

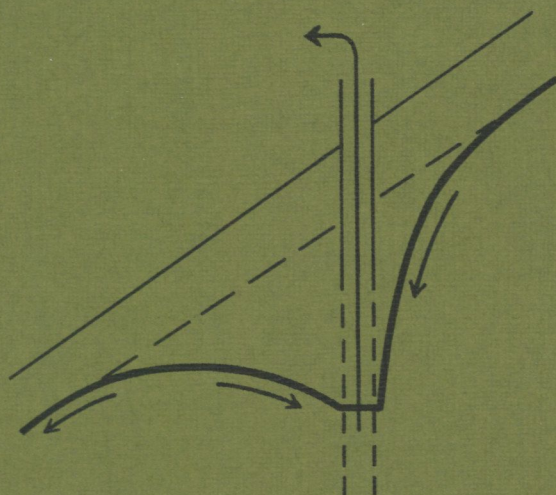


SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING (SGU)

Rapporter och meddelanden nr 14

HYDROGEOLOGI VID SGU

Exempel på verksamhet
inom grundvattensektorn



Särutgåva av
Vannet i Norden
Nr 1, 1979



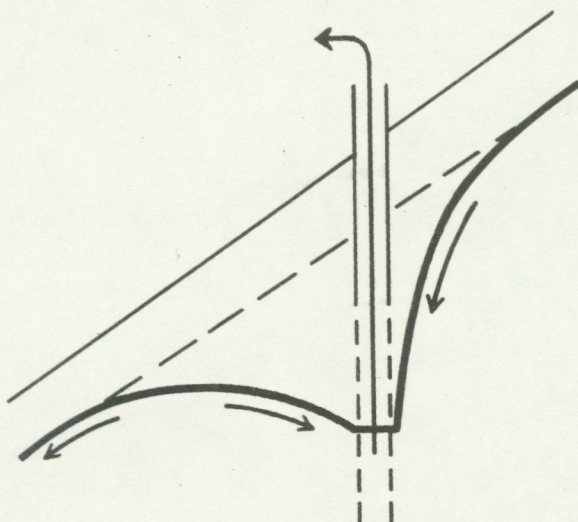


SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING (SGU)

Rapporter och meddelanden nr 14

HYDROGEOLOGI VID SGU

Exempel på verksamhet
inom grundvattensektorn



FÖRORD

Första numret 1979 av Nordisk Hydrologisk Förenings tidsskrift Vannet i Norden (ViN) är ett temanummer med hydrogeologiskt material från Sveriges geologiska undersökning (SGU). Därmed fortsätts en tidigare påbörjad serie av institutionella presentationer i ViN. Förutom i sin ordinarie skepnad föreligger detta nummer i en särutgåva som utgör nr 14 i SGU:s publikationsserie Rapporter och meddelanden. Artiklarna har samordnats av Lars Nordberg.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Skoglund, R: Sveriges geologiska undersökning - en översikt.....	5
Nordberg, L: Hydrogeologisk verksamhet vid SGU.....	9
Knutsson, G: Hydrogeologisk översiktskartering av Sverige.....	15
Gustafsson, O, Lindewald, H, Modig, S: Om grundvattenförhållandena på Gotland och Kristianstadsslätten. En sammanställning av uppgifter från SGU:s brunnsarkiv.....	25
Axelsson, Ch, Carlsson, L: Grundvattenbildning på Gotland.....	35
Carlsson, L, Carlstedt, A: Hydrogeologisk konsekvensanalys.....	45
Axelsson, Ch, Olsson, T: Grundvattenpåverkan vid tunneldrivning - - parameterbestämning med numerisk modell.....	55
Thoregren, U: Hydrogeologiska undersökningar rörande förutsättningar för deponering av radioaktivt avfall i berggrunden.....	63
Müllern, C-F: Grundvattenprospektering med radioväggar - - VLF- och RAMA-mätningar.....	69
Wikner, T: Erfarenheter från ett vattenprojekt i Botswana.....	76
Anblom, T, Persson, G: Studier av vattenhaltsvariationerna i den omättade zonen av en ås.....	81
Aastrup, M: Nederbördens betydelse för klorid och sulfat i grundvatten.....	87
Engqvist, P: Grundvattnets kemiska sammansättning i Östergötlands sedimentära berggrund.....	98
De Geer, J: Några anmärkningar rörande källor i Sverige.....	107
Johnson, J: SGU:s arkiv för källor.....	115
Hydrogeologiska publikationer från SGU.....	118

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING - EN ÖVERSIKT

Roland Skoglund

INLEDNING

I SGU:s första instruktion från 1858 kan man läsa att SGU skall "uppdaga och genom fullständiga kartor och beskrivningar meddela kännedom om landets geognostiska beskaffenhet". Till detta fogas även en anmodan om "särskilt fästad uppmärksamhet å jord- och berglagrens vikt och inflytande i ekonomiskt hänseende". Mycket har förändrats inom SGU sedan dess, men de citerade avsnitten har i stort alltså giltighet för SGU:s verksamhet. Uppbyggnaden av SGU förlöpte under verkets första sekel i en någorlunda jämn takt. Utvecklingen sköt emellertid fart under 1960-talet med en väsentlig ökning av verksamheten, främst bebyggad av ett stegrat prospekteringsbehov. Sjuttioalet kom med de för SGU största förändringarna under en begränsad tidsperiod. Riksdagens omlokaliseringsbeslut 1971 innebar en tvådelning av den stockholmsbaserade verksamheten till Uppsala och Luleå. 1974 fastställdes en ny organisation för SGU. Parallellt härmed tillkom nya redovisningssystem och en allt större del av verksamheten har under de senaste åren övergått från att vara anslagsfinansierad till att bli uppdragsfinansierad.

ORGANISATION OCH VERKSAMHET

SGU leds av en styrelse med generaldirektör som ordförande. I linjeorganisationen ingår fem byråer: berggrundsbyrån, kvartär- och hydrogeologiska byrån, geofysiska byrån, geokemiska byrån och administrativa byrån. Byråerna är organiserade i sektioner (fig 1). Till verket har knutits ett rådgivande organ, SGU:s kartråd, som är sammansatt av företrädare för verk och organisationer med avnämningens intressen i SGU:s geologiska kartering.

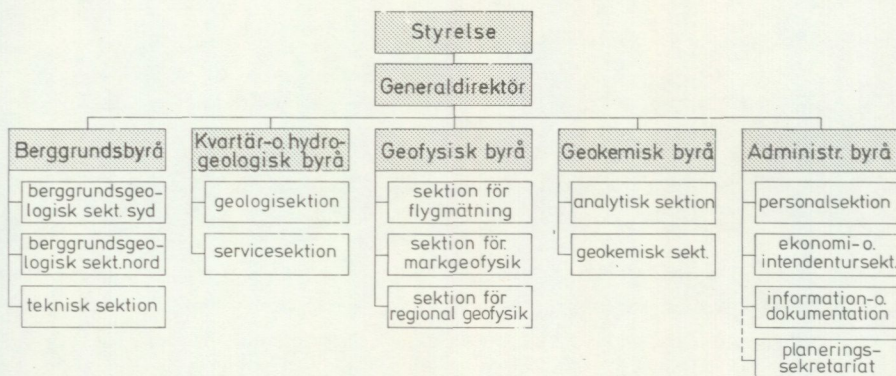


Fig 1. Organisationstabla för SGU.

För att lösa de i instruktionen angivna uppgifterna arbetar SGU med en projektorganisation. Den verksamhet som därvid bedrivs indelas i följande program.

1. Kartering. Omfattar den reguljära karteringen, som presenteras i SGU:s kartserier. Programmet indelas i delprogrammen berggrundskartering, jordartskartering, geofysisk kartering och hydrogeologisk kartering. Finansiering sker över anslag.
2. Information och dokumentation. Omfattar insamling, bearbetning, bevarande och spridning av uppgifter om geologiska förhållanden. Består av delprogrammen information, geologisk dokumentation, grundvattendokumentation, geofysisk dokumentation och geokemisk dokumentation. Programmet finansieras över anslag.
3. Prospektering. Omfattar prospektering efter mineral, berg- och jordarter och grundvatten. Här ingår delprogrammen för uran, järn, övriga metaller, industriella mineral och bergarter, sand, grus och övriga jordarter, grundvatten samt regionala inventeringar. Programmet finansieras över anslag och uppdrag.

4. Speciella undersökningar. Bland de delprogrammen kan nämnas anläggnings-geologiska undersökningar, naturvårdsundersökningar samt mättnings- och analysverksamhet. Programmet är uppdragsfinansierat.

Omslutningen för budgetåret 1978/79 beräknas till ca 125 milj kr varav ca 40% är anslagsbaserad.

LOKALISERING OCH PERSONAL

Nu när omlokaliseringen är genomförd ligger SGU:s tyngdpunkter i Uppsala och i Luleå. Verksamheten i Luleå har fått en prospekteringsinriktad profil där malmprospektering dominerar. SGU i Uppsala är mångfacetterad genom att de flesta aktiviteterna från "det gamla SGU" är representerade där. Verksledning och tre byråchefer finns i Uppsala, medan ledningen för berggrundsbyrån och geofysiska byrån är i Luleå.

SGU:s filialer i Malå, Göteborg och Lund har ej berörts av omlokaliseringen. Malå har en omfattande teknisk verksamhet med inriktning på prospektering (borrning och geofysik). I filialerna i Göteborg och Lund finns berggrunds- och jordartskartering företrädd. Den hydrogeologiska delen är representerad i Lund av brunnsarkiv och hydrogeologisk kartering.

SGU har drygt 700 anställda, varav ca 300 i Uppsala.

HYDROGEOLOGISK VERKSAMHET VID SGU

Lars Nordberg

BAKGRUND

SGU anser sig - med stöd av sin instruktion - ha övergripande ansvar för dokumentation och beskrivning av de naturliga grundvattenförhållandena i Sverige och för analys av hur dessa förhållanden kan påverkas av olika mänskliga ingrepp i naturen. Grundvattnet måste betraktas som en viktig resurs men också som en miljöfaktor och skall ses i sitt sammanhang med hela det hydrologiska kretsloppet liksom med andra miljöfaktorer. SGU arbetar i sin hydrogeologiska verksamhet för vissa delmål:

- tillgodose allmänna och enskilda behov av information om hydrogeologiska förhållanden
- utarbeta underlag för utnyttjande och bedömningar av landets grundvattentillgångar med hänsyn till fysisk riksplanering, vattenresursplanering, markanvändning, vattenförsörjning etc
- analysera uppkomna och beräknade konsekvenser för grundvattensystem av olika ingrepp i naturen.

En programgrupp för hydrogeologiska frågor vid kvartär- och hydrogeologiska byrån arbetar sedan 1977 med måldiskussioner och samordningsfrågor. De principiella ståndpunkter som framförs i denna artikel har utvecklats inom gruppen.

VERKSAMHETENS ORGANISATION

För närvarande bedrivs verksamhet av hydrogeologisk karaktär inom ramen för fyra program vid SGU. Verksamheten inom programmen "Kartering" samt "Information och dokumentation" finansieras med statliga medel. Inom programmen "Prospektering" och "Speciella undersökningar" bedrivs hydrogeologisk verksamhet på uppdrag i form av bl a vattenförsörjnings- och naturvårdsundersökningar samt anläggningsgeologiska uppdrag, de senare särskilt avseende möjligheterna till förvaring av radioaktivt avfall i berggrunden. Denna sistnämnda verksamhet ligger främst på berggrundsbyrån (byrå B), medan övrig hydrogeologisk verk-

samhet ligger på kvartär- och hydrogeologiska byrån (byrå Q). Dessutom finns vissa mindre forskningsanslag inom ämnesområdet.

Tabell 1. Organisationsstabla för den hydrogeologiska verksamheten vid SGU

Program	Delprogram	Projekt	Byrå vid vilken verksamheten huvudsakl. bedrivs	Budget 1978/79 i tusentals kr	Ungefärligt antal årsverken för hydrogeologiskt arbete
Kartering	Hydrogeol. kartering	Kartblads-kartering	Q	2 238	14
		Hydrogeol. Europakarta	Q	373	2
Information och dokumentation	Grundvatten-dokumentation	Brunnsarkivet	Q	2 145	11
		Grundvatten-nätet	Q	1 531	7
		Allmän grundvattendokumentation	Q	203	1
Prospektering	Grundvatten-prospektering		Q	396	2
Speciella undersökningar	Naturvårdsundersökningar		Q	670 ^{*)}	4
			Q	800 ^{*)#)}	4 ^{#)}
		Anläggningsgeologiska undersökningar	B	21 100 ^{*)#)}	28 ^{#)}

^{*)} avser endast delvis hydrogeologisk verksamhet

^{#)} preliminära uppgifter för 1979 (avser en f n stor satsning på undersökningar av möjligheterna att lagra radioaktivt avfall i berggrunden)

Hydrogeologiska karteringen syftar till att i kartform presentera data om Sveriges hydrogeologi. Kartorna avses främst att användas som planeringsunderlag.

Grundvattendokumentationen syftar till att dokumentera, sammanställa och tillhandahålla data om grundvattnet i Sverige. Brunnsarkivet insamlar uppgifter om brunnar och vattentäkter i jord och berg samt geologiska lagerföljder medan grundvattennätet studerar de tidsmässiga förändringarna i grundvattnets mängd och sammansättning.

Grundvattenprospekteringen syftar till att på uppdrag lokalisera och undersöka grundvattentillgångar.

Naturvårdsundersökningar med anknytning till grundvattnet berör ofta prognoser över effekter av olika ingrepp på grundvattennivå och -kvalitet eller utredningar av om observerade förändringar hos grundvattnet är naturliga eller betingade av ingrepp.

Anläggningsgeologiska undersökningar med anknytning till grundvattnet berör frågor rörande t ex bergrum och tunnlar eller andra anläggningar i berg eller jord samt rörande möjligheterna för lagring av radioaktivt avfall i berg.

KOMPETENSOMRADEN

Under den senaste tioårsperioden har den hydrogeologiska verksamheten expanderat kraftigt vid SGU. Detta är ett uttryck för samhällets ökade krav på förbättrat planerings- och beslutsunderlag för frågor om mark och vatten. För närvarande är ca 75 hydrogeologer, ingenjörer och tekniker sysselsatta med huvudsakligen hydrogeologiska arbetsuppgifter. En översikt över de hydrogeologiska intresseområden, där SGU besitter kompetens, visas i tabell 2.

Tabell 2. Översikt över hydrogeologiska intresseområden där SGU besitter kompetens

Resursbedömning	Beräkning av grundvattentillgång lokalt och regionalt <ul style="list-style-type: none"> - akviferanalyser - brunnsvärdering - geofysiska undersökningar - grundvattenkemiska undersökningar - kartering - provpumpningar
Konsekvensanalyser	Beräkning av konsekvenser för grundvattensystem av olika ingrepp i naturen <ul style="list-style-type: none"> - modellarbeten - prognosarbeten
Grundvattenströmning	Beräkning av hydrauliska egenskaper i olika jord- och bergarter <ul style="list-style-type: none"> - isotopundersökningar - modellarbeten - provpumpningar - spårämnesundersökningar Bedömning av förorenings spridning
Vattenomsättning	Beräkning av grundvattenbildning och akviferdynamik <ul style="list-style-type: none"> - studier av avrinningsområden - studier av hydrologiskt kretslopp - studier av klimat- och väderleksberoende - modellarbeten - studier av tidsserier
Markklassificering	Bedömning av geologiska bildningars lämplighet för konstgjord grundvattenbildning, infiltration av dag- och avloppsvatten Geologisk och hydrogeologisk bedömning för sättnings- och skredundersökningar

SGU bedriver en bred hydrogeologisk verksamhet. Framför allt fungerar SGU som opartisk sakkunnigfunktion med hög vetenskaplig kompetens. Denna funktion kan upprätthållas genom att SGU bedriver bred basverksamhet samt utvecklingsarbete och forskning inom hela grundvattensektorn. SGU åtager sig också uppdrag åt myndigheter, kommuner och enskilda vad gäller främst övergripande problemställningar inom hydrogeologin.

Samhällets krav på insatser från SGU inom hydrogeologin kommer sannolikt att öka under de närmaste åren. Det krävs bättre information om grundvattenförhållanden för t ex vattenresursplanering, markanvändning och vattenskydd. Vidare kommer tätortsproblemen med förändrad grundvattenbildning, sättningar och föroreningar att aktualisera hydrogeologiska insatser i form av konsekvensanalyser, liksom frågor om skred, utnyttjande av energi från grundvatten, byggande i berg samt de areella näringarnas vattenbehov och påverkan på vattenkvalitet.

Inom flera av dessa problemområden ser SGU ett intimt samarbete med främst Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI), statens geotekniska institut (SGI) och statens naturvårdsverk (SNV) som naturligt och nödvändigt. Med SGU:s motsvarigheter i främst Danmark, Finland och Norge bedrivs också samarbete inom hydrogeologiska projekt av regional karaktär.

EXEMPEL PÅ VERKSAMHET

I följande artiklar ges några glimtar från den hydrogeologiska verksamheten vid SGU. Artiklarna belyser såväl rutinmässiga som mer tillfälliga aktiviteter. Efter SGU:s omlokalisering till Uppsala, vilken slutfördes 1979-02-28, kan artikelförfattarna nås under adress:

Sveriges geologiska undersökning

Box 670

751 28 UPPSALA

Tel: 018 - 15 52 80

Samtliga kartbilder i artiklarna är - där ej annat datum anges - av statens lantmäteriverk 1979-02-15 ur sekretessynpunkt godkända för spridning.

HYDROGEOLOGISK ÖVERSIKTSKARTERING AV SVERIGE

Gert Knutsson

SAMMANFATTNING

Den hydrogeologiska karteringen vid SGU har hittills legat på försöksstadiet. Ett omfattande utredningsarbete har bl a visat att behovet av hydrogeologiska kartor är mycket stort, särskilt i de regioner av landet, där grundvattnet är av väsentlig betydelse för kommunal vattenförsörjning och jordbruksbevattnig. För att så snabbt som möjligt få fram ett översiktligt planeringsunderlag bör översiktskartor i skala 1:250 000 framställas, främst i Syd- och Mellansverige samt Norrlands kustland. Metodstudier samt fälterfarenheter tyder på att med nuvarande anslag bör detta vara möjligt inom en 15-årsperiod. Översiktskarteringen påbörjades 1978 i Kalmar län och förbereds nu i Västmanlands respektive Gotlands län.

SYFTE

Syftet med en hydrogeologisk karta är att på ett kartografiskt sätt försöka beskriva huvuddragen av grundvattnets förekomst, rörelse och beskaffenhet i olika geologiska bildningar samt om möjligt redovisa en bedömning av grundvattentillgångarnas storlek (i olika klasser) och/eller uppgifter om t ex grundvattennivåer och vattengenomsläpplighet. Kartan bör också ge annan information med anknytning till grundvatten, främst vissa uppgifter om nederbörds- och ytvattenförhållanden samt om mänsklig aktivitet, t ex grundvattentäcker och avfallsupplag. Framställningen kan göras på en eller flera kartor (över samma område) med kompletterande profiler, diagram och beskrivning. En hydrogeologisk karta skiljer sig sålunda i regel från en vanlig geologisk karta genom att den - förutom direkta observationer och mätningar - i högre grad redovisar bedömningar och beräkningar. Jord- och bergartsbeteckningar finns endast som en bakgrund på kartan eller saknas helt. Tonvikten läggs i stället på tolkningar av jord- och berggrundens egenskaper i grundvattenhänseende. En väsentlig skillnad mellan de bägge karttyperna är också, att den geologiska kartan redovisar förhållanden som inte nämnvärt förändras (med

SERIE Ag
HYDROGEOLOGISKA KARTBLAD
SÖDRA OCH MELLERSTA SVERIGE

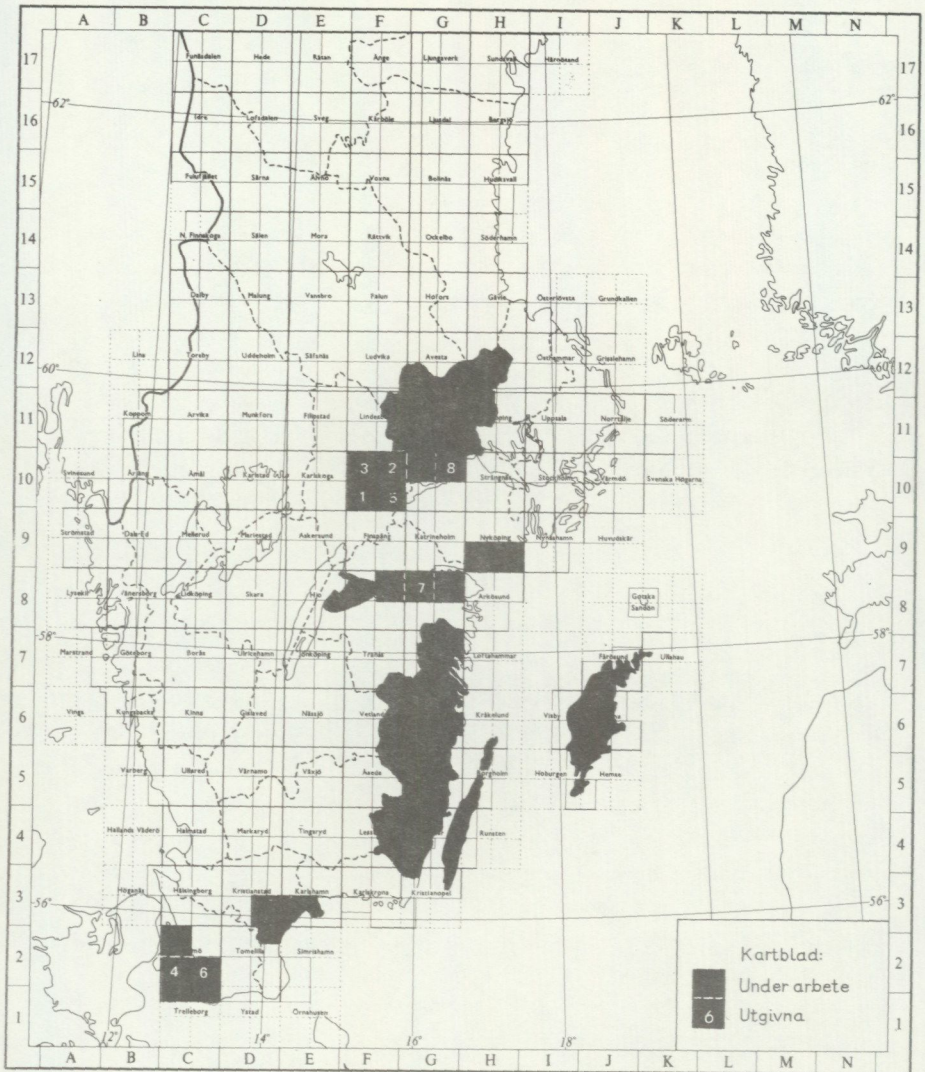


Fig 1. De utgivna kartorna 1 - 8 är i skala 1:50 000 liksom de kartor enligt topografiska kartans bladindelning, vilka är under arbete. Kartorna över östgötaslätten respektive kristianstadsslätten är under tryckning i skala 1:100 000. Kartorna över hela län, t ex Kalmar län, kommer att tryckas i skala 1:250 000.

mänskliga tidsmätt), vilket däremot de hydrogeologiska förhållandena kan göra (både på naturlig väg och genom ingrepp). Det tillförs också ständigt nya uppgifter om hydrogeologin genom brunnborrningar och vattenförsörjningsutredningar, vilket kan förändra kartbilden. Omloppstiden för hydrogeologiska kartor bör därför vara kortare än för vanliga geologiska kartor. Detta är också fallet i många länder. Av samma anledning görs ofta den första omgången hydrogeologiska kartor i en mera översiktlig skala än de vanliga geologiska kartorna.

BAKGRUND

Kartläggning av grundvattenförhållanden har i mindre omfattning bedrivits i samband med vetenskapliga och praktiska undersökningar sedan lång tid tillbaka såväl vid SGU som vid vissa forskningsinstitutioner och konsultföretag. Det var dock först 1969 som en mera regelmässig hydrogeologisk kartering påbörjades vid SGU.

Hittills har åtta hydrogeologiska kartor i skala 1:50 000 med beskrivningar utgivits i SGU:s serie Ag: Örebro NV, NO, SV, SO, Trelleborg NV/Malmö SV, Trelleborg NO/Malmö SO, Norrköping NV samt Eskilstuna NO (fig 1). Följande kartblad är under arbete men ännu inte utgivna: Malmö NV, Linköping NO, Norrköping NO, Nyköping SV, SO samt Eskilstuna NV. En beskrivning med fyra översikt-kartor i skala 1:100 000 över de hydrogeologiska förhållandena i Närke:s sedimentära berggrund är publicerad i SGU:s serie C. Fyra översikt-kartor i skala 1:100 000 med profiler samt beskrivning över hydrogeologin inom Östergötlands sedimentära berggrund är under tryckning, liksom en översikt-karta i skala 1:100 000 samt flera specialkartor över hydrogeologin på Kristianstadsslätten (fig 1). En hydrogeologisk karta i skala 1:100 000 över Billingen har utarbetats i samband med utredning om uranskifferbrytningen vid Ranstad.

Framställningen av hydrogeologiska kartor vid SGU omfattar också en översiktlig presentation av Sveriges hydrogeologi i skala 1:1 500 000. Denna kartering är ett led i ett internationellt samarbete (Internationella Hydrogeologiska Europakartan), som syftar till att presentera grundvattensituationen i Europa i stora drag. Två kartblad omfattande de västra delarna av Syd- och Mellan-sverige är nu utgivna.

Genom arbetet med nu nämnda kartor har utvecklingen förts framåt från kartor, där den hydrogeologiska informationen trycktes på den vanliga geologiska kartan (Örebrobladen), till hydrogeologiska kartor enligt de principer, som föreslagits av UNESCO (1970) men med modifieringar för olika geologiska förhållanden i Sverige (se t ex kartbladen Trelleborg NO/Malmö SO och Eskilstuna NO).

UTREDNING

Målsättningen för den framtida hydrogeologiska karteringen av Sverige samt utformningen av de hydrogeologiska kartorna har utretts av en arbetsgrupp vid SGU. Arbetet startade 1975 och som ett led i utredningen utsändes 1976 en enkät med ett 20-tal frågor till samtliga länsstyrelser. Mot bakgrund av bl a svaren på denna enkät utarbetades två modeller för hydrogeologiska kartor i skala 1:50 000 respektive 1:250 000 (fig 2). Dessa blev föremål för en omfattande remissbehandling av statliga och kommunala myndigheter, vetenskapliga institutioner och föreningar samt konsult- och brunnborrningsföretag, sammanlagt ett 80-tal instanser. Modellerna och målsättningen för den hydrogeologiska karteringen diskuterades också inom SGU:s kartråd samt vid regionala konferenser, som anordnades med samtliga länsstyrelser samt vissa lantbruksnämnder och kommuner under våren 1977. Behovet av kartor betonades av nästan samtliga som svarade. Modellerna mottogs i allmänhet mycket positivt, i synnerhet den i skala 1:250 000, som också prioriterades av de flesta remissinstanserna, främst av tids- och kostnadsskäl. Utredningens förslag - vilket presenterades sommaren 1977 - innebar också att översiktskartor i skala 1:250 000 förordades. Utformningen av kartorna måste vara flexibel med hänsyn till dels skilda geologiska förhållanden, dels olika ändamål. Målsättningen för karteringen borde vara att så snabbt som möjligt få fram ett översiktligt planeringsunderlag i de regioner av landet, där grundvattnet är av stor betydelse för kommunal vattenförsörjning, jordbruksbevattning m m samt där kännedomen om grundvattenförhållandena spelar stor roll för samhällsplanering och miljövård. Översiktskarteringen borde i första hand omfatta Syd- och Mellansverige samt Norrlands kustland. Där grundvattenfrågorna är av synnerlig vikt för flera väsentliga samhällsintressen och där framtida konflikter mellan dessa är uppenbara, bör detaljerad kartering, främst i skala 1:50 000, utföras. Det stora behovet av en systematisk hydrogeologisk kartering framkom också vid den översiktliga beskrivning av grundvattentillgångar i Sverige, som utfördes av SGU på uppdrag av statens naturvårdsverk (Knutsson och Fagerlind 1977).

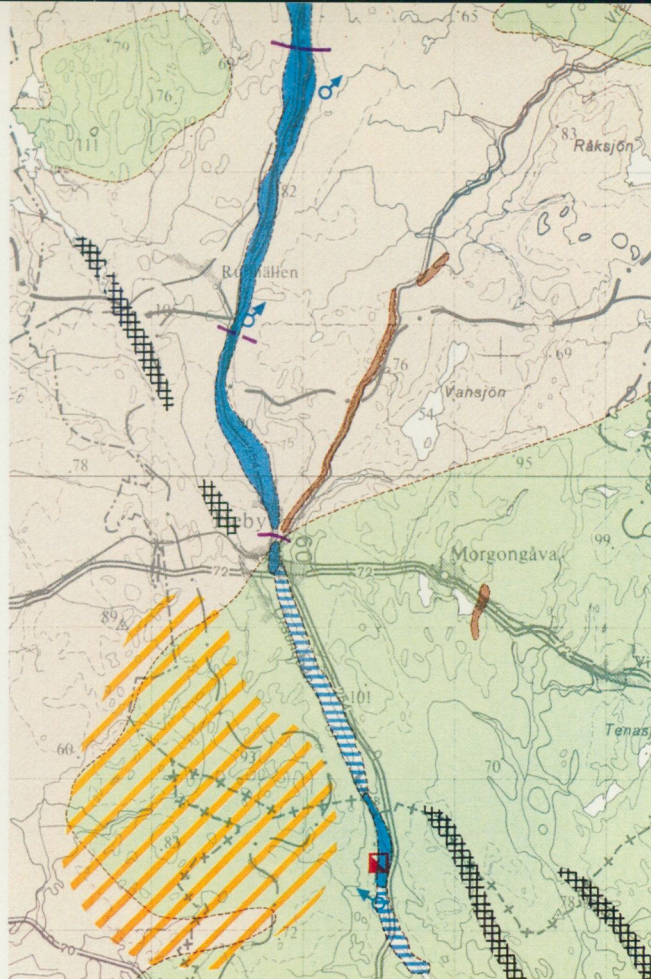


Fig 2. Ett utsnitt ur modellen för översiktskarta i skala 1:250 000. Informationen på bilden är fiktiv. I den slutgiltiga utformningen kommer kartan bl a att förses med överbeteckningar för utbredda morän- och lerområden samt stor-skalig sprickteknik, därtill profiler i marginalen.

Huvudprinciperna för kartans färgsättning är att:
blå färg betecknar områden, där grundvattnet uppträder i de geologiska bildningarnas porer, t ex i porös sand,
grön färg betecknar områden, där grundvattnet huvudsakligen uppträder i sprickor, t ex i sprickorna i granit,
brun färg betecknar områden, där lite eller inget grundvatten förekommer.
 Färgnyanserna på kartan avser bedömningar av storleksordningen på grundvattentillgångar och uttagsmöjligheter i jordlagren respektive på uttagsmöjligheter av grundvatten i berggrunden.
 Huvudprincipen vid bedömning är att kartans färger hänför sig till de geologiska bildningar som bedöms ha de största grundvattentillgångarna och vara gynnsammast för utvinning av grundvatten. Undantag utgör områden markerade som morän eller lera samt färg tillhörande underliggande berggrund, där brunnar i jord kan vara alternativ till brunnar i berg.
 Godkänd ur sekretessynpunkt för spridning. Statens lantmäteriverk 1977-02-04.

METODSTUDIER

Utredningsarbetet följdes av försöksverksamhet med översiktskartering i skala 1:250 000. För detta utvaldes ett par områden med dels olika hydrogeologiska förhållanden, dels olika underlagsmaterial (Hultsfredsområdet i Kalmar län och Enköpingsområdet i Uppsala län). Allmänt kan - med erfarenhet av försöksverksamheten - konstateras att översiktskarteringen i huvudsak måste baseras på bearbetning och utvärdering av befintliga uppgifter från geologiska kartor, litteratur, grundvattenutredningar och arkiv (främst SGU:s brunnsarkiv). Vissa kompletterande fältundersökningar kommer emellertid att bli nödvändiga att utföra, dels i områden med bristfälligt geologiskt kartmaterial, dels för att få fram speciella uppgifter om t ex grundvattenförande lager under lera, grundvattenförekomster i berg och morän samt grundvattnets kemi. I det senare sammanhanget behövs dels ett antal fullständiga vattenanalyser från representativa grundvattenförande bildningar över hela området, dels specialanalyser för att avgränsa vissa grundvattenkemiska regioner. Därvid har ett mobilt vattenlaboratorium visat sig vara mycket användbart. För bedömning av grundvattenförhållandena i morän är den av Engqvist, Olsson och Svensson (1978) utarbetade enkla provpumpningsmetodiken lämplig. Givetvis kan provpumpningar endast utföras i ett begränsat antal brunnar inom karakteristiska moränområden. En grov klassificering av moränbildningarna måste därför först göras. Beträffande bedömning av större grundvattentillgångar i berggrunden kan bl a de radiomagnetiska mätmetoder, som beskrivs av Müllern (1979), bli tillämpbara.

Förekomsten av sand- och gruslager under lera bör undersökas genom sondering och enklare borring särskilt i de större lerområden, där brunns- och/eller lagerföljdsuppgifter helt saknas. De nu nämnda fältmomenten är emellertid alla att betrakta som punktinsatser för att få fram referensuppgifter för den mycket översiktliga bedömningen av berg-, morän- och lerområden. Grundvattenförhållandena i dylika bildningar och terrängtyper är av intresse inte bara vad gäller uttagsmöjligheter utan också från anläggnings- och byggnadssynpunkt samt vad gäller morän också från deponeringssynpunkt.

De stora grundvattentillgångarna i Sverige finns emellertid huvudsakligen i sand- och grusavlagringar, varför en relativt stor andel av fältinsatserna kommer att åtgå för bedömning av dessa bildningar. Klassificeringen grundar sig på insamlade uppgifter dels angående avlagringarnas utbredning, uppbyggnad,

sammansättning och mäktighet, dels beträffande grundvattennivåer, dräneringsmönster, beräknade uttagbara vattenmängder, storleken av aktuella uttag, vattenbeskaffenhet m m, främst i och omkring kommunala vattentäkter. Dessa uppgifter bildar dock ett relativt glest "basdatanät", varför fältkontroller blir nödvändiga längs avlagringarna. Terrängavsnitt med "basdata" kommer att besiktigas och användas som jämförelseobjekt för bedömningen av mellanliggande avsnitt. Grusavlagringarnas terrängläge och kontinuitet samt geologin närmast omkring avlagringarna är därvid viktiga faktorer vid jämförelsen.

En särskild försöksverksamhet har bedrivits för att utreda möjligheterna till samverkan mellan hydrogeologisk översiktskartering och regional grusinventering. Anledningen är att de jordartsgeologiska undersökningsobjekten i stort sett är desamma (sand- och grusavlagringar) samt att de inledande arbetsmomenten är likartade. Ett starkt motiv för samverkan är dessutom att ett gemensamt bedömningsunderlag kan erhållas för optimal disponering av grusavlagringarna, främst för grus- respektive grundvattentäkt. Överföring av geologisk kartinformation till arbetskartor (topografiska), insamling och bearbetning av lagerföljdsuppgifter o dyl, samt fältkontroller av grusavlagringarnas utbredning, materialsammansättning och kontinuitet är exempel på arbetsmoment som skulle kunna samordnas. Särskilt i områden med bristfälligt geologiskt kartunderlag kan tid och kostnader därigenom nedbringas avsevärt.

Med hänsyn till dels erfarenheterna från metodstudierna, dels synpunkter i remissvaren kommer vissa ändringar av och tillägg till modellen för översiktskarta i skala 1:250 000 (fig 2) att göras. I huvudsak kommer detta att innebära att huvudkartan förses med överbeteckningar för utbredda morän- respektive lerområden samt storskalig spricktektonik, därtill profiler i marginalen. Specialkartor över bl a nederbörd och ytavrinning, kapacitetsvariationer i berggrunden samt grundvattenkemi (t ex totalhårdhet, fluorid, klorid, järn och mangan samt kväveföreningar) kommer att presenteras i en särskild "atlas"-del. Kartorna skall åtföljas av en kortfattad allmän beskrivning över använd arbetsmetodik, vissa grundvattenbegrepp samt definitioner.

PLANERAD VERKSAMHET

Metodstudierna samt fälterfarenheter från sommaren 1978 tyder på att det bör

vara möjligt att genomföra hydrogeologisk översiktskartering inom södra och mellersta Sverige samt Norrlands kustland inom en tidsperiod av ca 15 år med nuvarande anslag. Tiden beror dels på hur avgränsningen görs mot norrlands-terrängen (13 å 15 översiktsblad i skala 1:250 000, varje översiktsblad motsvarande 24 topografiska blad), dels på möjligheterna till vidgad intern samverkan med såväl övriga hydrogeologiska verksamhetsgrenar som vissa andra verksamheter inom SGU, t ex grusinventering, jordarts- och berggrundskartering samt geofysisk kartering.

Bedömning av behovet av hydrogeologiska kartor i olika län har gjorts efter en poängsättning av grundvattnets betydelse för vattenförsörjningen i tätorter, inom areella näringar (främst för bevattning och djurhållning), i industrier, i gles- och fritidsbebyggelse samt vid eventuell evakuering av större tätorter. Därtill har nyttan av hydrogeologiska kartor för samhällsplanering i övrigt beaktats. Länsorganens uppgifter om behovet av hydrogeologiska kartor samt planer på utredningar av grundvattenförhållandena har vägts in i bedömningen, liksom tillgången på underlagsmaterial. Med ledning av den sammanlagda poängen har en uppdelning i fyra prioritetsklasser A - D gjorts. I klass A (med högsta prioritet) hamnar de två skånelänen. Malmöhus län kommer emellertid i klass B om hänsyn tas till sydvattenprojektet. Som tidigare omtalats är en del kartor över de hydrogeologiska förhållandena på Kristianstadsslätten redan under tryckning. Kalmar län intar tätplatsen i klass B, där också Gotlands, Örebro och Västmanlands län återfinns. Kartering i skala 1:250 000 påbörjades sommaren 1978 i Kalmar län och förberedelser för översiktskartering av Västmanlands respektive Gotlands län pågår i samarbete främst med delprogrammet grundvattendokumentation vid SGU. I klass C kommer övriga län i Syd- och Mellansverige utom Östergötlands län, Göteborgs och Bohus län samt Älvsborgs län, vilka återfinns i klass D tillsammans med Värmlands och Kopparbergs län samt norrlands-länen. Prioriteringen kan tänkas bli ändrad genom att nya, angelägna behov av hydrogeologiska kartor uppstår t ex för energilagring eller energiutvinning.

REFERENSER

- Engqvist, P, Olsson, T, och Syensson, T, 1978. Pumping and recovery tests in wells sunk in till. Nordic Hydrological Conference. Papers of workshops, pp I - 42-51. Hanasaari.

- Knutsson, G, och Fagerlind, T, 1977. Översiktlig beskrivning av grundvattentillgångar i Sverige. SGU Rapporter och meddelanden nr 9. Stockholm.
- Müllern, C-F, 1979. Grundvattenprospektering med radiovågor - VLF- och RAMA-mätningar. Vannet i Norden, detta nummer.
- Sveriges geologiska undersökning, 1971-1979. Samtliga kartor i Ser Ag.
- UNESCO, 1970. International legend for hydrogeological maps. UNESCO. Paris.

OM GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDENA PÅ GOTLAND OCH KRISTIANSTADSSLÄTTEN. EN SAMMANSTÄLLNING AV UPPGIFTER FRÅN SGU:S BRUNNSARKIV

Ove Gustafsson, Helgi Lindewald och Staffan Modig

INLEDNING

Grundvattnet spelar en viktig roll för våra samhällens och industriernas vattenförsörjning. Goda kunskaper om grundvattentillgångarna krävs därför såväl för en rationell samhällsplanering som för vattenresursernas rätta utnyttjande och skydd. Kunskapsbehovet i samband med grundvatten är en av orsakerna till att det inrättades ett brunn- och borrhataarkiv vid Sveriges geologiska undersökning (SGU) liksom att det finns en lagstadgad skyldighet för brunnborrare och vissa konsulter att lämna uppgifter om brunnar och vattentäkter till SGU.

Från vissa områden föreligger nu så mycket användbara grundvattendata (bl a från brunnborringar och grundvattenutredningar) att desamma kunnat användas i regionala vattenplaneringssammanhang. Nedan beskrivs kortfattat två utredningar från områden med sedimentär berggrund, Gotland och Kristianstadsslätten, där arkivmaterial utgjort en väsentlig del i utredningsmaterialet.

KVALITETSKRAV PÅ BASMATERIALET

För att en arkivuppgift skall kunna användas optimalt i samband med t ex en beskrivning av ett områdes hydrogeologiska egenskaper fordras att flera av följande parametrar finns att tillgå: a) tillräckligt noggrann lägesangivelse, b) stratigrafi, d v s art och mäktighet hos ingående geologiska led, c) vattenkapacitet, d) avsänkings- eller återhämningsförlopp vid någon form av vattenmätning (provpumpning, blåsning o d), e) nivå för stabil grundvattenyta.

Det säger sig självt att ju noggrannare dessa uppgifter är desto värdefullare är informationen. I en viss fas av en utredning kan dock en mångfald något sämre uppgifter accepteras som underlag.

I arkivmaterialet från de båda områdena är kravet på basuppgifterna väl tillgodosett.

GOTLAND

Den av jordbruksdepartementet tillsatta vattenplaneringsutredningen (VPU) har i samband med sitt arbete med att utarbeta riktlinjer för samhällets vattenresursplanering utvalt Gotland som ett av tre försöksområden. Som ett led i utredningsarbetet ingår att söka reda på var underlag för sådan planering kan erhållas. I anslutning härtill har SGU ombetts presentera det material som finns arkiverat vid SGU, främst brunnsarkivet. SGU har gjort en bearbetning av delar av materialet (Översiktlig redovisning av SGU:s material över grundvattenförhållandena på Gotland. Rapport 1978-08-07) samt i anslutning därtill en utredning om grundvattenbildningen på Gotland (Grundvattenbildning inom Gotland beräknad med numerisk modell. Rapport september 1978).

Cirka 150 borrhuppfigter från Gotland har bearbetats. Uppgifterna från borrhuppfigterna är av något varierande kvalitet och omfattning. De angivna vattenmängderna bygger i regel på resultat från mycket kortvariga provpumpningar i samband med borrhningen.

Berggrundens transmissivitet (T-värde)

Som underlag för beräkningar av grundvattenbildningen har ur brunnsdata framräknats T-värden. Transmissiviteten, som är ett mått på hur mycket vatten som kan röra sig genom ett jord- eller berglager vid en viss gradient, har här överslagsmässigt beräknats enligt formeln

$$T = 1.25 \frac{Q}{s} \text{ där}$$

T = transmissiviteten (m^2/s)

Q = den genom provpumpning uttagna vattenmängden (m^3/s)

s = avsänkningen i meter i brunnen.

De högsta T-värdena (för kalkstenen) återfinns sydost om Visby (Follingbo - Romakloster - Hogrän), där enskilda brunnar kan ha en kapacitet av mer än 10 l/s vid låg - måttlig avsänkning. En utförligare redogörelse för grundvattenbildningen finns i uppsatsen "Grundvattenbildning på Gotland" (Axelsson och Carlsson) i detta nummer av Vannet i Norden.

Berggrundens permeabilitet (k-värde)

Arkivdata har också använts för beräkning av k-värdet (permeabiliteten). Permeabiliteten, som är ett mått på en jord- eller bergarts vattengenomsläpplighet, har i föreliggande fall överslagsmässigt beräknats enligt formeln

$$k = \frac{T}{m} \text{ där}$$

k = permeabiliteten (m/s)

T = transmissiviteten

m = den vattenförande formationens mäktighet.

De högsta värdena återfinns även de från området sydost om Visby, där man alltså kan vänta sig goda uttagsmöjligheter under förutsättning av att grundvattensmagasinet är tillräckligt stort. Permeabiliteten hos berggrunden (kalkstenen) har åskådliggjorts i fig 1.

Grundvattnets kemiska beskaffenhet

Som ett exempel på data om grundvattnets kemiska beskaffenhet som erhålls från brunnsborrningar kan nämnas uppgifter om förekomst av salt grundvatten. Områden med brunnar där kloridhalten överstiger 300 mg/l (smakgränsen) har redovisats på en översiktskarta, fig 2. Att observera är att bilden är generaliserad, vilket betyder att höga kloridhalter kan uppträda inom dessa områden, men att inte alla brunnar har ett vatten med hög salthalt. Det är med andra ord en karta som visar var risken att påträffa salt grundvatten är stor.

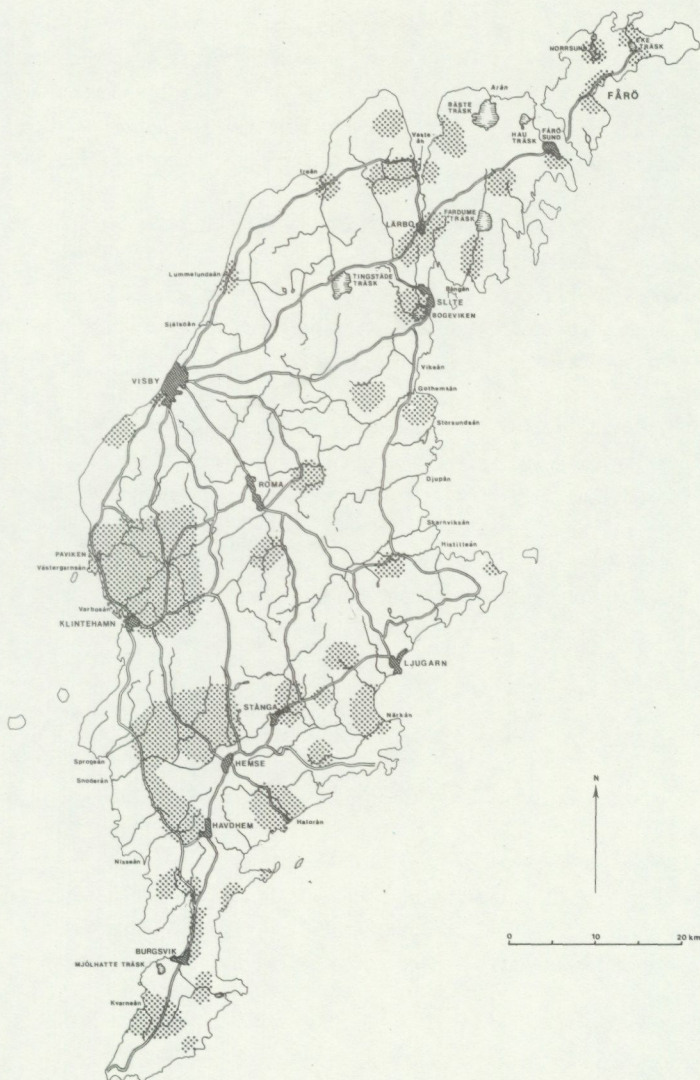


Fig 2. Områden med hög kloridhalt (>300 mg/l) i grundvattnet.

KRISTIANSTADSSLÄTTEN

På Kristianstadsslätten är den kommunala vattenförsörjningen helt baserad på grundvatten. En stor del av industrins vattenbehov täcks på samma sätt. Genom den snabba ökningen av lantbruksbevattningen inom vissa områden på slätten under 1970-talet finns farhågor att en bristsituation kan uppkomma. Lantbrukets vattenbehov tillgodoses av yt- och grundvattenuttag i ungefär lika omfattning.

För att så långt möjligt kunna fastställa grundvattentillgångarnas förekomst och storlek har länsstyrelsen i Kristianstads län hemställt att SGU låter utföra en hydrogeologisk kartering av Kristianstadsslätten. SGU:s undersökning skulle bli en tjänst som underlag för en nöjaktig prioritering och fördelning av grundvattentillgångarna.

Som en första etapp av SGU:s undersökning har en sammanställning över nuvarande kunskapsunderlag om Kristianstadsslättens hydrogeologi utarbetats. Denna baseras till stor del på uppgifter från brunnsarkivet. Eftersom brunnsborrningsdata har insamlats periodvis i Skåne under hela 1900-talet finns ett förhållandevis stort antal borrhningar från Kristianstadsslätten registrerade vid SGU. För den aktuella sammanställningen har ca 800 borrhuppgifter bearbetats. Av dessa är omkring 400 av mycket god kvalitet.

Hydrogeologisk karta

För att ge en bild av jordlager och infiltrationsförhållanden har en hydrogeologisk karta i skala 1:100 000 utarbetats. Kristianstadsslätten har där uppdelats med hänsyn till kända jordlagerföljder. Kartan avser främst att ge en tredimensionell bild av jordlagrens uppbyggnad. Förutsättningarna för infiltration till berggrunden har bedömts för varje jordlagerföljd. Vidare har områden markerats, där grundvattenuttag i jordlagren om mer än 10 l/s och brunn är sannolika.

Planscher

För att i första hand visa berggrundens geologi och grundvattenförhållanden

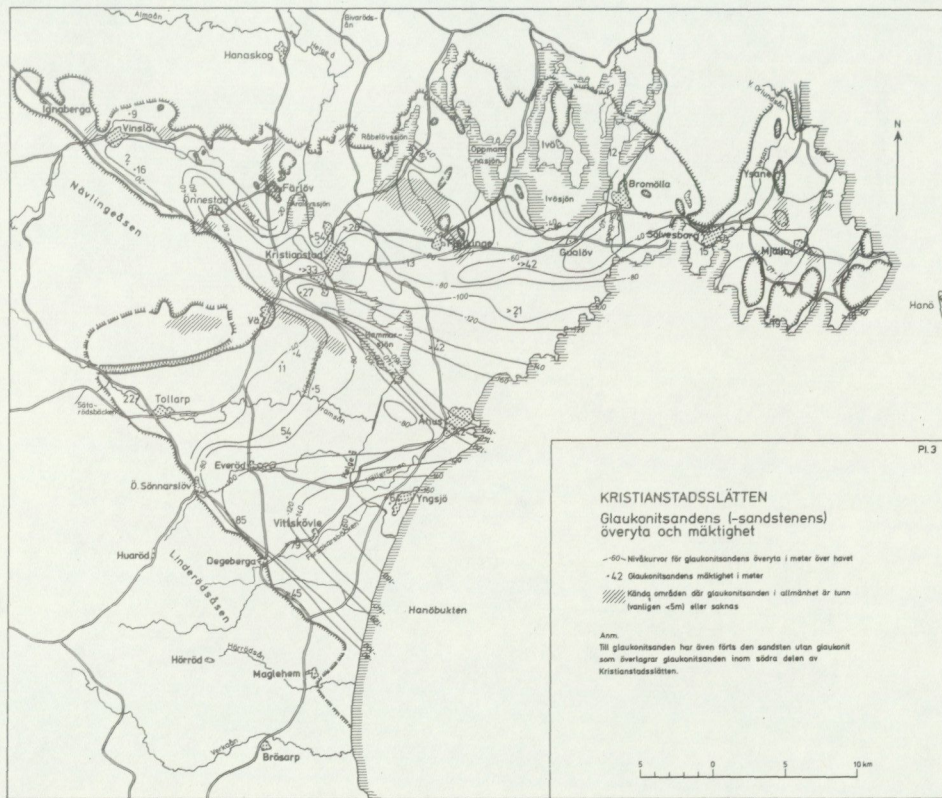


Fig 3. Glaukonitsandens (-sandstenens) övertyta och mäktighet.

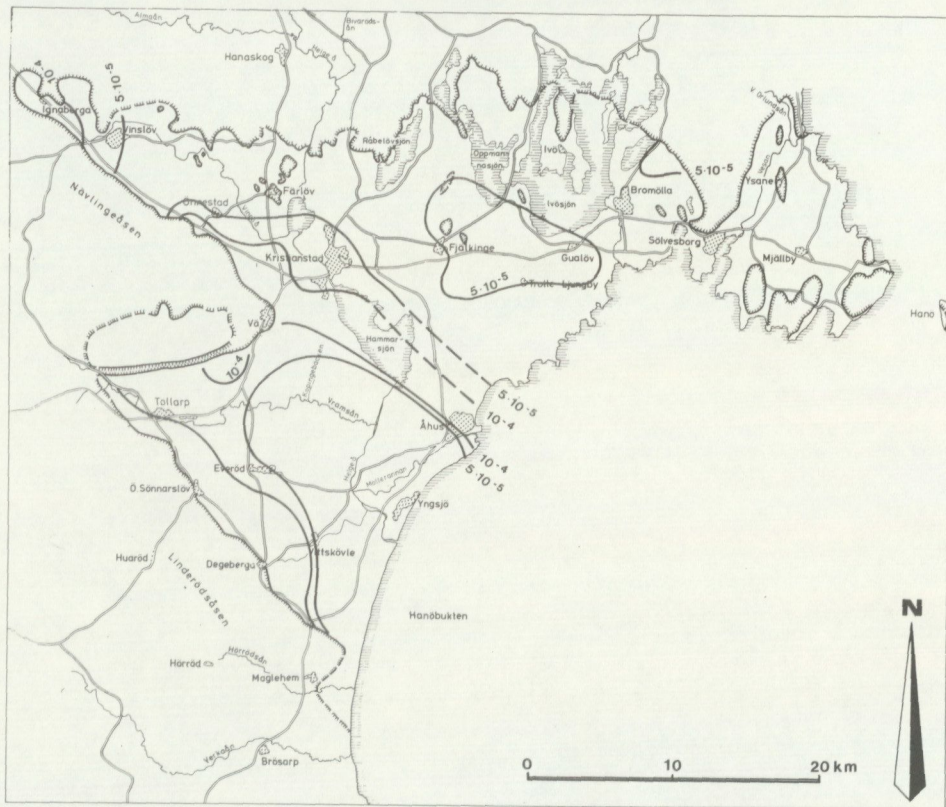


Fig 4. Översiktlig bild av glaukonitsandens permeabilitet. Isolinjer för $k = 5 \cdot 10^{-5}$ och $k = 10^{-4}$ m/s.

har 6 planscher framställts. Dessa kommer att redovisas i skala 1:250 000. Planschernas innehåll framgår av nedanstående sammanställning:

1. Registerkarta
2. Urbergets överyta
3. Glaukonitsandens (-sandstenens) överyta och mäktighet
4. Berggrundens överyta
5. Kritberggrundens mäktighet
6. Grundvattennivåer.

En förminskning av plansch 3 framgår av fig 3.

Glaukonitsandens permeabilitet

På samma sätt som för Gotland har beräkningar av berggrundens transmissivitet och permeabilitet utförts. Permeabilitetens regionala variation i glaukonitsanden framgår översiktligt av fig 4. En förhöjning av värdena kan utläsas mot Linderöds- och Nävlingeåsen, vilket tyder på att den grovkornigaste sanden förekommer närmast dessa urbergsområden.

Något om grundvattnets kemiska beskaffenhet

De vattenanalyser som finns från Kristianstadsslätten visar att grundvattnet normalt är hårt och ofta har tämligen hög järnhalt. Kloridhalten är nästan alltid låg. Nitrathalten är ofta hög i de övre jordlagren men låg i berggrunden. Förhöjda nitrathalter uppträder dock allmänt i kritberggrunden inom vissa områden, främst i anslutning till Nävlinge- och Linderödsåsen.

SAMMANFATTNING

Bearbetning av arkivuppgifter från brunnsarkivet har gjort det möjligt att utan kompletterande fältarbete framställa – om än översiktligt – kartor över grundvattenförhållandena på Gotland och Kristianstadsslätten. Dessa kartor kan användas som utgångspunkt inför de mer ingående undersökningar, som kan väntas i framtiden.

GRUNDVATTENBILDNING PÅ GOTLAND

Charlie Axelsson och Leif Carlsson

SAMMANFATTNING

Grundvattenbildningen till berggrunden inom några områden på Gotland har beräknats med hjälp av finit elementmetodik och med utgångspunkt från den mängd vatten som utifrån rådande grundvattenförhållanden dvs hydrauliska egenskaper och grundvattennivåer erfordras för att upprätthålla jämvikt i grundvattensystemet. För hela Gotland har den årliga grundvattenbildningen beräknats till ca 25 mm inom inströmningsområdena. Som ett delresultat har också erhållits storlek och fördelning av in- och utströmningsområden.

INLEDNING

I samband med pågående arbeten vid jordbruksdepartementet (vattenplaneringsutredningen) rörande riktlinjer för vattenresursplanering har Sveriges geologiska undersökning på uppdrag beräknat grundvattenbildningen inom några områden på Gotland. Arbetet har varit ett utvecklingsarbete där en numerisk modell för analys av grundvattenströmning utnyttjas. Denna uppsats redovisar några av de erhållna resultaten.

GRUNDVATTENBILDNING

Grundvattenbildning innebär vattentillskott till ett grundvattenmagasin genom vertikal transport, som perkolation vid öppna och som läckage vid läckande grundvattenmagasin. Generellt kan grundvattenbildningen beräknas enligt följande principer:

1. Beräkning eller mätning av den mängd vatten som utifrån meteorologiska, geologiska och markutnyttjande faktorer kan bilda grundvatten.
2. Beräkning av den mängd vatten som utifrån rådande grundvattenförhållanden, dvs hydrauliska egenskaper och grundvattennivåer erfordras för att upprätthålla jämvikt i grundvattensystemet.

3. Analys av vattenföringen från väldefinierade avrinningsområden.

Detta ger grundvattenavrinningen vilken under längre tidsperioder motsvarar grundvattenbildningen inom avrinningsområdet.

Förutom nämnda tre principer kan grundvattenbildningen uppskattas enligt mer eller mindre empiriska metoder, exempelvis utnyttjande av infiltrationskoefficienter.

NUMERISK MODELL

Med medel från statens råd för byggnadsforskning, Chalmers tekniska högskola, konsultfirman VIAK AB och Sveriges geologiska undersökning har vid Chalmers tekniska högskola utvecklats ett datorprogram för analys av grundvattenströmning enligt finita elementmetoden (Runesson, Tägnfors och Wiberg 1978). Programmet (GEOFEM-G) ingår i en större programvara, CHALMFEM, som är tillgänglig vid Göteborgs datacentral.

I programmet löses en differentialekvation av typen:

$$\frac{\partial}{\partial x} (T_x \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (T_y \frac{\partial h}{\partial y}) = S \cdot \frac{\partial h}{\partial t} + W$$

där T_x och T_y är transmissivitet i x-respektive y-led.

h = grundvattenytans nivå

S = magasinskoefficient

t = tid

W = grundvattenuttag eller -tillförsel

Programmet förutsätter tvådimensionell strömning och att transmissiviteten är oberoende av grundvattenytans läge. Över det område som skall beräknas läggs ett elementnät. Sidorna i elementen i rutnätet bestäms av en andragradsekvation och definieras av två hörnnoder och en mittnod. Dessa element medger att i princip vilken geometrisk form som helst kan avbildas med ett "rektangulärt" elementnät, som exemplifieras i fig 1. Inom varje element ansätts ett transmissivitetsvärde, vid transienta förlopp också en magasinskoefficient. Tillförsel eller uttag av grundvatten kan anges inom ett element, längs en elementsida eller i en hörnnod. Randvillkor anges endast i hörnnoder.

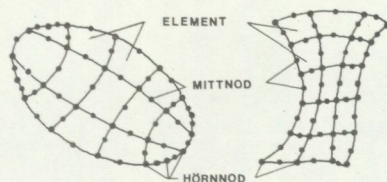


Fig 1. Exempel på elementnät.

UTVALDA OMRÅDEN

I SGU:s rapport till jordbruksdepartementet beräknades grundvattenbildningen till berggrunden inom fyra områden på Gotland (SGU 1978). Av dessa områden redovisas här följande tre, markerade i fig 2.

Område 1 omfattar 104 km^2 och är beläget sydöst om Visby mellan Träkumla, Follingbo, Roma-kloster och Atlingsbo.

Område 2 omfattar 168 km^2 och är beläget norr om Hemse mellan Östersjön i väster och Stånga-Lojsta i öster.

Område 3, 2595 km^2 omfattande hela Gotland med undantag av Burgsvikshalvön och området nordöst om en linje Kappelshamsviken - Vägumeviken.

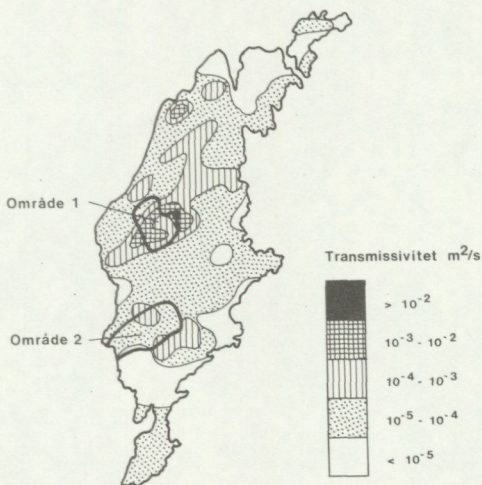


Fig 2. Översiktlig bild av berggrundens transmissivitet på Gotland baserad på brunn-datauppgifter (SGU 1978).

BASDATA

Basdata som behövs för beräkningarna är grundvattenytans läge, transmissivitet och hydrauliska randvillkor. Dessa basdata har erhållits från:

- grundvattennivåkarta över det ytliga grundvattnet i Gotlands kalkstensberggrund baserad på ca 4 000 vattenståndsuppgifter och upprättad av Tullström (1954) se fig 3.
- karta över kalkstensberggrundens transmissivitet, fig 2 framtagen vid SGU och baserad på 150 uppgifter från brunnborraren om grundvattenuttag Q och samtidig avsänkning s av grundvattenytan. Transmissiviteten T är beräknad enligt av Carlsson och Carlstedt (1977) angivet samband $Q = \alpha \cdot s \cdot T$, där koefficienten α valts till 0.8.
- topografiska kartans information om ytvattendrag, höjdkurvor och våtmarker.

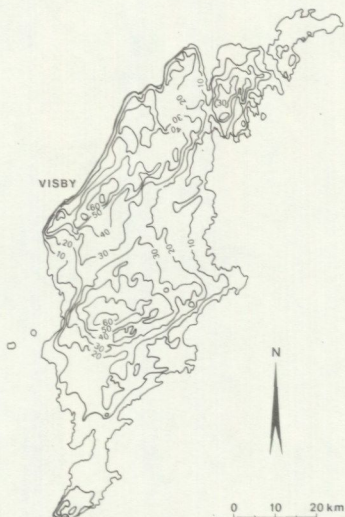


Fig 3. Nivåkarta över ytligt grundvatten i berggrunden på Gotland (efter Tullström 1954).

ARBETSGANG OCH RESULTAT

De områden som utvalts är begränsade grundvatten-avrinningsområden. Begränsningarna utgörs av grundvattendelare och strömlinjer enligt grundvattennivåkartan fig 3 samt av ytvattendrag till vilka en utströmning av grundvatten antas ske.

Inom varje område har elementnätet utformats med hänsyn till såväl grundvattennivålinjer och ytvattendrag som bedömda transmissivitetsgränser. I samtliga hörn-
nodpunkter har grundvattennivån fixerats med utgångspunkt från nivåkartan i fig 3. Transmissivitetsvärden för de olika elementen har erhållits från transmissivitetsskarta i fig 2.

Vid beräkningarna har grundvattenbildningen satts till noll. Som resultat har erhållits det beräknade vattentillskott eller vattenutflöde som är nödvändigt för att de fixerade grundvattennivåerna skall upprätthållas. Dessa vattenmängder har därefter omräknats till grundvattenbildning respektive grundvattenutströmning i antal millimeter vattenpelare per år.

Tillskottet av vatten har summerats inom hela området och därefter dividerats dels med hela områdets yta dels med den yta som enligt beräkningarna utgör inströmningsområden. Grundvattenbildningen i områdena 1, 2 och 3 i fig 4, 5 och 6 redovisas i tabell 1, 2 och 3. Då transmissivitetsvärdena får betraktas som relativt osäkra har dessa varierats inom troliga intervall. De mellersta värdena i tabellerna torde vara de mest sannolika. Grundvattenbildning inom hela Gotland bör således vara ca 25 mm/år utslaget på inströmningsområdena.

Tabell 1. Beräknade värden på grundvattenbildning till berggrunden inom område 1 vid olika transmissivitetsvärden i olika delområden, se även fig 4.

Transmissivitet i m ² /s inom delområde			Grundvattenbildning i mm/år	
A	B	C	hela ytan	inströmningsområden
(23%)	(42%)	(35%)		
10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	16	28
5·10 ⁻⁵	5·10 ⁻⁴	5·10 ⁻³	81	140
10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	162	281

Tabell 2. Beräknade värden på grundvattenbildning till berggrunden inom område 2 vid olika transmissivitetsvärden i olika delområden, se även fig 5.

Transmissivitet i m^2/s inom delområde			Grundvattenbildning i mm/år	
A	B	C	hela ytan	inströmningsområden
(19%)	(76%)	(5%)		
10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	2	5
$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	10	23
10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	20	47

Tabell 3. Beräknade värden på grundvattenbildning till berggrunden över hela Gotland (område 3) vid olika transmissivitetsvärden i olika delområden.

Transmissivitet i m^2/s inom delområde					Grundvattenbildning i mm/år	
A	B	C	D	E	hela ytan	inströmningsområden
(19%)	(56%)	(21%)	(3%)	(1%)		
10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	2	5
$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-2}$	12	24
10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	24	48

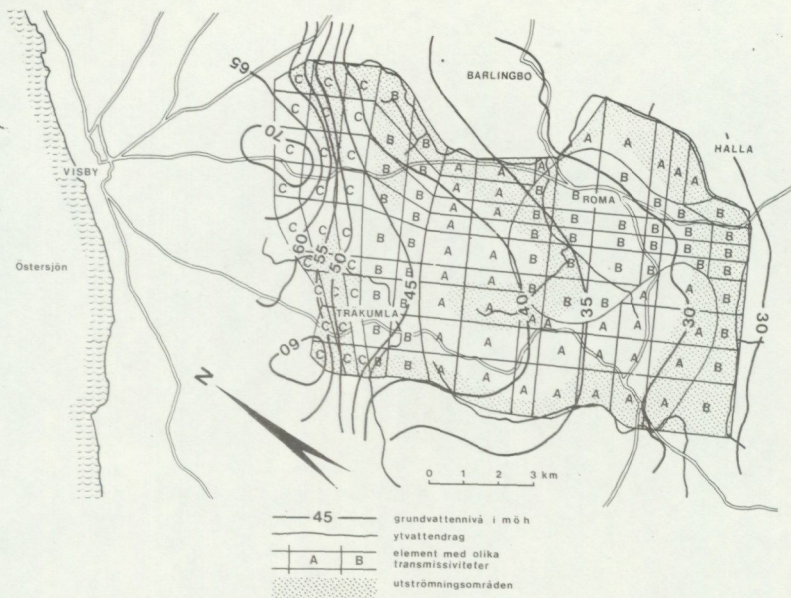


Fig 4. Grundvattennivålinjer, ytvattendrag, elementnät, transmissivitetsfördelning och beräknade utströmningsområden inom område 1.

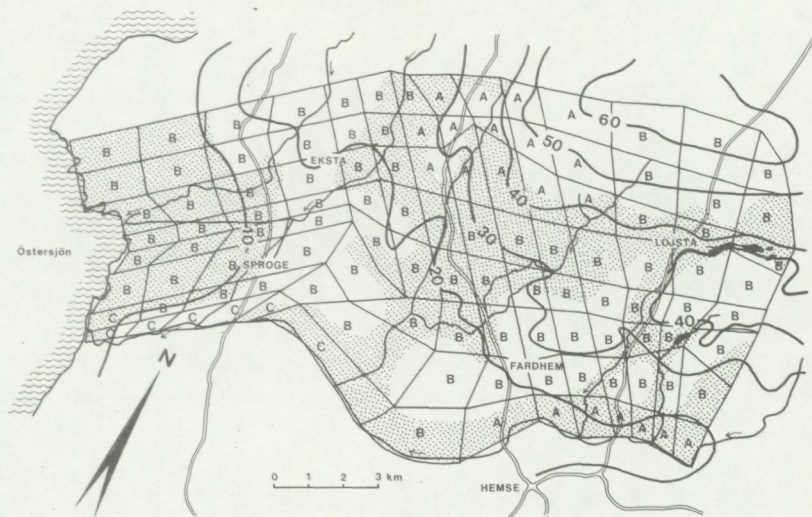


Fig 5. Grundvattennivålinjer, ytvattendrag, elementnät, transmissivitetsfördelning och beräknade utströmningsområden inom område 2. Teckenförklaring, se fig 4.

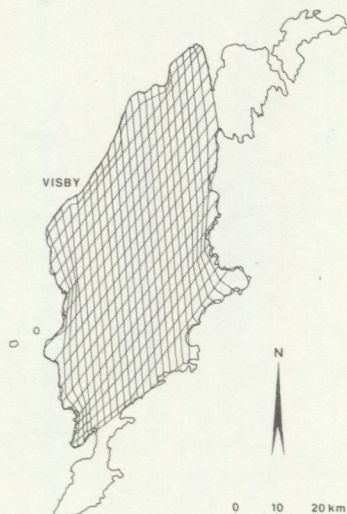


Fig 6. Elementnät för beräkning av grundvattenbildning till berggrunden inom hela Gotland (SGU 1978).

DISKUSSION

Grundvattenbildningen ökar med ökad transmissivitet när grundvattenytan hålls på konstant nivå, som framgår av tabellerna 1, 2 och 3. En höjning av grundvattennivån med samma belopp över hela området förändrar ej grundvattenbildningens storlek. En areellt olikformig förändring av grundvattennivån ger dock förändrad grundvattenbildning. Denna förändring kan principiellt beskrivas som en ökning av grundvattenbildningen direkt proportionellt mot ökad vattenståndsdifferens inom området.

Av utnyttjade basdata föreligger den största osäkerheten i transmissivitetsvärdena. Såväl i uppgifterna om vattenuttag och avsänkning som i utnyttjat samband föreligger osäkerheter och förenklingar. Transmissivitetsvärden från 150 brunnar utgör punktinformation som ej är jämnt fördelad över Gotland.

Punkterna har utnyttjats för framställning av en karta med isolinjer. Osäkerheten vid dessa linjers konstruktion, liksom den ojämna fördelningen av punktinformationen bidrar till att kartan i fig 2 inte ger någon exakt bild utan snarare en generell bild av transmissivitetsförhållandena inom Gotland. Antalet uppgifter som finns om transmissiviteten på Gotland är dock större än inom exempelvis urbergsområden. I tabell 4 anges för några områden i Sverige frekvens av uppgifter om grundvattenuttag och avsänkning från bergborrade brunnar.

Tabell 4. Frekvens av uppgifter om grundvattenuttag och avsänkning från bergborrade brunnar inom några områden i Sverige.

Område	Berggrund	Uppgifter om grundvattenuttag och avsänkning. En uppgift på
Billingen-Falbygden	Sandsten	6 km ²
Billingen-Falbygden	Kalksten	8 km ²
Kristianstadsslätten	Kritkalksten	5 km ²
Kristianstadsslätten	Kritkalksten + okons. sandsten	2 km ²
Halland	Urberg	120 km ²
Gotland (denna rapport) ^x	Kalksten + mörgelsten	17 km ²

^x) Fler datauppgifter finns i äldre arkiv vilka ej bearbetats.

Storleken av de enskilda elementen i det rutnät (elementnät) som anpassas över studerat område är av betydelse framförallt vid indelningen av området i in- och utströmningsområden för grundvatten. Med mindre element erhålls säkrare indelning och samtidigt beräkningsmässigt säkrare värden på grundvattenbildningen. Såväl datortid som datorkostnad ökar dock drastiskt med ökat antal element.

Sammantaget kan sägas att den beskrivna metoden för bestämning av grundvattenbildning ger relevanta värden med hänsyn till hydrauliska förhållanden. Metoden arbetar med matematiskt-fysikaliskt korrekta samband och är ej begränsad av områdets storlek, geologi eller topografi. En ytterligare fördel är att in- och utström-

ningsområden kan beräknas. Osäkerheten i metoden baserar sig på osäkerheten i ingående basdatauppgifter. För att få så relevanta värden på grundvattenbildningen som möjligt bör stor mängd data vad avser grundvattennivåer och transmissivitet föreligga. Eftersom grundvattenbildningen är direkt proportionell mot transmissiviteten är detta krav störst när det gäller beräkning av grundvattenbildningen till mycket permeabla grundvattenmagasin.

REFERENSER

- Carlsson, L., Carlstedt, A., 1977. Estimation of transmissivity and permeability in Swedish bedrock. - *Nordic Hydrology*, 8, 1977, sid 103-116.
- Runesson, K., Tägnfors, H., Wiberg, N.-E., 1978. GEOFEM-G. Computer program for groundwater seepage including confined aquifer analysis. User's manual. - Chalmers tekniska högskola, juni 1978.
- SGU, 1978: Grundvattenbildning inom Gotland beräknad med numerisk modell.
- Rapport till vattenplaneringsutredningen, jordbruksdepartementet, september 1978.
- Tullström, H., 1954. Preliminärt meddelande om hydrogeologiska undersökningar på Gotland. - Grundförbättring nr 4, 1954.

HYDROGEOLOGISK KONSEKVENSANALYS

Leif Carlsson och Anders Carlstedt

SAMMANFATTNING

Ett större hänsynstagande till miljöaspekter i samband med olika slag av mänsklig aktivitet har bl a fokuserat intresset till grundvattnet. För att en dialog ska kunna föras mellan sakkunniga, allmänhet och beslutsfattare i hydrogeologiska frågor, är det av vikt att gemensamma referensramar skapas varigenom missförstånd lättare kan undvikas. Men inom hydrogeologin kan, lika litet som inom någon annan vetenskap, facktermer och teoretiska resonemang helt undvikas, varför trots allt vissa krav också måste ställas på den som har att penetrera och ta ställning till ett hydrogeologiskt utredningsmaterial. Föreliggande uppsats visar i korthet på vilket innehåll en hydrogeologisk konsekvensanalys bör ha. Vidare diskuteras tillförlitligheten i en sådan analys samt slutligen ges ett exempel på hur resultaten kan presenteras.

INLEDNING

Med begreppet exploatering av en grundvattenresurs torde man i första hand lägga betydelsen utvinning av grundvatten för konsumtionsändamål. Begreppet kan emellertid ges en vidare betydelse, så att det täcker alla mänskliga aktiviteter som på något sätt griper in i och påverkar grundvattensystemet. Förutom grundvattenuttag är undermarksbyggande, gruvbrytning, sjöreglering, skogs- och åker gödsling, restproduktdeponeringar, industrilokaliseringar, bebyggelse exempel på åtgärder som direkt eller indirekt påverkar grundvattensystemet. Denna koppling har i flera fall gjorts först efter det att påverkan observerats. Pedagogiska exempel på detta är de omfattande sättningsarna i centrala Stockholm p g a dränering av grundvatten till tunnelbanetunnlar (Morfeldt, 1967).

I andra fall har bl a farhågorna för skadlig effekt på grundvattensituationen medfört att stora industriprojekt kraftigt ifrågasatts t ex uranskiperbrytningen i Ranstad (Skövde Miljöforum, 1975) och kalkstenbrytning på Gotland, File Hajdar (Nilsson, 1976).

Det är uppenbart att man idag både bland enskilda och politiker tillmäter olika miljöaspekter avsevärt större betydelse än tidigare då maximal snarare än optimal tillväxt var rättesnöret. Emellertid kan det ibland synas som om det föreligger en diskrepans mellan å ena sidan viljan och å den andra sidan förmågan att penetrera tillgängligt hydrogeologiskt utrednings- och faktamaterial och av detta dra adekvata slutsatser. Detta förhållande förstärks av den något mystiska infallsvinkel som människor i många fall har till grundvattnet och vad som är förknippat därmed. Det är därför ofta svårt även med objektiva och vetenskapliga argument att vinna tilltro för en ståndpunkt, om denna ställs mot mer eller mindre kvasivetenskapliga uppfattningar.

Dilemmat för hydrogeologen är således inte bara att lösa den vetenskapliga problemställningen utan även presentera sitt material och sina slutsatser på ett för läsaren förstäligt och övertygande sätt.

Man kan med rätta hysa vissa tvivel om huruvida det är möjligt att på ett tillfredsställande sätt analysera inflytande på grundvattensystemet av mänskliga aktiviteter. Emellertid torde det vara helt visst, att beslutsfattare och enskilda kan dra intelligenta slutsatser endast om de kan förutse konsekvensen av det ena eller andra ställningstagandet.

BESKRIVNING AV GRUNDVATTENSYSTEMET

För att göra en analys av den påverkan som ett ingrepp eller störning har i en naturlig grundvattensituation fordras först ett klarläggande av rådande grundvattenförhållanden samt av grundvattenbalans och vattenomsättning. Genom olika undersökningar kan detta klarläggande successivt tas fram där valet av metod hela tiden ställs i relation till önskad information. För en tillfredsställande beskrivning av grundvattensystemet, bör kunskap föreligga om

- randvillkor, d v s vissa förhållanden vara kända om grundvattenförande avlagringens (akviferens) utsträckning och mäktighet, täta respektive läckande gränser och grundvattennivåer
- transmissivitets- (T) och magasinskoefficienter (s)
- grundvattenbildningens storlek och karaktär (hydrometeorologiska förhållanden)

- det kemisk-fysikaliska tillståndet hos såväl grundvattnet som hos akvifer-materialet och angränsande geologiska enheter.

Det är väsentligt att utredaren vid planeringsstadiet kan renodla problemställningen så att datainsamlingen blir relevant och inte ett självändamål. Det är i och för sig möjligt att i detalj mäta olika fysikalisk-kemiska parametrar hos grundvattensystemet, men ett sådant förfaringssätt torde i praktiska sammanhang sakna intresse. Den krassa ekonomiska verkligheten gör att man som utredare istället hänvisas till begränsade mätningssatser som får extrapoleras till att gälla i ett vidare sammanhang och till bedömningar som erfarenhetsmässigt ligger inom gränsen för det sannolika.

Genom att så att säga gå "bakvägen" och använda parametrarna genomsläpplighet och grundvattenbildning i en teoretisk modell, kan en grundvattensituation simuleras, som om storleken på parametrarna valts rätt, överensstämmer med de observerade rådande grundvattenförhållandena. När på detta sätt bestämts den för det aktuella fallet giltiga modellen över naturliga (rådande) grundvattenförhållanden, kan störningar införas av kvalitativ eller kvantitativ karaktär i modellen och en konsekvensanalys av påförda störningar kan genomföras.

Noggrannheten i en hydrogeologisk konsekvensanalys är beroende på tillförlitligheten hos såväl ingångsdata som den teoretiska modell som valts. I en grundvattenförande formation varierar parametrarna från plats till plats. Utvärderingar bygger på ekvationer som i sig förutsätter enkla förhållanden som exempelvis homogenitet, isotropi etc. Giltigheten av utförda beräkningar är således beroende av de generaliseringar som görs för att uppfylla förutsättningarna för beräkningsmetodernas tillämpbarhet. Generaliseringarna görs emellertid så att resultaten av beräkningarna ger den största påverkan av alternativa generaliseringar, d v s ett konservativt betraktelsesätt som innebär att man hela tiden är på säkra sidan.

Översiktligt kan således tillförlitligheten och noggrannheten i en hydrogeologisk konsekvensanalys sägas vara beroende av följande faktorer:

1. tillförlitlighet hos ingående data
2. de grundläggande ekvationernas giltighet och förutsättningar
3. approximationer och generaliseringar i uppbyggnad av använda teoretiska modeller.

Det är svårt att vid varje utvärdering ange noggrannheten i resultaten. Värden på exempelvis vattengenomsläppande förmåga erhålls från olika platser och genom olika undersökningsmetoder. Om formationen antagits homogen, ger alla dessa mätresultat en möjlighet till en redovisning där erhållna ytterlighetsvärden, medianvärden och intervall med troliga värden anges. På liknande sätt kan ett grundvattensystems gränsvillkor varieras vid upprättande av en beskrivande modell. Här kommer givetvis det personliga omdömet att spela en icke oväsentlig roll för tillförlitligheten i gjorda antaganden.

Medan det är en förhållandevis stor noggrannhet i bedömningar av representativa värden på vattengenomsläppande förmåga hos en grundvattenförande avlagring måste vanligen grundvattenbildningen d v s det naturliga vattentillskottet till grundvattenmagasinet beräknas som en restterm för att få vattenbalansen att gå ihop. Vid konsekvensanalys bör tillförlitligheten på något sätt presenteras för läsarna av rapporten. En känslighetsanalys där påverkan kvantifieras för olika tänkbara variationsintervall vad gäller parametrarna i grundvattenmodellen, måste ingå i den hydrogeologiska konsekvensanalysen. En sådan analys, vars resultat kan åskådliggöras i diagramform, är också av största betydelse för möjligheten till saklig kritik och analys av presenterade resultat. Detta ger underlag för myndigheter och beslutsfattare, som har att analysera konsekvenserna av grundvattenpåverkan i ett vidare sammanhang.

Den kvantifierade påverkan i form av storleken av grundvattenavsänkt område, mängder av salter till grundvattnet eller förändrad grundvattenbildning måste sättas i relation till grundvattensystemets naturliga tillstånd och till fastställda normer och krav från kontrollerande myndigheter eller andra officiella organ. Det är här av vikt att naturliga tillståndet blir belyst med dess variationsbredd. Variationerna i grundvattennivå uppvisar en viss årsregelbundenhet inom större eller mindre amplitud medan variationen i grundvattnets beskaffenhet vanligtvis är större mellan olika platser än mellan olika tidpunkter. Variationerna i naturlig bakgrunds nivå är i många fall större än vad en störning kan komma att medföra.

EXEMPEL PÅ KONSEKVENSANALYS

Ett företag har för avsikt att ansöka om tillstånd för ett stenbrott. I ansökan skall ingå en hydrogeologisk undersökning med syfte att utreda konsekvenserna på grundvattensituationen av den tillänkta stenbrytningen. Ett resultat som kan förväntas är en avsänkning av grundvattennivån dels inom själva brytningsområdet dels i anslutning till detta. Som följd kan denna avsänkning medföra att brunnar nedförda i berget minskar i kapacitet eller torrläggas.

Vidare finns i närheten av det planerade brytningsområdet källområden med speciell vegetation, klassad som skyddsvärd. Således föreligger flera konflikt-situationer som beslutsfattare i frågan måste ta ställning till.

För att utföra en hydrogeologisk analys av grundvattenpåverkan inhämtas följande information rörande akviferen ifråga.

- grundvattennivåer
- genomsläpplighet
- grundvattenbildning

Vidare måste hänsyn tas till planerat brytningsdjup i stenbrottet. Fig 1 visar en sektion vinkelrätt mot källområdet i öster över det planerade brytningsområdet. Den uppmätta naturliga grundvattenytan redovisas i denna sektion.

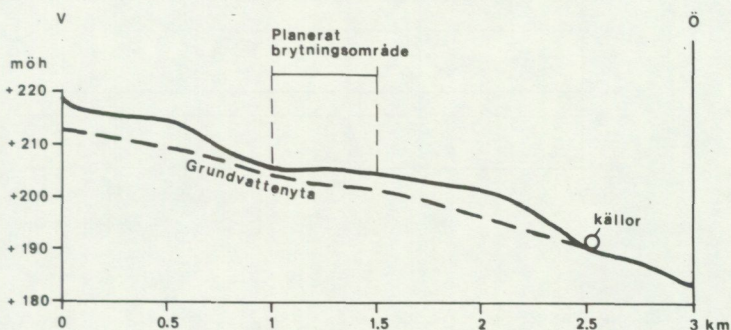


Fig 1. Sektion över undersökningsområdet.

De på olika sätt erhållna uppgifterna om berggrundens genomsläpplighet har sammanställt på normalfördelningspapper, fig 2. Sammanställningen visar, att medianvärdet för genomsläppligheten, k , $\approx 5 \cdot 10^{-6}$ m/s och att $k_{25} \approx 3 \cdot 10^{-6}$ m/s och $k_{75} \approx 8 \cdot 10^{-6}$ m/s.

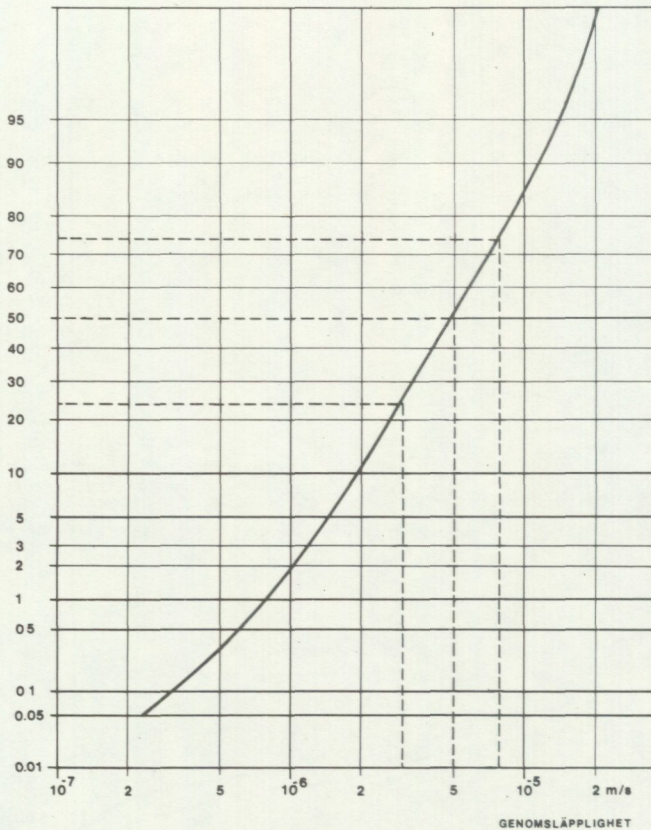


Fig 2. Berggrundens genomsläpplighet. 25-, 50- respektive 75-procentvärdena markerade.

Grundvattenbildningen kan beräknas uppgå till 100 å 150 mm per år inom det aktuella området utifrån tillgängliga hydrometeorologiska data.

För att genomföra beräkningen över vilken avsänkning av grundvattennivån som kan förväntas av den planerade stenbrytningen, har den principiella modell använts som är infälld i fig 3.

INFLUENSAVSTÅND

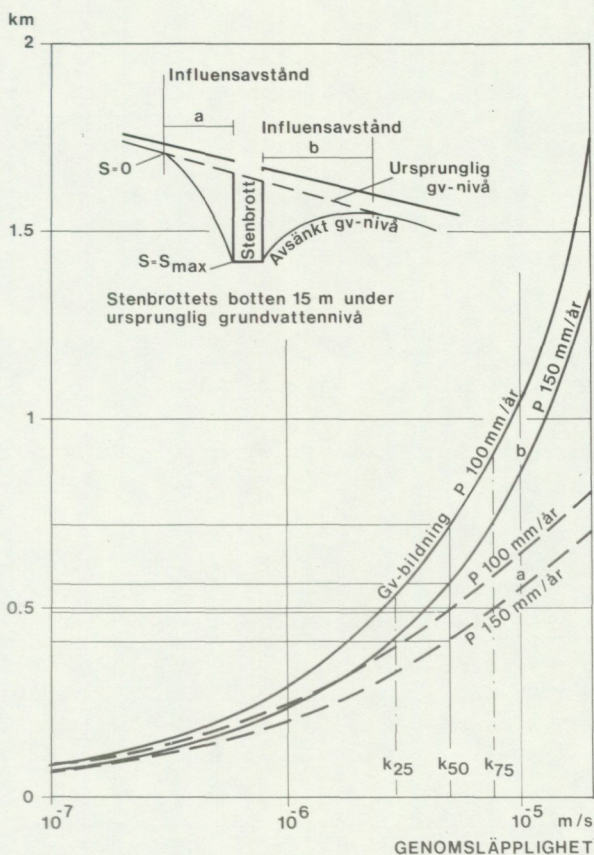


Fig 3. Influensavståndet som funktion av berggrundens genomsläpplighet och grundvattenbildningen.

De faktorer som söks är avstånden a och b , se fig 3, d v s avstånden från maximal avsänkning, $s = s_{\max}$ invid stenbrottet till den punkt där inte någon avsänkning alls kan mätas, $s = 0$. I beräkningen förutsätts vidare att stenbrottets botten kommer att ligga 15 m under den ursprungliga grundvattenytan, d v $s_{\max} = 15$ m.

Avsänkningens storlek i olika punkter mellan extremvärdena $s = 15$ m och $s = 0$ är en funktion av genomsläppligheten, k , i akviferen och grundvattenbildningen p , till denna. Genom att i denna funktion värden på genomsläpplighet och grundvattenbildning sätts in kan fig 3 konstrueras.

I detta fall har värden på genomsläppligheten mellan k_{25} och k_{75} bedömts som varande representativa.

Av diagrammet framgår att om grundvattenbildningen är 100 mm/år så är avståndet a för k_{50} 0.5 km och b för k_{50} 0.7 km. För en grundvattenbildning på 150 mm är motsvarande avstånd a 0.4 km och b 0.55 km. Om istället k_{75} väljs blir a 0.6 km och b 0.9 km om grundvattenbildningen = 100 mm.

En av fördelarna med denna presentationsform är att känsligheten i slutresultatet för variationer i ingångsdata kan urskiljas.

Detta är värdefullt inte bara för den som ska fatta beslut på grundval av utredningsmaterialet utan även för utredarens möjligheter att ge rekommendationer till eventuellt fortsatt handlingsprogram.

De erhållna värdena på a och b under olika förutsättningar kan också redovisas i tabellform vilket är överskådligt. Dock medger detta presentationsätt inte någon känslighetsanalys.

Avstånd

(km)	$p = 100$ mm			$p = 150$ mm		
	k_{25}	k_{50}	k_{75}	k_{25}	k_{50}	k_{75}
a	0.4	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5
b	0.5	0.7	0.9	0.4	0.55	0.77

Erhållna resultat kan naturligtvis även presenteras i kartform. Genom att flera beräkningar i sektioner utförs kan de punkter där avsänkningen beräknats till 0, kring det planerade brottet sammanbindas. Därigenom inringas påverkansområdet. På grund av att avsänkningen avtar exponentiellt med avståndet från störningen, är emellertid detta presentationssätt lite trubbigt. Skall kartan användas som presentationsform bör en största acceptabel gräns för avsänkningen fastställas. Denna gräns bör i så fall bestämmas med hänsyn tagen till de naturliga grundvattenståndsvariationerna.

Vad som ovan sagts angående innehåll i och redovisning av en hydrogeologisk konsekvensanalys innebär i och för sig inget nytt utan principerna har i flera fall redan tillämpats (Hörnsten et al 1977a, Hörnsten et al 1977b, Nordberg et al 1977, Carlsson et al 1978, Carlsson och Olsson, 1978, Bäckström, L. et al, 1978).

Det är emellertid väsentligt att den för möjligheterna att dra riktiga slutsatser så viktiga presentationen av resultaten ägnas särskild uppmärksamhet.

REFERENSER

- Bäckström, L., Carlsson, L., Carlstedt, A. och Hörnsten, A., 1978. Influence on the Groundwater Conditions in a Multilayered Aquifer System by Alum-Shale Mining. Water in Mining and Underground Works, Granada.
- Carlsson, A. och Olsson, T., 1978. Vatteninläckning till berganläggningar. Förväntningsmodell av influensområde. Byggmästaren Vol. 57. Nr 11 Stockholm.
- Carlsson, L., Nordberg, L. och Olsson, T., 1978. Grundvattenpåverkan vid mineralbrytning och mineralhantering. Rapport utarbetad vid Sveriges geologiska undersökning på uppdrag av mineralpolitiska utredningen, MPU. Stockholm.
- Hörnsten, A., Carlsson, L., Carlstedt, A. och Müllern, C.F., 1977. Hydrogeologiska synpunkter på planerad uranutvinning i Billingen vid Ranstad, Skaraborgs län. Rapport utarbetad vid Sveriges geologiska undersökning på uppdrag av Projekt Ranstad-75. Stockholm.

- Hörnsten, A., Carlsson, L. och Carlstedt, A., 1977. Hydrogeologiska synpunkter på planerad kalkstensbrytning i Billingen vid Våmb, Skaraborgs län. Rapport utarbetad vid Sveriges geologiska undersökning på uppdrag av Cementa AB. Stockholm.
- Nilsson, M., 1976. File Hajdar. Sveriges Natur nr 1. Uddevalla.
- Nordberg, L., Axelsson, C.L., Carlsson, L., Fagerlind, T., Gustafsson, G., Müllern, C.F., Perers, J., Rytter, P.A. och Särnblad, L. 1977. Hydrogeologiska synpunkter på planerad brytning av kalksten och märkesten på File Hajdar, Gotland. Rapport utarbetad vid Sveriges geologiska undersökning i samarbete med VIAK AB på uppdrag av regeringen. Stockholm.
- Morfeltdt, C.O., 1967. Problem med vatten vid tunneldrivning i berg. IVA Bergmekanikkommitté, Diskussionsmöte 3 mars 1967. Stockholm.
- Skövde miljöforum, 1975. Ranstad - hot mot vår bygd. Skövde.

GRUNDVATTENPÅVERKAN VID TUNNELDRIVNING — PARAMETERBESTÄMNING MED NUMERISK MODELL

Charlie Axelsson och Tommy Olsson

SAMMANFATTNING

Grundvattenförhållandena i ett avsnitt av avloppstunneln för Juktans pumpkraftstation är analyserade med en numerisk modell enligt finita elementmetoden. Som resultat av dessa beräkningar har såväl tunnelsystemets grundvattenpåverkan som bergmassans och sprickzonernas hydrauliska egenskaper erhållits.

INLEDNING

SGU medverkar i den hydrogeologiska forsknings- och utvecklingsverksamhet, som bedrivs av utvecklings- och kontrollsektionen vid Statens vattenfallsverk. Ett projekt inom denna verksamhet omfattar hydrogeologiska undersökningar i samband med byggandet av större berganläggningar.

I samband med bergrums- och tunnelbyggande uppstår ibland svårigheter med inläckning av grundvatten. Förutom att drivningstekniska och ekonomiska konsekvenser uppstår, påverkas även den naturliga grundvattenbalansen i omgivningarna. De av Statens vattenfallsverk utförda anläggningarna är normalt belägna i områden som ur grundvattensänkningssynpunkt är mindre känsliga, vilket medger att grundvattendräneringens inverkan på de naturliga grundvattenförhållandena kan undersökas utan störningar i form av brådsakande tätningsarbeten.

Den dränering av grundvattnet som orsakas av bergarbetena medför att det naturliga jämviktstillståndet störs och att ett nytt inträder. Störningens omfattning är beroende av ett flertal faktorer, bl a bergmassans hydrauliska konduktivitet, tunnelns djup under den ursprungliga grundvattenytan, grundvattenbildningen inom det aktuella området och den naturliga grundvattenströmningen.

Denna artikel redovisar ett försök att utifrån kända hydrogeologiska förhållanden

UNDERSÖKNINGSOMRADET

Det område som valts för att studera grundvattendränningen enligt denna metod är en del av det tunnelsystem som ingår i Juktans pumpkraftverk samt omgivningen närmast tunnelavsnittet. Fig 1 visar tunnelsystemet vid kraftstationen jämte det undersökta delområdet.

Omfattande hydrogeologiska undersökningar är utförda i samband med byggandet av detta kraftverk (Carlsson och Olsson 1978a och 1978b) och tunnelns influensområde är även bedömd utifrån en enkel förväntningsmodell (Carlsson och Olsson 1978c).

Tunnelsystemet vid Juktans kraftstation har en total längd av cirka 25 km med en tunnelarea av 60 - 80 m². Bergtäckningen varierar mellan 20 och 380 m med 225 m som medeltal. Bergmassans konduktivitet är för den homogena bergmassan cirka $2.4 \cdot 10^{-7}$ m/s och för sprickzonerna cirka $9.5 \cdot 10^{-5}$ m/s. Dessa värden avser tunnelsystemet som helhet. I det undersökta området är tunneln belägen cirka 60 - 120 m under den naturliga grundvattenytan. Konduktiviteten för den homogena bergmassan och för de sprickzoner som finns inom området är $2.4 \cdot 10^{-7}$ m/s respektive $9.5 \cdot 10^{-5}$ m/s. Enligt den tidigare nämnda förväntningsmodellen påverkar tunneln grundvattennivån inom ett avstånd av 300 m från tunneln i den homogena bergmassan och upp till 4 å 5 km längs sprickzonerna.

Fig 2 visar schematiskt det undersökta området med avloppstunneln, bergborrade brunnar vilka har använts för att registrera grundvattennivåförändringar, samt de större sprickzoner som finns dokumenterade inom området.

NUMERISK MODELL

Den modell som har använts vid detta arbete är ett datorprogram för analys av grundvattenströmning enligt finita elementmetoden. Programmet, GEOFEM-G, ingår i en större programvara, CHALMFEM, och är tillgängligt vid Göteborgs data-central (Runesson, Tängfors och Wiberg 1978). För en utförligare beskrivning av modellen hänvisas till uppsatsen "Grundvattenbildning på Gotland" (Axelsson och Carlsson 1979), i detta nummer av Vannet i Norden.

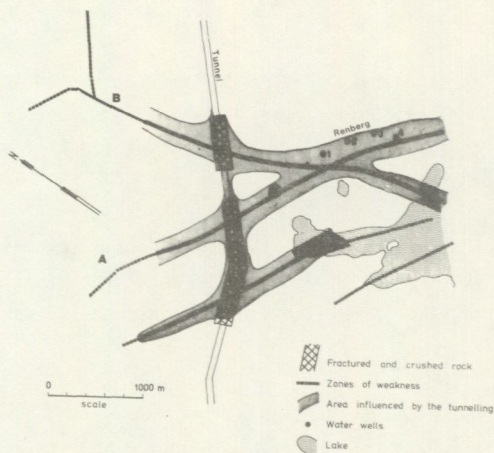


Fig 2. Undersökningsområdet vid Renbergsbyn med avloppstunnel och korsande sprickzoner. Godkänd ur sekretessynpunkt. Statens Lantmäteriverk 1979-01-25.

NUMERISKA BERÄKNINGAR

Det elementnät som har upprättats för Juktanområdet består av totalt 204 element anpassade till områdets geologi. I fig 3 visas elementnätet och de transmissivetsvärden som är ansatta respektive element. Den hydrauliska konduktiviteten och grundvattenbildningen enligt Carlsson och Olsson (1978 a) och enligt de numeriska beräkningarna redovisas i tabell 1.

Beräkningarna har utförts i två fristående steg:

- Opåverkade förhållanden
- Tunneln utsprängd till sin fulla omfattning inom undersökningsområdet

Det första steget genomfördes för att bedöma rimligheten av de ansatta ingångsvärdena för grundvattenbildning och transmissivitet och för att erhålla grundvattennivåer och strömbild under opåverkade förhållanden. I det andra steget simulerades tunneldrivningen och dess effekter.

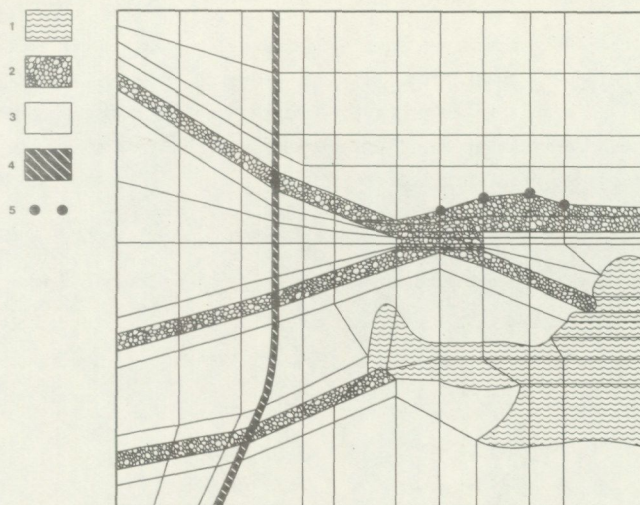


Fig 3. Elementnät och elementegenskaper inom Juktanområdet. 1. Renbergsjön. 2. Sprickzoner $T = 6 \cdot 10^{-4} - 60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. 3. Bergmassa $T = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. 4. Tunnel. 5. Bergborrade brunnar.

Tabell 1. Juktanområdets hydrauliska egenskaper. Ingångsvärden enligt Carlsson och Olsson (1978 a) samt värden justerade på basis av de numeriska beräkningarna.

Parameter	Ingångsvärden	Justerade värden
Hydraulisk konduktivitet		
Bergmassa	$2.4 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$	$2 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$
Sprickzoner	$9.5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$	$1 \cdot 10^{-5} - 10 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$
Grundvattenbildning		
Bergmassa	80 mm/år	5 mm/år
Sprickzoner	80 mm/år	50 mm/år

Som kontrollpunkter vid den simulerade tunneldrivningen har fyra bergborrade brunnar belägna i anslutning till sprickzonerna använts. Från tunnelarbetet är nämligen den resulterande grundvattensänkningen i dessa brunnar känd. I tabell 2 visas den faktiska grundvattensänkningen i brunnarna som resultat av dräneringen längs de båda sprickzonerna (A och B i fig 2), samt de avsänkningsvärden som är erhållna genom de numeriska beräkningarna.

Tabell 2. Uppmätt och beräknad avsänkning i bergborrade brunnar.

Brunn nr	Avstånd från tunneln	Uppmätt avsänkning	Beräknad avsänkning
1	1000 m	37 m	44 m
2	1300 m	23 m	38 m
3	1500 m	38 m	33 m
4	2000 m	36 m	28 m

De först utförda beräkningarna av tunneldrivningens inverkan på den naturliga grundvattensituationen, gav till resultat att den grundvattenbildning och de materialegenskaper som framkom vid tunneluppföljningen (Carlsson och Olsson 1978 a) måste justeras för att med modellen uppnå en grundvattenbalans som motsvaras av de verkligt uppmätta nivåerna och läckagemängderna. Vid den förnyade beräkningen valdes de materialegenskaper som anges som justerade värden i tabell 1. Härvid erhöles en grundvattensituation som betydligt bättre svarade mot de verkliga, uppmätta förhållandena. Skillnaden mellan verklig avsänkning och beräknad för brunnarna i tabell 2, beror sannolikt på att dessa ej är belägna i sprickzonen utan i sidoberget på varierande avstånd från sprickzonen.

Resultaten i form av grundvattennivåer och strömbild under opåverkade förhållanden och efter tunneldrivningen redovisas i fig 4 och 5.

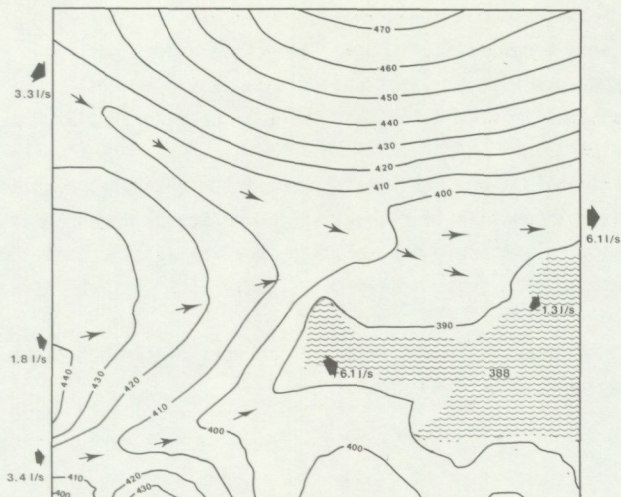


Fig 4. Grundvattennivåer och strömbild under opåverkade förhållanden.

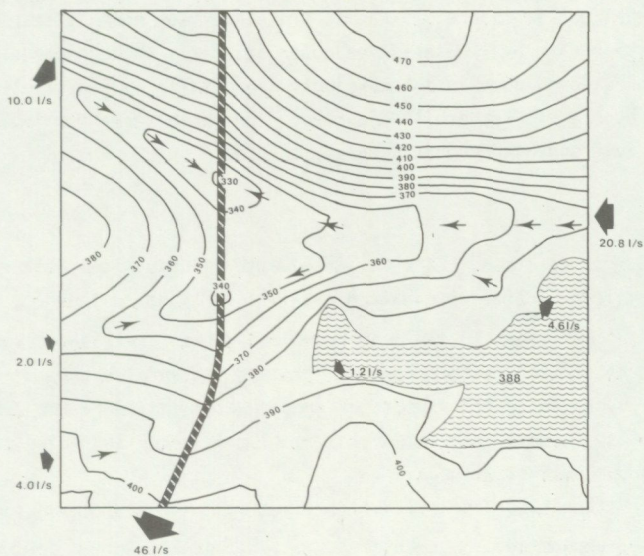


Fig 5. Grundvattennivåer och strömbild efter tunneldrivningen i området.

De resultat som framkommit genom modellarbetet är:

- Bergmassans konduktivitet uppgår till cirka $2 \cdot 10^{-8}$ m/s
- Sprickzonernas konduktivitet uppgår till $1 \cdot 10^{-5}$ — $10 \cdot 10^{-5}$ m/s.
- Grundvattenbildningen i bergmassan och i sprickzonerna är 5 mm/år respektive 50 mm/år.
- Grundvattenbildningen i bergmassan och i sprickzonerna ökar i samband med tunneldrivningen till 15 respektive 150 mm/år. Ökningen är störst i direkt anslutning till tunneln och sprickzonerna för att successivt minska med ökat avstånd från dessa dränerande strukturer.

De erhållna resultaten är preliminära och arbetet med de numeriska beräkningarna över Juktanområdet är ännu ej slutförda.

SLUTSATSER

Hydrogeologiska bedömningar i samband med stora bergarbeten kan ofta vara svåra att genomföra framför allt genom att observationsmöjligheterna i anläggningens närområde vanligen är mindre gynnsamma. De metoder som normalt står till buds är analytiska beräkningar baserade på observationer i anläggningens undermarksdelar. De nu utförda numeriska beräkningarna med hjälp av finita elementmetoden tycks dock utgöra ett värdefullt hjälpmedel för parameterbestämningar och bedömningar av grundvattendräneringens omfattning.

REFERENSER

- Axelsson, C. och Carlsson, L., 1979: Grundvattenbildning inom Gotland beräknad utifrån rådande grundvattenförhållanden. Vannet i Norden, Vol. 12, nr 1.
- Carlsson, A. och Olsson, T., 1978 a: Hydrogeologiska förhållanden vid Juktan kraftstation. Intern rapport, Statens Vattenfallsverk.
- 1978 b: Hydrogeological aspects of ground water inflow in the Juktan tunnels, Sweden. International Symposium on Water in Mining and Underground Works, Granada.
- 1978 c: Vatteninläckning till berganläggningar — Förväntningsmodell av influensområde. Byggmästaren, Vol. 57, nr 11.
- Runesson, K., Tängfors, H. och Wiberg, N-E., 1978: GEOFEM-G. Computer program for groundwater seepage including confined aquifer analysis. User's manual. Chalmers Tekniska Högskola.

HYDROGEOLOGISKA UNDERSÖKNINGAR RÖRANDE FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR DEPONERING AV RADIOAKTIVT AVFALL I BERGGRUNDEN

Ulf Thoregren

BAKGRUND

Alltsedan 1974 har SGU arbetat med problemet att kunna förvara högaktivt avfall i berggrunden under lång tid och utan tillsyn. Detta ställer krav på en relativt sprickfri berggrund med så låg grundvattenföring som möjligt. Förvaringsplatsen bör dessutom tillgodose olika krav rörande tekniska och samhälleliga synpunkter. Redan vid platsvalet måste man därför kunna ta fram områden med lämpligt berg. Beträffande grundvattnet gäller det att i tid kunna påvisa, kartlägga och undvika berggrundens vattenförande sprickor och krosszoner. Dessa skulle annars kunna medföra för korta uppehållstider för kontaminerat grundvatten - grundvatten som senare skulle kunna medföra oacceptabla stråldoser till biosfären i utströmningsområdena.

SGU:s första arbete inom detta forskningsområde var en metodstudie för att påvisa grundvattenförande zoner i berggrunden (O Brotzen och L Eriksson, 1976).

Metodstudien omfattade dels flygbildstolkning och sprickkartering, dels geofysiska flyg- och markmätningar. Vid markmätningarna användes magnetiska, elektriska och seismiska metoder.

ARBETEN FÖR PRAV

Programrådet för radioaktivt avfall (PRAV), tillsatt av den dåvarande regeringen, började sin verksamhet våren 1976. Detta innebar en ökning av de geologiska arbetsinsatserna för att finna berggrundsområden med låg förekomst av sprickor och låg grundvattenföring. I första hand utvecklades inom den anläggningsgeologiska gruppen vid SGU, metoder för dessa undersökningar samt mätteknik som gjorde det möjligt att bestämma grundvattnets sammansättning, ålder och rörlighet på djup ned till 1000 m.

Bland de arbeten som utfördes åt PRAV 1976 kan nämnas:

1. Geofysiska flyg- och markmätningar inom olika områden i mellersta Sverige.
2. Utveckling av VLF-utrustning för borrhålsmätning.
3. Vattenförlustmätningar i djupa borrhål.
4. Studier av grundvattenförhållanden i djupa tunnlar och gruvor.
5. Fältförsök rörande spårämnens transport med grundvatten i sprickförande berggrund.

VILLKORSLAGEN OCH PROJEKT KÄRNBRÄNSLESÄKERHET (KBS)

Den regering, som tillträdde efter valet 1976, ställde upp vissa villkor för att tillstånd skulle få ges för laddning av nya kärnreaktorer med kärnbränsle. Dessa villkor innebar bl a att anläggningsinnehavaren måste visa var och hur en helt säker förvaring av det högaktiva avfallet kan ske. Villkoren preciserades i den sk villkorlagen som antogs av riksdagen i april 1977.

Uppgiften att ta fram och sammanställa material för den redovisning, som villkorlagen krävde, lades på Projekt Kärnbränslesäkerhet (KBS), vilket etablerades av kärnkraftföretagen Vattenfall, Sydkraft, OKG och Forsmark Kraftgrupp AB.

SGU:s ARBETSPROGRAM FÖR KBS

I februari 1977 träffades överenskommelse mellan KBS och SGU om genomförandet av ett geologiskt och hydrologiskt arbetsprogram avseende förutsättningarna för en slutlagring av högaktivt avfall i svensk berggrund.

Arbetsprogrammets mål var att genom undersökningar inom tre områden ta fram grundläggande data rörande de berggrunds- och grundvattenförhållanden,

som är bestämmande för långtidssäkerheten hos ett slutförvar för högaktivt avfall. Undersökningarna skulle även kompletteras med teoretiska studier.

Arbetet avsåg bl a att visa om berggrunden utgörs av en lämplig och enhetlig bergart som har tillräcklig utbredning även på flera hundra meters djup. Förekomst av sprick- och krosszoner, som kan påverka förvarets utformning eller säkerhet, skulle också belysas.

I fråga om grundvattnet, behövdes uppgifter på hur mycket vatten, som kan komma i beröring med avfallet. Detta krävde mätningar av bergets vattengenomsläpplighet och teoretiska beräkningar av hur flödet förändras med djupet.

När avfallet efter dess kapsling kommer i beröring med grundvattnet kan en viss upplösning ske. Denna beror på materialens egenskaper och den kemiska sammansättningen hos vattnet. Provtagning och analys av grundvattnet på aktuella djup ingick därför i programmet.

Om avfallsämnena går i lösning är det av vikt att känna deras uppehållstid i berget. Om denna är lång hinner vissa radioaktiva ämnen sönderfalla innan de når biosfären. Upphållstiden belystes genom bestämningar av grundvattnets ålder.

De flesta avfallsämnen fördröjs på sin väg genom berggrunden p g a sorptions-effekter och kemiska reaktioner. Även detta måste undersökas med laboratoriearbeten, teoretiska analyser och fältförsök av vilka de sistnämnda ingick i geologiprogrammet.

KBS uppdrag till SGU omfattade följande huvuddelar:

1. Markgeofysiska mätningar, håll- och sprickkartering.
2. Kärnborrning, utvärdering av borrhälsloggning samt TV-granskning av borrhål.
3. Permeabilitetsmätningar och beräkningar, vattenprovtagning för kemisk analys och åldersbestämning.
4. Teoretiska studier av grundvattenmönster.
5. Fältförsök med spårämnen i sprickigt berg före och efter injektering (tätning) med bentonit.

Den sammanlagda längden av utförda kärnborrhål utgör något över 10.000 m fördelade på fem undersökningsområden, varav tre utvalts för närmare undersökning.

Områdena är Sternö nära Karlshamn, Kråkemåla norr om Oskarshamn och Finnsjön väster om Forsmark. Urberget på dessa platser är av olika typ och valet av undersökningsområdena har betingats av att man önskar få egenskaperna hos de olika bergartstyperna belysta.

ANLÄGGNINGSGEOLOGISKA GRUPPEN VID SGU

De här ovan beskrivna uppdragen har inneburit att en speciell grupp byggs upp inom SGU, som helt sysslar med undersökningar avseende anläggningar i berggrunden. Detta har delvis medfört en betydande metodutveckling och framtagande av nya instrument, framför allt inom områdena hydrogeologi och geofysik.

Till gruppen har knutits personal med speciell inriktning på hydrologi, geologi och geofysik.

I verksamheten ingår:

- Berggrundsgeologiska undersökningar
- Hydrogeologiska undersökningar
- Borrhålsgeofysiska undersökningar

Nedanstående beskrivning visar verksamheten i hela dess bredd. Det går naturligtvis att bryta ut enbart de avsnitt som anses lämpliga efter varje undersökningssyfte och omfattning.

De berggrundsgeologiska undersökningarna omfattar satellit- och flygbildstolkning, som är till god hjälp vid kartläggning av huvuddragen i berggrundens tektonik. Dessa mätningar kompletteras med markgeofysiska undersökningar som indikerar berggrundens vattenförande zoner, geologisk kartering och sprickkartering, kärnborrhningar och analys av borrhärnor.

I de hydrogeologiska undersökningarna ingår permeabilitetsmätningar och provpumpningar av borrhål. Dessa sker för att sektionsvis kunna beräkna berggrundens vattengenomsläpplighet.

Dessa borrhålsmätningar kan utföras ned till djup av för närvarande 1000 m i borrhål med diametrar från 56 mm till 115 mm.

För vattenprovtagning har en speciell utrustning utvecklats, som möjliggör bestämning av vattnets kemiska sammansättning och ålder i utvalda sprickzoner på stora djup.

Genom aktiva och inaktiva spårämnesförsök kan de hydrogeologiska parametrarna inom ett begränsat område fastställas och berggrundens förmåga att sorbera och fördröja främmande ämnen undersökas.

Borrhålsgeofysiska undersökningar omfattar ett flertal metoder som dock används från olika utgångspunkter. Sålunda har en del av metoderna stor upplösning förmåga av små strukturer men samtidigt en liten undersökningsvolym. Andra metoder har större undersökningsvolym men en betydligt mindre upplösning. På så vis erhåller man en allsidig information av berggrundsförhållandena.

I de borrhålsgeofysiska undersökningarna ingår:

- TV-loggning för visuell granskning av berggrundens sprickor och deras orientering.
- Elektriska metoder som anger förekomst av sprickor, deras omfattning och huruvida de är öppna eller fyllda.
- Elektromagnetiska metoder för karaktärisering av bergarternas sammansättning.

REFERENS

Brotzen, O, och Eriksson, L, 1976. Metodstudier för att påvisa grundvattenförande zoner i berggrunden. Bil 7. SOU 1976:41. Stockholm.

GRUNDVATTENPROSPEKTERING MED RADIOVÅGOR - VLF- OCH RAMA-MÄTNINGAR

Carl-Fredrik Müllern

Vid SGU pågår för närvarande försök med en ny metod att prospektera efter större förekomster av grundvatten i berg, såväl översiktligt som i detalj. De instrument som utnyttjas är egentligen konstruerade för malmprospektering och har också hittills huvudsakligen använts för sådana ändamål. Arbetet leds av en projektgrupp bestående av från geofysiska byrån professor Sture Werner, l. statsgeofysiker Leif Eriksson och statsgeofysiker Staffan Bergbom samt från kvartär- och hydrogeologiska byrån författaren som är projektledare. Projektet finansieras dels av medel från Styrelsen för teknisk utveckling och dels av SGU:s egna medel.

I samband med SGU:s berggrundskartering utförs mätningar från flygplan, bl a Radiomagnetiska mätningar. Vid dessa s k RAMA-mätningar utnyttjas en radiostation i England, som sänder på VLF-bandet (Very Low Frequency - d v s låg frekvens och stor våglängd). Sådana radiovågor har förmåga att tränga djupt ned i marken (eller vattnet). Dessa radiosignaler används egentligen för kommunikation med och navigering av ubåtar. Radiovågorna störs av långsträckta elektriskt ledande bildningar i berggrunden. Dessa kan vara brantstående, vattenförande sprickzoner. De kan även vara elektriskt ledande bergarter eller koncentrationer av vissa malmineral. Vid de flygburna RAMA-mätningarna och vid mätningar på marken med VLF-instrument registreras dessa störningar - anomalier.

RAMA- och VLF-mätningarna registrerar även anomalier förorsakade av el- och teleledningar samt i vissa fall t o m av taggträdsstängsel och stängsel med färnät.

Styrkan av en anomali är beroende, förutom av elektriska ledningsförmågan, där bergets vatteninnehåll är en betydande faktor, av vinkeln mellan radiovågornas utbredningsriktning och riktningen på den kropp som förorsakar anomalin. När dessa riktningar sammanfaller förstärks anomalin och när kroppen ligger 90° mot sändningsriktningen släcks anomalin ut helt.

RAMA-kartan, fig 1, omfattar ett område av 25 x 25 km och motsvarar det topografiska kartbladet Enköping SV. Mätningarna är utförda på en flyghöjd av ca 30 m över marken och avståndet mellan flyglinjerna är 200 m.

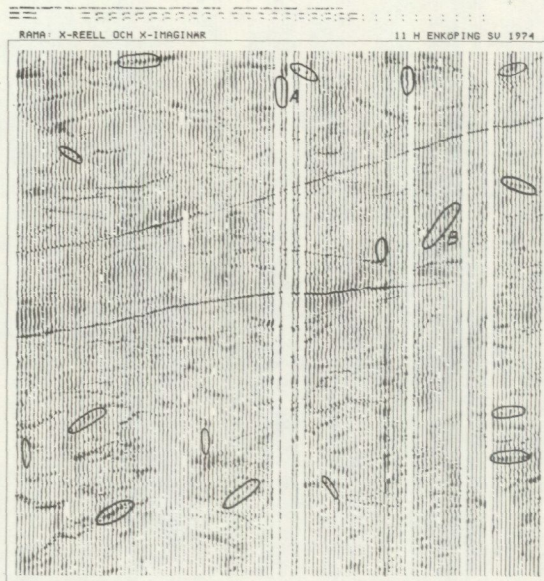


Fig 1. RAMA-karta med marknätta anomalier markerade. A Marbymossen och B Källgården.

Som framgår av kartan domineras den av anomalier med ungefär NO - SV-lig riktning, vilket hänger ihop med det nämnda riktningens beroendet. De starkaste anomalierna, som går tvärs över kartan, är förorsakade av kraftledningar. En stor del av de övriga anomalierna är förorsakade av el- och teleledningar. Dessa anomalier måste således gallras ut innan kartan blir riktigt användbar för sitt egentliga syfte. De stora områdena helt utan anomalier utgörs av öppna vattenytor och av stora lerområden, vilka har hög elektrisk ledningsförmåga åt alla håll och därför ej ger riktade anomalier. Kartan visar också några gluggar

i flyglinjerna. Sådana beror vanligen på kortare sändningsuppehåll, så att någon registrering ej kunnat göras.

De nackdelar som RAMA-mätningarnas riktningsberoende innebär kan undvikas vid mätningar på marken med VLF-instrument. I ett sådant instrument, som väger endast ett par kilo och lätt kan hanteras av en man, kan en insats bytas ut och man kan utföra mätningarna på radiovågor från en station som har så gynnsam sändningsriktning som möjligt. Som exempel kan nämnas följande stationer: GBR-Rugby, England; JXZ-Helgeland, Norge; UMS-Moskva, Sovjetunionen och NAA-Cutler, Maine, USA.

Med ledning av RAMA-kartan utvaldes sjutton anomalier för närmare studium. För att fastställa anomaliernas exakta lägen och för att kunna sätta ut borrhål för kontroll av anomalierna utfördes markmätningar längs profiler över var och en av de utvalda RAMA-anomalierna. Markmätningarna utfördes med VLF-instrument, slingram* och i vissa fall med magnetometer. I samtliga fall gav VLF-mätningarna tydliga indikationer. Slingrammätningarna gav i de flesta fall tydliga indikationer, vilka bekräftade och underlättade bedömningen av VLF-mätningarna. Magnetometermätningarna gav inga tydliga indikationer.

Fig 2 visar hur en VLF-anomali kan se ut längs en markprofil. Radiovågornas magnetfält inducerar strömmar i närvarande elektriska ledare. Dessa strömmar ger upphov till ett sekundärt magnetfält. Med hjälp av VLF-instrument uppmäts storleken av såväl den reella som den imaginära (fasförskjutna) delen av sekundärfältets vertikala komponent. Storleken anges i procent av primärfältet.

Under ideala förhållanden ligger den sökta vattenförande sprickzonen i den punkt där de avlästa värdena övergår från positiva till negativa eller vice versa. Dessa skollgenomgångar kan emellertid av olika orsaker vara något förskjutna i förhållande till varandra och till den sökta sprickzonen.

Arbetet har hittills pågått i två etapper. I den första provborrades och stegprov pumpades fem anomalier. Tre av dessa visade sig vara förorsakade av glim-

* Ett instrument som bygger på samma princip som VLF-instrumentet men med bl a den skillnaden att det är försett med såväl radiosändare som mottagare. Slingrammätningar är också mer tids- och kostnadskrävande.

merskölar och gav endast några hundra liter vatten i timmen. De övriga två förorsakades sannolikt av större sprickzoner och gav 8 000 l/h respektive 20 000 l/h, vilket är ovanligt mycket för att vara borrhningar i den typ av berggrund, som uppträder i Enköpingsområdet, nämligen förskiffrad urgranit och huvudsakligen brant stupande sedimentgnejs. Normalt ger en bergborrad brunn i dessa områden mindre än 600 l/h (medianvärde baserat på data från SGU:s brunnsarkiv, (2)).

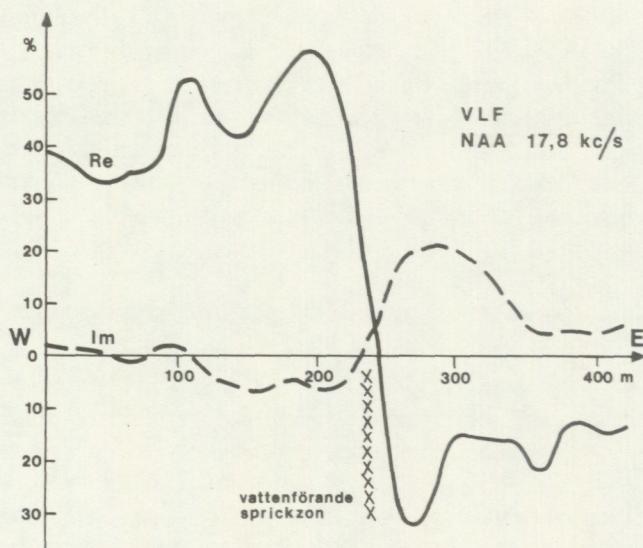


Fig 2. Markmätt VLF-profil över RAMA-anomalin vid Marbymossen (A). Vattenkapaciteten i borrhålet vid denna anomali är ca 12 000 l/h.

Under den pågående etapp två har sådana anomalier uteslutits som ligger i berggrundens strykningsriktning. Detta har gjorts för att undvika anomalier förorsakade av långsträckta, skivformiga mineralkoncentrationer av typ glimmerskölar,

grafit- och malmineralhorisonter, vilka inte alltid men oftast ligger i berggrundens allmänna strykningsriktning.

I den andra etappen har fyra anomalier provborrats. Enligt de preliminära bedömningarna av vattencmängderna, vid uppblåsning av vattnet med tryckluft i samband med borrhningarna, ger tre av anomalierna mellan 10 000 och 14 000 l/h. Den fjärde anomalin ger i princip inget vatten alls. Sannolikt är denna trots allt förorsakad av någon glimmersköl.

I samband med borrhningarna i den första etappen utförde ingenjör Hendrik Houtkamp, Institutionen för kulturteknik, KTH, borrhålsloggning i ett par borrhål, bl a självpotential, borrhålsdiameter och temperatur log. Dessa mätningar visade i flera fall på sprucket berg i borrhålen men resultaten var ej helt entydiga. För att så långt det är möjligt fastställa orsakerna till RAMA- och VLF-anomalierna avses borrhålsundersökningarna bli utökade med bl a olika typer av resistivitetsmätningar och eventuellt TV-granskning i något eller några borrhål. Dessutom kommer också borrhålen i etapp två att stegprov pumpas.

Vid sidan om undersökningarna av RAMA-anomalierna pågår även försök att i efterhand undersöka om något samband finns mellan befintliga, bergborrade brunnar med mycket hög kapacitet och förekomsten av VLF-anomalier. I ett par fall har sådana samband kunnat visas vara sannolika. Svårigheterna med denna typ av undersökningar är emellertid bl a att befintliga brunnar vanligen är försedda med elektrisk pump och att de ofta ligger intill bebyggelse med en mängd störande el- och teleledningar. I de fall en brunn får sitt vatten från mycket flacka sprickor i berggrunden kan detta inte påvisas med VLF-instrument bl a med anledning av det tidigare nämnda rikttningsberoendet.

Närvaron av större sprickzoner ger sig ofta till känna i form av mer eller mindre utpräglade dalstråk, sänkor och liknande. Det är ju emellertid inte alltid så att sprickzonerna är vattenförande. Det kan även vara så att de är vattenförande endast längs vissa avsnitt. Det förefaller nu möjligt att man med ledning av RAMA-kartor skall kunna skilja mellan vattenförande och icke vattenförande större sprickzoner. Vid SGU:s flygmätningar utförs RAMA-mätningar rutinmässigt utan större kostnader, men mätvärdena får i de flesta fall ligga kvar på databand. Detta beror bl a på att kostnaderna för överföring av data

till kartform är för höga, så länge man är osäker på anomaliernas innebörd och kartornas användbarhet. I samband med malmprospektering tas kartorna emellertid fram eftersom sambandet mellan RAMA-anomali och malmineral än så länge är bättre känt än sambandet med grundvattenförekomster.

Beträffande markmätningar med VLF-instrument är sådana mycket billiga jämförda med andra prospekteringsmetoder såsom seismik och geoelektriska mätningar. De kan utföras av en, men helst två man med en hastighet av åtminstone 500 m/h med registrering var 20:e meter.

En av de viktigare tillämpningarna av VLF-mätningarna är, förhoppningsvis, att man skall kunna skilja på vattenförande och icke vattenförande sprickzoner, och att man dessutom skall kunna få ett precist läge för ansättning av en vattenborrning. Det är ju inte sällan man i vattenprospekteringssammanhang står inför frågan om var i en kanske flera hundra meter bred sprickdal en vattenborrning i berg skall utföras. Se fig 3.

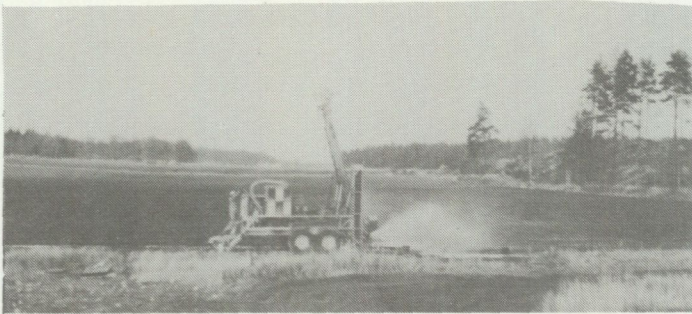


Fig 3. Foto taget i NO-lig riktning längs sprickdalen vid Källgården (B) under pågående borrning. Vattenkapaciteten är ca 14 000 l/h.

Undersökningarna är hittills utförda i relativt liten omfattning och resultaten är ännu ej helt utvärderade. Det är därför för tidigt att av de hittills ganska positiva erfarenheterna dra säkra slutsatser beträffande metodens användbarhet för grundvattenprospektering.

REFERENSER

- (1) Eriksson, L, 1974. Elektriska och magnetiska metoder för påvisande av svaghetszoner i berg. Stiftelsen bergteknisk forskning. Bergmekanikdag.
- (2) Knutsson, G, och Fagerlind, T, 1977. Grundvattentillgångar i Sverige. SGU Rapporten och meddelanden nr 9.

ERFARENHETER FRÅN ETT VATTENPROJEKT I BOTSWANA

Torbjörn Wikner

SAMMANFATTNING

Flodbäddarna i östra Botswana utgör viktiga akviferer med grundvatten av i regel god kvalitet. Flodbäddarna i dessa s k Sand Rivers (wadis) är uppdelade i grundvattenbassänger av varierande dimensioner, vilka längs floden begränsas av dolda eller uppstickande bergtrösklar. Vatteninnehållet i dessa till övervägande del grusiga och sandiga sediment uppgår inom undersökta områden till mellan ca 20 000 och 60 000 m³ per km. Provpumpningsförsök har påvisat magasinskoefficienter på mellan 15 och 20 %. På vissa håll sker en snabb dränering av flodbäddens grundvatten ned i den vittrade och sprickiga berggrunden. Årsnederbörden varierar mellan 250 och 400 mm inom undersökningsområdet.

INLEDNING

En undersökning av de större Sand Rivers i östra delen av Botswana har med SIDA:s stöd administrerats och genomförts av personal vid Department of Water Affairs inom Ministry of Mineral Resources and Water Affairs, Gaborone. Projektets syfte har varit att göra en översiktlig regional inventering och bedömning av grundvattenresursernas storlek inom större floddalar i östra Botswana (fig 1). Personal från SGU har medverkat vid undersökningarna.

FÄLTUNDERSÖKNINGAR

Fältundersökningarna som i första hand bedrivits längs de större och ur befolkningssynpunkt viktigare floddalarna har i huvudsak innefattat sonderingsborrningar, provtagning av jordarter, provpumpningsförsök samt fysikalisk-kemisk och bakteriologisk analys av vattenprover. Dessutom har på ett antal platser grundvattenståndsmätningar utförts för att bli en uppfattning om storleken av de naturliga grundvattenförlusterna under torrperioden.

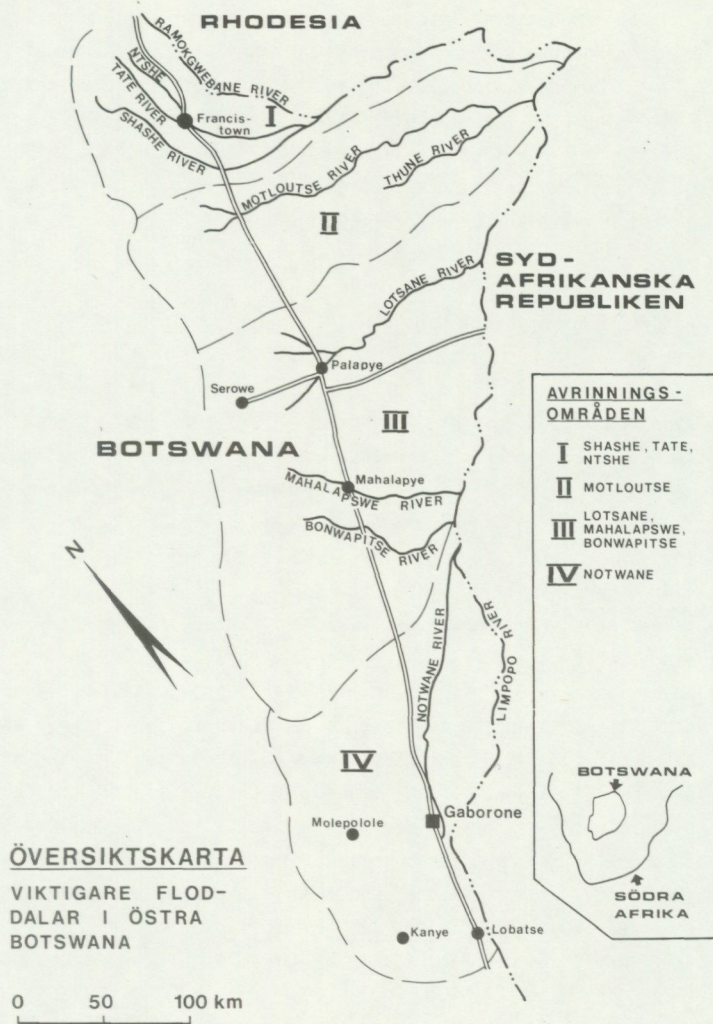


Fig 1. Översiktskarta.

Beräkningarna av grundvattentillgångarna vid fullständig mättnad har gjorts med stöd av volymeräkningar och provpumpningsförsök, varvid magasinskoefficienten beräknats, samt i huvudsak visuell bedömning av jordprovernas kornstorleksammansättning. Sonderingsarbetena utfördes i tvärsektioner med 2 - 4 mäktighetsbestämningar i varje profil. Avståndet mellan tvärprofilerna varierade mellan 100 och 400 m. Avståndet mellan provtagningspunkterna var i regel 500 - 1 000 m. I varje punkt togs vanligtvis två prover på olika djup.

DE RECENTA FLODBÄDDARNAS UPPBYGGNAD OCH UNDERLAG

De recenta flodbäddarna inom undersökta områden består till övervägande del av grus och sand med inlagringar av i huvudsak silt på sina håll. Närmast bottnen har i vissa fall block noterats. Flodfårornas bredd inom de större floddalarna uppgår i regel till 80 - 100 m men bredder på över 200 m förekommer t ex längs Motloutseflodens nedre lopp nära gränsen till Sydafrikanska Republiken. Flodbäddarna innehåller "grusfickor" av varierande bredd och djup, vilka i strömriktningen begränsas av bergtrösklar (fig 2, 4b). På sina håll går berggrunden i dagen och bildar barriärer tvärs över floden. Inom de större floderna varierar sand- och grusfickornas djup i normala fall mellan 2 och 5 m, men även större djup har noterats på vissa platser. Flodfårorna inom undersökningsområdet nordöstra del återfinns nedskurna i äldre flodsediment med betydligt större bredd än de nuvarandes (fig 3a). Ofta har erosionen nått ända ned till berggrunden, vilken i denna del av landet väsentligen utgörs av prekambrisk gnejser och graniter (fig 3b). Rester av dessa äldre sediment kan iakttagas på flera platser som branta, upp till 8 m höga flodbrinkar. I dessa sker en fortgående årlig erosion i samband med skyfallsliknande regn under regnperioden då vattenföringen i floderna kan vara betydande (fig 3b, 4c). Vattenståndet kan då stiga till ca 3 - 4 m ovan flodplanets överyta. I samband härmed sker en transport och omlagring av flodbäddens översta skikt.

FLODBÄDDARNA SOM GRUNDVATTENRESURS

Grundvattnet i flodbäddarna har traditionellt utnyttjats som dricksvatten för människor och kreatur. Utvinningen av vatten sker ofta genom grävda brunnar, varifrån vattnet öses över i bevattningsrännor eller också har boskapen direkt

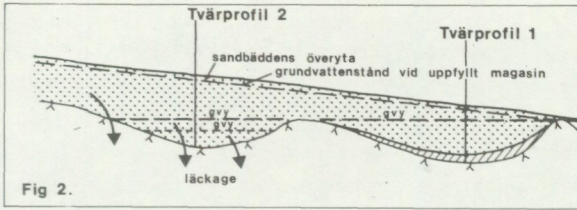


Fig. 2. Längdprofil genom en flodbädd med grundvattenstånd och hydrauliska gradienter vid olika tidpunkter efter det att grundvattenmagasinet fyllts upp. Principskiss.

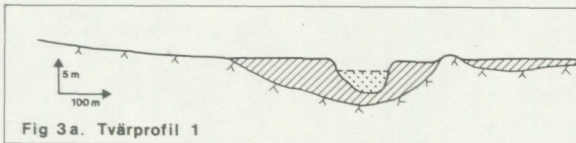


Fig 3a. Tvärprofil 1

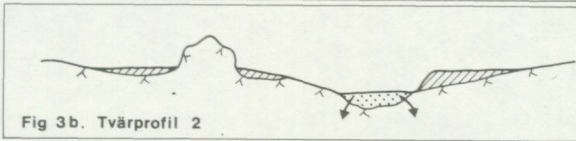


Fig 3b. Tvärprofil 2

Fig 3a och b. Tvärprofiler genom en floddal. Principskisser.

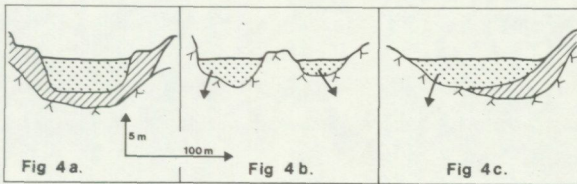


Fig 4a.

Fig 4b.

Fig 4c.

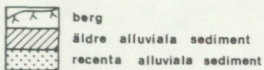


Fig 4a, b och c. Tvärprofiler genom recenta flodbäddar. Principskisser.

tillträde till dessa brunnar. Ofta skyddas brunnarna av en inhägnad bestående av taggiga buskar och grenar.

Floderna är som regel vattenförande endast under kortare perioder varje år. Vattnet infiltrerar snabbt i flodbädden och dess närmaste omgivning beroende på hur pass genomsläppligt flodbäddens underlag är. Ofta begränsas de recenta flodbäddarna i sidled av äldre flodsediment, vilka kan utgöra ett strängt taget impermeabelt underlag (fig 4a). I sådana fall sker endast en långsam av-sänkning av grundvattennivån. En förhållandevis snabb dränering av grundvattnet sker emellertid längs flodsträckor med hållrika avsnitt. Härvid uppsamlas vattnet i den underliggande vittrade och sprickiga berggrunden, som i dessa fall också utgör den viktigaste akviferen. Ett sådant exempel utgör grundvattenförhållandena i Francistown, landets andra stad. Vattenförsörjningen är här baserad på ett antal brunnar, vilka nedförts i berggrunden nära Tate-floden. Genom strand- och botteninfiltration sker ett betydande grundvattentillskott till de metamorfa prekambriiska bergarterna, i vilka en upp till 30 m mäktig och ca 500 m bred zon av sprickigt och vittrat berg konstaterats längs floddalen i samband med hydrogeologiska förundersökningar.

Sand- och grusfickorna i flodbäddarna utgör grundvattenbassänger av varierande längd, bredd och djup. I strömningsriktningen begränsas dessa bassänger av dolda eller uppstickande bergtrösklar, vilka hindrar eller försvårar en hydraulisk förbindelse mellan angränsande grundvattenbassänger. Inom undersökta områden har i samband med utförda provpumpningsförsök magasinskoefficienter på mellan 15 och 20 % erhållits.

Grundvattnet är i regel av god kvalitet. En viss förhöjning av bakteriehalterna har dock iakttagits i några fall. Grundvatteninnehållet i flodbäddarna vid fullständig mättnad har inom undersökningsområdet beräknats uppgå till mellan ca 20 000 och 60 000 m³ per km. Grundvattenbassängernas längd varierar längs de större floddalarna mellan ca 100 och 1 000 m.

Ett vanligt sätt att utvinna vatten ur dessa Sand Rivers för bl a byars vattenförsörjning är att pumpa vatten ur ett antal well points (silvrör), som drivs ned i flodbädden. En eller flera sådana grupper av well points används beroende på bl a önskad vattenmängd och antalet konstaterade grundvattenbassänger i området.

STUDIER AV VATTENHALTSVARIATIONERNA I DEN OMÄTTADE ZONEN AV EN ÅS

Thomas Aneblom och Gösta Persson

Vid Tärnsjö, 50 km NV om Uppsala, driver SGU i samarbete med Avdelningen för hydrologi vid Uppsala universitet ett hydrologiskt fältforskningsområde, med syfte att studera vattenomsättningen i en stor åsakvifer. För att möjliggöra en kvantifiering av omsättningen i området mäts ett antal klimatparametrar, nederbörd och avrinning. Dessutom finns ett stort antal stationer där variationerna i grundvattennivå och -kemi följs. Området är tidigare beskrivet av Nordberg och Persson (1974).

I området görs dessutom en del olika specialundersökningar, bl a av processerna vid grundvattenbildningen. Som ett led i dessa studier har SGU under ett antal år följt variationerna i vattenhalt i en profil från markytan ned till grundvattenytan i ett åsparti, där den omättade zonen är ca 15 m mäktig.

Mätningarna av vattenhalten har utförts med en kombinerad gamma/neutronsond i ett 50 mm järnrör, neddrivet till under grundvattenytan. Mätningar har gjorts en (periodvis två eller tre) gång per månad på var 10:e cm i hela den omättade zonen.

Mätresultaten har redovisats i diagram som för varje nivå och mättillfälle visar förändringen i vattenhalt gentemot närmast föregående mätning. I fig 1 ges exempel på ett sådant diagram. I detta syns ställvis zoner med ökande vattenhalt som rör sig nedåt med hastigheter av storleksordningen 1.5 - 3 m/månad. Dessa "våta" zoner kan konnekteras med perioder av kraftig nederbörd eller snösmältning då infiltration ägt rum. Den fortsatta perkolationen av det infiltrerande vattnet nedåt visar sig i diagrammet som de nedåtvandrande "våta" zonerna.

I mars månad då snösmältningen började och snötäckets tjocklek avtog ökade markvattenhalten närmast markytan. Zonen med hög vattenhalt kan sedan följas vid efterföljande mätningar på allt större djup. Liknande zoner orsakades av riklig nederbörd omkring månadsskiftet juni - juli, augusti - september och i november.

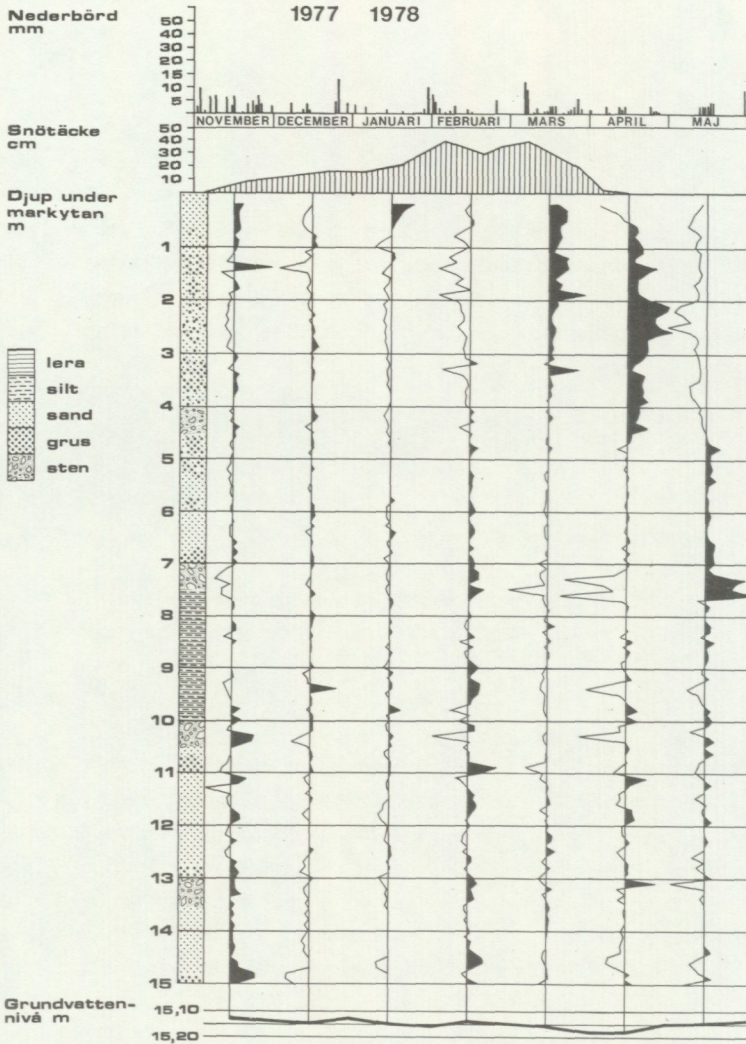
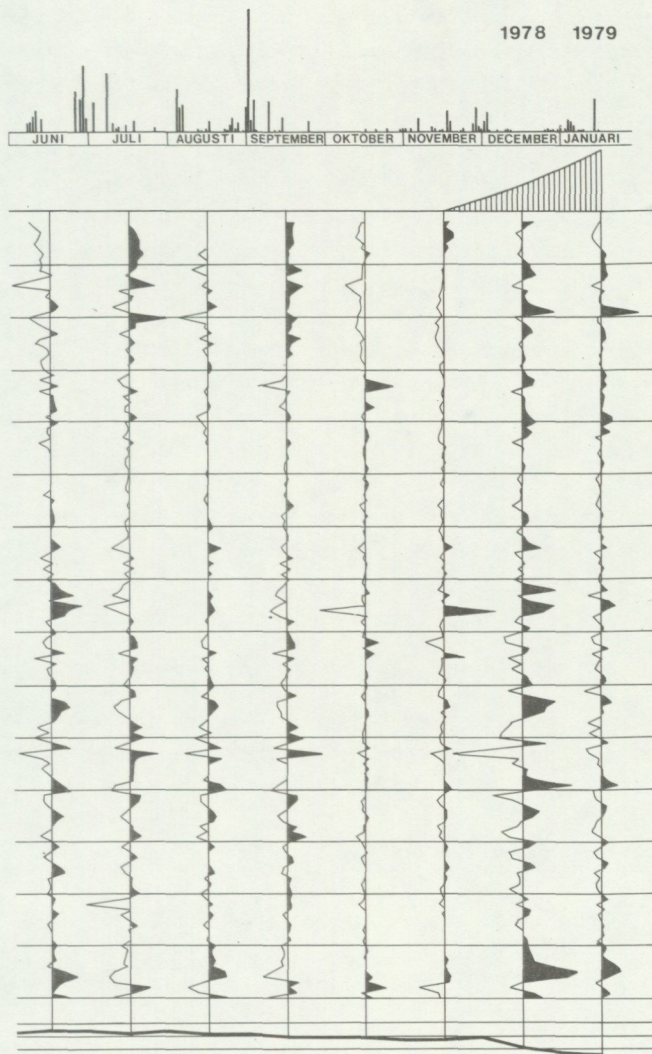


Fig 1. Diagram visande förändringar av markvattenhalt i den omätade zonen vid en observationsstation i Enköpingsåsen vid Tärnsjö. Den redovisade mätserien är från november 1978 till januari 1979. I varje profil visas förändringen i vattenhalt jämfört med föregående mättillfälle



på respektive nivå, uttryckt som skillnaden i procentenheter mellan vattennivåmättnadsgraden vid de två mättillfällena. Nederbörd, snötäcke, grundvattennivå och stratigrafi visas även.

Hastigheten med vilken de "våta" zonerna rör sig nedåt representerar inte vattnets verkliga rörelsehastighet utan bara hastigheten av en vågrörelse genom vilken nytt vatten successivt trycker ned äldre vatten när vågen rör sig nedåt. Förutom att skillnader i hastigheterna hos de "våta" zonerna kan observeras i olika avsnitt av en profil kan man ibland även se skillnader i samma avsnitt vid olika tider. De förra skillnaderna torde bero på det geologiska materialets egenskaper, de senare på det aktuella vatteninnehållet i jorden. Ett vatteninnehåll i jorden som är mindre än fältkapaciteten kommer att fördröja rörelsen hos det perkolerande vattnets front, eftersom fortsatt perkolation inte äger rum förrän fältkapaciteten är uppnådd.

Den verkliga rörelsehastigheten hos vattenpartiklarna är betydligt lägre än de "våta" zonernas skenbara sjunkhastighet. En dansk undersökning (Andersen och Sevel 1974) i en glacifluvial grus- och sandavlagring har visat att medan den skenbara hastigheten där var 3 - 3.5 m/månad var den verkliga hastigheten, dvs partikelhastigheten, endast 0.4 m/månad. Försök som utförts i Tärnsjö med injektion av tritierat vatten (Z Dressie, Avd för hydrologi, Uppsala universitet) tyder på liknande låga värden på den verkliga hastigheten i Tärnsjö. Där har sjunkhastigheter på mellan 0.2 och 0.7 m/månad uppmätts. De olika hastigheterna torde bero på skillnader i kornstorleksfördelning hos materialet på de olika mätplatserna.

Studierna av vattenhaltsvariationerna i åsen vid Tärnsjö kommer att fortsätta. Bl a kommer försök att göras att kvantifiera vattenmängderna i den omättade zonen.

Resultat från undersökningarna har tidigare redovisats av Aneblom och Persson (1978).

REFERENSER

- Andersen, L J, and Sevel, T, 1974. Six years' environmental tritium profiles in the unsaturated and saturated zones, Grønhøj, Denmark. Proceedings of the Symposium on Isotope Techniques in Groundwater Hydrology, IAEA-SM-182/1. Wien.

- Aneblom, T, and Persson, G, 1978. Studies of the variations in water content in the unsaturated zone of an esker. Nordic Hydrological Conference, Hanasaari. Papers of workshops. Helsingfors.
- Nordberg, L, and Persson, G, 1974. The National Groundwater Network of Sweden. Geological Survey of Sweden, Serie Ca No 48. Stockholm.

NEDERBÖRDENS BETYDELSE FÖR KLORID OCH SULFAT I GRUNDVATTEN

Mats Aastrup

SAMMANFATTNING

Som ett led för förståelsen av grundvattnens kemiska sammansättning och vilka faktorer som påverkar denna har en karta som visar kloridhalten i grundvatten konstruerats. Som underlag för denna tjänar analysdata från SGU:s grundvattennät. Syftet är att försöka särskilja nederbördens bidrag till grundvattnens kemiska beskaffenhet inom olika delar av Sverige. Data från samma grundvattenkemi-stationer ligger till grund för en kartbild över sulfatsvavelhalternas regionala mönster i Sverige.

GRUNDVATTENKEMISKA NÄTET

Sedan 1968 bedrivs inom projektet grundvattennätet ett grundvattenkemiskt program. Det grundvattenkemiska nätet består i dag av 98 provtagningsstationer inom 34 områden. Se fig 1. Nätet är kontinuerligt under uppbyggnad, och det finns fortfarande delar av Sverige som är dåligt intäckta, speciellt Norrlands kust- och inland. De flesta provtagningsstationer utgörs av naturliga källor, men även nerdrivna observationsrör av plastmaterial och produktionsbrunnar utnyttjas, speciellt i akviferer i sedimentär berggrund. Källor har ur grundvattenkemiska aspekter både för- och nackdelar. Fördelen är att de ger en integrerad bild av grundvattnets beskaffenhet inom en relativt väldefinierad yta av grundvattenmagasinet. Nackdelen är att vattnet, när det kommer i kontakt med atmosfären, kan förlora koldioxid och i stället syresättas, med den påföljd att kemiska förändringar kan inträffa. I vatten från ytliga grundvattenmagasin är risken för sådana förändringar betydligt mindre än i vatten från djupare.

Analys- och provtagningsprogram

Stationerna provtas 2 - 6 gånger per år, i någon mån beroende på om vattnet uppvisar årstidsvariationer i den kemiska beskaffenheten eller ej. Varje station

SGU:s GRUNDVATTENKEMISKA NÄT

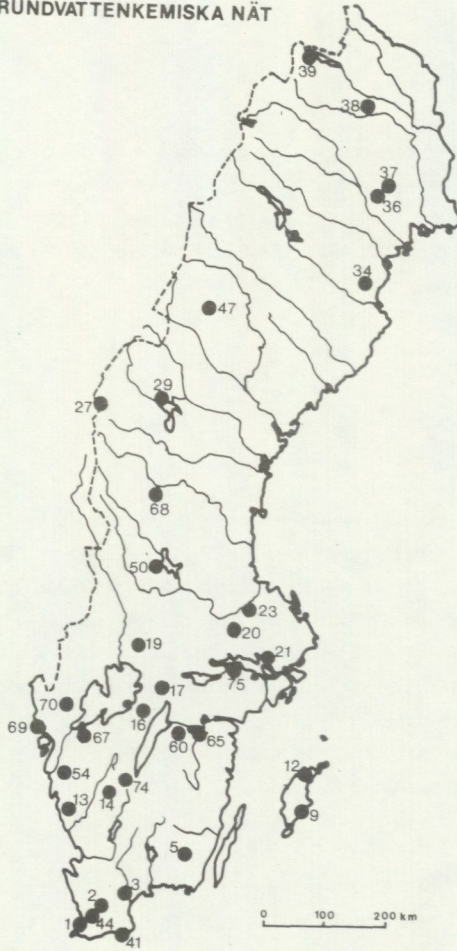


Fig 1. SGU:s grundvattenkemiska nät. Punkterna visar läget av observationsområdena.

provtagning sker genom lokalrekryterade observatörers försorg. De mäter endast temperaturen vid provtagningstillfället. pH-värde, redoxpotential och konduktivitet bestäms på laboratorium, så fort proverna anlänt per post. På laboratorium analyseras sedan alkalitet, klorid, sulfatsvavel, nitratkväve, ammoniumkväve, natrium, kalium, magnesium, kalcium och tvåvärt järn. Dessa analyser utförs för närvarande av meteorologiska institutionens laboratorium vid Stockholms universitet (MISU). Två gånger per år görs tritiumbestämningar på vattnen för åldersbestämning.

Bearbetning

Än så länge sker bearbetningen för hand, men ett datalagrings- och bearbetningsprogram är under utarbetande, och kommer förhoppningsvis att underlätta ett annars tungrott och tidskrävande arbete.

Resultaten redovisas i jonbalansdiagram med positiva och negativa joner uttryckta i milliekvivalenter per liter på var sin sida om en tidsaxel. I dessa diagram är det lätt att utläsa årstidsvariationer, men det är svårt att utläsa eventuella variationer och trender hos de enskilda kemiska komponenterna. Därför redovisas även de enskilda komponenterna i stapeldiagramform.

FAKTORER SOM PÅVERKAR GRUNDVATTNETS KEMISKA BESKAFFENHET

Det grundvattenkemiska nätet har en övervakande funktion och en referensfunktion. Det sistnämnda innebär att man i möjligaste mån skall kunna redovisa vad ett av föroreningar opåverkat grundvatten i en viss typ av akvifer i en viss del av landet har för ungefärlig kemisk sammansättning. För att kunna uppfylla dessa funktioner är det viktigt att försöka särskilja de faktorer som ger ett grundvatten dess speciella kemiska sammansättning, och vilken eller vilka av dessa faktorer som är dominerande i det ena och det andra fallet. De faktorer vi har att ta hänsyn till är:

1. Nederbörd, mängd och kemisk sammansättning
2. Temperatur och avdunstning
3. Växttäckte och markförhållanden
4. Omättade zonens kornstorleks- och geokemiska sammansättning
5. Akviferens kornstorleks- och geokemiska sammansättning
6. Vattnets omsättningstid i akviferen
7. Markanvändning

Det är väsentligt att man, innan man påbörjar en geokemisk analys av grundvattnet, har klart för sig hur stor del av de kemiska komponenterna som emanerar från andra källor än de som är betingade av jämvikten (eller ofullständiga jämvikten) mellan vatten och jord- och bergmaterialet.

KARTA ÖVER KLORID I GRUNDTVATTEN

Klorid förekommer knappast alls i bergartsmineral. Men klorid förekommer ändå alltid i grundvattnet. I de fall grundvattnet inte är påverkat av relik saltvatten i områden som tidigare varit täckta av hav, eller påverkade av direkta föroreningar, härrör kloriden i grundvattnet från nederbörden.

För att försöka klargöra storleksordningen av nederbördens inverkan på grundvattnets beskaffenhet regionalt över Sverige har en karta med isolinjer för grundvattnets kloridhalt upprättats. Se fig 2. Detta betyder inte att man kan nyttja kartan för att säga att grundvattnet på en viss ort skall ha en viss kloridhalt. Kartan är upprättad på basis av medelvärden för kloridhalterna i grundvattnet från vissa speciellt utvalda stationer ingående i grundvattennätet. Kriterierna är följande: Stationernas vatten är inte påverkat av relik salt grundvatten eller påverkade av marina leror. I områden med flera stationer har stationen med den lägsta kloridhalten utvalts. Hos en del stationer med stora fluktuationer i kloridhalten kan man misstänka påverkan av vägsalt eller dammbindningsmedel. Dessa har uteslutits. Återstående 27 stationers medelvärden har ritats in på kartan och ligger till grund för dragningen av de streckade isolinjerna. Det grå skuggade området visar de delar av Sverige som varit täckta av hav efter sista nedisningen.

Av kartan framgår att vi har ett klart marint inflytande på grundvattnen i

**KLORID I
GRUNDVATTEN**
mg/l

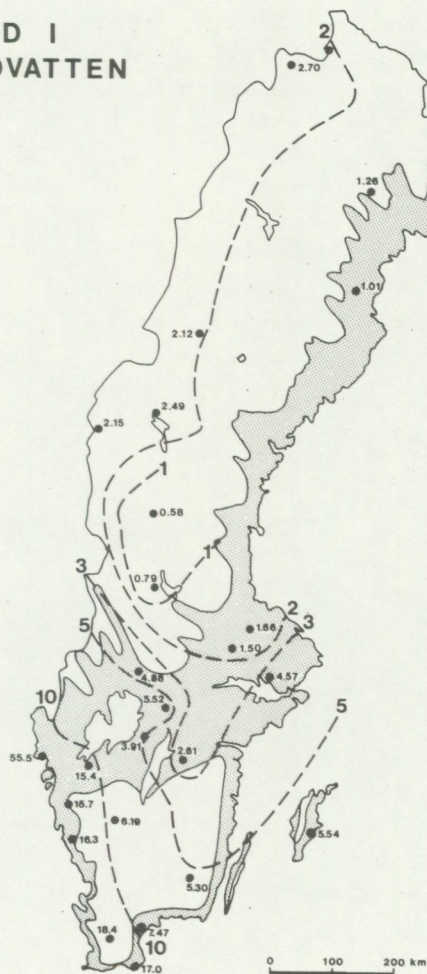


Fig 2. Kloridkoncentrationen i mg/l i grundvatten. Punkterna visar läget av grundvattenstationerna. Det skuggade området visar områden som varit täckta av hav efter senaste nedisningen.

sydvästra Sverige som avtar inåt landet och mot norr. Västliga atlantvindar medför också förhöjningar av kloridhalterna i grundvattnet vid stationerna i Rundhögen och Piprörsmynnen vid Storsjön i Jämtland, Tåsjön på gränsen mellan Ängermanland, Jämtland och Västerbotten och Abisko vid Torneträsk. De inre delarna av norra Svealand och Norrlands inland har mycket låga kloridhalter. Där är också det marina inflytandet minst.

Kloridhalten i grundvatten från dessa stationer kan antas vara påverkad av nederbördens kloridhalt. För att verifiera detta har en karta med isolinjer för kloridhalten i nederbörden upprättats. Se [fig 3](#). Som underlag för denna tjänar data från det nederbördskemiska nätet, som drivs av MISU. Medelvärden av tillgängliga data från åren 1961 - 1975 har använts. Tyvärr saknas några stationer i de västra fjälltrakterna, som kan belysa det marina inflytandet från Atlanten i dessa trakter. Stationen i Abisko gör det dock klart. På Gotland saknar man också nederbördskemisk station. En bättre samordning mellan grundvattennätet och det nederbördskemiska nätet bör eftersträvas.

Nederbördskartan utvisar i stort samma mönster som grundvattenkartan, men gradienten från västkusten mot inlandet är mycket större, d v s kloridhalten i nederbörden avtar snabbare från kusten in mot landet än vad kloridhalterna i grundvattnet gör. Detta förhållande och förhållandet att halterna i grundvattnet i allmänhet är två till fem gånger högre än i nederbörden beror på den koncentring av salt som äger rum till följd av avdunstningen.

Hur stor koncentring är till följd av avdunstningen är det svårt att få någon tillförlitlig regional bild av, då det i de flesta fall är långa avstånd från grundvattenstation till närmaste nederbördskemistation. I de fall dessa stationer något så när sammanfaller har kvoten mellan kloridhalt i grundvatten och nederbörd beräknats. Således är den i Abisko 2.46, i Lappträsket 3.71, i Tärnsjö i Västmanland 2.44, i Grällsta (Sala, Sätträbrunnsområdet) 3.33 och i Stångenäs på västkusten 3.01.

Genom kännedom av den regionala fördelningen av nederbördsemanerad klorid och koncentring därav öppnas möjligheten att beräkna nederbördsbidraget även för de övriga konstituenterna.

KLORID I NEDERBÖRDEN

mg/l

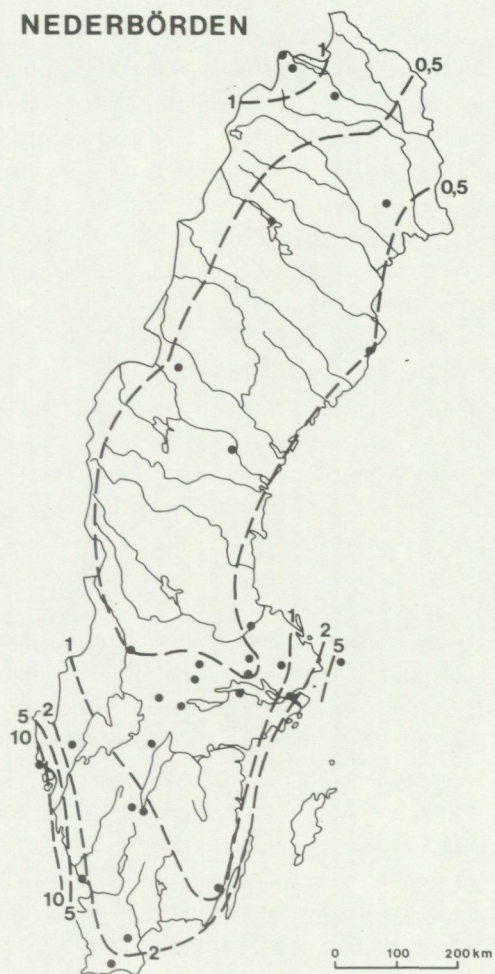


Fig 3. Kloridkoncentrationen i mg/l i nederbörden. Punkterna visar läget av nederbördskemistationerna.

KARTA ÖVER SULFATSVAVEL I GRUNDVATTEN

Svavel i form av svaveldioxid och -trioxid har länge ansetts vara orsaken till försurning av våra ytvatten. En stor del av det svavel som tillförs Sveriges yta genom nederbörd och torrdeposition anses komma från kontinentens industriområden. Svante Odén redovisar i ett arbete (1964) en kraftig ökning av svavelhalten hos nederbörden mellan 1960 och 1961 vid fyra nederbördskemistationer i Sverige. Orsaken skulle enligt honom vara övergången till användandet av svavelhaltiga bränslen. Av data erhållna från MISU framgår det att vi har en svagt ökande trend i nederbördens svavelhalt vid tre stationer på västkusten mellan 1961 och 1972 i Bohus-Malmö och Plönninge och mellan 1961 och 1969 i Göteborg. Endast data till och med 1976 har studerats, från Plönninge endast till och med 1974. Sedan lades stationen ned.

Grundvattnen från en del stationer inom grundvattennätet uppvisar ökande trender i sulfatsvavelhalten. Ett exempel är Hunnakällan i Djurarpsdalen på västkusten. Ökande trender i klorid- och natriumhalt under 70-talet antyder ett ökat marint inflytande. Enligt beräkningar kan dock endast en liten del av sulfatsvavelökningen bero på detta förhållande. De ökade svavelhalterna har inte medfört någon försurningseffekt i den bemärkelsen att vi fått sjunkande pH-värde under perioden, däremot kan en ökande kalcium- och magnesiumhalt tillskrivas denna effekt.

Med användande av medelvärdena av sulfatsvavelhalterna från samma nederbördskänsliga grundvattenstationer som användes för konstruerandet av kloridkartan, har en sulfat-karta ritats, som visar den regionala fördelningen av sulfatsvavelhalten i grundvatten. Se fig 4. De högsta halterna finner vi i södra Sverige. Stationerna i Skåne uppvisar alla halter över 10 mg/l $\text{SO}_4\text{-S}$. Så gott som alla övriga Götalands inklusive Gotlands stationer har halter mellan 4 och 10 mg/l. Övriga Sveriges stationer har halter under 4 mg/l, förutom några stationer som tycks uppvisa lokala förhöjningar. Grundvattenstationen på Stängenäshalvön på västkusten har således en medelkoncentration av 12.4 mg/l $\text{SO}_4\text{-S}$, vilket kan vara betingat av förbränningsprodukter från näraliggande industri. De höga halterna i Bärnö nära Sigtuna (medelkoncentration 10.7 mg/l) torde avspegla förbränningsprodukter från storstadsregionen Stockholm. Stationerna i hela Norrland och norra Svealand har mycket låga halter, en del under 1 mg/l. Undantag utgör Gravarne, inte långt från kusten i nordligaste Västerbotten, och Piprörsmynnen vid Storsjön i Jämtland. Orsaken till förhöjningen av sulfathalten i Piprörsmyn-

**SULFATSVAVEL I
GRUNDVATTEN**
mg/l

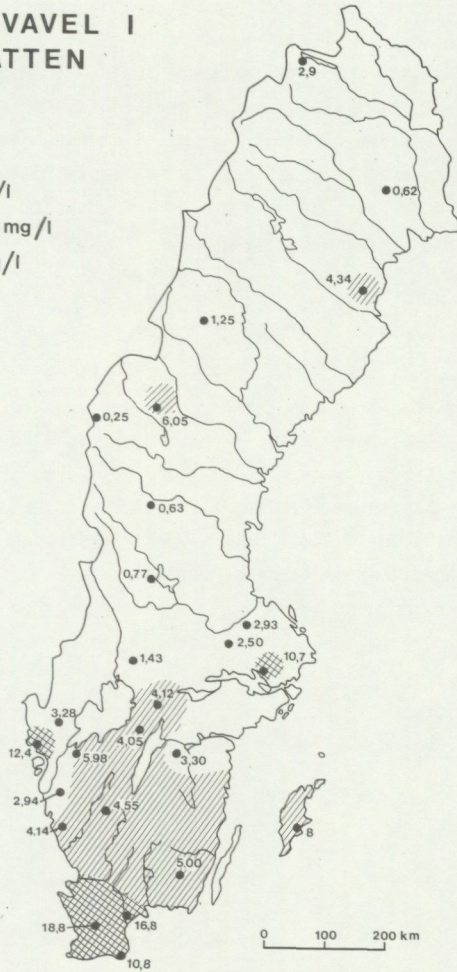
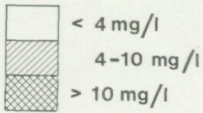


Fig 4. Sulfatsvavelkoncentrationen i mg/l i grundvatten. Punkterna visar läget av grundvattensstationerna.

myrens grundvatten är snarare av geokemisk natur än förhöjda halter i nederbörden. Däremot är nog de höga halterna i Gravarne betingade av förbränningsprodukter från närliggande industri, som förs till marken genom nederbörden.

Det faktum att vi har de högsta halterna i södra Sverige med avtagande halter mot norr tyder på att sulfatsvavelhalterna i grundvatten från de stationer som använts för upprättande av denna karta till största delen har sitt ursprung i nederbörden. Den karta som publicerades av Svante Odén (1964) över svavel i nederbörden indikerar, som han påpekar, en transport av svavel från sydost. Det finns ingenting i kartan över sulfatsvavel i grundvatten som antyder något annat.

SLUTSATS

Man får ha i minnet att dessa två redovisade kartor endast är ett hjälpmedel att kunna särskilja nederbördens inverkan på grundvattnens beskaffenhet inom olika delar av Sverige, d v s punkt 1 under rubriken Faktorer som påverkar grundvattnets kemiska beskaffenhet. Det återstår att undersöka de övriga faktorernas bidrag för att få en fullständig bild av de orsakssammanhang, som ger ett grundvatten dess speciella kemiska sammansättning.

REFERENS

Odén, Svante, 1964. Aspects of the Atmospheric Corrosion Climate, Helsinki.

GRUNDVATTNETS KEMISKA SAMMANSÄTTNING I ÖSTERGÖTLANDS SEDIMENTÄRA BERGGRUND

Per Engqvist

SAMMANFATTNING

Undersökningar av grundvattnets sammansättning i Östergötlands sedimentära berggrund av kambro-silurisk ålder visar bland annat att vattnets karaktär påtagligt förändras vid passage genom skifferlagren. Kalcium i vattnet utbyts mot natrium samtidigt som en minskning av vattnets totala saltinnehåll sker. Jonbyte och jonfiltrering framförs som troliga processer för att förklara dessa förändringar. Områden med salt grundvatten behandlas liksom kalkberggrundens betydelse för grundvattnets sammansättning i urberget omedelbart söder om sedimentberggrundens utgående. Även grundvattnets innehåll av järn, mangan, fluorid och kväveföreningar berörs i korthet.

BAKGRUND

I samband med Sveriges geologiska undersöknings kartläggning av de hydrogeologiska förhållandena inom Östergötlands sedimentära berggrund av kambro-silurisk ålder (SGU Ser Ag nr 10, under tryckning) har sammanlagt omkring 600 vattenprov från bergborrade brunnar insamlats. Av dessa har ca 250 varit föremål för fullständig fysikalisk-kemisk analys. Övriga prov har analyserats endast i begränsad omfattning. Tritiumbestämningar har utförts på 50 prov. Vid utvärderingen av analysresultaten har det enskilda vattenprovet inplacerats efter den berggrund som omger den brunn varifrån det tagits. Hur analyserna fördelar sig på de skilda brunnstyperna framgår av tabell 1.

Tabell 1. Antalet vattenanalyser från brunnar i olika akvifertyper

Kalksten	31			
Skiffer	12	3		
Sandsten	56	30	21	
Urberg	15	10	21	27
Övriga	≈ 25			

Tabellförklaring: Från brunnar borrade genom t ex kalksten-skiffer-sandsten finns det 56 vattenanalyser.

Lagerföljden och de geologiska avlagringarnas utbredning framgår av kartan fig 2. Skiffermarkeringen nordväst om Motala avser skiffer av silurisk ålder. Den vilar alltså ovanpå kalkstenslagren som är ordoviciska. Övriga skiffer är huvudsakligen kambriska. Visingsöformationens bergarter förekommer endast väster om kambro-silurberggrunden, vilket alltså innebär att den kambriska sandstenen vilar direkt på urberget.

FLUORID OCH KVÄVEFÖRENINGAR

Från hygienisk synpunkt är fluoridhalten i grundvattnet liksom förekomsterna av kväveföreningar såsom ammonium, nitrat och nitrit av stort intresse. Tänderna påverkas av vattnets fluoridinhåll. En fluoridhalt i dricksvatten av minst 0.7 - 0.8 mg/l F anses i Sverige ge kariesprofylaktisk effekt. Överstiger fluoridhalterna 1.5 mg/l F rekommenderar socialstyrelsen att barn begränsar sin konsumtion av fluorhaltigt vatten för undvikande av missprydande emaljfluoros. Ju högre halt i vattnet, desto större restriktioner behöver vidtagas. Överstiger halterna 6 mg/l F skall vattnet bedömas som otjänligt. I kalkstensakviferen förekommer fluorid mycket sparsamt. Inget prov har gett högre fluoridhalt än 0.75 mg/l F. Detta innebär att vattnet ej kan anses ha någon kariesprofylaktisk effekt. I sandstenen under kalkstenen och skiffern har omkring 20 % av alla provtagna brunnar halter av fluorid över 1.5 mg/l F, men endast en brunn visar en halt av fluorid som överskrider 6 mg/l F.

Det ytliga grundvattnet på Östgötaslätten, framför allt inom områden med odlade sandjordar, har ibland förhöjda koncentrationer av kväveföreningar. Anledningen till detta kan sökas i ökad användning av konstgödsel eller läckande avlopp och gödselupplag. I regel har det ansetts att det djupa grundvattnet skulle vara befriat från sådana föroreningar. Vid utvärderingen av analysresultaten visade det sig emellertid att även flera djupt borrade brunnar innehöll så höga halter av kväveföreningar att det från hygienisk synpunkt måste betraktas som anmärkningsvärt. Det i Östergötland vanliga sättet att borra en ny djup brunn i botten på en gammal grävd gör dock att förorenat ytligt grundvatten från den gamla brunnen lätt kan rinna ned i den nya djupa om inte tillfredsställande tätning utförts. I de fall då vattnets ålder bestäms med hjälp av tritiumanalys har det också visat sig att de förorenade brunnarna i förhållande till övriga i regel innehållit relativt ungt vatten.

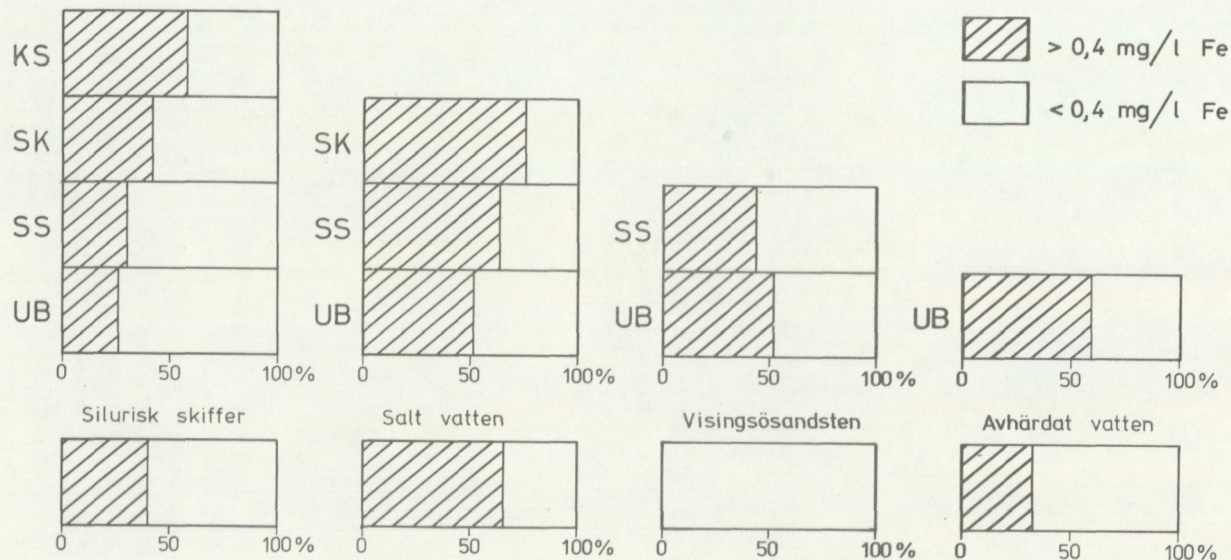


Fig 1. Procentuella fördelningen av brunnar med järnhalter över och under 0.4 mg/l Fe i relation till omgivande berggrund. Förkortningar se fig 3.

JÄRN OCH MANGAN

Inom Östergötlands sedimentberggrund har i grundvattnet de flesta brunnar låga manganhalter. Däremot är grundvattnets järninnehåll ofta så högt att det i många fall kan vara en olägenhet vid t ex tvätt. Fig 1 visar den procentuella fördelningen av brunnar med järnhalter över eller under 0.4 mg/l Fe i de olika akvifererna. Som framgår av figuren uppvisar de ytligt belägna akvifererna, oberoende av bergart, procentuellt de flesta brunnarna med höga järnhalter. I de djupt belägna akvifererna är andelen brunnar med låga järnhalter betydligt större.

SALT GRUNDVATTEN

Vid provtagningen har såväl inom som omedelbart utanför sedimentområdet vatten med höga kloridhalter påträffats, se fig 2. I flera brunnar har halter upp till 2000 mg/l Cl uppmätts. De högsta koncentrationerna har erhållits ur djupt borrade brunnar som hämtat sitt vatten ur sandstenen inom ett område söder om sjön Boren. Det salta vattnet i sandstenen ligger djupare än 30 m u h. Sandstenen är där nedsänkt och avskild från övrig sandsten genom förkastningar. Inom ett område norr om Omberg vid Vättern finns ett annat område med salt vatten i sandsten. Brunnarna där har salt vatten trots att de endast borraras ned till omkring 30 m ö h. Det salta vattnet uppträder alltså på skilda nivåer i de olika områdena. Även i urberget utanför sedimentområdet har salt vatten upptäckts i flera brunnar. I ett område omkring Kaga sydväst om sjön Roxen uppmättes högsta kloridhalten, 1750 mg/l Cl, i en brunn som nådde ned till 34 m u h medan en närbelägen brunn med botten 124 m u h hade en halt av 1010 mg/l Cl.

Tidigare har det salta vattnet i Östergötland ansetts vara en reminiscens av det havsvatten i vilket sandstenen avlagrats (Thorslund 1950/51). Då salt vatten naturligt även förekommer i brunnar borrade i urberg (Engqvist 1969) förefaller det mindre sannolikt att ursprunget skulle vara det havsvatten i vilket sandstenen avlagrats. Sammanställningar av uppgifter rörande brunnar med salt vatten visar att praktiskt taget alla brunnar med salt vatten är belägna i områden som efter senaste stora nedisningen varit täckta av hav (Knutsson & Fagerlind 1977). Det är därför mera sannolikt att det salta vattnet i öster-

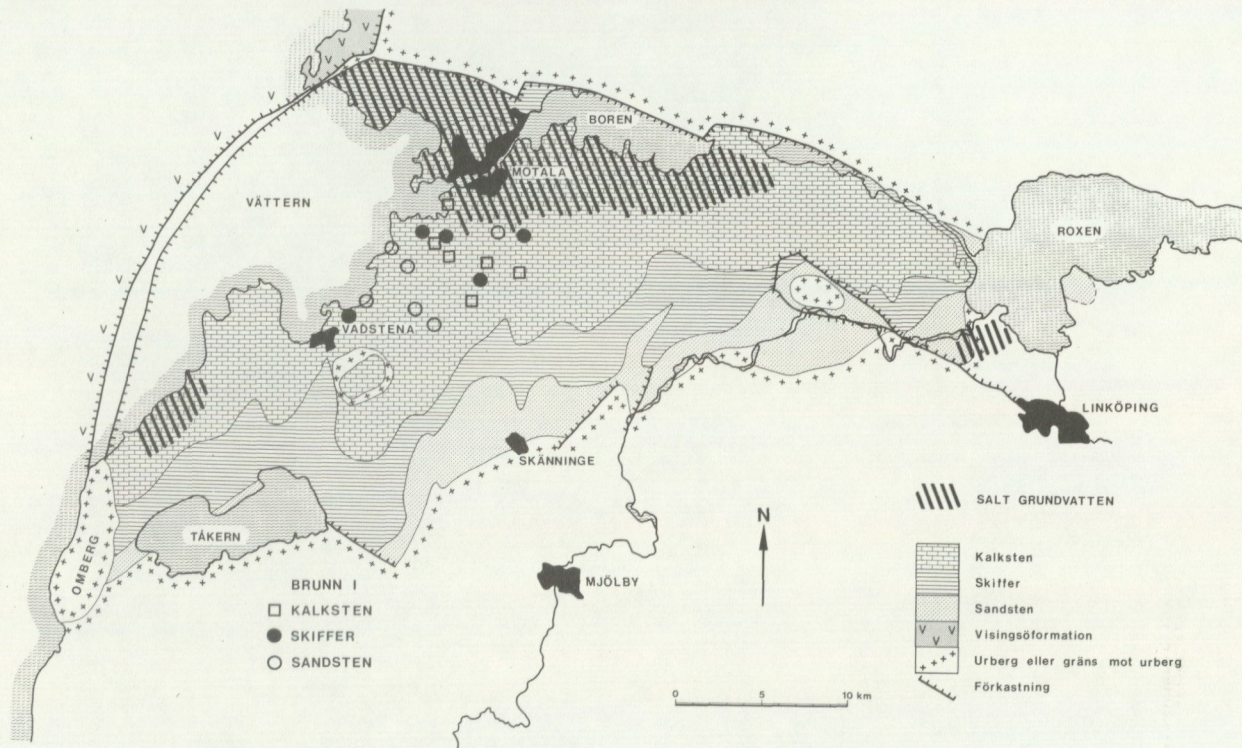


Fig 2. Östergötlands sedimentära berggrund. Kartan visar områden med salt grundvatten och platserna för de i fig 3 behandlade brunnarna.

götland härrör från något sådant postglacialt hav. En arbetsgrupp inom SGU specialstuderar för närvarande förekomsterna av salt grundvatten i Sverige.

TOTALHÄRDHET

Den procentuella fördelningen av brunnar med vatten av olika totalhårdhet inom olika bergarter framgår av tabell 2. Uteslutande brunnar som går ned i endast en bergart är medtagna. Tabellen visar att mycket hårt vatten, mer än 150 mg/l Ca, mest förekommer i brunnar borrhade i den kalkfattiga urberggrunden omedelbart söder om sandstensområdet, men även flera sandstensbrunnar har mycket hårt vatten. Såväl urbergsbrunnarna som sandstensbrunnarna är belägna söder om kalkstensområdet i isrörelseriktningen. Den är här N 15° V. I själva kalkstenen är vattnet övervägande hårt men det saknas brunnar med mycket hårt vatten. I en geotravers över Östergötlands kambro-silurområde har Melkerud (1977) åskådliggjort att kalkstenshaltens variation i morän visar en förskjutning av den maximala halten kalksten till 3 - 4 km söder om kalkstensberggrundens utgående. De höga värdena på totalhårdheten i såväl sandstens- som urbergsvattnet orsakas sannolikt av det höga kalkstensenhålllet i den överlagrande moränen. Även andra jordarter med högt kalkstensenhåll kan naturligtvis bidra till detta. Att det inte finns några brunnar i kalkstenen med mycket hårt vatten beror troligen på att den överlagrande moränen i framför allt de övre partierna nästan helt saknar kalkstensfragment.

Tabell 2. Den procentuella fördelningen av brunnar med olika totalhårdhet i akviferer som saknar överlagrande bergarter (understrukna i tabell 1)

	Totalhårdhet i mg/l Ca				
	> 150	70-150	35-70	15-35	< 15
	Mycket hårt	Hårt	Medelhårt	Mjukt	Mycket mjukt
Kalksten	-	80 %	15 %	5 %	-
(Skiffer	-	100 %	-	-	-)
Sandsten	20 %	37 %	20 %	23 %	-
Urberg	37 %	45 %	10 %	4 %	4 %

JONBYTE OCH JONFILTRERING

I regel ökar vattnets totala halt av lösta ämnen när det långsamt strömmar fram genom en avlagring. Samtidigt kan en viss omfördelning av de ingående enskilda komponenterna ske på så sätt att de mest svårlösliga salterna faller ut före de lättlösliga. Detta medför att lättlösliga ämnen kommer att uppträda i allt högre koncentrationer ju längre tid vattnet får strömma. Detta förhållande tycks dock inte gälla för det vatten som passerar genom skifferavlagringarna i Östergötland. För att illustrera detta har analyser från ett antal brunnar inom ett ca 100 km² stort område söder om Motala sammanställts i ett diagram, se fig 2 och 3. Analysresultaten är ordnade efter brunnarnas djup i förhållande till havsytans nivå. Förutom huvudkonstituenterna i vattnet visas även pH-värden och fluoridhalter. Området har valts av det skälet att det där finns brunnar som får sitt vatten ur olika akviferer.

Grundvattnet i kalkstenen har höga totalkoncentrationer med kalcium som dominerande katjon. Fluoridhalterna är låga liksom pH-värdena. Som framgår av fig 3 ändras vattnets karaktär när det når skifferlagren. I skiffern och den underliggande sandstenen är totalhalten lösta ämnen låg och pH-värdet högt i jämförelse med vattnet i kalkstenen och omgivande bergarter. Ett annat karakteristiskt drag är att natriumhalterna är högre än kalciumhalterna. Med undantag av fluorid är de flesta övriga halter låga. Vattnet har tritiumenheter under 3 TU. Då de hydrogeologiska undersökningarna av Östergötlands sedimentära berggrund visar att sandstenen på grund av sitt stratigrafiska läge normalt kan betraktas som en sluten akvifer med läckage genom ovanliggande formationer (Andersson 1976) förefaller det märkligt att sandstensvattnet ofta har mycket lägre totalhalter än det vatten som infiltrerar till sandstenen.

Glaukonit och lermineral förekommer i skifferlagren. Dessa ämnen kan under vissa förhållanden tjänstgöra som jonbytare. Det salta havsvatten som en gång täckt det här beskrivna området kan ha "regenererat" förekomsterna av ovannämnda mineral precis som man regenererar avhärdningsfilter. Detta har till följd att de ur kalkstenen lösta kalciumjonerna i det genomströmmande grundvattnet utbyts mot natrium. Detta innebär dock inte att totalhalterna i vattnet måste minska genom ett sådant utbyte. En hypotes om jonfiltrering (Wood 1976) förefaller att bättre förklara att totalhalterna i grundvattnet minskar vid passage genom skiffer. Hypotesen går i korthet ut på att leror kan få membranegenskaper

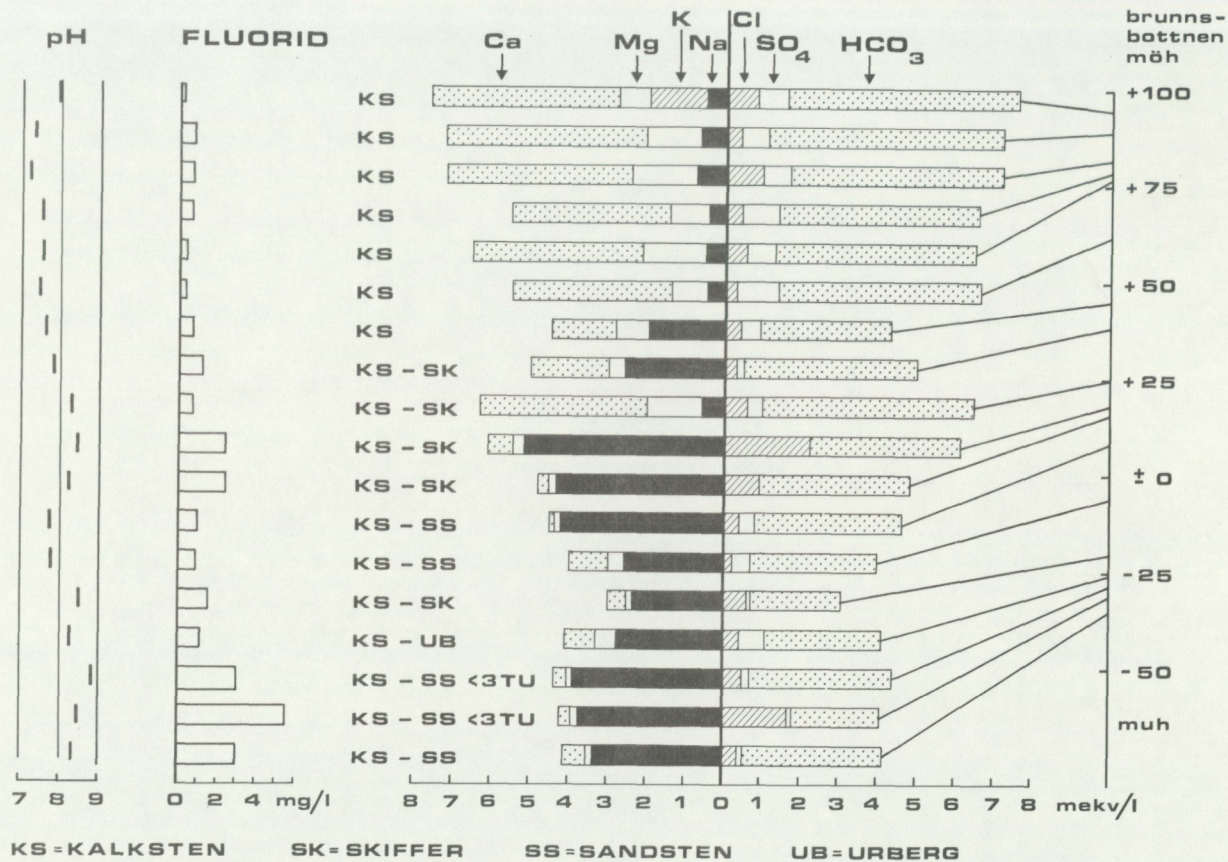


Fig 3. Grundvattnets kemiska sammansättning i relation till brunnsbottenarnas nivåer och omgivande berggrund inom ett område söder om Motala. Brunnarnas lägen framgår av fig 2.

med följd att de neutrala vattenmolekylerna av gravitationen tvingas genom "membranet" eller "filtret", medan de laddade jonerna på grund av filtereffekten inte kan passera. Dessa koncentreras ovan "filtret" och vid övermättnad fälls dessa ut. Termodynamiska beräkningar visar att förutsättningar finns för att en sådan filtrering skall kunna äga rum i det här aktuella området. Utländska laboratorieundersökningar visar att konsoliderade leror verkligen kan uppträda som semipermeabla membran (Back & Hanshaw 1965). Motsvarande undersökningar i svenska skiffrar tycks saknas. Det skulle emellertid vara av stort värde om sådana undersökningar skulle kunna komma till stånd då en vidgad kännedom om dessa fenomen skulle kunna öka förståelsen av de processer som påverkar grundvattnets sammansättning i sedimentär berggrund i vårt land. I samband med SGU:s omlokalisering till Uppsala har förutsättningarna för att kunna genomföra undersökningar av denna typ ökat genom att ett laboratorietrymme för grundvattenkemiska undersökningar iordningställts.

REFERENSER

- Andersson, J E, 1976. Olika metoder att analysera propumpningsdata från Östergötlands kambrosilurområde. UNGI Rapport 43.
- Back, W, & Hanshaw, B, 1965. Chemical Geohydrology. Advances in Hydroscience, Vol 2, pp 49-109.
- Engqvist, P, 1969. Mineral and Thermal Waters of Sweden. XXIII International Geological Congress, Vol 18, pp 127-131.
- Knutsson, G, & Fagerlind, T, 1977. Grundvattentillgångar i Sverige. SGU Rapporter och meddelanden nr 9.
- Melkerud, P A, 1977. Samband mellan morän och berggrund. En travers över Östergötlands kambrosilurområde. Kvartärgeologiska institutionen, Stockholms universitet.
- Thorslund, P, 1950/51. Grundvattnet på Östgötaslätten. Grundförbättring nr 3, årg 4, pp 123-133.
- Wood, W W, 1976. A Hypothesis of Ion Filtration in a Potable-Water Aquifer System. Ground Water, Vol 14, No 4, pp 233-244.

NÅGRA ANMÄRKNINGAR RÖRANDE KÄLLOR I SVERIGE

Jan De Geer

DEFINITIONER

En källa utgör en punkt eller ett område, där grundvatten rinner fram på markytan. Källor uppträder ofta individuellt men mycket vanligt är också att de ger sig till känna gruppvis eller linjeformigt längs källhorisonter eller som s k källsåg. Detta sistnämnda ord tycks sedan något tiotal år nästan helt ha fallit i glömska. Det kommer fö av "siga" eller "sega", som betyder "sakta rinna fram" eller "sila sig fram". Bl a begagnade Linné "källsåg" år 1732. Även källdrag är ett begrepp, som bör vara ungefär synonymt med källsåg (neutrum). Men källor uppträder med mycket stor sannolikhet ofta även i dolda lägen. De utgjuter sig således under vattenytan i främst havet, i sjöar, i vattendrag, i diken, i torvmossar. På en torvmosse kan platsen för ett källutflöde ibland upptäckas på långt håll som en följd av den avvikande vegetation som brukar känneteckna randen av mynningen. Vertikalt rakt ned från mynningen saknas torv helt. Man skulle kunna tala om ett slags skorsten. Samerna i de nordligaste delarna av landet utnyttjar sitt kunnande i den här frågan genom att förse sig med dricks- eller kaffevatten vid de här mosskällorna. När utsilande grundvatten från ett källsåg samlar sig till ett särskilt flöde bör ett källdrag ha uppkommit. Om grundvatten i stället sipprar fram sakta och tämligen likartat inom en yta, oftast en sluttning, brukar man tala om grundvattenutläckning "på bred front". Denna variant av "källa" torde vara den allra vanligaste särformen av grundvattenläckage i vårt land.

BAKGRUND

Den som blickar något tillbaka i tiden, för att med tillhjälp av de geologiska kartbladsbeskrivningarna bilda sig en uppfattning om läget för den del av hydrogeologin som omfattade källorna, kan då råka komma underfund med att SGU mycket tidigt tog befattning med också mera allmänna hydrogeologiska problem. I Aa 130 Vadstena berörs den på sin tid omstridda frågan om brunnarna kring Täkern skulle påverkas negativt i samband med en föreslagen torrläggning av sjön. A Blomberg

framhåller då: "Genom de undersökningar, som åren 1882-1883 genom Sv. Geolog. Undersöknings försorg anställdes öfver hithörande förhållanden, torde hafva fullgiltigt ådagalagts, att brunnarnas vattenstånd ej står i beroende af vattenståndet i Tåkernbäckenet".

Källorna inom denna del av Östergötland uppges vara få. Dock begagnas termen "springkälla". Längre norrut i landet används "sprengvatten" för troligen samma företeelse. Dialektala ord för källa är "opprinna" eller "upprinning" (Örebro och Östergötlands län).

Eftersom vatten är ett absolut nödtvunget livsmedel för människan kan man ta för givet att källor i kombination med lättbrukad mark spelat en väsentlig roll i lokaliseringen av vårt tidiga jordbruk. Åtskilliga källor fungerade ursprungligen som offerkällor. En variant av offerkällan var trefaldighetskällan, som senare utgjorde en samlingsplats för bygdens befolkning. En viktig förutsättning för trefaldighetskällan var att källvattnet flödade mot norr. På så sätt ansågs det onda återbördas åt det håll varifrån det kom.

Ett exempel på en källa med fornnordiskt namn utgör Odensbrunn med utläckande vatten från Uppsalaåsen ca 32 km norr om staden.

HÄLSOKÄLLOR

Under slutet av 1700-talet och huvuddelen av 1800-talet spelade hälsokällorna eller hälsobrunnarna en anseelig roll i svensk sommarsjukvård. Kartbladsbeskrivningarna anger tillhopa 85 st hälsokällor (se tabell). Det måste ha funnits avsevärt flera, bl a därför att de geologiska kartbladen ju endast omfattar landets sydligare delar. En nästan nödvändig förutsättning för hälsokällans funktionsduglighet var att vattnet borde eller måste innehålla en påtaglig mängd järn.

Vissa av de kända hälsokällorna eller kuranstalerna hade tydligen ett betydande "omland". Andra tjänstgjorde blott för den närboende traktens "allmoge". Detta påpekas på flera ställen i den tidens fackbok i ämnet "Svenska brunnar och bad (Levertin 1883).

Nedan följer en uppräknig av ett antal mera kända orter med hälsokällor: Adolfberg, Bie, Dannemora, Djursätra, Evedal, Hjo, Karlstad, Lannaskede, Loka, Lundsbrunn, Medevi, Mösseberg, Nybro, Porla, Ramlösa, Ronneby, Skagersbrunn, Sätra brunn, Söderköping, Södra Vi, Tulseboda. En hel del av de nämnda anläggningarna har ju "överlevt" in i våra dagar.

Här kan det också vara på sin rätta plats att anföra hurusom personer knutna till hälsoorganisationer under de sista åren gjort förfrågningar vid SGU rörande var någonstans man lämpligast kan hämta källvatten. Så vitt bekant är det kommunernas klorering av dricksvattnen som fått intresset för källvattnen att öka.

KALLEBÄCKS KÄLLA

Kallebäcks källa, som är belägen fågelvägen 4 km sydost om Göteborgs centrum, lämnar 5 - 6 l/s (Ygge 1976). Den har spelat en anmärkningsvärt stor roll i Göteborgs vattenförsörjning. Vattnet leddes fr o m 1787 via en ledning bestående av trästockar till 3 tappställen i centrala Göteborg. Vid 1860-talets slut fanns inalles 30 st vattenposter. Ytvattenverket vid Delsjön trädde dock i funktion 1871 och trästockarna utbyttes 1881 mot järnrör. I början av 1890-talet förvärvade så bryggaren W Lyckholm ett markområde invid stadens vattentäkt. Detta utgjorde upprinnelsen till en segsliten konflikt mellan främst Göteborg och Lyckholm (Pripp & Lyckholm), en konflikt som avslutades först 1951.

Pripps Bryggerier har satt så stort värde på att använda Kallebäckskällans vatten att man investerat 2.5 milj kronor i en 9 km lång vattenledning till företagets nya anläggning i Västra Frölunda.

Även på andra håll i landet har källvatten utnyttjats för bryggeriändamål. Kooperativa förbundets bryggeri vid Vårby i Stockholms utkant utgör ett exempel.

FLÄSTA KÄLLOR

Ett intressant exempel på en sällsynt gynnsam utbyggnad av ett källområde utgör Flästa källor i Ljusnanåsen. De är belägna drygt 11 km norr om Bollnäs och återfinns i ett lågpunktsområde. Influensområdet är dåligt känt men har grovt upp-

skattats till ca 30 km² (se fig 1). Grundvattnet mynnade ursprungligen längs en ca 300 m lång källfront eller källhorisont. Utmed den kunde ett 40-tal individuella läckpunkter iakttagas. Därtill uppträdde en separat källa 600 m i sydost. Den lämnade inemot 10 l/s. Hela källområdet totala flöde konstaterades vara ca 100 l/s. Efter att först ha fastlagt att tillrinningen inte var årstidsbunden, påbörjades en provpumpning med 115 l/s under drygt 1 års tid. Grundvattnet utvanns ur tre rörbrunnar. Vattenmängden utgjorde brunnarnas maximala kapacitet. Stationärt tillstånd inträffade efter ca 9 månader. Trots avsänkning (>3 m) lämnade källorna hela tiden vatten ifrån sig även om kvantiteten minskade avsevärt, okänt dock med exakt vilken mängd. För att helt tvinga källorna att upphöra med läckaget krävs tydligen en utökad pumpning med större avsänkning, sannolikt av storleksordningen flera 10-tal l/s. Erfarenheterna vid Flästa källor utgör bl a ett exempel på den ungefärliga relationen mellan ett naturligt läckage ur källor och vad en utbyggnad i ett förmånligt fall kan ge. Slutligen kan nämnas att uttaget under senare år uppgått till ca 70 l/s. Någon minskning av läckaget har enligt uppgift ej märkts ens under 1970-talets torrår.

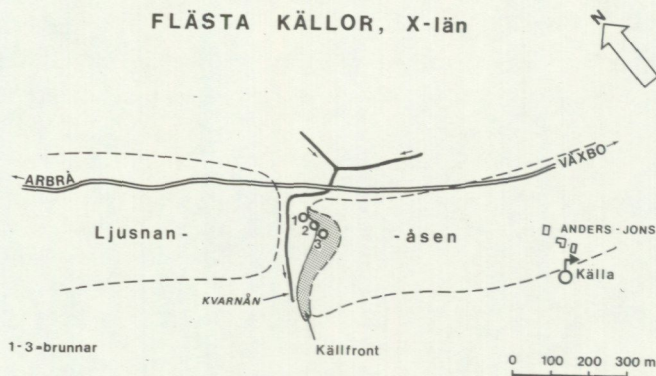


Fig 1. Flästa källor, Bollnäs nuvarande huvudvattentäkt.

MORÄNKÄLLOR

Trots att grävda brunnar i morän, enligt den dokumentation och de provpumpningar som utförts under sista decenniet i samband med den hydrogeologiska karteringen vid SGU, visat att endast mycket oansenliga mängder kan utvinnas, är det inte desto mindre uppenbart att det finns gott om källor i moränterräng som är kapabla att förse enstaka gårdar, gårdsgrupper eller t o m smärre tätorter med vatten.

I dalstråken inom norrlandsterrängen förefaller det vara vanligt att man tillgodogör sig moränslutningarnas källgrundvatten. Hur pass brukligt detta verkligen är torde ingen veta, men genom sporadisk kännedom om situationen inom några avsnitt i Övre Klarälvsdalen samt kring Ljusnanåsen har framgått att metoden med infattade källor med självfallsledningar till dalbotten begagnas rätt flitigt. Flera tiotal enheter förekommer mellan Edefors och Höljes i Klarälvsdalen. I sju kända fall leds vattnet t o m över till motsatta sidan älven. Källornas flöden är tyvärr okända.

Ett exempel på det sistnämnda utgör Arbrå vattentäkt vid Lavåsen, fågelvägen 6 km nordväst om Arbrå, Gävleborgs län. Enligt Jordartskartan över Gävleborgs

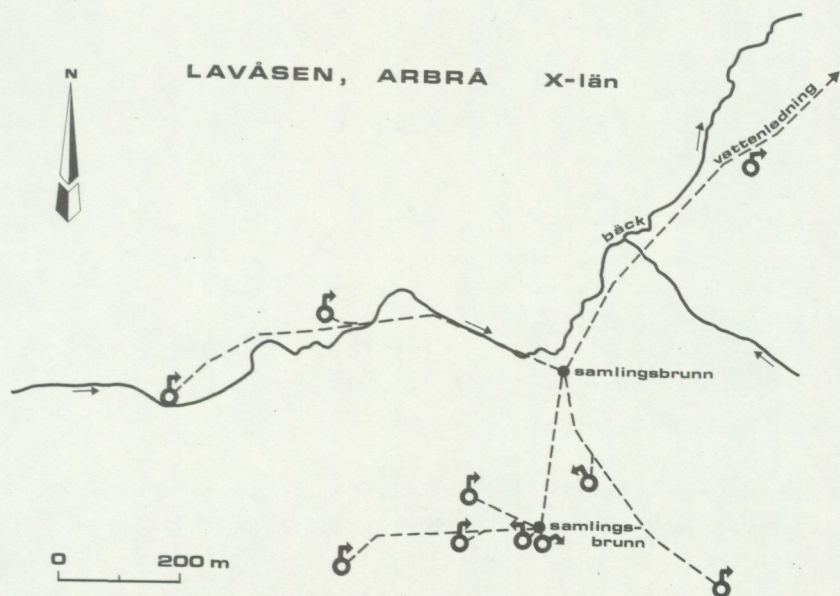


Fig 2. Arbrå huvudvattentäkt inom moränområdet vid Lavåsen.

län (SGU Ser Ca Nr 42) förekommer blott morän inom tillrinningsområdet. Själva vattentäkten utgjordes tills nyligen av 9 st överbyggda källbrunnar (se fig 2). Två av dem har nu tagits ur drift p g a risk för ytvatteninläckning. De fungerande 7 brunnarna lämnar 8 l/s. Med 9 brunnar igång utvanns ca 12 l/s. Tätorten Arbrå erhåller f n 2/3 av sitt vattenbehov från denna vattentäkt. Tyvärr föreligger inga data rörande jordlagerföljderna inom området.

KÄLLOR I BERG

Vanligen förknippar man källor i berg med karstvittring i kalksten. Även i Sverige finns ju exempel på karstkällor av mestadels liten eller möjligen måttlig storlek. Barnakällan vid Ivösjön i Skåne, Lummelunda strax norr om Visby samt Björkliden vid Torne träsk utgör välkända exempel.

Självfallet förekommer bergkällor i flertalet av våra bergarter. Ett exempel på en kartbladsbeskrivning i vilken verkligen bergkällor noterats utgör Aa 125 Tidaholm av H Munthe. Han har antecknat 10 st bergkällor:

- 4 "ur kalkhällen"
- 4 "ur silurisk skiffer"
- 1 "ur sandsten"
- 1 "ur granithällen".

Även på bladen Aa 88 Vaxholm och Aa 149 Kisa har urbergskällor redovisats. På Gotland måste självklart källor i berggrunden vara mycket vanliga. En opublicerad källkartering av SGU längs klinten i trakten av Visby har även visat att så är fallet. På Aa 171 Kappelshamn anges inte mindre än 10 källor emana "ur hällen", "ur kalkstenen" eller "ur kalkhällen". Ytterligare ett fall kan andragas. Det är E Erdmann som i beskrivningen till Aa 74 Helsingborg bl a framhåller att "äfvén ur den stenkolsförande formationens och silurformationens bergarter framkomma källsprång".

KÄNNEDOMEN OM SVERIGES KÄLLOR

Kännedomen om Sveriges källor baseras främst på SGU:s egna kartblad jämte beskrivningar. Beskrivningarna är särdeles viktiga genom att man av dem ofta kan avgöra vilka källor som avbördar - relativt sett - de större vattenmängderna.

I beskrivningarna har nämligen oftast urskilts källor som är "ymniga" eller "för sin vattenrikedom mera anmärkningsvärda" eller har "rikligare flöde" eller "särdeles starkt flöde" m fl likartade försök till preciseringar. Även i övrigt kan helt allmänt konstateras att enhetligheten och konsekvensen givetvis även varierat med tiden samt med rekognosörer och författare. Det är obekant men knappast troligt att SGU någonsin sökt fastställa någon gränsszon mellan ordi- nära och större källor. Principiellt samma sak gäller för de järnhaltiga eller järnockraavsättande källorna.

Tabell. Sammanställning över källor nämnda i beskrivningarna till SGU:s kartbladsserie Aa

Kartblad nr	Utgivningsår	Antal källor	Rikliga källor	Järnhalt. källor	Hälso- källor	Trefald.- källor
Aa 1- 10	1862-1864	1 598	106	103	8	4
Aa 11- 20	1864-1866	2 076	112	68	17	8
Aa 21- 30	1866-1868	771	68	85	12	5
Aa 31- 40	1869-1870	596	38	26	2	0
Aa 41- 50	1870-1874	1 854	76	141	5	1
Aa 51- 60	1874-1877	832	46	74	2	0
Aa 61- 70	1877-1881	1 062	70	47	2	0
Aa 71- 80	1879-1882	471	23	33	4	0
Aa 81- 90	1881-1885	716	16	36	6	0
Aa 91-100	1884-1889	216	20	4	1	0
Aa 101-110	1886-1895	240	14	13	1	0
Aa 111-120	1895-1906	246	27	26	2	0
Aa 121-130	1903-1917	204	60	37	5	0
Aa 131-140	1906-1915	68	18	15	5	0
Aa 141-150	1909-1929	204	50	22	4	0
Aa 151-160	1922-1928	385	43	17	2	0
Aa 161-170	1924-1930	75	16	8	1	0
Aa 171-180	1931-1939	184	33	13	6	0
Aa 181-190	1937-1956	110	10	1	2	4
Aa 191-201	1948-1974	66	2	3	0	0
Summa:		11 974	848	772	85	22

Tabellens tredje kolumn anger totala antalet källor för varje tiotal kartblad i Aa-serien. Kartbladen har skalan 1:50 000 och varje blad omfattar 625 km². Då även bladens utgivningsår redovisas kan man omgående fastslå att det skett en markant minskning i antalet dokumenterade källor fr o m ungefär år 1885.

Av de inalles 12 000 noterade källorna, hade vid denna tidpunkt redan 10 000 karterats (på kartbladen Aa 1-90). Under kartseriens hela resterande tidrymd tillkom endast omkring 2 000 källor.

I beskrivningarna till SGU:s serie Ae i skala 1:50 000 har hittills 40 st källor omnämnts. Inalles har ca 30 blad utkommit. Första utgåvan kom 1964.

I den hydrogeologiska kartbladsserien (serie Ag), vars första blad utkom 1971, anges givetvis de viktigare källorna. Hittillsvarande erfarenhet talar för att något tiotal källor redovisas per kartblad. Ett likartat antal källor finns uttagna på SGU:s serie Ad, Agrogeologiska kartblad i skala 1:20 000. Serien omfattar delar av sydvästra Skåne.

Det är ett känt faktum att åtskilliga källor på de geologiska kartorna inte längre kan återfinnas. Förklaringen är säkert flerfaldig. En av anledningarna hänger rimligen samman med den ökade dräneringen (täckdikningen) av åkermarken. En annan kan förmodas ha att göra med att man vid rekognoseringen hade bekymmer med att avgöra om vissa källor verkligen var helårskällor eller blott framträdde periodiskt. Det är knappast troligt att osäkerheten normalt skulle känneteckna även de "rikliga" källorna. Det här anförda vad beträffar osäkerheten rörande källorna utgör ett av flera motiv varför det är av sådan vikt att det vid SGU nyligen startade källarkivet får allt det stöd som inte minst den hälso- och naturintresserade allmänheten bör kunna lämna.

REFERENSER

- Levertin, A, 1883. Svenska brunnar och bad. Stockholm.
Ygge, B, 1976. Källorna i Kallebäck. AB Pripps Bryggerier. Göteborg.

SGU:s ARKIV FÖR KÄLLOR

Jacob Johnson

En lättillgänglig sammanställning över källor i Sverige saknas i dag. Uppgifter om källor finns på många ställen, t ex:

1. SGU (geologiska och hydrogeologiska kartblad, grundvattennätet, enskilda tjänstemän),
2. konsultutredningar, examensarbeten från högskolor etc om lokala eller regionala grundvattenförhållanden,
3. kommunerna (exempelvis på gatukontor och hos hälsovårdsinspektörer),
4. folkminnesarkiv, lokala museér m m där källornas kulturhistoriska betydelse är beskriven,
5. hembygdsföreningars årsböcker.

Säkert finns information att hämta på många andra håll - inte minst hos befolkningen på landsbygden.

Källorna och deras uppträdande är intressanta ur många aspekter.

En källa är en dräneringspunkt för grundvattenmagasin i jordlager och/eller berggrund och lämnar därigenom värdefull information om *geologi* och *grundvattenförhållanden*.

Förändringar i nederbördens mängd och sammansättning jämte vegetation eller markförhållanden återverkar alla på källornas flöde eller källvattnets sammansättning. En källa fungerar därför som *miljöindikator*.

Källorna har även sin betydelse som *vattentäkter* för människor och djur och våra mindre outnyttjade källor utgör en reserv till våra stora vattentäkter.

I äldre tider har källorna som ovan nämnts betydelse som offerkällor och senare har källvatten använts vid kurorter etc. Källorna är därför en del av vår *kulturhistoria*.

Vi tycker att dessa motiv berättigar till ett försök att systematisera vår

ARKIVKORT FÖR KÄLLOR

Län R kommun Skövde top.karta 80 50 rikets nät X
 Y Z rikets nät Z
 m.ö.h.

Källans namn: Skultorps källor

avkifer: isälvavlagring morän berggrund bergart lerskiffer

annan nämligen _____ okänd

punktkälla källhorisont källtorvbildning utbyggd till brunn

uppskattat flöde: < 1 l/s 1-5 l/s 5-10 l/s 10-25 l/s 25-50 l/s

datum _____ > 50 l/s

uppmätt flöde 2,7 l/s datum 73 01 03

källvattnet avrinner till Öson, Tidon (vattendrag)

smak: god dålig obestämd Temp. °C datum _____

Utfällning: järn mangan kalk annan nämligen _____

Användning: Skövdes vattenförsörjning (Skultorp)

Muntliga traditioner

Litteratur Carl von Linné:
Västgötareson
SGU:
Projekt Ranstad 1975

Anmärkning Skövde kommun möter
kontinuerligt flödet.
Kontaktman: driftsing.
Karl Persson

Kemisk analys

Temp	<u>5.7</u>	°C		
pH	<u>7.8</u>			
Eh		volt	löst O ₂	mg/l
spec. ledn.- förmåga		µmhos/cm		
Na ⁺		mg/l		
K ⁺		mg/l		
(Mg ²⁺)	<u>MgO 3.2</u>	mg/l		
(Ca ²⁺)	<u>CaO 52</u>	mg/l	Hårdhet	dH°
alkalinitet		mekv/l		
HCO ₃ ⁻	<u>101</u>	mg/l		
Cl ⁻	<u>11</u>	mg/l		
SO ₄ ²⁻	<u>28</u>	mg/l		
NO ₃ ⁻	<u><2</u>	mg/l		
NO ₂ ⁻	<u><0.1</u>	mg/l		
NH ₄ ⁺	<u><0.1</u>	mg/l		
F ⁻		mg/l		
Fe ²⁺	<u><0.1</u>	mg/l		
Fe ³⁺	<u><0.05</u>	mg/l		
Mn ²⁺		mg/l		

Uppgiftslämnare Jacob Johnson

laboratorium lantbrukskemiska, Skara

datum 79 01 26

datum 55 02 07

källkunskap. Därför har vi utarbetat ett arkivkort där data om källor lätt kan införas. Ett exempel på hur ett sådant kort kan se ut ses i bifogade figur.

Av speciell vikt vad gäller databehandlingsmöjligheter är att lägesbestämning av källorna görs enligt rikets system (se ex topografiska kartans ram).

Uppgifter om källflödets omfattning och sammansättning är naturligtvis av största vikt, men även uppgifter om användning och kulturhistoriska notiser kan införas på arkivkortet.

SGU tar gärna emot uppgifter om källor. Uppgifterna kommer att sammanställas i ett källarkiv.

HYDROGEOLOGISKA PUBLIKATIONER FRÅN SGU

SGU redovisar resultat av sin verksamhet i bl a årsberättelser och i kartor, avhandlingar och uppsatser. Fullständig förteckning över utgivna publikationer kan erhållas från SGU. Nedan visas en sammanställning av till i februari 1979 utgivna hydrogeologiska publikationer.

SERIE Ag: HYDROGEOLOGISKA KARTBLAD I SKALA 1:50 000 MED BESKRIVNINGAR

1. Örebro SV med beskrivning av A Möller m fl, 1971
2. Örebro NO med beskrivning av A Möller m fl, 1974
3. Örebro NV med beskrivning av A Möller m fl, 1971
4. Trelleborg NV/Malmö SV med beskrivning av O Gustafsson, 1972
5. Örebro SO med beskrivning av A Möller m fl, 1974
6. Trelleborg NO/Malmö SO med beskrivning av O Gustafsson, 1977 och 1978
7. Norrköping NV med beskrivning av J Pousette m fl, 1977
8. Eskilstuna NO av P Engqvist och C-F Müllern, 1978

SERIE C: AVHANDLINGAR OCH UPPSATSER

239. Hedström, H. Om grundvattenförhållandena i trakten af Visby, 1912
243. Johansson, S. Undersökning öfver vattnets rörelse i sandjord, 1913
245. Sahlström, K E. Några försök angående jordarternas permeabilitet i naturen, 1913
256. Johansson, S. Die Festigkeit der Bodenarten bei verschiedenem Wassergehalt nebst Vorschlag zu einer Klassifikation, 1914
311. Hörner, N G. Om några främmande länders officiella grundvattensundersökningar, 1922
332. Johansson, S. Hydrogeologisk undersökning av ett lerområde vid Skara, 1926
334. Ekström, G, och Flodkvist, H. Hydrologiska undersökningar av åkerjord inom Örebro län, 1926
356. Beskow, G. Om jordarternas kapillaritet. En ny metod för bestämning av kapillärkraften (eller kapillära stighöjden), 1930
371. Flodkvist, H. Kulturtechnische Grundwasserforschungen, 1931

461. Johansson, S. Om jord och vatten på Lanna försöksgård, 1944
538. Tullström, H. Hydrogeologiska förhållanden inom Slite köping på Gotland, 1955
605. Nilsson, K. Geological data from the Kristianstad plain, southern Sweden, 1966
670. Pousette, J, Möller, Å. Ölands hydrogeologi, 1972
675. Pousette, J. Grundvattenundersökningar på Ölands stora alvar, 1972
702. Pousette, J. Fortsatta grundvattenundersökningar på Öland, 1974
707. Müllern, C-F. Artesiskt grundvatten och naturgas i Kvarntorp, Närke, 1974
721. Möller, A, Engqvist, P, Müllern, C-F. Hydrogeologiska förhållanden inom Närkeslätts sedimentära berggrund, 1976
728. Gottschalk, L, and Nordberg, L. Mathematical modelling of groundwater level response in different geological environments, 1977
734. Carlsson, A, and Olsson, T. Water leakage in the Forsmark Tunnel, Uppland, Sweden, 1977

SERIE Ca: AVHANDLINGAR OCH UPPSATSER I KVARTO OCH FOLIO

48. Nordberg, L. and Persson, G. The national groundwater network of Sweden, 1974

RAPPORTER OCH MEDDELANDEN

8. Gustafsson, O, och De Geer, J. Skånes större grundvattentillgångar, 1977
9. Knutsson, G, och Fagerlind, T. Grundvattentillgångar i Sverige, 1977
10. Modig, S, Knutsson, G, Nordberg, L, och Persson, G. Särtryck ur Ymer 1978 - Bebyggelsen och vattnet, 1978

Väsentlig hydrogeologisk information finns också i många andra av SGU:s ordinarie publikationer, särskilt i vissa beskrivningar till jordarts- och berggrundskartor. SGU:s publikationer distribueras av Liber, 162 89 Vällingby (tel 08 - 89 02 00). Publikationer och kartor kan också köpas vid besök på SGU. Serien Rapporter och meddelanden distribueras endast av SGU:s bibliotek, Box 670, 751 28 Uppsala (tel 018 - 15 52 80).

Förutom i de ordinarie publikationsserierna redovisas också omfattande hydrogeologisk verksamhet i uppdrags- och forskningsrapporter. Dessutom publicerar många SGU-tjänstemän vetenskapliga uppsatser i olika svenska och utländska tidskrifter. Årliga sammanställningar av den senare typen av uppsatser ges i SGU:s årsberättelser.



I SGU:s serie Rapporter och meddelanden har tidigare utgivits:

- *1. Utredning rörande det svenska jordbrukets kalkförsörjning 1 - 2. 1931
- *2. Sahlström, K E. Sveriges lodade sjöar. 1945
- *3. Ödman, O H. Rapport över manganmalmsletningen i Jokkmokks socken 1940 - 48
4. Stålhös, G. Bidrag till kärnedomen om den radioaktiva strålningens fördelning inom den svenska berggrunden. 1959
5. Johansson, H G, och Ericsson, B. Grusutredningen -74. Översiktlig inventering av sand- och grusförekomster - Försöksverksamhet. 1976
6. Knutsson, G, m fl. Grustillgångarna i Östersundsområdet. Del 1 Inventering. 1976
7. Ericsson, B. Svallgrustillgångar längs Kilsbergen, Örebro län. 1977
8. Gustafsson, O, och De Geer, J. Skånes större grundvattentillgångar. 1977
9. Knutsson, G. och Fagerlind, T. Grundvattentillgångar i Sverige. 1977
10. Modig, S, Knutsson, G, Nordberg, L, och Persson, G. Särtryck ur Ymer 1978 - Bebyggelsen och vattnet. 1978
11. Guy-Ohlson, D. Jurassic biostratigraphy of three borings in NW Scania. (A brief palynological report) 1978
12. Gustafsson, O, Andersson, J-E och De Geer, J. Sammanställning av hydrogeologiska data från Kristianstadsslätten. 1979

* Utgången

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING
BIBLIOTEKET
Box 670
751 28 UPPSALA
TELEFON 018 - 15 52 80

Cirka pris 20 kr inkl moms

ISBN 91-7158-176-6