad grundvattenbildning skulle resultera i en sänkning av grundvattennivåerna. I denna region är grundvattenbildningen liten redan idag. De beräknade klimatförändringarna för de södra och mellersta delarna av landet antogs också kunna innebära lägre grundvattennivåer under sensommaren, dvs. under den period då grundvattentillgången är som lägst redan idag. Detta påverkar framförallt de mindre grundvattenmagasinen, t.ex. i morän. Detta grundvatten utnyttjas främst för enskild vattenförsörjning från grävda brunnar. Förutom mindre tillgång på vatten kan lägre grundvattennivåer även ge effekter på vattenkvaliteten. Vad gäller bergborrade brunnar i kustområdena uppskattades en ökad risk för förhöjda kloridhalter i grundvattnet, speciellt vid längre torrperioder under sommarhalvåret. Dessutom bedömdes en eventuell havsytehöjning öka risken för saltvattenpåverkan i berggrundvattnet i strandnära lägen, framförallt i södra Sverige.

I detta fortsättningsprojekt har ytterligare analys och utvärdering av grundvattendata utförts för att bättre kunna kvantifiera påverkan på grundvattennivåer i olika grundvattenmagasin grundat på ett flertal klimatscenarier. Arbetet bygger på den metod för modellering av grundvattennivåer under ändrade klimatförhållanden som har genomförts i ett samarbete mellan Uppsala universitet och SMHI inom ramen för SGU-finansierade FoU-projekt (Rodhe m.fl. 2009). Utöver de resultat som tagits fram i denna rapport har även en del resultat och slutsatser tagits med från Ojala m.fl. (2007), detta för att försöka sammanfatta båda rapporternas resultat och dra slutsatser utifrån de samlade resultaten. För en mer detaljerad redovisning av tidigare resultat hänvisas till den tidigare utgivna rapporten (Ojala m.fl. 2007).

I denna rapport ges några förslag till hur klimatförändringar ska hanteras inom vattenförsörjningsområdet. Vid planering av dricksvattenförsörjning i vattenförsörjningsplaner på regional och lokal nivå kan förslagen leda till en säkrare och mer hållbar vattenförsörjning och även ge ett underlag vid beslut om investeringar.

Resultatet från de modelleringar som görs i detta projekt ger ett underlag för länsstyrelser och vattenmyndigheter samt centrala myndigheter.

MILJÖMÅLET GRUNDVATTEN AV GOD KVALITET

Miljö kvalitetsmålet *Grundvatten av god kvalitet* syftar till att långsiktigt säkra tillgången av tillräckliga mängder dricksvatten av god kvalitet. Utströmmande grundvatten ska samtidigt vara av sådan kvalitet och mängd att det bidrar till att växter och djur har en god miljö i ekosystem som är beroende av grundvattnet. Miljö kvalitetsmålet är uppdelat i tre delmål som anger hur Sveriges grundvattentillgångar ska säkras genom skydd, hur stabila grundvattennivåer ska bibehållas och att grundvatten som nyttjas som dricksvatten ska vara av god kvalitet.

Genom införandet av miljömålet för grundvatten och genom att vattenmyndigheternas arbete också omfattar åtminstone de större grundvattenförekomsterna har medvetandet och kunskapen om grundvatten höjts i samhället. Miljö kvalitetsmålet bedöms av SGU vara möjligt att i huvudsak nås till 2020, om åtgärder som stärker skyddet för grundvatten och begränsar tillförseln av ytterligare föroreningar till grundvatten vidtas. På grund av föroreningars långa uppehållstid i mark- och grundvattensystemet kan emellertid en förbättrad vattenkvalitet i många områden förväntas dröja till långt efter målåret. På länsnivå så har de flesta länen gjort bedömningen att vattentillgången och kvaliteten är god och att miljökvalitetsmålet kommer att uppnås bl.a. med hjälp av vattenmyndigheternas åtgärdsprogram. Uppsala län bedömer dock att målet är mycket svårt att nå, bland annat eftersom det på några håll finns problem med råvattenkvalitet. Gotland gör samma negativa bedömning, eftersom ett tunt jordtäck och ytliga spricksystem gör länets grundvatten extra sårbart. I Stockholms läns kust- och skärgårdsområden är överuttag av grundvatten vanligt, med resulterande saltvatteninträngning vilket försvårar måluppfyllelsen (Miljömålsrådet 2010).

För de tre delmålen var målåret satt till 2010 och dessa kan inte sägas ha uppnåtts i tillräcklig utsträckning. I den omarbetning av miljömålssystemet som nu är på gång ska delmålen tas bort och ersättas med ett system med etappmål för att effektivisera arbetet. Det är för närvarande inte klart hur dessa etappmål kommer att formuleras men SGUs bedömning är att de aspekter som tas upp i de nuvarande delmålen är viktiga för att miljökvalitetsmålet ska kunna uppnås. Därutöver behöver kvantitets- och kvalitetsproblem inom den enskilda vattenförsörjningen lyftas fram i det fortsatta arbetet.

Arbetet med det långsiktiga skyddet av vattentäkter behöver intensifieras. Problem finns också med enskilda brunnar. Höjda nitrathalter i jordbruksområden förekommer i flera län, liksom påverkan av förorening. Flera län anser att en förändring i miljöbalken, som skulle göra det möjligt att klassa grundvattenförekomster som riksintresse, skulle förbättra hänsynstagandet i samhällsplaneringen. Några län bedömer att utvecklingen av tillståndet i miljön är positiv genom ökad kunskap och förbättrat skydd. Huvuddelen av länen ser ingen trend i utvecklingen (Miljömålsrådet 2010).

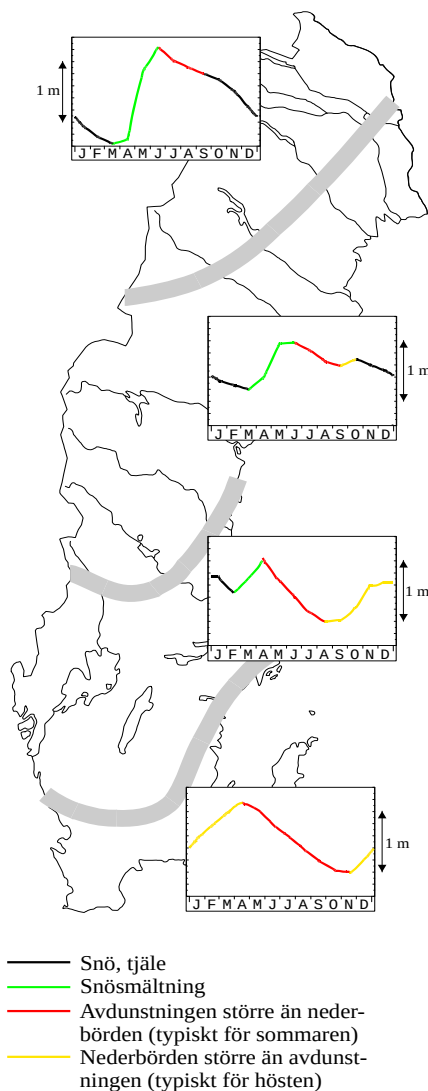
GRUNDVATTENNIVÅER VID ETT FÖRÄNDRAT KLIMAT

De flesta av Sveriges akviferer är ganska små och deltar aktivt i det hydrologiska kretsloppet. Grundvattenmagasinen fylls årligen på med regn- och smältvatten och bräddar vid hög fyllnadsgrad över eventuella trösklar. Grundvattnet används i vissa magasin till vattenuttag ur brunnar. Det är inte möjligt att långsiktigt överutnyttja de flesta av dessa små eller halvstora magasin, saltvatteninträngning och problem med markstabiliteten kan uppkomma lokalt när för stora grundvattenuttag ger avsänkning av grundvattennivåerna (Maxe & Thunholm 2007).

Grundvattnets nivåvariationer beror på hur och när grundvattenbildning sker. Grundvattenbildningen i sin tur beror på hur mycket nederbörd som kommer och hur mycket av den som avdunstar. Nybildningen av grundvatten följer mönster eller regimer, som är olika över landet. Sverige delas idag in i fyra olika regimer (Knutsson m.fl. 1977) som beskriver olika säsongsdynamik (figur 1).

Grundvattenregimer

I de inre delarna av norra Norrland sker den huvudsakliga grundvattenbildningen vid snösmältningen på våren. Grundvattennivåerna stiger snabbt och når sitt maximum på försommaren vilket följs av nästan konstant sjunkande grundvattennivåer med sitt minimum strax innan snösmältningen.



Figur 1. Dagens grundvattenregimer i Sverige.

Områdena som omfattar norra Norrlands kustland, södra Norrlands inland och fjälltrakter och norra Svealand har sin huvudsakliga grundvattenbildning vid två tillfällen under året, dels på våren vid snösmältningen och dels under hösten då växternas upptag av vatten är liten och nederbörden faller på tjälfri mark. Detta gör att grundvattennivån uppvisar två minima och två maxima per år. De högsta nivåerna återfinns på våren och de lägsta under senvintern. Till detta område hör stationerna Åsele 32016 samt Åsele 32022 (tabell 1, sid 11).

I södra Sveriges inland och nordöstra delarna av Svealand återfinns de lägsta grundvattennivåerna under senvintern. Under hösten börjar nybildningen av grundvatten med höjda nivåer och efter en period med sjunkande nivåer under vintern, då den mesta nederbörden kommer i form av snö, fortsätter nybildningen vid snösmältningen igen med stigande nivåer. När den har avslutats står grundvattnet som högst. Stationerna Tärnsjö 23020 och 23021; Hallsberg 17008 och 17009 samt Herrljunga 15007 och 15008 ligger samtliga i detta område (tabell 1).

I Svealands och Götalands kustområden och i de inre delarna av sydligaste Sverige har snösmältningen mycket liten om ens någon påverkan på grundvattennivåerna, eftersom nederbörden till största del faller som regn i dessa områden. De lägsta nivåerna återfinns tidigt på hösten och efter en kontinuerlig höjning av nivåerna sker därför de högsta nivåerna på våren. I detta område ligger stationerna Vikbolandet 64001; Ronneby 72003, 72023 och 72024 samt Sandhammaren 41007 (tabell 1).

I ett förändrat klimat kan regimerna komma att förändras. En höjning av temperaturen medför att vintrarna blir kortare och därmed perioderna då nederbörden faller som snö. Detta gör att grundvattenbildningen sker under längre perioder och de högsta grundvattennivåerna på grund av snösmältningen blir lägre. I förlängningen kan detta göra att de lägsta grundvattennivåerna blir ännu lägre på grund av liknande längd på

avsänkingsperioderna men med lägre nivåer vid avsänkningens början. Förutom kortare perioder med nederbörd i form av snö kan förhöjda temperaturer medföra en ökad avdunstning. Om så blir fallet kan grundvattennivåerna även bli lägre till följd av att grundvattenbildningen blir mindre.

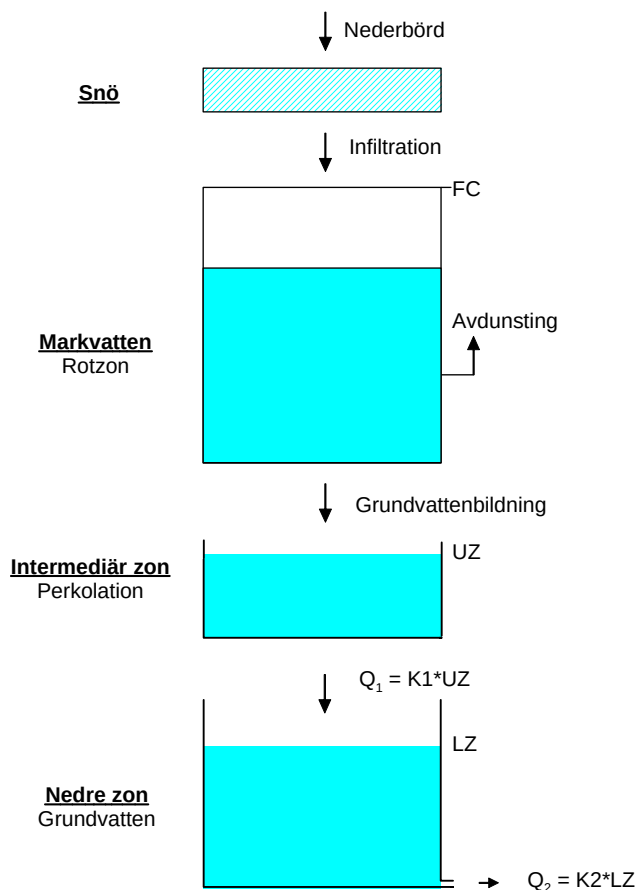
Utveckling av en grundvattennivåmodell

I tre på varandra följande projekt har Rodhe m.fl. (2006, 2008 och 2009) utvecklat en modell (i denna rapport kallad GRV-modellen) för grundvattenbildning och grundvattennivåberäkningar i öppna magasin. Modellen baseras på en något modifierad variant av mark- och snörutinen från den i Sverige mycket använda HBV-modellen (Bergström 1976, Lindström m.fl. 1997). Modellen använder det av SMHI utvecklade modelleringsystemet HYSS (HYdrologiskt SimuleringsSystem). HYSS är ett system för hantering av in- och utdata till en modell samt innehåller funktioner för kalibrering/optimering. Systemet går i daglig drift på SMHI. Indata till GRV-modellen är dagliga värden på temperatur och nederbörd för aktuell plats, modellen räknar också på tidssteget 1 dygn. Resultat från modellen kommer i form av tidsserier med dagliga värden på beräknad grundvattennivå för de platser som ingår i modelluppsättningen.

I GRV-modellen (figur 2) betraktas rotzonen, i modellen kallad Markvatten, som en tvättsvamp där allt vatten över en viss vattenhalt, fältkapacitet (FC), perkolerar ner till grundvattnet. Utflödet ur markvattenboxen sker, förutom genom perkolation, också i form av avdunstning vilken är lika med den potentiella avdunstningen reducerad med en faktor som beror av vatteninnehållet i jorden. Den potentiella avdunstningen beräknas dagligen som en funktion av temperatur och tid på året.

Det som för grundvattenbildningsberäkningarna skiljer olika jordarter åt är deras vattenhållande egenskap vilket beskrivs av parametern fältkapacitet (FC). I det första projektet av Rodhe m.fl. (2006) optimerades värden för fältkapaciteten fram för tre olika jordartsklasser; fin jord, grov jord och morän. Optimeringen gjordes genom att beräknad grundvattenbildning kalibrerades mot uppmätt specifik avrinning för ett stort antal avrinningsområden.

Grundvattennivån beräknas genom att den beräknade grundvattenbildningen perkolerar från rotzonen ner genom två seriekopplade magasin. Det övre magasinet är tänkt att representera en intermediär markvattenzon vilken ger en fördröjande och dämpande effekt på perkolationen. Flödet (Q_1) från den intermediära zonen till den nedre zonen (grundvattenmagasinet) bestäms av en recessionskoefficient (K_1) och den intermediära zonen vatteninnehåll (UZ). Det nedre magasinet är tänkt att representera grundvattenmagasinet. I analogi med markvattenzonen bestäms utflödet (Q_2) i grundvattenmagasinet av en recessionskoefficient (K_2) och grundvattenmagasinet vatteninnehåll (LZ). Beräkningarna av grundvattennivån görs sedan genom att en referensnivå (D_{ref}) ansätts mot vilken grundvattennivån avklingar och för vilken grundvattenmagasinet anses vara tömt. En modellparameter, porositet (e_p) ansätts för att räkna om grundvattenmagasinet vatteninnehåll till en grundvattennivå.



Figur 2. GRV-modellen för beräkningar av grundvattenbildning och grundvattennivåer.

Den enkla modellansatsen gör att grundvattenmagasin med starkt skiktat lagerföljd (porositet och hydraulisk konduktivitet varierar med djupet) eller som på andra sätt är icke-linjär (t.ex. in- eller utläckage från underliggande berggrund) inte kan simuleras.

En av lärdomarna från Rodhe m.fl. (2008) var att GRV-modellen inte heller kan återskapa den grundvattenbildning som sker blöta somrar. Trots detta ansågs GRV-modellen genom de tidigare studierna vara validerad och kontrollerad för lämplighet till klimatstudier (Rodhe m.fl. 2008) då den grundvattenbildning som sker sommartid är liten i jämförelse med vad som sker på årsbasis.

Modellering av grundvattennivåer i SGUs Grundvattennät

Använda stationer

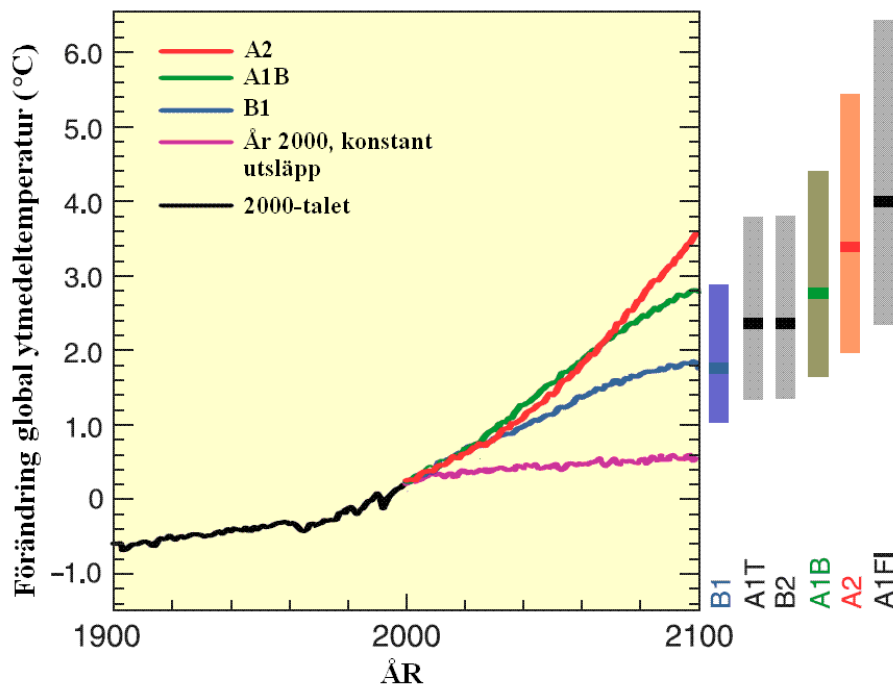
I denna studie har beräkningar gjorts av ett urval grundvattenstationer i SGUs Grundvattennät. Det första urvalet görs redan vid beräkningarna med GRV-modellen, eftersom modellen endast kan simulera vissa typer av grundvattenmagasin (se ovan). Bland de stationer i Grundvattennätet som kan simuleras har sedan ett urval gjorts bland annat med bakgrund av stationernas placering över landet för att få en så bra geografisk spridning som möjligt. Dessutom har stationer med olika hydrogeologiska egenskaper valts ut för att försöka studera hur dessa reagerar olika på framtida klimatförändringar, t.ex. magasinens storlek. Urvalet av stationer med tillhörande specifika egenskaper för varje station presenteras i tabell 1.

Tabell 1. Använda stationer från SGUs Grundvattennät för modellering av framtida grundvattennivåer i studien.

Stations nr	Stationsnamn	Område	Akviferstyp	Jordart	Mag.storlek	Grundvattennivå,	
						medel (m.u.m.)	Variationsbredd (m)
7009	Böda	Öland	Jord öppen	Sand	Stor	5,49	1,55
15007	Herrljunga1	Västra Götaland	Jord öppen	Morän	Liten	3,62	3,42
15008	Herrljunga2	Västra Götaland	Jord öppen	Morän	Liten	2,06	3,50
17008	Hallsberg1	Södra Svealand	Jord öppen	Sand	Stor	7,07	1,93
17009	Hallsberg2	Södra Svealand	Jord öppen	Sand	Liten	1,19	2,18
23020	Tärnsjö1	Norra Svealand	Jord öppen	Grus	Stor	9,00	1,59
23021	Tärnsjö2	Norra Svealand	Jord öppen	Sand	Liten	1,06	1,12
32016	Åsele1	Inre Norrland	Jord öppen	Sand	Stor	6,75	2,84
32022	Åsele2	Inre Norrland	Jord öppen	Morän	Liten	1,41	3,32
41007	Sandhammaren	Södra Skåne	Jord öppen	Sand	Stor	5,17	1,34
64001	Vikbolandet	Nordöstra Götaland	Jord öppen	Morän	Liten	2,10	2,00
72003	Ronneby1	Sydöstra Götaland	Jord öppen	Sand	Stor	2,84	1,45
72023	Ronneby2	Sydöstra Götaland	Jord öppen	Morän	Liten	2,21	3,15
72024	Ronneby3	Sydöstra Götaland	Jord öppen	Morän	Liten	1,49	3,16

Klimatscenarier

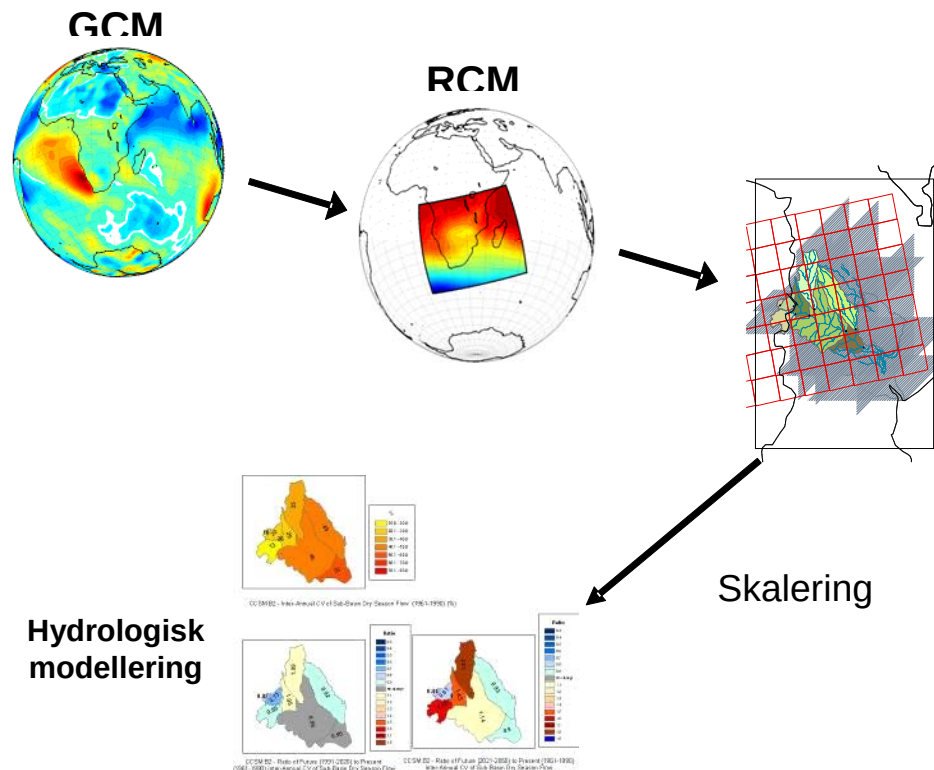
Att säga något om klimatet i framtiden är mycket svårt. Vädersystemen är komplexa och hela jordklotet måste tas i beaktande. Att med hjälp av matematiska globala cirkulationsmodeller (GCM) beräkna jordens framtida klimat gör att man samtidigt som man får en bra representation av geografin och vädersystemen kan ta hänsyn till olika utsläppsscenarioer för växthusgaser. Detta är idag den dominerade metoden vid klimatstudier. Det finns ett flertal olika GCM:er, dessa skiljer sig åt i bl. a. processbeskrivningen och upplösning i beräkningsnätet, till följd att de trots samma utsläppsscenario ger olika resultat. Ofta används flera GCM i samma studie och spridningen får representera ett osäkerhetsintervall för beräkningarna. Hur mycket resultaten kan skilja sig åt framgår av Figur 3 där staplarna till höger ger ett osäkerhetsintervall då samma utsläppsscenario är använt i flera GCM:er (IPPC 2007).



Figur 3. Ökning i global yttemperatur jämfört med perioden 1980-1999 enligt sex utsläppsscenarioer. Staplarna till höger anger ett osäkerhetsintervall baserat på beräkningar från ett flertal modeller. Den heldragna linjen i staplarna är ett "best estimate" (IPPC 2007).

De globala cirkulationsmodellerna beskriver jordens storskaliga vädersystem med följden att de inte lämpar sig för regionala tillämpningar på grund av den relativt sett grova skalan. För att komma åt detta problem finns det regionala cirkulationsmodeller (RCM) för att förbättra upplösningen temporalt och spatialt. Dessa använder sig av data från en GCM men tillför mer detaljerad information om geografin samt löser upp en del processer såsom konvektion. Figur 4 visar hur beräkningskedjan för att gå från globala cirkulationsmodeller till ett mer finskaliga dataset kan se ut. Precis som för de globala cirkulationsmodellerna är det skillnad i hur de regionala cirkulationsmodellerna är uppbyggda, vilket gör att även dessa ger olika resultat då de nedskalas från samma GCM och utsläppsscenario.

Jämför man resultat från en sådan kombinerad GCM/RCM med observationer av nederbörd ger modellen ofta ett systematiskt fel både i totalmängden och i fördelningen av nederbördsintensitet. Även för temperaturen finns vissa systematiska fel, dessa är dock ofta mindre än de för nederbörden. För att resultaten från en GCM/RCM ändå ska bli användbara i hydrologisk mening används olika metoder för att korrigera data. En sådan metod är s.k. skalering (Yang, m.fl. 2008, Yang m.fl. *accepted*), vilket också är den metod som använts för nederbörds- och temperatur-datat inom detta projekt. Förenklat är antagandet i metoden att vissa systematiska fel hos GCM/RCM-modellen som syns i jämförelsen med observation idag också gäller för framtida perioder.



Figur 4. Beräkningskedja för att gå från globala cirkulationsmodeller till ett mer finskaligt dataset ämnat för hydrologisk modellering. Skalering är en metod för korrigering av modelldata där antagandet är att vissa systematiska fel mellan modellen och observationer som syns idag också gäller för framtida perioder.

Drivdata till GRV-modellen (nederbörd och temperatur)

GRV-modellen drivs med dagliga värden på temperatur och nederbörd.

Under kalibrering och modellberäkningar av dagens situation användes tidsserier på temperatur och nederbörd från SMHI:s klimatdatabas för tillämpning av hydrologisk modellering, den s.k. PTHBV-databasen (Johansson 2002). Databasen täcker hela Sverige i ett 4x4 km-rutnät från och med 1961 och uppdateras kontinuerligt. I denna studie användes tidsperioden 1961–2009. PTHBV är en ifrån observationer interpolerad databas som tar hänsyn till topografi och vindförhållanden samt korregerar för mätfel i nederbörd.

Till grund för beräkningar av framtida grundvattennivåer användes drivdata från tio klimatscenarier framtagna inom EU, FP6-projektet ENSEMBLES (tabell 2) nedskalade med skalerings-metoden enligt Yang, m.fl. 2008. Liksom PTHBV-databasen täcker dessa dataset hela landet i ett 4x4 km rutnät med dagliga värden. Värden från klimatscenierna finns tillgängliga för tidsperioden 1961–2100, vilket också är den tidsperiod som studerats inom projektet.

Tabell 2. Klimatscenarier använda inom projektet.

Nr	Institut	Scenario	GCM	RCM	Upplösning (km)	Tidsperiod
1	SMHI	A1B	ECHAM5(1)	RCA3	50	1961-2100
2	SMHI	A1B	ECHAM5(3)	RCA3	50	1961-2100
4	KNMI	A1B	ECHAM5(3)	RACMO	25	1961-2100
5	MPI	A1B	ECHAM5(3)	REMO	25	1961-2100
11	DMI	A1B	ECHAM5(3)	HIRHAM5	25	1961-2100
12	SMHI	A1B	ECHAM5(2)	RCA3	50	1961-2100
13	SMHI	A1B	ECHAM5(3)	RCA3	25	1961-2100
14	SMHI	B1	ECHAM5(1)	RCA3	50	1961-2100
15	SMHI	A1B	CNRM	RCA3	50	1961-2100
16	SMHI	A1B	CCSM3	RCA3	50	1961-2100

DMI – Danmarks Meteorologiske Institut

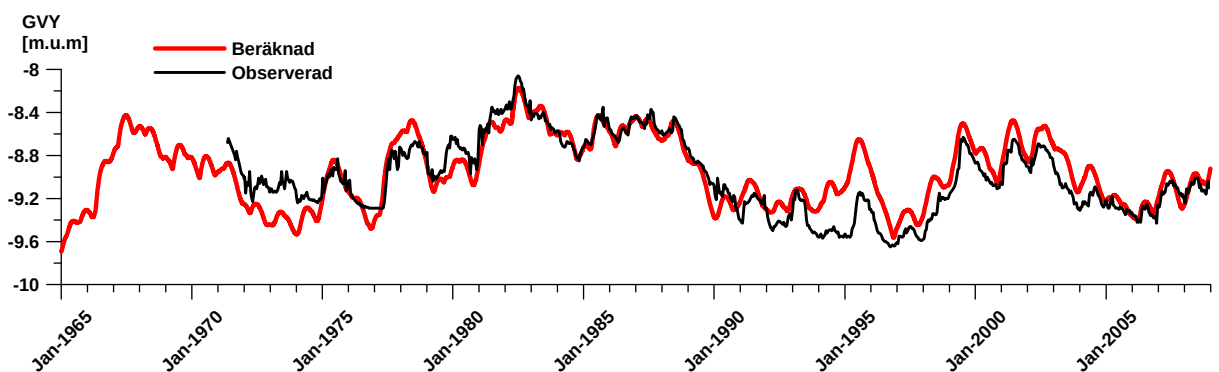
KNMI - Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

MPI - Max-Planck-Institute for Meteorology

SMHI - Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut

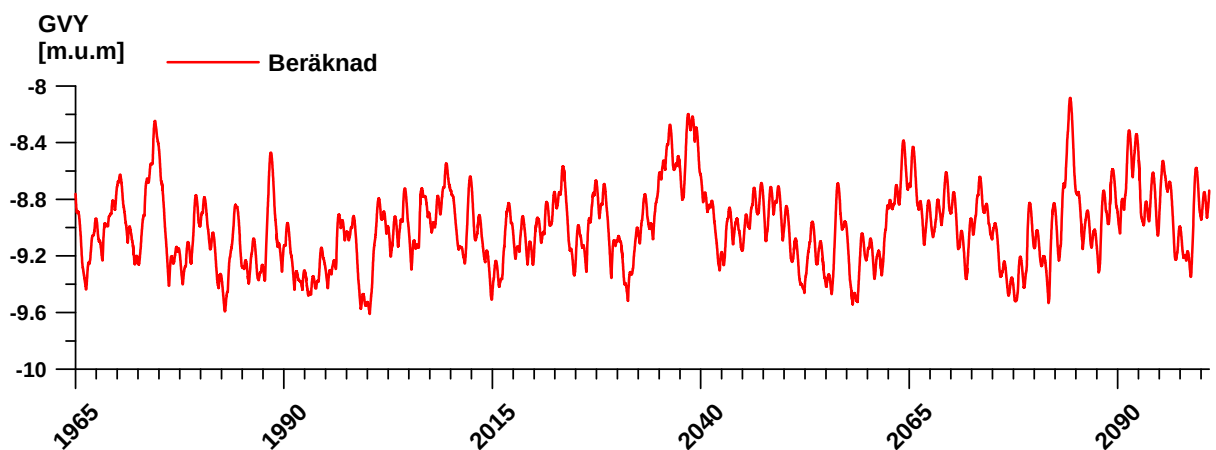
Modellering av framtida grundvattennivåer med GRV-modellen

I projektet modellerades nivåer för 14 stationer från SGUs grundvattennät (tabell 1), var och en med platsspecifika indata från 10 klimatscenarier. Initialt kalibrerades modellparametrar fram för varje station för att korrekt kunna beskriva stationens variationer i dagens grundvattennivåer. Det är fyra modellparametrar som är stationsspecifika, D_{ref} , e_p , $K1$ och $K2$, där D_{ref} är den nivå mot vilken grundvattnet avklingar, e_p är den effektiva porositeten samt $K1$ och $K2$ som är recessionskoefficienterna för den intermediära markzonen respektive grundvattenmagasinet (se figur 2). Under kalibreringen drevs GRV-modellen med data från PTHBV-databasen. Parametern D_{ref} sattes till en början till den lägsta observerade grundvattennivån för den aktuella stationen. Genom ett stegvis och iterativt tillvägagångssätt kalibrerades så de resterande tre parametrarna tills en visuellt godtagbar anpassning uppnåddes. Exempel på en av de kalibrerade stationerna använda i denna studie finns i figur 5. Av kalibreringen fick var och en av de 14 stationerna en unik uppsättning modellparametrar som beskrev stationernas egenskaper (bilaga 3). För en mer ingående beskrivning av modellparametrarna och kalibrering hänvisas till Rodhe m.fl. (2008).



Figur 5. Exempel på station i grusavlagring, (Tärnsjö 23020). Modellerade grundvattennivåer (rött) beskriver bra såväl inomårsvariationerna som mellanårsvariationerna i observationsserien (svart).

För att sedan kunna använda den kalibrerade modellen för klimatscenerierna ändrades drivdata för modellen till det aktuella scenariot. De fyra modellparametrarna för varje station ansågs inte bero på klimatet och hölls därför konstanta. Man kan givetvis resonera kring om t.ex. porositet kan ändras med ett ändrat klimat, på grund av t.ex. ändrad humushalt eller ändrade vittringsförhållanden. Detta har inte undersökts inom projektet, det verkar inte heller troligt att stora förändringar i parametervärdena skulle hinna ske på det relativt korta tidsspann som modelleras. Stationerna modellerades transient från 1965–2100 och resultatet gavs i form av tidsserier med dagliga värden för grundvattennivå för hela perioden (exempel i figur 6).



Figur 6. Exempel på beräknad grundvattennivå utifrån ett klimatscenario för station Tärsjö 23020.

Nivåförändringar – modellresultat

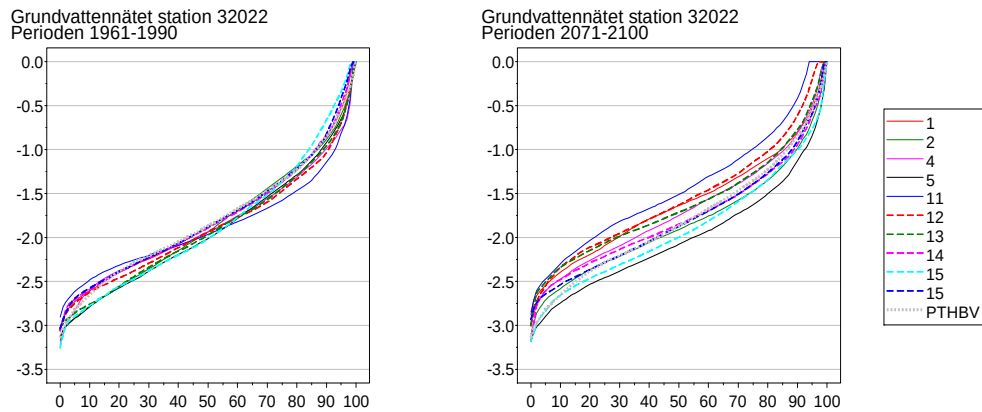
Hur grundvattennivåerna förändras i ett ändrat klimat är viktigt att studera ur både ett kvantitativt och kvalitativt perspektiv. Kvantitativt ger sänkta grundvattennivåer en mindre tillgång på dricksvatten. Ur ett kvalitativt perspektiv kan förhöjda grundvattennivåer medföra att den omättade zonen i marken blir mindre och därmed även markens förmåga att rena vattnet. Lägre grundvattennivåer kan medföra saltvatteninträngning till grundvattnet. Detta är framförallt ett problem längst kusterna.

För att studera hur grundvattennivåerna kan komma att förändras i framtiden skapades s.k. varaktighetskurvor där den kumulativa fördelningen av varje beräknad grundvattennivå, som GRV-modellen beräknar utifrån klimatscenerierna, illustreras. För varje station skapades en varaktighetskurva för tidsperioden 1961–1990 (dagens nivåer) och en för perioden 2071–2100 (framtida nivåer) för de olika klimatscenerierna. För att jämföra de två olika tidsperioderna för varje station plottas även en varaktighetskurva för nivåerna från PTHBV. Denna representerar de beräknade nivåer som GRV-modellen ger från interpolerade temperatur och nederbördsdata för tidsperioden 1961–1990. Nedan presenteras resultat av modellberäkningar för 4 stationer. Resultatet presenteras även i tabellform. Varaktighetskurvor från resterande 10 stationer återfinns i bilaga 1.

Åsele (32022) – Inre Norrland

För station 32022 (Åsele – inre Norrland), visar varaktighetskurvorna att de lägsta grundvattennivåerna kan komma att ligga högre i framtiden jämfört med dagens nivåer.

Däremot ligger de högsta nivåerna i framtiden kvar på samma nivå som dagens men till något större andelar, vilket i detta fall kan innebära att grundvattennivåer ända upp till markytan kan komma att öka. Ser man över hela nivåfördelningen visar samtliga klimatscenarier höjda nivåer i framtiden (figur 7 & tabell 3).



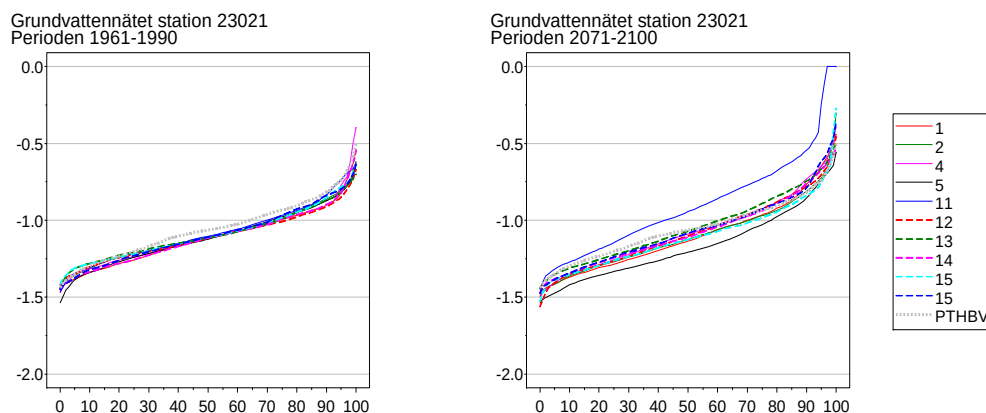
Figur 7. Varaktighetskurva för station 32022 (Åsele). Figuren till vänster representerar grundvattennivåfördelningen för perioden 1961–1990. Figuren till höger representerar perioden 2071–2100. Nivåerna är i meter under markytan.

Tabell 3. Nivåfördelningen för station 32022 (Åsele) där 1 betyder att 1 % av grundvattennivåerna är lägre än de angivna nivåerna och 99 betyder att 99 % av grundvattennivåerna är lägre. Nivåerna är i meter under markytan.

1961-1990										
Scenario	1	5	10	25	50	75	90	95	99	
1	-2,94	-2,74	-2,61	-2,32	-1,89	-1,36	-0,86	-0,54	0,00	
2	-3,05	-2,92	-2,78	-2,46	-1,93	-1,32	-0,88	-0,60	-0,15	
4	-3,10	-2,83	-2,60	-2,31	-1,94	-1,44	-0,99	-0,77	-0,12	
5	-3,05	-2,92	-2,79	-2,48	-2,01	-1,41	-0,92	-0,66	-0,12	
11	-2,79	-2,62	-2,49	-2,26	-1,97	-1,58	-1,14	-0,82	-0,02	
12	-2,94	-2,75	-2,63	-2,38	-1,94	-1,47	-1,03	-0,70	-0,13	
13	-2,99	-2,86	-2,76	-2,45	-1,97	-1,44	-0,96	-0,68	-0,13	
14	-2,93	-2,71	-2,59	-2,31	-1,89	-1,37	-0,83	-0,49	0,00	
15	-3,12	-2,90	-2,78	-2,47	-2,02	-1,36	-0,66	-0,34	0,00	
16	-2,94	-2,69	-2,58	-2,31	-1,88	-1,35	-0,82	-0,41	0,00	
MEDEL	-2,98	-2,79	-2,66	-2,38	-1,94	-1,41	-0,91	-0,60	-0,07	
2071-2100										
Scenario	1	5	10	25	50	75	90	95	99	
1	-2,72	-2,55	-2,40	-2,09	-1,64	-1,20	-0,80	-0,53	-0,05	
2	-2,98	-2,71	-2,59	-2,28	-1,91	-1,47	-0,99	-0,67	-0,13	
4	-2,87	-2,61	-2,47	-2,17	-1,75	-1,29	-0,81	-0,49	0,00	
5	-3,08	-2,90	-2,75	-2,46	-2,08	-1,63	-1,13	-0,84	-0,31	
11	-2,71	-2,48	-2,30	-1,92	-1,51	-0,99	-0,41	0,00	0,00	
12	-2,85	-2,55	-2,34	-2,04	-1,63	-1,14	-0,61	-0,20	0,00	
13	-2,81	-2,51	-2,34	-2,06	-1,71	-1,27	-0,78	-0,45	0,00	
14	-2,98	-2,61	-2,48	-2,21	-1,85	-1,40	-0,95	-0,59	-0,09	
15	-3,10	-2,84	-2,66	-2,39	-2,00	-1,47	-1,01	-0,77	-0,23	
16	-2,81	-2,64	-2,54	-2,29	-1,87	-1,39	-0,90	-0,59	0,00	
MEDEL	-2,89	-2,64	-2,49	-2,19	-1,80	-1,33	-0,84	-0,51	-0,08	

Tärnsjö (23021) – Norra Svealand

Station 23021 (Tärnsjö – norra Svealand) har grundvattennivåer som ligger nära markytan, mellan 1,5– 0,5 meter under markytan (figur 8). Detta gäller även i framtiden för de flesta scenarierna med endast små förändringar vad gäller de lägsta grundvattennivåerna. En ytterligare jämförelse mellan dagens och framtidens medelnivåer från klimatscenierna där lika stor andel av nivåerna är högre/lägre (50 i tabell 4), visar att det är väldigt liten skillnad mellan dessa. Däremot visar beräkningarna att något högre högsta grundvattennivåer.



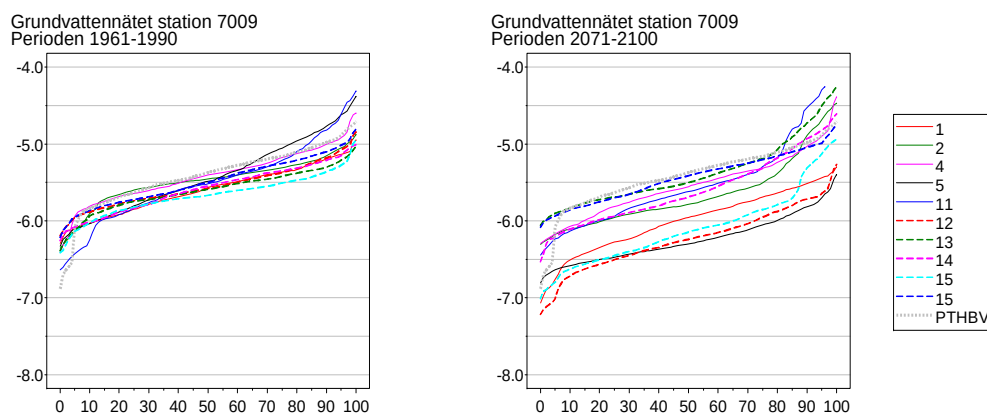
Figur 8. Varaktighetskurva för station 23021 (Tärnsjö). Figuren till vänster representerar grundvattennivåfördelningen för perioden 1961–1990. Figuren till höger representerar perioden 2071–2100. Nivåerna är i meter under markytan.

Tabell 4. Nivåfördelningen för station 23021 (Tärnsjö) där 1 betyder att 1 % av grundvattennivåerna är lägre än de angivna nivåerna och 99 betyder att 99 % av grundvattennivåerna är lägre. Nivåerna är i meter under markytan.

1961-1990									
Scenario	1	5	10	25	50	75	90	95	99
1	-1,42	-1,38	-1,34	-1,26	-1,11	-1,00	-0,90	-0,82	-0,63
2	-1,43	-1,36	-1,31	-1,22	-1,12	-0,99	-0,86	-0,80	-0,68
4	-1,43	-1,35	-1,32	-1,24	-1,12	-0,99	-0,87	-0,78	-0,50
5	-1,50	-1,39	-1,34	-1,24	-1,12	-0,98	-0,87	-0,82	-0,72
11	-1,44	-1,35	-1,31	-1,22	-1,10	-0,97	-0,84	-0,74	-0,66
12	-1,39	-1,35	-1,31	-1,22	-1,12	-1,01	-0,91	-0,85	-0,73
13	-1,40	-1,31	-1,28	-1,21	-1,11	-0,99	-0,87	-0,82	-0,73
14	-1,41	-1,38	-1,34	-1,26	-1,12	-0,99	-0,90	-0,82	-0,64
15	-1,38	-1,31	-1,28	-1,22	-1,11	-0,98	-0,85	-0,78	-0,69
16	-1,42	-1,38	-1,32	-1,23	-1,11	-0,97	-0,84	-0,80	-0,70
MEDEL	-1,42	-1,36	-1,31	-1,23	-1,11	-0,99	-0,87	-0,80	-0,67
2071-2100									
Scenario	1	5	10	25	50	75	90	95	99
1	-1,45	-1,41	-1,37	-1,29	-1,14	-0,96	-0,77	-0,65	-0,51
2	-1,47	-1,42	-1,36	-1,27	-1,12	-0,97	-0,81	-0,73	-0,49
4	-1,47	-1,40	-1,35	-1,26	-1,09	-0,93	-0,73	-0,65	-0,49
5	-1,51	-1,47	-1,42	-1,33	-1,21	-1,03	-0,86	-0,74	-0,65
11	-1,40	-1,32	-1,27	-1,15	-0,94	-0,73	-0,54	-0,25	0,00
12	-1,52	-1,41	-1,35	-1,26	-1,10	-0,93	-0,78	-0,70	-0,56
13	-1,41	-1,35	-1,31	-1,23	-1,07	-0,89	-0,75	-0,66	-0,54
14	-1,43	-1,38	-1,35	-1,24	-1,11	-0,94	-0,76	-0,67	-0,58
15	-1,47	-1,39	-1,35	-1,26	-1,13	-0,98	-0,84	-0,76	-0,42
16	-1,44	-1,39	-1,34	-1,24	-1,09	-0,93	-0,79	-0,61	-0,47
MEDEL	-1,46	-1,39	-1,35	-1,25	-1,10	-0,93	-0,76	-0,64	-0,47

Böda (7009) – Öland

Vid station 7009 (Böda – Öland) ligger nivåerna idag på mellan 4,8–6,3 meter under markytan (figur 9). I framtiden kommer de vara mellan 4,4–6,5 meter under markytan enligt scenarierna. Detta betyder alltså att nivåvariationerna kommer bli större med både högre och lägre grundvattennivåer jämfört med dagens nivåer. Dessutom ser andelen lägre grundvattennivåer ut att öka. Detta kan komma att ge effekter på vattenkvaliteten särskilt i kustnära områden i regionen då framförallt de lägre nivåerna kan komma att medföra ökad risk för saltvatteninträngning i grundvattenmagasinen.



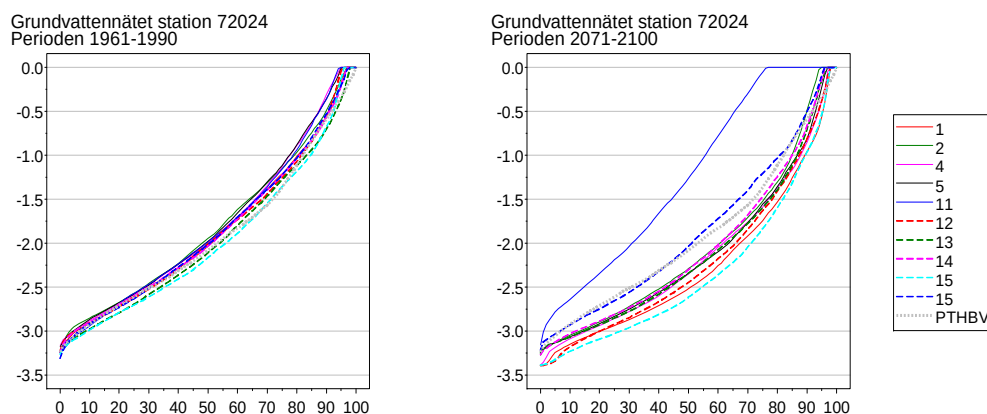
Figur 9. Varaktighetskurva för station 7009 (Böda). Figuren till vänster representerar grundvattennivåfördelningen för perioden 1961–1990. Figuren till höger representerar perioden 2071–2100. Nivåerna är i meter under markytan.

Tabell 5. Nivåfördelningen för station 7009 (Böda) där 1 betyder att 1 % av grundvattennivåerna är lägre än de angivna nivåerna och 99 betyder att 99 % av grundvattennivåerna är lägre. Nivåerna är i meter under markytan.

1961-1990									
Scenario	1	5	10	25	50	75	90	95	99
1	-6,21	-6,10	-6,03	-5,85	-5,56	-5,37	-5,19	-5,14	-5,00
2	-6,31	-6,14	-5,91	-5,60	-5,45	-5,31	-5,15	-5,05	-4,93
4	-6,31	-5,94	-5,81	-5,64	-5,40	-5,17	-5,00	-4,92	-4,62
5	-6,25	-6,10	-6,04	-5,81	-5,48	-5,05	-4,76	-4,62	-4,44
11	-6,60	-6,43	-6,25	-5,83	-5,52	-5,21	-4,82	-4,61	-4,37
12	-6,13	-5,96	-5,89	-5,74	-5,58	-5,37	-5,18	-5,07	-4,89
13	-6,31	-6,13	-5,93	-5,75	-5,59	-5,42	-5,30	-5,21	-5,08
14	-6,17	-6,08	-6,02	-5,83	-5,55	-5,35	-5,21	-5,15	-5,02
15	-6,39	-6,14	-6,03	-5,82	-5,67	-5,51	-5,36	-5,28	-5,00
16	-6,13	-5,95	-5,87	-5,72	-5,50	-5,25	-5,10	-5,02	-4,86
MEDEL	-6,28	-6,10	-5,98	-5,76	-5,53	-5,30	-5,11	-5,01	-4,82
2071-2100									
Scenario	1	5	10	25	50	75	90	95	99
1	-6,98	-6,76	-6,51	-6,28	-5,95	-5,69	-5,52	-5,44	-5,35
2	-6,28	-6,17	-6,11	-5,95	-5,78	-5,50	-4,89	-4,69	-4,49
4	-6,27	-6,17	-6,07	-5,81	-5,55	-5,31	-5,03	-4,90	-4,47
5	-6,74	-6,64	-6,58	-6,48	-6,30	-6,05	-5,82	-5,69	-5,46
11	-6,40	-6,24	-6,13	-5,94	-5,62	-5,29	-4,52	-4,30	0,00
12	-7,15	-7,01	-6,72	-6,51	-6,24	-5,95	-5,72	-5,64	-5,33
13	-6,01	-5,90	-5,83	-5,69	-5,50	-5,19	-4,73	-4,50	-4,31
14	-6,43	-6,20	-6,11	-5,94	-5,69	-5,31	-4,93	-4,82	-4,65
15	-6,92	-6,80	-6,63	-6,45	-6,15	-5,85	-5,31	-5,12	-4,96
16	-6,03	-5,94	-5,86	-5,70	-5,41	-5,20	-5,04	-4,99	-4,80
MEDEL	-6,52	-6,38	-6,25	-6,07	-5,82	-5,54	-5,15	-5,01	-4,38

Ronneby (72023) – Södra Götaland

För station 72024 (Ronneby – sydöstra Götaland) är nivåerna i framtiden generellt lägre än dagens nivåer (figur 10). Andelen lägre nivåer kan komma att öka vilket alltså betyder att den genomsnittliga grundvattennivån i framtiden kan komma att sjunka. På samma sätt som för station 7009 (Böda) kan detta medföra kvalitetsförsämringar på grundvattnet i form av bland annat saltvatteninträngning.



Figur 10. Varaktighetskurva för station 72024 (Ronneby). Figuren till vänster representerar grundvattennivåfördelningen för perioden 1961–1990. Figuren till höger representerar perioden 2071–2100. Nivåerna är i meter under markytan.

Tabell 6. Nivåfördelningen för station 72024 (Ronneby) där 1 betyder att 1 % av grundvattennivåerna är lägre än de angivna nivåerna och 99 betyder att 99 % av grundvattennivåerna är lägre. Nivåerna är i meter under markytan.

1961-1990										
Scenario	1	5	10	25	50	75	90	95	99	
1	-3,18	-3,01	-2,91	-2,61	-2,03	-1,21	-0,56	-0,18	0,00	
2	-3,16	-2,95	-2,85	-2,57	-1,95	-1,15	-0,49	-0,14	0,00	
4	-3,10	-3,00	-2,88	-2,59	-2,00	-1,13	-0,30	0,00	0,00	
5	-3,12	-2,99	-2,87	-2,58	-1,98	-1,11	-0,36	-0,01	0,00	
11	-3,17	-3,05	-2,94	-2,57	-1,99	-1,16	-0,36	0,00	0,00	
12	-3,13	-3,00	-2,91	-2,63	-2,01	-1,26	-0,57	-0,04	0,00	
13	-3,20	-3,08	-2,98	-2,70	-2,11	-1,28	-0,70	-0,37	0,00	
14	-3,16	-3,00	-2,90	-2,60	-2,04	-1,23	-0,56	-0,21	0,00	
15	-3,21	-3,10	-2,99	-2,71	-2,17	-1,36	-0,68	-0,12	0,00	
16	-3,22	-3,05	-2,92	-2,63	-2,02	-1,22	-0,53	-0,20	0,00	
MEDEL	-3,16	-3,02	-2,92	-2,62	-2,03	-1,21	-0,51	-0,13	0,00	
2071-2100										
Scenario	1	5	10	25	50	75	90	95	99	
1	-3,39	-3,25	-3,15	-2,94	-2,52	-1,75	-0,95	-0,57	0,00	
2	-3,21	-3,13	-3,05	-2,82	-2,29	-1,52	-0,48	0,00	0,00	
4	-3,36	-3,18	-3,09	-2,86	-2,35	-1,59	-0,85	-0,37	0,00	
5	-3,20	-3,13	-3,07	-2,84	-2,34	-1,56	-0,81	-0,22	0,00	
11	-3,01	-2,78	-2,64	-2,19	-1,26	-0,05	0,00	0,00	0,00	
12	-3,39	-3,34	-3,18	-2,92	-2,45	-1,63	-0,81	-0,37	0,00	
13	-3,19	-3,13	-3,07	-2,85	-2,34	-1,60	-0,70	-0,14	0,00	
14	-3,23	-3,13	-3,03	-2,81	-2,30	-1,47	-0,66	-0,12	0,00	
15	-3,38	-3,33	-3,23	-3,03	-2,62	-1,84	-0,97	-0,53	0,00	
16	-3,13	-3,04	-2,93	-2,66	-2,04	-1,21	-0,50	-0,08	0,00	
MEDEL	-3,25	-3,14	-3,04	-2,79	-2,25	-1,42	-0,67	-0,24	0,00	

Regimförändring - modellresultat

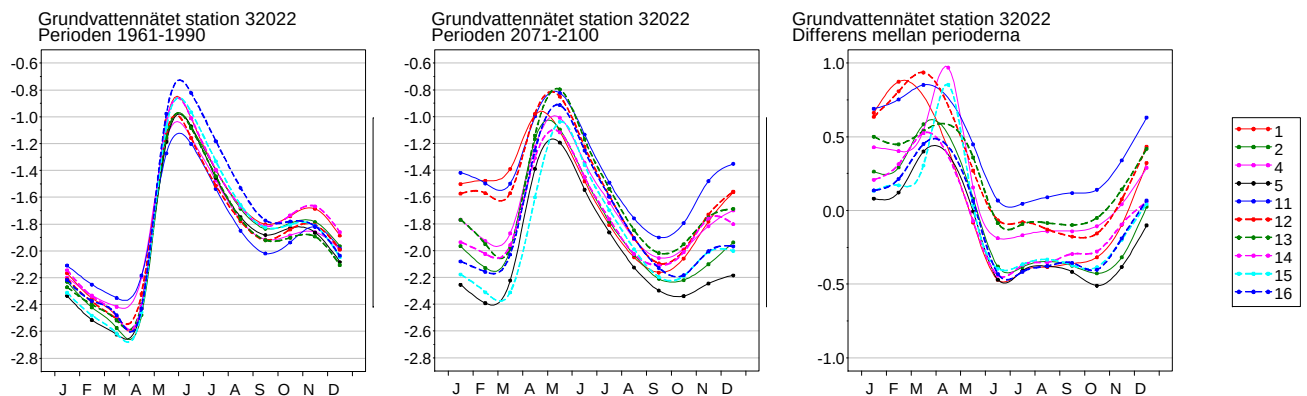
En effekt av förändringarna i klimatet i framtiden med bland annat höjda temperaturer, kommer vara att nederbörden i mindre utsträckning lagras i form av snö under vintern. Det får bland annat till följd att grundvattenbildningen under vårflödena blir mindre och att grundvattennivåerna därmed inte blir lika höga under våren–försommaren.. Dessutom kan stigande temperatur också göra att avdunstningen blir större längre in på hösten. Detta medför en mindre grundvattenbildning under denna tid på året jämfört med dagens situation, vilket gör att den period under vilken grundvattennivåerna avsänks, s.k. recession, blir längre med lägre nivåer under hösten som följd.

Till denna rapport skapades månadsmedelkurvor för varje station som baserades på modellens månadsmedelnivåer beräknade ur data från de använda klimatscenarierna. Dessa gjordes för de två 30-årsperioder som var den första respektive sista i de modellerade serierna, perioden 1961-1990 och perioden 2071-2100. Dessutom gjordes kurvor för nivåskillnaden mellan de olika perioderna. Nedan presenteras resultat av modellberäkningar från 4 av de 14 studerade stationerna från SGUs grundvattennät (32022 Åsele, 23021 Tärnsjö, 7009 Böda och 72024 Ronneby; figur 11-14). Resultat från resterande stationer återfinns i bilaga 2.

Åsele (32022) – Inre Norrland

I figur 11 är månadsmedelnivåerna för station 32022 (Åsele – inre Norrland) i SGUs grundvattennät uppritad. I serierna för perioden 1961-1990 är de lägsta nivåerna under slutet av mars till början av april och de högsta nivåerna under slutet av juni. Dessutom är nivåökningen liten under november månad då nederbörden fortfarande faller som regn och avdunstningen är förhållandevis liten. Under perioden 2071-2100 är den största och tydligaste skillnaden under våren. På grund av faktorer såsom mildare vintrar smälter snön

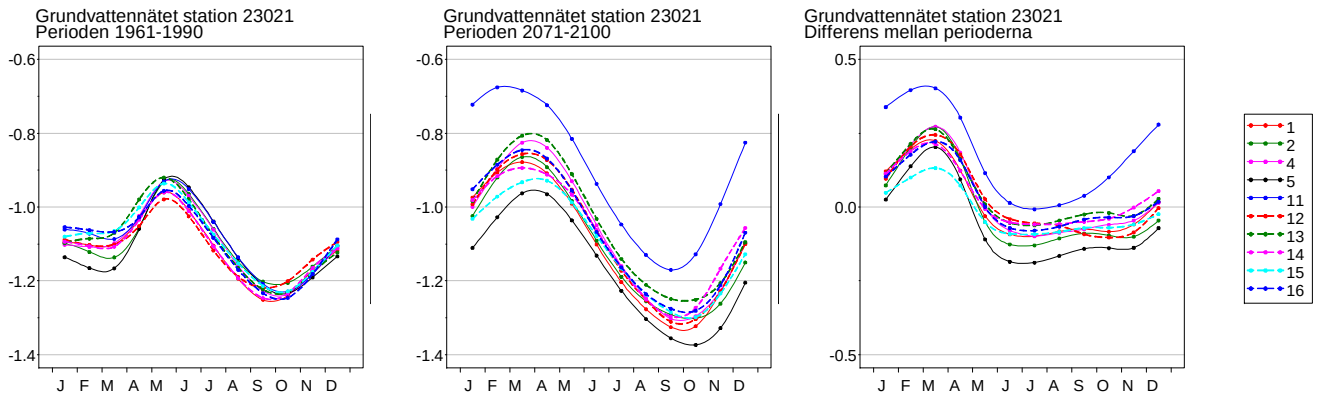
tidigare vilket medför att grundvattennivåerna når de högsta nivåerna tidigare på våren, mitten till slutet av maj. De lägsta nivåerna för året blir för flera av klimatscenarierna på hösten istället för på vårvintern vilket är en följd av att snösmältningen kommer igång tidigare och på att perioden under vilken det inte sker någon grundvattenbildning på sommaren härmed blir längre och att nivåerna därmed hinner sjunka mer. Under vintern blir däremot perioden utan grundvattenbildning kortare och grundvattennivåerna hinner därför inte sjunka lika mycket som under den tidigare periodens klimatförhållanden. Detta går att se i figur 11 där nivåskillnaden mellan perioderna är uppritade. Under våren är nivåerna i de framtida klimatscenarierna högre än dagens och under sommaren och en bit in på hösten är nivåerna något under.



Figur 11. Månadsmedelvärden för station 32022 (Åsele). Figuren till vänster representerar månadsmedelnivåerna för perioden 1961–1990, figuren i mitten representerar perioden 2071–2100 och figuren till höger representerar skillnaden mellan dessa perioder.

Tärnsjö (23021) – Norra Svealand

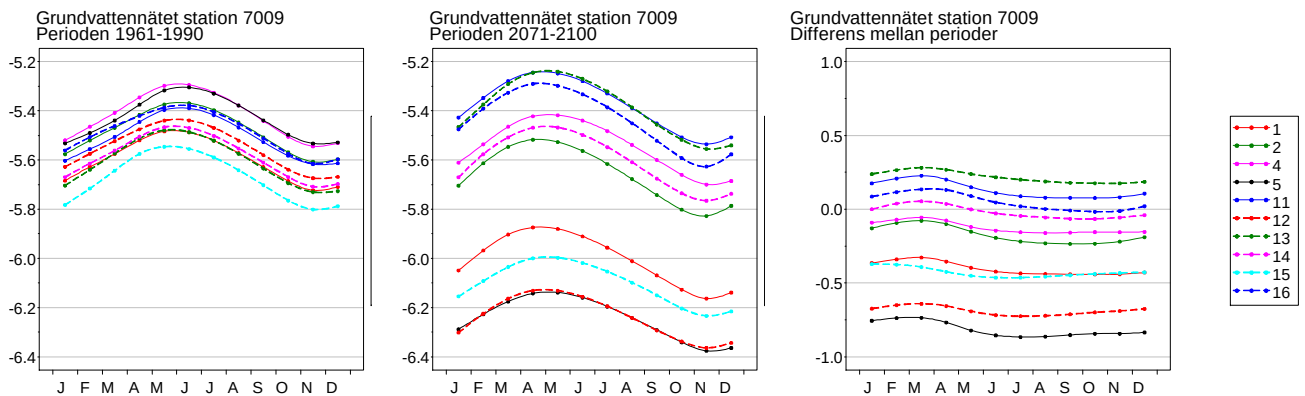
För station 23021 (Tärnsjö – norra Svealand) ser månadsmedelkurvan ut på ett något annorlunda sätt än för station 32022 (Åsele – inre Norrland). Här inträffar de beräknade framtida maximala grundvattennivåerna tidigare på våren och skillnaderna mellan de högsta och lägsta nivåerna är mindre (figur 12). Att de maximala nivåerna är tidigare på våren beror på att station 23021 (Tärnsjö) ligger längre söderut jämfört med 32022 (Åsele) och snösmältningen kommer därför igång tidigare. Att nivåamplituden är mindre för station 23021 (Tärnsjö) beror till stor del på att tillförseln av vatten vid framförallt snösmältningen är mindre här. Dessutom kan Tärnsjöstationen bedömas stå i ett något större grundvattenmagasin vilket har en dämpande effekt på nivåförändringarna och därmed nivåamplituden. Jämför man dagens nivåer med framtidens för Tärnsjöstationen ser man dock ett liknande mönster som för station 32022 (Åsele), med förhöjda nivåer på våren och något sänkta nivåer under resterande del av året. Förklaringen kan anses vara liknande som för Åselestationen.



Figur 12. Månadsmedelvärden för station 23021 (Tärnsjö). Figuren till vänster representerar månadsmedelnivåerna för perioden 1961–1990, figuren i mitten representerar perioden 2071–2100 och figuren till höger representerar skillnaden mellan dessa perioder.

Böda (7009) – Öland

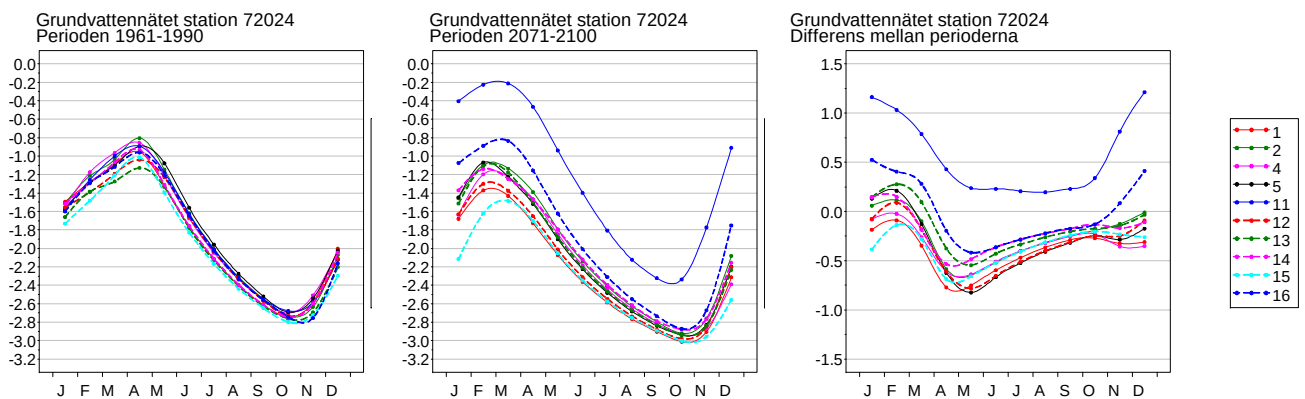
För station 7009 (Böda – Öland), med små nivåvariationer över året, är skillnaden mellan dagens nivåer och framtidens mycket varierande beroende på vilket klimatscenario man jämför med. Några av dessa visar på förhöjda nivåer i framtiden men en viss övervikt av scenarierna visar dock sänkta nivåer (figur 13, högra bilden). Likt ovan studerade stationer kan de högsta nivåerna även här förväntas komma tidigare på våren i framtiden jämfört med dagens situation.



Figur 13. Månadsmedelvärden för station 7009 (Böda). Figuren till vänster representerar månadsmedelnivåerna för perioden 1961–1990, figuren i mitten representerar perioden 2071–2100 och figuren till höger representerar skillnaden mellan dessa perioder.

Ronneby (72024) – Södra Götaland

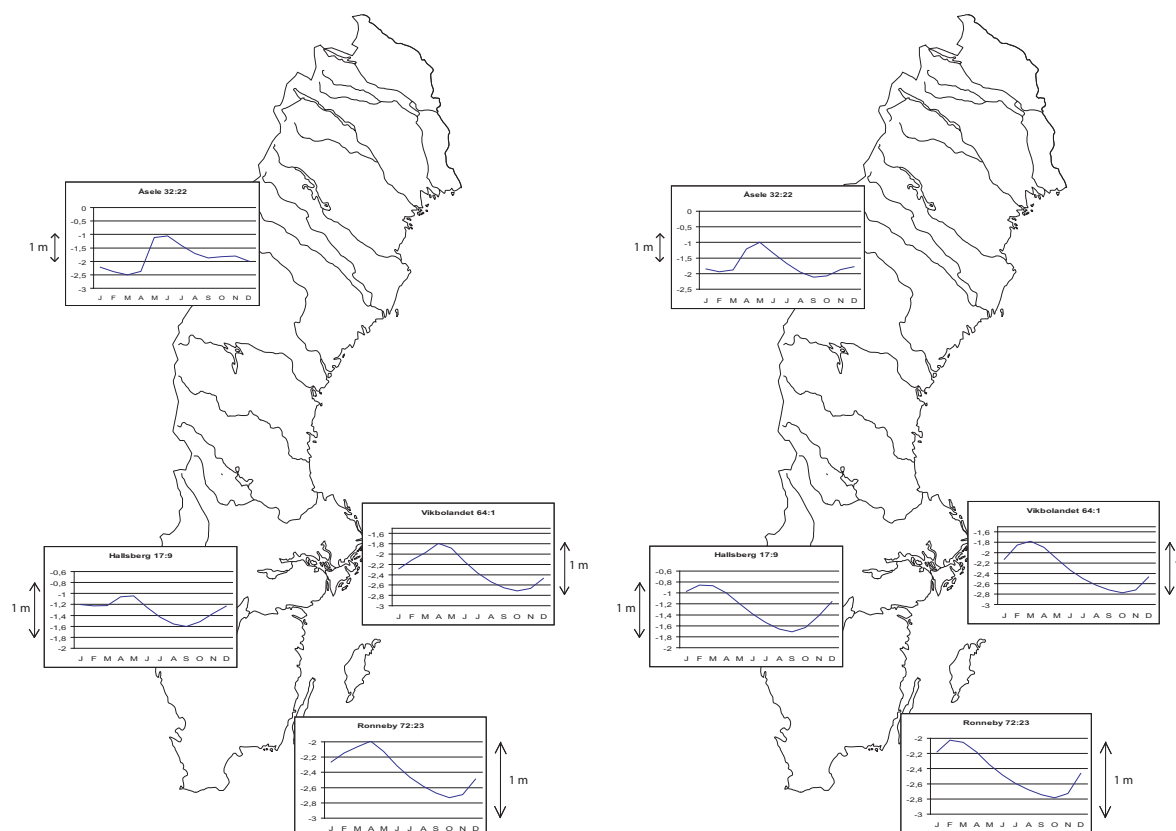
Månadsmedelnivåerna för station 72024 (Ronneby – sydöstra Götaland) har tydliga nivåvariationer med höga nivåer under våren följt av ett konstant avsänkningsförlopp fram till slutet av hösten i dagens klimat. Det följs sedan av höjda nivåer under november och december (figur 14, vänster). Detta mönster gäller även framtidens klimat med den skillnaden att de högsta nivåerna på våren inträffar tidigare. Till följd av detta hamnar nivåerna i framtiden för de flesta scenarierna under dagens en större del av året, endast under en kort period i början av året är nivåerna ungefär lika för de jämförda perioderna.



Figur 14. Månadsmedelvärden för station 72024 (Ronneby). Figuren till vänster representerar månadsmedelnivåerna för perioden 1961–1990, figuren i mitten representerar perioden 2071–2100 och figuren till höger representerar skillnaden mellan dessa perioder.

Framtida regimkarta

För att göra en regimkarta för framtida grundvattennivåvariationer över Sverige likt den som används idag (Figur 1), krävs ett större resultatunderlag än det som tagits fram i denna studie. Men genom att välja några av de studerade stationerna och jämföra dessa på en karta över Sverige kan man få en bild av hur regimerna kan förändras i framtiden (Figur 15). Stationerna som jämförs i figuren är Åsele (32022), Vikbolandet (64001), Hallsberg (17009) och Ronneby (72023).



Nuvarande grundvattenregimer (1961–1990) Framtida grundvattenregimer (2071–2100)

Figur 15. Förändring i grundvattenregimer i små grundvattenmagasin där nuvarande och framtida grundvattenregimer är beräknade ur medelvärdet av samtliga klimatscenariers månadsmedelnivåer för gällande tidsperioder.

Klimatförändringar kan påverka grundvattennivåerna på olika sätt.

- Ökad nederbörd ger ökad grundvattenbildning i större delen av landet. I de större grundvattenmagasinen, dvs. sand- och grusåsarna, skulle grundvattennivåerna kunna stiga med någon eller några 10-tals cm. I de sydöstra delarna av landet kan däremot grundvattennivåerna sjunka på grund av en minskad grundvattenbildning. I denna region är grundvattenbildningen liten redan idag.
- Högre grundvattennivåer under början på året eftersom nederbörd faller som regn istället för som snö.
- Tidigare snösmältning ger höga nivåer tidigare på våren vilket leder till att av-sänkingsperioden fram till höstregnen blir längre. Detta medför att grundvattennivåerna under sommar och tidig höst kan bli lägre.
- Under årets sista månader är nivåerna ofta oförändrade i framtiden, trots att nivåerna tidigare under hösten ligger under dagens nivåer. Den nederbörd som idag kommer i form av tidig snö kommer istället i form av regn och kan därför bidra till att grundvattennivåerna stiger.

GRUNDVATTENKVALITET VID ETT FÖRÄNDRAT KLIMAT

Grundvattnet utgör ofta en god råvara för dricksvattenproduktion, ibland så bra att det kan användas utan föregående rening. Den naturliga grundvattenkvaliteten är till stor del beroende av de processer som sker i rotzonen och i den underliggande omättade zonen och som påverkar vattnets sammansättning. I rotzonen äger en rad processer rum. Näringsämnen omsätts, jonbytesprocesser och vittring kan vara intensiva och ett gasutbyte med atmosfären kan ske.

På vattnets väg genom rotzonen och vidare ned i den omättade zonen genom jordlager eller berggrunden filtreras och renas vattnet. Många av markprocesserna fortsätter i grundvattenzonen men är ofta mindre effektiva. I grundvattnet kommer också andra processer, t.ex. redoxprocesser till. Hur lång uppehållstiden är från det att vattnet infiltrerar vid markytan tills det når uttagsbrunnen är avgörande för vattnets kvalitet.

Några viktiga förändringar i vattnets kvalitet från att det infiltrerat genom markytan tills det bildar grundvatten är:

- Turbiditeten (grumligheten) minskas genom olika filtreringseffekter.
- Totala salthalten ökar med uppehållstiden, främst orsakat av ökning av kalcium och bikarbonat (alkalinitet).
- Halten organisk substans minskar med uppehållstidens längd.
- Syrehalten minskar successivt i samband med nedbrytning av organisk substans.
- Vid syrebrist går järn och mangan i lösning.
- Filtrering genom jordlagren gör att de vanliga heterotrofa och koliforma bakterierna adsorberas och filtreras bort nära nog fullständigt. Denna process är inte lika effektiv i sprickzoner i berg, men ofta har vattnet passerat ett marklager innan det når berggrunden.

Andra ämnen som kan lösas till grundvattnet är exempelvis fluor, radon, m.m. beroende på innehåll i den geologiska formationen och grundvattnets uppehållstid.

Svavelväte kan bildas i samband med reduktion av sulfat vid syrebrist. Huruvida detta sker beror av halten av organiskt material respektive sulfat och uppehållstiden.

Förändringar av faktorer som temperatur och nederbörd kommer att i olika hög grad påverka dessa processer. Det finns stora naturliga regionala och lokala skillnader i grundvattnets kemiska sammansättning både i jordlager och i berggrunden. Det är uppenbart att en kommande klimatförändring kommer att förändra grundvattnets kemiska sammansättning. Hur, och i vilken grad, kan dock för närvarande inte förutsägas utan bättre kunskap om grundvattnets naturliga kemiska variationer i olika skalor och geologiska miljöer.

Till denna osäkerhet kan läggas att det ändrade klimatet med all säkerhet kommer att innebära att markanvändningen förändras. Eftersom markanvändningen påverkar grundvattenkvaliteten kommer sådana förskjutningar ge en påverkan.

Längre växtsäsong innebär att nya grödor kan vara möjliga att odla vilket kan ge förändrat näringsläckage och att andra bekämpningsmedel behöver användas. Det kan också bli aktuellt med ett intensivare jordbruk med flera skördar per år. Detta kan vara positivt om det innebär att marken är beväxt under längre tid eftersom detta minskar näringsläckaget. Denna effekt motverkas emellertid av ökad markbearbetning och ökad användning av bekämpningsmedel.

Det kan förutsättas att dessa förändringar kommer bli olika i områden med olika odlingsförutsättningar och klimat. Översikter av olika effekter av ett ändrat klimat på påverkan från jordbruk har bl.a. sammanställts för England respektive ett område i Canada (Boxall m.fl. 2009, Bloomfield m.fl. 2006 och Savard m.fl. 2007). Inom det svenska jordbruket beräknas användningen av bekämpningsmedel behöva öka även med dagens gröddfördelning. Ett varmare och fuktigare klimat innebär framförallt ett större behov av insekticider som har beräknats öka med 54 % och fungicider som beräknas öka med 42 %. Även herbiciderna, som idag står för de största mängderna, beräknas öka, fast i mindre omfattning, 22 % (Wivstad 2010).

En annan aspekt är att ändrade förhållanden också kan mobilisera föroreningar i marken eller påverka tekniska system och anläggningar vilket kan medföra grundvattenpåverkan. Exempel på det senare kan vara att enskilda avloppsanläggningar översvämmas vid förhöjd grundvattenyta eller att markförlagda oljetankar skadas. Förändrade strömningsriktningar under torrperioder misstänks kunna ge upphov till ökad avloppspåverkan på enskilda brunnar från infiltrationsanläggningar för avlopp. Risken är också större vid torrperioder för att grundvattenuttag i kustområden och områden med relik salt kan ge höga salthalter i brunnsvattnet. Ändrade grundvattenströmningsriktningar vid kontakt med ytvatten kan också ge märkbara effekter på grundvattenkvaliteten. Förändringar som har att göra med flödesregimer och sambandet mellan yt- och grundvatten har belysts med utgångspunkt från förhållandena i norra Finland (Okkonen m.fl. 2010).

Betydelsen för grundvatten som dricksvatten

Drygt 6 % av Sveriges kommunala vattentäkter i jord löper risk att ställas under vatten vid översvämning (Ojala m.fl. 2006). Vid stora översvämningar är risken påtaglig för att förorenat översvämningssvatten ska påverka viktiga kommunala dricksvattentäkter. Föroreningar kan till exempel komma från trafikerade vägar, förorenade markområden, översvämmade cisterner, olika avlopp och betesmark. I värsta fall kan en grundvattentäkt slås ut för lång tid av kemiska föroreningar.

I samband med kraftig nederbörd och översvämningar ökar också risken för att grundvattnet förorenas av vattenburen mikrobiologisk smitta. Föroreningen kan ske vid själva brunnen på grund av till exempel dåliga foderrör, men risken ökar också för att smitta kan nå grundvattnet. Brunnar som försörjs av ytligt grundvatten eller grundvatten med korta uppehållstider är speciellt känsliga.

Ett ökat uttag av grundvatten för dricksvattenförsörjning kan förväntas i de fall ytvattenkvaliteten försämras vid en klimatförändring. Uttag av vatten för bevattning kan också komma att öka i vissa regioner där ett torrare sommarklimat förväntas. En höjning av havsytan kan ge betydande effekter dels på risken för saltvatteninträngning i brunnar men även öka behovet av grundvatten för dricksvattenförsörjning i den händelse att större ytvattenresurser skulle påverkas. Det är ännu inte helt klart vilken havsytehöjning som kan bli aktuell men SMHI har sammanställt de olika beräkningar som tagits fram efter att den senaste IPPC-rapporten som angav höjningarna till mellan 18–59 cm presenterades (IPCC 2007).

I IPCCs rapport hade inte dynamiska processer i samband med isflöden räknats in. Enligt SMHIs sammanställning så ger de senare utförda beräkningarna ett spann för höjningen av havsytan på mellan ungefär 55–120 cm globalt räknat från lite olika referensperioder (Bergström 2010). Enligt SMHI innebär detta att den högsta globala nivåhöjningen av havet

ligger strax under en meters höjning mellan 1990 och 2100 och motsvarande siffra för 2050 är omkring 30 cm.

Havsytehöjningen kompenseras i norra Sverige av landhöjningen. För närvarande är enligt SMHI havsytehöjningen, ca 0,3 mm per år, ungefär lika stor som landhöjningen i höjd med norra Gotland.

Klimatförändringar och extremväderlek med torrperioder eller översvämningar kan påverka grundvattenkvaliteten på många olika sätt. Här sammanfattas faktorer som nämnts i texten.

- Förändring av förhållanden i markytan och rotzonen, den underliggande omättade zonen och grundvattenzonen ger andra förutsättningar för olika markprocesser vilket kan påverka grundvattnets kvalitet.
- Förändringar i markanvändning är sannolikt av större betydelse för grundvattenkvaliteten än förskjutningar i naturliga markprocesser
- Inom jordbruket kan det varmare klimatet göra att odlingsperioderna blir längre och intensivare vilket kan medföra ett ökat behov av gödsling och användning av bekämpningsmedel. Det finns också ett ökat behov av bekämpningsmedel pga varmare och fuktigare förhållanden. Risker för läckage av näringsämnen och bekämpningsmedel kan öka.
- Ett ändrat vinterklimat kan i vissa delar av landet ge upphov till ökad vintervägsaltning medan behoven minskar i andra delar av landet.
- Mobilisering av markföroreningar vid höjda grundvattennivåer och ändrade flödesriktningar. Vid översvämning ökar risken för förorening av grundvattnet betydligt.
- Påverkan på tekniska system, avloppsanläggningar, markförlagda cisterner etc. kan innebära en föroreningsrisk för grundvattnet.
- Förändringar i grundvattnets flödesriktningar kan innebära att förorenat vatten rör sig mot vattentäkt. Detta gäller inte minst enskilda brunnar där kombinationen av låga grundvattennivåer och uttag ur brunnar och samtidig infiltration av avloppsvatten och därmed förhöjd grundvattennivå kan ge upphov till ny flödesriktning och förorening av dricksvattenbrunnar.
- Förändringar i utbytet mellan grundvatten och ytvatten kan innebära att höga ytvattenflöden och nivåer ger ett ökat inflöde av ytvatten i grundvattenmagasin
- Förändringar som beror på ökade vattenuttag kan ge nya strömningsriktningar och påverkan på vattenkvaliteten. Detta kan t.ex. gälla ökad saltvatteninträngning.
- Höjning av havsytenivå kan öka risken för saltvatteninträngning. Om havsnivån skulle stiga så pass mycket att t.ex. Mälaren påverkas kräver det en omställning av många större vattenförsörjningssystem.

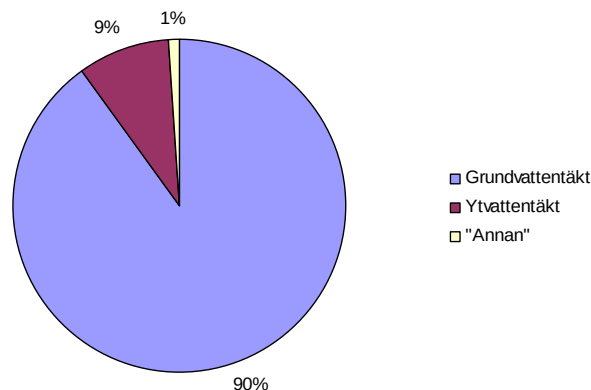
DRICKSVATTENFÖRSÖRJNINGEN VID ETT FÖRÄNDRAT KLIMAT

Dricksvattenförsörjningen idag

Allmänna vattentäkter

Vattenförsörjningen i Sverige kommer till ca 85 procent från allmänna, oftast kommunala vattenförsörjningsanläggningar. Drygt hälften av detta vatten kommer från ytvatten, en knapp fjärdedel kommer från grundvatten som är förstärkt med konstgjort infiltrerat ytvatten och den sista knappa fjärdedelen kommer från naturligt grundvatten. Med konstgjord infiltration av ytvatten menas att man pumpar upp vatten från ett vattendrag som man sedan låter infiltrera ned till grundvattnet, t.ex. i bassänger placerade uppe på större grusavlagringar. På detta sätt blir grundvattentillgångarna större och ytvattnet kan renas i den naturliga process som sker i dess väg ner genom marken.

Enligt den inrapportering som de flesta av landets kommuner gjort till SGUs Vattentäcksarkiv (DGV), är ca 90 % av samtliga inrapporterade vattentäkter grundvattentäkter och 9 % ytvattentäkter (figur 16).



Figur 16. Fördelning av vattentäkter mellan yt- och grundvatten, redovisat i procent utifrån de uppgifter som inrapporterats till Vattentäcksarkivet i december 2008 (Tunemar m.fl. 2009).

Ungefär 6 % av grundvattentäkterna har konstgjord infiltration. Ytvattentäkternas sammanlagda medeluttag är 1 770 000 m³/dygn jämfört med grundvattentäkternas som är 1 260 000 m³/dygn (tabell 7). Ungefär hälften av det totala uttaget av grundvatten (ca 630 000 m³/dygn) sker från grundvattentäkter med konstgjord infiltration trots att de endast utgör 6 % av det totala antalet grundvattentäkter (Tunemar m.fl. 2009).

Tabell 7. Sammanlagt medeluttag för ytvattentäkter och grundvattentäkter med och utan konstgjord infiltration.

Typ av vattentäkt	Medeluttag (m ³ /dygn)
Grundvatten utan konstgjord infiltration	630 000
Grundvatten med konstgjord infiltration	630 000
Ytvatten	1 770 000

Vattenkvaliteten i det vatten som distribueras från de kommunala vattentäkterna är vanligtvis god men det förekommer att råvattnet vid framförallt mindre vattentäkter påverkas av mikrobiella föroreningar från avlopps- eller gödselpåverkat råvatten (Lindberg & Lindqvist 2005). Vid vattenbehandlingen i vattenverket kan vattnet renas eller desinficeras så att det vatten som når konsumenten är tjänligt. Vid mindre grundvattenverk så distribueras dock vattnet ofta direkt varför dessa står för en stor del av antalet utbrott av vattenburen smitta. Även om reningen vid större vattenverk nästan alltid fungerar på avsett sätt så ger det en ökad säkerhet att så långt som möjligt kontrollera att råvattnets kvalitet eller brunnens tekniska skick inte innebär extra risk för förorening vid ett ändrat klimat eller extremväder. Detta bidrar även till att minska riskerna vid normal drift av vattenanläggningen idag.

Vid de större grundvattentäkter som infiltrerar ytvatten genom bassänginfiltration (grundvatten med konstgjord infiltration) så är den omättade zonens mäktighet av betydelse för att avskilja smittämnen (Engblom & Lundh 2006). En tillräckligt mäktig omättad zon är nödvändig för att skilja av virus. Vid inducerad infiltration, dvs. infiltration direkt från ett ytvatten till grundvattnet, saknas omättad zon varför det är extra viktigt att avståndet till uttagsbrunnar är tillräckligt långt så att inte uppehållstiden blir för kort för att smittämnen ska hinna reduceras.

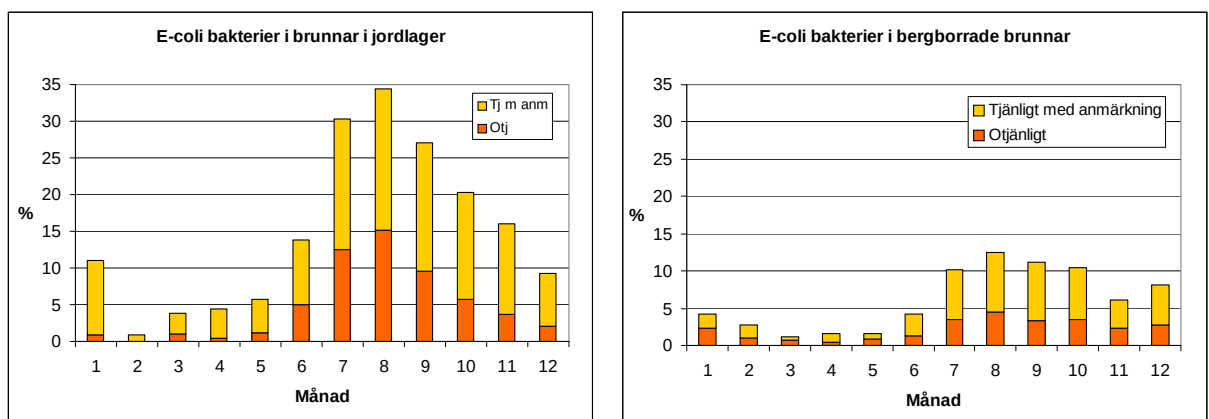
Enskilda vattentäkter

Cirka 1,2 miljoner människor har inte tillgång till kommunalt vatten vid sin permanentbostad utan använder vatten från egen brunn eller lokal gemensam anläggning. Ungefär lika många beräknas ha motsvarande vattenförsörjning vid fritidsbostad. Det har blivit alltmer vanligt med bergborrade brunnar och de flesta nya brunnarna är borrade. Knappt 2/3 av brunnarna vid permanentbostäder kan beräknas vara borrade (Socialstyrelsen & Karolinska institutet 2009). Det finns emellertid stora regionala skillnader. I bl.a. Skåne och i Norrlandslänen är det fortfarande relativt vanligt med brunnar i jordlager (Maxe 2007).

Vattenkvaliteten är dålig i många enskilda brunnar. De grävda brunnarna är främst utsatta för bakterier och även nitrat. De fåtaliga undersökningar som finns av bekämpningsmedel i brunnsvatten visar också att bekämpningsmedel något oftare detekteras i grävda brunnar än i djupare bergborrade brunnar. Bergborrade brunnar har oftare dålig kvalitet p.g.a. ämnen som kommer från jord och berggrund som fluorid, arsenik, radon, järn och mangan.

Ungefär 40 000 personer med egen brunn har vatten som är otjänligt och ca 70 000 personer har vatten som är tjänligt med anmärkning med avseende på *E. coli*-bakterier som indikerar påverkan av t.ex. avlopp. Siffran skulle bli ännu högre om fritidsboende inkluderades (Miljömålsrådet 2010).

Bakteriehalterna i såväl grävda som bergborrade brunnar är vanligtvis större under sommaren och hösten än under våren (figur 17). Detta kan delvis bero på att många under sommarhalvåret låter analysera vatten från brunnar vid sommarstugor där vattnet inte varit ordentligt omsatt eller där brunnarna är i sämre skick än brunnar som används vid permanent bostad. Men även om man endast beaktar brunnarna vid permanentbostäder är vattnet sämst på sommaren. Brunnar med förekomst av *E. coli*-bakterier i vattnet är ofta påverkade av avlopp. Påverkan blir ofta värre under vissa årstider och vädersituationer vilket indikerar att dessa brunnar även är känsliga för ett ändrat klimat. Det är också vanligt att vattnet innehåller koliforma bakterier och mikroorganismer som indikerar att brunnens övre delar är otät och att ytligt vatten kan tillföras. Även dessa brunnar kan förmodas vara känsliga för extremväder och ett ändrat klimat. En korrekt utförd brunn bör inte tillföras vatten från de ytligare marklagren.



Figur 17. *E. coli*-bakterier i enskilda brunnar enligt uppgifter i SGUs Kemiarkiv. Baserat på analyser från 3819 brunnar i jordlager och 8561 bergborrade brunnar.

Vattenförsörjningsplaner – viktiga för klimatsäkrad vattenförsörjning

För att säkerställa en hållbar användning av de nuvarande eller framtida dricksvattenresurserna, såsom sjöar och grundvattentillgångar, är det viktigt att dessa på något sätt kan skyddas. Av de kommunala grundvattentäkterna saknar över en tredjedel ett skyddsområde (Miljömålsrådet 2010). Framförallt gäller det små vattentäkter. Andelen uttaget vatten som har skydd utgör därför cirka 92 procent. Knappt en tredjedel av det distribuerade vattnet kommer från vattentäkter där skyddet infördes före 1980. Det kan då finnas behov av att se över vattenskyddsområdets avgränsning och föreskrifter.

Vid ett förändrat klimat kan de resurser som finns idag försämrats både kvantitativt och kvalitativt. Genom införande av vattenförsörjningsplaner kan kommuner och länsstyrelser få en samlad överblick av de vattenförekomster (yt- och grundvatten) som behövs och kan behövas för en långsiktig hållbar dricksvattenförsörjning för ett område, även med hänsyn till ett förändrat klimat. Syftet med en vattenförsörjningsplan är att säkra dricksvattenförsörjningen för ett område på lång sikt och i enlighet med miljömålsunderlagen för *Grundvatten av god kvalitet* och *Levande sjöar och vattendrag*. Många kommuner saknar fortfarande plan eller

program för dricksvattenförsörjningen. Även de befintliga planerna har i många kommuner brister. SGU har därför tagit fram riktlinjer för vad som bör ingå i vattenförsörjningsplanen (Blad m.fl. 2010).

En vattenförsörjningsplan kan vara regional eller kommunal. Den regionala vattenförsörjningsplanen skall försöka vara så heltäckande som möjligt över ett helt län men också över länsgränserna. I den bör alla kända ytvattenförekomster och grundvattenmagasin vara med och en översiktlig beskrivning av behovet idag och i framtiden, baserad på t.ex. tätorters lokalisering. Den kommunala vattenförsörjningsplanen är en mer detaljerad plan som omfattar bl.a. en mer ingående beskrivning av hur vattentillgångarna ser ut i kommunen och hur de skall kunna användas ur ett flergenerationsperspektiv. Minst lika viktigt är också att belysa bristområden för att visa på de områdena där vattenresurser saknas inom kommunen. Vattenförsörjningsplanen bör även inbegripa den enskilda vattenförsörjningen.

Pågående arbete för klimatsäkrad vattenförsörjning

För att vattenförsörjningen skall kunna klaras vid ett förändrat klimat krävs att både kommuner och länsstyrelser engagerar sig i frågorna och ser över de risker som klimatiförändringar kan medföra för vattenförsörjningen. Har man undersökt om det finns risk för att föroreningar tränger ner i grundvattnet vid översvämningar? Finns det vattenskyddsområden till varje vattentäkt och finns det reservvattentäkter om den ordinarie vattentäkten inte längre går att använda?

Skåne län är ett exempel på där klimatanpassningsarbetet har påbörjats både på regional samt lokal nivå. I en undersökning av Lörmyr (2010) visade det sig att klimatanpassningsarbetet skiljer sig väldigt mellan kommunerna. Flera kommuner inom länet ligger långt fram i detta arbete där Malmö, Båstad och Kristianstad är några exempel. En anledning till detta kan vara att dessa kommuner redan fått känna av konsekvenser till följd av klimatiförändringarna. I t.ex. Kristianstad är hotet för översvämningar det största problemet. En översvämning 2002 höll på att leda till en katastrof i de centrala delarna av staden och stora områden i kommunen ligger omkring två meter under havsytan. Kommunen gränsar till hav och består av många sjöar, åar och våtmarker. Skånes största vattendrag Helge å rinner igenom kommunen. Till skillnad mot nämnda kommuner finns det andra kommuner i Skåne län där arbetet inte alls kommit lika långt. Det finns till exempel inte reservvattentäkter till samtliga huvudvattentäkter i 25 av kommunerna.

I Västra Götalands län bedrevs 2006 ett projekt där man utarbetade råd för hur man kan genomföra en vattenförsörjningsplan (Länsstyrelsen i Västra Götalands län 2006). Denna skickades sedan ut till samtliga kommuner i länet och i slutet av 2009 hade tre av länets kommuner; Falköping, Härryda och Mark fastställt vattenförsörjningsplaner (Länsstyrelsen i Västra Götalands län 2010) samt att flera andra påbörjat arbetet med vattenförsörjningsplaner.

Ovan omnämns endast några län och kommuner som exempel på där arbetet för en klimatsäkrad vattenförsörjning idag sker. Andra län som i sammanhanget kan nämnas är Dalarnas och Västerbottens län, där regionala och lokala vattenförsörjningsplaner har och håller på att tas fram.

Klimatförändringar kan kräva bl.a. följande åtgärder för att trygga vattenförsörjningen. Många av dessa åtgärder förbättrar även säkerheten vid dagens klimat, t.ex. i händelse av extremväder

- Ta fram vattenförsörjningsplan som bl. a. visar hur enskild och kommunal vattenförsörjning behöver anpassas för att trygga den framtida vattenförsörjningen.
- Se över om vattenskyddsområden behöver uppdateras för att säkerställa vattenförsörjning vid ändrat klimat.
- Inventera risker inom vattenskyddsområdet som kan utlösas vid ändrat klimat och extremväderssituationer. Beakta även om avloppshanteringen kan ge problem.
- Se till att ytligt vatten inte kan rinna ner i kommunens vattentäkter vid normalförhållanden eller vid översvämning. Det kan t.ex. vara möjligt att förhöja brunnsrör.
- Kontrollera den omättade zonens mäktighet vid bassänginfiltration och överväg om det finns behov av att öka den omättade zonens mäktighet t.ex. genom ändrad beskickning.
- Bedöm för vattentäkter med inducerad infiltration om högre vattenstånd i vattendraget skulle kunna innebära att transporttiden till uttagsbrunnar blir för kort. Överväg om situationen kan förbättras genom anläggande av fler uttagsbrunnar på större avstånd från strandkanten.
- Se till att kommunen har en adekvat reservvattenförsörjning som fungerar även vid extremväderssituationer.
- I områden med vattenbrist bör kommuner tillämpa restriktioner vid inrättandet av nya vattentäkter samt införa anmälningsplikt för redan befintliga vattentäkter.
- Vid nya anläggningar för enskilda avlopp bör säkerställas att dricksvattenbrunnar inte kontamineras. Särskilt bör beaktas att avståndet mellan infiltrationsytan och grundvattenytan vid avloppsinfiltration är tillräckligt stort även vid maximala grundvattennivåer. Risken för andra flödesvägar vid torrperioder bör också uppmärksammas.
- Många enskilda brunnar är redan idag kontaminerade av avlopp. Dessa brunnar och avloppsanläggningar bör åtgärdas.

DISKUSSION

I denna rapport har information om nederbörd och temperatur från 10 klimatscenarier använts som indata i GRV-modellen med vilken grundvattennivåer modellerats för 14 stationer i SGUs grundvattennät. Stationerna är utvalda för att ge en bra geografisk spridning i landet och även representera olika typer av grundvattenmagasin (stora och små). För att göra en jämförelse inom varje station har dels månadsmedelnivåer för varje station skapats med indata från samtliga klimatscenarier och, dels s.k. varaktighetskurvor där den kumulativa fördelningen av beräknade grundvattennivåer som förekommer under en viss period illustreras. Genom att studera dessa två typer av figurer för skilda tidsperioder, kan en bedömning göras om det sker någon förändring av grundvattennivåerna. I denna rapport jämförs tidsperioderna 1961–1990 och 2071–2100.

Resultaten på beräknade grundvattennivåerna i framtiden inom varje station, skiljer sig i de flesta fall åt mellan de klimatscenarierna som används. Detta kan sägas ha sin förklaring i osäkerheten i den kunskap som idag finns om vad som påverkar vårt klimat. För samtliga klimatscenarier, förutom ett, är utsläppsscenarierna desamma. Skillnaderna mellan klimatscenarier bedöms istället ha sin förklaring i de modellformuleringar och olika antaganden som gjorts för varje scenario.

För i stort sett samtliga studerade stationer kan en höjning av grundvattennivåerna urskiljas i månadsmedelkurvorna i början av året. Här finns dock en förhållandevis stor skillnad mellan de modellerade nivåerna i norra och södra Sverige. I norr är nivåökningarna större under de första månaderna på året (t.ex. 32022 (Åsele)) jämfört med södra Sverige (t.ex. 72024 (Ronneby)). Under den resterande delen av året är skillnaderna svårare att se. Tendenser finns dock för samtliga studerade stationer att nivåerna under perioden maj till slutet av oktober ligger något lägre i framtiden och att nivåerna under slutet av året är något förhöjda. En orsak till högre grundvattennivåer tidigare på året kan vara en tidigare snösmältning. Att nivåerna under perioden maj till slutet av oktober ligger lägre i framtiden kan förklaras med att grundvattnets avsänkning börjar tidigare på året och därmed pågår under en längre period. Under årets sista månader där nivåerna ofta är oförändrade i framtiden, trots att nivåerna under sensommaren och hösten ligger under dagens nivåer beroende på att den nederbörd som idag kommer i form av snö istället kommer i form av regn och därmed ger möjlighet till grundvattenbildning längre in på hösten med stigande grundvattennivåer som följd.

Vid en jämförelse mellan dagens regimönster och framtidens, kunde en viss förändring observeras för framförallt två av stationerna, 32022 (Åsele) och 17009 (Hallsberg) (figur 15). För 32022 påbörjas en avsänkning av grundvattennivåerna under slutet av november för perioden 1961–1990. De framtida nivåförändringarna, 2071–2100, saknar denna nivåavsänkning vid denna tid på året och har istället en svag höjning av grundvattennivåerna. För station 17009 (Hallsberg) sker det en långsam nivåavsänkning under januari – mars för perioden 1961–1990. I framtiden sker under denna tid på året istället en nivåökning. För övriga stationer kunde förändringar i nivåmönstret endast ses i form av en förskjutning av perioder med ökande och sjunkande grundvattennivåer. Resultaten för stationerna i denna studie ger en indikation på hur dagens regionala grundvattenregimer kan komma att förändras i framtiden, det går inte att dra några slutsatser om hur gränserna för de 4 områdena som Sverige idag delas in i kan komma att ändras. För att få en mer heltäckande bild av detta krävs att regimer tas fram för fler stationer.

För att studera om de högsta och lägsta nivåerna inte bara kommer att inträffa under andra perioder på året utan även kommer förändras så till vida att de högsta nivåerna blir högre och/eller att de lägsta nivåerna blir lägre eller tvärtom samt hur stor andel av de olika grundvattennivåerna som kan komma att bli högre/lägre, skapades varaktighetskurvor. Resultaten från de analyserade stationerna varierar men förändringarna av de högsta och lägsta nivåerna är för de allra flesta förhållandevis små. En förklaring till detta kan vara, precis som för månadsmedelnivån, att den nederbörd som idag faller som snö men som i framtiden faller som regn, gör att de kraftigt förhöjda grundvattennivåer som inträffar under vårmånaderna i dagens klimat kommer vara mindre. Däremot finns skillnader i grundvattennivåerna för de flesta stationerna mellan extremnivåerna, ibland uppemot 0,5 meter. För t.ex. station 72024 (Ronneby), som ligger i sydöstra Sverige, var förändringen nivåerna för dagens extremvärden och framtidens i stort sett oförändrade men där nivåerna i övrigt sjönk med ca 0,2 meter.

De förändringar i grundvattennivåer som enligt dessa beräkningar förväntas är dock relativt måttliga. Det är SGUs bedömning att förändringar av grundvattennivåer och därmed av den omättade och mättade zonens respektive mäktighet av den storleksordning som beräkningarna anger inte bör medföra sådana förskjutningar av grundvattnets *naturliga kvalitet* att den allmänna vattenförsörjningen försvåras. Högre temperatur kan bl.a. ge en ökad omsättning av näringsämnen och lägre syrehalt till det genom den omättade zonen perkolerande vattnet. Förändringar som dessa kan ge iakttagbara skillnader i grundvattenkvalitet men är sannolikt inte heller av stor betydelse för vattenförsörjningen. Förskjutningar av grundvattnets kvalitet som beror på ändringar i grundvattennivå eller förändrade markprocesser är sannolikt av större betydelse för ytvattensystemen som framförallt försörjs av ett ytligt avrinnande grundvatten än för det djupare grundvatten som används för vattenförsörjning. Högre flöden och förhöjda grundvattennivåer ökar risken att humusämnen, näringsämnen och metaller, bland annat kvicksilver, transporteras med ytligt grundvatten till ytvattnet.

Minskning av den mättade zonens mäktighet med någon eller några få decimeter under sommar respektive tidig höst kommer att innebära att grundvattentillgången blir något mindre under torrperioder. Vattentäkter som baserar sin grundvattenbildning på nederbörd är av naturliga skäl känsliga för långa torrperioder, speciellt grunda brunnar med små tillrinningsområden kan få vattenbrist. Detta kan vara av betydelse för kommunala vattentäkter som redan idag har kapacitetsproblem. Detta gäller givetvis även enskilda vattentäkter som har ont om vatten under torra somrar idag.

Under våta perioder kommer en högre grundvattennivå kunna innebära ökad risk för nedträngning av ytligt vatten i dåliga brunnar. Hur brunnen är placerad i terrängen och hur brunnsöverbyggnaden är utförd är många gånger avgörande för i vilken omfattning brunnen tål extrem nederbörd utan att påverkas av inläckage av ytligt vatten. Det är inte ovanligt att vattensamlingar, som exempelvis uppstått i samband med skyfall, kan söka sig mot en brunn och genom att "sippra" ned längs brunnsröret utsida ganska snabbt nå ner till grundvattnet. Om exempelvis avföring från djur finns i dessa vattensamlingar kan i värsta fall vattenburen smitta uppstå.

För vattentäkter som har sin grundvattenbildning enbart från nederbörd brukar en påverkan från kraftiga regnperioder synas genom högre halter av organiskt material och ibland högre järn- och manganhalter. Speciellt gäller detta för bergborrade brunnar i områden med tunna jordlager. Mycket regnvatten tar sig snabbt genom ytskiktet ned i bergets spricksystem och påverkar där vattenkvaliteten. Sker det alltför snabbt och i för stor omfattning kan en mikrobiologisk påverkan också ske.

Inom såväl den allmänna som enskilda vattenförsörjningen finns anledning redan idag att förbättra dåliga brunnar så att inte ytligt vatten kan tränga ner. Brunnar som uppvisar kvalitetsvariationer som kan kopplas till våta eller torra perioder kan betraktas som särskilt sårbara för ett förändrat klimat. Vid många vattenverk pågår ett aktivt riskminskningsarbete och kunskap om orsaken till eventuella variationer i råvattenkvaliteten är viktig för att tillse att inga onödiga risker kopplade t.ex. till vattentäktens tekniska utförande finns.

Klimatförändringarnas största betydelse för vattenförsörjningen kan bedömas vara kopplade till extremvädersituationer som ger översvämning eller påverkar grundvattnets strömningsriktning. Förändrad markanvändning kan också innebära nya risker för grundvattnets kvalitet.

Av avgörande betydelse för vattenförsörjningen är också havsyttans framtida utveckling. Kraftigt höjda havsvattennivåer förstärker inte enbart problematiken kring saltvatteninträngning i kustområden men kan även helt förändra förutsättningarna för t.ex. Storstockholms vattenförsörjning i ett längre tidsperspektiv. Även om det fortfarande råder viss osäkerhet om den globala havsytehöjning storlek bör konsekvenserna för Sveriges del vad avser bl.a. vattenförsörjning utredas. I arbetet med att ta fram kommunala och regionala vattenförsörjningsplaner kan tills vidare en maximal havsnivåhöjning med 1 m fram till 2100 (räknat från referensåret 1990) användas. Detta värde kan behöva justeras när ny, säkrare information kommer fram. I de regionala planerna kan det också finnas anledning att överväga om det finns behov av att planera även för ytterligt mycket högre nivåer, t.ex. de maximalt 2–4 m till 2200 som angivits av den holländska Deltakommittén (2008).

Denna studie har tagit fram en användbar metod för att förfina arbetet med regimer som ett viktigt stöd för vattenplanering. Uppdateringar gällande detta kan göras efterhand som underlag, såsom klimatscenarier och grundvattnenivåmodeller, förbättras. Den framtagna metodiken kan således komma att användas i uppföljningen av klimatförändringars effekter på grundvattnet inom miljömålsarbetet.

REFERENSER

Bergström S. (1976) Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. SMHI Reports RHO, No. 7, Norrköping.

Bergström, S. (2010). Uppdaterad information om havets framtida nivåer. PM 2010-02-26. SMHI.

Blad L., Maxe L. & Källgården J. (2010) Vattenförsörjningsplan – Identifiering av vattenresurser viktiga för dricksvattenförsörjning. SGU-rapport 2009:24.
http://www.sgu.se/dokument/service_sgu_publ/SGU-rapport_2009-24.pdf

Bloomfield J.P. Williams R.J., Goody D.C., Cape J.N. & Guha P. (2006) Impacts of climate change on the fate and behaviour of pesticides in surface and groundwater – a UK perspective. Science of the Total Environment 369 (2006) 163-177.

Boxall A.B.A. m.fl. (2009) Impacts of Climate Change on Indirect Human Exposure to Pathogens and Chemicals from Agriculture. Environmental Health Perspectives. Vol 117. No 4. 508-514.

Deltacommissie (2008) Working together with water - A living land builds for its future Findings of the Deltacommissie 2008. www.deltacommissie.com/doc/summary.pdf

Engblom K. & Lundh M. (2006) Mikrobiologisk barriärverkan vid konstgjord grundvattenbildning – en litteraturstudie om påverkande faktorer. VA-Forskrapport 2006-10.

Graham L.P., Hagemann S., Jaun S. & Benston M. (2007) On interpreting hydrological change from regional climate models. Climate Change 81:97-122.

IPCC (2007) IPCC Working Group I Fourth Assessment Report Summary for Policymakers (SPM), http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/docs/WG1AR4_SPM_Approved_05Feb.pdf

IPCC (2007b) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

Johansson B. (2002) Estimation of areal precipitation for hydrological modelling in Sweden. Earth Science Centre, Department of Physical Geography, Göteborg University. Doctoral Thesis A76.

Knutsson G. & Fagerlind T. (1977) Grundvattentillgångar i Sverige. SGU rapporter och meddelanden nr 9.

Lindberg T. & Lindqvist R. (2005) Riskprofil – Dricksvatten och mikrobiologiska risker. Livsmedelsverket Rapport 28 – 2005.

http://www.slv.se/upload/dokument/rapporter/dricksvatten/dricksvattenrapp_05/2005_28_Livsmedelsverket_Dricksvatten_och_mikrobiologiska_risker.pdf

Lindström G., Johansson B., Persson M., Gardelin M. & Bergström S. (1997) Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model, Journal of Hydrology, Vol. 201, 272-288.

Länsstyrelsen i Västra Götalands län (2006) Vattenförsörjningsplaner – innebörd och innehåll. Länsstyrelsen Västra Götalands län, Rapport nr 2006:99.

http://www.lansstyrelsen.se/vastragotaland/Publikationer/Rapporter/2006/2006_99.htm

Länsstyrelsen i Västra Götalands län (2010)

<http://www.lst.se/vastragotaland/amnen/Vattenvard/Vattenforsorjningsplaner/index.htm>, 2010-04-28

Lörmyr L. (2010) Skånes grundvattenresurser ur ett klimatperspektiv. Länsstyrelsen i Skåne rapport 2010:2. http://www.lansstyrelsen.se/NR/rdonlyres/EA55246E-D0A0-45E8-89AF-09FEA3EA8D62/167049/Sk%C3%A5nesgrundvattenresurserurklimatperspektiv_201002.pdf

Maxe L. (2007) *Enskild vattenförsörjning – kunskapsunderlag inför uppföljning av ett nytt delmål*. SGU-rapport 2007:10. http://www.sgu.se/dokument/service_sgu_publ/SGU-rapport_2007-10.pdf

Maxe L. & Thunholm B. (2007) Områden där grundvattennivån är av särskild betydelse för vattenkvalitet, markstabilitet eller ekosystem. SGU-rapport 2007:20.

http://www.sgu.se/dokument/service_sgu_publ/SGU-rapport_2007-20.pdf

Miljömålsrådet (2010) *Miljömålen- svensk konsumtion och global miljöpåverkan*.

Miljömålsrådets uppföljning av Sveriges miljömål. de Facto 2010.

<http://www.naturvardsverket.se/sv/Sveriges-miljomal--for-ett-hallbart-samhalle/Sveriges-miljomal/Miljomalssystemet/Rapportering/Miljomalen--svensk-konsumtion/>

Okkonen J., Jyrkama M. & Kløve B. (2010) A conceptual approach for assessing the impact of climate change on groundwater and related surface waters in cold regions (Finland). Hydrogeology Journal (2010) 18:429-439.

Ojala L., Thunholm B., Maxe L., Persson G. & Bergmark M. (2007) Kan grundvattenmålet klaras vid ändrade klimatförhållanden? – underlag för analys. SGU-rapport 2007:9.

http://www.sgu.se/dokument/service_sgu_publ/SGU-rapport_2007-9.pdf

Rodhe A., Lindström G., Rosberg J. & Pers C. (2006) Grundvattenbildning i svenska typjordar – översiktlig beräkning med en vattenbalansmodell. Uppsala Univ., Dep. Earth Sciences, Hydrology Report Series A No. 66.

http://www.sgu.se/dokument/fou_extern/Rodhe-et-al.pdf

Rodhe A., Lindström G. & Dahné J. (2008) Grundvattenbildning i svenska typjordar- metodutveckling av en vattenbalansmodell, Uppsala Univ., Dep. Earth Sciences, Hydrology Report series A No. 71.

http://www.sgu.se/dokument/fou_extern/Rodhe_Lindstrom_Dahne.pdf

Rodhe A., Lindström G. & Dahné J. (2009) Grundvattennivåer i ett förändrat klimat.

http://www.sgu.se/dokument/fou_extern/Rodhe-Lindstrom-Dahne_2009.pdf

Savar M. M. & Somers G. (ed.) (2007) Consequences of climatic changes on contamination of drinking water by nitrate on Prince Edward Island. 142 pp.

SOU (2007) Klimat och Sårbarhetsutredningen. SOU 2007:60.

<http://www.sweden.gov.se/sb/d/8704/a/89334>

Socialstyrelsen & Karolinska institutet (2009) Miljöhälsorapport 2009.

<http://www.socialstyrelsen.se/publikationer2009/2009-126-70>

Tunemar L., Whitlock H., Nicolaisen M., Lindblad A., Lång L.-O. & Vesslen A. (2009) Lägesrapport Vattentäktsarkivet (DGV) - december 2008. SGU-rapport 2009:12.

http://www.sgu.se/dokument/service_sgu_publ/SGU-rapport_2009-12.pdf

Wivstad, M. (2010) Klimatförändringarna – en utmaning för jordbruket och Giftfri miljö. Underlagsrapport för miljömålsutvärdering av miljökvalitetsmålet Giftfri miljö. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för växtproduktionsekologi/Centrum för uthålligt lantbruk. Kemikalieinspektionen PM 2/10.

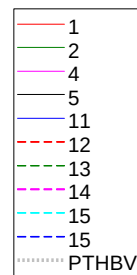
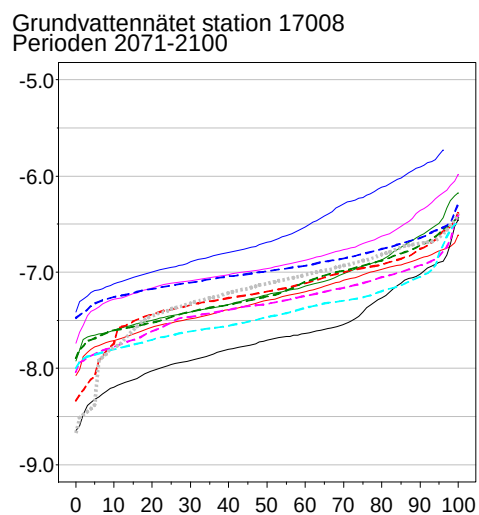
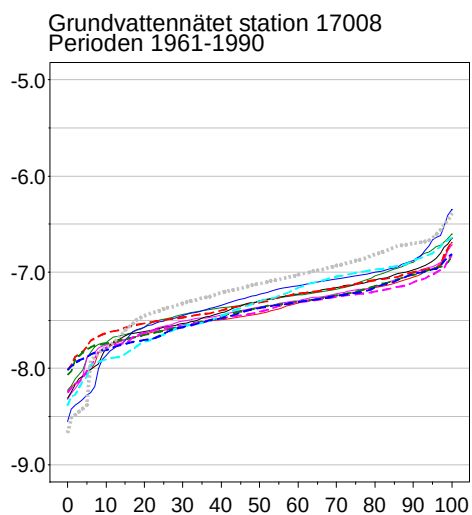
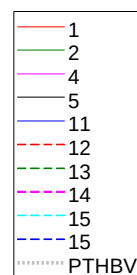
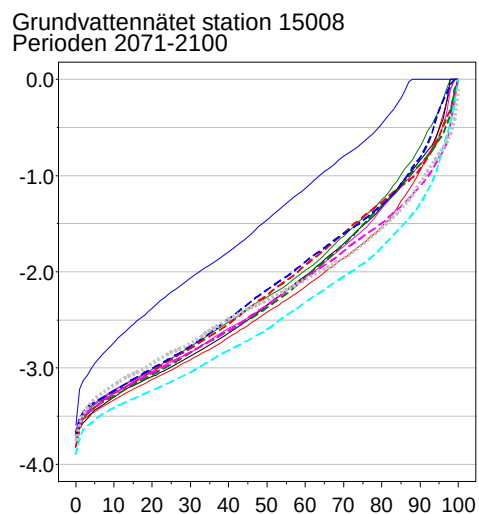
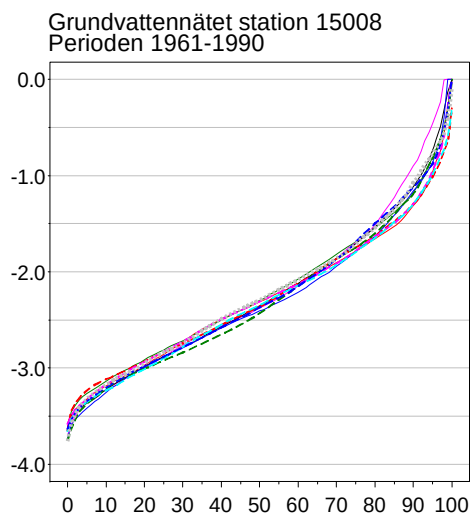
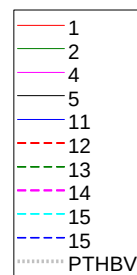
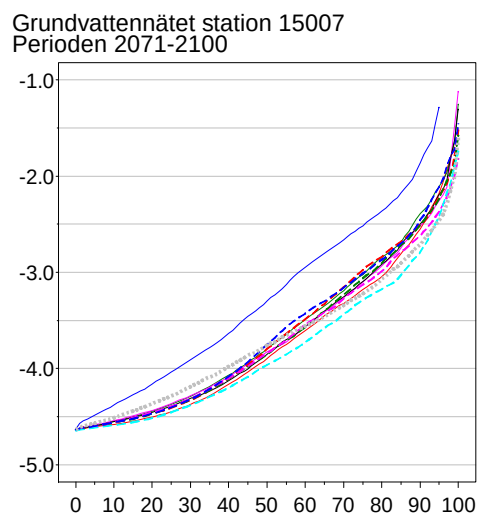
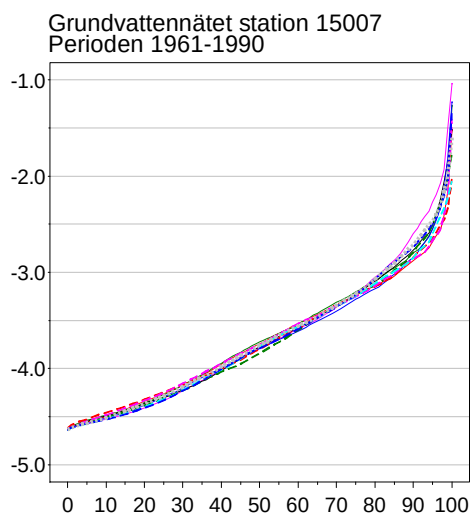
http://www.kemi.se/upload/Trycksaker/Pdf/PM/PM2_10.pdf

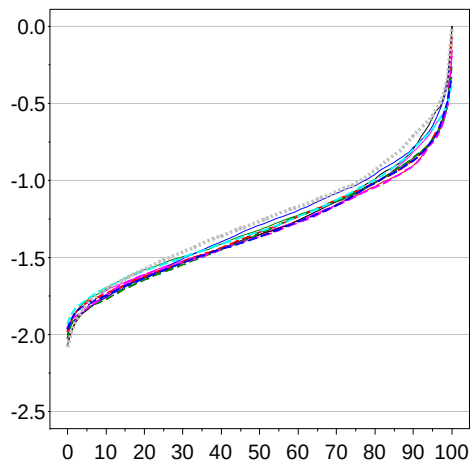
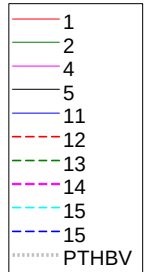
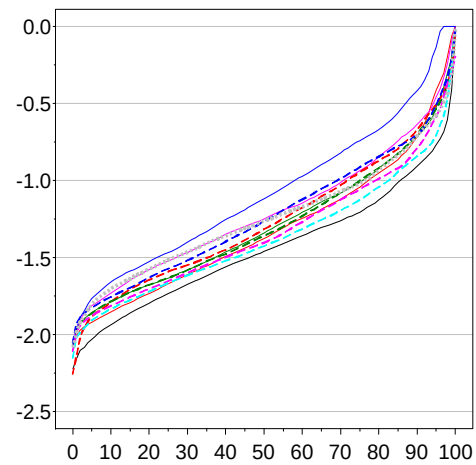
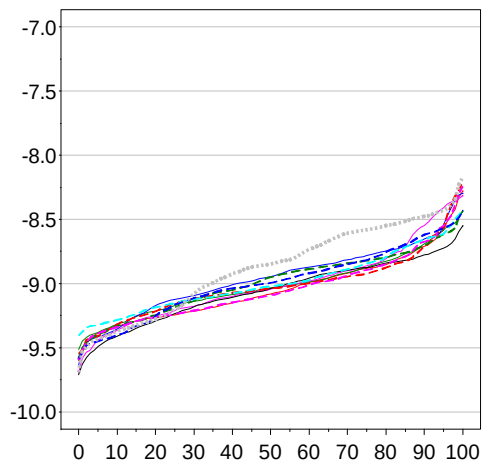
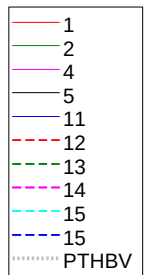
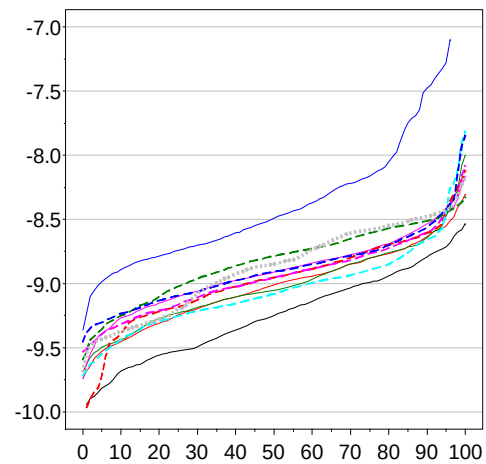
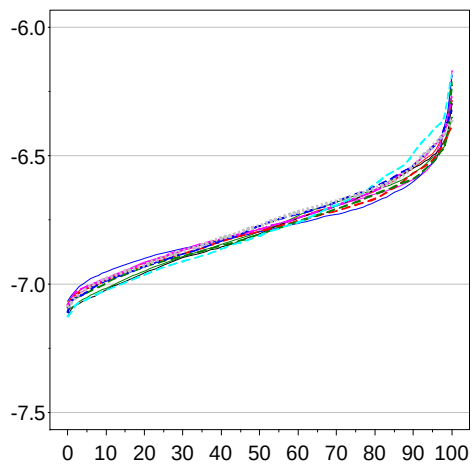
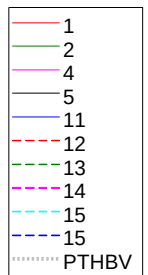
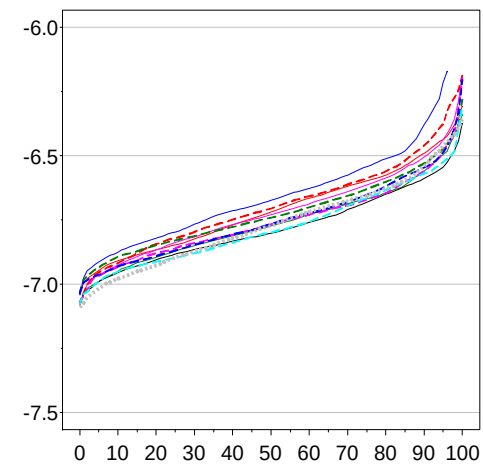
Yang W., Andréasson J., Graham P.L., Olsson J., Rosberg J. & Wetterhall F. (2008) A Scaling Method For Applying RCM Simulations To climate Change Impact Studies In Hydrology, XXV Nordic Hydrological conference Nordic Association for Hydrology Reykjavik, Iceland, August 11-13, Vol.1, pp.256-265.

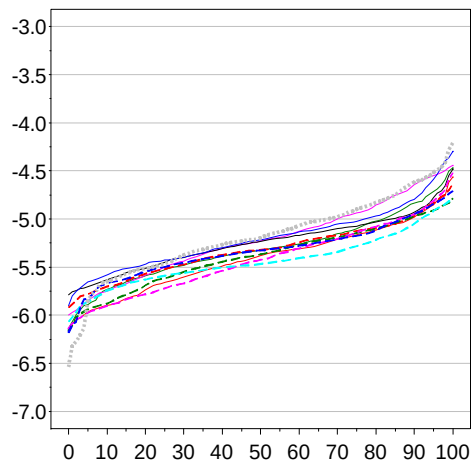
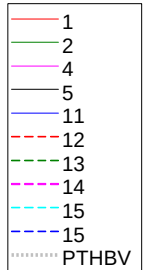
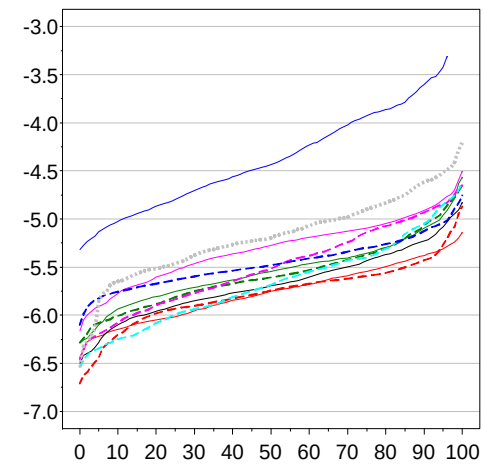
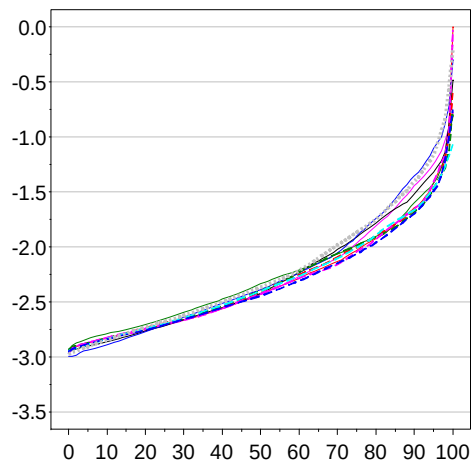
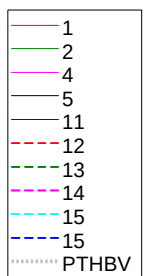
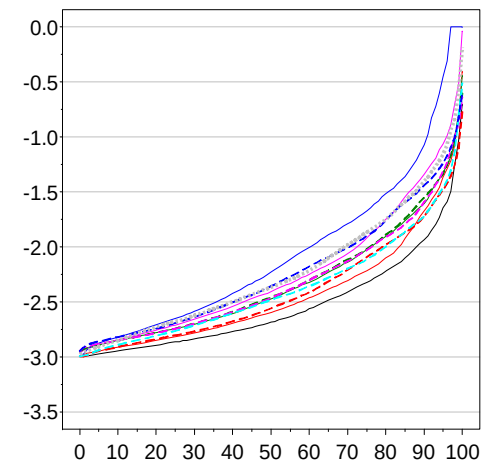
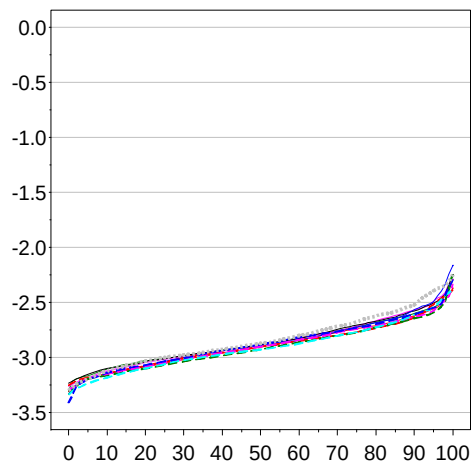
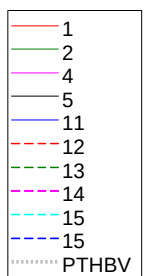
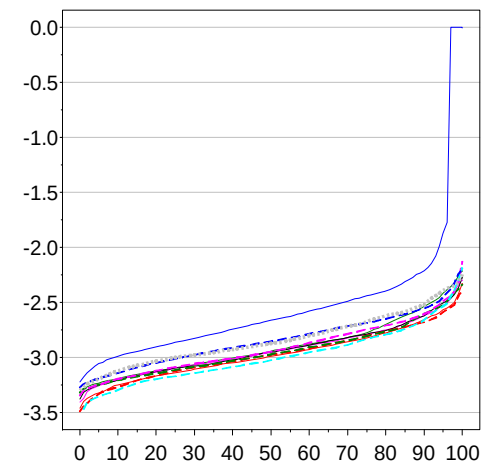
Yang W., Andréasson J., Graham .P.L., Olsson J., Rosberg J., Wetterhall F. (accepted) Distribution based scaling to improve usability of RCM projections for hydrological climate change impacts studies. Hydrology Research.

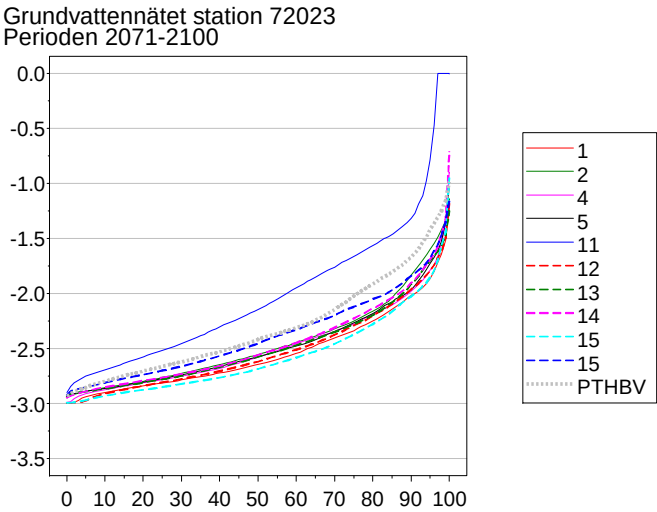
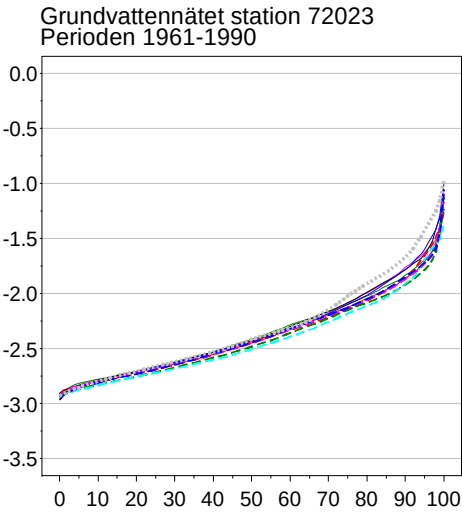
ACKNOWLEDGEMENT

“The ENSEMBLES data used in this work was funded by the EU FP6 Integrated Project ENSEMBLES (Contract number 505539) whose support is gratefully acknowledged.”

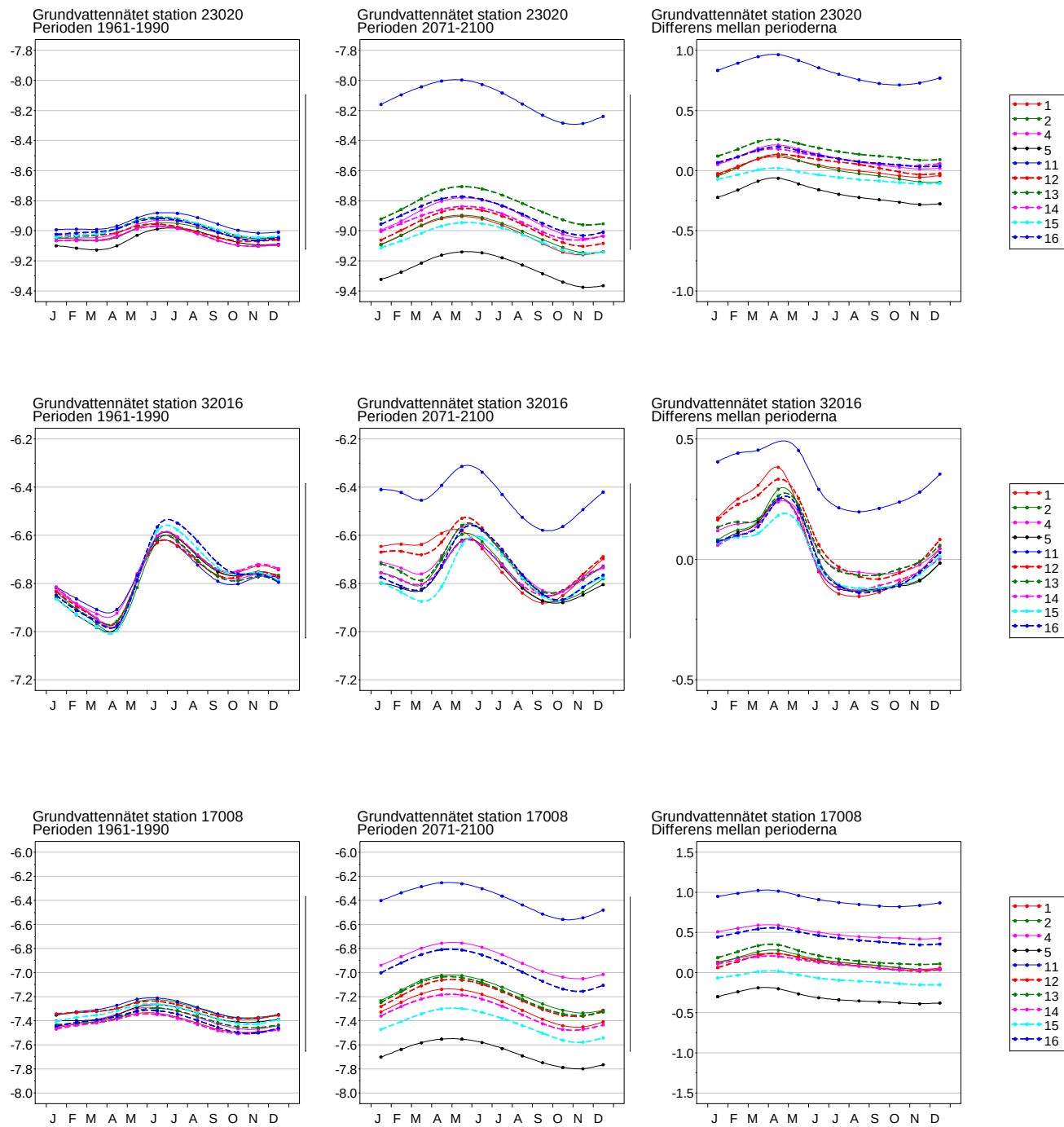
BILAGA 1 – VARAKTIGHETSKURVOR

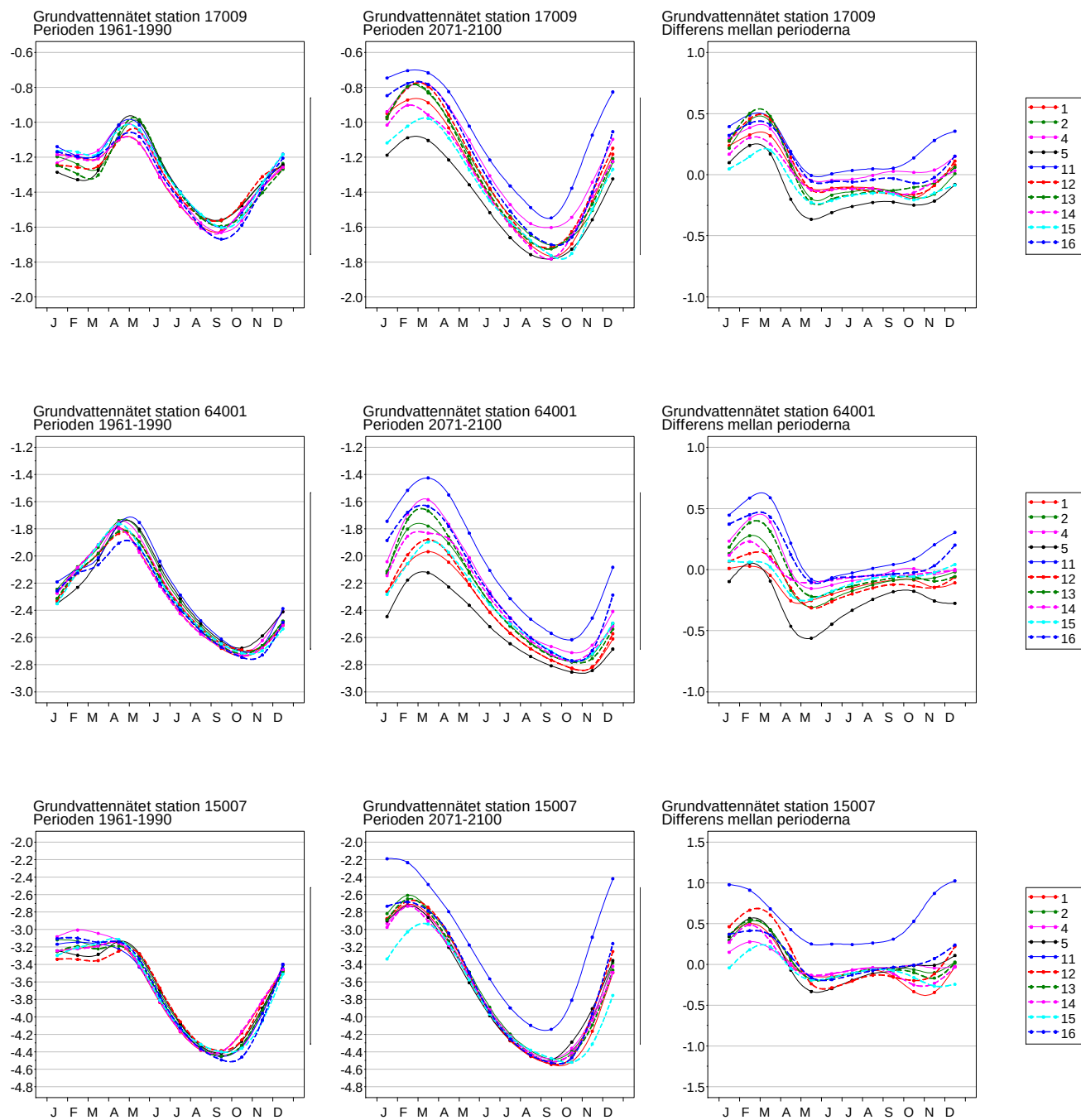
Grundvattennätet station 17009
Perioden 1961-1990Grundvattennätet station 17009
Perioden 2071-2100Grundvattennätet station 23020
Perioden 1961-1990Grundvattennätet station 23020
Perioden 2071-2100Grundvattennätet station 32016
Perioden 1961-1990Grundvattennätet station 32016
Perioden 2071-2100

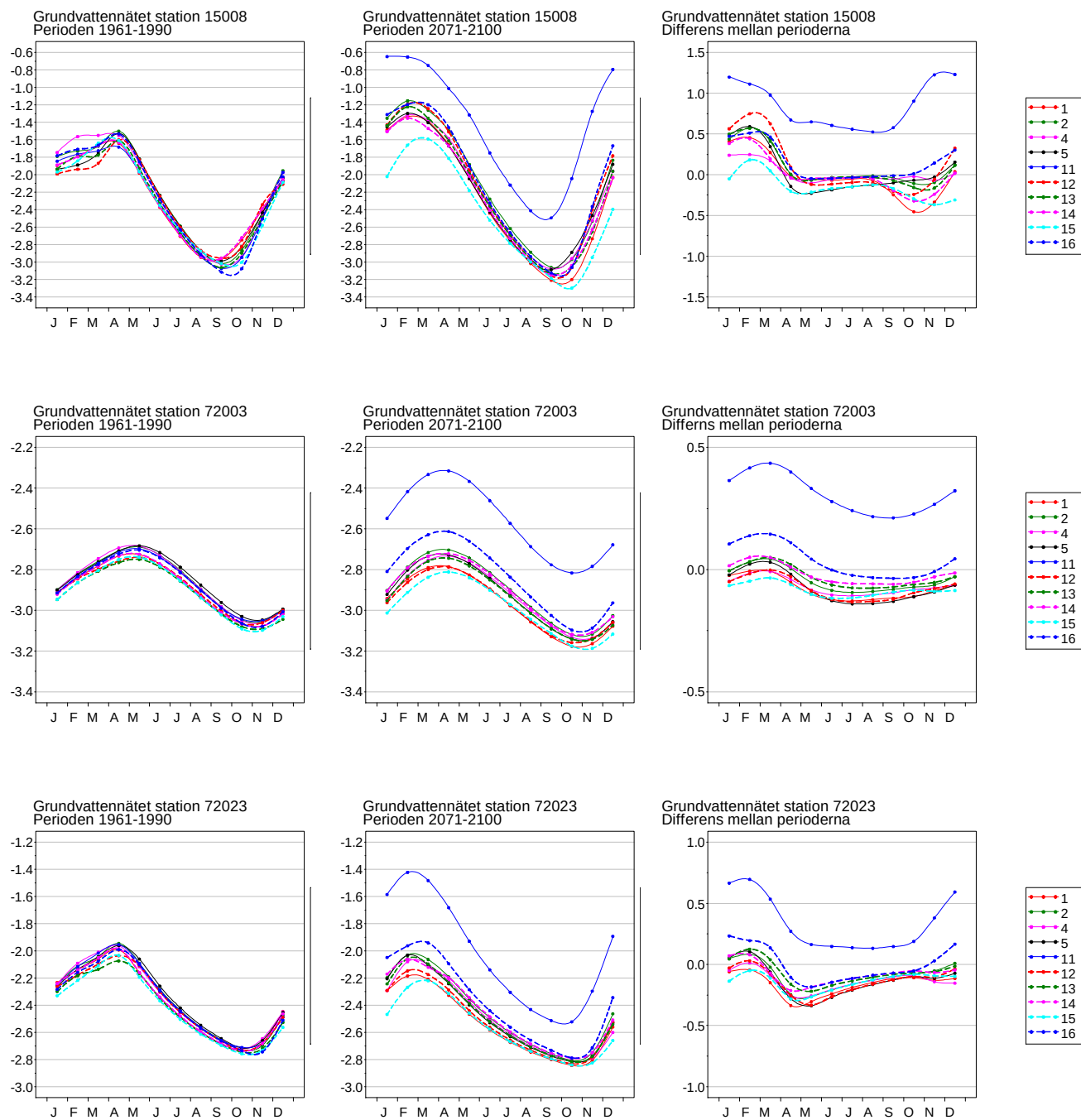
Grundvattennätet station 41007
Perioden 1961-1990Grundvattennätet station 41007
Perioden 2071-2100Grundvattennätet station 64001
Perioden 1961-1990Grundvattennätet station 64001
Perioden 2071-2100Grundvattennätet station 72003
Perioden 1961-1990Grundvattennätet station 72003
Perioden 2071-2100



BILAGA 2 – REGIMKURVOR







BILAGA 3 – PARAMETERUPPSÄTTNINGAR FÖR MODELLERADE STATIONER

Station	K1	K2	e_p	D_{ref}
41007	0,015	0,001	0,220	-8,10
72023	0,600	0,008	0,100	-3,00
72003	0,015	0,006	0,160	-3,60
72024	1,000	0,008	0,040	-3,40
7009	0,015	0,001	0,170	-8,30
15007	0,029	0,026	0,036	-4,65
15008	0,905	0,007	0,070	-4,03
64001	0,100	0,010	0,065	-3,00
17008	0,015	0,001	0,280	-10,80
17009	0,300	0,006	0,140	-2,40
23021	0,030	0,009	0,180	-1,60
23020	0,004	0,005	0,090	-10,80
32016	0,018	0,016	0,160	-7,16
32022	0,650	0,006	0,083	-3,45