

Rapporter och meddelanden nr 99

Grundvattnets tillstånd i Sverige

Årsskrift från miljöövervakningen 1999



Mats Aastrup (red.)



NATUR
VÅRDS
VERKET

Rapporter och meddelanden nr 99

Grundvattnets tillstånd i Sverige

Årsskrift från miljöövervakningen 1999

Mats Aastrup (red.)



Uppsala 1999

ISSN 0349-2176
ISBN 91-7158-612-1

Omslagsbild: Källflöde vid Evertsberg, Dalarnas län. Foto C.-F. Müllern, SGU.

© Sveriges Geologiska Undersökning

Layout: Kerstin Finn, SGU
Tryck: TK i Uppsala AB, 1999

FÖRORD

Grundvattnet skall ge en säker och hållbar dricksvattenförsörjning samt bidra till en god livsmiljö för växter och djur i sjöar och vattendrag säger regeringens formulering av miljökvalitetsmålet "Grundvatten av god kvalitet". Den tar upp två aspekter på grundvatten. Den ena är dess betydelse som naturresurs med avseende på det mänskliga behovet av dricksvatten. Den andra är att grundvattnet flödar ut och bildar våtmarker, källor, bäckar och sjöar. Kvaliteten och kvantiteten avgör användbarheten som dricksvatten liksom betingelserna för växter och djur i sjöar och vattendrag och på land, där det diffust sipprar ut i så kallade utströmningsområden.

Den här skriften har ambitionen att översiktligt belysa grundvattnets förekomst och beskaffenhet i Sverige samt att ge exempel på mänskliga aktiviteter och ingrepp som påverkar dess kvalitet och kvantitet. Det rör sig om sådana aktiviteter eller hot, vars effekter på grundvattnet inte registreras inom ramen för den nuvarande nationella miljöövervakningen av grundvatten. Det EU-direktiv om upprättande av en ram för en gemenskapsåtgärd på området för vattenpolitik, populärt kallat "Ramdirektivet för vatten", kommer emellertid att ställa större krav på kontroll av sådana aktiviteter och övervakning av deras effekter på grundvattnet. Direktivet ligger ännu som ett förslag, men kommer med största säkerhet att bli en bindande realitet inom en snar framtid. Skriften ger också information om det nya verktyg, *Bedömningsgrunder för grundvatten*, som är framtaget för att man på ett enhetligt sätt skall kunna tolka och värdera insamlade data om grundvatten.

Initiativet till årsskriften har tagits av Håkan Marklund vid Naturvårdsverkets Miljöövervakningsenhet. Naturvårdsverket har också bidragit till finansieringen. Flera författare har deltagit med bidrag, flertalet från SGU, men ett bidrag vardera kommer från SLU och KTH. Jan Pousette har granskat, korrigerat och redigerat arbetet. Slutredigeringen inför tryckningen har gjorts av Kerstin Finn och Jeanette Bergman-Weihed. Arbetet har utförts inom ramen för den nationella miljöövervakningen av grundvatten, under ledning av Mats Aastrup, som framför ett hjärtligt tack till alla som har medverkat till denna skrift.

Uppsala i mars 1999

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. Grundvattnets förekomst i Sverige	5
Naturresursen grundvatten	5
<i>Anders Carlstedt och Jan Pousette</i>	
Grundvattnets kvalitet	10
<i>Mats Aastrup, Jonas Gierup, Carl Fredrik Müllern, Bo Thunholm och Sten Sandström</i>	
2. Grundvattenpåverkan i Sverige	19
Bedömningsgrunder för grundvatten – ett verktyg att bedöma graden av påverkan	19
<i>Mats Aastrup</i>	
Bedömning av tillstånd i Sverige	22
<i>Mats Aastrup och Bo Thunholm</i>	
3. Specialstudier om grundvatten	28
Tunnelbygget genom Hallandsås – grundvattenförhållanden	28
<i>Johan Anderberg</i>	
Geologi och hälsa	32
<i>Olle Selinus</i>	
Vägsaltning och dess effekter på grundvattnet	35
<i>Bo Olofsson</i>	
Lokala föroreningar i Stockholms grundvatten	39
<i>Mats Aastrup</i>	
Bekämpningsmedel i grundvattnet	42
<i>Jenny Kreuger</i>	

1. Grundvattnets förekomst i Sverige

Naturresursen grundvatten

ANDERS CARLSTEDT OCH JAN POUSETTE (SGU)

Allmänt

Av allt vatten på jorden är bara några få procent sötvatten. Resten finns i haven. Större delen av sötvattnet är grundvatten. Nästan hela återstoden är bundet i form av is och snö, mestadels i polartrakterna. Ytvattenmagasinen innehåller bara en obetydlig del av jordens sötvattenförråd, mindre än en promille. Förhållandevis mycket vatten omsätts dock som ytvatten i och med att omsättningstiderna för ytvattenmagasinen är korta.

När nederbördsvatten infiltrerats i markytan passerar det först genom den luftade eller omättade zonen. I den finns både luft och vatten i markens por- och sprickutrymmen, och flödet kallas för perkolation. Djupare ner i marken, i den mättade zonen, fyller enbart vatten porerna och sprickorna. Det är det vattnet som kallas grundvatten.

Strömningen ned till grundvattenytan kan ta allt ifrån någon timme till flera år. I sand och grus och stora sprickor sker transporten snabbare än i finkorniga jordarter och i berg med små sprickor.

I den mättade zonen (grundvattenzonen) sker vattenströmningen betydligt långsammare. Det beror på att lutningen hos grundvattnets tryckyta vanligen är liten. Ytligt grundvatten kan nå markytan och bilda ytvatten efter någon dag, medan djupare strömning kan ta många år.

Användbara mängder grundvatten kan utvinnas ur grundvattenmagasin. De är skilda åt i sidled genom grundvattendelare, som ibland kan vara rörliga, d.v.s. de ändrar läge om vatten förs till eller tas bort från magasinen. Från vattendelarna strömmar grundvattnet åt motsatta håll. Magasin kan också finnas ovanpå varandra, skilda åt av täta eller svårgenomträngliga lager.

Inom ett och samma avrinningsområde för grundvatten bildar magasin och mellanliggande eller omgivande, mindre vattengenomsläppliga partier tillsammans en grundvattenförekomst, som också avgränsas åt sidorna av vattendelare.

Vanligen har grundvattnet en låg, jämn temperatur, är fritt från organiska föroreningar och innehåller ämnen som lösts ut ur marken och som är nyttiga för människor, djur och växter. Från borrhåll eller

grävda brunnar kan vattnet i allmänhet användas helt utan rening.

Grundvattenkvaliteten kan variera under året och från år till år, liksom grundvattennivåerna eller trycknivåerna. Förändringar i trycknivåerna beror främst på variationer i nederbörd och temperatur.

Eftersom nästan allt ytvatten är bildat av grundvatten beror vattenbeskaffenheten i sjöar och vattendrag till stora delar på det tillrinnande grundvattnets kvalitet.

En grundvattentillgång kan ökas på konstgjord väg genom att man infiltrerar ytvatten i sand- och grusavlagringar.

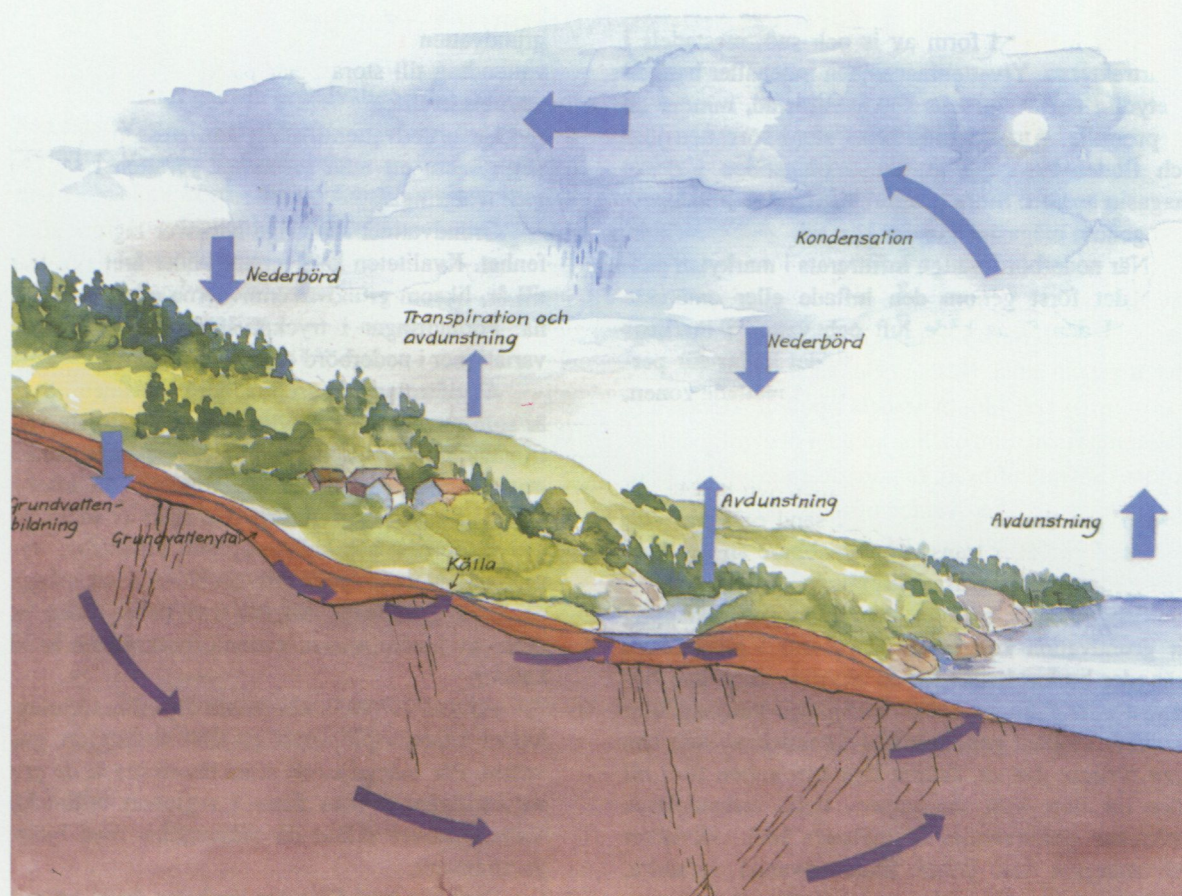
Grundvattenmagasinen i Sverige är som regel små och avgränsade. De största vattentillgångarna i landet förekommer i de stora sand- och grusavlagringar som bildades under och efter den senaste nedisningen. Även vissa delar av södra Sveriges sandstens- och kalkberggrund innehåller mycket utvinnbart grundvatten. Ett problem är att många av de stora grundvattentillgångarna finns i den norra delen av landet medan vattenförbrukningen är störst i söder.

Hälften av den kommunala vattenförsörjningen i landet baseras på naturligt eller konstgjort grundvatten. För många av de stora tätorterna är de grundvattentillgångar som finns i regionen otillräckliga. Vattenbehovet måste då säkerställas med ytvattenverk.

Enskilda hushåll, omfattande drygt en miljon människor, använder nästan uteslutande grundvatten från egna grävda eller borrhåll för sin vattenförsörjning. Lika många utnyttjar grundvatten för sitt fritidsboende.

Grundvattnet ingår i vattnets kretslopp och är därför en förnybar naturresurs. Det som driver kretsloppet är solens värmeenergi, tyngdkraften och jordrotationen. Se figur 1.1.

Av den nederbörd som faller över Sverige avdunstar ungefär hälften och återförs direkt till atmosfären genom inverkan av solenergin. Nästan hela återstoden infiltrerar i marken. Det gäller också nederbörd som tillfälligt eller under längre perioder lagras som snö eller is. Bara en liten del rinner av från markytan som ytvatten till sjöar och vattendrag. Det kan t.ex. vara regn eller snö som faller på hårdgjorda ytor såsom gator, vägar och hustak. Under den varma årstiden används mycket av det vatten som sipprar ned i marken av växtligheten, som återlämnar en del till atmosfären genom transpiration. När



Figur 1.1. Vattnets kretslopp.

de övre marklagren har nått en viss vattenmättnad kan överskottet sjunka vidare ned i marken och bilda grundvatten. Genom tyngdkraftens inverkan rör sig grundvattnet från högre terrängavschnitt mot lägre. Vilka vägar det tar och hur fort transporten går beror på grundvattenytans lutning och marklagrens genomsläpplighet.

Där grundvattentrycket når upp till eller ligger högre än markytans nivå bildas ett utströmningsområde. Om markytan är genomsläpplig flödar grundvatten ut. Det uppstår källor och våtmarker. Grundvatten kan också strömma ut i botten av sjöar och vattendrag. Eftersom bara en liten del av den nederbörd som faller över land rinner direkt ut i ytvattnen är källflöden och långsam utströmning av grundvatten på bred front det som bestämmer vattentillgången i vattendrag och sjöar.

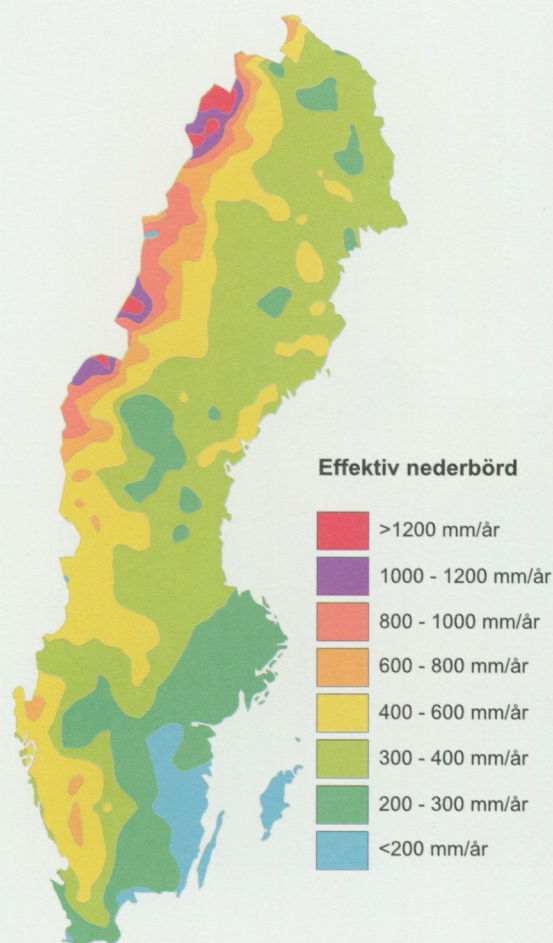
Vattenången, som bildas genom avdunstning från mark-, sjö- och havsytor samt genom växternas

transpiration, bildar moln. Ur molnen faller nederbörd, och på så sätt fullbordas vattnets kretslopp.

Som nämndes ovan är grundvattenbildningen direkt kopplad till nederbörd och avdunstning, som i sin tur är betingade av lufttemperatur, vindar, årstidsväxlingar, vegetation, geografiskt läge och topografi. För Sveriges del innebär det att nybildningen av grundvatten är störst i fjällregionerna och på Västkusten, medan den är förhållandevis låg framför allt i landets östra delar, se figur 1.2. Sydöstra Götaland är särskilt känsligt genom sitt läge i regnskugga och med höga sommartemperaturer. Vattenbrist, framför allt i grunda brunnar, är inte ovanlig.

I Sverige varierar grundvattnets uppehållstid och transportsträckor i marken kraftigt. Figur 1.3 ger en schematisk bild av detta.

Nära markytan sker vanligen en förhållandevis snabb grundvattenströmning. Strömningsvägarna är korta, maximalt något hundratal meter, och det ny-



Figur 1.2. Grundvattenbildningen i Sverige, uttryckt som effektiv nederbörd, d.v.s. den andel av den totala nederbörden som bildar grundvatten och ytvavrinning (beräkningar enligt SMHI).

bildade grundvattnet når utströmningsområden inom alltifrån någon timme till någon månad.

Djupare ned är strömningen långsammare och vattnet transporteras längre sträckor innan det når markytan igen. Uppehållstiden varierar mellan cirka ett och tio år.

På stora djup sker strömningen mycket långsamt. Uppehållstiderna kan bli 1000 år och längre. Åldersbestämningar har t.ex. visat att det i Skåne finns grundvatten som är cirka 5000 år gammalt, och grundvatten på drygt en kilometers djup kan ha bildats av smältvatten från den näst senaste istiden. Transportsträckorna för dessa vatten är åtskilliga kilometer.

I ett internationellt perspektiv är grundvattenförekomsterna i Sverige små både till yta och volym. Det

gäller framför allt grundvatten i berggrunden. Med undantag för Skåne saknar landet stora sammanhängande grundvattenmagasin av den typ som dominerar i kontinentala Europa. Totalt sett finns de mest användbara grundvattentillgångarna i de sand- och grusavlagringar som avsattes vid den senaste landisens avsmältning. Även dessa är vanligen förhållandevis små till omfånget. Undantag finns, t.ex. utmed de större älvarna, där grundvattenförande grus- och sandterrasser avsatts utefter långa sträckor. Den ofta stora porositeten även hos de små jordakvifererna gör att dessa innehåller vattenvolymer som räcker för vattenförsörjningen även för stora samhällen.

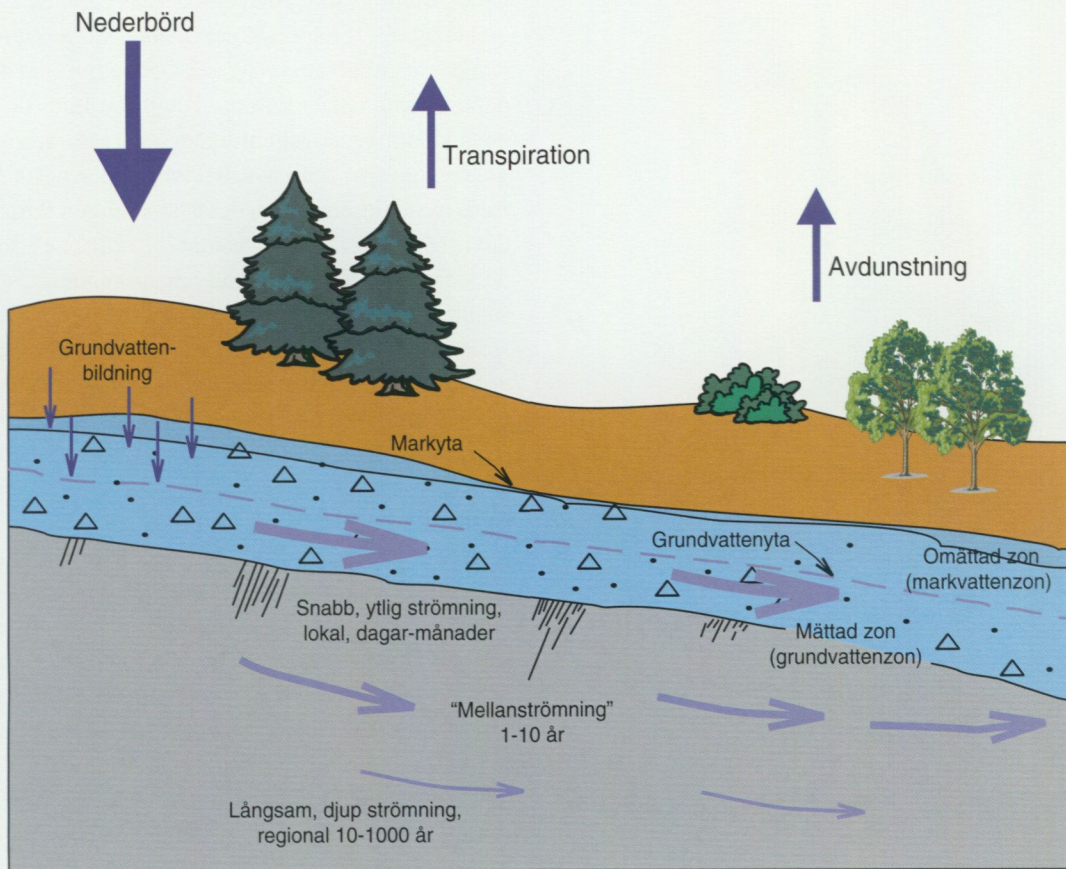
De svenska grundvattenförhållandena jämfört med dem som är vanliga i mellersta och södra Europa innebär både för- och nackdelar. Genom att akvifererna är små men många (se figur 1.4) är det lätt att definiera skyddsbehoven för var och en av dem, och eventuella skador blir generellt sett mindre allvarliga för den totala grundvattenförekomsten genom att spridningen av en skada vanligen blir begränsad. Oftast finns det en alternativ grundvattentillgång att ta i anspråk om den ordinarie blir skadad.

Omvänt gör avsaknaden av stora akviferer att grundvattentillgångarna i närheten av de större samhällena inte räcker till för försörjningen. Det är vanligt i Sverige att man förstärker otillräckliga tillgångar i jord genom konstgjord grundvattenbildning. Så sker t.ex. i Malmö och Uppsala. Stockholm och Göteborg måste lita till ytvatten för sin vattenförsörjning.

Grundvatten i jordlager

De största grundvattentillgångarna i landet förekommer, förutom i vissa delar av södra Sveriges sandstens- och kalkberggrund, i de sand- och grusavlagringar som bildades under och efter den senaste nedisningen. En översikt av de bästa geologiska förutsättningarna för grundvattenuttag i jordlagren visas i figur 1.4 (ur databasen till "Grundvattnet i Sverige", SGU serie Ah nr 17).

I jordlagren förekommer grundvattnet i porer, d.v.s. i utrymmet mellan jordpartiklarna. Allt vatten är dock inte åtkomligt genom t.ex. pumpning. Trots att porositeten i både grus, sand och grovmo är ca 30–40 % är det betydligt lättare att få ut stora vattenvolymer ur det grövre materialet än ur det finare. Det har att göra med att de vidhäftande och kvarhållande krafter som påverkar vattnet är större ju finernare jordarten är. Lera och vissa moräntyper



Figur 1.3. Grundvattenströmning.

har porositeter runt 50 %, men brunnar i sådant material har mycket blygsamma kapaciteter. Trots detta är ett stort antal av de enskilda, grävda brunnarna i landet anlagda i morän, eftersom det är Sveriges vanligaste jordart. Ur grävda brunnar tas ett ytligt grundvatten som är utsatt för föroreningsrisker. Stora krav måste därför ställas på brunnutförande och grundvattenskydd när sådana vattentäkter skall anläggas och användas. Främst på grund av nederbörds- och temperaturförhållanden kan grunda grävda brunnar också tidvis sina.

Ur vattentäkter i de stora isälvsavlagringarna kan ofta stora vattenmängder utvinnas. Det finns exempel på brunnar som provpumpats under lång tid med kapaciteter på flera hundra liter per sekund. Eftersom jordlagren är genomsläppliga också för föroreningar är skyddsaspekterna mycket viktiga också i dessa fall.

Bilden här intill visar att rikt vattenförande isälvs-sediment återfinns över hela landet. Avlagringarna är skalmässigt överdrivna för att alls vara skönjbara, deras verkliga bredd är ofta bara något hundratal meter upp till en eller annan kilometer. Utsträckningar-

na i längdled är däremot tämligen korrekt återgivna.

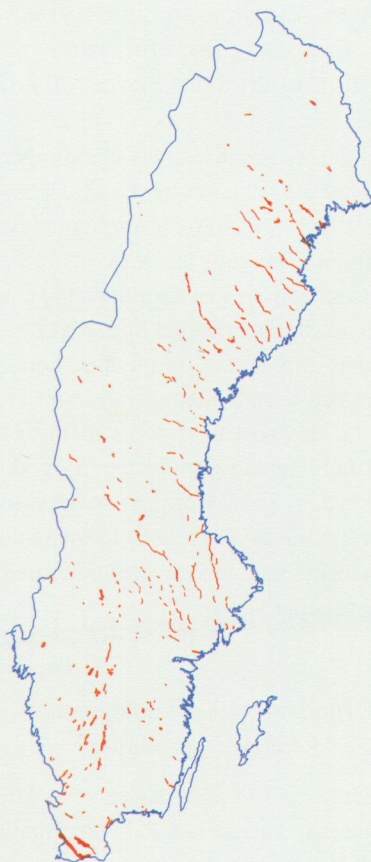
Bland de mera framträdande dragen märks de mäktiga dalfyllnaderna i Skåne, de goda tillgångarna på sydsvenska höglandets regnrika västsida och i området väster om Vättern samt de mäktiga stråken med anknötning till Mälarenregionen, t.ex. Uppsala-, Enköpings- och Badelundaåsarna.

I de norrländska älvdalarna har stora mängder sediment avsatts i de forna isälvarna och deras sentida efterföljare. Som framgår av bilden innehåller dessa avlagringar stora volymer grundvatten.

Problemområden när det gäller grundvattentillgång kan också urskiljas, t.ex. sydöstra Småland och Blekinge, som förutom brist på goda grundvattenmagasin i jord också ligger i regnskugga av höglandet i väster. Det medför att nybildningen av grundvatten i detta område är liten.

Jordtäcket på de stora öarna i Östersjön är tunt, varför riktigt stora grundvattenmängder i jord saknas. Det vatten som trots allt finns utnyttjas dock för bl.a. kommunal vattenförsörjning.

Sydvästsveriges brist på grundvattentillgångar i jord kan synas märklig eftersom nederbörden är rik-



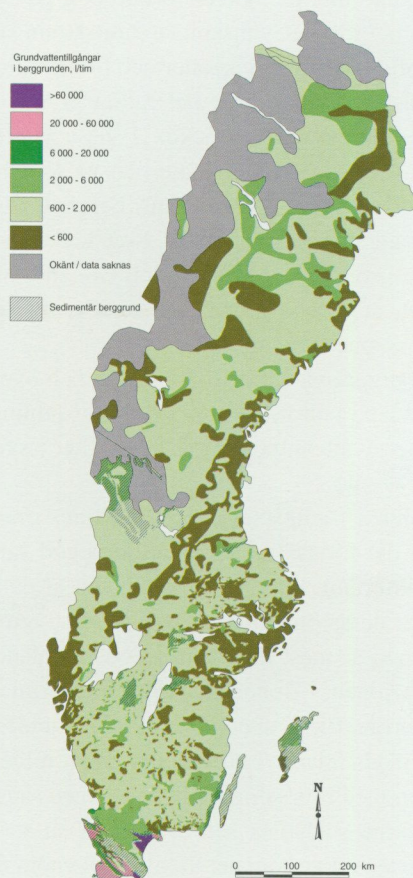
Figur 1.4. Grundvattentillgångar i grus och sand.

lig. Orsaken är att det saknas grundvattenförande sediment eller åtminstone att sådana är sparsamt förekommande.

Hela Västsverige, från Dalsland till västra Lappland, är förhållandevis fattigt på stora grundvattentillgångar i jord. Orsakerna är flera. Den främsta är avsaknaden av stora, sammanhängande isälvsavlagringar. Dessutom ligger de högt i terrängen över den så kallade högsta kustlinjen, vilket innebär att grundvattenmagasinens lagringsförmåga generellt sett är sämre än den som lägre liggande magasin har. För det tredje råder regnskugga inom stora delar av detta område med begränsad nybildning av grundvatten som följd.

Grundvatten i berggrund

Jämfört med t.ex. kontinentala Europa är grundvattentillgångarna i Sveriges berggrund små. Bilden, fi-



Figur 1.5. Grundvattentillgångar i berg.

gur 1.5 (från databasen till "Grundvattnet i Sverige", SGU serie Ah nr 17) visar att det bara är i sandstens- och kalkstensberggrunden i Skåne och sporadiskt i övriga delar av landet som det finns förutsättningar för stora grundvattenuttag. Sedimentområdena är utmärkta med en snedstreckad rastering. Det svenska urberget innehåller vanligen endast små vattensmängder men oftast tillräckliga för behovet i enskilda hushåll. Bjärehalvön är ett undantag, liksom för övrigt hela norra Skåne och södra Småland. Lokalt har man också i resten av landet vid borrning träffat berggrundssprickor med så god vattenföring att det går att utnyttja vattnet för kommunal försörjning.

Kartbilden anger medianvärden av kapacitetsdata som insamlats, bearbetats och lagras i SGUs databaser. Det är dock viktigt att framhålla att de angivna medianvärdena beskriver förutsättningar där oftast slumpen fått avgöra valet av borrhållsplatser i stället för de hydrogeologiska förhållandena. Vid val av borrh-

platser där hänsyn tas till hydrogeologiska förutsättningar kan uttag på mellan 10 000 och 20 000 liter per timme göras. Gynnsamma förutsättningar föreligger ofta i större sprickzoner och förkastningar.

Ytmässigt förekommer det mesta grundvattnet i Sveriges berggrund i sprickor. I vissa yngre sedimentära lager, såsom i Skåne och på Listerlandet, finns dock mycket grundvatten i bergarternas porer eller i både porer och sprickor. I ren kalksten av högre ålder, som t.ex. på Öland och Gotland, liksom i urberget, är förkomsterna helt bundna till sprickor och krosszoner i berggrunden.

Där berggrunden är sprickig i ytan och överlagras av t.ex. sand och grus finns ofta förutsättningar för stora grundvattenuttag. Så är t.ex. fallet i sydvästra Skåne.

Ur bilden framgår också att det finns områden i Sverige där förutsättningarna att hitta god vattentillgång vid brunnborrning generellt sett är dåliga. På kartan är dessa områden angivna med olivgrön färg. Problemen är mest märkbara i Södermanland och i Mälarenregionen, i Bohuslän och södra Värmland, utefter Norrlandskusten och inom vissa områden i norra Norrlands inland. I norr växlar enligt bilden stora områden med blygsamma tillgångar med sådana där tillgångarna statistiskt sett är goda. Den statistiska osäkerheten i norr kommer till uttryck genom de stora ytorna.

Generaliseringar har måst göras på grund av ett sparsamt underlag, vilket beror på att större delen av landsändan är glesbygd eller ödemark.

Denna brist är ännu mer uttalad för fjälltrakterna och delar av inlandet i norr, där underlaget är så litet att det inte gått att göra någon trovärdig statistisk bearbetning av det. De berggrundsgeologiska förhållandena låter dock ana att möjligheterna till grundvattenuttag varierar i hög grad och att stora grundvattenmängder ställvis borde kunna utvinnas, t.ex. ur karstifierad kalkberggrund. Det kan likaledes förmodas att stora delar av området har en grundvattenpotential motsvarande urberget i övriga Sverige.

LITTERATUR

Regional grundvattenundersökning, SGU, 1994: Grundvattnet i Sverige. *SGU Serie Ah nr 17*.

Grundvattnets kvalitet

MATS AASTRUP, JONAS GIERUP,
CARL FREDRIK MÜLLERN,

BO THUNHOLM OCH STEN SANDSTRÖM (SGU)

I beskrivningar av grundvattnets egenskaper brukar det i allmänhet sägas att det har en låg, jämn temperatur, är fritt från organiska föroreningar och innehåller nyttiga ämnen som har lösts ut från marken. Det kan anses vara en ganska rättvisande, men naturligtvis mycket generaliserad bild. Mycket varierar både i tid och rum, såsom temperatur, kemisk sammansättning och grundvattennivåer. I vårt land, som lyckligtvis är välsignat med god vattentillgång, används med få undantag grundvatten av god kvalitet som dricksvatten. I de stora grundvattenförekomsterna, som företrädesvis används för den kommunala vattenförsörjningen, är inte variationerna i grundvattnets egenskaper så stora.

Grundvattnets grundläggande kemiska egenskaper

Grundvattnets kemiska egenskaper ges av de dominerande jonerna, katjonerna kalcium, magnesium, natrium och kalium och anjonerna vätekarbonat (alkalinitet), sulfat och klorid. Jonsammansställningen återspeglas också i vattnets pH-värde, som är den negativa logaritmen för vätejonkoncentrationen. Grundvattnets innehåll av organiskt material, liksom dess redoxpotential (oxiderande eller reducerande förmåga), bestämmer också dess möjlighet att hålla och transportera andra joner, förutom sulfat, som nämnts ovan, nitrat, järn, mangan och vissa tungmetaller.

Processer och faktorer av betydelse för den kemiska sammansättningen

Grundvattnets kemiska sammansättning är resultatet av processer i marken som det infiltrerande regnvattnet medverkar i. Processerna verkar både i den omättade och den mättade zonen längs grundvattnets strömningsbanor. Genomgripande förändringar kan också ske i utströmningsområdena när grundvatten övergår till ytvatten. De processer som verkar och som förändrar vattnets kemiska sammansättning är jonbyte, vittring, utfällning, lösning, sorption och redoxprocesser.

Hur dessa processer verkar beror förutom på ne-

derbördens mängd och kemiska sammansättning på geologiska faktorer som mineralsammansättningen hos berg- och jordarter och kornstorleksfördelningen hos jordarter, på klimatologiska och biologiska faktorer som reglerar omsättningen av dött organiskt material i markens övre skikt, hastigheten av kemiska processer och avdunstning som koncentrerar de lösta salterna i vattnet.

Om man bortser från detaljerna i de komplicerade processer som styrs av dessa samverkande faktorer, så visar det sig att det framför allt är de geologiska faktorerna tillsammans med tidsfaktorn som i stort bestämmer grundvattnets kemiska sammansättning. Det är framför allt vittringbenägenheten hos mineral som ingår i jordpartiklar och bergarter, storleken av den reaktiva ytan, som ges av kornstorleksfördelningen, och hur lång tid vattnet är i kontakt med mineralen som är av betydelse. Vittringen innebär att mineralen angrips av det nedsippande vattnets vätejoner, varvid dessa förbrukas. Det medför i sin tur att pH-värdet ökar, samtidigt som baskatjonerna kalcium, magnesium, kalium och natrium frigörs och vätekarbonat bildas.

Geologiska förutsättningar

Sveriges berggrund kan delas upp i tre enheter: urberget, fjällkedjan och den sedimentära berggrunden utanför fjällkedjan. Urberget, som framför allt utgörs av graniter och gnejser, upptar den helt dominerande delen av landets yta. Dessa bergarter, vars fragment också ingår i de täckande jordarna, har mycket låg vittringsbenägenhet. Det innebär att vittringsprocessen är mycket långsam inom dessa områden. Det ytliga grundvattnet som har relativt kort uppehållstid i grunden får därför låga halter av lösta joner och lågt pH-värde. Inom dessa områden är grundvattnet också mycket känsligt för försurning, i och med att marken inte har förmåga att förbruka mer än en begränsad mängd av de vätejoner som tillförs genom nederbörden.

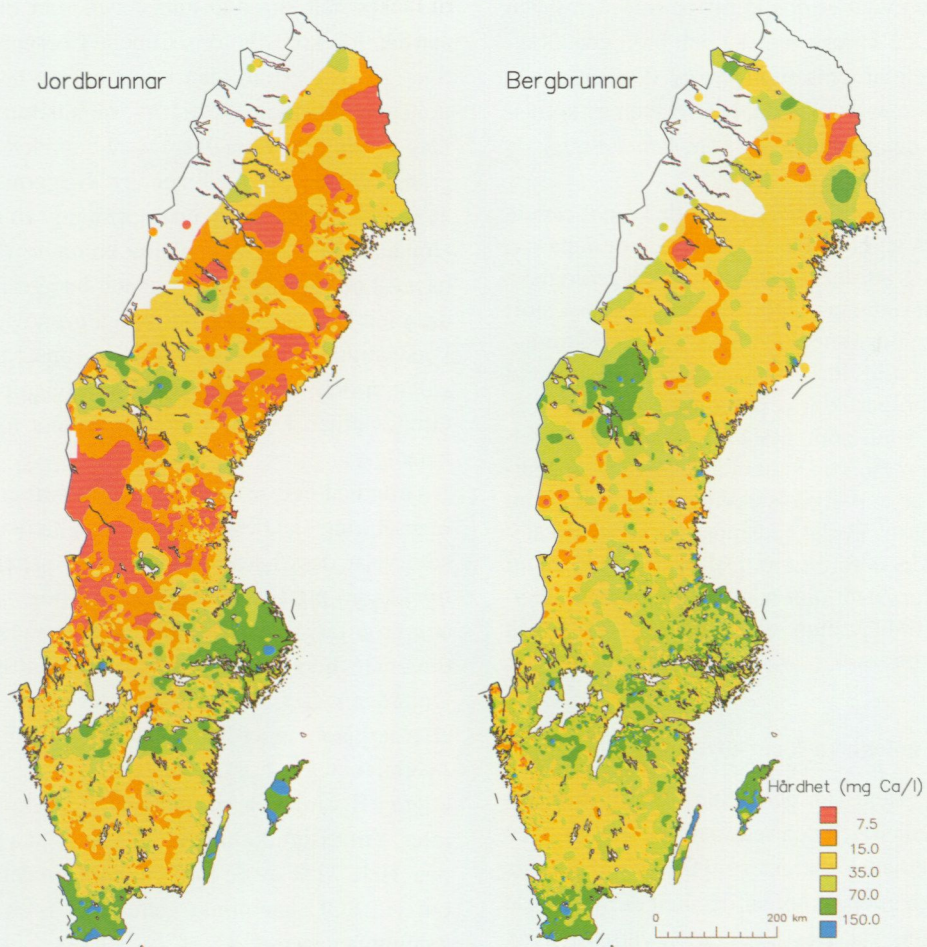
Fjällkedjans berggrund är mycket komplex och utgörs av såväl sura som basiska vulkaniter och mer eller mindre omvandlade sedimentära bergarter. De sura vulkaniterna har låg vittringsbenägenhet medan de basiska är mer vittringbenägna, liksom de flesta sedimentära bergarterna. Det medför också att grundvattnen innehåller mycket skiftande mängd lösta joner. En mycket bruten topografi gör att uppehållstiden kan bli mycket kort och halterna lägre än

de skulle ha varit i mindre kuperad terräng.

Den sedimentära berggrunden är mycket lättvittrad. Mest lättvittrad är kalkstenen. Det finns endast spridda förekomster av sedimentär berggrund kvar i Sverige. Kalk från den sedimentära berggrunden transporterades emellertid av inlandsisen och finns idag spridd i jordarna över större områden än i de begränsade där den sedimentära berggrunden finns kvar. Effekterna av denna spridning är tydligast i Uppland där kalken i jordarna kommer från Bottenhavet. I områden med sedimentär berggrund och jordar med kalk har även det ytliga grundvattnet höga koncentrationer av de ingående jonerna, speciellt kalcium och vätekarbonat, liksom höga pH-värden. Grundvattnen i dessa områden är inte försurningskänsliga.

Grundvattnets naturligt betingade varierande sammansättning i landet exemplifieras i kartan, figur 1.6, som visar dess hårdhet (kalcium + magnesium) uttryckt som mg Ca/l. Områden med hög hårdhet (blå och grön färg) sammanfaller med områden med sedimentär berggrund och/eller kalkhaltiga jordar. Områden med finkorniga jordarter som lera och silt eller leriga moräner har också högre hårdhet. De har överhuvudtaget högre innehåll av lösta joner och högre pH-värden än grundvatten i grovkorniga jordarter. Ytmässigt dominerar helt de mjuka grundvattnen. Hela 72 % av de jordbrunnar som det finns data om vid SGU har mjukt vatten, d.v.s. en lägre halt kalcium än 35 mg/l Ca (Ca + Mg).

De speciella geologiska förutsättningar vi har i Sverige, med den helt dominerande kristallina berggrunden och det relativt tunna jordtäcket, som formats under och efter istiden, gör att akvifererna är relativt små och omsättningstiden kort. I våra stora betydande akviferer, t.ex. i rullstensåsar och isälvsdeltan, är omsättningstiden i allmänhet mellan 5 och 20 år, medan i morän, som är vår vanligaste jordart, omsättningstiden är kortare. De här förhållandena gör att den kemiska sammansättningen i svenska grundvatten präglas av låg jonstyrka och låga pH-värden i jämförelse med övriga Europa med undantag av Finland och Norge, som har ungefär samma förutsättningar som Sverige. Det är endast några sedimentära berggrundsområden, som t.ex. på Kristianstadslätten, som kan jämföras med de hydrogeologiska förhållanden som råder i största delen av det kontinentala Europa. Dessa grundvatten, som uppträder i geologiska formationer med stor vittringbenägenhet och



Figur 1.6. Kartorna visar grundvattnets hårdhet (kalcium + magnesium) uttryckt som mg Ca/l i jordbrunnar och bergbrunnar (från Aastrup et al., 1995).

Tabell 1.1. En del kemiska konstituenters medianvärden i jord- och bergbrunnar

Typ av brunn	Konduk. mS/m	pH	Hårdhet mg Ca/l	HCO ₃ mg/l	SO ₄ mg/l	Cl mg/l	NO ₃ mg/l	F mg/l
Jordbrunn	16	6,4	22	32	16	10	3	0,2
Bergbrunn	33,6	7,5	42	152	18	15	1	0,8

har lång omsättningstid, har större mängd lösta joner och högt pH och är därför inte känsliga för påverkan av sur nederbörd på samma sätt som de ytliga grundvattnen i Sverige.

Bidrag genom nederbörden

Sulfat

Vi har hittills bara berört de joner som tillförs grundvattnet i huvudsak genom vittring av mineral. Sulfat och klorid räknas också till de joner som ger grundvattnet dess karaktär. Båda dessa joner tillförs genom nederbörden och torrt nedfall, sulfat i stora mängder under den period som industrin expanderade i Europa utan att man nämnvärt bekymrade sig om konsekvenserna för miljön. Nedfallet kulminerade under 1970-talet. Sulfat tillförs emellertid också från det geologiska materialet, speciellt från den sedimentära berggrunden, men också i viss utsträckning genom oxidation av sulfidhaltiga mineraliseringar i malmprovinserna. De kustnära lerorna, som avsattes efter den senaste istiden, innehåller också sulfider, som oxideras till sulfat då de torrläggs genom landhöjningen eller genom dräneringsföretag.

Klorid

Klorid tillförs framför allt med nederbörden. I Sverige har vi inte några geologiska formationer som innehåller klorid, om man bortser från marint avsatta leror (leror som avsatts i salta hav), vars porvatten kan ha höga kloridhalter. Nederbörden har högre kloridhalter i kustnära områden. Det är speciellt markant i sydvästra Sverige, som gränsar till ett salt hav.

Kloridhalternas geografiska beroende

Nederbördens kloridhalt och den koncentring som sker genom avdunstningen ger utslag i grundvattnets kloridhalt. Kloridhalternas geografiska beroende visas tydligt i nedanstående figur (1.7). För två djupintervall med avseende på brunnarnas botten i meter över havsytan visas det nord-sydliga beroendet även om spridningen är mycket stor. Det är tydligast i det intervall, där brunnarnas botten ligger högst. Man kan notera att den nord-sydliga gradienten planar ut i det intervall där brunnarnas botten ligger under havsytan. Halterna ligger också på en högre nivå.

Vi säger traditionellt att det finns risk för salt grundvatten i kustnära områden genom saltvatten-

inträngning vid för stora grundvattenuttag. Denna risk föreligger också i områden som tidigare har varit täckta av salta och bräckta hav efter senaste istiden. Störst är risken i djupa bergbore brunnar. Det framgår också av de kartor nedan, figur 1.8, som visar kloridhalterna i jord- resp. bergbrunnar. Den högsta kustlinjen är också markerad.

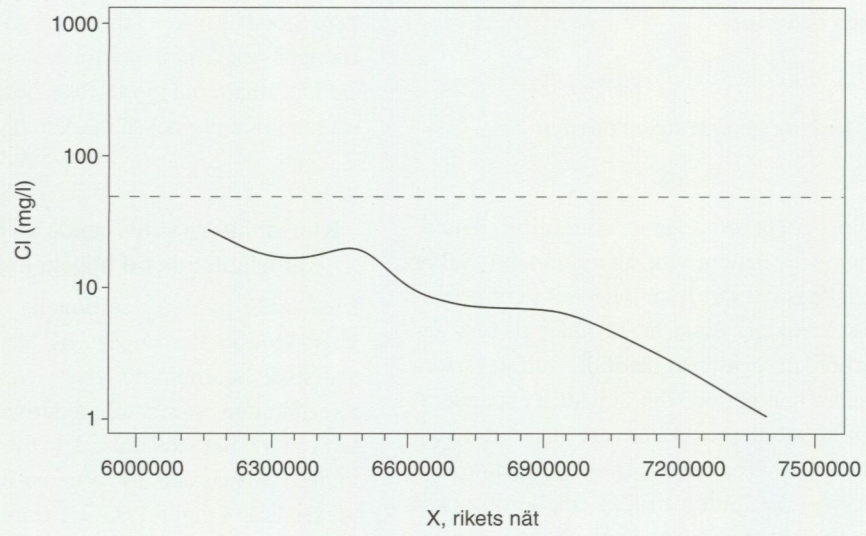
Kloridhalternas beroende av brunnarnas läge i förhållande till högsta kustlinjen (HK)

Med tanke på den traditionella åsikten om risk för höga kloridhalter under HK har en nyligen utförd statistisk bearbetning givit överraskande resultat. Kloridhaltens samband med nivån av brunnens botten i m ö h har studerats, dels för brunnar som ligger under HK och dels för brunnar över HK. Resultatet presenteras i figur 1.9. Det framgår tydligt att kloridhalterna ökar med minskande nivå i förhållande till havets nivå, vilket redan antydde i figur 1.7. Vad som är mest förvånande är att brunnarnas läge i förhållande till HK inte verkar ha någon avgörande betydelse. Vid samma brunnbottennivå är det t.o.m. så att brunnar över HK har högre kloridhalter än brunnar under HK! De här resultaten innebär att mer eller mindre vedertagna hypoteser om förekomsten av relik saltvatten kanske behöver omprövas.

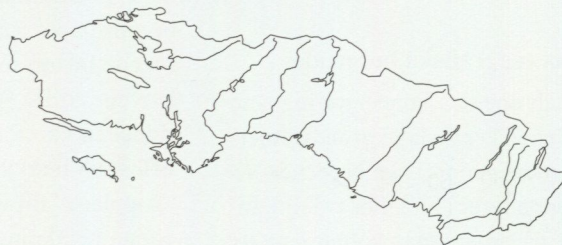
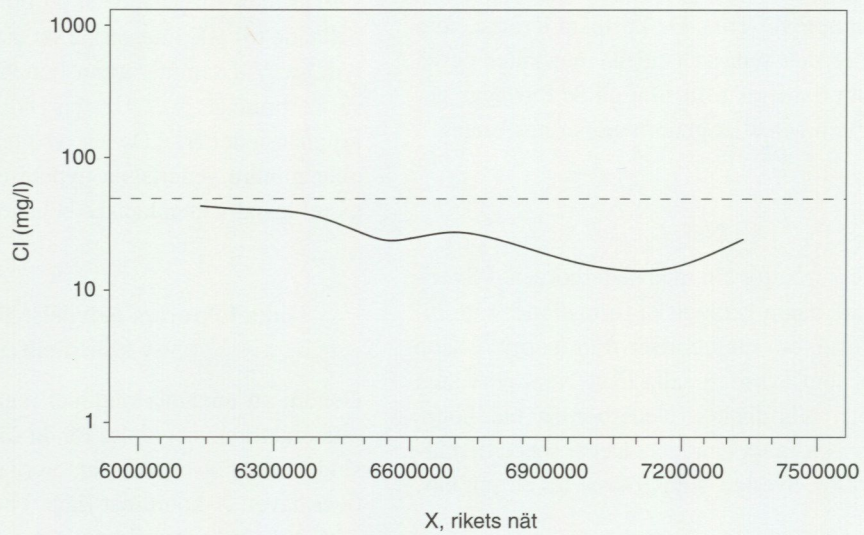
Olika faktorerers betydelse för förklaring av kloridhalter

Genom att använda multipel regressionsanalys kan olika faktorerers betydelse för att förklara kloridhalten studeras. De oberoende faktorerna är markytans höjd över havet, X-koordinat (läge i nord-sydled i rikets nät), Y-koordinat (läge i öst-västled i rikets nät), brunnsdjupet och läge i förhållande till HK. De oberoende faktorerna gav förklaringsgraden 0,20, vilket betyder att 20 % av den totala variationen hos kloridhalten kan förklaras av dessa oberoende faktorer. Eftersom markytans nivå och brunnbottens nivå är "kopplade" till varandra genom brunnsdjupet har separata beräkningar utförts för dessa (se figur 1.10). En uppdelning av R^2 -värdet visar att markytans respektive brunnbottens nivå tillsammans med nord-sydberoendet upptar praktiskt taget hela förklaringsgraden. Det som är förvånande igen är att HK inte upptar någon del av förklaringsgraden. De här presenterade, i och för sig mycket intressanta, resultaten bör tillsvidare tolkas med viss försiktighet, och det bör noteras att det föreligger en viss svaghet

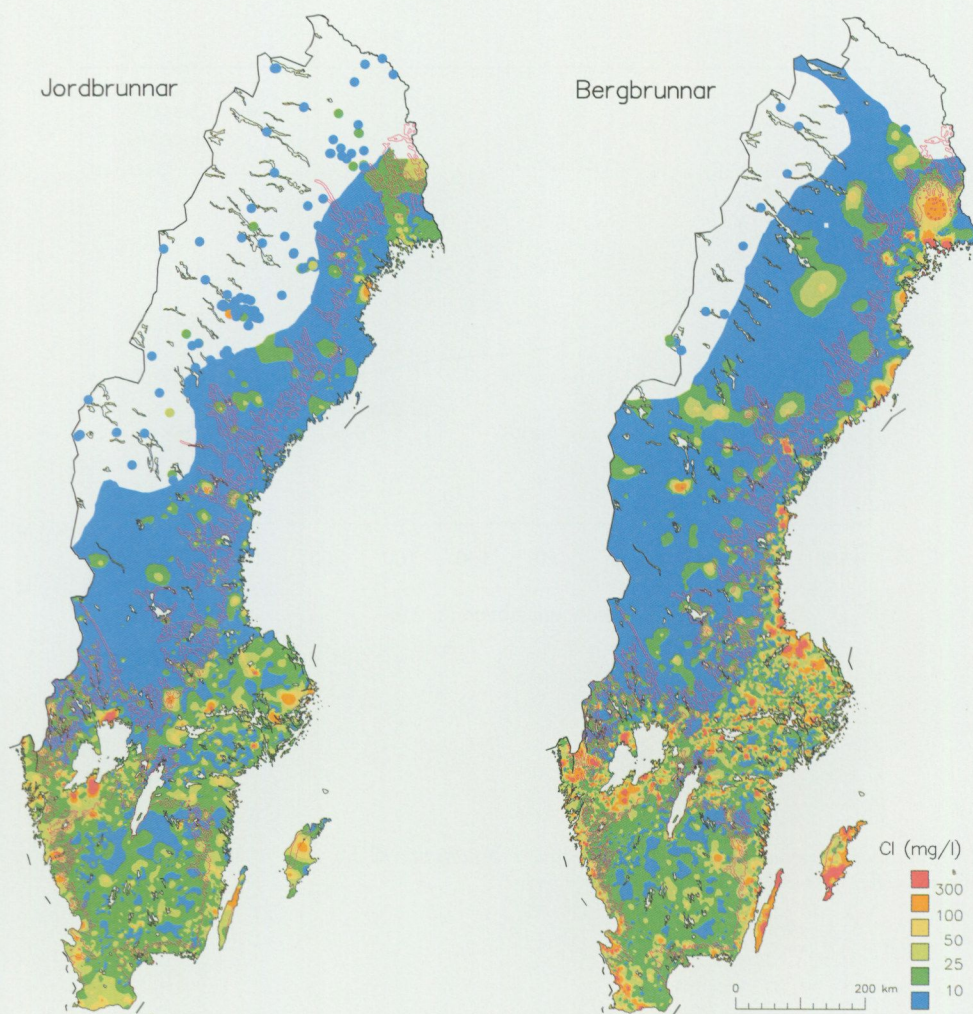
Brunnens botten:
20 till 40 möh



Brunnens botten:
-60 till -40 möh



Figur 1.7. Kloridhaltens syd-nordliga beroende för olika djupintervall hos brunnens botten.



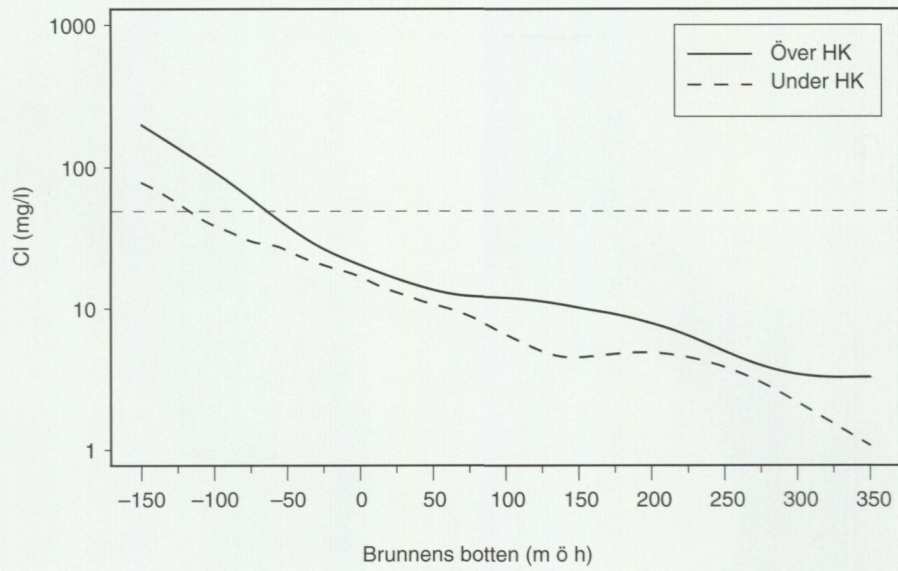
Figur 1.8. Kloridhalter i jord- respektive bergbrunnar. Högsta kustlinjen (HK) är markerad med en lila linje.

hos representativiteten i underlagsmaterialet eftersom de flesta brunnarna är belägna i Götaland, Svealand och Norrlands kustland.

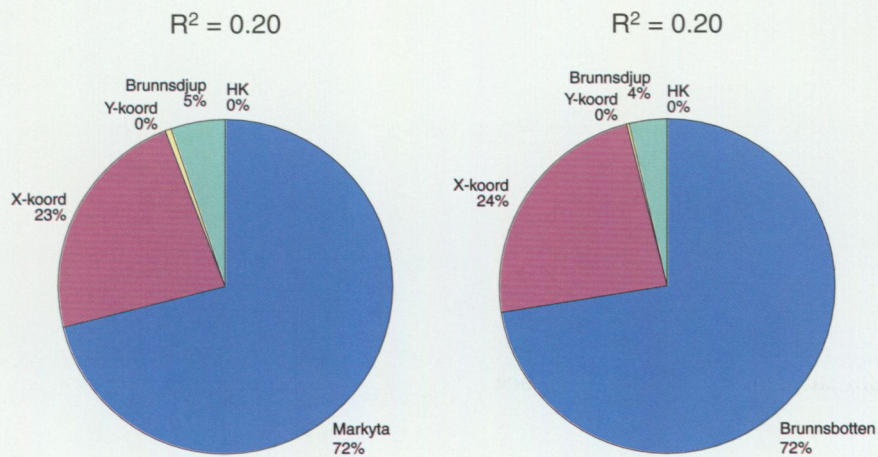
“Saltlake” på stora djup

Vi har kunnat konstatera att kloridhalterna ökar långsamt med djupet. Men i samband med djupa borrhningar har man funnit stora språng i ökningen av kloridkoncentrationen. Salthalterna har ofta överstigit havsvattnets salthalt och kan betraktas som “salt-

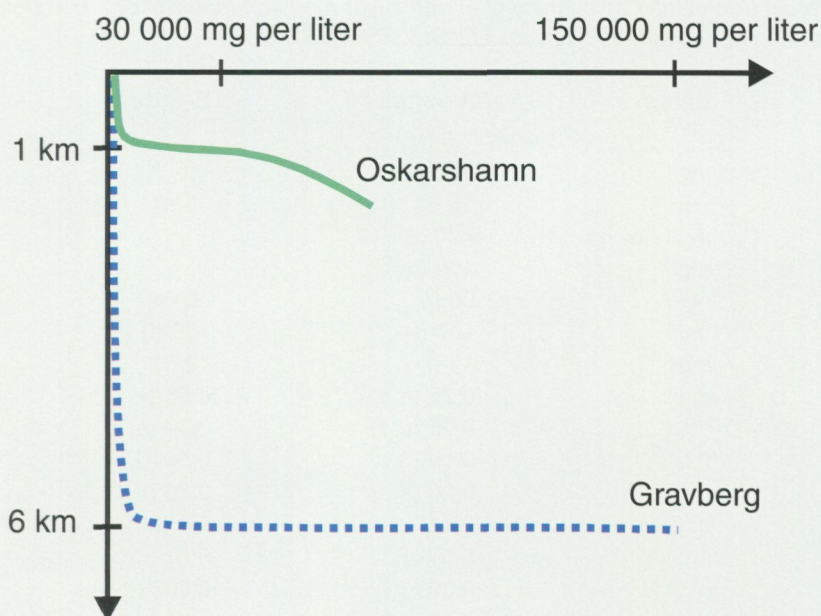
lake”. I figur 1.11 redovisas schematiskt salthalter i djupa borrhål vid Oskarshamn och Gravberg. I Oskarshamn ökar salthalten kraftigt vid 1 km djup, medan man får gå ner till 6 km i Gravberg för att nå den språngartade ökningen. De mycket höga salthalterna på upp till 150 000 mg/l i Gravberg kan orsakas av förändringar och omvandlingar av bergarter vid höga tryck och temperaturer på större djup i jordskorpan. Kunskapen om förekomsten av det här djupa saltlakeliknande grundvattnet i övriga delar av Sverige, och på vilka djup det i så fall skulle före-



Figur 1.9 Kloridhaltens beroende av brunnars bottennivå i förhållande till havsnivån. Brunnar som ligger över och under högsta kustlinjen (HK) redovisas i samma figur.



Figur 1.10. R^2 -värden för kloridhalt med oberoende variabelers andelar av R^2 -värdet. Baserat på logaritmerade kloridhalter.



Figur 1.11. Salthaltens djupberoende i borrhål vid Oskarshamn och Gravberg.

komma, är tillsvidare bristfällig. Djupa borrhål utförs i allmänhet bara i samband med företag av förväntad stor ekonomisk betydelse eller i samband med undersökningar för slutligt förvar av utbränt kärnbränsle.

Dricksvattenkvalitet

Vatten är ett av våra viktigaste livsmedel. Därför är det angeläget att det är av god kvalitet. Statens livsmedelsverk (SLV) lämnar föreskrifter och allmänna råd om dricksvatten i sin kungörelse SLV FS 1993:35. Den gäller egentligen bara för allmänna anläggningar. Genom att gränsvärden anges för både allmänt och enskilt dricksvatten är den dock en bra vägledning också för dem som har egen vattenförsörjning. Vatten till djur omfattas inte av kungörelsen men regleras i lagen om foder och i djurskyddslagen.

Några av de ämnen som brukar undersökas vid vattenanalys och de halter som vattnet högst får ha enligt SLV för att betraktas som åtminstone "tjänligt med anmärkning" framgår av tabell 1.2 nedan. Gränsvärdena är av olika slag. Ett tekniskt gränsvär-

de (t) betyder att risk för skador på anläggningar föreligger om värdet överskrids (eller, i fråga om alkalinitet, underskrids), och ett hälsomässigt gränsvärde (h) att högre halter kan vara skadliga för människor. Estetisk bedömningsgrund (e) innebär att högre halter inte är farliga men kan ge t.ex. obehaglig smak eller lukt. Även om en gräns anges vara enbart teknisk eller estetisk kan ämnet vara hälsovådligt vid höga halter. Gränsvärdena avser vatten vid tappställe efter en stunds spolning.

Tabell 1.2. SLVs gränsvärden för dricksvatten (Tjänligt med anmärkning).

A-vatten innebär dricksvatten från allmän anläggning eller vattentäkt med kommunal tillsyn, E-vatten från enskild vattentäkt. För en fullständig redogörelse hänvisas till SLV FS 1993:35.

Parameter	Enhet	A-vatten	E-vatten
pH		7,5 (t)	
Alkalinitet, HCO ₃	mg/l	30 (t)	
Total hårdhet	°dH	15 (t)	15 (t)
Total hårdhet	mg/l Ca	<20 (t)	
Kalcium, Ca	mg/l	100 (t)	
Magnesium, Mg	mg/l	30 (e)	30 (e)
Natrium, Na	mg/l	100 (t)	100 (t)
Kalium, K	mg/l	12 (t)	12 (t)
Järn, Fe	mg/l	0,20 (e, t)	0,50 (e, t)
Mangan, Mn	mg/l	0,05 (e, t)	0,30 (e, t)
Aluminium, Al	mg/l	0,10 (t)	0,50 (t)
Koppar, Cu	mg/l	0,20 (e, t)	0,20 (e, t)
Ammonium-kväve, NO ₄ -N	mg/l N	0,4 (t)	0,4 (t)
Nitrat-kväve, NO ₃ -N	mg/l N	5 (t)	5 (t)
Nitrit-kväve, NO ₂ -N	mg/l N	0,005 (t)	0,005 (t)
Fosfat-fosfor, PO ₄ -P	mg/l P	0,20 (t)	0,20 (t)
Fluorid, F	mg/l	1,3 (h) ¹	1,3 (h) ¹
Klorid, Cl	mg/l	100 (t)	100 (t)
Sulfat, SO ₄	mg/l	100 (t)	100 (t)
Klor, Cl ₂	mg/l	0,4 (e)	0,4 (e)
Fenoler	mg/l	0,010 (t)	0,010 (t)
Svavelväte		Tydlig lukt (e)	Tydlig lukt (e)
Arsenik, As	mg/l	0,010 (h)	0,010 (t)
Bly, Pb	mg/l	0,01 (h) ²	0,01 (h) ²
Cyanid, CN	mg/l	0,05 (h) ²	0,05 (h) ²
Kadmium, Cd	mg/l	0,001 (h)	0,001 (h)
Krom, Cr	mg/l	0,050 (h) ²	0,050 (h) ²
Kvicksilver, Hg	mg/l	0,001 (h) ²	0,001 (h) ²
Zink, Zn	mg/l	0,3 (t)	0,3 (t)
Bekämpningsmedel		Påvisad halt (h)	Påvisad halt (h)

¹ Gäller barn under 6 månaders ålder

² Otjänligt

LITTERATUR

- Aastrup, M., Thunholm, B., Johnson, J., Bertills, U. och Berntell, A., 1995: Grundvattnets kemi i Sverige. Naturvårdsverket och Sveriges Geologiska Undersökning. *Naturvårdsverkets Rapport 4415*.
 Livsmedelsverket, 1993: Livsmedelsverkets kungörelse om dricksvatten, *SLVFS 1993:35*.

2. Grundvattenpåverkan i Sverige

Bedömningsgrunder för grundvatten – ett verktyg att bedöma graden av påverkan

MATS AASTRUP (SGU)

Syftet med bedömningsgrunder

Grundvatten är en av de miljöer eller naturtyper för vilken bedömningsgrunder för miljö kvalitet är utformade eller under slutförande. De skall vara mallar för bedömning av miljö kvaliteten och därmed ge möjligheter till tolkningar och värderingar av insamlade data. Det kan gälla både tillstånd och förändringar över tiden. För varje parameter görs dels en bedömning av tillståndet, oftast baserad på effekter på omgivande ekosystem eller människors hälsa, dels en bedömning av hur mycket nuvarande tillstånd avviker från ett "naturligt" sådant.

Bedömningsgrunderna är framtagna för att beskriva påverkan av allvarliga miljöhot inom varje naturtyp. Hoten kan vara något olika eller medföra olika effekter i olika miljöer, vilket medför att valet av parametrarna skiljer sig åt för de olika naturtyperna.

Bedömningsgrunderna skall utgöra en länk mellan miljöövervakning och miljömål och kunna tjäna som ett planeringunderlag för förbättrande åtgärder.

Utgångspunkter för bedömning av grundvatten

När det gäller värdering av grundvatten har man utgått från följande egenskaper och funktioner för bedömning:

- som dricksvatten ur hälsosynpunkt
- teknisk användbarhet i distributionsanläggningar för dricksvatten
- förändringar i grundvattennivå
- biologiska effekter på akvatisk biota (gäller endast metaller)

Hoten mot grundvatten

Hoten mot grundvattnet är många. De areella näringarna, transportsektorn, energiproduktion, industrisektorn, den urbana miljön och uttag av vatten påverkar alla vårt grundvatten. Det kan vara frågan om diffusa långtransporterade föroreningar, som t.ex. försurande ämnen som förändrar grundvattnets sammansättning storskaligt eller punktkällor som medför en lokal förorening. De främsta hoten hittills är

och har varit försurningen och kväveläckage. På sistone har även den urbana miljöns förorenande inverkan uppmärksammats.

De sju aspekterna för bedömning

I bedömningsgrunderna för grundvatten har man valt att bedöma grundvattnets tillstånd utifrån sju aspekter, nämligen:

- *alkalinitet – försurning
- * kväve
- * salt – klorid
- * redox
- * metaller
- * bekämpningsmedel
- * grundvattennivå

De parametrar som har valts för att beskriva de olika aspekterna, skall vara tillförlitliga och väl inarbetade. Vanligtvis är det variabler som traditionellt ingår i miljöövervakningens variabelsammansättning, men även i de vanliga fysikalisk-kemiska analyserna som utförs som kontroll av dricksvattenkvaliteten i kommunala och enskilda vattentäcker. En förutsättning för att analysresultaten skall kunna utgöra grund för bedömning av tillstånd och jämförelser är att provtagning och provbehandling utförs på ett enhetligt sätt. Bedömningsgrunderna ger information om hur provtagningen bör gå till.

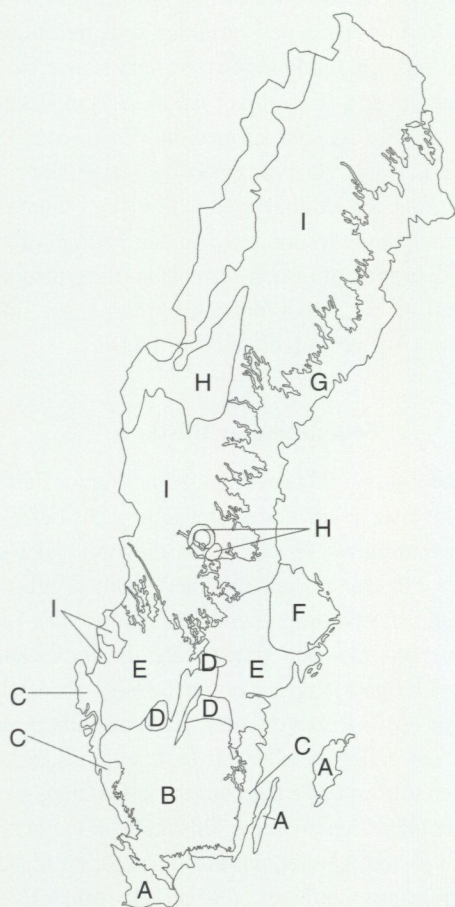
Bedömning av tillstånd

Vid *indelningen i tillståndsklasser* har man i flertalet fall utgått från risken för ogynnsamma hälsoeffekter vid konsumtion av dricksvatten eller tekniska och estetiska effekter i samband med vattnets användning som dricksvatten. Utgångspunkt har varit Livsmedelsverkets rikt- och gränsvärden för dricksvattenkvalitet. Övriga klassgränser har lagts så att de skall ge en stor upplösning i de mest frekventa haltområdena. När det gäller metaller har en klassgräns förlagts till halter som innebär begynnande effekter på akvatisk biota i känsliga ytvatten. Tillståndet är i allmänhet uppdelat på fem klasser, där klass 1 utgör ett tillstånd där inga negativa effekter på hälsa eller miljö är kända eller där halten är ovanligt låg. Därefter ökar effekterna successivt med stigande klass. Klass 5 innebär mycket stor påverkan på miljön eller hälsan.

Jämförvärden och bedömning av avvikelser från jämförvärden

Jämförvärden för parametrar är tänkta att representera naturliga tillstånd utan mänsklig påverkan. I praktiken är de bakgrundsvärden baserade på observationer i mindre påverkade områden. Flera av parametrarna har en mycket stor naturlig variation. Hållområdena kan vara beroende av naturgivna förutsättningar. Jämförvärdena kan därför vara olika för olika regioner eller naturtyper. För parametrarna Alkalinitet – försurning, Redox och Grundvattennivå finns inga jämförvärden. Dessa parametrar kan endast användas för att bedöma förändringar över tiden.

Avvikelsen från jämförvärden som är kvoten mellan uppmätt värde och jämförvärdet är indelad i fem klasser. Jämförvärdet är förlagt mellan klass 1 och 2. Inom klass 1 ryms alltså den naturliga variationen av parametern. Klasserna 2 till 5 står alltså för en allt större grad av påverkan.



Figur 2.1. Geografiska regioner. Fjällkedjan ligger utanför denna indelning, främst p.g.a. bristande dataunderlag.

Indelning i typområden

De naturgivna förutsättningarna gör att grundvattnets kemiska sammansättning kan variera högst väsentligt. För att kunna bedöma om de undersökta grund- eller brunnsvattnen har en normal eller avvikande kemisk sammansättning med avseende på en eller flera parametrar, måste jämförelsen göras med analysresultat som representerar samma naturgivna förutsättningar. Man har därför gjort en indelning i typområden som grundar sig på nio geokemiska – geografiska områden och fem lokala grundvattenmiljöer. Man har dessutom gjort en indelning i två brunnsdjupsklasser eftersom grundvattenkemin ändras med djupet (eller längs grundvattnets flödesbanor). Indelningen i geografiska områden grundar sig på berggrundens och jordlagrens geologiska struktur och mineralinnehåll samt om området har varit täckt av havsvatten eller inte efter senaste istiden (under eller över HK). Den geografiska indelningen i regioner framgår av figur 2.1.

De nio geografiska regionerna

- A. *Sydsvaneriens sedimentära berggrundsområde*
Lättvittrade jordar och bergarter.
- B. *Sydsvenska höglandet*
Relativt svårvittrade berg- och jordarter.
- C. *Väst- och sydostkusten*
Relativt svårvittrade berg- och jordarter. Under HK leror i dalgångar som ökar motståndskraften mot försurning. Höga naturliga kloridhalter.
- D. *Mellansvaneriens sedimentära berggrundsområde*
Jfr region A.
- E. *Mellansvenska sänkan*
Jfr region C.
- F. *Upplands kalkpåverkade område*
Urberg, men jordarna kalkhaltiga och lättvittrade. Höga naturliga kloridhalter förekommer.
- G. *Norrlandskusten*
Under HK. Relativt svårvittrade berg- och jordarter. Höga naturliga kloridhalter förekommer.
- H. *Sedimentära berggrundsområden i Dalarna och Jämtland*
Jfr regionerna A. och D.
- I. *Urbergsområden inom Norrlandsterrängen ovanför HK*
Relativt svårvittrade berg- och jordarter. I västra Dalarna speciellt svårvittrade berggrund.

Grundvattenmiljöernas indelning, figur 2.2, grundar sig på de vanligaste geologiska lagerföljderna i Sverige. De uppvisar olika stora förändringar i vattenkvaliteten, förändringar som är relaterade till olika lång kontakttid mellan mineral och vatten, förekomst av organiskt material i den omättade zonen och syreutbyte mellan mark och vatten.

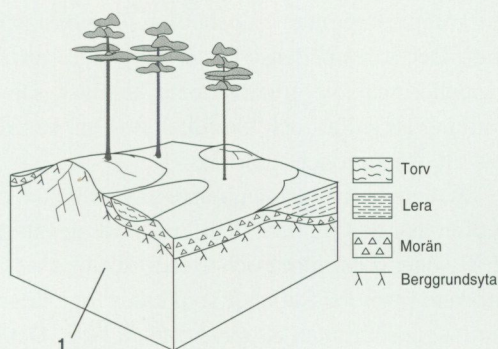
Blockdiagrammen nedan åskådliggör de olika grundvattenmiljöerna.

LITTERATUR

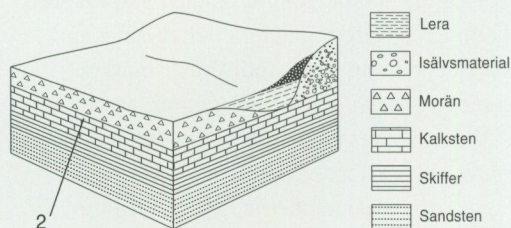
Naturvårdsverket, 1998: *Bedömningsgrunder för Grundvatten*. Remissversionen 1998-04-27

De olika grundvattenmiljöerna är

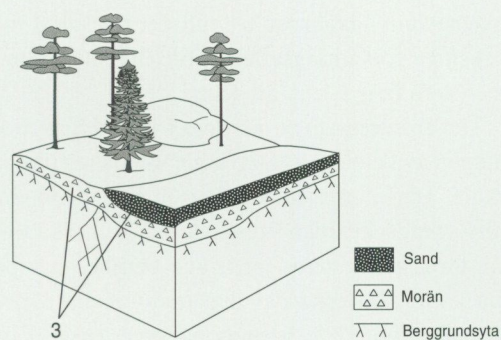
1. Akviferer i kristallin berggrund
2. Akviferer i sedimentär berggrund
3. Öppna akviferer i morän och svallsediment
4. Öppna akviferer i isälvsediment
5. Slutna akviferer i morän och isälvsediment



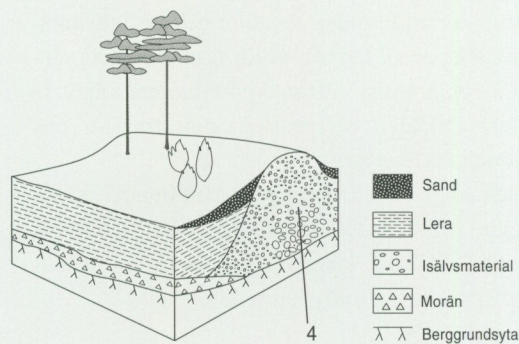
1. Akviferer i kristallin berggrund



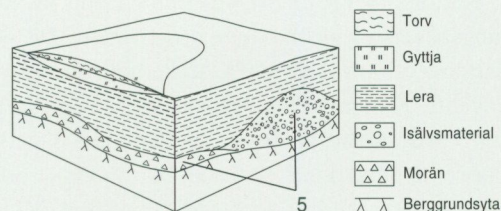
2. Akviferer i sedimentär berggrund



3. Öppna akviferer i morän och svallsediment



4. Öppna akviferer i isälvsediment



5. Slutna akviferer i morän och isälvsediment

Figur 2.2. Lokala grundvattenmiljöer.

Bedömning av tillstånd i Sverige

MATS AASTRUP OCH BO THUNHOLM (SGU)

Med utgångspunkt i de analysdata som finns lagrade i SGUs databaser illustreras i kartform tillståndet i Sveriges grundvatten med avseende på de hot som betraktas som allvarligast i landet, nämligen försurningen och kväveläckaget. För att inte kartorna skall bli alltför svårlästa har vi valt att presentera kommunvisa medelvärden.

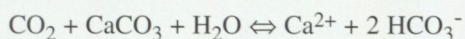
Försurning

Sverige har under lång tid varit utsatt för surt nedfall, framför allt av svavel- och kväveföreningar. Kväveföreningarna verkar inte försurande på grundvattnet så länge växterna förmår ta upp det som deponerats och lagrats i marken. Försurningspåverkan i grundvattnet ger sig till känna genom ökande sulfathalter och baskatjoner, speciellt kalcium och magnesium.

Den sura depositionen neutraliseras i marken genom katjonbyte, vittring och fastläggning av sulfat i marken. Vid jonbytesprocesserna försuras marken och utarmas på baskatjoner, i och med att vätejonerna fastläggs och baskatjonerna går i lösning. På grund av att förrådet av baskatjoner utarmas så är denna neutralisationsprocess tidsbegränsad, åtminstone förändras dess betydelse med tiden.

På lång sikt är det neutralisation genom vittringsprocesser som är av betydelse för grundvattnets sårbarhet för försurning. Vittringen producerar vätekarbonatjoner (HCO_3^-) och baskatjoner, framför allt kalcium och magnesium.

Som ett mått på antropogen försurningspåverkan har tidigare ofta kvoten mellan alkalinitet och totalhårdhet ($\text{Ca}+\text{Mg}$) använts. Det grundar sig på att naturlig kolsyravittring enligt summaformeln:



ger lika stor mängd (ekvivalenta mängder) baskatjoner, varav det mesta är kalcium och magnesium, och vätekarbonat (alkalinitet). Det ger alltså ett 1:1-förhållande och kvoten blir 1. Vid starksyravittring, som sker vid deposition av svavelsyra, bildas det istället dubbelt så mycket baskatjoner som alkalinitet, och kvoten blir 0,5. Kvoten alkalinitet/totalhårdhet visar ett tillstånd i grundvatten, men användandet av den för att bedöma antropogent betingad försurningspåverkan är inte invändningsfri. Man har därför

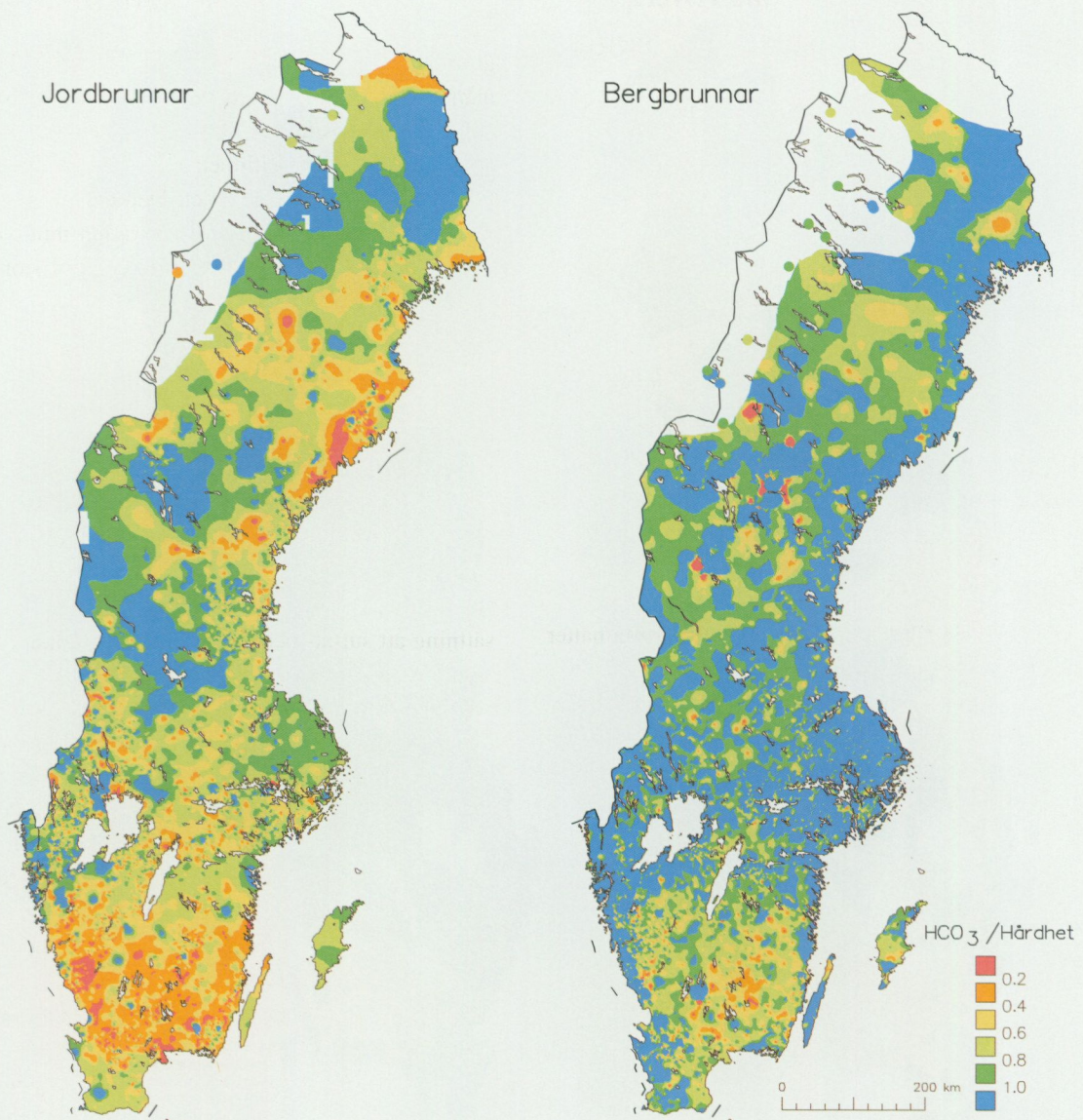
i bedömningsgrunderna i stället använt sig av en jämförelse mellan försurningsbelastningen och grundvattnets motståndskraft mot försurningen. Som mått på försurningsbelastningen används den regionala sulfatdepositionen exklusive sulfat av marint ursprung. Sulfatdepositionen är omräknad till sulfathalt i det infiltrerande vattnet. Depositionsdata från 1985–89 har använts. Motståndskraften mot försurningen av vattnet i en brunn beror på hur stor vittringskapaciteten är i brunnens tillrinningsområde. Ett mått på hur stor den är ges av brunnsvattnets alkalinitet. Alkaliniteten kan också sägas vara vattnets kvarvarande motståndskraft mot försurning.

Man kan ju invända mot att användningen av den senare beskrivna kvoten inte beskriver tillståndet med avseende på försurningspåverkan i brunnen eller grundvattnet utan en *potentiell* försurningspåverkan. Det har emellertid visat sig genom ett flertal modelleringar av grundvattnets kemiska sammansättning att sulfat- och kloridhalterna väl kan relateras till depositionens storlek.

Osäkerheterna i användningen av kvoten alkalinitet/totalhårdhet är flera. Tillförseln av negativt laddade joner, t.ex. nitrat och klorid, åtföljs av positivt laddade joner, baskatjoner som kan vara kalcium eller magnesium utan att alkaliniteten ökar. Det betyder att kvoten minskar utan att antropogen syra tillförts. Om andra baskatjoner åtföljer de tillförda anjonerna kan de utbytas i marken mot kalcium och magnesium. Oxidation av sulfider till sulfat medför också en försurningseffekt, som inte är antropogen, men som fångas upp av denna kvot.

Det är intressant att jämföra i vilken mån användningen av de olika kvoterna ger skilda resultat i riks-skala. Därför presenteras kartor med beräkning av försurningspåverkan enligt de två olika koncepten. Kartorna presenterar jord- och bergbrunnar på var sin karta. Kartorna där den traditionella surkvoten använts, figur 2.3, baseras på varje enskild brunn, medan kommunmedelvärden för brunnarnas alkalinitet, figur 2.4, har använts vid beräkningar enligt bedömningsgrundernas direktiv.

Kartorna visar i stort sett samma bild av försurningspåverkan på Sveriges grundvatten. De senare kartorna blir utslätade p.g.a. att kommunmedelvärden använts. Kommunerna skär också geologiska gränser, vilket gör att gränserna mellan olika påverkansklasser är förskjutna. Vad man bör notera är att området som är klassat som starkt påverkat (Klass 4) enligt bedömningsgrunderna är något förskjutet åt öster samtidigt som inslagen av Klass 1 (ingen eller



Figur 2.3. Försurningspåverkan av jord- resp. berggrundvatten. Påverkan är uppskattad genom användningen av kvoten alkalinitet/totalhårdhet. Beräkningen är gjord på varje enskild brunn var för sig. Ju lägre värde på kvoten, desto större är försurningspåverkan. (Från Aastrup et al., 1995.)

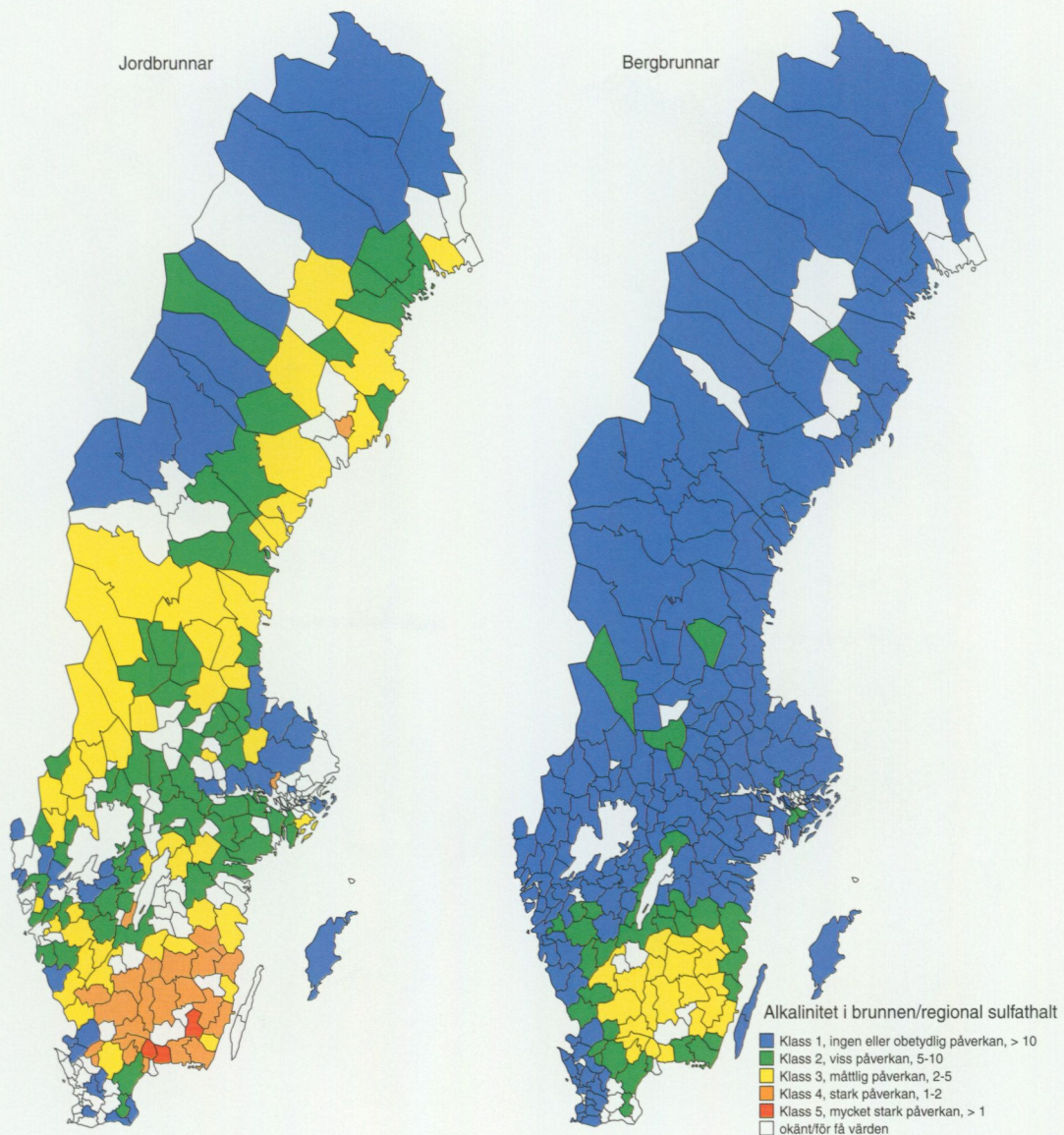
obetydlig påverkan) och Klass 2 (viss påverkan) blivit fler utefter västkusten. Utefter Norrlandskusten har inslagen av stark försurningspåverkan dämpats något. Det kan ses som en indikation på att delar av den kraftiga försurningspåverkan i dessa områden som illustreras när man använder kvoten alkalinitet/totalhårdhet, beror på oxidation av sulfider.

De kartbilder som visas här, framtagna enligt två olika koncept, ger i stort sett likvärdig information, och kan användas för att ge en rikstäckande bild av försurningspåverkan under förutsättning att tillräckligt stor datamängd finns. Mycket talar dock för an-

vändningen av det i bedömningsgrunder givna konceptet. Det ger säkrare information om antropogent betingad försurningspåverkan och är mer användbart vid bedömning av enstaka brunnar, speciellt gäller det vid studier av förändringar över tiden.

Kväve

Kvävehalterna i grundvatten är i allmänhet mycket låga. Nitratkvävehalten överstiger sällan 1 mg/l i naturliga system. Jämförvärdet är därför 1. Förhöjda



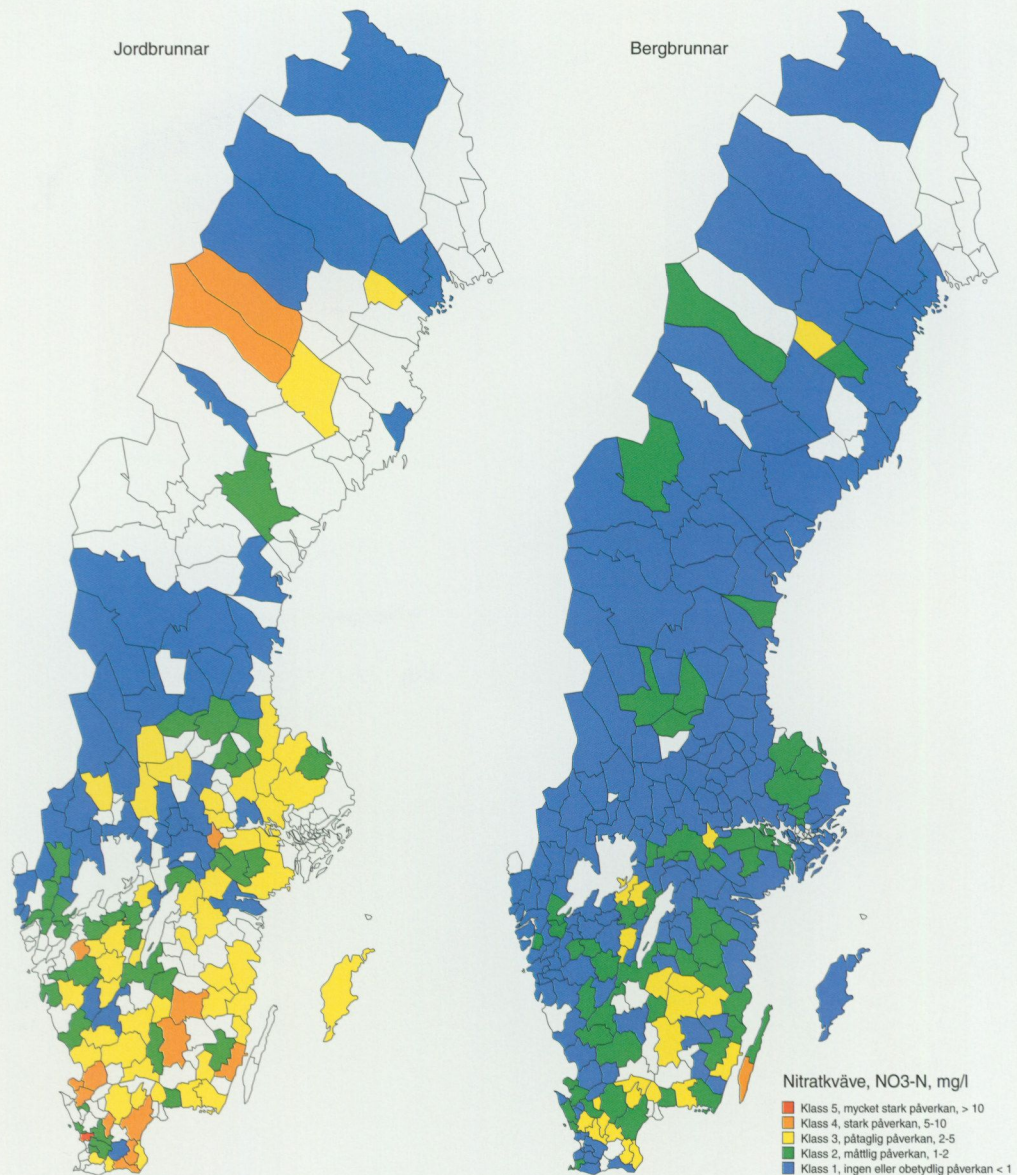
Figur 2.4. Försurningspåverkan på jord- resp. berggrundvatten. Beräkningarna är gjorda på kommunmedelvärden för brunnsvattnens alkalinitet. Försurningspåverkan är beräknad enligt den metod som är angiven i bedömningsgrunder: Alkaliniteten i brunnen / regional sulfathalt

halter är nästan alltid försakade av läckage från gödslad jordbruksmark eller avloppsledning. Som framgår av kartorna, figur 2.5, är det framför allt jordbrunnar i kommuner med intensivt odlad jordbruksmark i södra Sverige som är mycket starkt eller starkt påverkade.

Grundvattennivåer

Förändringar i grundvattennivåer påverkar grundvattnets kvalitet på olika sätt. Ett vanligt problem i

samband med brist på grundvatten är risk för höga kloridhalter i kustnära och låglänta områden. Problemet kan bli mer akut på grund av att nivåerna som normalt är låga under sommaren sjunker ytterligare genom att konsumtionen av grundvatten ofta blir stor vid koncentrerat fritidsboende i närheten av kusterna. Ett annat kvalitetsproblem som delvis beror på nivåvariationer är halten av järn och mangan. I samband med stigande grundvattennivåer är förhöjda järn- och manganhalter vanligt förekommande, vilket beror på att utfällt järn och mangan går i lösning



Figur 2.5 Kartorna visar en klassning av avvikelser från jämförvärde med avseende på nitratkvävehalt. Den vänstra kartan avser jordbrunnar och den högra berggrundvatten. Avvikelseklassningen grundar sig på medelvärden för nitratkväve för landets kommuner. Data är från det speciella dataset vid SGU omfattande analyser från enskilda brunnar som använts för att ta fram jämförvärden. Kommuner med färre än 5 analyser är ofärgade.

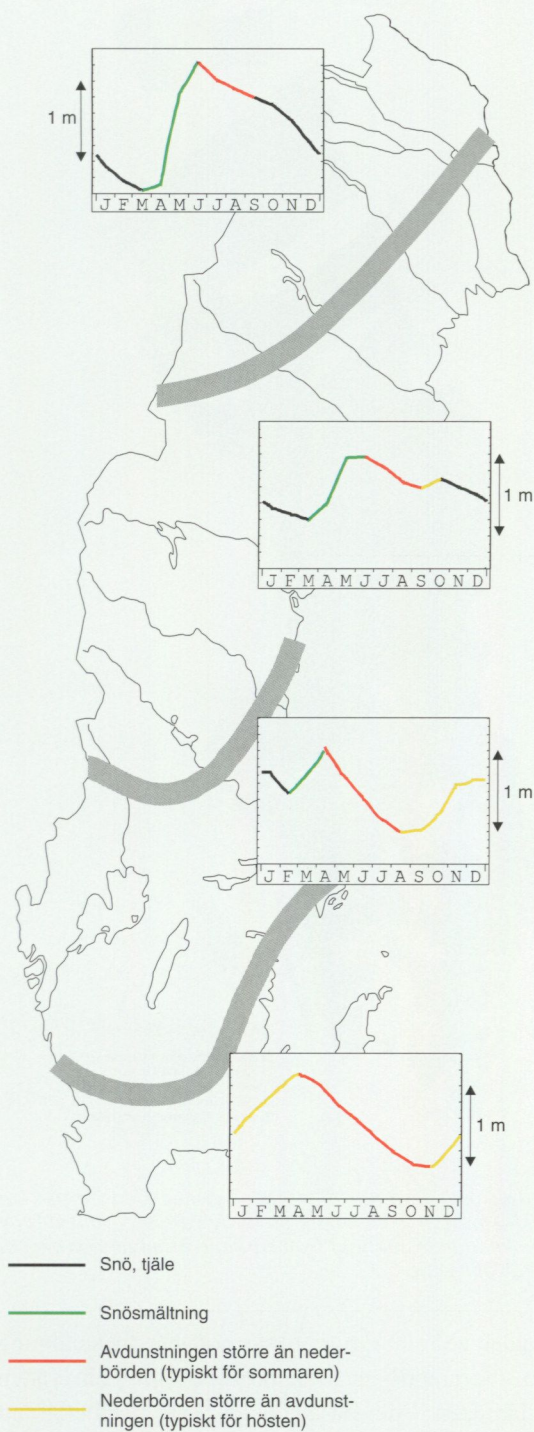
då tillgängligt syre minskar. Vid stor grundvattenbildning och höga nivåer kan också ytvatten med höga halter organiskt material bidra med järn och mangan genom direktinfiltration i brunnar.

Grundvattennivåerna förändras av naturliga orsaker, huvudsakligen variationer i nederbörd och avdunstning. Inom SGUs grundvattennät sker en kontinuerlig övervakning av de naturliga nivåvariationerna. Mätningarna inom grundvattennätet visar att variationsmönstret har olika utseende i olika delar av

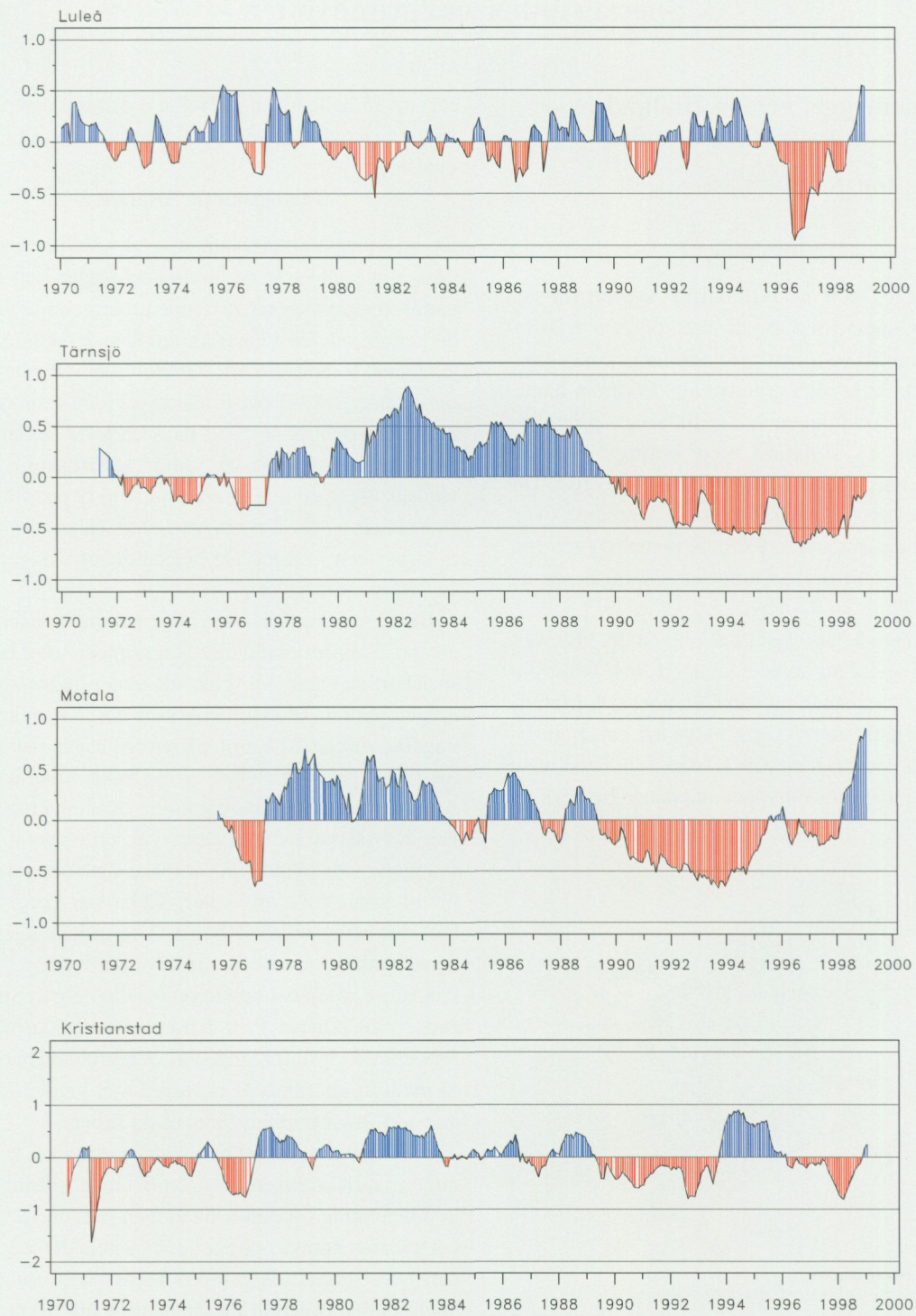
landet, se figur 2.6. Längst i norr har snösmältningen under april–maj stor betydelse för grundvattenbildningen. I de södra delarna pågår i stället grundvattenbildningen mer eller mindre kontinuerligt från omkring oktober till april. Detta beror huvudsakligen på jämförelsevis liten avdunstning under den perioden. I stora grundvattenmagasin, huvudsakligen sand- och grusåsar, är variationerna i allmänhet trögare och återspeglar ofta flerårsvariationer i nederbörd och avdunstning, se figur 2.7. Exempelvis kan

Grundvattennivåer

noteras att i nordöstra Götaland och östra Svealand var nivåerna relativt höga under större delen av 1980-talet.



Figur 2.6. Grundvattnets genomsnittliga nivåvariationer i olika delar av Sverige.



Figur 2.7. Grundvattennivåns avvikelse från månadsmedelvärdet i meter vid några stationer i stora grundvattenmagasin inom SGUs grundvattennät från 1970 till 1999.

LITTERATUR

Aastrup, M., Thunholm, B., Johnson, J., Bertills, U. och Berntell, A., 1995: Grundvattnets kemi i Sverige. Naturvårdsverket och Sveriges Geologiska Undersökning. *Naturvårdsverkets Rapport 4415*.

3. Specialstudier om grundvatten

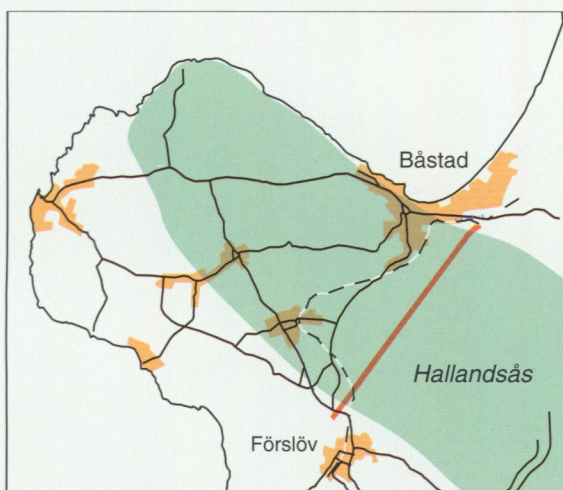
Tunnelbygget genom Hallandsås – grundvattenförhållanden

JOHAN ANDERBERG (SGU)

Inledning

Tunnelbygget genom Hallandsås avbröts hösten 1997 efter upptäckten av att restprodukter från injekteringsmedel som använts i tunnarna kontaminerat omgivande yt- och grundvatten. Förutom hanteringen och spridningen av miljöfarliga produkter uppdagades en situation med kraftigt avsinkta grundvattennivåer i anslutning till tunnelbygget. Det totala inläckaget av grundvatten till tunnarna översteg gällande vattendom för hela tunnelbygget trots att endast en tredjedel av tunnelsträckningen var utförd.

Den planerade järnvägstunneln är en del i Banverkets satsning för att utveckla person- och godstrafiken på Västkustbanan mellan Göteborg och Malmö. Tunneln är tänkt att utföras som två 8,5 km långa parallella tunnelschakt mellan Båstad och Förslöv, se figur 3.1. Innan tunnelbygget stoppades bedrevs ar-



Figur 3.1. Planerad tunnelsträckning genom Hallandsås.

betet från tre fronter. Den utsprängda tunnelsträckan var vid norra tunnelpåslaget närmare 1200 m, vid mellanpåslaget mindre än 50 m och vid södra påslaget ca 1700 m.

Sveriges geologiska undersökning (SGU) har på uppdrag av Regeringens Tunnelkommission sammanställt och beskrivit de geologiska och hydrogeo-

logiska förhållandena på Hallandsås samt den påverkan på omgivningen som grundvattensänkning medfört.

Geologiska förhållanden

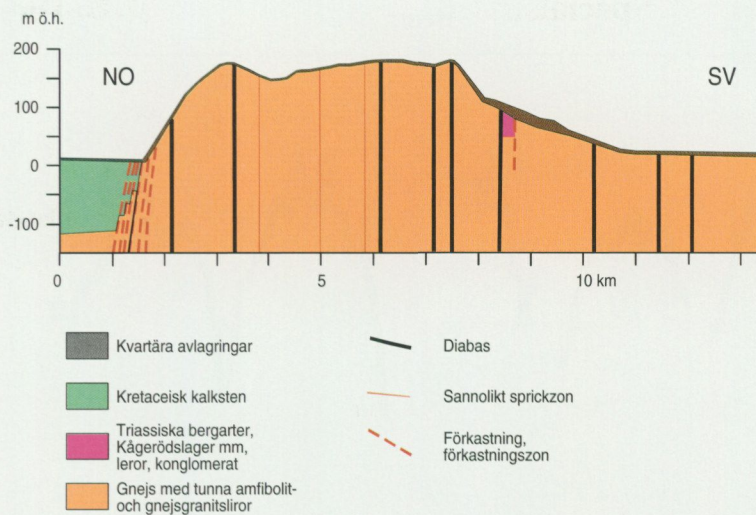
Ett av de mest utmärkande dragen i Skånes natur är dess åsar som visar att landskapet ligger i ett övergångsområde med omväxlande urberg och sedimentär berggrund. Dessa åsar är i geologisk mening uppskjutande urbergsribbor, *horstar*, som formats av omfattande tektoniska rörelser och deformationer i berggrunden. I geologiskt hänseende är Hallandsås och Bjärehalvön delar av samma urbergshorst. Hallandsås utgör en markerad höjd med mycket branta sluttningar på såväl norra som södra sidan, samt mot Sinarpsdalen i väster. De högsta delarna ligger mer än 200 m över havet.

De tektoniska rörelserna har resulterat i zoner med en spröd uppsprickning av berggrunden efter branta sprickor, se figur 3.2. Den planerade tunnelsträckningen genom Hallandsås korsar dessa sprickzoner ungefär vinkelrätt. I spricksystemen har basisk magma trängt upp och stelnat till diabaser, vilka nu står som branta skivor i berggrunden. Kontakterna mellan diabaserna och urberget har ofta agerat som svaghetszoner längs vilka rörelser ägt rum som lett till utbildning av myloniter (finkrossat berg) eller breccior (fragmenterat berg). Uppsprickningen av berggrunden har också medfört att vittring lokalt kunnat gå på djupet och leromvandla berget. Spröda zoner omväxlande med leromvandlade kan därför förväntas. Uppsprickningen av berggrunden har också medfört att denna är betydligt mer vattenförande än vad som är normalt för svenskt urberg.

Vid den norra respektive södra randzonen kan en mindre sprickfrekvens och omfattande vittring och leromvandling förväntas liksom en jämförelsevis liten vattengenomsläpplighet. Längs hela den centrala delen av tunnelsträckningen kan vattenföringen i berggrunden generellt förväntas vara stor till mycket stor med hänsyn till ett flertal brantstående sprickzoner.

Grundvattnet på Bjärehalvön och Hallandsås

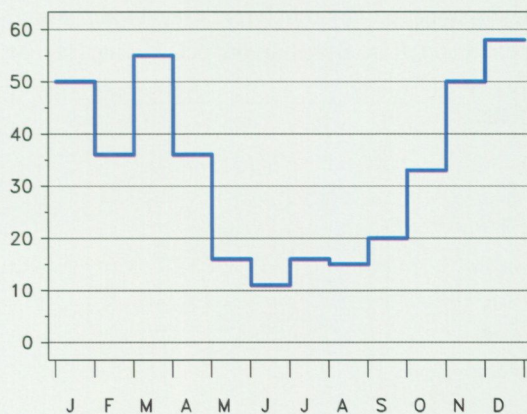
Nederbörden på Bjärehalvön och Hallandsås varierar från ca 800 i de kustnära områdena till 1000 mm/år i Hallandsås höjdområden. Den effektiva ne-



Figur 3.2. Tvärsnitt längs tunnelsträckningen genom Hallandsås (Sivhed, 1998).

derbörden, d.v.s. den mängd som är tillgänglig för grundvattenbildning, uppgår enligt SMHI till i storleksordningen 350–450 mm/år på Hallandsås. De månadsvisa variationerna framgår av figur 3.3.

Hallandsås höjdområden utgör typiska inströmningsområden för vatten där huvuddelen av den effektiva nederbörden bildar grundvatten i jordlagren. Uppehållstiden för grundvattnet är kort innan ut-



Figur 3.3. Variationer i effektiv nederbörd, mm/månad. Beräknade 30-års medelvärden enl. SMHI.

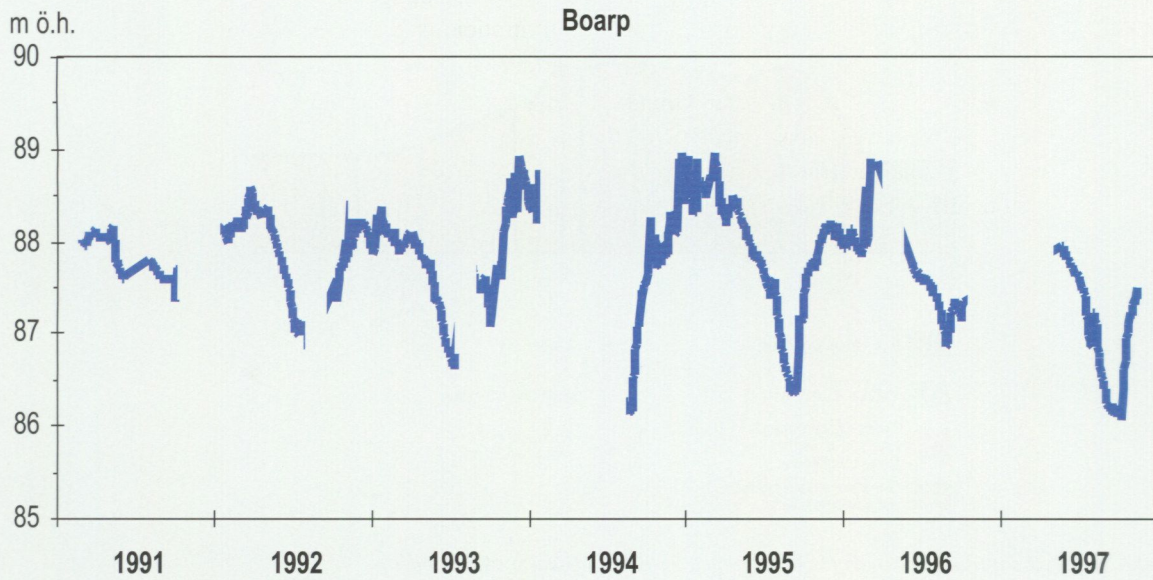
strömning sker i lågpunkter i terrängen som våtmarker, källor och vattendrag. Grundvattenbildning till berggrunden sker när grundvattnets trycknivå i jordlagren överstiger det som råder i berggrunden. I de utredningar och modellstudier som berör tunnelbygget genom Hallandsås har 100 till 120 mm/år angivits som ett riktvärde för grundvattenbildningen till berggrunden under naturliga förhållanden.

Vid mätningar före tunnelbygget påvisades grundvattennivån i bergborrade brunnar längs tunnelsträckningen vanligen mindre än 10 m under markytan. I utströmningsområdena nedanför Hallandsås förekom (och förekommer) artesiska förhållanden i berggrunden. Grundvattennivåerna i grävda brunnar längs tunnelsträckningen påträffades ofta 1–3 m under markytan.

SGUs mätstation i Boarp är belägen på Bjärehalvön, utanför tunnelbyggets påverkansområde. Av figur 3.4 framgår att en liten grundvattenbildning under sommaren medför låga grundvattennivåer medan en påfyllnad sker under höst och vinter. De senaste nederbördsfattiga åren avspeglas tydligt i form av sjunkande grundvattennivåer, särskilt under 1997.

På Hallandsås styrs grundvattenströmningen i jordlagren och berggrundens övre, ofta mer uppspruckna, delar främst av de lokala topografiska förhållandena. I berggrunden utgör enskilda sprickor och sprickzoner med betydligt större genomsläpplighet än omgivande bergmassa de huvudsakliga transportvägarna för grundvattnet. Grundvattnets regionala, djupare, strömning i berggrunden sker från Hallandsås höjdområden mot Skälderviken i sydväst, Sinarpsdalen i väster och Laholmsslätten i norr. I den regionala skalan påverkas strömningen också av större vattenförande sprickzoner, särskilt de dominerande NV–SO-liga sprickzonerna, vilka också framträder i topografien som tydliga raviner och dalgångar.

Studier av SGUs brunnsarkiv visar att Hallandsås berggrund är mer vattenförande än motsvarande berggrund i de flesta andra områden i Sverige. Den



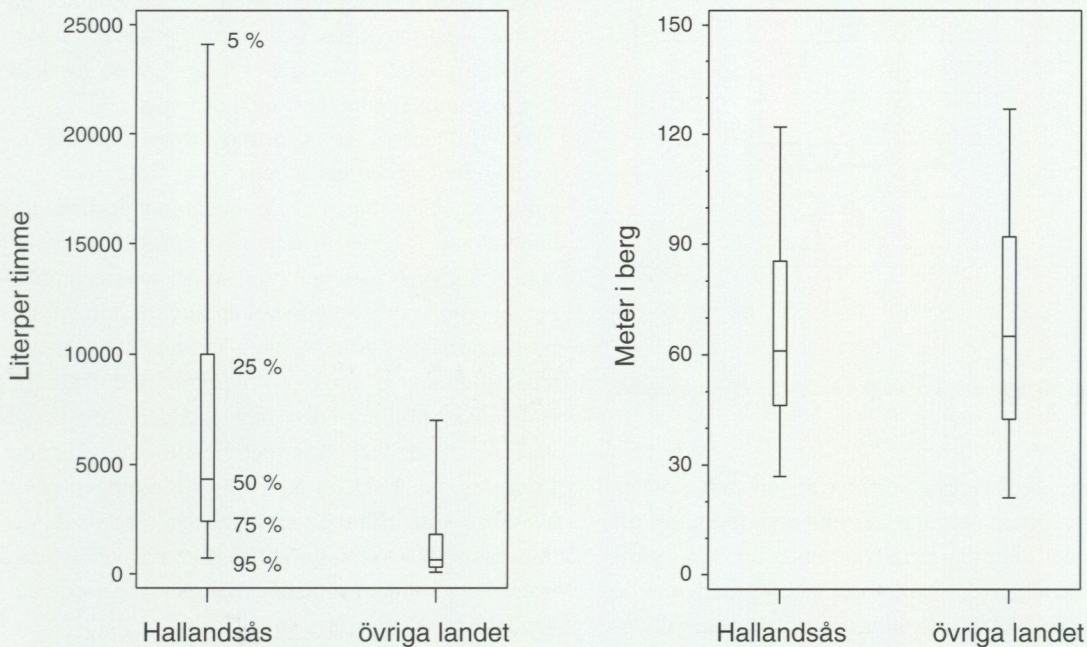
Figur 3.4. SGUs grundvattenstation i Boarp.

genomsnittliga brunnen har en mediankapacitet på 4320 l/tim, är 70 m djup och har 3,5 m jordtäckning, vilket kan jämföras med 650 l/tim, 70 m och 3 m för urbergsbrunnar i övriga landet. Extrembrunnar med mycket stor vattenföring är betydligt mer vanligt förekommande på Hallandsås, se figur 3.5.

Närmare 1000 brunnar på Bjärehalvön och Hallandsås västra del finns registrerade i SGUs brunnarkiv. De flesta är borrade i berg och belägna på Bjärehalvön och slättområdena utanför Hallandsås. I an-

slutning till tunnelbygget har ca 170 bergborrade brunnar och 320 grävda brunnar för konsumtions- och bevattningsändamål på Hallandsås registrerats.

Med undantag för Båstads tätort, som förses med vatten från jordlagren, baseras den kommunala vattenförsörjningen i huvudsak på berggrundsvatten. Grundvattenuttaget för jordbrukssändamål är mycket stort, sannolikt finns ca 250 bergborrade bevattningsbrunnar på Bjärehalvön. Det totala grundvattenuttaget från Bjärehalvön och Hallandsås be-



Figur 3.5. Jämförelse mellan Hallandsås och övriga landets urberggrund. Till vänster vattenmängd och till höger brunn djup i berg, enligt SGUs brunnarkiv. T.ex. kan utläsas att 25 % av alla brunnar vid Hallandsås ger mer än 10 000 l/tim jämfört med 1 800 l/tim i övriga landet.

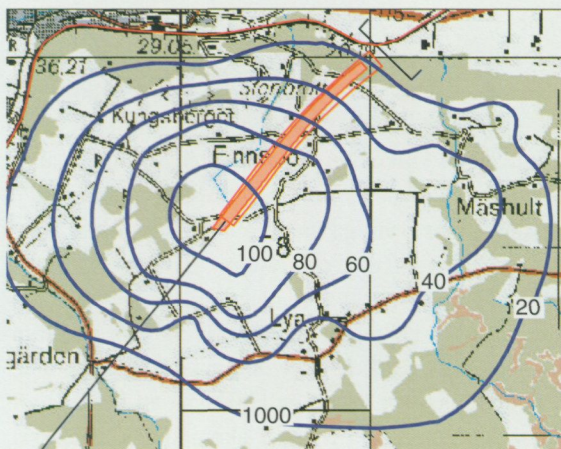
döms årligen vara mellan 3 och 6 miljoner m³ (100–200 l/s). Huvuddelen utvinns ur berggrunden.

Före tunnelbygget genomfördes provtagning och analys av grundvattnet i 16 borrade brunnar. Grundvattnet befanns vara svagt alkaliskt med relativt höga järn- och manganhalter. Hårdheten varierade mellan ca 4 och 6 °dH. Järnhalterna översteg vanligen 1 mg/l.

Grundvattensänkningen

1992 erhöll Banverket tillstånd av Vattendomstolen att leda bort grundvatten från två enkelspårstunnlar genom Hallandsås. Tillståndet avser bortledning av maximalt 3,5 l/s per km tunnelsträcka eller sammanlagt 33 l/s från de båda tunnlar. Domslutet avser såväl byggskede som färdigbyggd tunnel. 1995 erhöles tillstånd att tillfälligt leda bort ytterligare 15 l/s från ett mellanpåslag mitt på Hallandsås. När tunnelarbetena avbröts hösten 1997 var det totala inläckaget 55 l/s, varav ca 35 l/s enbart vid det norra påslaget.

Tunnlarna genom Hallandsås fungerar som stora horisontalbrunnar dit grundvattnet strömmar från sprickor i omgivande berggrund. Inläckaget medför en trycksänkning som avspeglas i form av sänkta grundvattennivåer. I figur 3.6 visas den maximala grundvattensänkningen vid norra påslaget under hösten 1997. Sedan dess har grundvattennivåerna stigit med 10–30 m vid den norra tunneldelen i samband med grundvattenbildning under vintern och vårvintern.



Figur 3.6. Interpolering av största uppmätta avsänkning vid norra påslaget.

Trycksänkningen i berggrunden medför en ökad infiltration av grundvatten från jordlagren till berggrunden. Resultat från en utförd grundvattenmodellering indikerar en ökning av grundvattenbildningen med upp till 25 %. Sedan tunnelbygget påbörjades har ca 70 enskilda brunnar ersatts eller fördjupats varav mer än 50 utgjorde grävda brunnar i jordlagren. På grund av de stora grundvattensänkningar som uppkommit har ersättningsbrunnarna ofta utförts till stort djup, 150–200 m under markytan.

Den ökade grundvattenbildningen till berggrunden medför att grundvattentillgången i jordlagren minskar och därmed även utflödet av grundvatten till våtmarker, källor och vattendrag. Enligt lokala uppgifter kunde en omfattande uttorkning av källor, bäckar och dammar märkas under sommaren och hösten 1997, särskilt vid norra tunnelpåslaget. Vid bedömningar av tunneldrivningens effekter måste också beaktas att 1996 och 1997 är att betrakta som hydrologiska torrår.

Den framtida grundvattensituationen

Den framtida grundvattensituationen kan diskuteras med utgångspunkt i en fullständig tätning av tunneln alternativt att ett visst inläckage tillåts. Problem med inläckande grundvatten och avsänkta grundvattennivåer bedöms som mycket sannolika vid en fortsatt tunneldrivning. Möjligheterna att reducera grundvattensänkningen till en miljömässigt acceptabel nivå är helt beroende av om inläckaget kan minskas genom tätningsåtgärder i motsvarande omfattning.

Utförda modellberäkningar visar att vid en fullständig tätning av nuvarande inläckage kommer systemets vattenbalans att återställas inom ca 2–3 år. Grundvattensänkningen fram till idag bedöms inte medföra någon långsiktig påverkan på det ekologiska systemet med hänsyn till att effekterna än så länge säkerligen kan jämföras med en serie av torrår som naturligt kan inträffa. Vissa kvalitetsförändringar kan dock förväntas, bl.a. kan grundvattnets naturliga innehåll av järn och mangan, åtminstone i ett inledningskede, öka utöver de redan höga halterna i bergborrade brunnar nära tunneln.

Vid ett visst permanent inläckage av grundvatten kommer en successiv dränering av bergmassan att ske, tills dess att ett jämviktstillstånd uppnås mellan inläckaget till tunneln och grundvattenbildningen till berggrunden. Utförda modellberäkningar enligt alternativet att tunneln färdigställs enligt erhållen vattendom visar att en betydande permanent grund-

vattensänkning i berggrunden kan förväntas i tunnelns omgivningar. Grundvattensänkningen medför en minskad omsättning av ytligt grundvattnen på Hallandsås vilket kan medföra en påverkan på det ekologiska systemet på lång sikt i anslutning till naturliga utströmningsområden som källor, våtmarker och vattendrag. Ett bättre beslutsunderlag behövs dock med avseende på ekologiskt känsliga miljöer och naturvärden på Hallandsås och hur dessa långsiktigt kan påverkas.

SGU pekar i utredningen på vikten av att skilja på effekterna av en grundvattensänkning under byggskedet och för en färdig tunnel. En stor grundvattensänkning i byggskedet behöver inte medföra en långsiktig omgivningspåverkan om denna är lokal och begränsad i tiden. Det viktiga är att den permanenta grundvattensänkningen i anslutning till en färdig tunnel inte medför en, från miljösynpunkt, långsiktigt oacceptabel omgivningspåverkan.

Sammanfattningsvis kan konstateras att geologin på Hallandsås är komplicerad och att en rad geologiska och hydrogeologiska faktorer påverkar genomförandet av byggprojektet. Kvalificerad information avseende berg-, jord- och grundvattenförhållanden, liksom en god kännedom om hur dessa samverkar, är en grundläggande förutsättning för ett fortsatt tunnelbygge genom Hallandsås, med rätt teknik och på ett miljömässigt sätt.

LITTERATUR

Anderberg, J., Daniel, E., Gustafsson, O., Gustafsson, M., Sivhed, U. och Wikman, H., 1998: *Tunnelbygget genom Hallandsås. Geologi – grundvatten*. Bilaga till "Kring Hallandsåsen, Delrapport av Tunnelkommissionen, SOU 1998:60".

Geologi och hälsa

OLLE SELINUS (SGU)

Sveriges berggrund, jordlager och vatten varierar kraftigt i sin kemiska sammansättning. För höga halter av vissa kemiska element kan innebära en direkt risk för djurs och människors hälsa. Brunnsvatten kan innehålla tungmetaller som frigjorts från mark och berggrund och som gör vattnet hälsovådligt. Om det innehåller för låga halter av vissa ämnen kan vi få bristsjukdomar.

På 1930-talet rapporterades i Kina om en hjärtmuskelsjukdom som återfanns i ett stort område från den sydvästra till den nordöstra delen av landet. Sjukdomen skulle senare komma att kallas Keshansjukan. På 1960-talet började man misstänka att den hade naturliga orsaker och under det följande decenniet kunde orsakssammanhanget fastställas. Geologer bidrog till detta genom att de kunde konstatera att det förelåg mycket låga halter av selen i vatten och jordar i det aktuella området på grund av låga halter i berggrunden. Sjukdomen visade sig bero på att människor och djur hade ett underskott av selen, och när befolkningen fick selentabletter upphörde eller lindrades i de flesta fall sjukdomssymptomen.

Även från Bengalen i Indien finns exempel på hur geologiska förhållanden kan förorsaka allvarliga hälsoproblem. Byborna i dessa områden har fått hjälp med att anlägga brunnar som tar upp grundvatten från ofta mer än 150 meters djup. Genom detta vattentillskott kan man nu odla en ny typ av högvastande ris som har revolutionerat det lokala jordbruket. Men dessa framsteg har förorsakat en mänsklig katastrof. Berggrunden består av bergarter med arsenikrik svavelkis. Genom det kraftiga uttaget av vatten har grundvattenytan sjunkit, svavelkislagren har frilagts och oxiderats och arsenik har kommit ut i vattnet. Minst 200 000, kanske så många som 500 000 människor har blivit arsenikförgiftade i mer än 400 byar. Liknande exempel finns också från andra länder, t.ex. Taiwan, där 20 000 människor förgiftades av arsenik på 1960-talet.

I Australien anser urinvånarna, aboriginerna, att vissa områden i landet är heliga och i flera fall dessutom farliga. I ett område, Kakadu Conservation Zone ("Sickness Country"), förbjöd urinvånarnas tradition dem att gå in i området eftersom man blev sjuk och dog om man gjorde det. Australiska geokemister fann att berggrunden i området bestod av graniter och vulkaniter med kraftigt förhöjda halter av vissa element. I grundvatten och dricksvatten återfanns hälsovådliga halter av thorium, uran, arsenik, kvicksilver, fluor och radon.

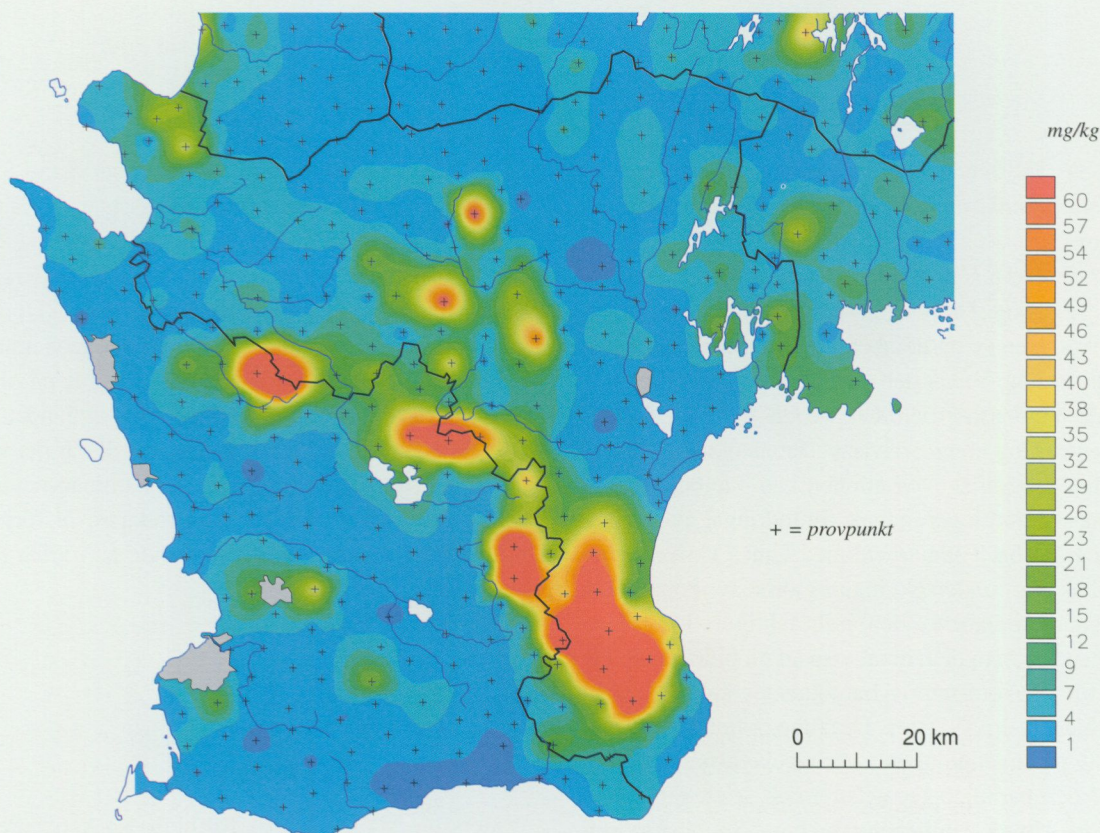
Jod och fluor är två element som är nödvändiga för mänskligt välbefinnande. Det är välkänt vad som inträffar vid överskott eller underskott av dem, men däremot kanske inte många tänker på att det är geologiska orsaker som ligger bakom deras effekt på hälsan. Redan i början av 1900-talet kände man till att höga fluorhalter i dricksvatten kunde leda till fluorosis, som innebär ben- och leddeformiteter och invaliditet. Samtidigt leder en måttlig förhöjning av

halten till starkare tänder. Vanligen ligger fluoridhalterna i området ligger 0.1–1 mg/l, men på många ställen i Indien, Kina och Afrika förekommer halter på upp till 40 mg/l, vilket leder till allvarlig fluorosis.

Det finns alltså många exempel på hur geologiska förhållanden påverkar vår hälsa. Metallinnehåller i jordar och vatten dokumenteras genom geokemiska undersökningar. Vid Sveriges geologiska undersökning (SGU) pågår sedan 1982 en biogeokemisk kartläggning av tungmetaller i miljön i detta syfte. Analys av rötter av vissa örter och vattenlevande mossor från bäckkanter ger en bild av belastningen på vattendrag. Växterna suger åt sig metaller från det förbibrinnande vattnet. Halterna ger en integrerad bild av tungmetaller av geologiskt och antropogent ursprung. En styrka med denna kartläggning är att genom att det är växtmaterial som provtas och analyseras fås information om vad som tagits upp av levande organismer, alltså vad som är biotillgängligt. Kan växterna ta upp metallerna kan människan sannolikt också göra det.

I mitten av 1980-talet genomförde SGU biogeokemisk kartering i Skåne. Den avslöjade ett brett stråk i nordväst–sydostlig riktning genom Skåne med kraftigt förhöjda kadmiumhalter (figur 3.7). Den analys som SGU i samarbete med Skånska Lantmännen gjorde av kadmium i höstveten visade på kraftigt förhöjda halter. Vattenprover från brunnar i området analyserades också (figur 3.8). Brunnarna i regionen hade genomsnittshalter av kadmium som var mycket högre än Världshälsoorganisationens (WHO:s) rekommenderade gränsvärde. Undersökningar visade också att älgar i motsvarande område hade kraftigt förhöjda kadmiumhalter i njurarna. Kadmium är en giftig metall som anrikas i njure och lever. I samarbete med Malmöhus Läns Landsting har SGU utfört undersökningar för att försöka fastställa vad som orsakar de höga kadmiumhalterna. Möjliga källor kan vara fosfatgödselmedel, nedfall från kontinenten och industriutsläpp i regionen. Enligt den undersökning som gjordes kan en trolig förklaring till de höga kadmiumhalterna i vattnet vara

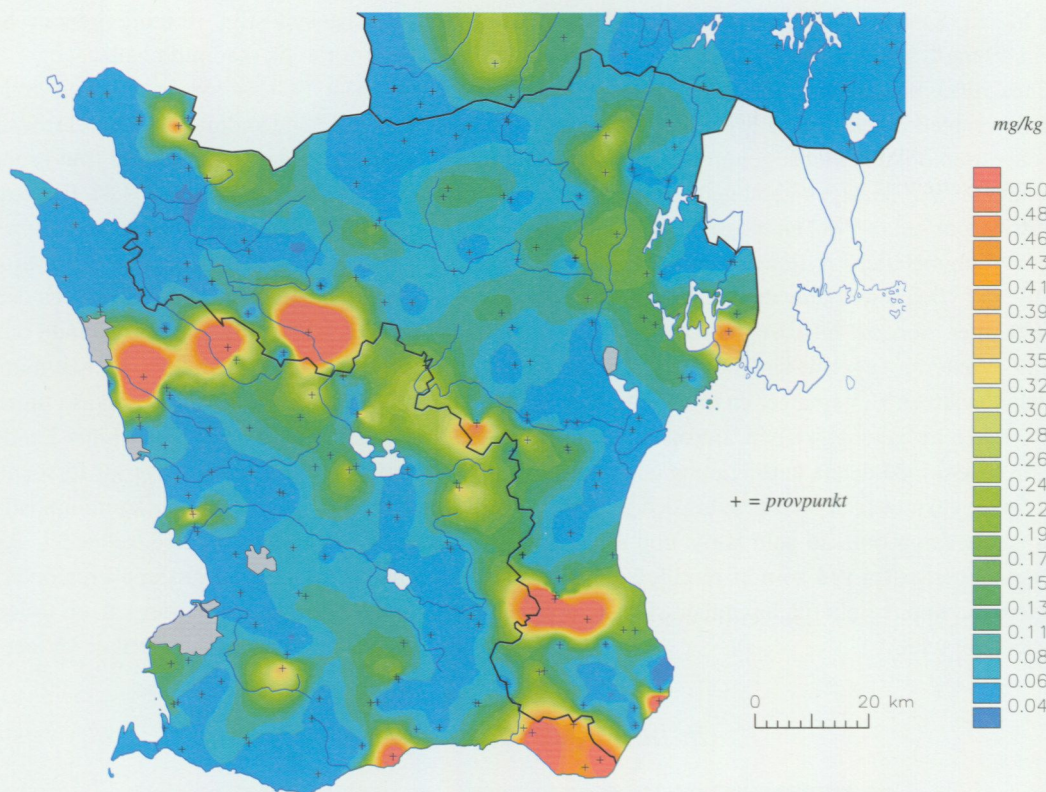
Kadmium i bäckvattenväxter



Sveriges Geologiska Undersökning, Geokemiska enheten

Figur 3.7. Kadmium i bäckvattenväxter.

Kadmium i brunnsvatten



Sveriges Geologiska Undersökning, Geokemiska enheten

Figur 3.8. Kadmium i brunnsvatten.

att den sandsten som underlagrar området och vari många brunnar är nedförda innehåller mycket kadmium.

En sjukdom som delvis kan vara förorsakad av naturliga, geologiska förhållanden, är barndiabetes, typ 1. Förekomsten av barndiabetes i Sverige är internationellt sett hög. Vi har den näst Finland högsta rapporterade incidensen i världen. Sedan 1977 har dessutom en ökning kunnat påvisas. Denna ökning, liksom tydliga geografiska variationer, kan inte bero på genetiska förändringar utan på förändringar av riskfaktorer i miljön. I samarbete med Umeå Universitetsjukhus har undersökningar gjorts av kopplingen mellan barndiabetes och miljöfaktorer. För första gången har man då kunnat visa att en bidragande orsak till uppkomsten av barndiabetes kan vara låga zinkhalter i dricksvatten. Det funna sambandet baserar sig på användningen av biogeokemiska data från SGU och barndiabetesregistret och är ett samarbete mellan Umeå Universitetsjukhus, Socialstyrelsen och SGU.

Även hjärt- och kärlsjukdomar kan ha en koppling till dricksvatten. Liksom på andra håll i världen, bl.a.

i USA och 15 WHO-länder i Europa, har man i Sverige kunnat visa på att frekvensen av hjärt-kärlsjukdomar minskar med ökande vattenhårdhet, sulfat- och bikarbonathalter i dricksvatten. Dessa undersökningar har gjorts vid Akademiska sjukhuset i Uppsala, bl.a. med användande av SGUs biogeokemiska data. Variationerna i vattenhårdheten beror på olika geologiska förutsättningar i olika delar av landet.

Naturen själv spelar alltså en stor roll när det gäller vår hälsa. Från berggrunden härstammar metaller och andra ämnen som kan förorsaka såväl förgiftningar som bristsituationer, beroende på i vilka halter de föreligger tillgängliga.

LITTERATUR

Andersson, M., Daniel, E., Kornfält, K.-A. och Persson, M., 1996: Kadmium i marken i sydöstra Skåne. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden 82.*

Vägsaltning och dess effekter på grundvattnet

BO OLOFSSON, KTH

På senare år har det framförts farhågor för att saltning av vägar kan påverka närliggande vattentäkter. Studier av saltvattenpåverkan på grundvatten har bedrivits vid Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm (KTH), delvis i samarbete med Sveriges geologiska undersökning (SGU) samt vid Väg- och Transportforskningsinstitutet (VTI).

Vad är vägsalt?

Vintervägsaltet består till mer än 98 % av natriumklorid (NaCl) som importerats huvudsakligen från Tyskland. Resterande del består mest av gips. Små mängder av natriumferrocyanid tillsätts också för att förhindra ihopklumpning. De saltmängder som sprids på vägarna har varierat mellan åren beroende på vädersituationen men också på hur lång total vägsträcka som saltats. Under första hälften av 90-talet fördubblades vägverkets vintervägsaltning av allmänna vägar från omkring 200 000 ton salt per år till mer än 400 000 ton per år men har nu åter stabiliserats kring mellan 200 000 och 300 000 ton per år, vilket ger 8–10 ton salt per år och saltad vägkilometer. Förutom vägverkets vintersaltning förekommer saltning i kommunal regi samt även privat saltning på uppfarter, gårdsplaner, industrimark etc. Dessutom förekommer viss sommarsaltning av grusvägar med huvudsakligen kalciumklorid som dammbindningsmedel.

Salt grundvatten kan ha olika ursprung

Inventeringar med hjälp av brunnsarkivet vid SGU samt information från kommunernas miljö- och hälsoskyddskontor har visat att salt grundvatten är vanligt förekommande i Sverige. Saltet förekommer naturligt, huvudsakligen inom en remsa längs Sveriges kuster samt inom ett 200 km brett bälte genom södra Sverige, från Stockholm till Göteborg. Inom dessa zoner uppvisar 15–30 % av de bergborrade brunnarna förhöjda salthalter (d.v.s. högre än vad som borde komma från nederbörden). Saltet kan ha sitt ursprung i ett flertal olika källor, främst relikthavssalt, eftersom de områden som drabbats huvudsakligen är belägna inom de delar av landet som varit täckta av salta eller bräckta hav efter senaste nedisningen.

Närmast kusten (oftast inom 100 m) kan direkt havsvatteninträngning förekomma. Vid sidan av dessa naturliga saltvattenkällor kan salt av antropogen ursprung identifieras. Förutom vägsaltning, kan lokalt t.ex. vissa industrier och avfallsupplag ge förhöjda salthalter i grundvattnet. Påverkan från avloppsinfiltrationsanläggningar kan ge måttligt förhöjda salthalter. Upplag av salt har även lokalt förorenat grundvattnet. I de flesta brunnar med salt grundvatten är dock salthalten ett resultat av naturliga förhållanden. Saltet kan dock mobiliseras och problemen öka genom mänsklig påverkan, t.ex. ökade vattenuttag.

Saltpåverkan hos enskilda brunnar längs saltade vägar

Översiktliga studier

Ett flertal studier av saltvattenpåverkan kring vägar har utförts i Mellansverige. Studierna har omfattat dels kommunala vattentäkter, dels enskilda grävda och borrhade brunnar. I de flesta fall har undersökningarna ägnats vattentäkter i drift, och salthalterna kan antas ha ökat genom ökade vattenuttag. Flera större undersökningar har genomförts med hjälp av kemiska data från brunnsarkivet vid SGU. Omkring 13 000 enskilda bergborrhade brunnar i Mellan- och Sydsverige har bearbetats tillsammans med uppgifter om det svenska vägnätets utbredning samt högsta kustlinjens (HK) utsträckning. Endast vägar bredare än 7 m togs med. Då lägesbestämningen av brunnarna i många fall är osäker gjordes en avståndsindelning från vägarna endast med tre klasser (0–200 m, 200–500 m samt längre än 500 m från större väg). Studien visar att medianhalterna av klorid över högsta kustlinjen (HK) ökade från en basnivå av 11 mg Cl/l på betydande avstånd (>500 m) från större väg till 17 mg/l inom 200 m från vägen. Dessutom ökade grundvattnets natriumhalt, kalciumhalt och magnesiumhalt, dess totala hårdhet, pH-värde samt bikarbonathalt nära vägen, figur 3.9. Att kalciumhalten och hårdheten ökar kan förklaras av jonbytesprocesser vid ett större tillskott av natriumjoner till marken. Ökningen av bikarbonathalten och pH-värdet kan bero på erosionsprocesser av vägmaterialet. Ekvivalentförhållandet Na⁺/Cl⁻ närmade sig 1 nära vägen, vilket kan förklaras genom tillsats av rent NaCl.

Under HK är medianhalterna hos de flesta joner i grundvattnet generellt högre än över kustlinjen eftersom jordarterna är avsatta i en marin miljö, bl.a. som

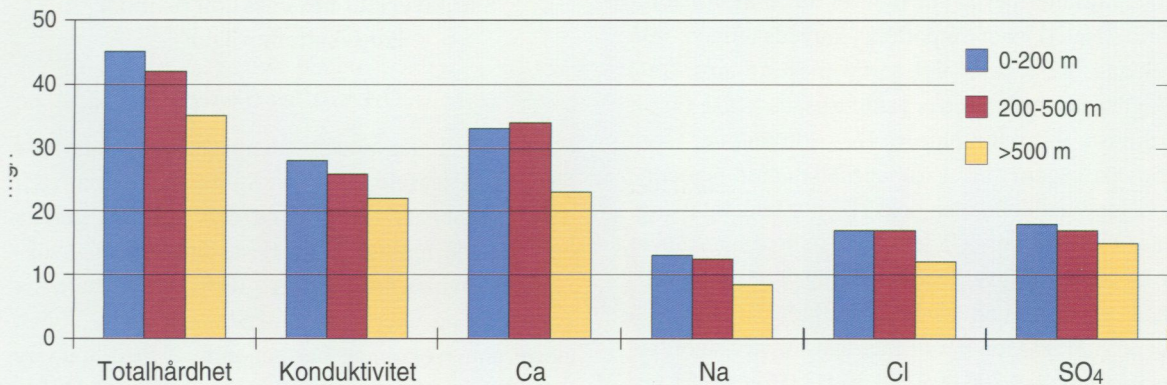
marina leror. Därigenom märks inte effekter av vägsaltningen lika tydligt, utom som en ökning av kloridhalten nära större vägar eftersom kloridjonerna är mycket lättlösliga i marklagren. Medianhalten av klorid i grundvattnet ökar 25 % från 16 mg/l mer än 500 m från större vägar till 21 mg/l inom 200 m från vägen, figur 3.10. Eftersom jordlagren under HK oftast är mäktigare än ovan HK och dessutom oftare består av svårgenomsläppliga leriga sediment, blir påverkan av berggrundvattnet mindre under HK.

Eftersom de kemiska analyser som finns i SGUs arkiv ofta är gjorda på prover som togs i samband med konstruktion av brunnen, visar studien en svag men generell påverkan av vägsalt på berggrund-

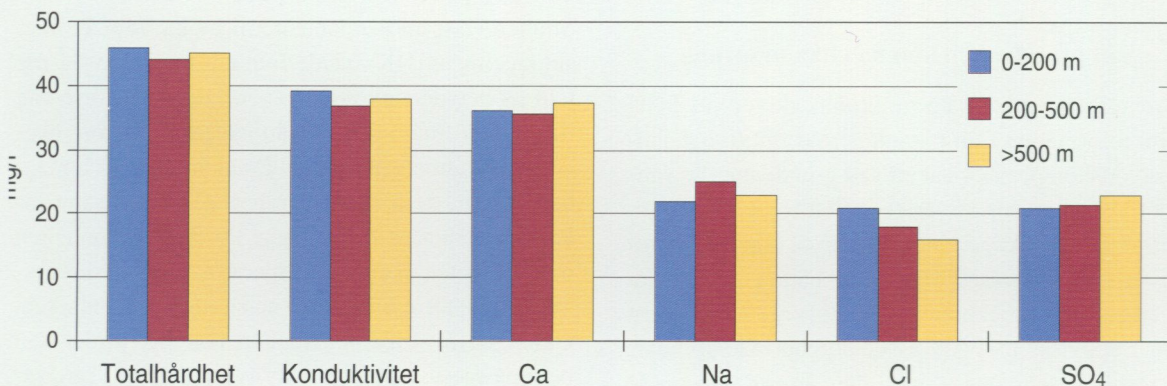
vatten nära större vägar, huvudsakligen ovanför HK. Effekterna kan dock antas förvärras genom ökade grundvattenuttag.

Detaljerade studier

Ett antal mer detaljerade studier av grundvattenpåverkan runt vägar, omfattande såväl bergborrade som grävda brunnar, har genomförts i Sverige, t.ex. i Västmanlands län och Skaraborgs län. Knappt 100 vattenprover insamlades i Västmanland inom några hundra meter från större vägar och bearbetades statistiskt tillsammans med uppgifter om geologi, topografi, brunnsutformning etc. Undersökningen visade



Figur 3.9. Mediansammansättning av vissa joner och konduktivitet i grundvatten i borrhade brunnar ovanför högsta kustlinjen (HK) i relation till avstånd från större vägar i Mellan- och Sydsverige. Konduktiviteten är angiven i mS/m.



Figur 3.10. Mediansammansättning av vissa joner och konduktivitet i grundvatten i borrhade brunnar nedanför högsta kustlinjen (HK) i relation till avstånd från större vägar i Mellan- och Sydsverige. Konduktiviteten är angiven i mS/m.

att omkring 40 % av brunnarna uppvisade förhöjda kloridhalter (>50 mg Cl/l). I Skaraborgs län provtogs knappt 100 brunnar inom 100 m från vägkanten längs en 30 km lång sträcka av E20. Den första provtagningen visade att mer än 50 % av brunnarna hade en förhöjd salthalt.

Även kommunala grundvattentäkter kan påverkas

Studier gjorda i bl.a. Finland och Kanada har visat på betydande vägsaltspåverkan på sandakviferer. Två exempel från Sverige på betydande påverkan på kommunala vattentäkter är Hammarby vattentäkt i Upplands Väsby och Brännebrona i Götene.

Hammarby vattentäkt, som är belägen på Stockholmsåsen, utgör reservvattentäkt för Upplands Väsby. Kloridhalten har markant ökat under 1980-talet upp till 120 mg/l i början av 90-talet. Vattenanalyser i undersökningsrör längs E4 i Upplands Väsby visar att hela grundvattenmagasinet i tillrinningsområdet till tälten har en genomsnittlig kloridhalt på drygt 100 mg/l. Avrinnande dagvatten från vägen har under lång tid infiltrerats ner i åsen. Såväl den kemiska sammansättningen på grundvattnet samt kloridhaltsfördelningen i relation till infiltrationsbassängen visar entydigt på vägsaltspåverkan.

En annan kommunal vattentäkt med dokumenterad vägsaltspåverkan är Brännebrona, längs väg E20 mellan Götene och Mariestad. Även denna brunn är belägen i en rullstensås, knappt 50 m från vägen och några meter under vägens nivå. Kloridhalten i vattentälten var som högst nästan 300 mg/l, d.v.s. nära smakgränsen för salt. Flera studier i området slår fast att förhöjningen i kloridhalt beror på vägsaltningen.

Ett flertal andra kommunala vattentäkter kan också antas vara påverkade av vägsalt. Huvudsakligen utgörs dessa dock av små eller måttligt stora akviferer i sandiga eller grusiga sediment. Endast i undantagsfall, såsom i Stockholmsåsen, kan även stora akviferer tänkas hotas, t.ex. om infiltration av väg-dagvatten utförs till akviferen.

Vilka brunnar riskerar att påverkas?

De detaljstudier runt vägar som utförts tyder på att såväl naturgivna förhållanden som tekniska anordningar i och omkring brunnen påverkar risken för försaltning. Brunnsens avstånd från vägen är natur-

ligtvis en betydelsefull riskfaktor där försaltningsrisken är störst inom de närmaste 25–30 metrarna. Dessutom är brunnsens nivå i relation till vägen mycket betydelsefull, varvid nedströms liggande brunnar, särskilt grävda brunnar, löper betydligt större risk att påverkas än högre liggande brunnar. Även i en flack terräng pågår en lateral, om än långsam, naturlig grundvattenströmning, vilket innebär att brunnar på nedströmssidan löper betydligt större risk för påverkan. Undersökningar i Norge visar att kloridjoner kan spridas långt från vägen genom grundvattenströmning och i utströmningsområden medföra betydande vegetationsskador. Spridningen av saltet från vägbanan kan dock ske på flera sätt, genom avrinning, sprut och stänk samt spray. Den saltmättade dimma som vid fuktig väderlek bildas genom trafiken kan spridas med vind, varför den förhärskande vindriktningen även har viss betydelse. Dess betydelse för grundvattenförorening är dock inte känd. En principskiss för spridning av vägsalt och de viktigaste riskfaktorerna visas i figur 3.11.

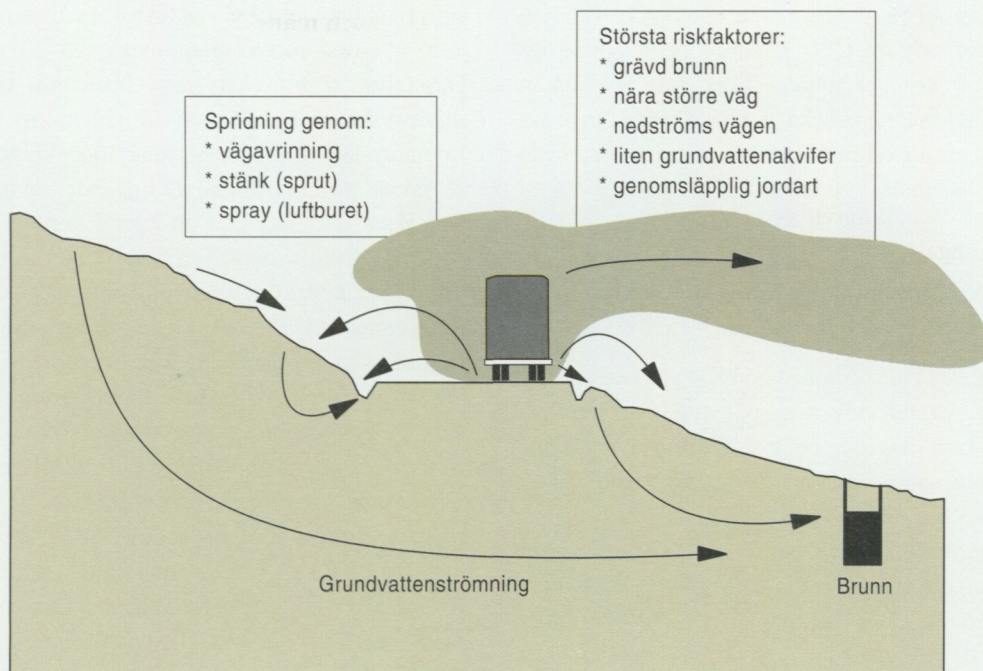
Vart pekar undersökningarna sammanfattningsvis?

Samtliga undersökningar som hittills är utförda pekar således entydigt på att vägsaltningen utgör ett märkbart tillskott av salt till grundvattnet invid saltade vägar. Även vid antagandet att 20 % av andelen brunnar med förhöjd kloridhalt beror på naturliga förhållanden, främst förekomsten av relict havsvatten, kvarstår i vissa områden 20–30 % brunnar med kloridförhöjning där lokaliseringen invid större vägar tycks vara den huvudsakliga anledningen till förhöjningen.

En annan effekt på grundvattnet till följd av vägsaltningen tycks vara att hårdheten ökar. Detta kan förklaras av att ett stort tillskott av natriumjoner till marken kan medföra ett jonbyte med frigörande av kalcium- och magnesiumjoner.

En långt allvarligare risk med ett stort tillskott av natriumjoner till lerhaltiga jordar kan vara att natrium kan dispergera (frigöra) humus och lerkolloider. Eftersom tungmetaller och polyaromatiska kolväten (PAH) fastläggs på lerkolloider och humus kan dessa ämnen ledas ner till grundvattnet. Pågående mätningar i kolonnförsök vid KTH stöder antagandet och undersökningar av grundvattnet i Upplands Väsby har visat på förhöjda tungmetallhalter, bl.a. av bly, i grundvattnet.

Även om salthaltsökningen idag är måttlig i brun-



Figur 3.11. Spridningsmekanismer för vägsalt samt riskfaktorer för grundvattenpåverkan.

nar runt större vägar, visar undersökningarna på en strömningsförbindelse mellan väg och brunn, vilket på sikt kan medföra att andra farligare komponenter från vägtrafik (organiska föreningar från däckslitage, tungmetaller etc.) kan tänkas nå brunnen. Stort natriumtillskott till leriga jordar kan också bidra till rörligheten av kolloidbundna föreningar.

LITTERATUR

- Ahnve, M., 1997: *Vattenburen föroreningstransport från väg mot recipient – en utvärdering av ett öppet dikes reningsförmåga*. Examensarbete, Avd. för mark- och vattenresurser, KTH, 1997:11.
- Bäckman, L., 1980: *Vintervägsaltets miljöpåverkan*. VTI rapport nr 197.
- Fabricius, C. & Olofsson, B., 1996: *Salinization of private wells from de-icing chemicals - a pilot project in central Sweden*. SWIM-96, Salt Water Intrusion Meeting. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden 87*, 220–229.
- Jansson, K., 1995: *Salt i grundvatten. Metod för bedömning av vattenursprung*. *Vägverket, Publ. 1995:68*.
- Käll, M., 1994: *Götene kommun, Brännebrona*

vattentäkt. Utredning av sambandet mellan kloridförorenat råvatten och vägsaltning. Opublicerad rapport, VBB Viak AB, Jönköping.

- Lindewald, H., 1985: *Salt grundvatten i Sverige*. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden 39*.
- Maxe, L., Knutsson, G., Olofsson, B. & Jacks, G., 1994: *Analys och utvärdering av saltets ursprung i grundvatten från Hammarby reservvattentäkt*. Rapport till Upplands Väsby kommun, Stockholms län. Avdelningen för mark- och vattenresurser, KTH.
- Norrström, A.-C. & Jacks, G., 1997: *Kemiska processer av vägsalt i mark och vatten*. Lägesrapport CDU (Centrum för Drift och Underhåll), projekt M 2a, 11 nov 1997.
- Olofsson, B., 1994: *Salt groundwater in Sweden*. I Olofsson, B., (red.) *Salt groundwater in the Nordic countries. NHP (Nordiska Hydrologiska Programmet), rapport nr 35*, s 17–35.
- Olofsson, B., 1996: *Salt groundwater in Sweden – occurrence and origin*. SWIM-96, Salt Water Intrusion Meeting. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden 87*, 91–100.
- Olofsson, B. & Sandström, S., 1998: *Increased salinity in private drilled wells in Sweden – natural or man-made? I De-icing and Dustbinding, risk to aquifers*. *NHP (Nordiska Hydrologiska Programmet), rapport*.

Lokala föroreningar i Stockholms grundvatten

MATS AASTRUP (SGU)

I en stor stad som Stockholm, som funnits till i mer än 700 år, har naturligtvis grundvattnet hunnit utsättas för många olika hot. Grundvattnet har således använts som recipient för avloppsvatten som har behandlats i infiltrationsdammar. Det har mottagit lakvatten från gamla avfallsupplag eller upplag som fortfarande är i bruk. Marken har hunnit bli starkt förorenad av industrier, avfallsupplag, trafik, byggnader och genom olika typer av olyckor. Markföroreningarna kan långsamt tillföras grundvattnet, speciellt sådana som inte bryts ner, som t.ex. tungmetaller. På uppdrag av Miljöförvaltningen i Stockholm och Naturvårdsverket har SGU utfört en kartläggning av grundvattnets tillstånd inom staden.

Speciella hydrogeologiska förhållanden

I Stockholm finns det i stort sett en betydande grundvattenförekomst, och den ligger i Brunkebergsåsen. I övrigt karaktäriseras Stockholmsområdet av lerfyllda dalar. Under lerorna förekommer morän, som också kilar upp en bit utefter bergknallarna. Grundvattnet flödar i lerornas undre, grovkornigare delar och i moränen. I Stockholm används inte grundvattnet som dricksvatten. Man renar istället vatten från Mälaren. Grundvatten har däremot betydelse för naturlivet i Stockholm stad. Där grundvatten sipprar ut bildas våtmarker med sin speciella flora och fauna. Det är därför viktigt att inte grundvattenytan sänks. Det är det också av tekniska skäl. Sänkt grundvattentryck i lerorna kan orsaka sättningar med allt vad det innebär av skador på hus och ledningar etc. Sänkt grundvattennivå har också orsakat att gamla träpålar ruttnat och knäckts. Grundvattnet i Stockholm är i hög grad påverkat av mänsklig verksamhet. Infiltration och grundvattenbildning förhindras i stora delar av staden av hårdgjorda ytor. Tunnlar och andra undermarksanläggningar påverkar grundvattennivåerna och flödesriktningarna. Det är vanligt med dubbla grundvattenytor. En förekommer i fyllnadsmaterial och en i de grövre underliggande jordlagren. De skiljs åt av tätande leror eller packad morän. Husgrunder och andra dämmande undermarksanläggningar kan blockera det översta grundvattnets naturliga flödesvägar.

Geologi och mänsklig aktivitet påverkar grundvattnets kemiska egenskaper

De speciella förutsättningarna i storstaden påverkar i högsta grad grundvattnets kemiska beskaffenhet. Det får en sammansättning som skulle kunna liknas vid den det skulle kunna få i en mycket lättvittrad sedimentär berggrund kryddad med salt.

Medianvärdena för kalcium, vätekarbonat, natrium och klorid är ungefär dubbelt så höga som i regionen utanför Stockholm och 6–10 gånger högre än medianvärdena för hela landets jordgrundvatten (se tabell 1). De höga kloridhalterna, som maximalt i den här undersökningen har varit 790 mg/l, beror sannolikt på vägsalt, men det är inte uteslutet att läckande avloppsledningar också bidrar. Grundvattnet innehåller också höga halter organiskt material (TOC) och har ett median-pH på 7,5. Den enda jon som i stort sett uppträder i koncentrationer liknande dem i grundvatten i skogsområden är nitrat. Det beror inte på att kvävehalterna är låga utan på att det råder reducerande förhållanden i grundvattnet under lerorna, så att nitratjonen inte kan föreligga i högre halter.

Undersökningens omfattning

Grundvattnets speciella egenskaper påverkar tungmetallernas uppträdande i grundvattnet. Tungmetaller är en grupp av föroreningar som har undersökts. Andra är närsalter, bakterier, polyaromatiska kolväten (PAH), polyklorerade bifenyler (PCB), petroleumkolväten och växtbekämpningsmedel.

I undersökningen, som var av screeningkaraktär, provtogs grundvatten i sammanlagt 75 punkter. Samtliga kemiska och mikrobiella variabler analyserades inte i alla punkter. Provtagningen har med ett undantag avsett grundvatten i jord.

Föroreningarnas omfattning

Undersökningen bekräftade vad man kunde befara, men hade mycket liten kunskap om. Nästan i varje provtagningspunkt hade grundvattnet förhöjning av någon eller några av de föroreningar som analyserades. Den vanligast förekommande föroreningen i Stockholms grundvatten är tungmetaller. I 92 % av provtagningsplatserna förelåg någon eller några av de analyserade tungmetallerna i förhöjda halter. Alla metaller, förutom de som är starkt beroende av låga pH-värden för sin förekomst i grundvattnet, är för-

Tabell 1. En jämförelse mellan medianhalterna i grundvattnet i Stockholm och landet som helhet för några huvudkonstituenterna (mg/l), nitratkväve (mg/l), pH och totalt organiskt kol (mg/l)

	Kalcium	Alkalinitet	Klorid	Sulfat	Nitratkväve	pH	Tot. org. kol
Stockholm	111	360	62	50	0,025	7,5	13,2
Sverige	23	33	10	16	0,6	6,4	3,4

höjda i jämförelse med skogsekosystemens grundvatten. Det återspeglas också vid jämförelser mellan de olika metallernas avvikelser från deras medianvärden i grundvatten i skogsområden. De kan rangordnas enligt följande: kvicksilver > kobolt > arsenik > bly > nickel > krom > kadmium > zink.

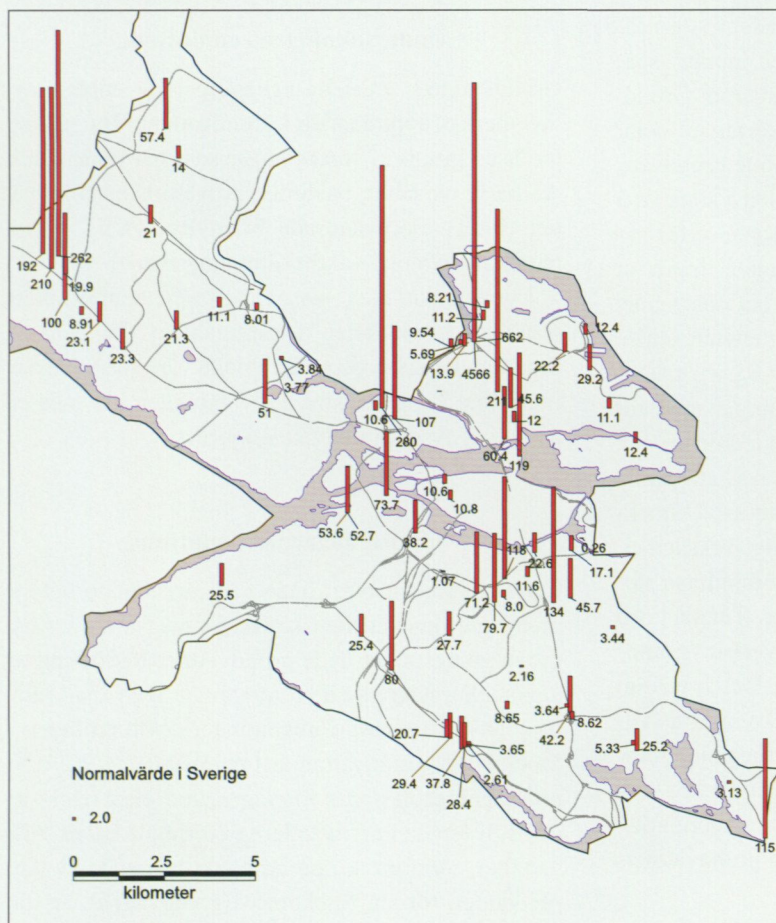
De allvarligaste föroreningarna överhuvudtaget får anses vara kvicksilver med de mycket höga halterna vid Roslagstull och koppar med allmänt mycket höga halter (se figurerna 3.12 och 3.13).

Bakterier som indikerar fekala föroreningar och andra bakteriella föroreningar förekommer i över hälften av provtagningspunkterna. Bakterier som med säkerhet tyder på fekala föroreningar kunde emellertid bara spåras i ett par punkter.

Petroleumkolväten förekom i knappt hälften av provtagningspunkterna. Det var extremt höga halter

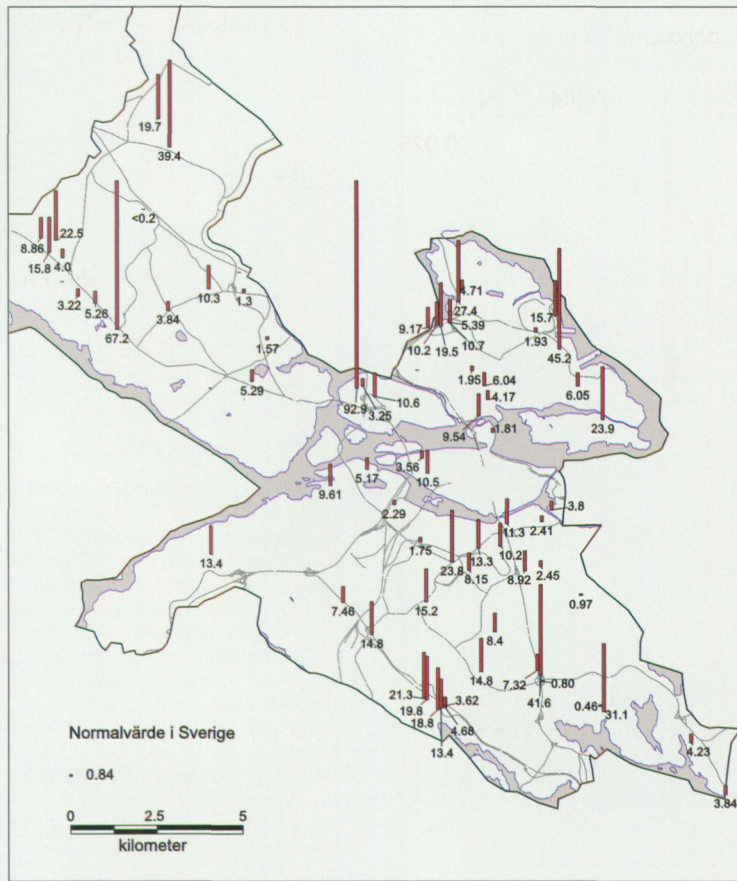
vid Norrtull och på nordvästra Kungsholmen. Förhöjda halter kväve och fosfor förelåg i ca en tredjedel av provtagningspunkterna. De höga halterna förekom framför allt i ett stråk från Gamla stan mot nordväst till Norrtull/Roslagstull, se figurerna 3.14 och 3.15. Det sammanfaller med höga halter totalt organiskt kol. Det tyder på att dessa föroreningar kan ha tillförts grundvattnet genom läckande avloppsledningar. Polyaromatiska kolväten (PAH) förekom i nästan vart fjärde prov. Även i det här fallet var Norrtull, Roslagstull och Gamla stan drabbade. Polyklorerade bifenylter (PCB) kunde inte detekteras i några prover.

Växtbekämpningsmedel (triaziner) analyserades i 20 prover. I nio av proverna fanns triaziner eller omvandlingsprodukter av dessa. Dessa växtbekämpningsmedel har använts flitigt av villaägare, parkför-

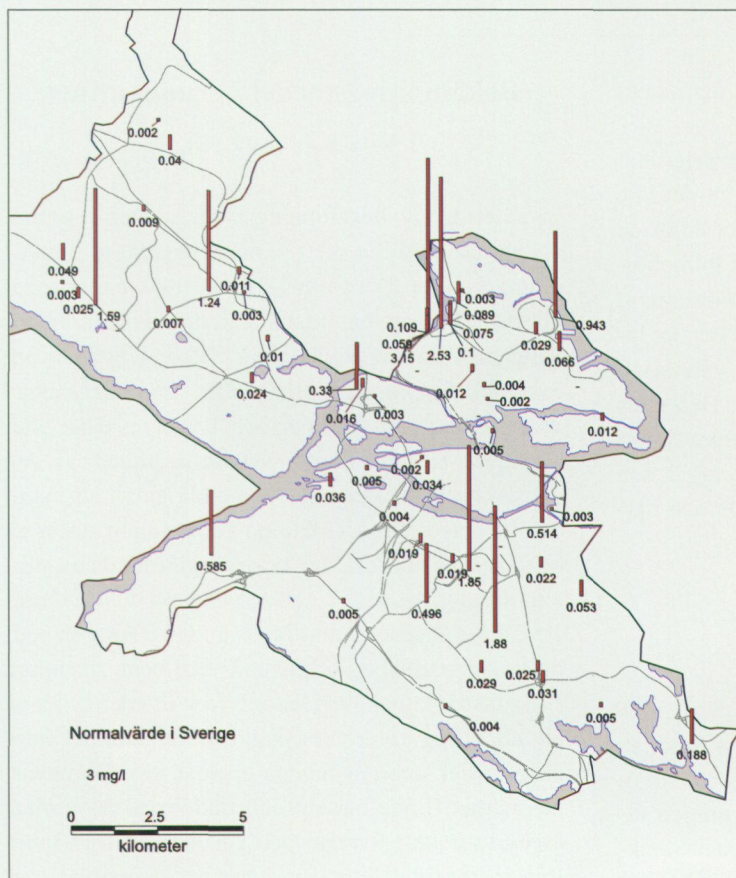


Figur 3.12. Kviksilver (Hg) i grundvatten i Stockholm. Medianvärdet är 15,6 ng/l. I allmänhet ligger halterna i grundvatten omkring 1 ng/l. Det är emellertid alltför få analyser gjorda från landets olika delar för att ett medianvärde för landet som helhet skall kunna ges.

De mycket höga kvicksilverhalterna i det undre (4 566 ng/l) och det övre (662 ng/l) grundvattnet vid Roslagstull får anses vara den allvarligaste föroreningen i Stockholms grundvatten. Mycket höga halter förekommer också i grundvattnet på Kungsholmen, i Gamla stan och runt Johanneslundstippen.



Figur 3.13. Koppar (Cu) i grundvatten i Stockholm. Medianvärdet i Stockholm är 8,63 µg/l, medan det för landet som helhet är 0,84 µg/l. Speciellt höga halter förekommer på Kungsholmen, i Råcksta träsks tillrinningsområde, i Värtahamnen och Tensta.



Figur 3.14. Nitrat- och nitritkväve ($NO_3 + NO_2-N$) i grundvatten. Medelvärdet i Stockholms grundvatten är 0,31 mg/l. Medelvärdet för landet är 0,23 mg/l. Det innebär att det inte är någon större skillnad mellan nitralterna i Stockholms grundvatten och i grundvatten i skog.



Figur 3.16. Spridning av bekämpningsmedel. Foto Bengt Ekberg.

funnits kvar, vilket gör att användningen har kunnat fortsätta i begränsad omfattning en bit in på 90-talet. I vissa fall har bekämpningsmedel påvisats på avsevärda avstånd från de områden där användningen skett. Fynden visar också att det i vissa fall kan ta mycket lång tid innan halterna försvinner från en lokal som en gång väl har kontaminerats. Det är dock endast ett fåtal brunnar som har följts under en längre tid. I huvudsak är den befintliga informationen hämtad från provtagningsinsatser som är spridda både i tiden och geografiskt. Bristen på enhetlighet i undersökningarnas uppläggning gör det svårt att få ett samlat grepp om utbredning, omfattning och orsaker till förekomsten av bekämpningsmedel i grundvatten. Vidare har många bekämpningsmedel med en utbredd användning inte kunnat analyseras rutinmässigt i vatten. Detektionsgränsen har dessutom vid flera analyser varit högre än dricksvattengränsvärdet på 0,1 µg/l. Internationellt sett har den också varit högre än vid motsvarande undersökningar i övriga Europa, där detektionsgränser runt 0,01 µg/l eller lägre eftersträvas.

Grundvattenundersökningarna har varit både riktade provtagningar, där misstanke om förorening förelegat, och provtagningar inom ramen för övervakning. Många av substanserna har endast förekommit i något enstaka prov. I ett längre perspektiv, på grund av lång och långsam grundvattenströmning, finns

det en risk för att bekämpningsmedel kommer att kunna påvisas även i stora och djupt belägna grundvattenmagasin.

Det kan alltså konstateras att undersökning av bekämpningsmedelsrester i grundvatten i Sverige är behjärtansvärt men hittills tämligen eftersatt. Det är önskvärt att ökade resurser avsätts för detta ändamål, främst för att situationen i landet skall kunna belysas men också för att uppgifter om svenska förhållanden och erfarenheter efterfrågas internationellt.

LITTERATUR

- Hessel, K., Kreuger, J. och Ulén, B. 1977: Kartläggning av bekämpningsmedelsrester i yt-, grund- och regnvatten i Sverige 1985–1995. Resultat från monitoring och riktad provtagning. *Ekohydrologi 42*, SLU, Uppsala.

SGU

Sveriges Geologiska Undersökning

Box 670
751 28 UPPSALA
Tel. 018-17 90 00
Fax. 018-17 93 70

ISSN 0349-2176
ISBN 91-7158-612-1