

RAPPORTERING AV REGERINGSUPPDRAG:
KUNSKAPSUNDERLAG OM GRUNDVATTENBILDNING

Grundvattenbildning och grundvattentillgång i Sverige



september 2017

Diarie-nr: N2016/07991/SUN, N2016/07822/KLS
SGUs diarie-nr: 21-2925/2016
RR 2017:09



Ändringar genomförda 9 oktober 2017

Ett mindre antal stavfel har rättats till.

Omslagsfoto: David Eveborn

Författare: David Eveborn, Emil Vikberg, Bo Thunholm,
Carl-Erik Hjerne och Mattias Gustafsson
Redaktör: Tone Gellerstedt

Ansvarig avdelningschef: Göran Risberg

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

FÖRORD

Följande rapport utgör återrapportering av uppdrag 7 *Kunskapsunderlag om grundvattenbildning* i SGUs regleringsbrev för 2017. Rapporten har framtagits av en arbetsgrupp på SGU bestående av David Eveborn (projektledare), Emil Vikberg, Bo Tunholm, Carl-Erik Hjerne och Mattias Gustafsson. Gruppen vill rikta ett stort tack till de externa referensgruppspersoner som på olika sätt deltagit i projektet. Ett särskilt tack till medverkande i expertgruppen som inkommit med för oss mycket värdefulla synpunkter på innehållet. Expertgruppen bestod av Allan Rodhe (Uppsala universitet), Anders Blom (Sweco environment AB), Roland Barthel (Göteborgs universitet), Bo Olofsson (Kungliga tekniska högskolan), Joel Dahné (SMHI), Josef Källgården (Midvatten AB) samt Sven Follin (Golder Associates).

Läsanvisning

Avsikten med rapporten är att vara en kunskapskälla och ett stöd vid regional och nationell planering som berör frågor om grundvattenbildning och grundvattentillgång. För beslutsfattare på högre nivå (med mindre detaljintresse eller begränsade naturvetenskapliga bakgrundskunskaper) rekommenderas *Sammanfattning för beslutsfattare* som återfinns först i rapporten.

För att kunna ta till sig övriga delar av rapporten rekommenderas att läsaren har naturvetenskapliga baskunskaper samt gärna viss erfarenhet av hydrogeologiska frågeställningar. Du jobbar kanske som handläggare på kommun eller länsstyrelse eller inom konsultbranschen. Som hjälp finns sist i rapporten en definitionslista (bilaga 3) som redogör för en rad återkommande faktatermer och relevanta begrepp.

Läsaren ska vara observant på att rapporten främst har för avsikt att vara ett stöd i ett regionalt och nationellt perspektiv. Det kartstöd och de analyser som presenteras i rapporten är inte avsedda att användas på lokal nivå.

Innehåll

Sammanfattning för beslutsfattare.....	7
Grundvattenbildning	7
Grundvattentillgång	8
Klimatförändringar och grundvatten	8
Slutsatser och rekommendationer	9
Inledning.....	11
Syfte	12
Metod och avgränsning	12
Väder och klimat	13
Grundvattenbildning	15
Grundläggande faktorer	16
Nederbörd	16
Evapotranspiration	18
Geologi och markanvändning	18
Grundvattenregimer	21
Skattning av grundvattenbildning – metoder och resultat	21
Berggrundvatten	25
Grundvattentillgång.....	28
Små snabbreagerande grundvattenmagasin	28
Stora långsamreagerande grundvattenmagasin	28
Avgörande faktorer för grundvattentillgång	29
Bedömning av grundvattentillgång	30
SGUs kartläggning av grundvattenmagasin	32
Berg	32
Jord	34
Hållbara uttag av grundvatten	34
Klimatförändringarnas påverkan på grundvattenbildning och grundvattentillgång	35
Redan observerade grundvattenförändringar	36
Temperatur och nederbörd i ett framtida klimat	36
Förändrad grundvattenbildning och grundvattennivå	36
Diskussion och slutsatser.....	39
Effekter av klimatförändringar	39
Så säkrar vi samhällets vattenförsörjning	39
Kunskapsuppbyggnad	40
Utökad kartering och nivåmätning	41
Rekommendationer	42
Referenser	44
Bilaga 1. Bildning av berggrundvatten	
Bilaga 2. Beräkning av magasinierande förmåga	
Bilaga 3. Definitioner	

SAMMANFATTNING FÖR BESLUTFATTARE

Ungefär hälften av det dricksvatten som samhället använder kommer från grundvattentäkter. Grundvattentillgångarna är av stor betydelse för näringslivsutveckling och tillväxt (SGU 2009). Tillgången på grundvatten samt dess kvalitet är starkt sammankopplad med de geologiska förutsättningarna (jord och berggrund), men bildningen av grundvatten är i slutändan beroende av klimatet (nederbörd och temperatur).

För att möta samhällets planeringsbehov i ett förändrat klimat fick SGU under 2017 i uppdrag av regeringen att göra en kunskapssammanställning om grundvattentillgång och grundvattenbildning, hur klimatförändringar förväntas påverka i olika delar av Sverige samt vilka behov som fortsättningsvis finns inom samhällsplaneringen och hur de kan mötas. Arbetet med regeringsuppdraget och de rekommendationer som föreslås bidrar till Sveriges arbete med att uppnå de globala målen för hållbar utveckling. Det globala mål som främst berörs av arbetet är *Mål 6 Rent vatten och sanitet*, men även *mål 13 Bekämpa klimatförändringen* och *mål 11 Hållbara städer och samhällen*. Ett förbättrat kunskapsunderlag om grundvattenbildning är ett viktigt bidrag även till Sveriges arbete med miljökvalitetsmålet *Grundvatten av god kvalitet* och då preciseringarna *God kvantitativ status* och *Grundvattennivåer*. Dessutom kan underlaget vara värdefullt för arbetet inom vattenförvaltningen för grundvatten enligt EUs ramdirektiv för vatten.

Grundvattenbildning

Klimatet står under ständig förändring. I dag pågår dessutom en global uppvärmning, skapad av mänskliga aktiviteter. De pågående klimatförändringarna kommer inte enbart att påverka temperaturen utan leder även till förändringar i det hydrologiska kretsloppet genom ändrade avdunstnings- och nederbördsmonster. Grundvattnet är en viktig del i det hydrologiska kretsloppet och förändringar i temperatur och nederbörd kommer att påverka den mängd grundvatten som bildas och som sedan finns tillgänglig för olika användning (dricksvatten, bevattning m.m.).

Grundvatten är en del av vattnets kretslopp, där grundvattenbildning är den process som leder till påfyllnad av våra grundvattenmagasin. Vatten tillförs landområden genom nederbörd i form av regn eller snö. En del av nederbörden avgår till atmosfären på grund av avdunstning (främst genom växternas transpiration), resterande del av nederbörden lagras tillfälligt i marken som markvatten och grundvatten. Grundvattnet förser sedan våra vattendrag och sjöar med vatten. Nederbörd, avdunstning och avrinning varierar över tid, vilket innebär att mängden vatten i grundvattenmagasinen också varierar med tiden.

I Sverige är jordlagren generellt så pass genomsläppliga att i stort sett all nederbörd och allt smältvatten som bildas vid snösmältning har möjlighet att infiltrera ner i marken. Ytvattnet härrör därför i huvudsak från utströmmat grundvatten. De viktigaste faktorerna för bildning av nytt grundvatten är därför främst mängden nederbörd samt avdunstningens omfattning. Avdunstningen är i sin tur starkt sammankopplad med vegetation och markanvändning. Växterna bidrar i stor utsträckning till avdunstning genom sitt upptag av vatten (vattenånga avges genom transpiration) samt genom att löv- och grenverk fångar upp vatten som kan avdunsta innan det når marken (interception). Detta betyder att det bildas relativt lite grundvatten under den period på året som växterna är aktiva (vegetationsperioden). Under åren 1961–1990 varierade medellängden på vegetationsperioden från ca 100 dagar i norr till 220 dagar i söder. Årsmedelnederbörden varierade under samma tid från ca 500 mm i de nederbördsfattiga sydöstra delarna av Sverige till ca 1 000 mm i de nederbördsrikare västliga delarna av landet (1 mm nederbörd motsvarar 1 liter nederbörd per kvadratmeter).

Grundvattenbildning kan bestämmas med flera olika metoder. I två tidigare studier har grundvattenbildningen beräknats nationellt för Sverige med hjälp av hydrologiska modeller där

grundvattenbildningen beräknades utifrån data på nederbörd, temperatur samt geologi och markanvändning. Modellerna kalibrerades mot uppmätt ytavrinning. Dessa studier pekar på att grundvattenbildningen normalt uppgår till 150–200 mm per år i de mest nederbördsfattiga delarna av landet och 500–700 mm per år i de nederbördsrikare delarna (figur 11a och figur 13). Variationerna mellan åren kan vara stora. Under torra år kan grundvattenbildningen bli långt under 100 mm i de mer riskutsatta delarna av landet (figur 11b).

Grundvattentillgång

Det är viktigt att hålla isär begreppen grundvattenbildning och grundvattentillgång eftersom långt ifrån allt grundvatten som bildas kan användas av samhället. I områden med exempelvis berg eller tunna jordtäckten är markens vattenmagasinerande förmåga begränsad. Detta innebär att tillgången på grundvatten begränsas av hur mycket grundvatten som kan magasineras snarare än hur mycket grundvatten som kan bildas. Små grundvattenmagasin kan tömmas mycket snabbt och är känsliga för perioder utan grundvattenbildning. Problem med vattenförsörjningen riskerar att uppstå under år när grundvattennivåerna är lägre än normalt inför en längre period utan grundvattenbildning. Exempelvis är ett gott utgångsläge med höga grundvattennivåer under våren viktigt för att inte vattenbrist ska uppstå under sommaren. I vissa miljöer (exempelvis kustnära områden) kan ett överuttag under sommarhalvåret leda till saltvatteninträngning eller annan kvalitetsförsämring på dricksvattnet.

SGU har under detta regeringsuppdrag tagit fram ett kartunderlag för att belysa vilken magasinvolym som kan förväntas i olika delar av landet baserat på de geologiska förutsättningarna (figur 15). Stora delar av södra Sverige, med undantag för Skåne, har ogynnsamma förutsättningar utifrån detta perspektiv. Väger man samman detta med fördelningen av nederbörd så framträder de sydliga delarna av ostkusten (Götaland och Svealand) som mest utsatta för risk för grundvattenbrist.

Stora grundvattenmagasin som exempelvis rullstensåsar (sand- och grusavlagringar) är relativt okänsliga för enskilda torrår eftersom magasinvolymen vida överstiger grundvattenbildningen för ett normalår. Vid flera år med mindre grundvattenbildning än normalt kan det dock bli en betydande påverkan. I samband med uttag av grundvatten är risken för vattenbrist naturligtvis beroende på uttagets omfattning, magasinets volym och grundvattenbildningens storlek. Vid kommunal vattenförsörjning är det normalt stora grundvattenmagasin som utnyttjas.

Klimatförändringar och grundvatten

Begreppet klimat åsyftar de genomsnittliga väderförhållanden som framträder under en längre tidsperiod. Vädret är varierande och för att kunna studera klimatförändringar krävs det att man gör statistiska beräkningar över en längre tidsperiod (vanligtvis 30 år). I SGUs egna mätningar av grundvattennivåer kan man redan idag se en påverkan genom att klimatet har förändrats sedan mätningarna påbörjades i slutet på 1960-talet. Bland annat har såväl de lägsta som de högsta grundvattennivåerna blivit mer extrema mellan 1975 och 2014 och sommarens torrperioder har de senaste 20 åren förlängts med ca 2 veckor. Även grundvattenregimerna (mönstret för hur grundvattennivåerna varierar under en årscykel) har förändrats (figur 17). Största förändringen har skett i Norrland där den mest utpräglade norrlandsregimen minskat i utbredning mellan 1977 och 2012.

För att förutspå effekten av framtida klimatförändringar är man hänvisad till olika klimatmodeller och klimatscenarier. Klimatförändringen kommer att påverka lufttemperatur och nederbörd samt därmed även det hydrologiska kretsloppet. Studier gjorda av SMHI pekar på att nederbördsmängderna och medeltemperaturen kommer att öka i hela Sverige samt att extrem korttidsnederbörd (skyfall) kommer bli mera intensiv. Den ökande temperaturen förväntas bidra

till en förlängd vegetationsperiod (figur 18a) och bidra till en ökad avdunstning. I praktiken innebär detta att perioden för grundvattenbildning minskar och att samhället därmed blir mer beroende av när på året nederbörden faller.

Hur grundvattenbildningen i Sverige kan komma att förändras till följd av klimatförändringar har tidigare studerats genom att man använt en vattenbalansmodell och drivit den med data från ett äldre klimatscenario (SRES A1B). SRES A1B utgår ifrån en måttlig befolkningstillväxt, snabb global utveckling mot mer effektiva teknologier samt balanserad användning av fossila bränslen och förnyelsebar energi (koldioxidutsläppen till atmosfären är beräknade att kulminera runt år 2050). För stora grundvattenmagasin i grus- och sandavlagringar beräknades med detta scenario grundvattenbildningen öka med ca 15 procent i södra Norrland och minska med 5–15 procent i sydöstra Sverige under perioden 2071–2100 jämfört med perioden 1961–1990. I små grundvattenmagasin var trenden densamma men mer utpräglad (en relativ minskning på upp till 20 procent) och mer utbredd (figur 18b).

Slutsatser och rekommendationer

Trots att vi överlag kan vänta oss större nederbördsmängder i Sverige i ett framtida klimat kan man i framför allt de sydöstra delarna av landet räkna med en minskad grundvattenbildning. Orsaken till detta är en ökad temperatur och därigenom en ökad avdunstning. Vegetationsperioden kommer att förlängas vilket innebär att perioden för grundvattenbildning kommer att krympa. Detta gör samhället mer beroende av när under året nederbörden faller. Dessutom kommer en förlängd vegetationsperiod att innebära en förlängd avsänkingsperiod i grundvattenmagasinen. För att inte vattenbrist ska uppstå i slutet av avsänkingsperioden ställs därför högre krav på grundvattenmagasinens förmåga att magasinera det grundvatten som bildas under den kalla årstiden. Att nederbörden eller den totala grundvattenbildningen på årsbasis ökar i ett område är därför inte någon garanti för att man inte kommer att drabbas av problem med vattenförsörjningen. Jordlagrens och bergets magasinande förmåga kommer på många håll att bli den begränsande faktorn.

Sammantaget innebär de väntade förändringarna att samhället aktivt behöver planera för att möta utmaningarna med den framtida dricksvattenförsörjningen. Bland Sveriges dricksvattenproducenter, länsstyrelser och andra aktörer bedöms kunskapen om sårbarheten i den lokala vattenförsörjningen vara mycket varierande och i vissa fall bristfällig. SGU bedömer att det finns behov av ytterligare insatser för att säkra en långsiktigt hållbar dricksvattenförsörjning. Det underlag som redan finns behöver uppdateras och förbättras samt utökas. Regionala myndigheter och andra berörda aktörer behöver i större utsträckning förses med verktyg och vägledning för sin planering. SGU redogör nedan för ett antal rekommenderade åtgärder. Flertalet av rekommendationerna kommer att kunna startas och även till vissa delar slutföras under förutsättning att SGU tilldelas den stärkta finansiering som regeringen har föreslagit för perioden 2018–2020, exempelvis den utökade grundvattenövervakningen. Sett ur ett längre perspektiv kommer det att behövas ytterligare resurser för att stärka Sveriges grundvattenarbete och för att kunna nå miljömålet *Grundvatten av god kvalitet* samt uppfylla kraven inom grundvattendirektivet. Inte minst inom stödet till forskning och utveckling. SGU rekommenderar:

- Att det avsätts mer medel för tillämpad hydrogeologisk forskning och utveckling. SGU har till skillnad från HaV och SMHI (som fokuserar på ytvattenfrågorna) mycket begränsade resurser för att genomdriva interna eller externa forskningsaktiviteter. Forskningen behöver inriktas på svenska förhållanden. Utöver de behov som beskrivs i SGUs forskningsagenda finns också ett stort kunskapsbehov inom frågor som berör grundvattenbildning, grundvatten-

tillgång och hållbara grundvattenuttag i nuvarande och i ett förändrat klimat. Specifika forskningsområden som SGU identifierat är:

- Mönstren i grundvattenbildningens tidsmässiga variationer. Hur ser de ut idag och hur kan de komma att förändras? Det gäller såväl inomårsvariationer som långtidsvariationer som uppträder i stora magasin.
- Grundvattenbildning sommartid. Under vilka omständigheter sker detta? Vilken roll spelar mängden nederbörd och nederbördens fördelning över tiden i förhållande till markanvändning och geologi.
- Att definiera ett hållbart grundvattenuttag och bedöma om grundvattenuttag är hållbara. Både avseende vattenförsörjning och påverkan på ekosystem.
- Utveckla metoder för bedömning och beräkning av grundvattenbildning på lokal nivå. Ger befintliga metoder tillräcklig säkra uppskattningar och är de praktiskt tillämpbara? Hur får vi tillförlitliga metoder att användas i högre grad än idag?
- Att SGU tillsammans med SMHI tar fram ett fördjupat beräkningsunderlag kring grundvattenbildning och nederbörd som stöd till planering på främst regional och lokal nivå, både i nuvarande och i ett framtida klimat. Underlaget ska baseras på aktuella klimatdata och klimatscenarier och innefatta statistiska bearbetningar för redovisning av återkomsttider för olika extremsituationer. Detta är i stora drag en uppdatering och vidareutveckling av tidigare utfört arbete (Sanner & Grahn 1995, Rodhe m.fl. 2009).
- Att länsstyrelser och kommuner i linje med dricksvattenutredningen upprättar regionala respektive lokala vattenförsörjningsplaner och att dessa kontinuerligt uppdateras. Vattenförsörjningsplanerna bör inkludera bedömning av grundvattenbildning och magasinering förmåga. Bedömningarna bör göras för såväl nutida som framtida klimat. Dessutom ska regionala materialförsörjningsplaner upprättas. Dessa är viktiga strategiska styrmedel som kan få en avgörande roll i vattenförsörjningsplaneringen (Schoning 2017).
- Att SGU tar fram råd och anvisningar för hur bedömningar och beräkningar av grundvattenbildning och magasinering förmåga bör genomföras för att säkerställa ett långsiktigt hållbart uttag av grundvatten på lokal nivå. I råden ska även finnas vägledning kring hur man kan gå till väga för att bedöma den regionala och lokala vattenförsörjningens sårbarhet med avseende på vattenbrist. Detta arbete kan genomföras först efter att ett fördjupat beräkningsunderlag kring grundvattenbildning finns tillgängligt (se punkt ovan). SGU kommer att precisera behov knutet till framtagande av råd och anvisningar i kommande budgetunderlag.
- Att SGU utifrån ovan angivna forskningsinsatser tar fram råd kring hur man lokalt kan öka grundvattenbildning och magasinering förmåga i samband med dricksvattenförsörjning.
- Att det utreds hur kommunerna, inom ramen för sitt ansvar i vattentjänstlagen och finansiering via VA-kollektivet, kan beställa lokalt anpassat beslutsunderlag från nationella myndigheter, som exempelvis SGU.
- Att kartering och övervakning stärks genom:
 - Utökad grundvattenövervakning genom SGUs grundvattennät.
 - Utökad och utvecklad grundvattenkartläggning av grundvattenmagasin så att den utgör ett bra stöd för planering på lokal och regional nivå.
 - Insamling och förädling av information för bestämning av jordlagrens och berggrundens magasinering förmåga.
- Att regeringen, utifrån den nya situation Sverige befinner sig i avseende framtida vattenförsörjning generellt och dricksvattenförsörjning speciellt, överväger att genomföra en ny vattenprisutredning (se SOU 2010:17) i syfte att säkra finansiering av framtagandet av kunskap och genomförandet av åtgärder.

INLEDNING

Tillgången till rent vatten är ett fundamentalt samhällsbehov som berör såväl enskilda individer som näringsidkare och industri. Grundvattentillgångarna är av stor betydelse för näringslivsutveckling och tillväxt (SGU 2009). Vattenförsörjning, infrastruktur, samhällsbyggnad, jord- och skogsbrukbruk och skydd och vård av naturvärden är exempel där grundvatten spelar en aktiv roll. Ur ett internationellt perspektiv har Sverige gynnsamma förutsättningar för vattenförsörjning. Under somrarna 2016 och 2017 kunde vi dock se att vattentillgången inte alltid kan tas för given och att konsekvenserna av vattenbrist snabbt blir allvarliga och omfattande.

Hälften av det kommunala dricksvattnet som bereds i Sverige utgörs av grundvatten eller konstgjort grundvatten (Svenskt Vatten 2007). Inom den allmänna vattenförsörjningen är antalet grundvattentäkter betydligt fler än antalet ytvattentäkter (ca 2000 respektive ca 200), SGU 2014a. Därtill kommer en stor mängd privata aktörer som är beroende av vattenförsörjning från grundvatten, inte minst enskild vattenförsörjning. Tillgången på grundvatten samt dess kvalitet är starkt sammankopplad med de geologiska förutsättningarna (jord och berggrund).

Sveriges geologiska undersökning (SGU) är den myndighet som ansvarar för miljömålet *Grundvatten av god kvalitet* samt för frågor om landets geologiska beskaffenhet (SFS 2012:805). SGU har som uppdrag att samla in och förse samhället med information om Sveriges grundvatten, men även att verka för att Sveriges grundvattenresurser används på ett hållbart sätt. Således har SGU en viktig roll att stödja samhället i att säkra en god och hållbar vattenförsörjning. Statistik från SCB visar att det underlag som SGU tillhandahåller om grundvatten är av tydlig relevans för Sveriges näringsliv och har betydelse för ca 200 000 företag med 350 000 anställda och en omsättning på 700 miljarder kr/år (bearbetad statistik från SCB 2014).

I den senaste fördjupade utvärderingen inom miljömålsarbetet (Naturvårdsverket 2015) lämnade SGU följande åtgärdsförslag för miljökvalitetsmålet *Grundvatten av god kvalitet*: ”Beräkna grundvattenbildning och uttagsmängder ur grundvattenförekomster.” Skälet till förslaget var i första hand att beräkningar av grundvattenbildningens storlek och uttagsmängder är en förutsättning för rättvisande bedömning av kvantitativ status för grundvattenförekomster inom vattenförvaltningen. SGU poängterade därmed betydelsen av förbättrad kunskap om grundvattenbildningens storlek.

Klimatet står under ständig förändring. I dag pågår dessutom en global uppvärmning, skapad av mänskliga aktiviteter. Den pågående klimatförändringen kommer inte enbart att påverka temperaturen, utan även leda till förändringar i det hydrologiska kretsloppet genom ändrade avdunsnings- och nederbördsmonster. Grundvattnet är en viktig del i det hydrologiska kretsloppet och förändringar i temperatur och nederbörd kommer att påverka den mängd grundvatten som bildas och som sedan finns tillgänglig för olika användning (dricksvatten, bevattning m.m.).

För att möta samhällets planeringsbehov i ett förändrat klimat fick SGU 2017 i uppdrag av regeringen att fram till den 30 september 2017 ta fram ett kunskapsunderlag om grundvattentillgång och grundvattenbildning. Uppdraget formulerades på följande sätt:

”Ett förändrat klimat påverkar grundvattenbildning och samhällets vattenbehov. Kunskapsunderlaget om grundvattenbildning och vattenbalansberäkningar i Sverige behöver förbättras för att på såväl nationell som regional nivå möta planeringsbehov i ett förändrat klimat. SGU ska därför bedöma och redovisa grundvattenbildningens variation och känslighet samt effekter för tillgång till grundvatten. Uppdraget ska redovisas till Regeringskansliet (Näringsdepartementet) senast den 30 september 2017.”

Som svar på regeringens begäran har SGU sammanställt denna rapport som i första hand vän-

der sig till dem som jobbar med grundvatten eller samhällsplanering på nationell eller regional nivå. Arbetet med regeringsuppdraget och de rekommendationer som föreslås bidrar till Sveriges arbete med att uppnå de globala målen för hållbar utveckling. Det globala mål som främst berörs av arbetet är mål 6 *Rent vatten och sanitet*, men även mål 13 *Bekämpa klimatförändringen* och mål 11 *Hållbara städer och samhällen*. Ett förbättrat kunskapsunderlag om grundvattenbildning är ett viktigt bidrag även till Sveriges arbete med miljökvalitetsmålet *Grundvatten av god kvalitet* (speciellt preciseringarna *God kvantitativ status* och *Grundvattennivåer*) samt till arbetet med att nå målen om en god grundvattenstatus enligt EUs ramdirektiv för vatten (EC 2000), där dotterdirektivet 2006/118/EG gäller grundvatten (EC 2006). Syftet med vattenförvaltningen för grundvatten är att nå mål om en god grundvattenstatus enligt artikel 4 i ramdirektivet. SGU ger genom vattenförvaltningsförordningen instruktioner om hur arbetet ska utföras genom föreskrifter, se bland annat SGU-FS 2016:1 och SGU-FS 2017:1 (SGU 2016, SGU 2017) samt vägledningar (SGU 2014b).

Syfte

Syftet med arbetet har varit att sammanställa underlag som ett direkt stöd för regional och nationell planering, men också att tydliggöra kunskapsluckor och lyfta fram de forsknings- och utvecklingsinsatser som SGU anser behöver prioriteras för att möta kommande samhällsutmaningar inom dricksvattenförsörjningen. Rapporten har för avsikt att ge en samlad bild av grundvattenbildningens storlek i Sverige, vad som styr tillgången på grundvatten och vilka förändringar som kommande klimatförändringar skulle kunna innebära.

Metod och avgränsning

Denna rapport fokuserar på grundvattnets roll för samhällets dricksvattenförsörjning med utgångspunkt i vattenbrist orsakad av torka. Rapporten beskriver översiktligt och förenklat hur grundvatten bildas. SGU har valt att basera rapporten på befintliga studier och data. Stora delar av underlaget kommer från sammanställningar och studier som SGU eller andra aktörer tidigare har genomfört och som fokuserat på rikstäckande analyser av grundvattenbildning. Rapporten gör inte anspråk på att vara en analys eller syntes av den senaste internationella forskningen inom området eller att på ett fullständigt sätt redogöra för de mekanismer som styr grundvattenbildning. Något som inte berörs närmare i rapporten är att ökade mängder grundvatten även kan utgöra problem för samhället, bland annat på grund av risk för kvalitetsförsämringar.

Arbetet har också omfattat en enklare analys kring kunskapsbrister och vilka insatser som behövs för att stödja samhällets planeringsbehov på längre sikt. Analysen grundas bland annat på en referensgruppsdialog som genomförts i enkätform. Referensgruppen utgjordes av åtta regionala representanter från främst länsstyrelser, kommuner och branschorganisationer. Utöver denna dialog har en extern expertgrupp fått ta del av ett tidigt rapportutkast och komma med synpunkter.

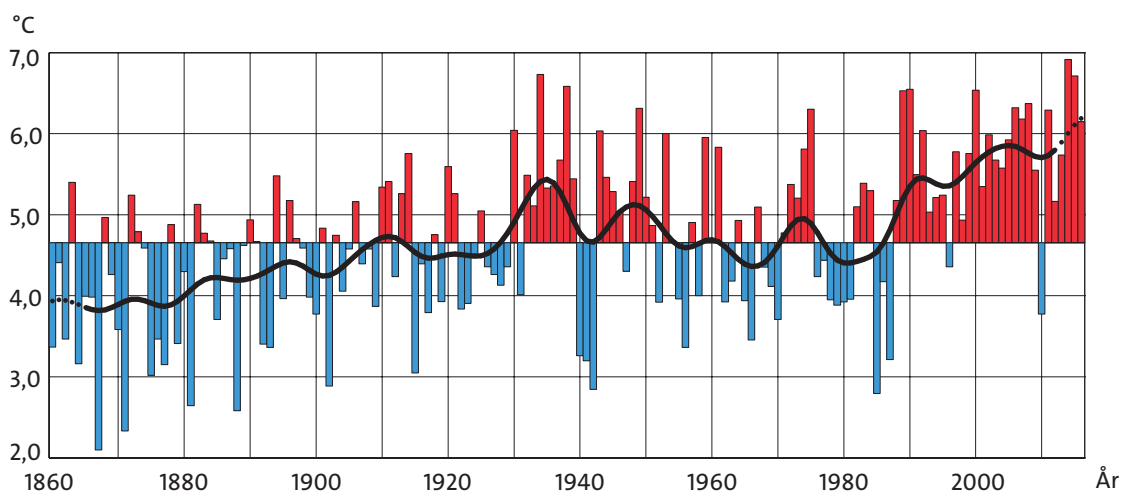
Ett förändrat klimat förväntas även kunna påverka konsumtionen av vatten. För att genomgripande belysa frågan om samhällets vattenförsörjning krävs ett angreppssätt som utreder både tillgången på vatten och eventuellt förändrade konsumtionsmönster. Förändrade konsumtionsmönster är dock inget som SGU berör i denna utredning. Frågan utreds dock i andra angränsande regeringsuppdrag, exempelvis Jordbruksverkets pågående regeringsuppdrag om jordbrukssektorns framtida behov av vattenförsörjning.

VÄDER OCH KLIMAT

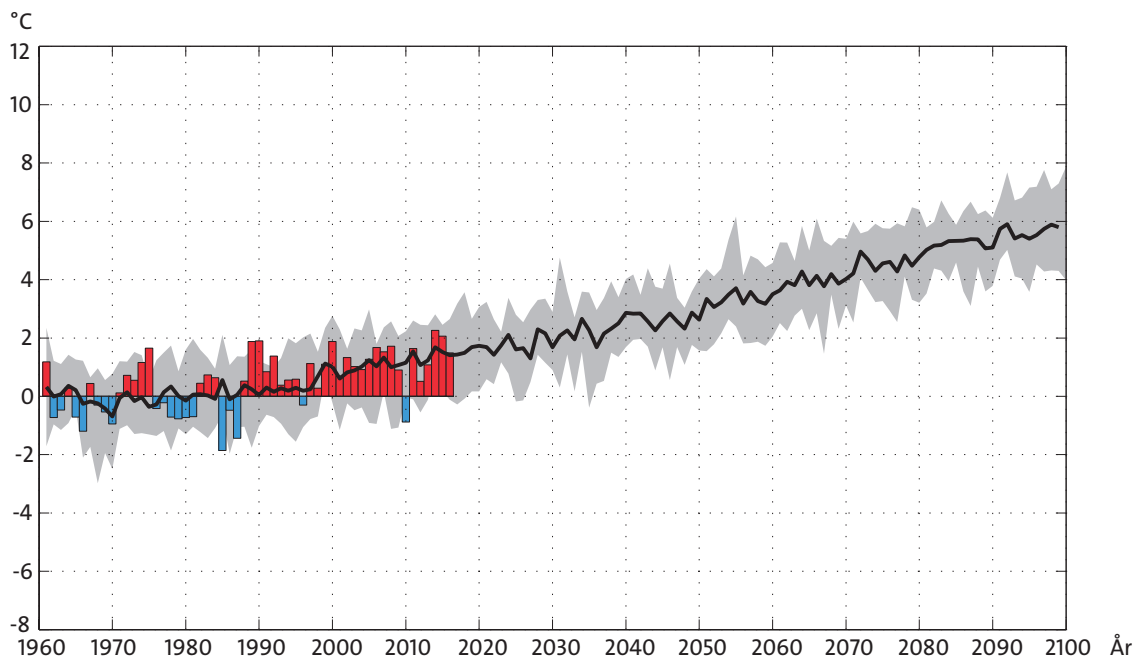
Det är viktigt att förstå skillnaderna mellan begreppen väder och klimat. Väder är det som upplevs vid en given plats och tid: temperatur, vindhastighet till exempel om det är nederbörd eller uppehåll. Klimatet däremot representerar vädrets statistiska beteende (exempelvis medelvärde) sett över en längre tidsperiod, oftast används 30-årsperioder (den nuvarande referensperioden är 1961–1990). Under tidsperioden förekommer det variationer både inom år (årstider) men även mellan år (mellanårsvariationer). Årsmedeltemperaturen har ökat i Sverige sedan mitten på 1800-talet (figur 1).

Ett förändrat klimat innebär att bland annat årsmedeltemperaturen kommer att öka jämfört med den medeltemperatur som var under perioden 1961–1990. I slutet av nuvarande sekel kommer årsmedeltemperaturen att vara 2–6 grader högre än under perioden 1961–1990, beroende på vilket klimatscenario (RCP 4.5 eller RCP 8.5) man utgår ifrån (mer om klimatscenarier finns under kapitlet *Klimatförändringarnas påverkan på grundvattenbildning och grundvattentillgång* (sidan 35). Även i framtiden kommer både årsmedeltemperatur och årsnederbörd att variera mellan olika år, vilket innebär att vi kan uppleva år som är både betydligt varmare och kallare eller blötare och torrare än medelklimatet.

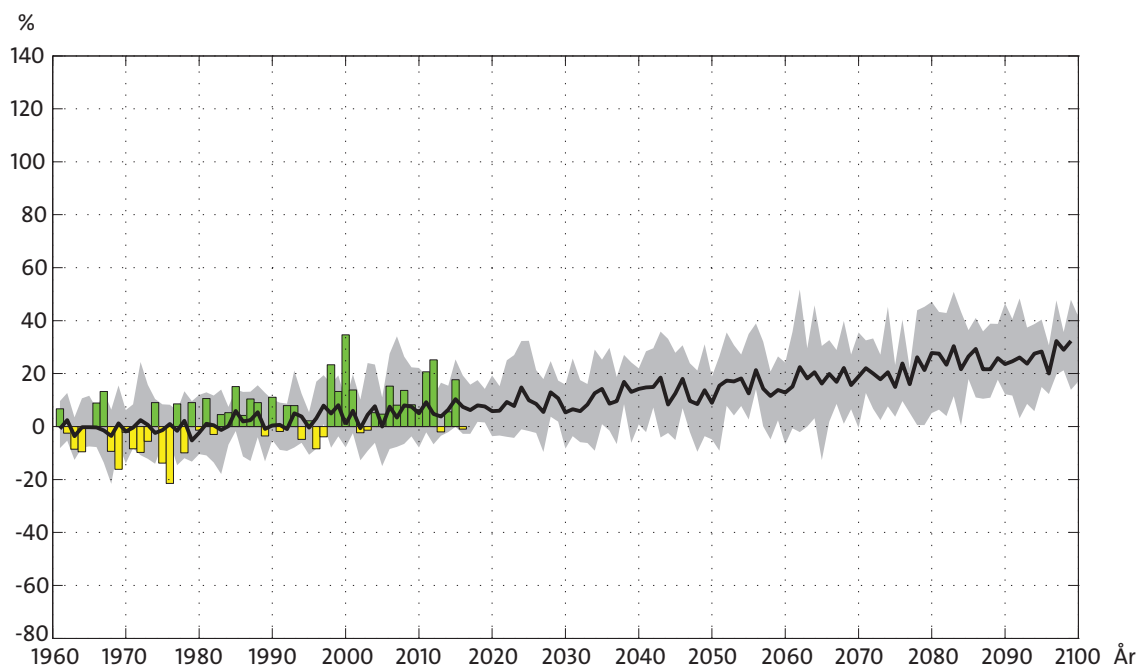
De modellerade utfallen för temperatur och nederbörd i scenarierna RCP 6 och RCP 8.5 redovisas i figur 2 respektive figur 3. I figurerna visar staplarna historiska data från observationer av temperatur och nederbörd. Den svarta kurvan visar ett medelvärde för en ensemble med nio klimatmodeller för scenario RCP 8.5. Det grå fältet visar variationsbredden mellan det högsta och lägsta värdet för de olika klimatmodellerna.



Figur 1. Årsmedeltemperaturen (°C) baserat på 35 stationer spridda över landet. Röda staplar visar högre och blå visar lägre temperaturer än medelvärdet för perioden 1961–1990. Den svarta kurvan visar ett utjämnat förlopp ungefär motsvarande tioåriga medelvärden. Källa SMHI.



Figur 2. Beräknad förändring av årsmedeltemperaturen (°C) i Sverige under åren 1961–2100 jämfört med den normala (medelvärdet för 1961–1990).



Figur 3. Beräknad förändring av årsnederbörden (%) i Sverige under åren 1961–2100 jämfört med den normala (medelvärdet för 1961–1990).

GRUNDVATTENBILDNING

Den hydrologiska process som leder till att våra grundvattenmagasin fylls på kallar vi grundvattenbildning. Det hydrologiska systemet och bildandet av grundvatten är starkt beroende av klimatet. Figur 4 visar schematiskt hydrogeologiska förhållanden som ofta råder i Sverige för ett avrinningsområde. Vatten tillförs landområden genom nederbörd (P) i form av regn eller snö. En del av nederbörden avgår till atmosfären genom avdunstning, dels genom evaporation (direkt avdunstning), dels genom transpiration (växter avger vattenånga). Summan av evaporation och transpiration benämns evapotranspiration (ET). Nederbörd minus evapotranspiration kallas ibland för effektiv nederbörd. Den del som inte evapotranspirerar infiltreras i marken och bildar mark- och grundvatten. Grundvattnet strömmar sedan vidare mot vattendrag, sjöar och hav som avrinning (R). Transporttiden för vattnet mellan grundvattenbildning och utströmning i vattendrag varierar stort, från någon timme till i vissa fall flera hundra år. Vid vissa geologiska, hydrologiska förhållanden kan grundvatten också bildas genom ett flöde från ytvatten till mark (ej illustrerat i figur 4).

Förutom ytvatten och vatten bundet i växter består den magasinerade mängden vatten (S) av markvatten och grundvatten och den vattenmängd som snötäcket representerar. Nederbörd, evapotranspiration och avrinning varierar över tid, vilket innebär att mängden vatten (S) också förändras över tid (ΔS). Detta kan uttryckas genom en vattenbalansekvation:

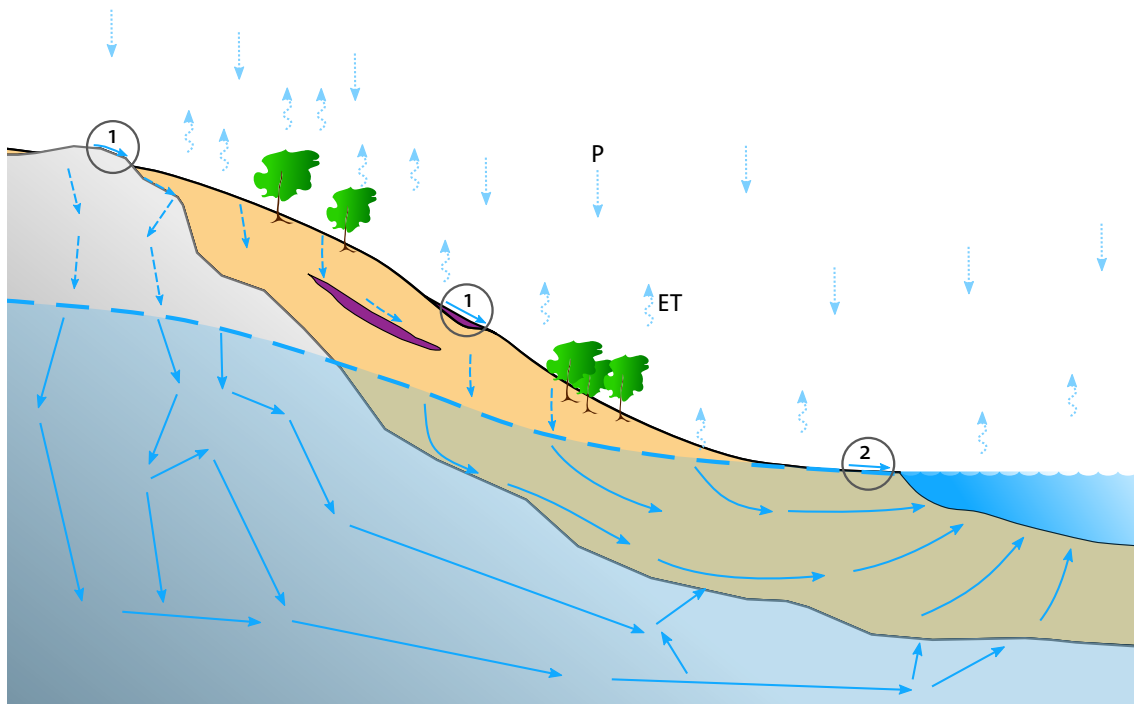
$$P = ET + R + \Delta S$$

Vattenbalansen i systemet påverkas också av eventuell mänsklig aktivitet där vatten tillförs eller leds bort, till exempel genom pumpning, inducerad eller konstgjord infiltration (till exempel genom bassänginfiltration av ytvatten vid vissa kommunala vattentäkter), otäta vatten- och avloppsledning, markavvattning eller dränerade undermarkskonstruktioner.

Vattnets väg genom landskapet beror i hög utsträckning på geologiska förhållanden, topografi, markanvändning och vegetation, vilket översiktligt visas i figur 4. Nederbörd som faller på marken kan infiltrera markytan och nå då markvattenzonen. Infiltrationskapaciteten i det översta marklagret är dock heterogent fördelad i landskapet och fläckvis mycket begränsad (exempelvis berghällar, tätare leror eller hårdgjorda ytor). Lokalt förekommer då så kallad hortonsk ytavrinning, som beror på att markytans infiltrationskapacitet är lägre än regnets eller snösmältningens intensitet. Detta vatten kan dock infiltrera markvattenzonen om det når mer permeabel mark i ett senare skede. Hortonsk ytavrinning är dock ingen vanligt förekommande situation för svenska jordar (Grip & Rodhe 2016). Nederbörd som faller på vattenmättade områden kan inte infiltrera marken och bildar istället så kallad mättad ytavrinning.

Den totala mängd vatten som kan lagras i markvattenzonen beror av flera faktorer, bland annat djup till grundvattenyta, porositet, kornstorleksfördelning och växtlighet. En del av markvattnet är tillgängligt för växtupptag, medan en del är så hårt bunden i jorden att växter inte kan ta upp det, så kallat adsorptivt bundet vatten. Om växterna inte längre kan ta upp något vatten är den så kallade vissningsgränsen nådd.

Vid ett visst vatteninnehåll i markvattenzonen (fältkapaciteten) kan ytterligare tillförsel av vatten inte lagras, utan medför en perkolation av vatten ned till grundvattnet, det vill säga grundvatten bildas (grundvattenbildning).



Figur 4. Schematisk bild över vattenbalans och flödesvägar inom ett avrinningsområde. Ljusgrått område illustrerar berg, ljusbrunt område mer genomsläpplig jord medan lila områden visar tätare jordlager. Nederbörd (P) och evapotranspiration (ET) illustreras med prickad rak respektive vågig pil. Grundvattenytan illustreras med en streckad linje och omrättade och mättade flöden med streckad respektive heldragen pil. Siffrorna noterar: (1) hortonsk ytavrinning, (2) mättad ytavrinning.

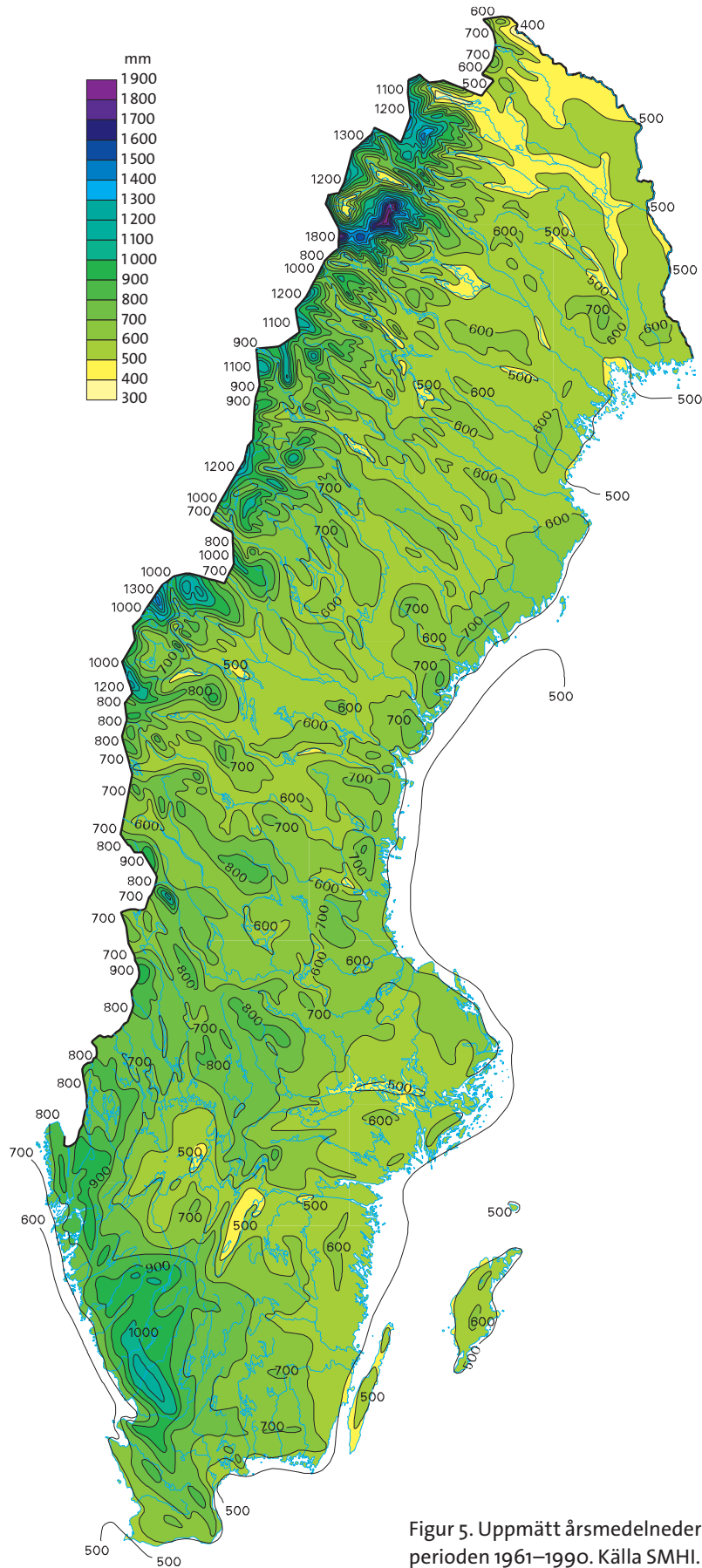
Grundläggande faktorer

Tack vare den generellt sett goda infiltrationsförmågan i svenska jordar utgörs den totala grundvattenbildningen i princip av skillnaden mellan nederbörd och evapotranspiration (effektiv nederbörd). Nederbörd och evapotranspiration är alltså de två fundamentala faktorerna för bildningen av grundvatten. Geologi och markanvändning är ytterligare faktorer som i hög grad inverkar på grundvattenbildningen genom att påverka vattnets strömning och avdunstning. Över längre tid motsvarar grundvattenbildningen avrinningen i våra vattendrag (Grip & Rodhe 2016). I ett litet avrinningsområde med tunna jordtäckan kan det handla om några månader för att avrinningen ska motsvara grundvattenbildningen. I ett stort avrinningsområde med mäktiga jordtäckan kan det handla om flera år.

Nederbörd

I Sverige har vi till största delen ett kalltempererat klimat med utpräglade årstider och nederbörd som faller året runt. Mest nederbörd kommer under sommar och höst. I allmänhet är årsnederbörden 500–800 mm. Lokalt faller upp till 1 500–2 000 mm per år i fjällområdena. I de mer bebodda trakterna faller som mest 1 000–1 200 mm, då främst i sydvästra Sverige. Betydligt mindre nederbörd får Sveriges östra kust. I avskärmade dalgångar i fjälltrakterna kan årsnederbörden vara under 400 mm (se figur 5).

Nederbördsmängderna varierar påtagligt mellan åren. På exempelvis Gotland har årsnederbörden sedan 1950-talet varierat mellan ca 350 mm och 650 mm (data från Gotlands flygplats, SMHI). Tar man ett exempel från västra Sverige (Alingsås) är motsvarande siffror 670–1 200 mm



Figur 5. Uppmätt årsmedelnederbörd perioden 1961–1990. Källa SMHI.

(SMHI). Även hur nederbörden distribueras över året varierar i hög grad. Detta kan få stora konsekvenser för nybildningen av grundvatten eftersom grundvattenbildningen under vegetationsperioden i regel är begränsad. På samma observationsplatser har nederbörden som fallit under den huvudsakliga grundvattenbildningsperioden (i dessa fall november till april) varierat från 26 till 67 procent av årsnederbörden för Gotland respektive 30–58 procent för Alingsås. På Gotland föll som mest 350 mm under grundvattenbildningsperioden och som minst 140 mm. I Alingsås var motsvarande siffror 630 mm och 240 mm.

I stora delar av landet magasineras den nederbörd som faller vintertid som snö. Detta innebär att grundvattenbildningen inte sker vid nederbördstillfället utan vid snösmältningen.

Evapotranspiration

Evapotranspirationen utgör den totala mängden vatten som avgår från jordens yta till atmosfären som ånga. Begreppet inkluderar växternas transpiration och interception, samt den evaporation som sker från markytan och från markens porer. Evapotranspirationen är svår att fastställa och beror både av klimatfaktorer, såsom temperatur, vindförhållanden och solinstrålning, samt av faktorer som är kopplade till växtlivet, såsom mängden växttillgängligt markvatten och bladyteindex. På grund av komplexiteten i de faktorer som styr evapotranspirationen är den geografiska variationen betydande.

Vegetationen har stor inverkan på evapotranspirationen och i skogsområden är den större än i områden med lägre vegetation. I barrskogsområden på våra breddgrader tycks bladyteindex vara den enskilt viktigaste faktorn för evapotranspirationens storlek (Ala-aho m.fl. 2015) och därmed väsentlig även för grundvattenbildningen.

Förutsättningarna för bildning av grundvatten under vegetationsperioden är begränsade på grund av växternas aktiva bidrag till evapotranspirationen, i kombination med ökad avdunstning under den varma årstiden. SMHI definierar normalt vegetationsperioden som den del av året då dagsmedeltemperaturen överstiger 5 °C. Figur 6 illustrerar hur vegetationsperiodens längd varierat i Sverige perioden 1961–1990.

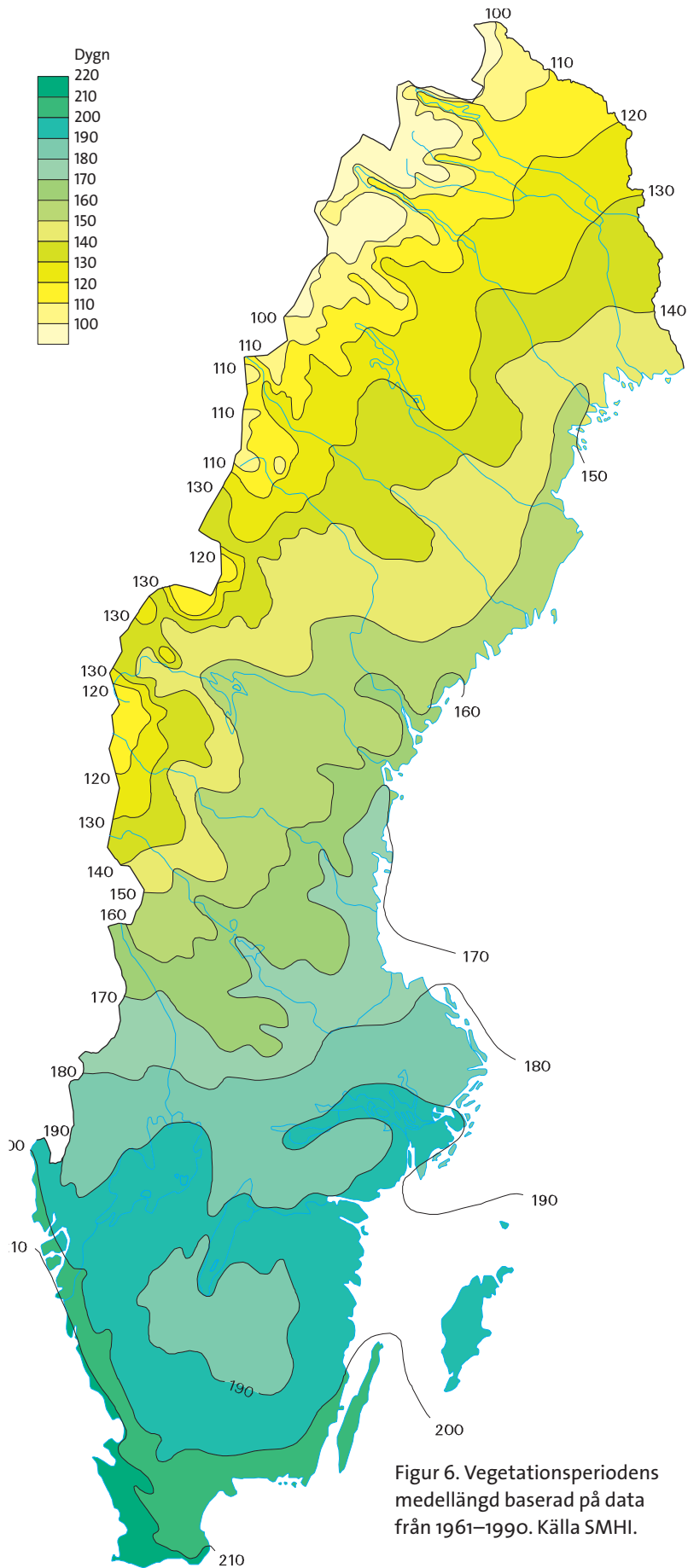
SGU brukar förenklat räkna med att man under vegetationsperioden inte har någon betydande nybildning av grundvatten. Man kan dock vid vissa tillfällen observera höjningar av grundvattennivån även under vegetationsperioden. Detta sker i samband med intensiva regn som ger upphov till att fältkapaciteten överskrids. Inom SGUs grundvattennät övervakas grundvattennivåer i ett 70-tal områden i olika delar av landet. I figur 7 presenteras ett exempel från ett observationsrör i SGUs grundvattennät (Nordberg & Persson 1974) där en tydlig grundvattenbildning kan noteras under sommaren år 2010.

Geologi och markanvändning

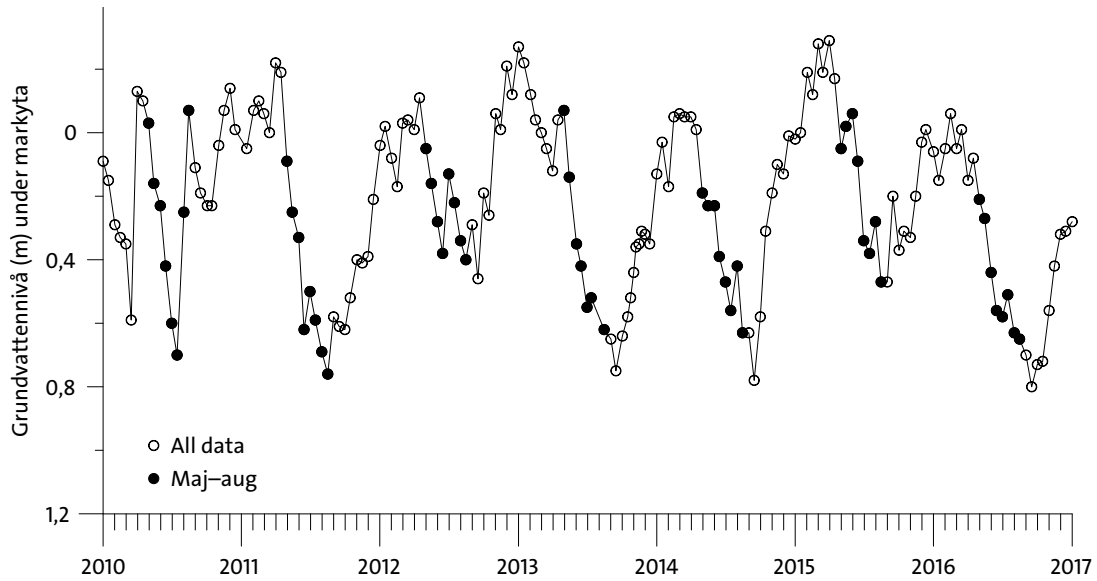
Geologin har betydelse för grundvattenbildningen i avseendet att den styr infiltrationsförmågan och perkolationen. Därutöver är den avgörande för markens vattenhållande förmåga och för den direkta avdunstningen från markytan. Vanligtvis sker ingen grundvattenbildning förrän markens fältkapacitet överskrids. Undantaget är jordar med väl utvecklade makroporer (exempelvis en uttorkad lerjord). Notera också att grundvattenbildning och grundvattenflöde i sprickigt berg kan skilja sig markant från förhållandena i jord. Geologin har också en indirekt betydelse då den kan vara avgörande för vilket typ och mängd av växtlighet som finns på respektive plats, vilket i sin tur påverkar evapotranspirationen.

Även markanvändningen har betydelse för bildningen av grundvatten. Jord- och skogsbruk påverkar exempelvis förutsättningarna för evapotranspiration. Enligt Ala-aho m.fl. (2015) kan olika sätt att bedriva skogsbruk innebära skillnader i grundvattenbildning på upp till 100 mm per år.

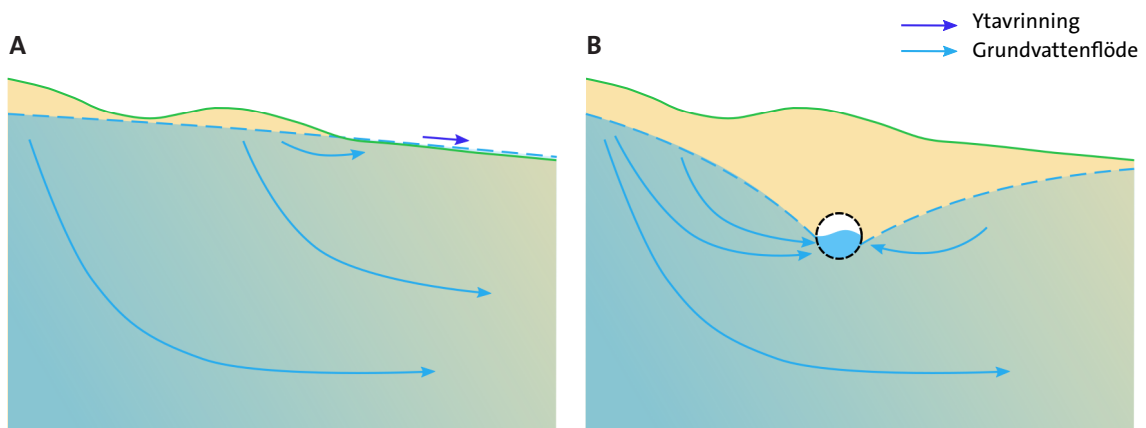
Dräneringsåtgärder är ingrepp som kan ha betydande påverkan på grundvattenbildning och



Figur 6. Vegetationsperiodens medellängd baserad på data från 1961–1990. Källa SMHI.



Figur 7. Uppmätta grundvattennivåer i ett observationsrör utanför Södertälje (SGUs grundvattennät, rör nr 57:1). Data under perioden maj till och med augusti är markerade med svart. En tydlig höjning av grundvattennivån syns i slutet av sommaren 2010, men även mindre höjningar syns under övriga år. Observationsröret är beläget i ett litet, snabbt reagerande grundvattenmagasin.



Figur 8. Illustration av grundvattenbildning och grundvattenflöde. A. Utan dränering. B. Med dränering.

grundvattenflöden. Dränering är vanligt förekommande inom jord- och skogsbruk, men även i bebyggda områden. Dränering kan påverka både grundvattenbildning och grundvattenflöde. Figur 8 visar ett exempel på en jordprofil med hög grundvattenyta där a) är utan dränering och b) är med dränering. I figur 8a) uppstår, åtminstone tidvis, vattenmättade förhållanden i svackorna. Där kan det därmed förekomma mättad ytavrinning. I figur 8b) med dränering är grundvattentytan sänkt jämfört med ursprungsförhållandena. I det fallet bildas ingen mättad ytavrinning och den totala grundvattenbildningen blir därmed högre. Dock medför grundvattenbortledningen och den sänkta grundvattentytan vid dräneringen att storleken på grundvattenmagasinet och det djupare grundvattenflödet minskar jämfört med vid de odränerade förhållandena, eftersom en del av grundvattnet leds bort till ytvatten. Detta kan få stora negativa effekter för den mängd grundvatten som kan utvinna för andra syften, till exempel för dricksvattenförsörjning.

I urbana områden ökar som regel ytavrinningen till följd av hårdgjorda ytor och dag- och dränvattensystem. Grundvattenbildningen kan reduceras avsevärt och i stort sett upphöra på grund av detta. Enligt Aastrup och Thunholm (2001) är grundvattenbildningen i Stockholm 20 procent jämfört med opåverkade förhållanden. I urbana områden kan grundvatten också bildas till följd av läckage från vattenledningar eller andra installationer som leder vatten. Beräkning av grundvattenbildning ställer stora krav på uppgifter om hantering av dagvatten, dränering, hårdgjorda ytor, ledningar för vatten och avlopp m.m. Feluppskattningar kan annars ske om grundvattenbildning beräknas utifrån avrinningen, eftersom en betydande andel av avrinningen i urbana områden inte härrör från grundvatten. En annan felkälla i urbana områden är vattenuttag som påverkar vattenbalansen.

Grundvattenregimer

Genom att studera grundvattnets nivåförändringar över ett år kan man se under vilka perioder det sker nivåhöjningar (påtaglig grundvattenbildning) respektive avsänkning (liten eller ingen grundvattenbildning). För små grundvattenmagasin (se vidare under kapitlet *Grundvattentillgång*) finns återkommande årstidsmönster. Dessa kallas grundvattenregimer. Regimkurvornas utseende beror av hydrogeologi och klimat vilket gör att regimkurvorna ser olika ut beroende på var i landet man befinner sig (figur 9). En sammanställning som utfördes för perioden 1981–2010 uppvisar fyra regioner med olika regimer (SGU, 2013). Längst i söder är grundvattennivån högst under våren och lägst under hösten, vilket främst beror på genomsnittliga årstidsvariationer i avdunstning och växternas vattenupptag. I de inre delarna av Götaland och Svealand sjunker grundvattennivåerna under vintern till följd av minskad eller utebliven grundvattenbildning. I större delen av Norrland dominerar nivåminskningen under vintern, vilket innebär att den lägsta grundvattennivån infaller precis före snösmältningen.

Skattning av grundvattenbildning – metoder och resultat

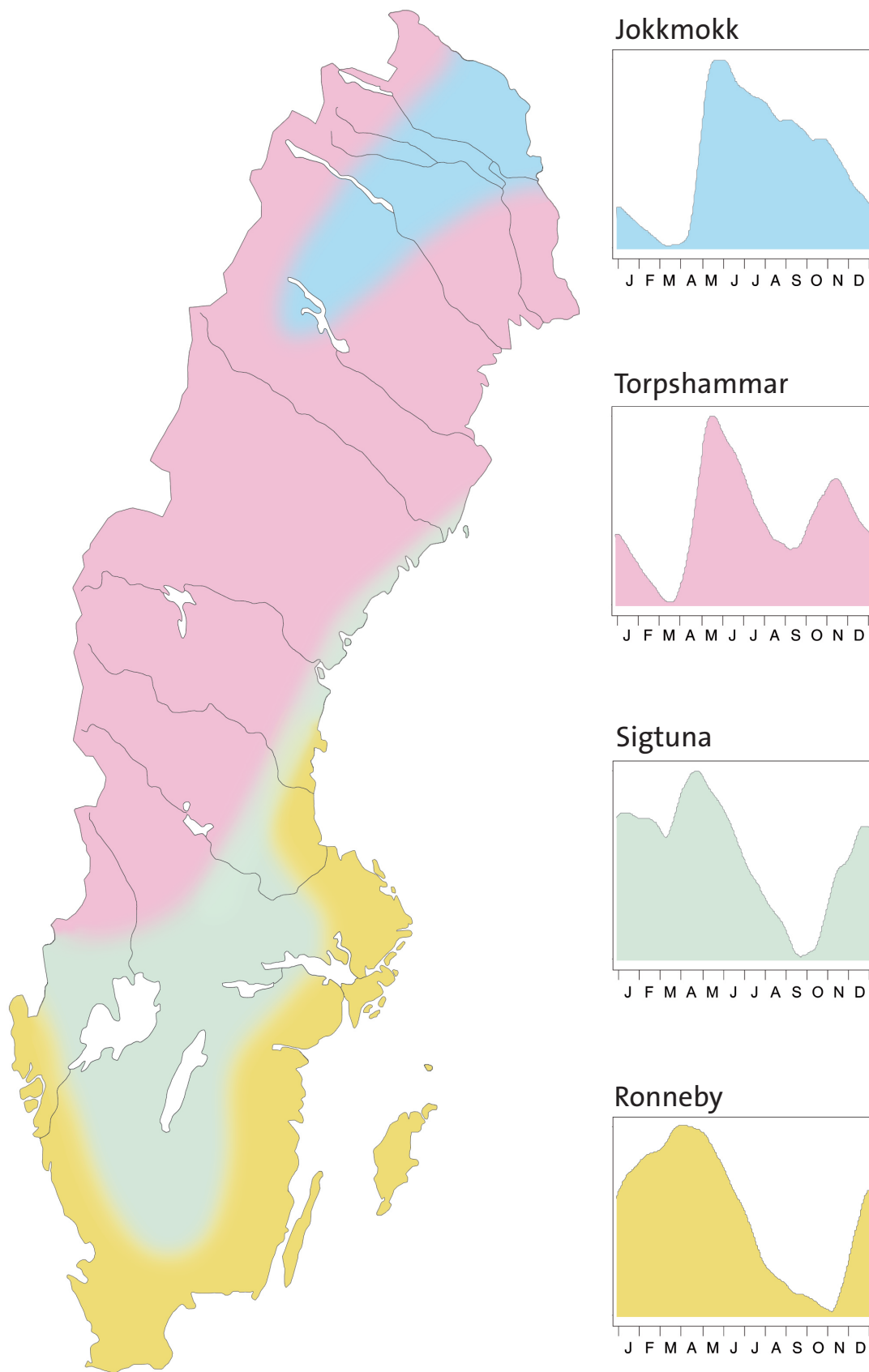
Grundvattenbildning kan mätas och beräknas på flera olika sätt. En möjlighet att gruppera metoderna är att utgå från var i kretsloppet grundvattnet studeras (Olofsson & Knutsson 2004):

- Inflödet till grundvattnet, vanligtvis användning av spårämnen
- Grundvattnets respons på inflödet, exempelvis förändringar i grundvattennivå
- Grundvattnets utflöde, vanligtvis hantering av data från ytvattenflöden

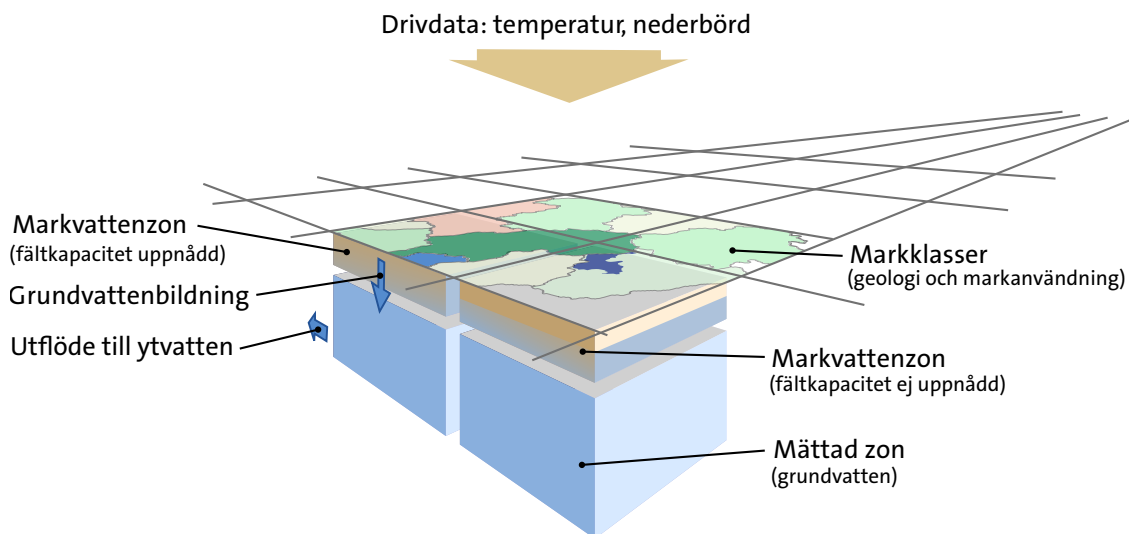
Olika metoder kan kombineras för att ge bättre underlag vid bedömningar. Metoderna måste vara testade och kalibrerade och deras osäkerheter bör vara dokumenterade. Generellt finns det osäkerheter i alla bedömningsmetoder för grundvattenbildning. Dessutom tillkommer en osäkerhet rörande hur stor del av det bildade grundvattnet som kommer ned till de djupare delarna där grundvattenuttagen sker och därmed är tillgängliga för vattenförsörjningen.

En av de första och sedan mer använda sammanställningarna redovisades av von Brömssen (1968). Principen var att med utgångspunkt i data från provpumpade och i drift använda vattentäkter belägna i väl definierade tillrinningsområden jämföra uppumpad grundvattenmängd med nederbörden och koppla detta till de geologiska förutsättningarna inom tillrinningsområdet. Utifrån dessa studier samt vissa egna kompletterande försök som baserades på infiltrationsmätningar sammanställdes infiltrationskoefficienter för olika typgeologier med en variation på mellan 0,11 (lera-häll-morän) och 0,8 (isälvsavlagringar) av nederbörden. Infiltrationskoefficienterna är tänkta att användas som koefficienter för att beräkna grundvattenbildningen i olika jordarter genom att multiplicera dem med den effektiva nederbörden i aktuellt område.

Ett skäl till att koefficienterna har fått en stor spridning och användning i beräkningssammanhang är att de är enkla att använda och snabbt ger en grov uppskattning om grundvattenbildningens



Figur 9. Grundvattenregimer för perioden 1981–2010 (SGU 2013).



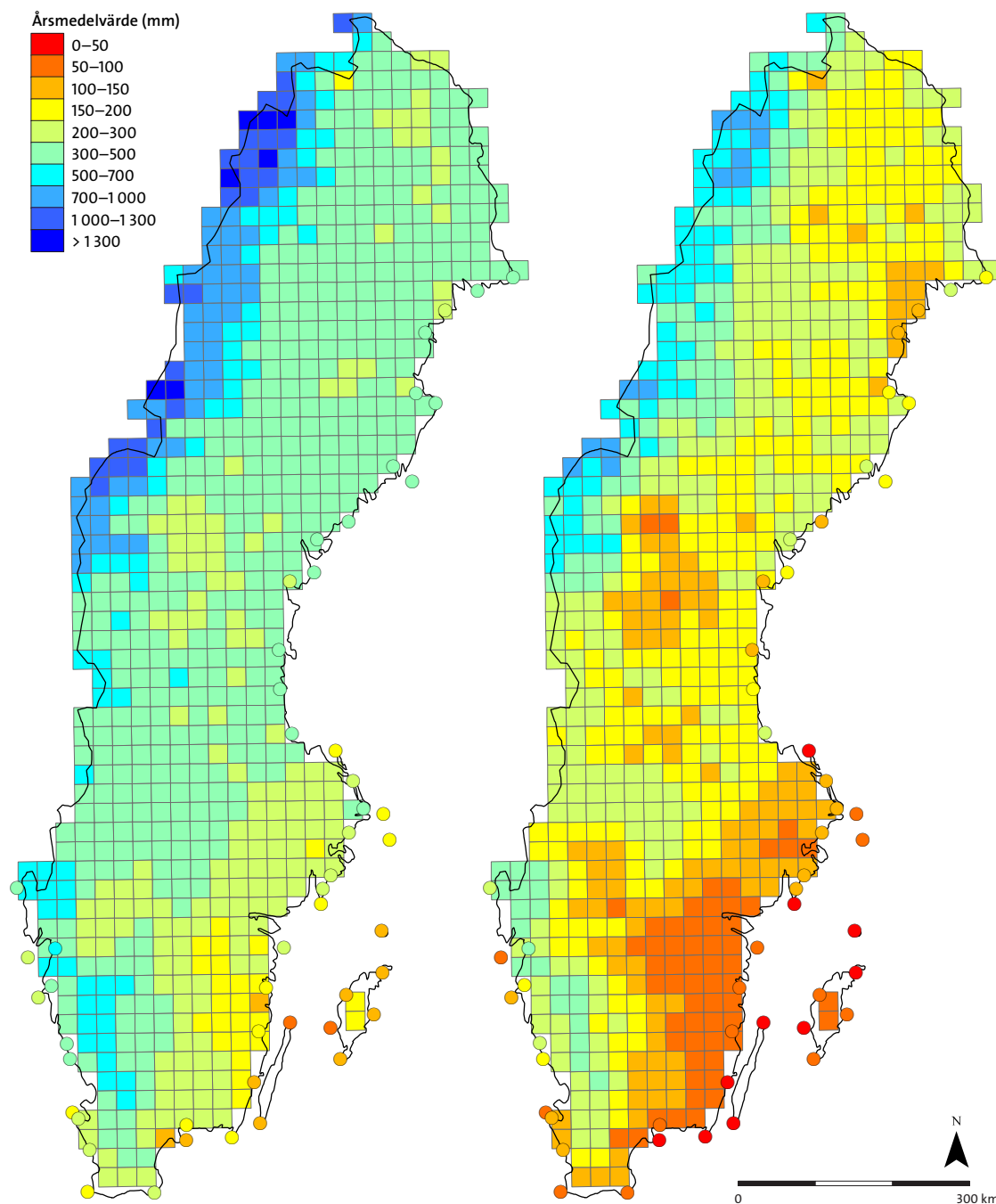
Figur 10. Beskrivning av HBV-modellens struktur för ett beräkningsområde.

storlek. En svaghet i beräkningarna är att det kan vara svårt att avgöra i vilken utsträckning det faktiskt sker ett ytterligare tillskott eller avtappning av grundvattnet än vad som bortletts vid propumpningen samt att de yt nära geologiska förhållandena kan vara svåra att i detalj direkt koppla till den praktiskt utvinningsbara grundvattenbildningen.

Genom att använda HBV-modellen (Bergström 1976) har beräkningar av grundvattenbildning på nationell nivå utförts av SMHI och Uppsala universitet, med finansiering av SGU. HBV-modellen (Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning) är en förenklad beskrivning av vattnets transport från nederbörd till ytvatten (figur 10). Modellen drivs av dygnsvärden för nederbörd och temperatur och kalibreras mot ytvattenflöden. Beräkning av grundvattenbildningen ingår för att kunna beräkna ytvattenflöden. Grundvattenbildningen uttrycks förenklad som effektiv nederbörd, det vill säga skillnaden mellan nederbörd och evapotranspiration. Modellen har använts för att beräkna grundvattenbildning och grundvattennivåer för olika tidsperioder samt även för framtida klimatscenarier.

Med hjälp av HBV-modellen beräknade Sanner och Grahn (1995) den effektiva nederbörden för 732 topografiska kartblad enligt koordinatsystemet RT 90. Vidare beräknades den effektiva nederbörden för 52 kuststationer (figur 11a). Beräkningarna utfördes genom att hantera nederbörd, evapotranspiration och avrinning utifrån regionindelning av landet, fördelning av öppen mark och skog, andel sjö och höjd över havet. Det finns tillgängliga data för perioden 1961–1990 i form av 30-årsmedelvärde, minsta och största värde, olika percentiler på den effektiva nederbörden under perioden, månadsvisa 30-årsvärden för normalår samt standardavvikelser. I figur 11a visas 30-årsmedelvärde på effektiv nederbörd och i figur 11b visas lägsta årsmedelvärde för 30-årsperioden. Sydöstra delen av Sverige har den lägsta effektiva nederbörden (figur 11b). Vissa extrema år kan den i detta område understiga 100 mm/år. Statistik för några utvalda orter redovisas i tabell 1.

I datamängden från Sanner och Grahn (1995) finns även den effektiva nederbörden uppdelad på månadsmedelvärden (figur 12). Genom att gruppera månaderna säsongsvist framträder att det är våren (mars–maj) som är viktig för grundvattenbildningen i sydöstra Sverige, likaså för större delen av norra Sverige. Den viktigaste perioden för grundvattenbildning i norra fjällkedjan är istället sommarmånaderna (juni–augusti). Under den perioden sker däremot nästan ingen



Figur 11. 30-årsmedelvärde på effektiv nederbörd för 732 topografiska kartblad samt 52 kuststationer beräknat med HBV-modellen perioden 1961–1990 (a). Källa Sanner & Grahn (1995). Effektiv nederbörd vid lägsta årsvärde (torrår) baserat på samma dataunderlag (b).

grundvattenbildning längs sydostkusten I nordligaste delen av Sverige sker det tvärtom nästan ingen grundvattenbildning under vintern (december–februari).

Vidare har en vattenbalansmodell, som är en förenklad variant av HBV-modellens markvattenrutin, använts för att beräkna grundvattenbildningen i 161 avrinningsområden i Sverige (Rodhe m.fl. 2006, Rodhe m.fl. 2008). Vid beräkningarna användes tre markklasser, det vill säga grupperingar av jordarter, samt den sammanslagna klassen torv och sjö som antogs sakna

Tabell 1. Urval av kartblad från Sanner och Grahn (1995) som visar den effektiva nederbörden i mm för olika platser i Sverige för perioden 1961–1990.

Ort	Medelvärde för årsvärden (mm)	Högsta års- värde (mm)	År för högsta årsvärde	Lägsta årsvärde (mm)	År för lägsta årsvärde
Luleå	292	512	1967	118	1963
Härnösand	376	564	1986	184	1975
Gävle	298	480	1977	158	1973
Karlstad	312	495	1977	144	1973
Visby	148	266	1974	51	1964
Jönköping	241	467	1977	101	1976
Kalmar	155	296	1966	58	1989
Ullared	487	674	1990	240	1976
Tomelilla	275	416	1981	140	1964

markvattenmagasin. Grundvattenbildningen i de olika områdena beräknades med hjälp av nederbörd och temperatur och kalibrering utfördes mot avrinningen (figur 13). Beräkningarna baserades på klimatdata från perioden 1961–2003 och inkluderar därmed något nyare data än Sanner och Grahn (1995). Modellen har även använts för att beräkna grundvattenbildningen i ett framtida klimat (Rodhe m.fl. 2009). Validering utfördes genom jämförelser med uppmätta grundvattennivåer enligt Rodhe m.fl. (2008).

I modellen S-HYPE (Strömquist m.fl. 2012) redovisas beräknade grundvattennivåer varje dygn från och med 1961 för 37 000 delavrinningsområden. Beräkningar av grundvattennivåer utförs i S-HYPE på ett liknande sätt som i HBV-modellen. I S-HYPE utförs beräkningar för jordarter och markanvändning inom varje delavrinningsområde. Dagsaktuella data redovisas på SMHIs webbplats. För närvarande presenteras inte data för grundvattenbildning.

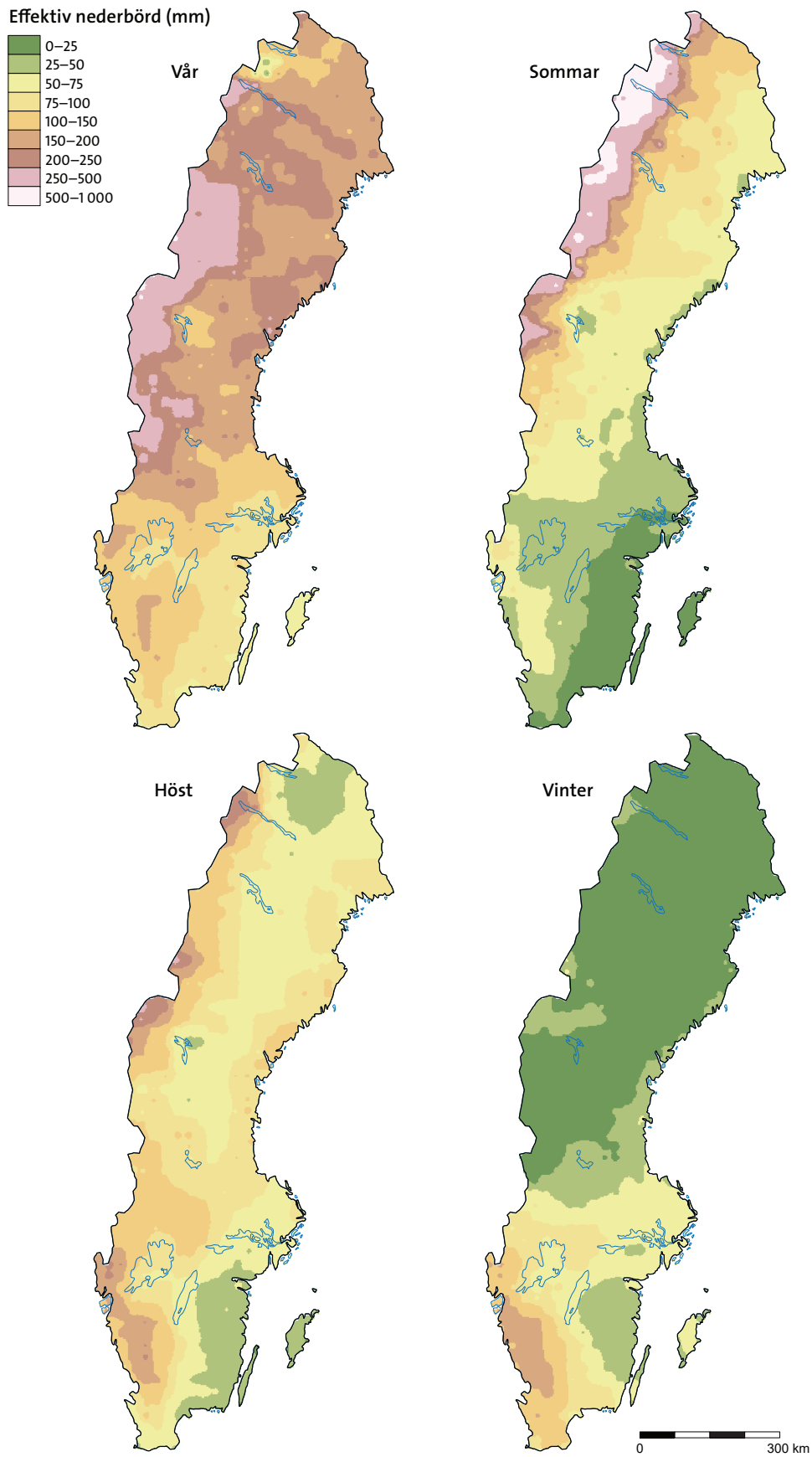
S-HYPE ger en beräknad grundvattennivå per delavrinningsområde, vanligtvis medelvärden för varje dygn. Data bör därför användas med försiktighet vid bedömning av platsspecifika förhållanden. Dessutom kan S-HYPE ge en överskattad bild av grundvattenbildningen i områden med mänsklig påverkan i form av exempelvis dränering, diken och dagvattenbortledning. Responsen i grundvattennivåerna i samband med nederbörd blir då för snabb i modellen. Modellen kalibreras vanligtvis mot ytvattenflöden och eftersom en del av ytvattenflödet härrör från dagvattensystem och dränering kan i sådana fall därmed grundvattenbildningen överskattas.

Berggrundvatten

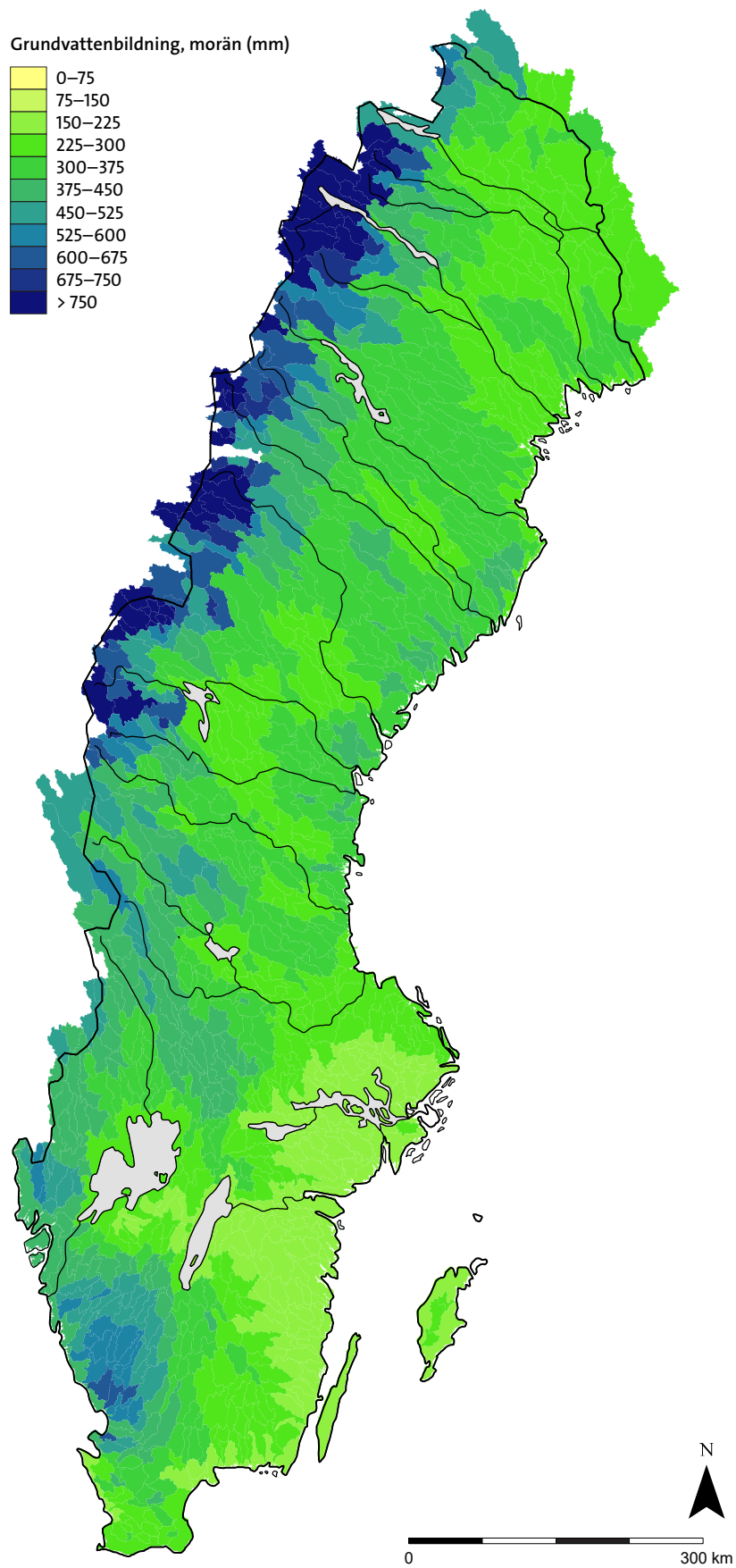
Skattningar rörande bildning av berggrundvatten beskrivs mer utförligt i bilaga A. Det kan konstateras att det finns platsspecifika skattningar av bildning av berggrundvatten i Sverige, men generellt sett är det relativt få som är allmänt tillgängliga. Det finns inte heller någon heltäckande skattning av bildning av berggrundvatten för Sverige.

Bildning av berggrundvatten kan troligen variera starkt mellan platser men också inom begränsade områden. SGU har inte funnit något stöd i litteraturen för att bildningen under ostörda förhållanden skulle vara större än 50 mm/år i Sverige sett över ett större område. Dock är underlaget mycket begränsat varför det inte går att utesluta att det förekommer.

Under avsänkta förhållanden kan bildning av berggrundvatten och flödena i berget bli betydligt högre än vid ostörda förhållanden eftersom den hydrauliska gradienten ökar i området. Hur mycket grundvattenbildningen och flödet ökar vid avsänkning är dock inte givet och är troligen platsspecifikt eftersom andra faktorer än hydraulisk gradient kan vara avgörande.



Figur 12. Fördelning av effektiv nederbörd under vår, sommar höst och vinter, baserat på medelvärden för månader perioden 1961–1990. Data från Sanner och Grahn (1995).



Figur 13. Grundvattenbildning för morän (årsmedelvärden) enligt Rodhe m.fl. (2006).

GRUNDVATTENTILLGÅNG

Det är viktigt att hålla isär begreppen grundvattenbildning och grundvattentillgång eftersom långt ifrån allt grundvatten som bildas kan betraktas som tillgängligt för människan och samhället. För att kunna göra en bedömning av grundvattentillgången måste även hänsyn tas till den magasinierande förmågan hos jordlagren och berggrunden samt till hur och när uttagen av grundvatten sker. En liten magasinierande förmåga, exempelvis i områden med kalt berg eller tunna jordtäcken, innebär en hög känslighet för perioder med utebliven grundvattenbildning. I denna geologiska miljö kan endast liten mängd grundvatten magasineras, vilket innebär att tillgången styrs mer av den magasinierande förmågan än av den totala grundvattenbildningen. Grundvattenbildningens fördelning över tiden kan däremot ha stor betydelse för tillgången. I områden med liten magasinierande förmåga är därför magasinieringsförmågan viktigare att beakta än den totala grundvattenbildningen över året. Detta är särskilt viktigt i sådana områden i Sverige där merparten av grundvattenuttaget sker under ett fåtal månader, till exempel i områden med stor sommar- eller vinterturism.

Omvänt är stora grundvattenmagasin, som exempelvis mäktiga sand- och grusavlagringar, relativt okänsliga för perioder med liten grundvattenbildning. För de stora grundvattenmagasinen är den totala grundvattenbildningen av stor betydelse vid bedömning av vattentillgången.

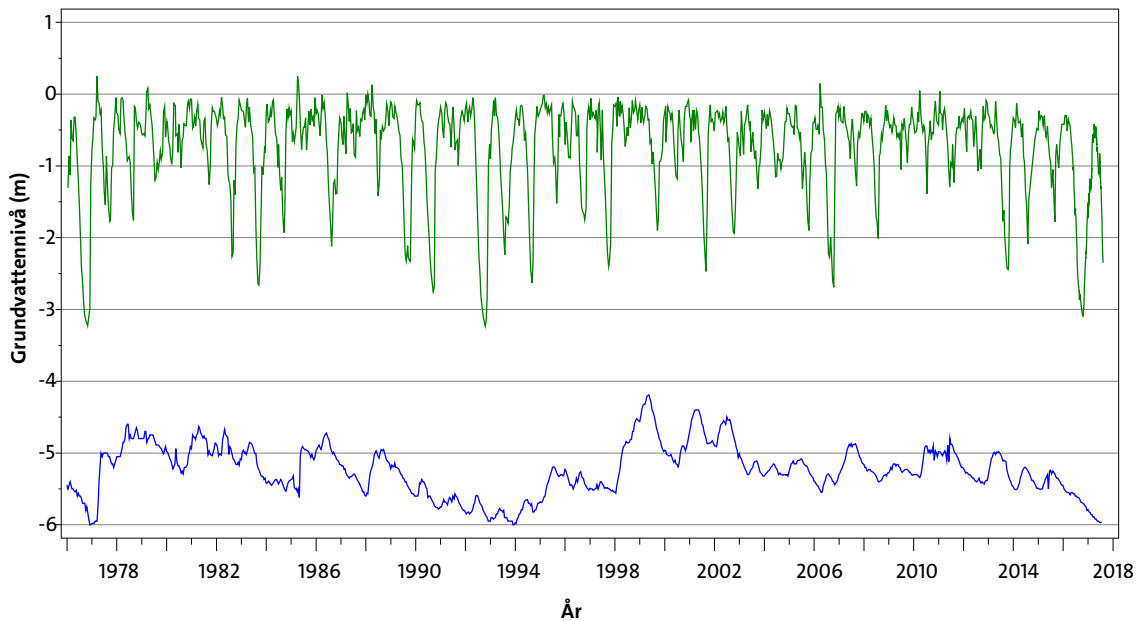
Små snabbreagerande grundvattenmagasin

Exempel på små, snabbreagerande grundvattenmagasin finns i jordarten morän och i kristallint berg. Små grundvattenmagasin reagerar snabbt på förändringar i nederbörd eftersom de har en relativt liten magasinierande förmåga (det vill säga liten effektiv porositet) och därför är känsliga för variation i grundvattenbildning. Grundvattennivåer i morän samvarierar ofta med grundvattennivåer i grävda brunnar och bergborrade brunnar i kristallint berg. Bergborrade brunnar i kristallint berg har vanligtvis tillgång till ett ytmässigt större magasin genom att de är nedförda till ett större djup. Att de reagerar snabbt beror dock främst på att den effektiva porositeten är begränsad. Efter nederbörd kan det handla om något eller några dygn innan förändringarna kan noteras i ett litet snabbreagerande grundvattenmagasin.

Stora långsamreagerande grundvattenmagasin

Mäktiga sand- och grusavlagringar samt områden i sedimentär berggrund med hög effektiv porositet utgör ofta grundvattenmagasin som är viktiga för den kommunala vattenförsörjningen. Dessa grundvattenmagasin brukar reagera långsamt på förändringar i nederbörd. Det kan handla om veckor eller månader innan förändringarna kan noteras i grundvattenmagasinet. Att de stora magasinerna reagerar långsamt beror på att de oftast har en mäktig omättad zon, vilket innebär att det tar lång tid för infiltrerat vatten att påverka grundvattennivån. Genom sin stora effektiva porositet blir höjningen av grundvattennivån för en viss mängd grundvattenbildning liten i ett stort magasin jämfört med i ett litet magasin, vilket ger små nivåvariationer under året.

Kommunala brunnar brukar vara nedförda till större djup än enskilda, samt i allmänhet av större dimension, vilket kan ge förutsättningar till fortsatt stora grundvattenuttag även om grundvattennivån tidvis sjunker. Det bör dock beaktas att under perioder med lägre grundvattennivåer än normalt kan förändringar i vattenkvaliteten uppträda. Sammantaget är de stora magasinerna mindre känsliga för kortvariga variationer i grundvattenbildning. Samtidigt kan det ta lång tid att återställa grundvattennivåerna till de normala efter längre perioder med liten grundvattenbildning. För att kunna öka uttagen och samtidigt bibehålla grundvattennivåerna förstärks i många fall grundvattenmagasinet med konstgjord grundvattenbildning genom att ytvatten tillförs via dammar eller sprinklers, se bland annat Knutsson och



Figur 14. Grundvattennivåer i förhållande till markytan under perioden 1976–2017 i ett litet snabbreagerande grundvattenmagasin i morän (grön kurva) och i ett stort långsamreagerande grundvattenmagasin i isälvsmaterial (blå kurva). Data från två närbelägna observationsrör i SGUs grundvattennät.

Morfeltdt (2002). Detta förutsätter att ytvattentillgången är så stor att den medger uttag för konstgjord grundvattenbildning. Även fördröjningsmagasin för ytvatten kan, om de är rätt konstruerade och placerade, bidra till en förstärkt grundvattenbildning.

Geologins betydelse för grundvattennivåernas respons på grundvattenbildningen framgår av figur 14. Där kan uppmätta grundvattennivåer i ett litet snabbreagerande grundvattenmagasin i morän jämföras med nivåer i ett stort långsamreagerande grundvattenmagasin i en isälvsavlagring.

Avgörande faktorer för grundvattentillgång

Ett antal faktorer påverkar möjligheterna för grundvattenuttag i ett område och generellt sett är det alltid den faktor som först uppnår sin begränsning som blir styrande för det långsiktigt hållbara utnyttjandet av en grundvattenresurs. Bland de viktigare faktorerna är:

- Tillgången på vatten som kan bilda grundvatten, både naturligt (nederbörd), genom inducering eller genom konstgjord grundvattenbildning
- Möjligheten för det geologiska mediet att magasinera det bildade grundvattnet
- Det geologiska mediets förmåga att avge grundvatten i en för ändamålet avsedd mängd (vid grundvattenuttag)
- Grundvattenmagasinets läge i terrängen och trösklar som kan hålla kvar grundvattnet i magasinet

Både storleken på grundvattenmagasinet och dess sammansättning spelar alltså stor roll för vattentillgången. Mycket av den grundvattenbildning som sker är ytlig och vattnet kan ha en mycket kort uppehållstid i marken innan det läcker ut i ytvattendrag (Grip & Rodhe 2016). Detta medför att uttagsmöjligheterna inte nödvändigtvis är gynnsamma trots att grundvattenbildningspotentialen hög.

Grundvattenmagasinets terrängläge och underliggande berg påverkar magasinets upptagnings-

område och magasineringsförmåga. Låglänta områden är ur denna aspekt bättre än höjdområden. Även närhet till ytvattensystem, som kan verka som stöd genom inducerad infiltration, kan vara en gynnsam faktor vid större grundvattenuttag, se exempelvis Knutsson och Morfeldt (2002).

Ytterligare en faktor som kan verka begränsande på möjligheterna till grundvattenuttag är grundvattnets kemiska sammansättning. Ett vatten med dålig kvalitet, både avseende naturligt innehåll av ämnen och innehåll orsakat av mänsklig påverkan, kan begränsa möjligheterna för utnyttjande av resursen. En förändrad grundvattennivå, betingad av naturliga variationer eller av förändrade uttag i grundvattenmagasinet, kan leda till förändringar av kvaliteten på grundvattnet. I förlängningen kan detta medföra att vattnet är svårt att använda till dricksvatten eller att det krävs en utökad beredning av vattnet. Oftast rör sig kvalitetsförsämringarna om förändrade färgtal och förändrade järn- och manganhalter.

Bedömning av grundvattentillgång

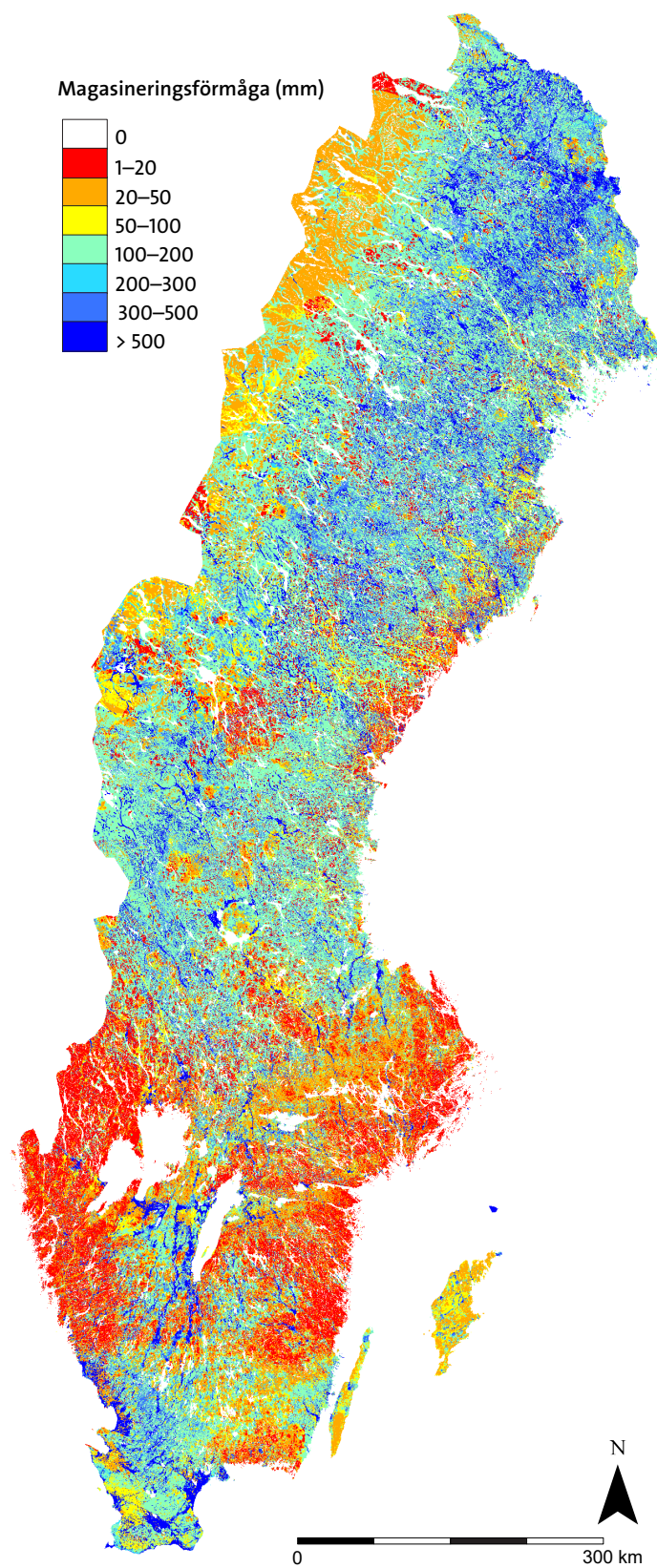
En säker vattenförsörjning bygger på att man planerar för att säkra vattentillgång även i utsatta och extrema situationer. Eftersom grundvattenbildningen inte är jämt fördelad över året uppstår i princip varje år perioder då avrinning, evapotranspiration och eventuellt mänskligt uttag är större än grundvattenbildningen. Under dessa perioder sker en avsänkning av grundvattnet. Under avsänkingsperioderna är man beroende av jordlagrens och berggrundens magasinering förmåga. Med kännedom om den magasinerade förmågan, avsänkingsperiodens längd och förväntat uttag kan man på ett förenklat sätt avgöra om det finns några marginaler i vattenförsörjningen.

Avsänkingsperiodens längd kan i viss utsträckning sammankopplas med vegetationsperiodens längd. Således kan avsänkingsperioden bli längre i takt med pågående klimatförändringar som förväntas bidra till längre vegetationsperioder. Observationer från SGUs grundvattennät kan användas för att analysera avsänkingsperioden ur ett historiskt perspektiv. Exempelvis har avsänkingsperiodernas längd i Östhammar varierat mellan 50 och 150 dagar från det att mätningar påbörjades (SGU 1999).

Som stöd för bedömning av vattenförsörjningens sårbarhet ur ett magasineringsperspektiv har det inom ramen för detta uppdrag gjorts en mycket översiktlig skattning av jordlagrens och berggrundens magasinering förmåga. Resultaten är avsedda främst för att bedöma områden relativt varandra i nationell och regional skala. De är inte avsedda för att få fram absoluta värden eller för att användas i lokal skala. Anledningen är att skattningen baseras på flera förenklingar och utan hänsyn till lokala förhållanden. Liknande, men enklare, skattningar har tidigare gjorts av SGU för ett antal kommuner (SGU 2000, SGU 2006, SGU 2009a, SGU 2009b). Beräkningar och antaganden beskrivs mer utförligt i bilaga B.

Kortfattat baseras beräkningarna på antaganden om effektiv porositet i jord respektive berg, jorddjup, grundvattenytans läge samt lämplig och praktiskt möjlig avsänkning på grund av grundvattenuttag. Den effektiva porositeten i jord bestäms av jordart enligt jordartskartan. Det innebär till exempel att områden där lera överlagras morän eller isälvsavlagring, endast betraktas som lera i beräkningarna. Den effektiva porositeten i berg styrs av skattad uttagsmöjlighet samt om det är urberg eller sedimentärt berg. Dessa antaganden och uppdelningar är givetvis starkt förenklade, vilket är en anledning till att skattningen är indikativ och inte ska användas i lokal skala. Beräkningen utfördes för hela Sverige uppdelat i rutnät med cellstorlek 50x50 m. Resultatet, den magasinering förmågan, kan sättas i relation till beräknad grundvattenbildning. Där den årliga grundvattenbildningen är stor i förhållande till den magasinering förmågan, är det mycket möjligt att det är den senare som i praktiken begränsar den årliga uttagsmöjligheten snarare än grundvattenbildningen.

I figur 15 visas resultatet från den översiktliga beräkning som genomfördes för Sverige. De mönster som framträder var till stora delar förväntade. Områden med låg magasinering förmåga



Figur 15. Resultat från översiktlig beräkning av jordlagrens och berggrundens magasinerande förmåga, baserat på antaganden om porositet i jord respektive berg, jorddjup, grundvattenytans läge samt lämplig och praktiskt möjlig avsänkning genom grundvattenuttag.

syns tydligt bland annat längs östkusten från Roslagen ned till Oskarshamn samt i stora delar av Hallands och Västra Götalands län. De större isälvsavlagringarna och vissa delar av den sedimentära berggrunden framträder tydligt som områden med stor magasinering förmåga. I figur 16 visas kvoten av årlig grundvattenbildning (Rodhe m.fl. 2006, Rodhe m.fl. 2008) och beräknad magasinering förmåga. Som synes i figuren är det stora områden där den beräknade magasinering förmågan är betydligt mycket mindre än den årliga grundvattenbildningen (kvoten större än 1,0). Extra känsliga är de områden som har en liten grundvattenbildning och låg magasinering förmåga. Beräkningsmodellen för den magasinering förmågan är starkt förenklad och innehåller många osäkerheter. Den understryker behovet av ytterligare kartläggning av magasinering förmågan i både jordlagren och berggrunden.

SGUs kartläggning av grundvattenmagasin

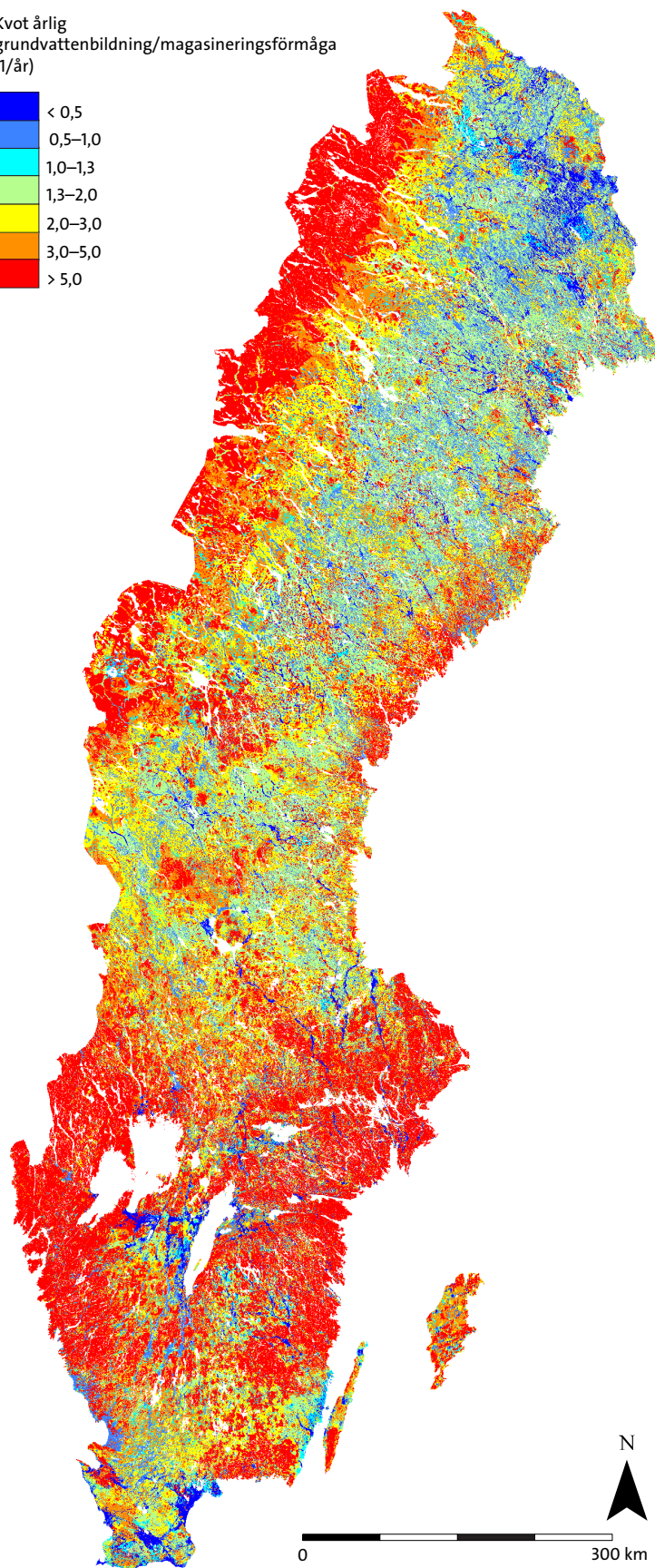
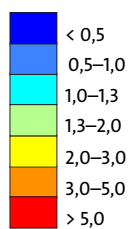
I SGUs nuvarande kartläggning av grundvattenmagasin i skala 1:50 000 ingår bedömningar om uttagsmöjligheten. Grundvattenkartläggningen omfattar i princip enbart grundvattenmagasin i sand och grus (stora grundvattenmagasin) samt i viss mån i sedimentär berggrund. I de äldre länsvisa kartläggningarna av grundvattenmagasin i skalan 1:250 000, samt i den kommunvisa karteringen i skala 1:50 000 som utfördes med hjälp av information från brunnborrningar (Brunnsarkivet), finns även uppgifter om uttagsmöjligheter i berggrunden. Resultat redovisas, förutom i de tryckta produkterna, i SGUs karttjänster *Grundvattenmagasin* samt *Grundvatten 1:1 miljon*. Bedömningar kring uttagsmöjligheter i berg och i jord har av tradition skilt sig i SGUs hydrogeologiska kartläggning. Uttagsmöjligheter i jordlagren har av hävd angetts i l/s medan kapaciteten i berggrunden har angetts i l/tim.

Berg

För bergsformationer har gällt att uttagsmöjligheten har uppskattats utifrån brunnarnas mediankapacitet. Kapacitetsuppgifter har inhämtats från SGUs brunnarkiv. Kapacitetsuppgifterna plotades och ytor anpassades efter olika kapacitetsintervall. Information om berggrunden användes som stöd vid anpassning av ytorna. Kvaliteten varierar mellan olika områden främst beroende på tillgång till brunnsuppgifter. Kartläggningen skedde i huvudsak på länsnivå och underlagen togs i många fall fram under 1980-talet. Tydliga gränser mellan olika bergartsled har inte använts, utom i de fall då bergartsgränsen bedömts ha avgörande betydelse för grundvattenföringen i berggrunden, till exempel mellan områden med urberg och yngre sedimentär berggrund.

Kartorna med uttagsmöjligheter ska användas med stor försiktighet eftersom de baseras på uppgifter från brunnborrarna och ofta är rena bedömningar av ett flöde ur brunn vid maximal avsänkning och endast en kortvarig pumpning. Vid låga kapaciteter sker ofta en överskattning på grund av att mätningar görs trots att stationärt tillstånd sällan uppnås. Vid höga kapaciteter sker istället ofta en underskattning (det går inte leda bort mer vatten än vad borrkompressorn orkar med). Kapacitetsmätningarna är således behäftade med en mer eller mindre stor grad av osäkerhet redan vid datainsamlingen. Det ska även tas i beaktande att två brunnar borrade nära varandra kan få vitt skilda kapaciteter beroende på hur många vattenförande sprickor som brunnen kommer att stå i kontakt med. SGU har i de länsvisa sammanställningarna gjort beräkningar på den regionala hydrauliska konduktiviteten i bergborrade brunnar. Dessa beräkningar har ganska stor grad av osäkerhet eftersom de bygger på uppgifterna ovan, samt antaganden om förhållande mellan kapacitet och hydraulisk konduktivitet och interpolationsmetoder som tillför ytterligare osäkerhet.

Kvot årlig
grundvattenbildning/magasineringsförmåga
(1/år)



Figur 16. Kvot av modellerad årlig grundvattenbildning (mm/år) enligt (Rodhe m.fl. 2006) och teoretiskt uppskattad magasinande förmåga (mm) enligt beräkningar i detta regeringsuppdrag.

Jord

Den angivna uttagsmöjligheten i jordlagren (stora grundvattenmagasin) är en bedömning av magasinets eller formationens totala uttagsmöjlighet ur standardmässigt konstruerade brunnar. Tidigare har man utgått från att uttagen sker i maximalt fem brunnar inom ett magasin. Detta innebär att om uttagsmöjligheten exempelvis är angiven i intervallet 25–125 l/s kan i bästa fall uttaget ur magasinet ske genom en brunn med 125 l/s. I sämsta fall kan uttaget ske med fem brunnar som tillsammans bara ger 25 l/s. Uttagsmöjligheterna för grundvattenmagasinen delas in i fem klasser, < 1 l/s, 1–5 l/s, 5–25 l/s, 25–125 l/s och > 125 l/s.

Inom kartläggningen görs en bedömning av tillrinningsområdet till grundvattenmagasinet. Tillrinningsområdet delas sedan in i tre typer. Dels primära tillrinningsområden, där grundvattenmagasinet går i dagen och i princip hela den effektiva nederbörden direkt kan bilda grundvatten, dels sekundära tillrinningsområden, som utgörs av områden belägna utanför grundvattenmagasinet, men där i princip hela den effektiva nederbörden kommer att nå grundvattenmagasinet, dels tertiära tillrinningsområden, vilka omfattar övriga delar av tillrinningsområdet varifrån kontinuerlig ytvattendränering sker och från vilka vanligen endast en mindre del av den effektiva nederbörden tillförs magasinet. Till tertiära tillrinningsområden räknas till exempel markområden som topografiskt sett ligger ovanför eller vid sidan av grundvattenmagasinet, varifrån läckage av vatten till magasinet sker (eller bedöms kunna ske under särskilda betingelser, till exempel vid avsänkning av grundvattennivån eller vid punktering av tidigare tätande lager genom markarbeten eller dylikt). Vid klassning av magasinens uttagsmöjligheter ska summan av den tillgängliga grundvattenbildningen till grundvattenmagasinet från de olika tillrinningsområdena, samt genom inducerad infiltration, alltså landa inom angivet intervall på uttagsmöjlighet (eller vara större i det fall uttagsmöjligheten klassats till > 125 l/s).

Att addera ett alldeles för stort antal brunnar i ett område där uttagsmöjligheterna på grund av för finkorniga sediment sätter ned uttagsmöjligheten i den enskilda brunnen har inte bedömts som praktiskt genomförbart. I den nuvarande kartläggningen av grundvattentillgångar har det precisa antalet fem brunnar ersatts med ”ett rimligt antal brunnar”, framför allt för att kunna visa på en något ökad uttagsmöjlighet i stora områden med god grundvattenbildning.

Hållbara uttag av grundvatten

Sett ur ett långt perspektiv avgör grundvattenbildningens storlek vilket vattenuttag som kan göras från ett grundvattenmagasin (Rushton & Ward 1979), men det är sällan möjligt att utnyttja 100 procent av grundvattenbildningen på grund av faktorer som ytliga grundvattenflöden till ytvatten, ofullständiga brunnskonstruktioner och flöden i sprickor eller skikt som inte når fram till brunnarna. Ett fullt eller ett överutnyttjande av grundvattenbildningen kan i ett längre perspektiv leda till en hydrologisk obalans, vilket kan medföra ekologiska konsekvenser och leda till bland annat förändrad vattenkvalitet, saltvatteninträngning och sättningar. Obalansen är visserligen övergående och det hydrologiska systemet stabiliseras så småningom till nya förhållanden. De nya förhållandena innebär dock ofta konsekvenser som är svåra att åtgärda och som leder till stora kostnader (Seiler & Gat 2007). Synen på hållbara uttag har förändrats med åren. I början av 1900-talet beaktades endast grundvattenmagasinets möjlighet att långsiktigt leverera grundvatten. Under de senaste decennierna har bedömningarna mer och mer kommit att omfatta även miljömässiga och samhällspåverkande konsekvenser, vilket bland annat beskrivs av Alley och Leake (2004).

SGU har i rapporten *Bedömningsgrunder för grundvatten* (SGU 2013) gjort en bedömning av risken för påverkan på grundvattnets kvantitativa tillstånd med utgångspunkt i hur stor del av grundvattenbildningen som används för grundvattenuttag. Bedömningen är att ett utnyttjande på upp till 50 procent är av betydelse för grundvattenomsättningen, men sannolikt acceptabel

om inte värden som markstabilitet, känsliga våtmarker etc. påverkas negativt. Vid uttag över 90 procent bedöms risken för påverkan som mycket stark och den höga utnyttjandegraden bedöms påverka grundvattenflödena starkt. För att undvika en negativ påverkan bör en omfattande kontroll av uttag och grundvattennivåer ske. I Danmark har man utfört modellering på intensivt utnyttjande grundvattenförekomster (Henriksen m.fl. 2014). Enligt danska riktlinjer bedöms ett grundvattenuttag på mer än 30 procent av grundvattenbildningen som ett intensivt utnyttjande. Henriksen fann med mer än 80 procent sannolikhet att grundvattenuttagen ur en av de modellerade förekomsterna lett till tillståndsförändring från god till inte god status på ett närbeläget ytvattensystem. Med en lägre sannolikhetsnivå (20–50 procent) utpekades ca 100 ytvattensystem vara påverkade av stora grundvattenuttag ur ett 20-tal grundvattenförekomster i Danmark.

KLIMATFÖRÄNDRINGARNAS PÅVERKAN PÅ GRUNDVATTENBILDNING OCH GRUNDVATTENTILLGÅNG

Klimatet står under ständig förändring. I dag pågår dessutom en global uppvärmning, skapad av mänskliga aktiviteter. De pågående klimatförändringarna kommer inte enbart att påverka temperaturen utan även leda till förändringar i det hydrologiska kretsloppet genom ändrade avdunsnings- och nederbördsmönster. Grundvattnet är en viktig del i det hydrologiska kretsloppet och förändringar i temperatur och nederbörd kommer att påverka den mängd grundvatten som bildas och som sedan finns tillgängligt för olika användning (dricksvatten, bevattning m.m.).

För att kunna beskriva klimatförändringarna och hur dessa kommer att påverka olika faktorer används klimatmodeller. I SMHIs arbete med klimatscenarioer används en ensemble med nio olika globala klimatmodeller. De nio modellerna baseras på olika utsläppsscenarioer som i sin tur baseras på olika antaganden om framtida utveckling. De två utsläppsscenarioer som användes i arbetet med FN:s klimatpanels rapport AR5 från 2013 (*IPCC fifth assesment report*) är RCP 4.5 och RCP 8.5 (*RCP-Representativ concentration pathways*), dessa utsläppsscenarioer användes av SGU i studien kring klimatförändringarnas påverkan på grundvattennivåerna från 2015 (SGU 2015). I tidigare studier har en annan typ av utsläppsscenario (SRES A1B) använts, se exempelvis Rodhe m.fl. (2009) och Sunden m.fl. (2010). Det blir svårare att jämföra modellresultat med varandra i de fall modellerna använt sig av olika scenarietyper. RCP- och SRES-scenarierna har nämligen tagits fram på olika sätt. Förenklat kan den uppvärmning som SRES representerar i slutet av seklet 2100 ligga någonstans mittemellan RCP 4.5 och RCP 8.5, dock aningen närmare RCP 4.5.

För att kunna studera förändringar i klimatet krävs det att man gör statistiska beräkningar över en längre tidsperiod (vanligtvis 30 år). Vid scenarioräkningar är det vanligt att presentera resultaten för två olika perioder: år 2021–2050 och 2069–2098. De olika tidsperioderna används främst för att kunna visa på kortsiktiga och långsiktiga förändringar. Det är viktigt att poängtera att den globala uppvärmningen och dess effekter inte avstannar vid 2100 utan kommer att fortsätta om utsläppen inte minskar. Klimatscenarioer baseras på antaganden om framtiden och representerar vädrets statistiska beteende, det vill säga klimatet. De resultat som presenteras visar medelvärden utifrån klimatscenarioerna vilket innebär att det kommer att förekomma naturliga variationer med extremare situationer än vad klimatscenarioerna visar. Klimatscenarioer förutspår inte det verkliga vädret på en specifik plats vid en enskild tidpunkt.

Jämförelse mellan RCP 2,6, RCP 4,5, RCP 8,5 och SRES A1B:

- RCP 2,6 – Innebär en kraftfull klimatpolitik vilket gör att växthusgasutsläppen kulminerar år 2020. Utsläppsscenarioet ligger närmast ambitionerna enligt Parisavtalet från 2015.

- RCP 4,5 – Koldioxidutsläppen ökar något och kulminerar år 2040 (används i IPCC, AR5). Användes av SGU (2015).
- RCP 8,5 – Innebär fortsatt höga utsläpp av koldioxid. Ingen tillkommande klimatpolitik. Detta scenario är det som i dagsläget ligger närmast de uppmätta trenderna i koncentration av växthusgaser (används i IPCC, AR5). Användes av SGU (2015).
- SRES A1B (äldre modell) – Måttlig befolkningstillväxt, snabb global utveckling mot mer effektiva teknologier samt balanserad användning av fossila bränslen och förnyelsebar energi (används i IPCC, AR4). Koldioxidutsläppen till atmosfären beräknas kulminera runt år 2050. Användes av SGU (2010) samt Rodhe (2009).

Redan observerade grundvattenförändringar

Under 2015 genomfördes en studie över hur grundvattennivåerna har varierat under den tidsperiod (1975–2014) som mätningar pågått på SGU (Lagergren 2015). Studien inriktade sig på moränmagasin (små snabbreagerande grundvattenmagasin). De förändringar som har observerats ligger i linje med de scenarier som presenterats i tidigare studier över klimatförändringar och grundvatten (Rodhe m.fl. 2009, Sundén m.fl. 2010). Undantaget är att inga sänkta grundvattennivåer kunnat konstateras i sydöstra Sverige. I stora delar av landet har både de lägsta och högsta grundvattennivåerna ökat mellan 1975 och 2014, den största ökningen har skett i södra Sveriges kustområden. Grundvattennivåns avsänkingsperiod under sommaren har de senaste 20 åren förlängts med ett par veckor. Noterbart är även att det har skett en förhöjd grundvattenbildning i juli mellan åren 1995 och 2004, vilket tydligast observeras i sydvästra Sverige. Det ska noteras att studien inte omfattar åren 2015 och 2016, där speciellt 2016 i vissa delar av landet hade låga grundvattennivåer.

SGU har vid tre tillfällen tagit fram regimkartor för olika perioder åren 1972–2010. Man kan konstatera att grundvattnets regimer har förändrats under dessa 40 år. Främst är den norra regimen som har minskat i utbredning (figur 17).

Temperatur och nederbörd i ett framtida klimat

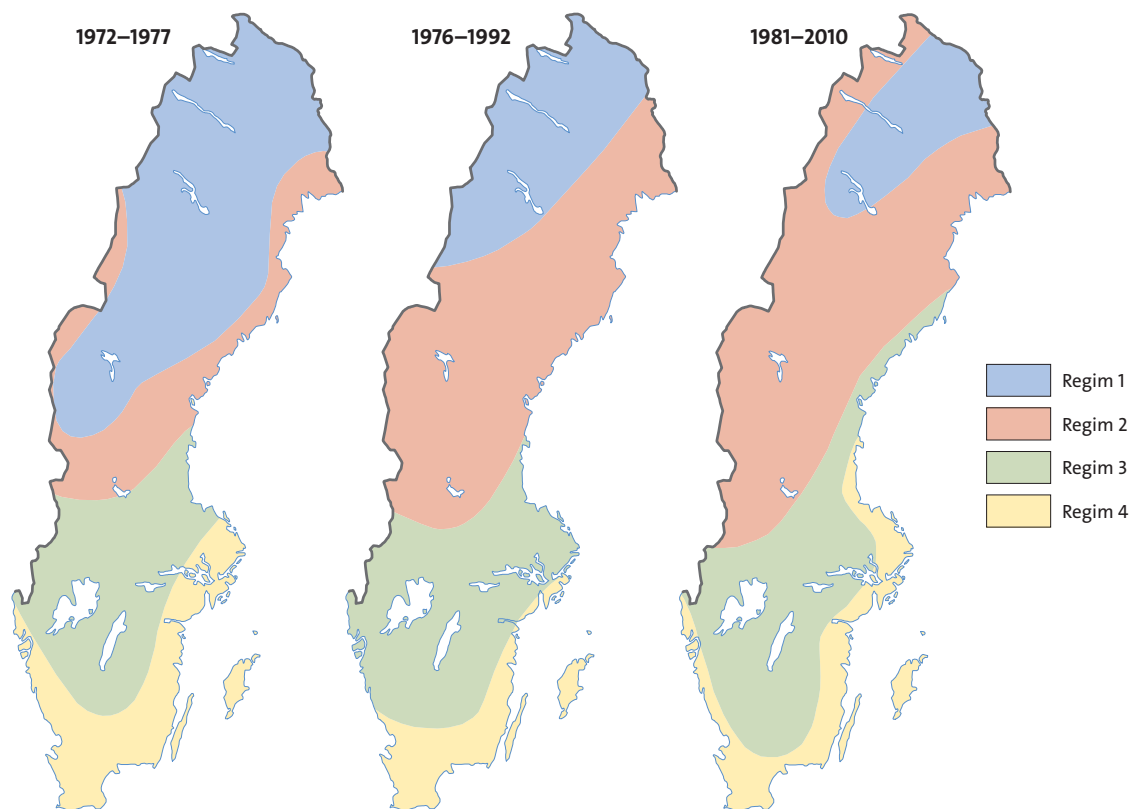
SMHI har presenterat scenarier för hur bland annat temperatur och nederbörd förändras i och med det förändrade klimatet (Eklund m.fl. 2015). Scenarierna visar att medeltemperaturen kommer att öka i hela landet, med den största ökningen i norra Sverige under vintern. Medelnederbörden kommer att öka i hela landet, främst under vintern och våren och den extrema korttidsnederbörden (skyfall) kommer bli mer intensiv. Havsnivåerna kommer att stiga och den största nettoökningen kommer att ske i södra Sverige, eftersom landhöjningen motverkar havsnivåhöjningen i norra Sverige.

Vattentillgången (i detta fall avses ytvatten) ökar som årsmedelvärde i hela Sverige, förutom i östra Götaland, med den största ökningen på vintern. Det är enbart under vintern som hela landet beräknas få en ökning i vattentillgång. Sommartid väntas istället en minskad vattentillgång i större delen av landet på grund av ökad avdunstning. Den största minskningen väntas i östra Götaland (Eklund m.fl. 2015).

Den nederbörd som har störst inverkan på grundvattenbildningen är den som faller under grundvattenbildningsperioden, vilket i dagsläget innebär sen höst, vinter och tidig vår. Klimatförändringarna väntas dock medföra en förlängd vegetationsperiod, vilket innebär att perioden för bildning av grundvatten minskar.

Förändrad grundvattenbildning och grundvattennivå

SGU genomförde under 2015 en studie kring hur grundvattennivåerna kan förväntas förändras i och med det förändrade klimatet. Den största förändringen förväntas under vinter och vår med höjda grundvattennivåer under vintern i norra Sverige och sänkta grundvattennivåer i främst

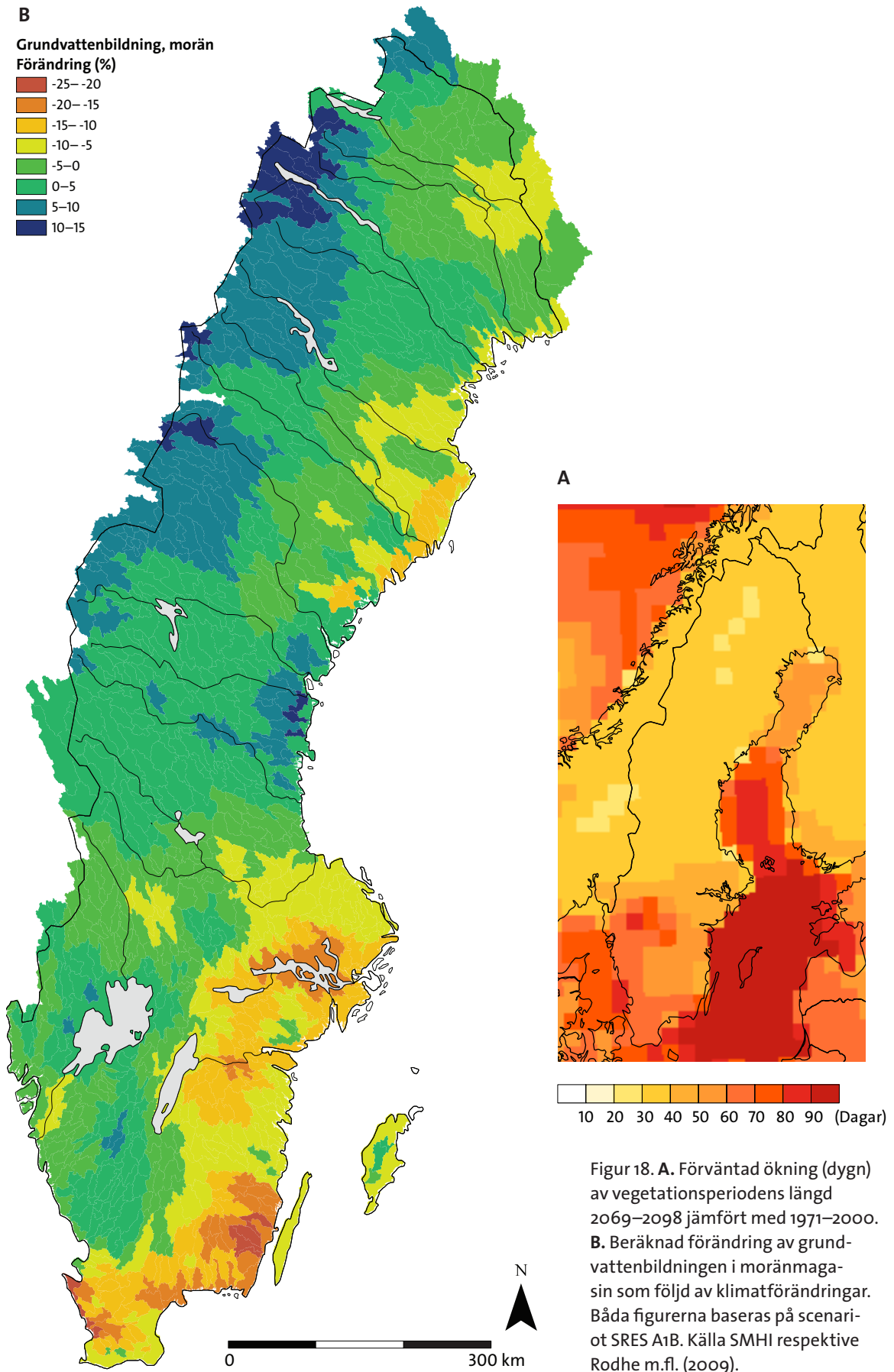


Figur 17. Förändring i regimområdenas utbredning sedan 1970-talet. De exakta tidsperioderna för de två tidiga regimkartornas dataunderlag är något osäkra. Kurvorna för de fyra regimerna redovisas i figur 9.

sydöstra Sverige under våren. Även sänkta grundvattennivåer under hösten kan bli aktuellt i slutet av seklet. En av de stora förändringarna är att grundvattnets regimer kommer att ändras och då främst i norra Sverige, där tidpunkten för när de lägsta grundvattennivåerna infaller kommer att skifta från vinter till höst. Studien visar även att södra Sverige kan få lägre lägsta nivåer än vad vi haft tidigare i både de snabb- och långsamreagerande grundvattenmagasin (Vikberg m.fl. 2015).

Perioden med sjunkande grundvattennivåer förväntas bli längre när tidpunkten för när grundvattnet börjar sjunka tidigareläggs under året samtidigt som tidpunkten när grundvattenbildningen börjar på hösten senareläggs (Vikberg m.fl. 2015). Detta hänger samman med en förväntad förlängning av vegetationsperioden (figur 18a). Notera att vegetationsperiodsförändringen som presenteras i figur 18a är baserad på den äldre modellen SRES A1B för att ha samma utgångspunkt som i figur 18b. Förlängningen av vegetationsperioden enligt RCP 8,5 är betydligt kraftigare.

Studien som genomfördes av Rodhe m.fl. (2009) är egentligen den enda som tar upp grundvattenbildningen och hur den förväntas förändras i och med klimatförändringarna i Sverige. Enligt beräkningar kommer grundvattenbildningen att öka med ca 15 procent i södra Norrland och minska med 5–15 procent i sydöstra Sverige i grov jord (långsamreagerande grundvattenmagasin). I morän (snabbreagerande grundvattenmagasin) visar studien samma tendens som för grov jord, men den relativa minskningen är både större (upp till 20 procent) och mer utbredd (figur 18b). För simulering av det framtida klimatet användes utsläppsscenario SRES A1B baserat på regional nedskalning med RCA-modellen. Till skillnad från senare studier (Vikberg m.fl. 2015) har endast ett utsläppsscenario och en tidsperiod använts.



DISKUSSION OCH SLUTSATSER

SGU har i denna rapport sammanställt och presenterat resultaten från en rad rapporter och utredningar som berör grundvattenbildning och grundvattentillgång idag liksom förväntade förändringar i och med ett förändrat klimat. Det är viktigt att poängtera att underlaget som rapporten baseras på innehåller stora osäkerheter, främst när det gäller framtida förändringar. Resultaten kan dock ge en indikation på i vilken riktning förändringen kan ske (ökad eller minskad tillgång), men även hur omfattande (liten eller stor) den kan bli.

SGU vill understryka att det finns ett stort behov av att fortsätta arbetet med att ta fram uppdaterade och mer detaljerade underlag och bedömningar kring grundvattenbildning och grundvattentillgång. För att kunna utveckla och använda modeller, både klimatmodeller och hydrologiska modeller, behövs även fältobservationer för validering och kalibrering. Historiska mätdata är viktiga för att kunna förstå vilka effekter framtida förändringar kan innebära.

Effekter av klimatförändringar

Den mängd grundvatten som bildas beror i huvudsak på var, när och hur mycket nederbörd som faller. De modelleringsresultat som finns tillgängliga pekar på att vi trots scenarier med större nederbördsmängder i landet kan räkna med att grundvattenbildningen i delar av landet (främst sydöstra Sverige) kommer att minska sett över helår. Orsaken är en ökad avdunstning. Ett varmare klimat med förlängd vegetationsperiod kommer att medföra att perioden med liten avdunstning och goda förutsättningar för grundvattenbildning förkortas. Detta innebär att grundvattenbildningen sker under en kortare period av året vilket kan innebära att det bildas mindre grundvatten. En kortare period med grundvattenbildning kan även få följderna att det blir en större variation i storleken på grundvattenbildning mellan olika år än vad vi har i dagsläget. Även om hela landet väntas få en förlängd växtsäsong pekar modellresultaten på att enbart de sydöstra delarna av landet får en minskad grundvattenbildning. I övriga Sverige tycks grundvattenbildningen totalt över året öka eller förbli oförändrad; nettoökningen av nederbörd beräknas alltså här överstiga den ökade avdunstningen.

En ökad grundvattenbildning är dock ingen garanti för att grundvattentillgången förbättras. Översiktliga beräkningar tyder på att det i stora delar av landet är den magasinande förmågan i jord och berg som sätter gränserna för vattentillgången snarare än grundvattenbildningen (figur 11b). Den förlängda vegetationsperioden, som innebär en längre avsänkingsperiod, är därmed ett större problem än en eventuellt minskad årlig grundvattenbildning. För vattenförsörjningen innebär en längre avsänkingsperiod ett ökat behov av att kunna lagra grundvatten och i områden med begränsad magasinande förmåga ökar då risken för att vattenbrist uppstår. Marginalerna kommer dock att krympa i hela landet. Den kommunala vattenförsörjningen är dock som regel baserad på stora magasin som är mindre känsliga för ett enskilt års avsänkingsperiod. Mest utsatt blir sydöstra Sverige som drabbas av både minskad grundvattenbildning och en förlängd avsänkingsperiod.

Så säkrar vi samhällets vattenförsörjning

Sammantaget innebär de väntade förändringarna att samhället aktivt behöver planera för att klara av den framtida dricksvattenförsörjningen. Bland Sveriges dricksvattenproducenter, länsstyrelser och andra aktörer bedöms kunskapen om sårbarheten i den lokala vattenförsörjningen vara mycket varierande och i vissa fall bristfällig.

Den allmänna vattenförsörjningen, som baseras på stora grundvattenmagasin, behöver förbereda sig på att vattentillgången i större utsträckning kommer att variera mellan olika år och att man i sydöstra Sverige generellt kommer att få en minskad grundvattenbildning. Vattentäktarnas huvudmän behöver därför överväga att vidta lokala förebyggande åtgärder för att

kunna möta både nuvarande och kommande situationer. Åtgärderna kan handla om att öka kännedomen om de lokala förutsättningarna och sårbarheten i sin vattenförsörjning, att ta fram beredskapsplaner för Extremsituationer och att se till att det finns en redundans i vattenförsörjningssystemet för att klara av sådana händelser. Även fysiska åtgärder kan vara möjliga för att lokalt öka nybildningen av grundvatten till en vattentäkt.

Vattenförsörjningsplanerna fyller en viktig funktion. I linje med dricksvattenutredningen (SOU 2016:32) rekommenderas att vattenförsörjningsplaner inkluderar bedömning av grundvattenbildning och magasinering förmåga samt att bedömningarna görs för såväl nutida som framtida klimat. Man bör även överväga att göra planer på lokal nivå. Parallellt med arbetet med vattenförsörjningsplaner bör även regionala materialförsörjningsplaner tas fram. Materialförsörjningsplanerna är viktiga strategiska styrmedel som kan ha avgörande roll i vattenförsörjningsplaneringen (Schoning 2017).

För den kortsiktiga planeringen (15–20 år) vid befintliga vattentäkter, kan analyser baserade på SGUs historiska data (från slutet på 1960-talet), på bland annat effektiv nederbörd och grundvattennivåer, vara tillräckligt bra underlag för planering av dricksvattenförsörjningen. För den långsiktiga planeringen ser SGU däremot ett behov av att nya data tas fram. Dataunderlag behöver kompletteras med handledningar och stöd som kan öka kunskapen och leda till att åtgärder vidtas. Till exempel är beräkningar av årsmedelvärden för grundvattenbildning (som presenteras i denna rapport) bra för att beskriva trender och göra relativa jämförelser mellan olika landsdelar. Informationen är dock till begränsad nytta vid analyser över sårbarhet eller vid konkret planering av framtida vattenförsörjning. För dessa ändamål behöver man ha tillgång till återkomsttider för olika Extremsituationer. För stora grundvattenmagasin handlar detta om scenarioanalyser över flera år med nederbördsunderskott. Denna typ av data måste alltså tas fram på både regional, men framför allt på lokal nivå för att kunna användas. SGU kan tillhandahålla värdefull information på en övergripande nivå, men det finns oklarheter kring hur kommunerna inom ramen för sitt ansvar i vattentjänstlagen och finansieringen via VA-kollektivet, kan beställa lokalt anpassat beslutsunderlag från nationella myndigheter som exempelvis SGU. Detta behöver utredas. Mycket talar för att det finns stora samhällsvinster att hämta genom att nyttja den kompetens som finns inom myndigheterna även för lokala behov.

Den enskilda vattenförsörjningen är mer sårbar än den kommunala i och med att det inte finns samma möjligheter eller resurser att förbereda sig på extrema situationer. SGU bör på detta område kunna stödja den regionala verksamheten genom att ta fram underlag för att kunna peka ut särskilt riskutsatta områden. För att kunna peka ut särskilt riskutsatta områden för enskilda eller mindre kommunala vattentäkter finns ett behov av att skaffa sig mer kunskap och ta fram ny geologisk information för att kunna bedöma den magasinering förmågan i berg och jord. Här kan det behövas nya angreppssätt och metoder för att kunna inkludera markområden som idag ligger utanför SGUs traditionella grundvattenkartläggning. Det krävs även förnyade rikstäckande modelleringar av grundvattenbildning i tillräcklig tidsupplösning för att återkomsttider för extremår kan erhållas. Statistisk analys av data från SGUs grundvattennät kan ge värdefull information om avsänkingsperiodernas längd.

Kunskapsuppbyggnad

Hydrogeologiska frågeställningar som anknyter till grundvattenbildning och vattenbrist är områden som inte ägnats något större intresse i Sverige historiskt sett eftersom vattenbrist sällan varit ett problem. Kunskapsläget är därför delvis eftersatt i Sverige. I den mån det är möjligt bör kunskap inhämtas från andra länder där grundvattenbildningen redan är förändrad eller där förhållandena idag är sådana att resultat kan överföras på svenska förhållanden. Utökad forskning och utveckling både inom och utanför landets gränser är därför viktig. Behovet är stort av att få

till stånd fler tillämpade studier som genomförs under svenska förhållanden. Exempelvis finns ett behov av att studera hur intensiva skyfall och extrem nederbörd under främst sommarhalvåret påverkar grundvattenbildningen. I figur 7 visades ett exempel från Södertälje där det vissa år kunde ske en betydande grundvattenbildning även under sommarhalvåret. Men vad krävs för att det ska bildas grundvatten under sommarhalvåret? Vilken betydelse har skyfallen och de geologiska förutsättningarna för grundvattenbildningen under sommarhalvåret? Kommer det att bli mer ytavrinning och då inte bara i bebyggda urbana områden?

Att söka svar på dessa frågeställningar skulle kunna öka förståelsen för grundvattenmagasinens känslighet och hur extrem nederbörd påverkar grundvattenbildningen vid en längre avsänkingsperiod under sommarhalvåret.

En annan faktor som har stor betydelse för grundvattenbildningen är markanvändningen. Vegetationens betydelse bör undersökas i större omfattning, exempelvis skillnaden mellan olika typer av vegetation och skillnaden mellan skog och öppen mark. Även hur man på olika sätt kan fördröja och lagra vatten genom minskad dränering, anläggande av våtmarker m.m., och i vilken skala sådana åtgärder påverkar grundvattentillgången, behöver studeras. Exempelvis kan lokalt omhändertagande av dagvatten och dräneringsvatten förbättra grundvattenbildningen. För att kunna öka grundvattenbildningen genom den här typen av åtgärder måste platsen för åtgärden vara lämplig ur ett hydrogeologiskt perspektiv. Eventuella positiva effekter för grundvattnet förväntas bli lokala. Med tanke på den satsning på restaurering och anläggande av våtmarker som regeringen aviserade sommaren 2017 är det angeläget att bedömningskriterier och vägledning tas fram och att värdet av sådana åtgärder utifrån ett grundvattentillgångsperspektiv klarläggs.

Slutligen kan konstateras att det nu rapporterade regeringsuppdraget har fokus på regional och nationell skala. Uppgifter om grundvattenbildning på lokal nivå saknas vanligtvis samtidigt som behovet är stort av sådan information. Metoder för att bedöma eller beräkna grundvattenbildning i olika geologiska typmiljöer skulle vara ett värdefullt stöd för att kunna göra lokala bedömningar. Kunskapsuppbyggnad, oavsett på vilken nivå den sker, är dock förenad med kostnader. Utifrån den nya situation som Sverige befinner sig i avseende framtida vattenförsörjning generellt och dricksvattenförsörjning speciellt, kan man se ett behov av att utökade resurser avsätts på flera nivåer. Det skulle därför vara värdefullt att genomföra en ny vattenprisutredning (SOU 2010:17) för att undersöka möjligheterna till finansiering av framtagandet av kunskap och genomförandet av exempelvis detta regeringsuppdrags förslag på åtgärder.

Utökad kartering och nivåmätning

För en långsiktigt stärkt kvalitet i grundvattenövervakningen är det angeläget med en fortsatt och utökad övervakning av grundvattennivåer både i jord och i berggrunden (Länsstyrelsen Jämtlands län & SGU 2016). Grundvattennivåmätningar är en viktig förutsättning för att kunna förstå och analysera variationer och förändringar av grundvattennivåerna i både ett nationellt och regionalt perspektiv. Informationen som samlas in är även ett fundament vid utveckling och validering av olika typer av modeller.

SGU anser att fortsatt kartläggning av grundvattentillgångar kombinerat med riskbedömningar och känslighetsanalyser för dessa är en hörnpelare i arbetet med att förse samhället med underlag för att säkra dricksvattenförsörjning i framtiden. SGUs grundvattenkartläggning bör även utvecklas mot att inte enbart fokusera på stora grundvattenmagasin, utan också ge underlag för att kunna uppskatta den magasinande förmågan i mindre grundvattenmagasin i jord och berggrund.

REKOMMENDATIONER

SGU har i detta uppdrag sammanställt kunskap om grundvattenbildning och grundvattentillgång med syfte att stödja samhällets planeringsbehov. Med utgångspunkt från SGUs slutsatser, i kombination med synpunkter från den externa referensgruppen, bedömer SGU att det finns behov av ytterligare insatser för att säkra en långsiktigt hållbar dricksvattenförsörjning. Det underlag som redan finns behöver uppdateras och förbättras samt utökas. Regionala myndigheter och andra berörda aktörer behöver i större utsträckning förse med verktyg och vägledning för sin planering. SGU redogör nedan för ett antal rekommenderade åtgärder. Flertalet av rekommendationerna kommer att kunna startas och även till vissa delar slutföras under förutsättning att SGU tilldelas den stärkta finansiering som regeringen har föreslagit för perioden 2018–2020, exempelvis den utökade grundvattenövervakningen. Sett ur ett längre perspektiv kommer det att behövas ytterligare resurser för att stärka Sveriges grundvattenarbete och för att kunna nå miljömålet *Grundvatten av god kvalitet* samt uppfylla kraven inom grundvattendirektivet. Inte minst inom stödet till forskning och utveckling. SGU rekommenderar:

- Att det avsätts mer medel för tillämpad hydrogeologisk forskning och utveckling. SGU har till skillnad från HaV och SMHI (som fokuserar på ytvattenfrågorna) mycket begränsade resurser för att genomdriva interna eller externa forskningsaktiviteter. Forskningen behöver inriktas på svenska förhållanden. Utöver de behov som beskrivs i SGUs forskningsagenda finns också ett stort kunskapsbehov inom frågor som rör grundvattenbildning, grundvattentillgång och hållbara grundvattenuttag i nuvarande och i ett förändrat klimat. Specifika forskningsområden som SGU identifierat är:
 - Mönstren i grundvattenbildningens tidsmässiga variationer. Hur ser de ut idag och hur kan de komma att förändras? Det gäller såväl inomårsvariationer som långtidsvariationer som uppträder i stora magasin.
 - Grundvattenbildning sommartid. Under vilka omständigheter sker detta? Vilken roll spelar mängden nederbörd och nederbördens fördelning över tid i förhållande till markanvändning och geologi?
 - Att definiera ett hållbart grundvattenuttag och bedöma om grundvattenuttag är hållbara. Både avseende vattenförsörjning och påverkan på ekosystem.
 - Utveckla metoder för bedömning och beräkning av grundvattenbildning på lokal nivå. Ger befintliga metoder tillräcklig säkra uppskattningar och är de praktiskt tillämpbara? Hur får vi tillförlitliga metoder att användas i högre grad än idag?
- Att SGU tillsammans med SMHI tar fram ett fördjupat beräkningsunderlag kring grundvattenbildning och nederbörd som stöd till planering på främst regional och lokal nivå, både i nuvarande och i ett framtida klimat. Underlaget ska baseras på aktuella klimatdata och klimatscenarier och innefatta statistiska bearbetningar för redovisning av återkomsttider för olika extremsituationer. Detta är i stora drag en uppdatering och vidareutveckling av tidigare utfört arbete (Sanner & Grahn 1995, Rodhe m.fl. 2009).
- Att länsstyrelser och kommuner i linje med dricksvattenutredningen upprättar regionala respektive lokala vattenförsörjningsplaner och att dessa kontinuerligt uppdateras. Vattenförsörjningsplanerna bör inkludera bedömning av grundvattenbildning och magasinering förmåga. Bedömningarna bör göras för såväl nutida som framtida klimat. Dessutom ska regionala materialförsörjningsplaner upprättas. Dessa är viktiga strategiska styrmedel som kan få en avgörande roll i vattenförsörjningsplaneringen (Schoning 2017).
- Att SGU tar fram råd och anvisningar för hur bedömningar och beräkningar av grundvattenbildning och magasinering förmåga bör genomföras för att säkerställa ett långsiktigt hållbart uttag av grundvatten på lokal nivå. I råden ska även finnas vägledning kring hur man

kan gå till väga för att bedöma den regionala och lokala vattenförsörjningens sårbarhet med avseende på vattenbrist. Detta arbete kan genomföras först efter att ett fördjupat beräkningsunderlag kring grundvattenbildning finns tillgängligt (se punkt ovan). SGU kommer att precisera behov knutet till framtagande av råd och anvisningar i kommande budgetunderlag.

- Att SGU utifrån ovan angivna forskningsinsatser tar fram råd kring hur man lokalt kan öka grundvattenbildning och magasinering i samband med dricksvattenförsörjning.
- Att det utreds hur kommunerna, inom ramen för sitt ansvar i vattentjänstlagen och finansiering via VA-kollektivet, kan beställa lokalt anpassat beslutsunderlag från nationella myndigheter, som exempelvis SGU.
- Att kartering och övervakning stärks genom:
 - Utökad grundvattenövervakning genom SGUs grundvattennät.
 - Utökad och utvecklad grundvattenkartläggning av grundvattenmagasin så att den utgör ett bra stöd för planering på lokal och regional nivå.
 - Insamling och förädling av information för bestämning av jordlagrens och berggrundens magasinering förmåga.
- Att regeringen, utifrån den nya situation Sverige befinner sig i avseende framtida vattenförsörjning generellt och dricksvattenförsörjning speciellt, överväger att genomföra en ny vattenprisutredning (se SOU 2010:17) i syfte att säkra finansiering av framtagandet av kunskap och genomförandet av åtgärder.

REFERENSER

- Aastrup M. & Thunholm B., 2001: Heavy metals in Stockholm groundwater – concentrations and fluxes. *Water, Air, and Soil Pollution 1*, sid 25–41.
- Ala-aho, P., Rossi, P. M., & Kløve, B., 2015: Estimation of temporal and spatial variations in groundwater recharge in unconfined sand aquifers using Scots pine inventories. *Hydrology and Earth System Sciences 19*, sid 1961–1976.
- Alley, W.M., & Leake, S.A., 2004: The Journey from Safe Yield to Sustainability. *Ground Water 42*, sid 12–16.
- Bergström, S., 1976: Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. *SMHI Reports RHO, No. 7*. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut.
- Dahlqvist, P., Thorsbrink, M., Holgersson, B., Nisell, J., Maxe, L. & Gustafsson, M., 2017: Våtmarker och grundvattenbildning – om möjligheter till ökad kapacitet vid grundvatten-täkter på Gotland. *SGU-rapport 2017:01*. Sveriges geologiska undersökning.
- EC, 2000: Europaparlamentets och rådets direktiv 2000/60/EG av den 23 oktober 2000 om upprättande av en ram för gemenskapens åtgärder på vattenpolitikens område. *Official Journal of the European Communities L 327*, sid 1–73.
- EC, 2006: Europaparlamentets och rådets direktiv 2006/118/EG av den 12 december 2006 om skydd för grundvatten mot föroreningar och försämring. *Official Journal of the European Communities L 288*, sid 19–31.
- Eklund, A., Axén Mårtensson, J., Bergström, S., Björck, E., Dahné, J., Lindström, L., Nordborg, D., Olsson, J., Simonsson, L. & Sjökvist, E., 2015: Sveriges framtida klimat. Underlag till Dricksvattenutredningen. *SMHI Klimatologi nr 14*. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut.
- Grip, H. & Rodhe, A., 2016: *Vattnets väg från regn till bäck*. Institutionen för Geovetenskaper, Uppsala universitet.
- Henriksen, H. J., Rasmussen, J., Olsen, M., He, X., Flint Jørgensen, L. & Troldborg, L., 2014: Implementering af modeller til brug for vandforvaltning. Delprojekt: Effekt af vandindvinding. *GEUS Rapport 2014/74*. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland.
- Knutsson, G. & Morfeldt, C-O., 2002: *Grundvatten – Teori & tillämpning*. 3:e upplagan. Svensk byggtjänst, 227 s.
- Lagergren, H., 2015: Grundvattennivåernas tidsmässiga variation i morän och jämförelse med klimatscenarier. *SGU-rapport 2015:20*. Sveriges geologiska undersökning.
- Länsstyrelsen Jämtlands län & Sveriges geologiska undersökning, 2016: Utvärdering av grundvattennivåövervakning – Gemensamma delprogram och nationell nivåövervakning. *Slutrapport 20160622*. SGUs dnr 35-2724/2015, 24 s.
- Naturvårdsverket, 2015: Mål i sikte. Analys och bedömning av de 16 miljö kvalitetsmålen i fördjupad utvärdering. *Rapport 6662*. 412 s.
- Nordberg, L. & Persson, G., 1974: The National Groundwater Network of Sweden. *Serie Ca nr 48*. Sveriges geologiska undersökning. 160 s.
- Rodhe, A., Lindström, G. & Dahné, J., 2008: Grundvattenbildning i svenska typjordar – metodutveckling av en vattenbalansmodell. Rapport till SGU, SGUs diarienummer 60-1461/2006. Institutionen för Geovetenskaper, Uppsala universitet och Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut.
- Rodhe, A., Lindström, G. & Dahné, J., 2009: Grundvattennivåer i ett förändrat klimat. Slutrapport från SGU-projektet ”Grundvattenbildning i ett förändrat klimat”, SGUs diarienummer 60-1642/2007. Institutionen för Geovetenskaper, Uppsala universitet och Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut.

- Rodhe, A., Lindström, G., Rosberg, J. & Pers, C., 2006: Grundvattenbildning i svenska typjordar – översiktlig beräkning med en vattenbalansmodell. *Rapport serie A, nr 66*, Institutionen för geovetenskaper, luft- och vattenlära, Uppsala universitet.
- Rushton, K. R. & Ward, C., 1978: The estimation of groundwater recharge. *Journal of Hydrology*, 41, sid 345–361.
- Sanner, H. & Grahn, G., 1995: Effektiv nederbörd i Sverige – beräknad med HBV-modellen. Rapport framställd på uppdrag av SGU. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut.
- Schoning, K., 2017: Rapportering av regeringsuppdrag – Metodutveckling för regional materialförsörjningsplanering. *RR 2017:02*. Sveriges geologiska undersökning.
- Seiler, K. P. & Gat, J. R., 2007: *Groundwater recharge from run-off, infiltration and percolation*. Springer. Nederländerna.
- Strömqvist, J., Arheimer, B., Dahné, J., Donnelly, C. & Lindström, G., 2012: Water and nutrient predictions in ungauged basins: set-up and evaluation of a model at the national scale, Norrköping, *Hydrological Sciences Journal*, 57 (volym 2), sid 229–247.
- Svenskt Vatten, 2007: Dricksvattenförsörjning i förändrat klimat. Underlagsrapport till Klimat- och sårbarhetsutredningen. *Rapport M135*. Svenskt Vatten AB, Stockholm.
- Sveriges geologiska undersökning, 1999a: Översiktlig bedömning av grundvattentillgångar inom Östhammars kommun. Dnr 08-279/99. Sveriges geologiska undersökning.
- Sveriges geologiska undersökning, 1999b: Gotlands kommun. Förenklad modell för kvantifiering av grundvattentillgångar. Dnr 08-1104/99. Sveriges geologiska undersökning.
- Sveriges geologiska undersökning, 2000: Värmdö kommun: Bedömning av grundvattentillgångar. Dnr 08-1040/2000. Sveriges geologiska undersökning.
- Sveriges geologiska undersökning, 2006: Grundvattentillgångar i Tierps kommun. Dnr 08-132/2006. Sveriges geologiska undersökning.
- Sveriges geologiska undersökning, 2009: Sveriges grundvattentillgångar – betydelse för näringslivsutveckling och tillväxt. Dnr 0-1745/2008.
- Sveriges geologiska undersökning, 2013: Bedömningsgrunder för grundvatten. *SGU-rapport 2013:1*. Sveriges geologiska undersökning.
- Sveriges geologiska undersökning, 2014a: Lägesrapport Vattentäcksarkivet 2013. *SGU-rapport 2014:02*. Sveriges geologiska undersökning.
- Sveriges geologiska undersökning, 2014b: Vägledning Vattenförvaltning av grundvatten. *SGU-rapport 2014:31*. Sveriges geologiska undersökning.
- Sveriges geologiska undersökning, 2016: SGU-FS 2016:1, Föreskrifter om ändring i Sveriges geologiska undersöknings föreskrifter (SGU-FS 2013:2) om miljö kvalitetsnormer och statusklassificering för grundvatten. Sveriges geologiska undersökning.
- Sveriges geologiska undersökning, 2017: SGU-FS 2017:1, Sveriges geologiska undersöknings föreskrifter och allmänna råd om redovisning av förvaltningsplaner och åtgärdsprogram för grundvatten. Sveriges geologiska undersökning.
- Sundén G., Maxe, L. & Dahné, J., 2010: Grundvattennivåer och vattenförsörjning vid ett förändrat klimat. *SGU-rapport 2010:12*. Sveriges geologiska undersökning.
- Vikberg, E., Thunholm, B., Thorsbrink, M. & Dahné, J., 2015: Grundvattennivåer i ett förändrat klimat -- nya klimatscenarier. *SGU-rapport 2015:19*. Sveriges geologiska undersökning.
- von Brömssen, U., 1968: Grundvattenbildning i geologiskt olika terrängavsnitt: försök till bestämning av infiltrationskoefficienter, *Teknik-Metod-Analys*, Orrje & Co sid 33–110.

BILAGA 1. BILDNING AV BERGGRUNDVATTEN

Grundvatten och dess bildning i berg finns beskrivet i ett antal publikationer. Två exempel där kunskapsläget inom området sedan tidigare är beskrivet är Olofsson m.fl. (2001) samt Olofsson och Knutsson (2004). Dessa utredningar är framtagna av Statens råd för kärnavfallsfrågor (KASAM). Den förstnämnda fokuserar på en konceptuell beskrivning av bildning, förekomst och flöde av grundvatten i berg, medan den andra omfattar en genomgång av undersökningsmetoder för att bestämma grundvattenbildning i berg. Även beskrivningen av grundvattenbildning i berg som ges av Florén (2015) kan rekommenderas för en fördjupning och källa till andra referenser.

De grundläggande mekanismerna för bildning av grundvatten i berg är desamma som för bildning av grundvatten i jord. Däremot skiljer sig ofta jord och berg åt väsentligt i egenskaper som är viktiga för grundvattenbildning. Hydraulisk konduktivitet kan till exempel skilja sig åt betydligt mellan jord och berg, men också variera avsevärt inom begränsade områden för berg. Detta medför att grundvattenbildningen kan skilja sig åt avsevärt mellan jord och berg för en och samma plats, men också inom berget inom ett begränsat område.

Berggrundvatten bildas principiellt på två olika sätt. Om grundvattenytan finns i berg bildas grundvattnet av vatten som perkolerar genom den omättade zonen till grundvattenzonen. Finns grundvattenytan däremot i en överlagrande jord bildas berggrundvattnet genom ett flöde från mättad zon i jord till mättad zon i berg. Termen ”bildning av berggrundvatten” används i denna bilaga för båda företeelserna.

Skattningar gällande bildning av berggrundvatten i Sverige

Det finns ingen nationellt täckande studie där bildning av berggrundvatten i Sverige presenteras. Däremot finns ett antal studier rörande svenska förhållanden där skattningar av bildning av berggrundvatten i lokal skala presenteras. Det finns säkerligen fler skattningar gällande bildning av berggrundvatten för svenska förhållanden än de som presenteras nedan, till exempel i konsultrapporter för diverse utredningar. Dessa är dock generellt inte allmänt tillgängliga, varför de inte är inkluderade i redovisningen nedan. Förutom de publikationer som nämns nedan finns andra studier som rör grundvattenbildning och grundvattenströmning i berg för svenska förhållanden, men där storlek av bildningen av berggrundvatten inte explicit redovisats. Ett sådant exempel är Earon (2014), där grundvattenförhållanden modellerats för kustnära kristallin berggrund.

Bergman (1972) utförde infiltrationsförsök på fyra platser i östra Svealand. Försöksområdena var sluttande bergytor med tunt jordtäckte. Berggrunden var granit eller gnejs. Försöksområdena begränsades av grävda diken där plastrännor limmats mot bergytan. Vid försöken sprinklades vatten över en del av området och den vattenmängd som kom fram till plastrännorna registrerades. I princip pågick bevattningen vid varje försök tills stationära förhållanden uppnåddes, det vill säga när flödet i rännorna var stabilt. Infiltrationen (mm/tim) beräknades som summan av bevattning, avrinning, avdunstning och sprejförstuster. Resultaten presenterades i form av en infiltrationskoefficient, det vill säga andel vatten som infiltrerat till berg av total mängd tillfört vatten (bevattning + eventuell naturlig nederbörd under försöken).

De slutsatser som Bergman gör i studien är kortfattat:

- Infiltrationskoefficienterna i försöken var 0,17–0,36.
- Ett positivt samband mellan sprickfrekvens (sprickindex) och infiltrationskoefficient konstaterades.
- Det var stora likheter mellan försöksplatserna, vilket gör att det är svårt att dra slutsatser för andra platser.

- Troligtvis är sprickfrekvensen i det studerade området relativt låg vilket gör att det kan vara högre infiltrationskoefficienter på andra platser.
- Värdena avspeglar bergets maximala perkolation, det vill säga sprickornas vattentransport vid full vattentillgång. Bergman skriver ”Det bör betonas att koefficienterna skall användas med försiktighet och t.ex. ej är tillämpbara på årsnederbördsiffror, utan endast för intensiva regn och då vattenmättade förhållanden råder.”

SGU håller med Bergman om att infiltrationskoefficienterna inte bör användas på årsnederbördsiffror. Till exempel är det rimligt att många nederbördstillfällen är begränsade i tid och/eller intensitet så att vattnet endast fyller på magasin i jord eller tas upp av växtlighet. Detta innebär i praktiken att ingen eller mycket liten andel av vattnet är tillgängligt för infiltration till berg. Endast en del av avrinningsområdet bevattnades. Därmed finns en osäkerhet om infiltrationskoefficienterna borde beräknas för bevattningsytan eller hela avrinningsområdet.

En tidig användning av numerisk modellering för att beräkna bildning av berggrundvatten presenterades av Axelsson och Carlsson (1979). För hela Gotland beräknades grundvattenbildningen till ca 25 mm/år inom inströmningsområdena. Grundvattenbildning beräknades även för delar av Gotland. I rapporten nämns att den största osäkerheten i modellen är transmissivitetens värden, även om den baseras på data från 150 brunnar. En förändring av transmissivitet i modellen ger också ett stort utslag i beräknad grundvattenbildning. En annan osäkerhet som lyfts fram i rapporten är beräkningscellernas storlek, som på grund av den tidens mycket begränsade datorkraft var tvungen att vara relativt stor.

En beräkning av bildning av berggrundvatten med hjälp av kloridhalt i grundvatten och kloriddeposition, som ibland används som referens, är Gustafson (1988). Metoden antar att kloridkoncentrationen (C [kg/m³]) i grundvattnet är en funktion av kloriddeposition (D [kg/m²/år]) och grundvattenbildning (W [m/år]) enligt $C=D/W$. Med hänsyn tagen till felkällor som osäkerhet i kloriddeposition och påverkan av andra kloridkällor, som till exempel vägsalt och relik havsvatten, kan det vara en användbar metod för att beräkna bildning av grundvatten. Beräkningar baserat på kloriddeposition kan dock inte användas för att skilja på om grundvattnet bildats i jord eller i berg. Det är den totala grundvattenbildningen som metoden kan uppskatta. Kloridkoncentrationen i berggrunden är oberoende av hur stor andel av den totala grundvattenbildningen som övergår till berg. SGU anser därför att metodiken är olämplig att använda för att beräkna bildning av berggrundvatten.

Rodhe och Bockgård (2006) beräknade bildningen av berggrundvatten för en specifik plats i Uppland baserat på tryckmätningar i jord och berg över tid. I området finns ett moräntäcke med en mäktighet av ca 10 m, över berg bestående av granit, sedimentär gnejs och leptit. Området är ett inströmningsområde med en trycknivå i jord ca 3 m högre än trycknivån i berg under mätperioden. Beräkningen av bildningen av berggrundvatten var ett av resultaten från en vertikal flödesmodell som kalibrerats mot uppmätta trycknivåer i jord och berg över tid. För att kunna beräkna bildningen av berggrundvatten behövdes ett värde på magasinskoefficienten (S). Den antogs vara $5E-4$ baserad på ett pumptest i berg utfört på platsen. Med detta värde beräknades grundvattenbildningen till 20 mm/år. Skattningen gällande bildningen av berggrundvatten kan vara fullt rimlig med tanke på platsens förutsättningar och att det varit ostörda förhållanden under mätperioden. Beräkningen är dock linjärt beroende av magasinskoefficienten som ofta bedöms vara svår att bestämma från pumptest, så som gjorts i detta fall. Därför finns det en viss osäkerhet även rörande skattningen gällande bildningen av berggrundvatten i detta fall (20 mm/år).

SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) har låtit genomföra ett antal numeriska grundvatten-simuleringar där ett av många resultat var vertikalt grundvattenflöde för olika djup i modellen.

Det är rimligt att anta att bildning av berggrundvatten motsvarar vertikalt grundvattenflöde för små djup i modellen då jorddjupet generellt är litet. Holmén m.fl. (2003) genomförde simuleringar av grundvattenflöde i regional skala i nordöstra Uppland där ett av resultaten var att bildningen av berggrundvatten var en mycket liten del av den effektiva nederbörden som antogs vara 250 mm/år. Som exempel var bildningen av berggrundvatten i ett av modelleringsfallen endast 1,6 mm/år sett över hela modelldomänen. Omräknat till ett medel för områden där grundvattenbildning skedde motsvarade det 5,7 mm/år. I samband med SKBs platsundersökningar i Laxemar och Forsmark utarbetades detaljerade platsbeskrivande modeller. Det aritmetiska medelvärdet av det vertikala grundvattenflödet för Laxemar som redovisas av Rhén och Hartley (2009) är beräknad som det totala nedåtriktade flödet dividerat med arean där det flödet är nedåtriktat. Skulle det redovisas som ett medelvärde över hela modelldomänen skulle den därmed vara lägre. På 20 m djup under markytan, där det i stort sett endast är berg i modellen, var det vertikala grundvattenflödet 46 mm/år. I fallet med Forsmark redovisas vertikalt grundvattenflöde som medel över hela modellytan för olika höjder relativt havsnivån (Follin m.fl. 2007). I de högre belägna områdena är de beräknade värdena i modellen en blandning av flöde i jord och berg medan värden under havsnivå endast gäller berg. Exempel på redovisade värden är 53 mm (+3 m ö.h.) och 29 mm (0 m ö.h.).

I simuleringarna av Holmén m.fl. (2003), Follin m.fl., (2007) och Rhén och Hartley (2009) minskade grundvattenflödet med djupet i modellerna vilket är förväntat.

Under avsänkta förhållanden kan bildning av berggrundvatten och grundvattenflöde i berg öka. Mossmark m.fl. (2008) redovisar resultaten av en långtidspumpning i kristallint berg vid Gårdsjön, Bohuslän. Under drygt fyra år motsvarade pumpflödet ca 200 mm/år (beräknat på avrinningsområdet storlek), vilket korrelerade väl mot minskningen i avrinning från området jämfört med ett närliggande referensområde. Det är därför ett rimligt antagande att bildning av berggrundvattnet ökade med 200 mm/år i detta fall på grund av pumpningen. Det bör dock poängteras att förhållandena på platsen kan betraktas som goda för ett betydande grundvattenflöde till berg i och med att avsänkningen under pumpning var mer än 40 m och att det troligtvis finns en relativt högkonduktiv brantstående spricka från borrhålet till en ovanliggande våtmark. Nederbörden i området var ca 1 100 mm/år, varav ungefär hälften avgick som evapotranspiration.

Bildning av berggrundvatten har också beräknats för avsänkta förhållanden vid tåg tunnelprojektet i Hallandsås (Trafikverket 2010). Inom det teoretiska influensområdet för tunneln beräknades bildning av berggrundvatten till 7,7 miljoner m³/år. Detta motsvarar 140 mm/år, vilket är 30 procent av den effektiva nederbörden i området (465 mm/år).

Diskussion och sammanfattning avseende bildning av berggrundvatten

Sammanfattningsvis kan konstateras att det finns platsspecifika skattningar av bildning av berggrundvatten i Sverige, men generellt sett är relativt få undersökningar allmänt tillgängliga. Vidare saknas en heltäckande skattning av grundvattenbildning i berg nationellt i Sverige. Eftersom grundvattenuttag i berg regionalt kan stå för en betydande del av dricksvattenförsörjningen, finns det ett tydligt behov av att utöka kunskapen och antalet skattningar avseende bildningen av berggrundvatten i Sverige, både vad det gäller naturliga och avsänkta förhållanden.

Bildning av berggrundvatten beror av en rad faktorer med stor rumslig variation som dessutom kan vara svåra att bestämma. Det innebär att bildning av berggrundvatten kan variera starkt mellan platser, men också inom begränsade områden. SGU har inte funnit något stöd i litteraturen för att bildning av berggrundvatten under ostörda förhållanden skulle vara större än 50 mm/år i Sverige sett över ett större område. Dock är underlaget mycket begränsat, varför det inte går att utesluta att det förekommer.

Under avsänkta förhållanden kan bildning av berggrundvatten bli betydligt högre än vid ostörda förhållanden. Det är tänkbart att allt grundvatten som bildas i jord inom ett influensområde skulle flöda till berggrundvattnet vid en större avsänkning. Men flödet från jord till berg kan begränsas av flera faktorer. Till exempel kan det finnas en begränsning i den hydrauliska kontakten mellan jord och berg, vilket kan innebära att berget vid vissa tillfällen inte kan transportera ner allt vatten som flödar ovanifrån i jorden. Den vattenmängd som inte flödar ner i berget kan då till exempel flöda vid gränsytan mellan jord och berg och ut ur influensområdet. Hur mycket bildningen av berggrundvatten ökar vid avsänkning är därmed inte givet och är troligtvis platsspecifikt.

REFERENSER

- Axelsson, C. & Carlsson, L., 1979: Grundvattenbildning på Gotland. I Hydrogeologi vid SGU. Exempel på verksamhet inom grundvattensektorn. *Rapporter och meddelande nr 14*, Sveriges geologiska undersökning. Sid. 35–44.
- Bergman, G. 1972: Bestämning av infiltrationskoefficienter för bergytter och perkolationsbanor i jordlager. *Slutrapport STU-projekt 69-519/U386*. Kvartärgeologiska institutionen, Stockholms universitet. 87 s.
- Earon, R., 2014: Water supply in hard rock coastal regions: The effect of heterogeneity and kinematic porosity. *TRITA-LWR LIC-2014:03*. Licentiatavhandling, Kungliga Tekniska Högskolan. 31 s.
- Florén, S., 2015: Grundvattenbildning till berg. En litteraturstudie samt fallstudie av järnvägstunneln delen Varberg–Hamra. *LUP-SP*. Examensarbete, Lunds universitet.
- Follin, S., Johansson, P-O, Hartley, L., Jackson, P., Roberts, D. & Marsic, N., 2007: Hydrogeological conceptual model development and numerical modelling using CONNECTFLOW, Forsmark modelling stage 2.2. *SKB R-07-49*, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Gustafson, G., 1988: Groundwater in crystalline rocks – some ideas. I Englund m.fl. *Studies on Groundwater Recharge in Finland, Norway and Sweden. Proceedings of a workshop, Mariehamn, Åland, Finland 25–26 September 1986*, sid. 91–97. Finland.
- Holmén, J. G., Stigsson M., Marsic, N. & Gylling, B., 2003: Modelling of groundwater flow and flow paths for a large regional domain in northeast Uppland A three-dimensional, mathematical modelling of groundwater flows and flow paths on a super-regional scale, for different complexity levels of the flow domain. *SKB R-03-24*, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Mossmark, F., Hultberg, H. & Ericsson, L. O., 2008: Recovery from groundwater extraction in a small catchment area with crystalline bedrock and thin soil cover in Sweden. *Science of the Total Environment 404:2–3*, sid. 253–261.
- Olofsson, B., Jacks, G., Knutsson, G., & Thunvik, R., 2001: Grundvatten i hårt berg – analys av kunskapsläget. Ur Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2001, *SOU 2001:35*, sid. 113–189.
- Olofsson, B. & Knutsson, G., 2004: Några hydrogeologiska undersökningsmetoder för bestämning av grundvattenbildning och grundvattenströmning. Ur Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2004, *SOU 2004:67*, sid. 209–251.
- Rodhe, A. & Bockgård, N., 2006: Groundwater recharge in a hard rock aquifer: a conceptual model including surface-loading effects crystalline bedrock. *Journal of Hydrology 330:2–3*, sid. 389–401.
- Rhén, I. & Hartley, L., 2009: Bedrock hydrogeology Laxemar. Site descriptive modelling. SDM-Site Laxemar. *SKB R-08-92*, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Svenskt Vatten, 2007: Dricksvattenförsörjning i förändrat klimat. Underlagsrapport till Klimat- och sårbarhetsutredningen. *Meddelande MI35*. Svenskt Vatten AB.
- Trafikverket, 2010: Projekt Hallandsås, Vattenbalans. Underlagsrapport för ny tillståndsansökan. Dokumentnummer Tk-0-Ra-000094-R.

BILAGA 2. BERÄKNING AV MAGASINERANDE FÖRMÅGA

Förmågan att magasinera vatten i mark har översiktligt beräknats för hela Sverige. Vid denna beräkning görs ett antal förenklande antaganden. Värdena för porositet och grundvattennivå har ansatts av SGU utifrån en rimlighetsbedömning.

Vid beräkningen av den magasinerande förmågan antas att grundvattenmagasinen är öppna så att dess porer kan dräneras på vatten.

Effektiv porositet (det vill säga den andel av markens volym där det kan finnas dränerbart vatten) i jord har satts enligt följande:

Effektiv porositet i berg bestäms dels av huvudbergart, dels av bedömd uttagsmöjlighet. Effektiv porositet bedöms vara högre i sedimentär berggrund än i urberg för samma uttagsmöjlighet. I beräkningen antas att den effektiva porositeten följer uttagsmöjligheten genom potensen 1/3 (kubiska lagen), förutom för de största uttagsmöjligheterna i sedimentärt berg där den effektiva porositeten antas vara ännu något större.

Den översta delen av berget är ofta mer uppsprucken. Därför antas att den översta metern i berget har en effektiv porositet som är tre gånger högre än vad uttagsmöjligheten visar enligt tabell 2.

Förutom av effektiv porositet styrs den magasinerande förmågan av hur stor grundvattenavsänkning som är möjlig och lämplig att göra. Sänkning av grundvattenytan i berg begränsas i beräkningen till 10 m under ursprunglig grundvattenyta. Sänkning av grundvattenyta i jord begränsas primärt till 1 m under ursprunglig grundvattenyta. Men större jorddjup medför en större magasinerande förmåga än så, varför det antas i beräkningen att 25 procent av den effektiva porositet som finns därunder i jord (ned till maximalt 10 m under ursprunglig grundvattenyta) kan räknas med i magasineringsförmågan. Den omättade zonen lagrar inte grundvatten, men

Tabell 1. Antagen effektiv porositet för olika jordar.

Jordartsklass	Effektiv porositet
Lera	1 %
Silt	2 %
Torv	15 %
Sand	15 %
Grus	15 %
Sten-Block	15 %
Isälvs sediment	15 %
Moränlera	2 %
Morän	5 %

Tabell 2. Antagen effektiv porositet i berg baserat på uppgift om uttagsmöjlighet.

Uttagsmöjlighet (l/h)	Urberg	Sedimentärt berg
< 600	0,03 %	0,20 %
600–2 000	0,05 %	0,30 %
2 000–6 000	0,07 %	0,40 %
6 000–20 000	0,10 %	0,60 %
20 000–60 000		1,00 %
> 60 000		3,00 %

Tabell 3. Antagen grundvattennivå för olika jordar.

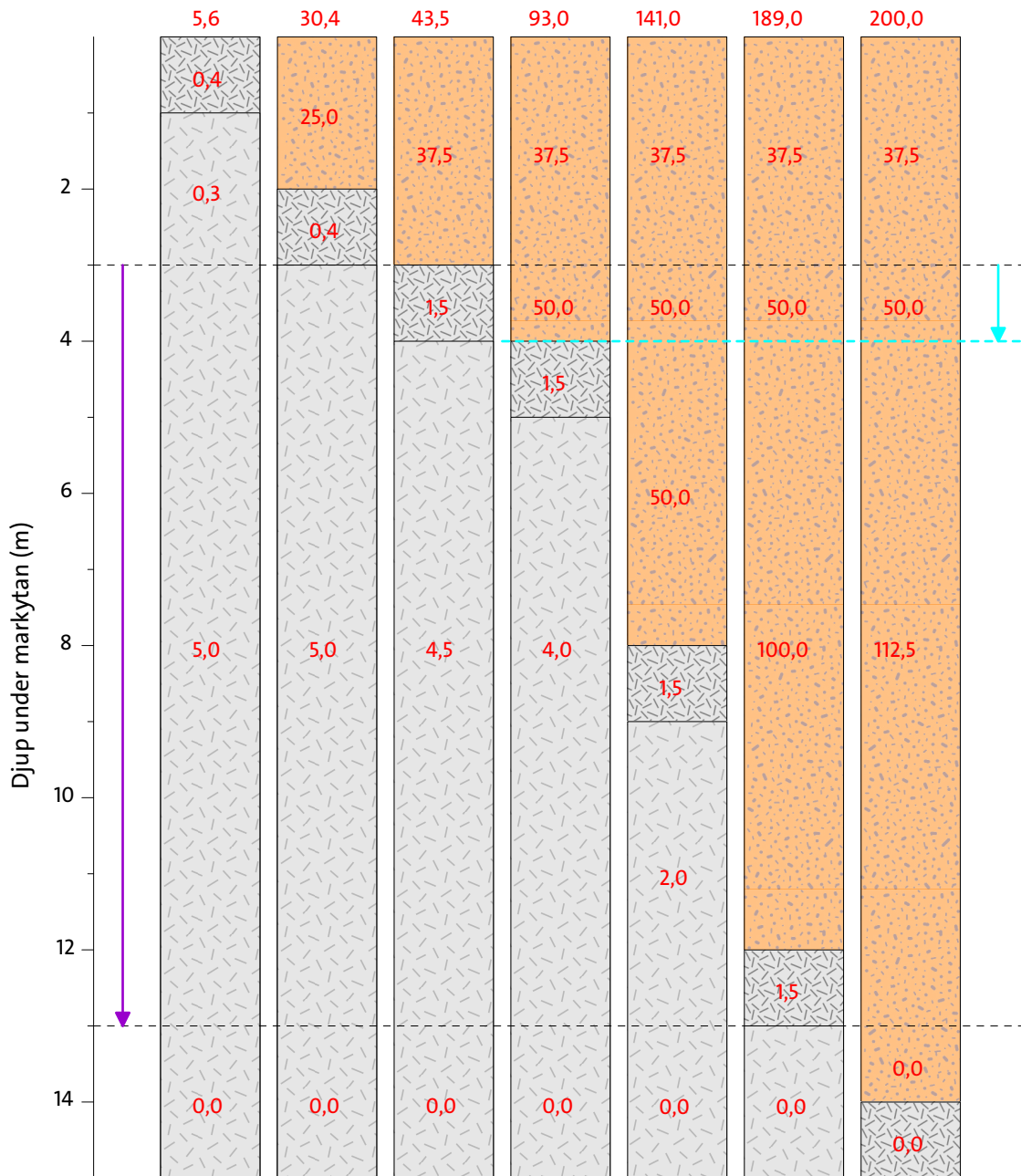
Jordartsklass	Grundvattennivå (m under markyta)
Lera	2
Silt	3
Torv	2
Sand	4
Grus	6
Sten-Block	6
Isälvsediment	6
Moränlera	3
Morän	3
Berg	3

det finns en viss magasineringsförmåga av vatten även där. Därför antas det i beräkningar att 25 procent av den effektiva porositet som finns i den omättade zonen, oavsett om det är berg eller jord, kan räknas med i magasineringsförmågan.

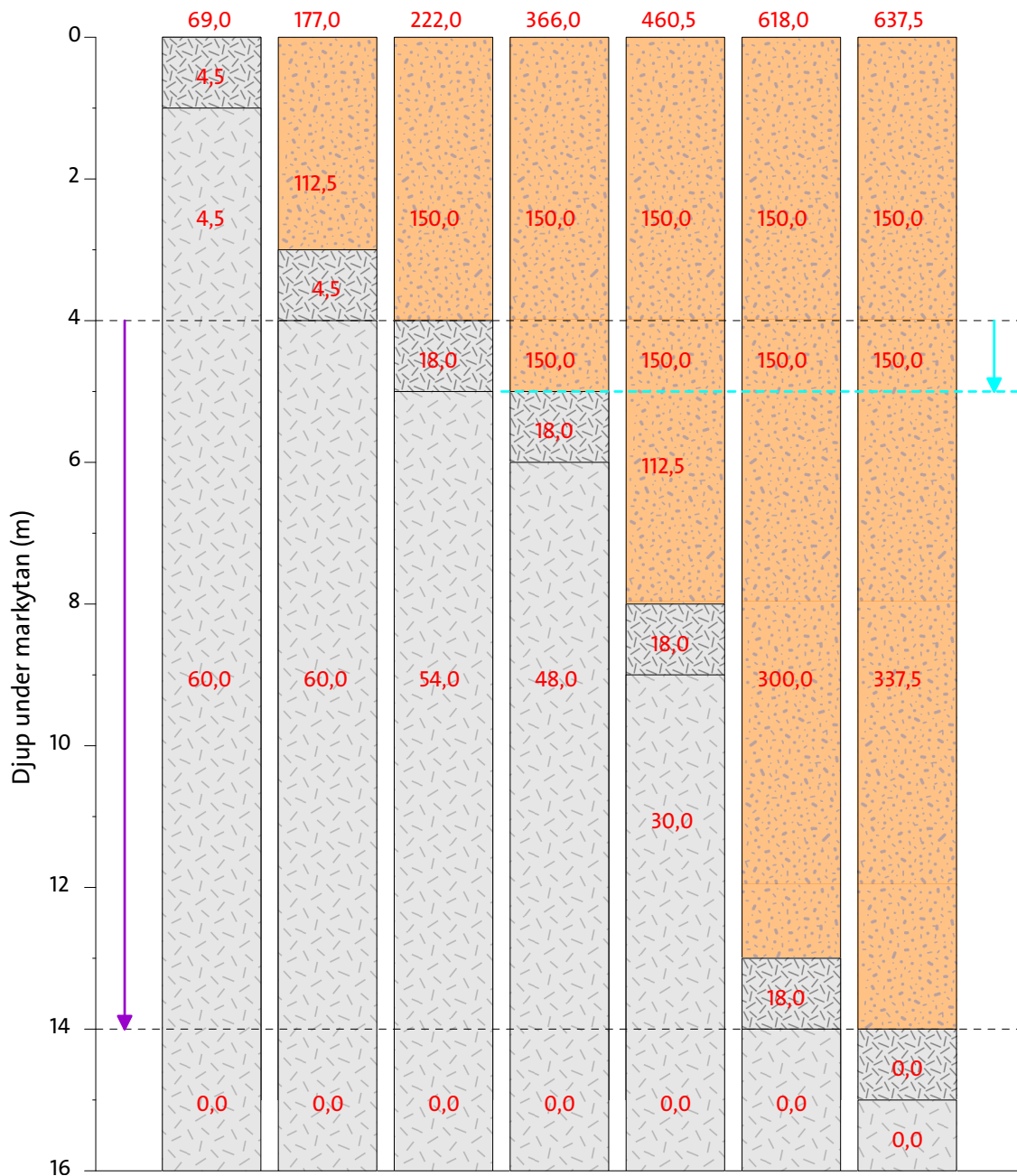
Grundvattennivån i förhållande till markytan varierar från plats till plats. Enligt Lagergren (2015) understiger månadsmedelvärden för grundvattennivån sällan 3 m djup i medel för större delen av Sverige. Det är dock rimligt att anta att grundvattennivån också beror av jordart. För beräkning av den magasinande förmågan har följande nivåer använts:

Figur 1 och 2 visar exempel på beräknad magasinande förmåga för en kombination av morän och urberg, respektive sand och sedimentärt berg för olika jorddjup enligt metodiken ovan. Som synes får både jordart, huvudbergart och jorddjup genomslag i resultatet.

Resultaten ska betraktas med stor försiktighet eftersom de baseras på ett antal mycket förenklade antaganden. Jorddjupsmodellen som inkluderas i beräkningen kan till exempel vara relativt osäker i vissa områden. Även antaganden om effektiv porositet bör betraktas som relativt osäkra. En annan förenkling som troligtvis spelar en betydande roll är att det endast är den översta jordarten som inkluderas i beräkningen. Till exempel påverkar därför inte eventuella lager med morän eller isälvsavlagring under lera beräkningen. Vidare tas i beräkningen ingen hänsyn till att grundvattenytan med stor sannolikhet ligger djupare under markytan i lokala höjdområden än i mer låglänta områden. Det finns därmed stora möjligheter att förbättra denna beräkning i framtida studier och kartläggningar



Figur 1. Magasinerande förmåga för morän och underliggande urberg med uttagskapacitet av 600–2 000 l/h. Värdena högst upp visar den totala magasineringsförmågan för respektive kolumn, medan värdena inom det färgade området visar magasineringsförmågan för respektive lager.



Figur 2. Magasinerande förmåga för sand och underliggande sedimentärt berg med uttagskapacitet av 6 000–20 000 l/h. Värdena högst upp visar den totala magasineringsförmågan för respektive kolumn, medan värdena inom det färgade området visar magasineringsförmågan för respektive lager.

REFERENSER

Lagergren, H., 2015: Grundvattennivåernas tidsmässiga variation i morän och jämförelse med klimatscenarier. *SGU-rapport 2015:20*. Sveriges geologiska undersökning.

BILAGA 3. DEFINITIONER

Avdunstning: När vatten går från att vara flytande eller fast till att vara i gasform (vattenånga).

Avrinning: Den del av nederbörden, regn eller snösmältning, som rinner av till sjöar och vattendrag. Man brukar skilja på ytavrinning, där vattnet rinner av på markytan, och avrinning som sker via grundvattnet. Den övervägande delen av avrinning från ett område når vattendrag via grundvattnet.

Avrinningsområde: Det område från vilket det vatten som har ett gemensamt utlopp i en viss punkt i ett vattendrag ursprungligen avrunnit ifrån. Det kallas också dräneringsområde (förr användes även termen nederbördsområde). Ett avrinningsområde avgränsas av en vattendelare (skapad av terrängen). Avrinningsområdet omfattar både landyta och sjöar i det avgränsade området.

Bladyteindex (leaf area index, LAI): anger summan av barrens eller bladens projicerade yta i relation till markytan. Tall- och lövträdsbestånd med fullt utvecklade trädkronor kan nå LAI-värden kring 6, medan granbestånd kan nå det dubbla.

Brunnsarkivet: SGUs brunnarkiv tar emot och lagrar information om brunnar enligt lagen om uppgiftsskyldighet (SFS 1975:424).

Delavrinningsområde: Område inom ett större avrinningsområde från vilket avrinning strömmar till en viss punkt i ett vattendrag.

Effektiv nederbörd: Skillnaden mellan total nederbördsmängd och avdunstning inom ett område, sett över en längre tid. I denna rapport likställer vi detta med den grundvattenbildning som hörhör från nederbörden.

Effektiv porositet: Andel av markens volym som kan dräneras på vatten. Effektiv porositet är lika med porositet minus fältkapacitet.

Evaporation: Vatten som avgår till luften från mark eller vattenytor.

Evapotranspiration: Vatten som avgår till luften från mark eller vattenytor (som evaporation), och från växlighet (som transpiration och interception). Summan kallas evapotranspiration. Avdunstning används ofta som ett begrepp för det sammanlagda vattenångefflödet till atmosfären (evapotranspirationen).

Fältkapacitet: Markens vattenhalt efter det att det fria vattnet avrunnit genom tyngdkraftens inverkan och den nedåtgående vattenrörelsen upphört. I detta tillstånd är de grövre porerna fyllda med luft och de finare med vatten.

Grundvatten: Vatten i den delen av en geologisk formation där alla porer är helt vattenfyllda.

Grundvattenbildning: Tillförsel av vatten till grundvattenzonen. Grundvattenbildning härrör huvudsakligen från nederbörd (effektiv nederbörd), men grundvatten kan även skapas på annat sätt, exempelvis genom inducerad grundvattenbildning.

Grundvattennätet: Inom SGUs grundvattennät övervakas grundvattennivåer i ett 70-tal områden (ca 300 observationsrör) samt grundvattnets kemi på ca 30 platser (källor, observationsrör). Observationerna har pågått sedan slutet av 1960-talet.

Grundvattenregimer: Grundvattennivåns normala variation över ett år.

Grundvattenyta: Gränsyta mellan grundvattenzonen och den ovanliggande markvattenzonen.

Grundvattenzon, mättad zon: Den del av en geologisk formation där porutrymmet är helt fyllt med vatten och där vattnets tryck är större än atmosfärstrycket.

Hortonsk ytavrinning: Ytavrinning då nederbördens intensitet överskrider markens infiltrationskapacitet.

Hydraulisk gradient: Skillnad i trycknivå per längdenhet.

Hydrogeologi: Den del av geologin som studerar grundvattnet, dess rörelse, förekomst och egenskaper i både jord och berg.

Inducerad grundvattenbildning: Grundvattenbildning då grundvattennivån i marken är lägre än ytvattnets nivå i intilliggande ytvatten. Skillnaden i nivå skapar ett flöde från ytvatten till grundvatten. Förhållandet uppstår vid uttag av grundvatten.

Infiltration: Vattnets inträngande i marken.

Infiltrationskapacitet: Markens förmåga att ta emot vatten som tillförs markytan.

Interception: Snö eller regn som fångas upp av vegetationen. Merparten av uppfångat regnvatten avdunstar efter regnet. Den snö som lagras på vegetationen kan till en del avdunsta, men merparten blåser ner eller smälter så att vattnet tillförs markytan.

Inströmningsområde: Markområde där det sker en påfyllnad av grundvatten (grundvattenbildning). I ett inströmningsområde strömmar vatten från markvattenzonen till grundvattenzonen. Motsatsen är utströmningsområde, där det sker en avtappning av grundvatten (grundvatten flödar ut ur grundvattenzonen).

Konstjord grundvattenbildning: Tillförsel av ytvatten, vanligtvis genom infiltration i marken, med avsikt att öka grundvattentillgången.

Kornstorleksfördelning: Den procentuella viktfördelningen av olika kornstorlekar i en jord. Jordars kornstorlek varierar och man kan dela in jordar i jordarter utifrån hur kornstorlekarna är fördelade.

Läckande grundvattenmagasin: I vissa fall kan ett läckage från ovanliggande grundvattenmagasin ske ned till underliggande grundvattenmagasin. De ovanliggande magasinerna benämns då som läckande. (Se även öppna respektive slutna grundvattenmagasin.)

Makroporer: Större porer som inte har kapillära egenskaper.

Markvattenzon, omättad zon: Zonen mellan markytan och grundvattenytan. I denna zon finns både luft och vatten i porerna och vattnets tryck är mindre än atmosfärtrycket.

Mikroporer: Mindre porer som har kapillära egenskaper.

Mättad ytavrinning: Ytavrinning då nederbörden inte kan infiltrera på grund av att marken är vattenmättad.

Perkolation: Vattnets transport från rotzonen ned till grundvattenytan.

Porositet: Andel porvolym i förhållande till total volym.

Provpumpning: Uttag av en grundvatten från en brunn för att beräkna grundvattenmagasinets egenskaper. Observationer av grundvattennivåer i och i anslutning till den provpumpade brunnen används som underlag vid beräkningarna.

Slutet magasin: Ett grundvattenmagasin som överlagras av ett tätande geologiskt lager, dvs. ett lager med väsentligt lägre hydraulisk konduktivitet än magasinets, och där trycknivån i magasinet ligger över magasinets övre begränsningsnivå.

Små snabbreagerande grundvattenmagasin: Grundvattenmagasin där grundvattennivån reagerar snabbt på förändringar i nederbörd och som har liten magasiningsförmåga. Små grundvattenmagasin återfinns främst i morän och som prickmagasin i kristallint berg (urberg).

Stationärt tillstånd: Ett tillstånd i ett fysikaliskt eller kemiskt system där inga förändringar sker över tiden.

Stora långsamreagerande grundvattenmagasin: Grundvattenmagasin där grundvattennivån reagerar långsamt på förändringar i nederbörd och som har stor magasiningsförmåga. Stora långsamreagerande grundvattenmagasin utgörs vanligen av mäktiga sand- och grusavlagringar samt vissa sedimentära bergarter.

Tillrinningsområde: Tillrinningsområdet till ett grundvattenmagasin är det område eller de områden varifrån nederbörd eller annat vatten kan rinna mot och tillföras magasinet. Begränsningslinjer för ett grundvattenmagasins tillrinningsområde bedöms inte utifrån samma principer som vid bestämning av ytvattendelare som definierar ett avrinningsområde. Vid bestämning av tillrinningsområden beaktas djupare flöden.

Transmissivitet: Ett mått på den vattenledande förmågan hos ett jord- eller berglager.

Transpiration: Det vatten som avdunstar från växternas klyvöppningar.

Trycknivå: Grundvattnets trycknivå i en punkt i grundvattenzonen är den nivå vattnet skulle stiga till i ett öppet rör med kontakt med atmosfären. Jämför grundvattenyta.

Utströmningsområde: Markområde där grundvattenytan ligger i eller mycket nära markytan och grundvatten strömmar ut ur grundvattenzonen. Motsatsen är inströmningsområde.

Vattenbalanskvation: Vattenbalanskvationen kan skrivas som $P = Q + ET$ för en bestämd hydrologisk enhet, där

P = nederbörden under en given period

Q = avrinningen under samma period

ET = evapotranspirationen under samma period

ΔS = det vatten som magasineras på olika sätt under samma period

Vissningsgräns: När vattenhalten är så låg att växterna inte längre kan ta upp vatten ur en jord är den så kallade vissningsgränsen nådd. Den permanenta vissningsgränsen inträffar vid ett undertryck (tension) hos markvattnet av ca 150 meter vattenpelare.

Öppet magasin: Ett grundvattenmagasin där grundvattnet avgränsas uppåt av en grundvattenyta där det hydrostatiska trycket är lika med atmosfärstrycket (en fri grundvattenyta).