



Sveriges geologiska undersökning

Områden där grundvattennivån är av särskild betydelse för vattenkvalitet, markstabilitet eller ekosystem

Områden där grundvattennivån är av särskild betydelse för vattenkvalitet, markstabilitet eller ekosystem



Lena Maxe & Bo Thunholm

Förord

Rapporten är framtagen främst inom projektet ”Grundvattennivåer i områden med risk för saltvatteninträngning eller förändring som kan påverka markstabilitet eller ekosystem” finansierat av Naturvårdsverket inom ramen för Miljömålsuppföljning. Projektet har dock slutförts med SGUs medel för indikatorutveckling. Många olika kompetensområden på SGU har bidragit. Framtagandet av den Marina gränsen har utförts av Leif Andersson och Tore Påsse medan Eva Jirner Lindström har vidarearbetat denna information till en kartpresentation. Mats Engdahl har medverkat i avsnitt om skredrisker. Anders Hallberg har med stöd av Mikael Erlström avgränsat områden med risk för påverkan av alunskiffer. Mattias Gustafsson har bidragit med kunskap om förhållandena i sydsvenska akvifersystem. Gustav Sohlenius har ställt kunskap om förekomst av sulfidjordar till förfogande. Exempel på hur lokala riskkartor skulle kunna se ut har utarbetats av Per Larsson medan Jonas Gierup har tagit fram information från Grundvattennätet. Mats Aastrup initierade projektet och har bidragit med diskussioner och synpunkter på innehållet i denna rapport.

INNEHÅLL

Inledning	3
Miljökvalitetsmålet Grundvatten av god kvalitet	3
Vattenförvaltningsförordningen	4
Behov av övervakning av grundvattennivåer	5
Utgångspunkter	5
Ansvarsområden	6
Avgränsning av riskområden	7
Val av kriterier för identifiering av riskområden	7
Identifiering av områden under Marina Gränsen	7
Identifiering av skredkänsliga områden	9
Identifiering av berggrundsområden med naturligt dålig vattenkvalitet	10
Identifiering av jordartsområden med naturligt dålig vattenkvalitet	12
Områden med risk för överuttag av grundvatten	12
Lokala riskkartor	13
SGUs referensstationer – Resultat från grundvattennätet	15
Karakterisering av stationer	16
Magasinsstorlekens betydelse	18
Terränglägets betydelse	19
Mänsklig påverkan	20
Klimatförändringar	21
SGUs månadskarta	23
Utformning av grundvattennivåövervakning	24
Sammanfattande diskussion	25
Referenser	27

Inledning

Förändringar i grundvattennivåer kan påverka den byggda miljön, grundvattenkvaliteten och de ekologiska system som är beroende av grundvattnets nivå eller flöde. Grundvattennivåförändringar i samband med infrastrukturprojekt har ibland skapat problem. Exempel på detta är avsänkningar med efterföljande sättningsproblem i Stockholm i samband med tunnelbane-dragningar och den kraftiga avsänkningen vid dragning av tunnel för järnväg genom Hallandsåsen. Problem med uppträängning av salt grundvatten i områden som idag är kustnära eller som tidigare legat under saltvatten försvårar framförallt den enskilda vattenförsörjningen i en rad kommuner. Torrläggning av kärr och andra våtmarker genom avsiktlig eller oavsiktlig sänkning av grundvattennivån förekommer eller har förekommit på många platser i landet. Det är vanligast att grundvattenuttag med efterföljande grundvattensänkningar skapar problem men det bör observeras att dämning och höjning av grundvattennivån kan orsaka omfattande skador såväl i den byggda miljön som i ekologiska system.

Miljökvalitetsmålet Grundvatten av god kvalitet

I november 2001 godkände riksdagen regeringens förslag till en ny miljömålsstruktur (miljöpropositionen 2000/01:130). Propositionen beskriver preciserade tidsbestämda och mätbara delmål för femton miljökvalitetsmål samt strategier för att uppnå dessa till år 2010. Underlaget till regeringens miljömålsproposition togs fram av Miljömålskommittén och finns sammanfattat i Miljömålskommitténs slutbetänkande (SOU 2000:52). I betänkandet föreslås att miljökvalitetsmålen ska följas upp och utvärderas genom ett system av indikatorer. Indikatorerna ska visa om miljöarbetet går i rätt riktning och i rätt takt. För varje miljökvalitetsmål föreslogs ett antal indikatorer som ska åskådliggöra den information som kommer från miljöövervakning, miljöstatistik eller andra, helst befintliga, datakällor. För miljökvalitetsmålet *Grundvatten av god kvalitet* föreslog miljömålskommittén 13 indikatorer. En av dessa var statusindikatorn 90 "Grundvattennivåer i områden med risk för saltvatteninträngning eller förändring som kan påverka markstabilitet eller ekosystem". Enligt miljömålskommittén så är SGU huvudansvarig för indikatorn som bör utvecklas i enlighet med Naturvårdsverkets Bedömningsgrunder. Indikatorn ska även följa upp gjorda åtgärder och mäta risken för sättningskador för hus. SGU tilldelades under år 2002 medel från Naturvårdsverket för att utveckla indikator 90. Den föreslagna indikatorn ska följa upp *Grundvatten av god kvalitets* delmål 2 rörande grundvattennivåer:

Senast år 2010 skall användningen av mark och vatten inte medföra sådana ändringar av grundvattennivåer som ger negativa konsekvenser för vattenförsörjningen, markstabiliteten eller djur- och växtliv i angränsande ekosystem.

I Miljömålskommitténs slutbetänkande föreslås även att kommunerna senast år 2005 bl.a. ska ha kartlagt och redovisat:

... markområden och ekosystem som är känsliga för förändringar i grundvattennivåer och grundvattenflöde respektive

... system för övervakning av grundvattennivåer och kvalitet där exploatering av känsliga mark- och grundvattenområden pågår eller planeras.

Vattenförvaltningsförordningen

Sveriges geologiska undersökning har gett ut föreskrifter för övervakning av grundvatten och redovisning enligt förordningen (2004:660) om förvaltning av kvaliteten på vattenmiljön (SGU-FS 2006:2). Föreskrifterna gäller för grundvattenförekomster där uttag av grundvatten är större än 10 m³/dygn eller där dricksvattenuttag för fler än 50 personer görs eller där grundvattenförekomster är avsedda för sådan framtida användning eller där betydande påverkan på anslutande ytvattenförekomst kan ske. Vad avser grundvattennivåer så anges för kvantitativ status att:

Kvantitativ status

15 § Inom varje vattendistrikt skall ett övervakningsnät för kvantitativ övervakning upprättas för grundvattenförekomster där risk föreligger att summan av grundvattenuttagen är större än den långsiktiga årliga grundvattenbildningen. Kvantitativ övervakning skall också upprättas i grundvattenförekomster där förändrade grundvattennivåer kan medföra risk för att god ekologisk status inte nås i med grundvattnet förbundna ytvatten eller i grundvattenberoende terrestra ekosystem eller där antropogent förorsakad risk för saltvatteninträngning eller annan försämring av grundvattnets kvalitet kan uppstå. Kvantitativ övervakning skall alltid utföras i grundvattenförekomster där uttagen i minst en plats är större än 100 m³/dygn.

16 § Mätfrekvensen för grundvattennivåer skall vara minst 1 gång per månad i pormagasin och minst 2 gånger per månad i sprickmagasin i de grundvattenförekomster som avses i 15 §.

17 § Varje grundvattenförekomst eller grupp av grundvattenförekomster som har bedömts vara utan risk att inte nå god kvantitativ status skall övervakas genom grundvattennivåmätning i minst en station som bedöms vara representativ för grundvattenförekomsten eller gruppen av grundvattenförekomster.

18 § Till varje övervakningsnät upprättat för grundvattenförekomster enligt 15 § skall utses minst en station upprättad enligt 17 § för jämförande mätningar av grundvattennivåer.

19 § För varje övervakningsstation skall minst de attributdata anges som framgår av bilaga 2 till föreskriften; avsnitt B:

Bilaga 2 avsnitt B Attribut för varje övervakningsstation:

- ♣ Övervakningsstationens unika identitet
- ♣ Typ av övervakningsstation: källa, övervakningsrör eller brunn
- ♣ Unik identitet på grundvattenförekomst eller grupp av förekomster som har rapporterats enligt 5 § SGU-FS 2006:1 och som övervakningsstationen är associerad med
- ♣ Övervakningssyfte: kvantitativ, kvalitativ eller båda
- ♣ Övervakningsstationens geografiska läge angivet enligt 25 § dessa föreskrifter
- ♣ Totaldjup (ej källor)
- ♣ Parametrar
- ♣ Frekvens skall anges om den avviker från den generella som anges enl. bilaga 2 avsnitt A
- ♣ Om grundvattenförekomsten eller grupp av förekomster är gränsöverskridande
- ♣ Ange om stationen ingår i ett internationellt nätverk

Behov av övervakning av grundvattennivåer

Genom SGUs grundvattennät kan grundvattennivåer i olika magasin typer följas. Dessa representerar i huvudsak ostörda förhållanden och kan därför användas som referensstationer. Denna övervakning kommer under de närmaste åren kompletteras med den övervakning av större grundvattenförekomster som ska övervakas enligt vattenförvaltningsförordningens och SGUs föreskrifters krav.

Inom detta projekt har arbetet främst inriktats på att identifiera riskområden, dvs områden där förändringar av grundvattennivåer kan få en negativ effekt. Av praktiska skäl har även områden där en ökad kontakt mellan grundvatten av god respektive dålig kvalitet kan innebära minskade möjligheter att använda vattnet identifierats. De riskområden som identifierats kan behöva följas upp av vattenmyndigheter, länsstyrelser, kommuner eller verksamhetsutövare. Denna rapport kan även tjäna som startpunkt för detta arbete.

Även om effekten av grundvattenförändringar kan vara stor så är den oftast lokal. I vilken mån grundvattennivåerna kommer att påverkas beror på de lokala hydrogeologiska förhållandena, t.ex. sprickor i berggrunden. Detta innebär att det oftast är svårt eller kanske t.o.m. omöjligt att genom ett nationellt övervakningsprogram fånga in dessa förändringar.

Utgångspunkter

De flesta av Sveriges akviferer är ganska små och deltar aktivt i det hydrologiska kretsloppet. Grundvattenmagasinen fylls årligen på med regn- och smältvatten och bräddar vid hög fyllnadsgrad över eventuella trösklar. Grundvattnet används i vissa magasin till vattenuttag ur brunnar. I områden med tunnlar eller andra undermarkskonstruktioner leds vanligen inträngande grundvatten bort vilket påverkar grundvattennivåerna. Växter kan också använda en del av grundvattnet genom att vattnet kapillärt sugas upp mot rotzonen. Det vatten som inte tas ut i brunnar etc eller upp av växtligheten dräneras långsamt mot ytvattensystemen. Nederbördsförhållandena under året eller de närmast föregående åren påverkar magasinens fyllnadsgrad, dvs grundvattennivåernas läge.

Det är inte möjligt att långsiktigt överutnyttja de flesta av dessa små eller halvstora magasin men olika effekter kan uppkomma vid för stora vattenuttag. I områden som ligger under den Marina gränsen; dvs. som har legat under hav efter istiden, eller som ligger vid kusten, kan för stora vattenuttag medföra saltvatteninträngning i brunnar. Även relativt begränsade vattenuttag kan tillsammans med minskad grundvattenbildning på en hårdgjorda markyt i stadsmiljön ge problem med markstabiliteten i tätorter. Sättningar förekommer framför allt när finkorniga jordar, silt och lera, dräneras men problem med sänkta grundvattennivåer drabbar även bebyggelse på andra jordarter som grundlagts på träpålar eller rustbäddar av trä som förmultnar om de kommer i kontakt med luft. Grundvattenuttag kan också innebära att avrinningen till ytvattendrag och våtmarker minskar vilket kan påverka växt- och djurliv.

Det finns några större akviferer som kan överutnyttjas under en följd av år. Det gäller främst de större akvifererna i sedimentär berggrund men även okonsoliderade sediment med stor mäktighet, t.ex. den s.k. Alnarpssänkan. I sedimentära lagerföljder förekommer ibland lager med dålig vattenkvalitet, framförallt i alunskiffer. Vid brunnsborrning kan utbyte mellan lager

med dålig vattenkvalitet och lager med bra vattenkvalitet uppstå vilket kan leda till att det dåliga vattnet påverkar större områden.

Även när grundvattennivåer stiger, till exempel vid dämning i samband med byggande, minskade grundvattenuttag eller återställande av våtmarker kan problem uppstå för såväl vegetation som för den byggda miljön som anpassats till lägre grundvattennivåer.

Bortsett från de stora akvifererna är påverkan på grundvattennivåerna av olika störningar lokal. Ett undantag är de förändringar som kan förorsakas av ett ändrat klimat. Dessa grundvattennivåförändringar är svåra att följa upp med en nationell indikator. När vattenmyndigheternas övervakning av grundvattenförekomster som riskerar att inte uppnå god kvantitativ status kommit igång är det möjligt att utforma en indikator som på en övergripande nivå visar antalet sådana grundvattenförekomster. Däremot är det en viktig uppgift för SGU att upprätthålla referensmätningar i ostörda områden. Dessa bör även analyseras för att upptäcka ändringar i klimat.

I samband med anläggningsarbeten finns det ett behov av att kunna bestämma hur den aktuella grundvattensituationen kan relateras till de högsta respektive lägsta grundvattennivåerna på platsen. Även i detta sammanhang finns behov av lättillgängliga och relevanta referensmätningar. Detta gäller t.ex. vid anläggning av enskilda avlopp. Vid infiltration av avloppsvatten bör avståndet mellan infiltrationsytan och högsta grundvattenytan aldrig vara mindre än 1 meter för att den mikrobiella avdödningen ska vara tillfredställande. Även om grundvattennivån kan fastställas vid projektering eller utförande av anläggningen är det inte sannolikt att man kunnat observera den högsta grundvattennivån på platsen. Det finns därför ett behov av att kunna bedöma hur mycket högre än den aktuella nivån grundvattnet kan förväntas stiga under perioder med till exempel långvariga och omfattande regn.

SGU har också möjlighet att bidra till uppföljningen av delmålet genom att ta fram riskområden dvs. områden under den Marina gränsen (MG), områden med besvärliga lagerföljder respektive områden med dålig markstabilitet. SGU kan m h a referensmätserier av grundvattennivåer i olika typområden förlänga tidsserier m h a modellering eller regression. SGU kan också i samarbete med vattenmyndigheterna övervaka några av de stora akvifererna och ge förslag på hur en övervakning kan utformas. I övrigt så föreslås att kommuner, huvudman för vattentäkt, verksamhetsutövare, länsstyrelser och vattenmyndigheter får ansvaret att övervaka nivåer vid de verksamheter eller objekt där det behövs. Resultaten från dessa mätningar kan sammanställas och utvärderas av SGU i samband med de fördjupade utvärderingarna av miljökvalitetsmålet.

Ansvarsområden

- ◆ SGU avgränsar regionala riskområden
- ◆ SGUs grundvattennät ska kunna användas som referensserier för grundvattennivåvariationer
- ◆ Vattenmyndigheter övervakar med stöd av SGU grundvattenförekomster som kan utsättas för övernyttjande
- ◆ Vattenmyndigheter/län identifierar ekosystem som riskerar att påverkas negativt av förändringar i grundvattennivåer/flöde
- ◆ Kommuner avgränsar lokala riskområden

- ◆ Kommuner ställer krav på tillståndsplikt eller anmälningsplikt för brunnborrning
- ◆ Kommuner villkorar tillstånd för brunnborrning i riskområden med krav på försiktighetsåtgärder, certifierad brunnborrare, kloridmätningar i närliggande brunnar och under borrning, begränsning av uttag (vattenmätare) etc
- ◆ Kommuner och länsstyrelser ställer vid tillståndsprövning av verksamheter krav på konsekvensbedömning avseende verksamhetens effekter på grundvattennivåer inom riskområden
- ◆ Vattenmyndigheter/län/kommuner initierar övervakning i riskområden
- ◆ Verksamhetsutövare uppmärksammar risk för grundvattennivåförändringar och vidtar försiktighetsåtgärder (och söker behövliga tillstånd)
- ◆ Verksamhetsutövare övervakar grundvattennivåer före, under och efter aktivitet som kan påverka grundvattennivån
- ◆ Verksamhetsutövare etablerar vid behov referensstationer och utvärderar om påverkan uppstår samt vidtar erforderliga åtgärder

Avgränsning av riskområden

SGU har i detta projekt arbetat med att ta fram under vilka förhållanden förändringar i grundvattennivåer kan få negativa effekter och att utifrån detta i en regional skala identifiera och avgränsa riskområden. I denna genomgång ingår inte ekosystem som riskerar att påverkas av förändringar i grundvattennivåer/flöde.

Val av kriterier för identifiering av riskområden

I arbetet med att ta fram riskområden där förändring av grundvattennivåer eller ökat utbyte mellan olika djup i grundvattnet kan ge negativa effekter har följande faktorer beaktats:

1. risk för saltvatteninträngning i dricksvattenbrunnar (läge under den Marina gränsen; MG)
2. sättningssänsliga eller skredkänsliga jordar
3. risk för påverkan på dricksvattenbrunnar genom inblandning av grundvatten med naturlig dålig kvalitet
4. risk för överuttag av grundvatten i området

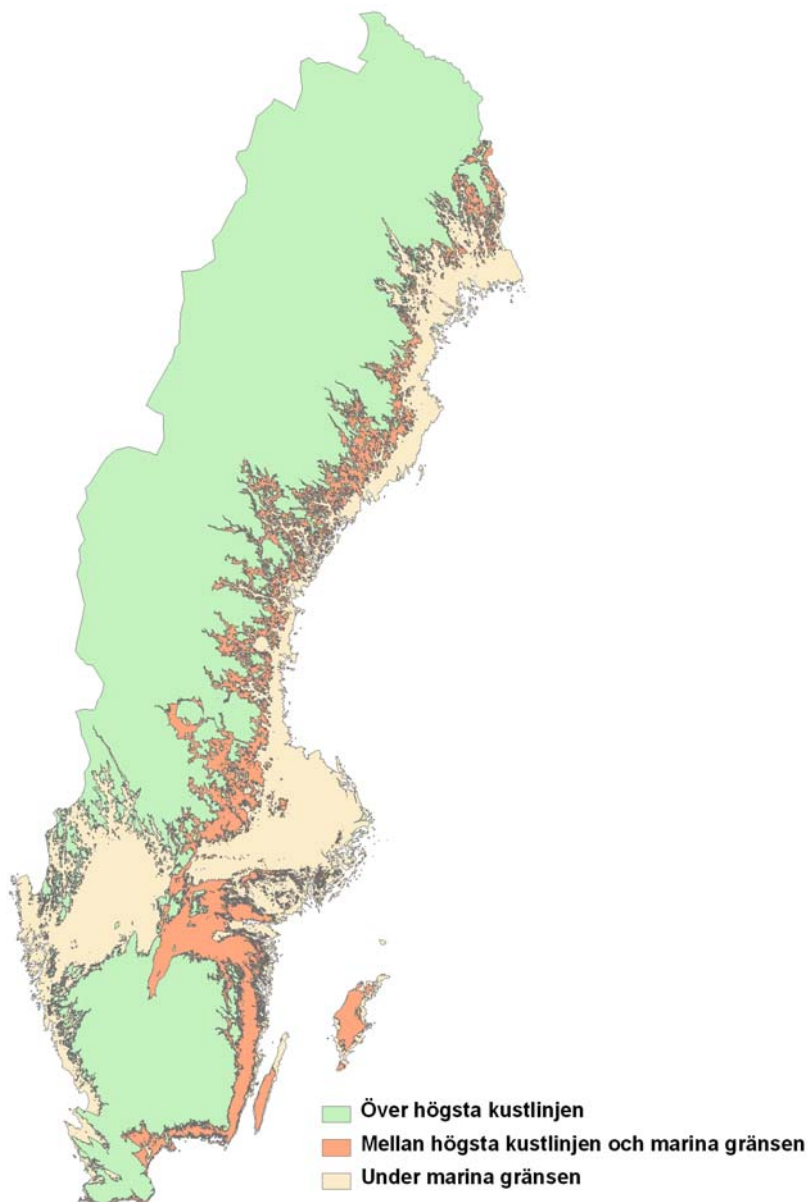
Identifiering av områden under Marina Gränsen

Begreppen Marina gränsen och Högsta kustlinjen har tidigare i en del sammanhang använts som synonymer. I detta arbete låter vi begreppet Marina gränsen enbart beteckna den högsta strandlinjen i ett område utbildad under ett marint skede. Nivåerna för HK och MG sammanfaller vid västkusten men MG kan ligga på en lägre nivå än HK utefter östkusten.

Områden som har täckts av salta hav efter senaste istiden avgränsades med en modell som väger samman effekten av landisen avsmältning, landhöjningen och havsyttnivåförändringar.

Området inom en ruta som definieras genom koordinaterna 1192000,6107000; 1925000,7677000; dvs Sverige med närmsta kringområden, utvaldes och havsstrandlinjen för åren 4000, 5000, 6000, 7000, 8000 och 8500 BP beräknades med den av Tore Påsse (SGU)

utvecklade numeriska modellen. På ostkusten har Östersjöns olika utvecklingsstadier ibland haft en förbindelse med Västerhavet och således haft salt eller bräckt vatten medan det under andra perioder varit en insjö med sött vatten. Maximala utbredningen av mark som täckts av salta hav beräknades genom att lägga samman de ytor som legat under hav vid de angivna åren. Den maximala havsnivån avgränsar således alla ytor som någon gång efter istiden legat under havsvatten. För Västerhavet där inga issjöar existerat efter istiden utnyttjades den interpolerade ytan för Högsta kustlinjen som tidigare tagits fram på SGU. Det resulterade gridet har vektoriserats med en weed tolerans på 60 m. I figur 1 visas även Högsta kustlinjen (HK).



Figur 1. Områden som har täckts av salta hav efter istiden (gula områden). I figuren visas även områden som legat under vattenytan under perioder med sött vatten i Östersjöns förstadier efter istiden (orange områden) respektive områden som ej varit täckta av vatten, lokala issjöar undantagna (gröna områden).

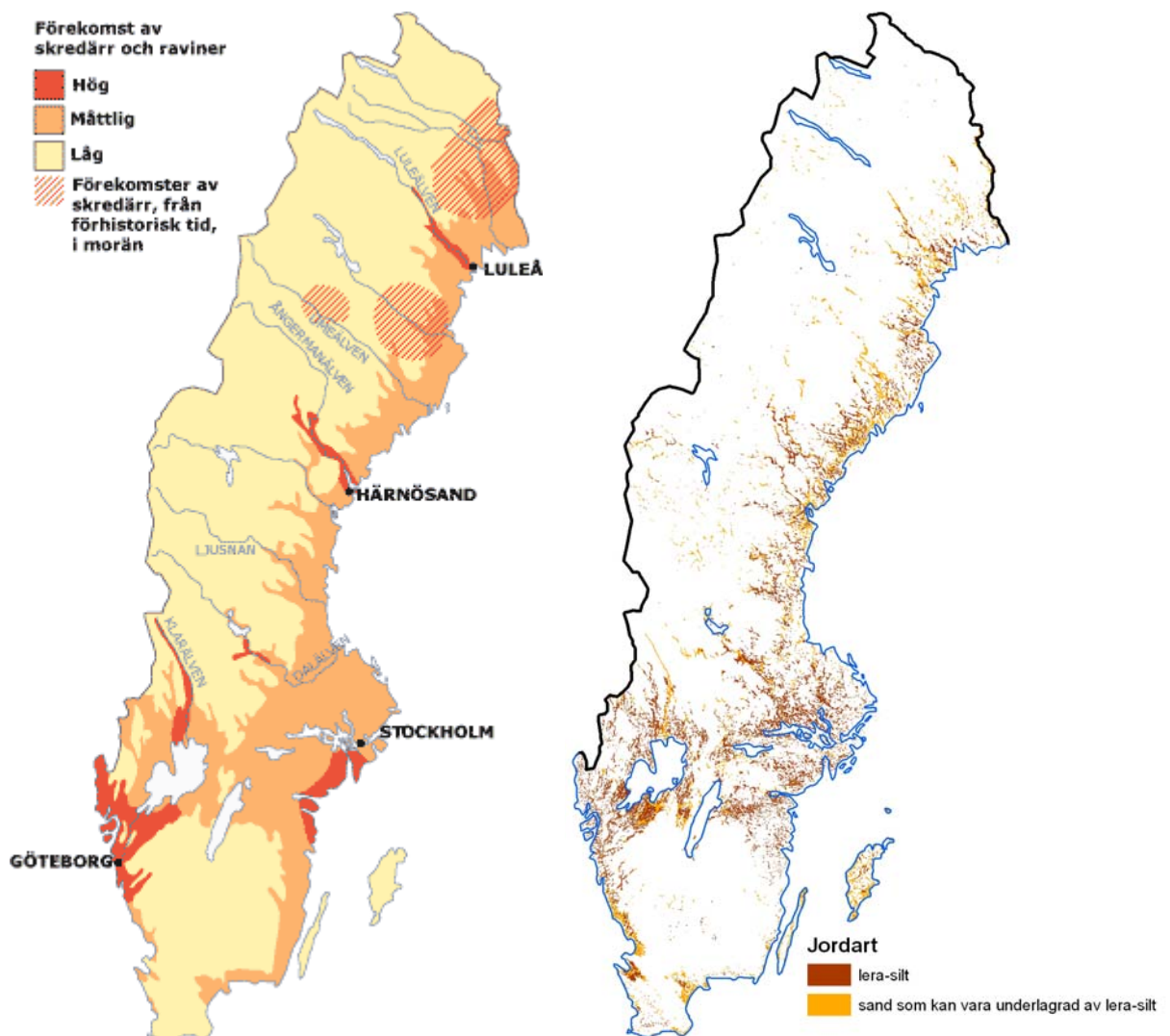
I områden under Marina gränsen finns ökad risk för saltvattenpåverkan, särskilt i djupa brunnar i låglänta områden. I figuren visas de områden som beräknas ligga över Högsta kustlinjen, mellan Högsta kustlinjen och Marina gränsen respektive under den Marina gränsen. Stora delar av Sveriges befolkning bor under HK och även under MG. Detta gäller även personer med egen vattenförsörjning. Av dem med egen vattenförsörjning vid permanentbostad kan ca 15 % beräknas bo i områden som ligger under HK men över MG (orange på kartan, figur 1) medan ca 55 % bor under MG (gula områden på kartan). De olika havsstadierna i Östersjöns historia var olika salta vilket medför att salthalterna i brunnar inte alltid blir lika höga. Detta kan tänkas gälla även i Västsverige där utflöde av sött vatten, t.ex. från Klarälven, kan ha sötat ut havsvattnet. Salt finns i olika utsträckning kvar i jordlager och berggrund, i många områden med grövre jordarter så har det mesta saltet sköljts ut ur åtminstone de övre delarna. Kartbilden bygger på en modellering. I vissa områden, t.ex. längs Smålandskusten, så finns ganska många brunnar med förhöjd salthalt även i området som beräknas ligga under HK men över MG, varför det kan ifrågasättas om MG-gränsen i detta område inte borde gå något längre västerut.

I områden i omedelbar närhet till nutida havsstränder kan även saltvatteninträngning direkt från havet förekomma. Av permanentboende med egen brunn beräknas ca 10 % bo inom 1 km från kusten; direkt saltvattenpåverkan berör främst brunnar inom något eller några hundratal meter ifrån strandkanten.

Identifiering av skredkänsliga områden

Viss mark, särskilt lermark som sluttar eller gränsar till vatten, är känslig för skred. Skred är exempel på snabba massrörelser i jord. Ett skred är i många fall en följd av en naturlig erosionsprocess men kan såväl påskyndas som förhindras genom mänskliga ingrepp. Skred kan inträffa utan förvarning. Om det finns hus, vägar eller järnvägar i eller nedanför skredområdet kan konsekvenserna bli mycket allvarliga. Vid skred kan en viktig utlösande faktor vara riklig nederbörden vilket lett till förhöjt portryck och nedsatt markstabilitet. Den byggda miljön kan också skadas genom att portrycket minskar vilket leder till att marken långsamt komprimeras, dvs att sättningar utbildas. Sättningar kan uppstå i finkorniga jordarter och kan initieras av sänkning av grundvattennivån.

Risk för skred förekommer främst i finkorniga jordar som i huvudsak är belägna under den Högsta kustlinjen (HK), dvs områden som varit täckta av vatten efter senaste istiden. Skredärr visar att även en del skred har förekommit i morän i förhistorisk tid. Omkring 5 % av Sveriges landyta utgörs av ler- och siltjordar. En fjärdedel av dessa, huvudsakligen lerjord, bedöms vara skredbenägna. Figur 2 visar regionala riskområden. En mer noggrann bedömning kan göras med hjälp av jordartskartor och topografisk information. Lera och silt är de jordarter som är mest skredkänsliga, och de bedöms dessutom vara erosionskänsliga. De är skredkänsliga även när de överlagras av sand (s.k. svallsand). SGU har tidigare i samarbete med SGI utvecklat en s.k. skredalgoritm där hänsyn tas till både jordart och marklutning (NAKASE 2001). Arbete fortgår med att förbättra algoritmen i ett internt forskningsprojekt på SGU. I denna rapport redovisas emellertid resultat som bygger enbart på jordartskartan. Ler- och siltområden kan även betraktas som sättningskänsliga. Detta gäller även om leran och silten överlagras av t.ex. sand eller fyllningsmaterial.



Figur 2. Bedömd *regional* risk för skred och förekomst av skredärr och raviner visas på den vänstra kartan. Risk för skred är störst i de rödmarkerade områdena, i de bruna områdena bedöms risken regionalt vara måttlig medan den bedöms vara låg i de gula områdena.

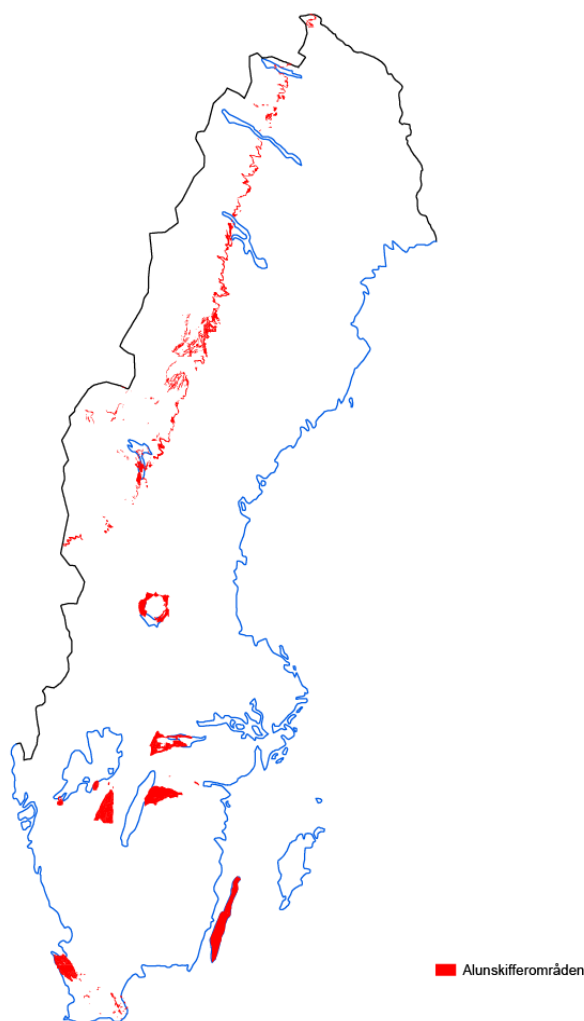
Inom dessa större regioner med förhöjd skredrisk berör skredrisken främst de delområden som är brunmarkerade på den högra kartan (ler- eller siltområden), i de fall svallmaterial, oftast sand (mörkgula områden på den högra kartan), underlagras av lera eller silt kan även dessa utgöra riskområden. De områden som markerats på den högra kartan kan också vara sättningskänsliga.

Identifiering av berggrundsområden med naturligt dålig vattenkvalitet

Det finns flera bergarter som p g a av sin kemiska sammansättning kan ge ett grundvatten av dålig kvalitet, t.ex. genom höga fluorid, radon eller metallhalter. I detta sammanhang har vi valt att uppmärksamma sedimentära berggrundsområden där alunskiffer ingår i lagerföljden. Alunskiffer ger genom sitt innehåll av svavel, metaller och organiskt material ofta mycket dåligt vatten. Brunnborrningar genom alunskiffer ökar risken att den dåliga vattenkvaliteten sprider sig till andra lager. Detta gäller både vattenbrunnar och energibrunnar. Alunskiffern i Närke, Öster- och Västergötland kan ge problem med vattenkvaliteten medan förhållandena i

Skåne är något oklara. Berggrunden i Siljansringen har stora variationer och problem med vattenkvaliteten kan förmodas uppstå lokalt. Sedimentbergarterna på Götalands ostkust (nära Kalmar) utgörs av Kambrisk sandsten som i huvudsak har bra vattenkvalitet. På Öland kan däremot problem uppkomma om alunskiffern som särskilt i de västra delarna ligger ytligt penetreras. På Gotland ligger alunskiffern alltför djupt (flera hundra m) för att ha betydelse för vanliga brunnar.

Ett underlag har tagits fram ur SGUs berggrundsdata-baser över områden där alunskiffer finns eller kan förmodas finnas inom ett djup som kan beröras vid "vanliga borrhjup", ca <200m (figur 3) .



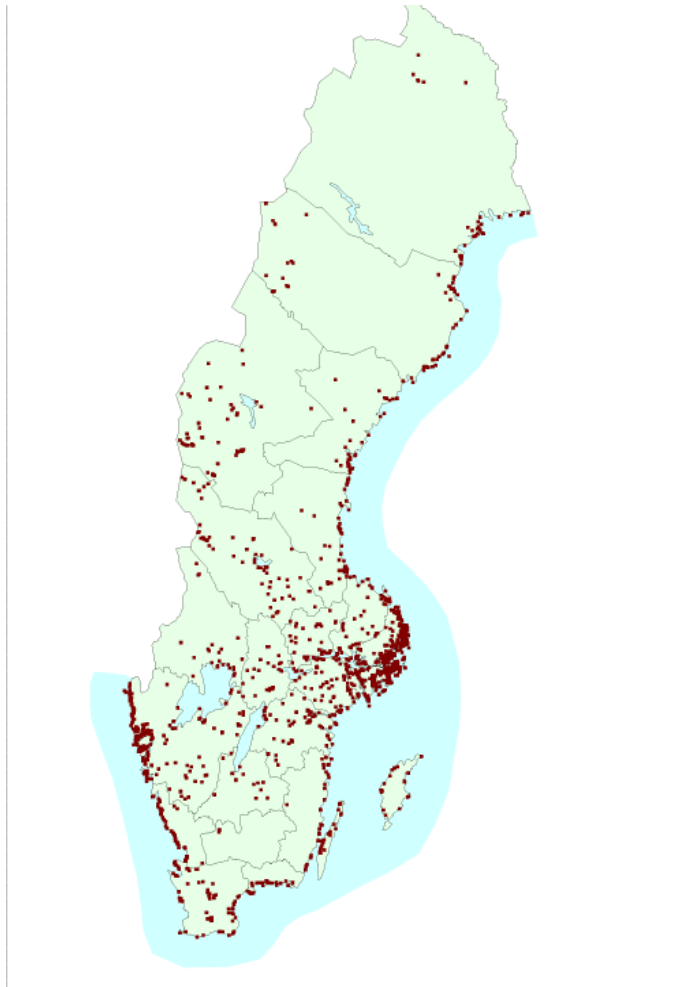
Figur 3. Områden med sedimentär berggrund där alunskiffer förekommer på djup som berörs av brunnsborringar ner till 200 m djup.

Identifiering av jordartsområden med naturligt dålig vattenkvalitet

Även jordarter kan ge dålig vattenkvalitet. I områden med sulfidjordar kan grundvattnet, men framförallt anslutande ytvattendrag, påverkas om grundvattennivåerna sänks. Oxidation av sulfider i jorden kan ge mycket låga pH-värden och höga sulfathalter i avrinningsvattnet, ofta i kombination med höga metallhalter. Sulfidjordar finns framförallt i områden med gyttjeleror och lergyttjor under Marina gränsen. I Norrland finns sulfidjordar (s.k. svartmockor) beskrivna under Littorinagränsen upp till ca 50 meters nivå men är mest framträdande i flacka kustområden. Att problemen är störst längst Norrlandskusten kan delvis bero på den snabba landhöjningen i detta område som frigör områden med sulfidhaltiga sediment.

Områden med risk för överuttag av grundvatten

Överuttag har främst uppmärksamrats i fritidshusområden i kustområden. I dessa områden är grundvattentillgången ofta begränsad p g a små vattenmagasin (Lång m.fl. 2006). Allt högre VA-standard i fritidshusområden och en övergång till permanentboende har på många håll ökat vattenuttagen vilket har lett till problem med vattenbrist och ofta även saltvatteninträngning. Det finns även andra områden med vattenbrist, t.ex. i delar av Sydsverige där stora bevattningsuttag görs. Det är svårt att få fram uppgifter om dessa uttag och därför redovisas enbart fritidshusområden. Fritidshusområdenas geografiska utbredning har hämtats från SCBs data från år 2000 (figur 4). I Sverige finns det enligt SCBs definition 1331 fritidshusområden; dvs. områden med minst 50 fritidshus och där avståndet mellan husen är högst 150 meter. Observera att alla dessa inte har problem med för stora vattenuttag. De kan t.ex. vara anslutna till kommunalt VA. Det kan också finnas tätbebyggda områden med permanentboende som bör beaktas.



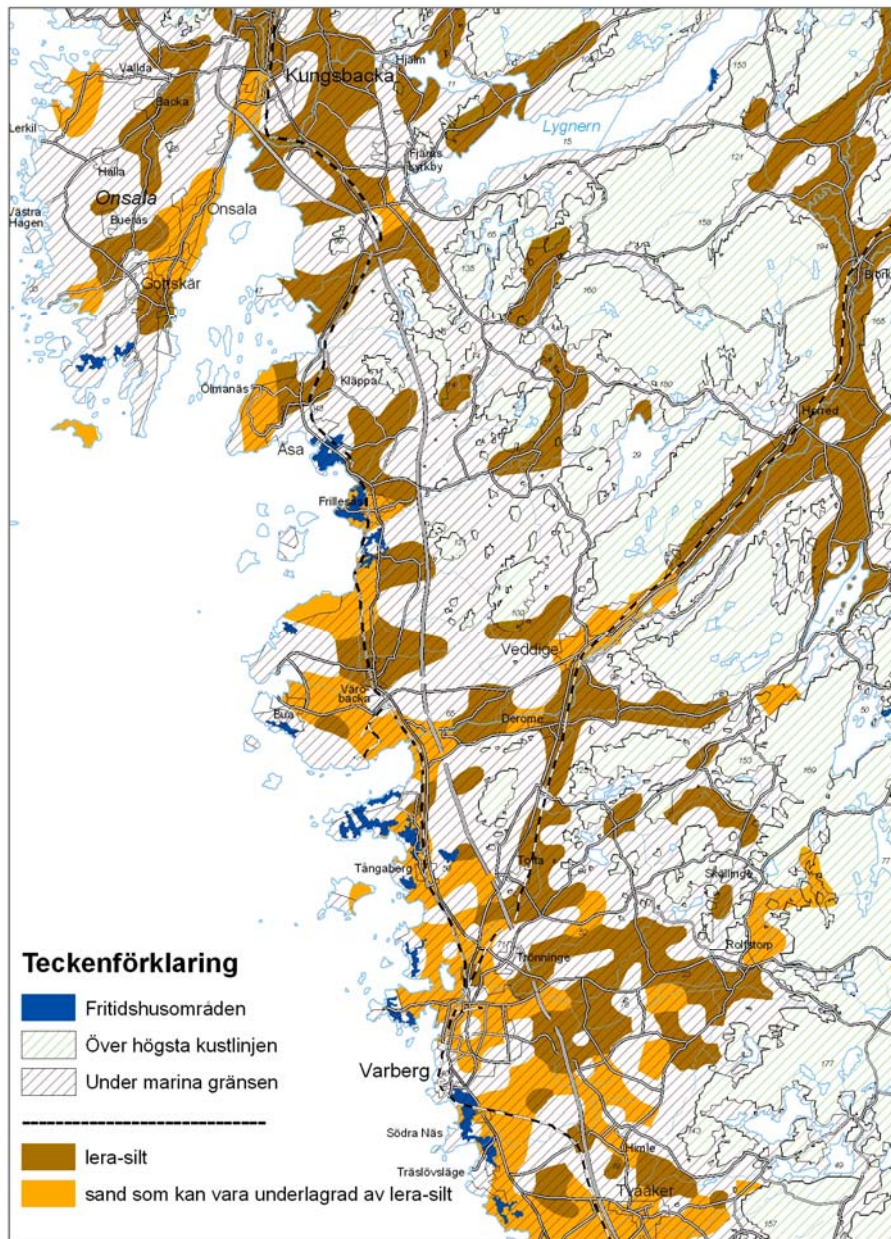
Figur 4. Fritidshusområden. Data från SCB.

Lokala riskkartor

För att kunna använda information om riskområden för att planera övervakning av grundvattennivåer och som underlag för beslut om undermarksarbeten behövs detaljerade kartor. SGU har tagit fram exempel på hur riskkartor som visar hur de utvalda riskfaktorerna kan sammanställas i lokal skala. Denna information kan ligga till grund för arbete med övervakning av grundvattennivåer inom en kommun. Kartan bör emellertid kompletteras med den kunskap som finns lokalt.

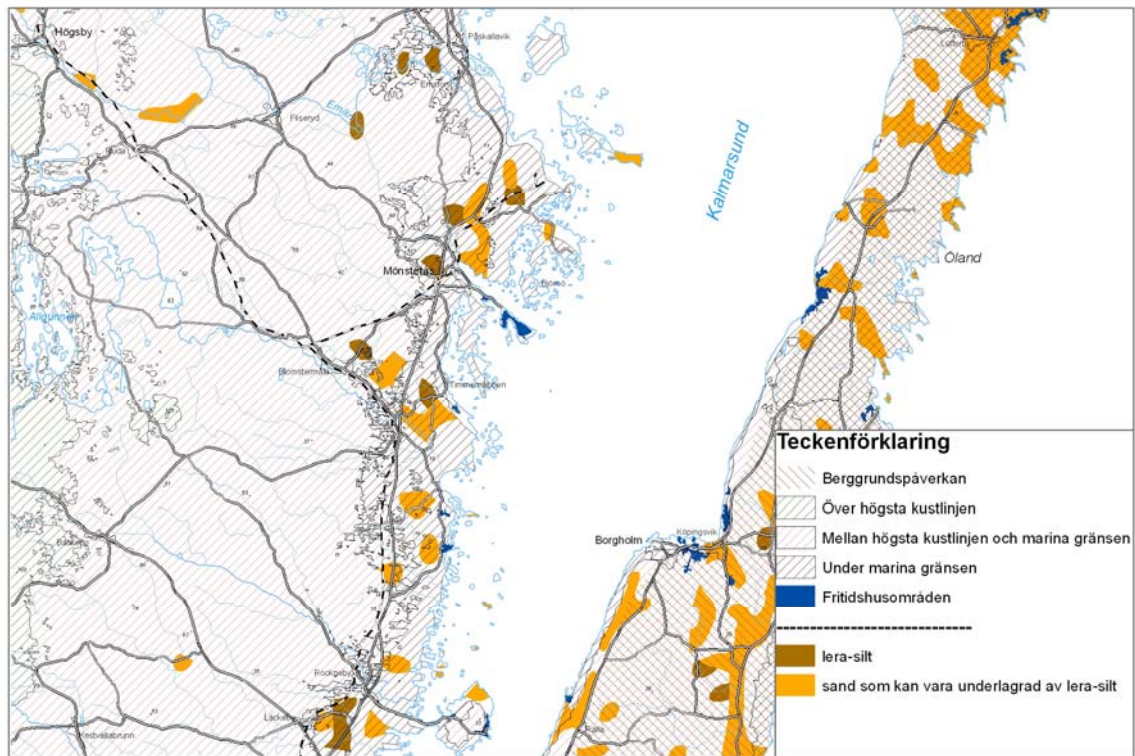
I figur 5 visas ett exempel på en karta för området söder om Kungsbacka ner till Varberg. I detta område ligger de västra delarna under den Marina gränsen med risk för saltvatteninträngning i brunnar. I detta område kan även stabilitetsproblem i områden med finkorniga jordarter förekomma. För att avgöra om risk för skred eller sättningar finns på en viss fastighet behöver emellertid fältbesiktning och eventuellt en mer detaljerad undersökning utföras.

Längs kusten finns en rad fritidshusområden och även områden med permanentbebyggelse. Om dessa inte har tillgång till kommunalt VA så kan problem med överuttag och saltvatteninträngning uppstå. Detta är ett exempel på när den information som finns samlad på kommunen behövs för att göra en riktig bedömning av risken för överuttag och problem med saltvatteninträngning vid kusten.



Figur 5. Exempel på en lokal riskkarta där förändringar i grundvattennivå kan få negativa konsekvenser.

I ett andra exempel visas ett område kring Kalmarsund (figur 6). I detta område så har på fastlandet endast kusten legat under salta hav. Det är dock möjligt att gränsen skulle gå lite mer västerut. Delar av Öland ligger emellertid också under den Marina gränsen. Längs Kalmarsund finns några fritidshusområden där problem med vattenförsörjningen skulle kunna förekomma. I denna sammanställning av kartskikt har hela Öland tagits med som riskområde för dålig vattenkvalitet pga alunskeer. Det finns inom kommunerna på Öland en bättre kunskap om i vilka områden och på vilka djup kvalitetsproblem brukar uppträda. På kommunerna finns också kunskap om eventuella problem med vattenförsörjning i fritidshusområden och andra tätorter.

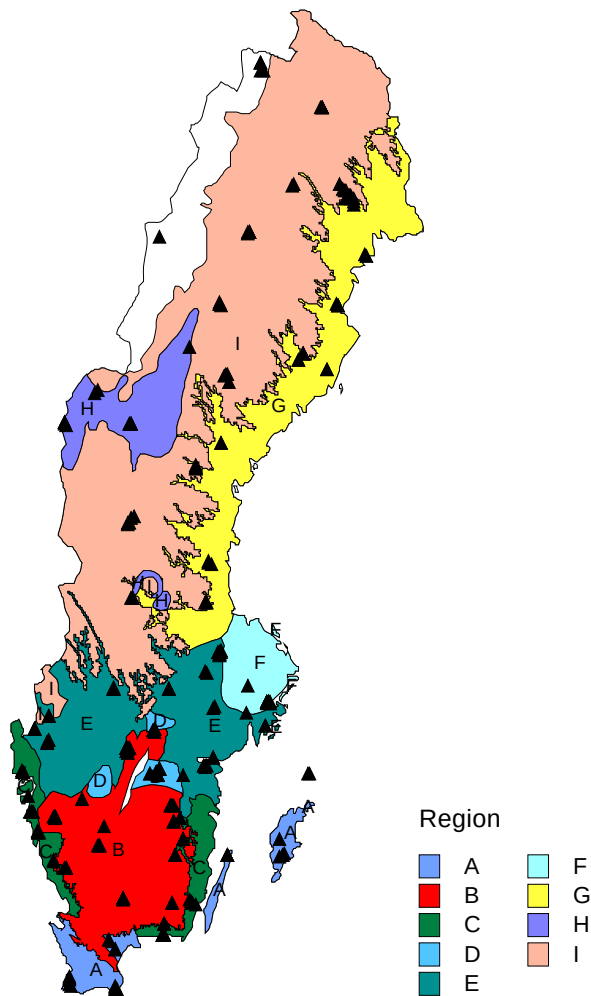


Figur 6. Exempel på en lokal riskkarta där förändringar i grundvattennivå kan få negativa konsekvenser.

SGUs referensstationer – Resultat från grundvattennätet

Grundvattennätet omfattar stationer i hela landet. Det ursprungliga syftet med SGUs grundvattennät var att studera tidsmässiga variationer i grundvattnets mängd och beskaffenhet, i förhållande till geologi, topografi och klimat, för referensändamål, prognoser, miljökontroll och resursberäkningar. Grundvattennätet startade i slutet av 1960-talet. I grundvattennätet ingår ca 330 stationer (vanligen grundvattenrör) för nivåmätningar två gånger i månaden. Stationer är grupperade inom ca 70 områden i Sverige (figur 7). Kontinuerliga mätningar pågår vid 3 stationer.

För att kunna användas som referens bör stationen inte vara påverkad av vattenuttag eller annan påverkan av betydelse. Idealt bör man i god tid innan starten av en verksamhet som kan befaras påverka grundvattenförhållandena etablera en grundvattenövervakning som kan knytas till referensstationer, antingen befintliga (t.ex. SGUs) eller särskilt inrättade. När man väljer ut en station som ska användas som referens så är det viktigt att beakta egenskaperna hos grundvattenmagasinet vid referensstationen i jämförelse med det grundvattenmagasin som kan påverkas. Helst bör också referensstationen ligga i närheten av det grundvattenmagasin man är intresserad av så att de meteorologiska förhållandena överensstämmer.



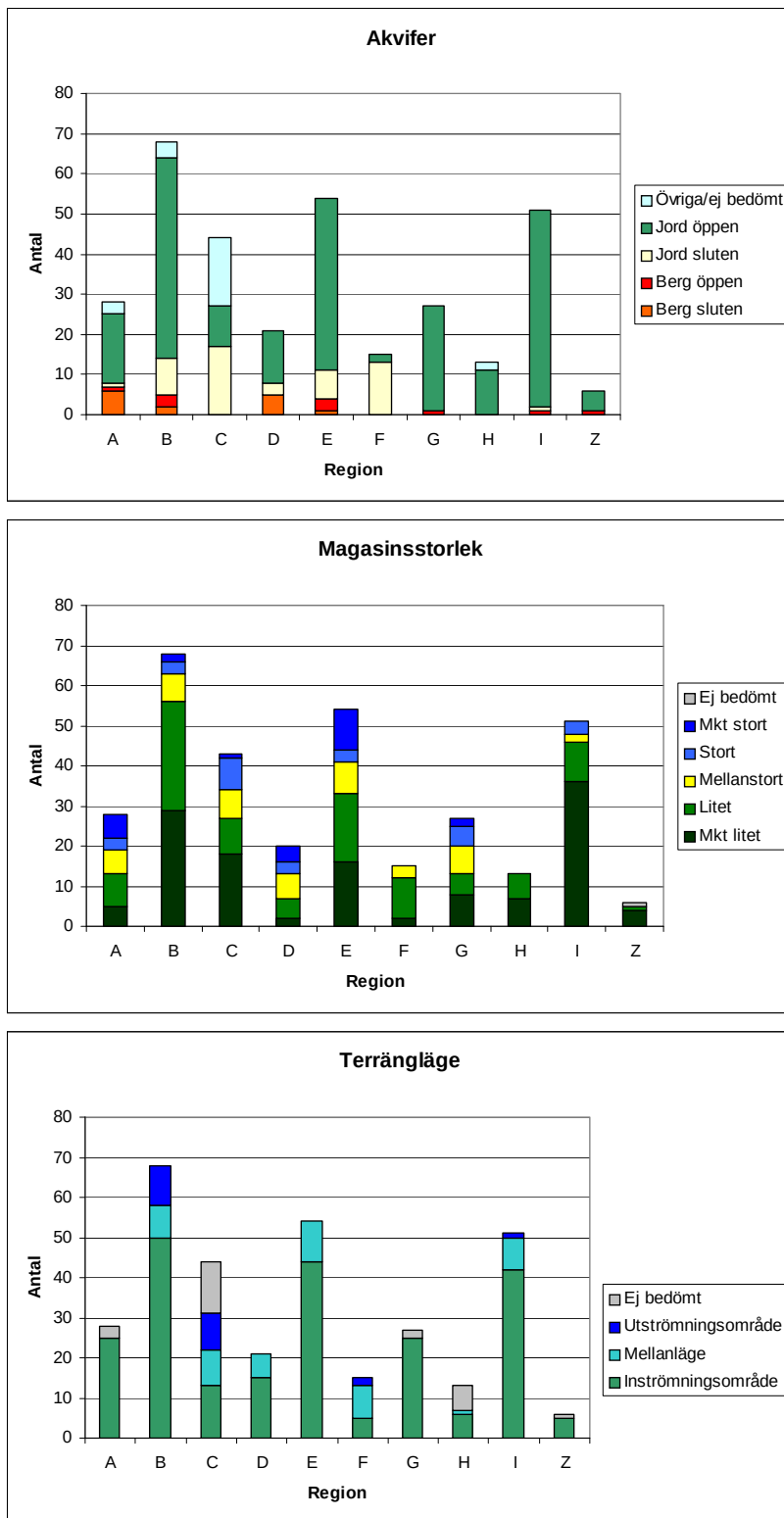
Figur 7. Stationer i SGUs grundvattennät. Regionindelningen enligt Bedömningsgrunder för Grundvatten. (Naturvårdsverket 1999).

Karakterisering av stationer

Stationerna i grundvattennätet representerar olika typer av akviferer, magasinstorlekar och terränglägen vilket visas i figur 8. Akviferer delas här in i berg respektive i jord och efter om de är öppna eller slutna. Slutna akviferer är täckta av ett tätt lager, oftast mäktiga lerlager, vilket innebär att grundvattnet inte står i direktkontakt med atmosfären. Under sådana förhållanden kan grundvattnet vara artesiskt, dvs att grundvattnets tryckyta står över markytan. Av figuren framgår att grundvattennivåerna i berggrunden mäts på ganska få ställen. De flesta av stationerna representerar öppna förhållanden.

De flesta grundvattenmagasin som övervakas bedöms vara små eller mycket små. I Sverige är de flesta akviferer ganska små och det innebär att övervakningen vad avser magasinstorlek förmodligen är relativt representativ.

Indelning efter terrängläge avser att visa om stationen bedöms ligga i ett inströmningsområde, dvs. ett område där grundvatten bildas eller i ett utströmningsområde där grundvattenströmningen är uppåtriktad och grundvattenytan ligger nära markytan.



Figur 8. Indelning av Grundvattennätets stationer efter akviferstyp, magasinstorlek och terrängläge i de olika regionerna. För regionindelning se figur 8.

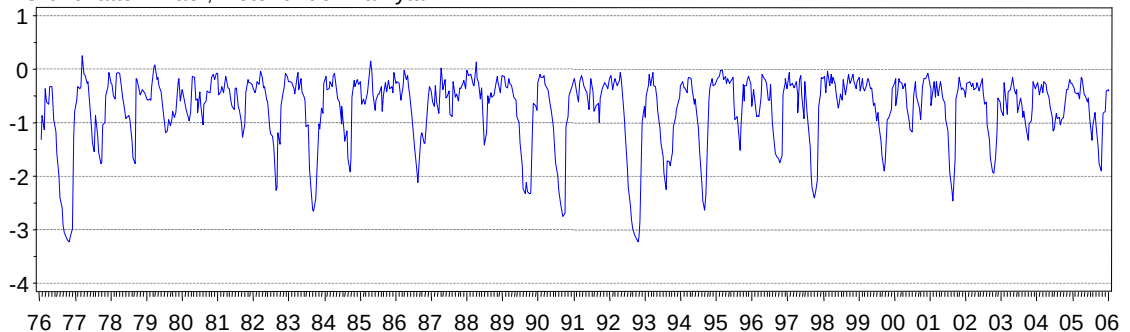
De flesta av mätpunkterna är belägna i inströmningsområden medan ett mindre antal bedöms vara belägna i mellanlägen i sluttningar. I mellanlägen kan nederbörd efter perioder med torka när grundvattennivån är låg infiltrera och bilda grundvatten. Under andra, blötare perioder, så

närmar sig grundvattenytan markytan och grundvatten kan tränga fram. Det finns även i några regioner stationer i utströmningsområden där grundvattennivån mer stadigvarande ligger nära markytans nivå och grundvattnets huvudsakliga strömningsriktning är uppåtriktad.

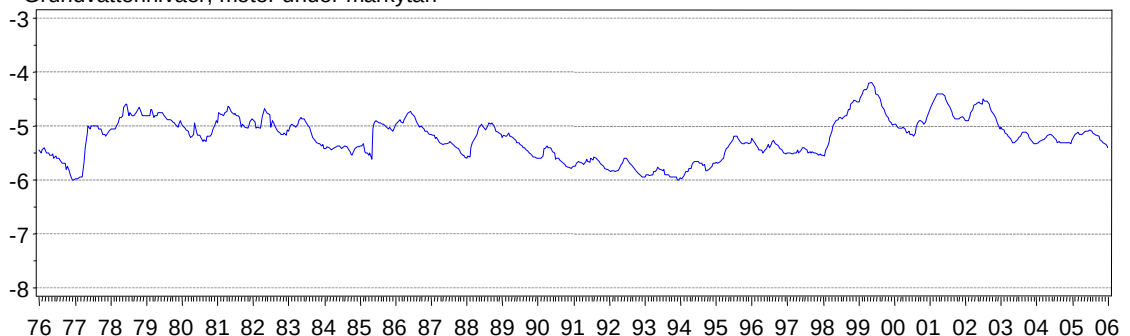
Magasinsstorlekens betydelse

Grundvattennivåns variation med tiden beror förutom på nederbörd och avdunstning även på jordlagrens magasinstorlek, hydrauliska konduktivitet och porositet samt på läget i terrängen. I morän som har låg effektiv porositet kan nivåerna variera flera meter under året medan sand och grusåsar med hög porositet har mer dämpade variationer under året. Sand- och grusåsar kan dock ha stora flerårsvariationer. I stora magasin med genomsläppliga jordarter brukar nivåerna vara djupare under markytan jämfört med små magasin. I figur 9 visas som exempel grundvattennivåvariationerna i ett litet magasin i morän (station 60:46). På denna lokal stiger grundvattnet under vinterhalvåret ofta upp i markytan medan den efter sommaren kan sjunka till 2–3 meters djup. Magasinet är inte påverkat av grundvattenuttag ur brunnar utan detta avspeglar den naturliga variationen. Vid den närbelägna stationen 60:32 som representerar ett större, djupare beläget grundvattenmagasin i en åsaksfifer är variationerna under ett år betydligt mindre. Däremot så kan perioder med liten grundvattenbildning under flera år ge sänkta grundvattennivåer.

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



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

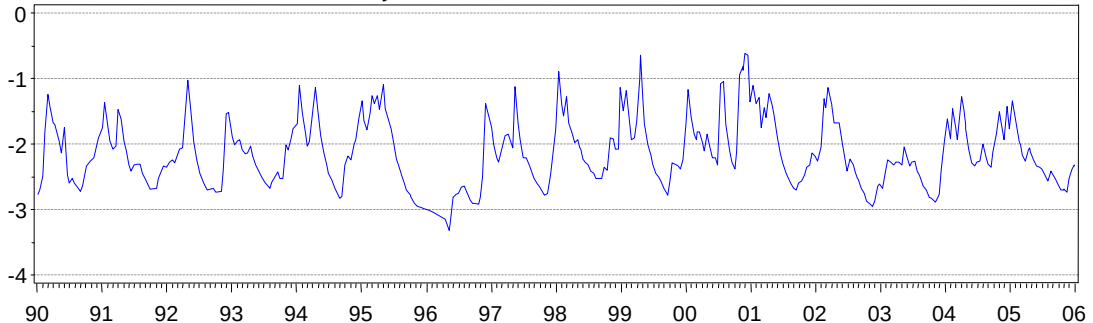


Figur 9. Grundvattennivåer under perioden 1976-2005 i ett litet magasin (övre) och ett stort magasin (undre).

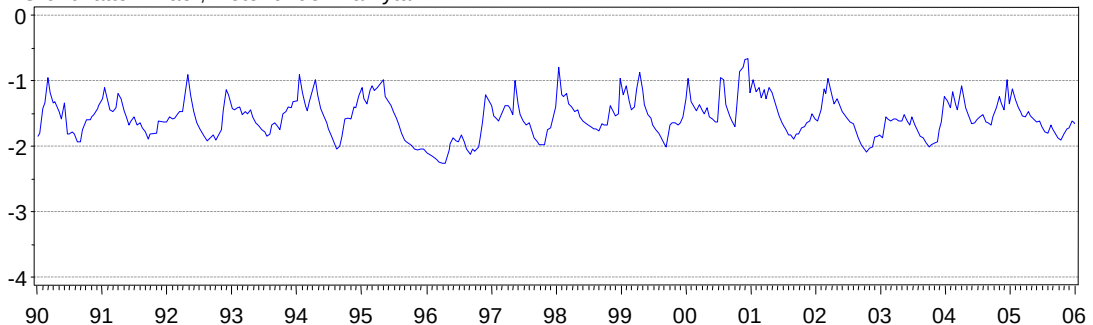
Terränglägets betydelse

Grundvattennivån beror även av topografin. Nivåsvängningarna brukar i allmänhet vara mer dämpade i låga terränglägen samtidigt som grundvattenytan brukar närma sig markytan. I figur 10 visas exempel på en station (89:5) inom ett inströmningsområde högt beläget vid vattendelare. Vid denna station är de årliga variationerna stora och under mätperioden så är skillnaden mellan lägsta respektive högsta uppmätta nivå drygt 2 meter. Stationen 89:2 ligger längre ned i terrängen och variationen är på denna plats betydligt mindre, omkring 1 meter, och grundvattennivån ligger generellt sett närmre markytan än vid den högre belägna stationen.

SGU, Grundvattennätet, Grimsö, station 89:5
Grundvattennivåer, meter under markytan



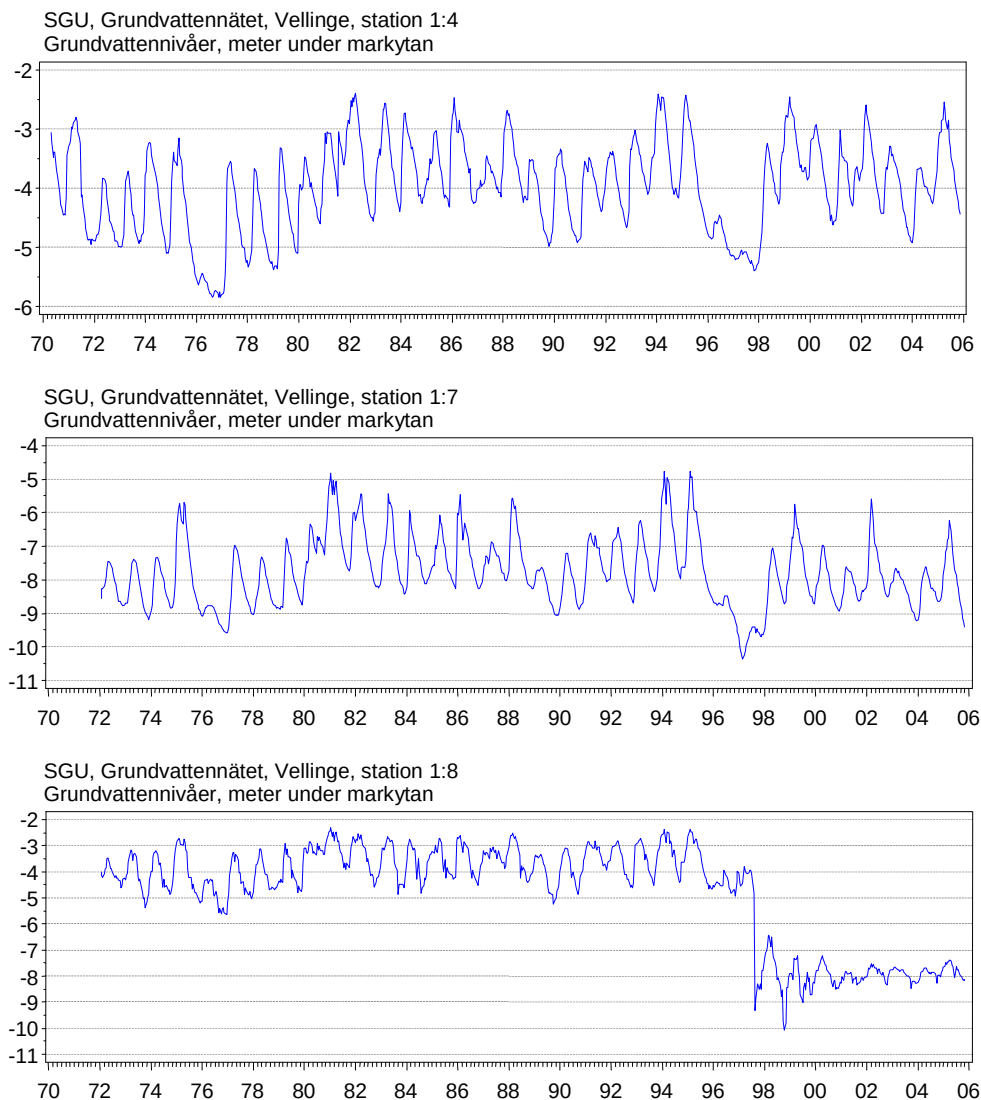
SGU, Grundvattennätet, Grimsö, station 89:2
Grundvattennivåer, meter under markytan



Figur 10. Grundvattennivåns beroende på topografiskt läge

Mänsklig påverkan

Avvikelser från naturliga variationsmönster, t.ex. genom någon form av ingrepp, kan studeras genom att på olika sätt jämföra med referensmaterial, dvs. data från opåverkade mätstationer. Ett exempel ges i figur 11 där station 1:4 uppvisar relativt stora naturliga fluktuationer i grundvattennivå. Vid station 1:8 är den årliga variationen också utpräglad men mönstret bryts kring 1996 varefter grundvattennivåerna ställer in sig på en betydligt lägre nivå. Denna förändring har antagits bero på grundvattenpumpning vid en trafikplats. Utvecklingen i station 1:7 är inte lika tydlig men det är eventuellt möjligt att den låga nivån under 1996 visar på en kortvarig effekt av pumpningen. I detta fall kan station 1:4 som inte påverkats av pumpningen användas som referensstation. Att station 1:8 påverkats av någon extern faktor är ganska uppenbart. En mer noggrann jämförelse mellan 1:4 och 1:7 skulle kunna visa om även 1:7 är påverkad av pumpningen.

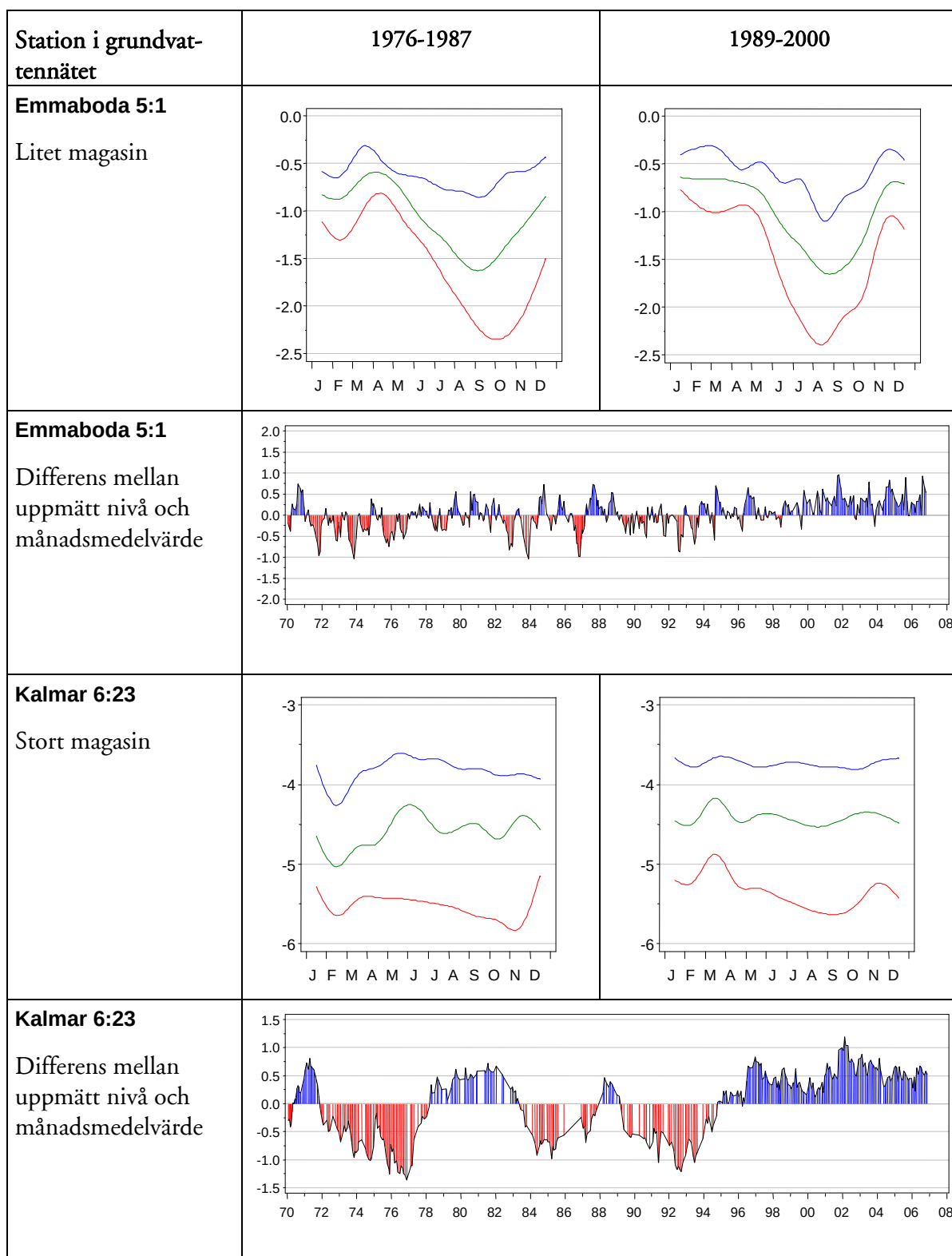


Figur 11. Grundvattennivåns variationer vid Grundvattennätets stationer i Vellinge.

Klimatförändringar

I sydöstra delen av landet tyder klimatprognoserna på minskad nettonederbörd. I detta område är det redan idag vanligt med vattenbrist vid torrsomrar. För att belysa klimatförändringarnas betydelse för grundvattnets nivåregimer jämförs perioderna 1976–1987 och 1989–2000 (station Emmaboda 5:1). Perioden 1989–2000 var i allmänhet varmare och regimen skiljer sig tydligt från perioden 1976–1987. Perioden 1989–2000 uppvisar en mer utjämnad nivåvariation med högre nivåer under vinterhalvåret i södra och mellersta delen av landet vilket beror på mildare vintrar och minskad snösmältning under perioden mars–april. Under den senare delen av sommaren blir nivåerna lägre under perioden 1989–2000 vilket innebär att grundvattentillgången i ett framtida klimat för de flesta enskilda brunnar blir sämre under den mest kritiska delen av året (figur 12).

De stora grundvattenmagasinen har ett annat variationsmönster med betydande flerårsvariationer och mycket liten årsregim (station Kalmar 6:23). De långsamma variationerna pekar på de stora grundvattenförekomsternas användbarhet för att studera klimatförändringar.

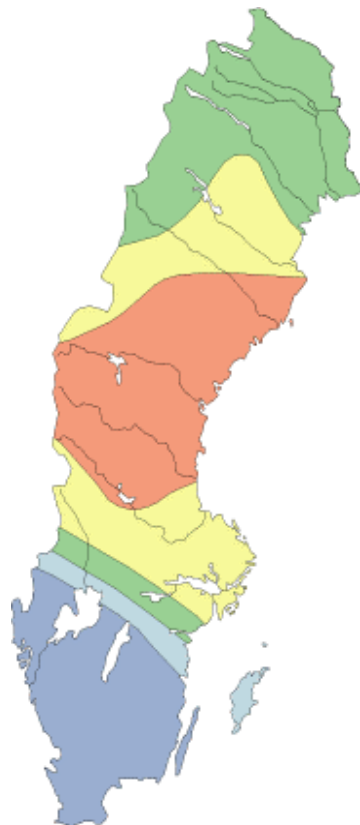


Figur 12. Grundvattennivåns årsregim i två grundvattenmagasin i SGUs Grundvattennät för perioderna 1976–1987 och 1989–2000. I figurerna visas månadsvärden för medel (grön), max (blå) och min (röd) nivå för respektive period. Dessutom visas grundvattennivåns avvikelse från månadsmedelvärdena 1970–2007 för respektive station. Värdet noll representerar månadsmedelvärdet för perioden 1970–2007.

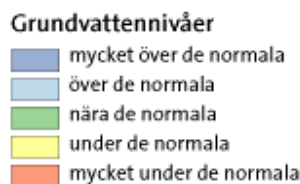
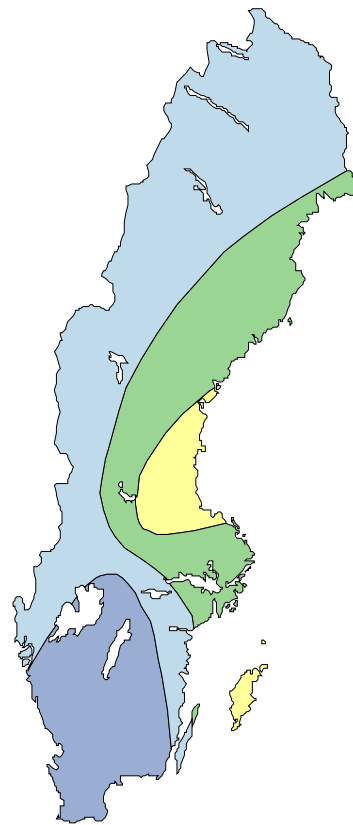
SGUs månadskarta

Varje månad publicerar SGU en sammanställning över den aktuella grundvattensituationen i landet. I kartform visas hur grundvattennivåerna förhåller sig till vad som är normalt för årstiden (figur 13). Kartorna bygger på Grundvattennätets nivåobservationer i små respektive stora grundvattenmagasin.

Små grundvattenmagasin juli 2007



Stora grundvattenmagasin juli 2007



Figur 13. Exempel på SGUs månadskarta för små respektive stora grundvattenmagasin, juli 2007.

Till kartan för de små magasinerna hör en beskrivande text. I juli 2007 så lydde den:

Grundvattennivåerna har till följd av stora nederbördsmängder i södra delen av landet stigit med ungefär en halv meter vilket är ovanligt vid den här tiden på året. I Svealand och Norrland har nivåerna sjunkit med 10–40 cm vilket är tämligen normalt. I Götaland är nivåerna mycket över de normala för årstiden. I större delen av Svealand och övre Norrland är nivåerna normala eller under de normala. I södra Norrland är de mycket under de normala. Grundvattensituationen med mycket höga nivåer i landets södra

delar och mycket låga nivåer de mellersta delarna är tämligen ovanlig. I de områden som har låga eller mycket låga grundvattennivåer kan brunnägare få problem med vattentillgången, särskilt i grunda grävda brunnar. I bergborrade brunnar ökar även risken för höga salthalter när nivåerna är låga, främst i kustnära områden.

Om man jämför månadskartorna för små och stora grundvattenmagasin är det vanligt att de ger ganska olika bilder över grundvattensituationen. I exemplet från juli 2007 är det t.ex. tydligt att de torra förhållandena i södra Norrland inte nämnvärt påverkat de stora grundvattenmagasinen medan i de mindre är grundvattennivåerna mycket under de normala för årstiden.

Utformning av grundvattennivåövervakning

Grundvattennivåer bör övervakas i de riskområden som identifierats, dvs. områden med risk för saltvatteninträngning, områden med risk för sättningar, områden med stor andel fritidsboende och skred samt sedimentära bergarter som kan ge kvalitetsproblem (t.ex. alunskiffer). Områden med grundvattenförekomster som är av betydelse för vattenförsörjningen bör övervakas för att säkra att inte uttagen överstiger nybildningen av grundvatten. Därtill kommer den övervakning som kan behöva utföras i områden där förändrade grundvattenförhållanden kan få en negativ effekt på anslutande ekosystem. Det bör observeras att såväl sänkta som höjda grundvattennivåer kan förorsaka problem.

Övervakning av grundvattennivåer som kan användas som referens bör representera samtliga förekommande geologiska formationer. För att kunna tjäna som referens till övervakning som utförs för att följa upp påverkan på grundvattennivåer av uttag eller andra aktiviteter bör referensstationerna idealt finnas i områden som i så hög grad som möjligt liknar de områden som påverkas utan att själva vara påverkade. Med detta menas att de bör ha ett liknande variationsmönster som grundvattennivåerna i det påverkade området innan påverkan startade. Det kan vara svårt att hitta punkter där detta är uppfyllt. Det kan också visa sig att referensstationer i själva verket också påverkade av den aktuella verksamheten, att den påverkas av en annan störningsfaktor eller helt enkelt att stationen faller bort av någon orsak. Det är därför ofta nödvändigt att ha flera referensstationer.

Grundvattennätet har idag en tämligen jämn fördelning över landet av mätstationer. Opåverkade områden i morän är väl representerade medan antalet stationer i stora grundvattenförekomster är betydligt lägre. Nätet har alltför svag täckningsgrad avseende bergborrade brunnar i allmänhet, särskilt i områden med risk för saltvatteninträngning, tät fritidsbebyggelse och områden med sedimentär berggrund. Justeringar i Grundvattennätets stationsnät är på gång för att bättre kunna motsvara behovet av referensstationer i dessa områden och för att kunna utgöra en del av vattenförvaltningens övervakningsnät.

Grundvattennivåer i jordlager mäts vanligen i öppna grundvattenrör. I finkorniga jordar är det oftast lämpligt att använda rör med filterspets för att mäta grundvattentrycket. För finkorniga jordarter bör man överväga om porttrycksmätningar bör utföras. SGI och Vägverket har gett ut en handbok med råd om hur grundvattennivå- respektive porttrycksmätningar bör planeras och utföras (Tremblay 1990).

Vare sig nya grundvattenrör sätts eller om befintliga rör används för mätningarna bör rörens funktion kontrolleras. SGU har valt att använda flera observationsrör (stationer) i ett område.

Detta ger möjlighet att studera lokala variationer i grundvattenmagasinets respons på nederbörd samt identifiera om ett rör inte reagerar på ett representativt sätt.

I de fall grundvattennivåerna mäts i närheten av ett större grundvattenuttag (t.ex. vattentäkt) bör man vara på det klara med att variationer i vattenuttag snabbt kan återspegla sig i förändringar i grundvattennivåer i närområdet. Detta innebär att relativt täta mätningar (eventuellt kontinuerliga) och information om vattenuttagets storlek kan behövas för att tolka resultaten. Om inte information på denna högupplösta nivå behövs är det bättre att etablera mätstationer på ett större avstånd från vattenuttaget. Grundvattenrör kan vara öppna i hela sin längd under grundvattenytan eller endast i en eller flera sektioner. Vilket som är bäst beror på syftet med mätningarna. I de fall flera avgränsade grundvattenmagasin finns bör grundvattenröret vara öppet endast i det magasin man vill undersöka. Det bör i så fall genom tätning säkerställas att det är god kontakt mellan röret och omkringliggande jordlager så att vatten inte snabbt kan rinna längsmed utsidan på röret. Grundvattenröret bör helst täcka in såväl de lägsta som de högsta grundvattennivåerna på platsen, dvs. det bör vara tillräckligt djupt men även sticka upp tillräckligt långt över markytan ifall artesiska förhållanden uppstår.

Mätningar av grundvattennivåer i sprickigt berg är förknippat med särskilda svårigheter. När man mäter grundvattennivån i ett öppet borrhål kan flera sprickor bidra till resultatet. Sektioner av borrhålet kan stängas av med manschetter för att det grundvattentryck som finns i olika sprickor ska kunna mätas.

Hur ofta mätningen bör ske beror på grundvattenförekomstens respons på variationer i grundvattenbildning i kombination med behov och syfte med övervakningsprogrammet. I snabbreagerande grundvattenförekomster (t.ex. i morän och berggrund) brukar lämpligt tidsintervall mellan mätningar variera mellan några dagar till några veckor. I långsamreagerande grundvattenförekomster brukar lämpliga tidsintervall för observationer variera mellan några veckor till några månader. I SGUs föreskrifter (SGU-FS 2006:2) för övervakning av grundvatten enligt vattenförvaltningsförordningens krav anges att mätfrekvensen i pormagasin minst ska vara 1 gång per månad och i sprickmagasin minst 2 gånger per månad.

Sammanfattande diskussion

Sveriges hydrogeologiska situation där många små grundvattenmagasin dominerar och påverkan på grundvattennivåer av verksamheter oftast endast berör små områden medför att det är svårt att utforma en relevant indikator för att följa upp delmålet *Grundvattennivåer* på nationell nivå. Uppföljning av påverkan på grundvattennivåer bör främst utföras av verksamhetsutövare och kommuner. Länsstyrelser och vattenmyndigheter har ett ansvar att för känsliga objekt och grundvattenförekomster samla ihop information och ibland även utföra eller initiera övervakning och vid behov upprätta åtgärdsprogram för att säkerställa att inte otillfredsställande kvantitativ status uppstår. Länsstyrelsen i Stockholm har tagit fram förslag på nio olika indikatorer som skulle kunna användas för regional uppföljning av påverkan på grundvattennivåer (Länsstyrelsen i Stockholms län, 2006). SGU har också tidigare presenterat indikatorförslag för kustområden (Lång m.fl. 2006).

I detta projekt har riskområden där kvantitativ övervakning bör ha hög prioritet identifierats. Resultaten från denna rapport kan utgöra ett stöd för upplägg av kvantitativ övervakning enligt SGUs föreskrifter (SGU-FS 2006:2). Rapporten ska också kunna användas som stöd för

uppläggning av regional miljöövervakning där specifika problem för länet/vattendistriktet kan beaktas.

Inom verksamheter för allmän vattenförsörjning finns ett behov av kvantitativ övervakning av grundvatten för referensändamål. SGUs grundvattennät kan till stor del användas för detta syfte men täcker inte alla behov och alla områden av landet. Konkreta behov av att bättre övervaka och prognostisera grundvattennivåer uppstår vid tillståndsgivning för bland annat grundvattenuttag samt vid identifiering av områden med risk för saltvatteninträngning. Möjligheterna att utöka SGUs nivåövervakning i bergborrade brunnar under MG i kustnära och tätbebyggda områden utreds för närvarande. Behovet av utökad kvantitativ övervakning i stora grundvattenmagasin har även noterats i SGUs utvecklingsplan (Post08).

Även om Grundvattennätet utvecklas för att ge en bättre representation av vissa grundvattenmiljöer så kommer det inte att kunna tillgodose behovet av referensserier för alla behov. En bättre tidsmässig upplösning, men även en bättre geografisk upplösning med hänsyn taget till de olika grundvattenmagasinens egenskaper behövs. Luckor mellan mätningarna vid stationer utan kontinuerlig nivåregistrering skulle delvis kunna fyllas genom att utveckla rutinmässig modellering av grundvattennivåer utifrån meteorologiska data. Detta skulle kunna bygga på den metod som utvecklades av Johnson (1993) och de modelleringar av grundvattenbildningens storlek i olika typjordar som nyligen genomförts (Rodhe m.fl. 2006). Genom att utarbeta rutiner för modellering av grundvattennivåer i främst större grundvattenmagasin skulle SGU kunna bidra med utökad och förbättrad övervakning av grundvattennivåer enligt gällande föreskrifter. SGU skulle även kunna ta fram ett verktyg för att prognostisera grundvattennivåer vid förändrat klimat, ändrade uttag eller vid andra förändringar i vattenbalansen.

Det är svårt att utnyttja modellering för att få en bättre areell täckning, framförallt för små grundvattenmagasin. Att förbättra kunskapen om hur olika typer av grundvattenmagasin reagerar på t.ex. nederbörd ger emellertid möjlighet att utnyttja meteorologiska data från SMHI för att få en mer detaljerad bild över grundvattensituationen.

I urbana områden kan effekterna av grundvattennivåförändringar bli stora genom påverkan på byggnader, ledningar och andra anläggningar. Vid undermarksbyggande bör därför grundvattennivåförändringar nogt följars upp. Det kan dock vara svårt att använda SGUs mätningar som representerar naturmiljöer som referens eller t o m att finna bra punkter i stadsmiljön för att etablera nya referensstationer. Grundvattennivåerna i urbant påverkade områden uppvisar ofta komplexa variationsmönster som beror på en rad faktorer. Även stationer som är nära varandra kan uppvisa stora skillnader i fluktuationer (Lundmark 2001).

Att följa upp nivåförändringar som kan innebära påverkan på anslutande ekosystem erbjuder särskilda utmaningar. Grundvattenflödets storlek liksom frekvensen av höga respektive låga grundvattennivåer kan vara betydelsefulla. Försök att använda indikatororganismer har gjorts. Ett exempel är studier av bottenfaunans respektive kärlväxters och mossors nivå- och flödesberoende i källor som länsstyrelsen i Gävleborgs län initierat (Stiftelsen Norrtäljes Naturvårdsfond 2007 respektive Hoffsten 2007).

Referenser

- Hoffsten, P-O 2007. Evertbratfaunan i kallkällor som indikator på stabila grundvattennivåer. Rapport Pelagia Miljökonsult AB
- Johnson, J. 1993. Utveckling av metodik för simulering och prognos av grundvattennivåer. Delrapport av SGU-finansierat internt FoU-projekt 1992/93
- Lundmark, A. 2001. Analys av grundvattennivåer vid undermarksbyggande i urban miljö. Examensarbete. Institutionen för Mark- och Vattenteknik, KTH
- Lång, L-O, Olofsson, B., Mellqvist, E., Ojala, L., Maxe, L. & Thorsbrink, M. 2006. Miljömålsuppföljning av grundvattnet i kustområden – statusbeskrivning och diskussionsunderlag. SGU-rapport 2006:24
- Länsstyrelsen i Stockholm, 2006, Grundvatten av god kvalitet -Förslag till RUS-indikatorer för grundvattennivåer i områden med risk för saltvatteninträngning eller förändring som kan påverka markstabiliteten eller ekosystem. <http://www.rus.lst.se>
- NAKASE (2001), Nationell översiktlig kartdatabas över skredförutsättningar i ler- och siltjordar, Utveckling av databasprototyp och förslag till produktion, Miljödepartementet, Uppdrag enligt regleringsbrev för 2000, Utredning av Statens geotekniska institut i samarbete med Sveriges Geologiska Undersökning, Lantmäteriverket och Räddningsverket, Publikation 105222
- Ojala, L., Thunholm, B., Maxe, L., Persson, G. & Bergmark, M. Kan grundvattenmålet klaras vid ändrade klimatförhållanden? – underlag för analys. Sveriges geologiska undersökning, Statens meteorologiska och hydrologiska institut & MittSverige Vatten. SGU-rapport 2007:9
- Rodhe, A., Lindström, G., Rosberg, J. & Pers, C. 2006. Grundvattenbildning i svenska typjordar – översiktlig beräkning med en vattenbalansmodell. Uppsala universitet, Institutionen för geovetenskaper, Luft- och vattenlära, Report Series A, No 66
- Statistiska centralbyrån., Fritidshusområden 2000 länsvis. <http://www.scb.se>
- Stiftelsen Norrtälje Naturvårdsfond, 2007. Metodutveckling av biologisk indikator i källmiljöer. Rapport 2007:1. http://www.naturvardsfond.se/kallor_slutrapport.pdf
- Tremblay, M. 1990. Mätning av grundvattennivå och porttryck. Vägverket & Statens geotekniska institut. SGI Information 11. 120 sid. <http://www.swedgeo.se/upload/Publikationer/Info/pdf/SGI-I11.pdf>