

JAN POUSETTE

GRUNDTVATTEN-
UNDERSÖKNINGAR PÅ ÖLANDS
STORA ALVAR

Groundwater studies in the Great Alvar area of Öland



STOCKHOLM 1972

JAN POUSETTE

GRUNDTVATTEN-
UNDERSÖKNINGAR PÅ ÖLANDS
STORA ALVAR

Groundwater studies in the Great Alvar area of Öland

STOCKHOLM 1972

ISBN 91-7158-011-5

Textkartorna är för spridning godkända i rikets allmänna kartverk 25.07.72.

C DAVIDSONS BOKTRYCKERI AB, VÄXJÖ 1972

INNEHÅLL

	sid.
Abstract	4
Inledning	5
1. Hydrogeologisk översikt	6
1.1 Berggrundsstratigrafi	6
1.2 Sprickor och spricksystem	7
1.3 Faktorer som inverkar på sprickvolymen	8
2. Utväljande av typområden	10
2.1 Allmänt	10
2.2 Gettlinge	10
2.3 Mellby	10
2.4 Ebbelunda	12
2.5 Ekelunda	12
2.6 Södra Bårby	13
3. Geofysiska undersökningar	13
3.1 Använda metoder	13
3.2 Resultat av mätningarna	13
3.2.1 Gettlinge	13
3.2.2 Mellby	16
3.2.3 Ebbelunda	16
3.2.4 Ekelunda	16
4. Borring av produktionsbrunnar och observationshål	18
4.1 Allmänt	18
4.2 Gettlinge	20
4.3 Mellby	20
4.4 Ebbelunda	20
4.5 Ekelunda	21
4.6 Observationshål	22
5. Provpumpningar	22
5.1 Materiel och metodik	22
5.2 Begreppsförklaringar	23
5.3 Beräkningsförfarande	23
5.4 Återhämtningstest	24
5.5 Kompensationskrav för giltigheten av erhållna resultat	25
6. Resultat av provpumpningarna	26
6.1 Brunnskapaciteter	27
6.2 Åtgärder för större vattenuttag	28
6.3 Transmissivitet	29
6.4 Effektiv porositet	29
7. Vattenkvalitet	30
8. Sammanfattning	31
9. Litteraturförteckning	32

Abstract

Previous investigations carried out by the Section of Well Records of the Geological Survey of Sweden concerning the groundwater situation of Öland, an island not far off the south-east coast of Sweden, indicate that economically extractable amounts of water exist in the rock reservoirs. Previous unfavourable siting of wells has often put most of this water out of reach for consumption. In the author's opinion, groundwater prospecting should concentrate on the search for tectonically or otherwise influenced structures in the bedrock, where groundwater occurrence and flow may be abundant.

In order to try this theory in practice, limited groundwater studies were carried out on the Great Alvar in the southern part of Öland, known as a steppe-like bedrock area covered by no or a very thin layer of soil. Four small structure zones, at least partly influenced by tectonics, were selected and investigated by means of the seismic refraction and the electrical resistivity methods. The geophysical methods helped in defining the actual width of the zones and the most favourable sites for wells. Also, the methods were tested in order to calibrate them for use in soil covered bedrock basin areas. The investigation sites were selected mostly because of their accessibility. Far more extended structures can be found within the Alvar, but there is some difficulty in reaching them by ordinary vehicles and with heavy equipment.

The total depths of the joints and the structure zones are not known. According to results from previous well drillings, there is no reason to believe that water-bearing joints penetrate the bedrock to more than 20–30 metres below ground level. The test wells therefore were drilled only to 15–19 metres. This was also done in order to, if possible, avoid contamination of the groundwater by hydrocarbonic gases and hydrogen sulfide originating from the underlying alum shale layers.

The investigations showed, that the transmissivity (T) of the test areas varies between 10^{-4} and 10^{-3} m²/s and the specific yields (S) in "hog-back" areas between 0.6 and 1 %. In other structure zones, not so distinctly influenced by tectonics, common values of S are between 0.2 and 0.5 %. Using the lowest value and estimating that only half of the island's area is of importance for groundwater occurrence and that the average thickness of the waterbearing layers is about 15 metres, a total storage of groundwater of 20 million cubic metres should be at hand.

Water quality is fairly good with the exception of NH_4 . The high concentration of ammonia seems to be due to the present use of the investigated areas for the grazing of sheep and cows. Also, since under natural conditions groundwater movement in the bedrock aquifers of Öland is very slow and the static water level high, an enrichment of pollutants in the more or less stagnant water could easily take place. It is believed that if regular pumping starts, which causes

the water to circulate, and if protection areas for futural water-works are established, the quality of the water will improve.

The study indicates that several pump groups with capacities of 10–15 l/s, using up to may be five wells, could be established in the future if proper geological, geophysical and hydrological pre-investigations are made.

Inledning

Vid Sveriges geologiska undersökning (SGU) har under senare år en inventering och sammanställning av hydrogeologiska data från Öland genomförts. Under dessa arbeten, som utförts av brunns- och borrarkivet vid verket, har en del intressanta drag beträffande grundvattnet i Ölands berggrund kunnat skönjas. Sålunda syntes t. ex. vattnets förekomst och rörelse vara helt bundna till sprickor i berggrunden och endast i underordnat avseende beroende av bergarternas primära strukturer. Den vattenmängd som årligen skulle kunna utvinnas ur brunnar i Ölands berggrund har approximativt beräknats till mellan 15 och 20 Mm³.

Hitills har tyvärr vattenprospekteringen i berggrunden i de flesta fall synbarligen bedrivits utan större hänsynstagande till de sprickor och sprickzoner som förekommer rikligt på ön och som kan anvisa gynnsamma uttagsplatser. Detta torde ofta ha berott på att man velat undvika längre ledningsdragningar och därför begränsat sökandet efter vatten till områden närmast förbrukningsenheterna eller befintliga vattenverk. En måttlig efterfrågan synes därjämte ha medfört att man låtit sig nöja med de relativt anspråkslösa kapaciteter som erhållits ur de mer eller mindre slumpvis utvalda vattentäkterna. Provpumpningar som företagits i samband med borrningar efter vatten har dessutom vanligen utförts på ett sådant sätt att de data som framkommit fått en onödigt begränsad användbarhet. De ger i regel viss upplysning om den aktuella brunnen och förhållandena i dess närmaste omgivning men föga information om den akvifer eller det grundvattenmagasin vari brunnen är nedförd.

För att söka belysa hur sökande efter vatten med åtföljande brunnsborrning och propvpumpning i Ölands berggrund lämpligen kan läggas upp utfördes sommaren 1971 en mindre undersökning på södra Öland. Avsikten var att i fyra skilda typområden utvälja platser för produktionsbrunnar, låta borra dessa jämte ett antal observationshål samt att genom propvpumpningar söka fastställa vissa av respektive grundvattenmagasins hydrologiska egenskaper.

Undersökningens karaktär av forsknings- och utvecklingsarbete gjorde att den genomsnittliga kostnaden för varje produktionsbrunn i detta fall blev högre än vad som blir fallet vid en normal brunnsborrning. Geologisk träning och erfarenhet kan exempelvis i vissa fall ersätta eller reducera omfånget av de geofysiska undersökningarna.

Av praktiska skäl förlades arbetena till Stora alvaret, där frånvaron av mäk-

tigare jordlager underlättade undersökningen. Den använda metodiken anses dock tillämplig över hela ön, men ett jordtäckte över berggrunden fördyrar både de geofysiska mätningarna och själva borrningarna.

Riktlinjerna för undersökningsarbetena drogs i planeringsskedet upp tillsammans med avd.dir. Åke Möller, SGU och i samråd med fil. lic. Ove Stephansson, Uppsala, vilken nyligen publicerat ett betydelsefullt arbete rörande tektoniken på Öland. (Se litteraturförteckningen.) Framför allt hans karteringsarbeten kommer att vara mycket värdefulla vid framtida grundvattenundersökningar.

I fältarbetena deltog förutom författaren avd.dir. Åke Möller, statsgeofysiker Josef Zuber, ingenjör Roger Magnusson, assistent Gunnar Ekman och tekniker Leif Särnblad, samtliga SGU, samt fil. kand. Anders Carlstedt, Uppsala. Borrningen av produktionsbrunnarna utfördes av brunnsborrhare Knut Johansson, Rälla, Borgholm. Ölands Ytong AB ställde till SGU:s förfogande en bergbormaskin för borrning av observationshål. Dessa borrningar ombesörjdes av Gunnar Johansson, Degerhamn. Från Ölands Cement AB erhöles hjälp med reparationsarbeten. Mörbylånga kommun bistod med transporter av materiel samt lån av pump och slangar. Renritning av diagram m. m. utfördes av kartograf Greta Hellström och 1. ritare Elin Pulkkinen, SGU och renskrivning av manus m. m. av Lisbeth Lagerberg och Kerstin Brodén, SGU. Med 1. statsgeolog Jan De Geer, SGU, har under arbetet med denna uppsats förts givande diskussioner. Han har också medverkat vid slutgranskningen av manus.

Till samtliga ovan nämnda ber författaren få framföra ett varmt tack.

1. Hydrogeologisk översikt

1.1 BERGGRUNDSSTRATIGRAFI

Ölands berggrund består av på urberget avlagrade sedimentära bergarter från de kambriska och ordoviciska tidsperioderna. Lagren bildades för mellan ca 600 och 450 millioner år sedan och har sannolikt täckts av yngre bergarter som senare eroderats. Den lagrade berggrundens tjocklek varierar. Den torde på södra Öland uppgå till mellan 100 och 150 m vid Kalmarsund och till ca 250 m vid den östra sidan av ön. Berglagren stupar något brantare mot öster och sydöst än markytan, varför de yngsta bergarterna påträffas i öster. Sedimenten består av från urberget räknat *u n d e r k a m b r i s k m o s t e n* med sandsten och lerskiffer, *ö l a n d i c u s s k i f f e r*, som huvudsakligen är en lerskiffer, samt s. k. *p a r a d o x i s s i m u s s a n d s t e n*, som inte är någon egentlig sandsten utan snarare en skiffer med inlagrade skikt av mosten. Ovanpå paradoxissimuslagren återfinns *a l u n s k i f f e r*, som i sin undre del är den yngsta av de kambriska avlagringarna. Den övre delen utgör det äldsta ledet i ordovicium. I det kambriska avsnittet av alunskiffern finns inlagringar av or-

sten, som är en bituminös, stundom kristallin kalksten. Ovanpå alunskiffern utgöres den ordoviciska lagerföljden huvudsakligen av ortocerkalksten.

Mäktigheten hos de understa lagren är dåligt känd, beroende på att endast ett fåtal borrhningar drivits ned till och igenom dessa. Underkambrium vid Segerstad på södra Öland har en tjocklek av ca 100 m. Ölandicusskiffern är här 44 m mäktig. Paradoxissimuslagren synes på södra Öland vanligen ha en mäktighet av mera än 40 m. Vid en undersökningsborrning i Segerstad uppmättes tjockleken till 63 m. Alunskiffern varierar kraftigt i tjocklek. Vanligen är den ca 20 m mäktig i södra delen av alvaret, men lokalt finns uppgifter från tre och upp till 32 m.

Bergarterna, speciellt alunskiffern, anses vara något plastiska. Tjockleksvariationen kan därför förklaras så att alunskiffern, som har lägre specifik vikt än den överliggande kalkstenen, strävat efter att flyta upp igenom kalken. Skiffern har därvid ansamlats i stråk, där den så småningom förmått lyfta eller böja upp kalkstenstöcket. Detta kommer till synes i markytan som svagt välvda bergåsar eller domer, ofta med mycket lång utsträckning. Ett vackert exempel på en sådan bildning är den så kallade Storåsen, som kan följas från Södra Bårby i norr i en svag båge mot sydöst och söder till Össby, en sträcka på ca 25 km. Domformerna beror på att uppflyttningen skett inom begränsade avsnitt utefter ett sådant stråk, och resultatet blev då en serie låga kullar i markytan. Småformer av de nämnda bildningarna förekommer relativt rikligt på alvaret i form av så kallade "svinryggar".

Då berglagren stupar brantare mot öster och sydost än markytan bör alunskifferns överyta ligga på mellan 20 och 40 m djup under markytan på öns östra sida. Genom uppflyttningen har den dock på sina håll trängt så långt upp i kalken att den återfinns strax under eller till och med i markytan. Detta är fallet bland annat i Kvinnsgröta i Gräsgårds socken (se fig. 3).

Bortsett från de fläckvisa förekomsterna av alunskiffer består berggrundsytan på Stora alvaret helt av ordovicisk kalksten. Den har i väster en mäktighet av någon eller några meter. I öster är den vanligen 30–40 m tjock.

Samtliga sedimentlager med undantag av den underkambriska mostenen är täta och i sig själva föga om ens alls vattenförande. Okonsoliderade skikt såsom sand och lera förekommer i sedimenten. De leriga partierna hindrar grundvattenströmningen. Mostenen synes sakna betydelse ur grundvattensynpunkt, då det vatten som hittills påträffats i denna bergart så gott som alltid visat sig vara salt.

1.2 SPRICKOR OCH SPRICKSYSTEM

Förekomsten av grundvatten på Öland är av nyssnämnda orsaker nära nog uteslutande beroende av de i berggrunden förekommande sprickorna. Dessa är, förutom uppträddandet vid de ovan nämnda stråken, huvudsakligen att hänföra till tre olika system. Det mest påfallande har riktningen sydväst–nordöst,



Fig. 1. Spricksystemen på Stora alvaret, Gräsgårds s:n. Foto förf., juli 1971.
The main joint systems of the Great Alvar, parish of Gräsgård.

ett annat system är orienterat ungefär vinkelrätt mot detta och ett tredje i norr-söder. På det kala alvaret är dessa spricksystem väl synliga genom att den sparsamt förekommande vegetationen oftast är bunden till de begränsade livsvillkor som sprickorna erbjuder, se fig. 1. Hur och när spricksystemen anlades är okänt, men de synes ha åtminstone delvis samma sträckning som urbergssprickorna på fastlandet. Sannolikt har den ovan beskrivna uppflytningen av alunskiffer ett visst samband med dessa svaghetszoner i berggrunden Bergåsarnas och svinryggarnas sträckning överensstämmer nämligen väl med sprickornas orientering.

Djupet av de i markytan synliga sprickorna är inte känt, men av borrhings- och pumpningsresultat synes det vara rimligt att räkna med att åtminstone sprickor med en sådan volym att de är aktuella för grundvattenutvinning sällan når djupare än till 20–30 m under markytan. Småsprickor som saknar större betydelse ur hydrologisk synpunkt genom sin ringa transportkapacitet förekommer dock troligen genom hela sedimentlagerföljden. Trots de större sprickornas reellt ringa djup kan hydraulisk kommunikation mellan olika bergartslager förekomma, framför allt mellan de två översta, kalkstenen och alunskiffern.

1.3 FAKTORER SOM INVERKAR PÅ SPRICKVOLYMEN

En sekundär ökning av sprickornas ursprungliga frekvens och volym har skett på i huvudsak tre olika sätt. Det kanske viktigaste är den ovan beskrivna upp-



Fig. 2. Karstifierade berggrundssprickor. Stora alvaret, Vickleby s:n. Foto förf., juli 1971.
Karstified joints in the Great Alvar bedrock, parish of Vickleby.

flytningen av alunskiffer, som medförde att kalkstenen ovanför, som var mindre plastisk, bräcktes upp. På ömse sidor av den bergås som blev resultatet av uppflytningen skedde en nedsänkning av bergytan på grund av det tomrum som uppstod under denna vid ansamlingen av skiffer under åsen. Rörelsen i samband med denna depressionsbildning förorsakade sprickbildning även vid sidorna av åsen. Relativt breda, långsträckta, vattenförande zoner uppstod alltså vid och omkring de bildade åsarna eller kullarna. Detta förhållande kunde tydligt beläggas vid de geofysiska undersökningarna och den provpumpning vid Mellby som beskrivits nedan.

De berggrundsböck som begränsas av sprickorna kan vara mycket homogena och mäktiga, vilket kom till synes i den nedan beskrivna borrhningen Ebbelunda 1.

Nedsippringen av nederbördsvatten i sprickor i kalkberggrunden medför att kalciumkarbonat löses ut. Denna form av nedbrytning av kalkstenen kallas karstvittring och medför att sprickornas volym ökas, ibland i betydande omfattning. Under vissa betingelser kan grottor bildas. Om taket på en sådan grotta störtar in bildas en så kallad dolin. Dolinområden är kända bland annat från trakten av Resmo och Bårby.

Underjordisk dränering bidrar i hög grad till karstvittring. Sådan avrinning är observerad t. ex. vid Ekelunda och Kastlösa.

Småformer av karst är vanliga överallt på Stora alvaret. De uppträder mestadels som mjukt kantrundade ovala utvidgningar av sprickor men kan också förekomma utan synbart samband med sådana. I sin egenskap av slukhål för nederbördsvatten har de stor betydelse för grundvattenbildningen och fortsatt karstvittring. Större och mindre horisontella förbindelsekanaler mellan vertikala sprickor och spricksystem förekommer också och kan iakttas i vissa stenbrott, se fig. 2.

Den tredje faktor som påverkat och i viss mån fortfarande inverkar på antalet sprickor och deras volym är den mekaniska vittringen. De olika nedisningsperioderna i sen geologisk tid bidrog säkerligen verksamt till sprickbildningen genom de tryckförändringar som uppstod på berggrundsytan vid isens tillväxt respektive avsmältning samt dess rörelse över underlaget. Frostsprängning, framför allt i samband med nedisningarna, i mindre utsträckning i vår tid, har sannolikt också medverkat till ökad frekvens och volym hos sprickorna.

2. Utväljandet av typområden

2.1 ALLMÄNT

Avsikten med SGU:s grundvattenundersökning var att söka utröna vissa av de hydrogeologiska egenskaperna i olika typer av sprickområden på Ölands Stora alvar. De anslagna medlen beräknades räcka till arbeten i fyra sådana områden, och en fältrekognosering gjordes i december 1970. Därvid utvaldes preliminärt sex arbetsplatser, varav två i reserv för den händelse tillstånd från myndigheter och markägare ej skulle kunna erhållas för något eller några av de angelägnaste objekten. Områdenas belägenhet framgår av kartan, fig. 3.

2.2 GETTLINGE

Område 1 vid Gettlinge i Södra Möckleby socken bedömdes som mycket intressant av framför allt två orsaker. Dels utgör det en markant topografisk avvikelse från den i övrigt mycket jämna alvarytan genom att det är utformat som en ca 200 m bred och 1–2 m djup dalgång med riktningen öster–väster. Dalformen är bäst utvecklad vid landsvägen i väster och flackar ut mot öster. Orsaken till denna form antogs vara att berggrunden är uppsprucken och att de ytliga lagren eroderats genom inverkan av is och vatten. Ett annat tecken på sprickigt underlag är att dalgången vid tidpunkten för rekognoseringen var torr medan det omgivande alvaret till stora delar var täckt av ytvattensamlingar. Ett litet stenbrott i dalen, nedfört till ca 2 m under markytan, var likaledes torrt. Området syntes alltså ha god dränering.

2.3 MELLBY

På alvaret väster om Mellby i Segerstads socken utvaldes ett andra typområde, karakteriserat av en liten svinrygg med sträckningen västsydväst–ösnordöst. Ryggens krön höjer sig 2–3 dm ovanför omgivande alvarmark. En tidigare

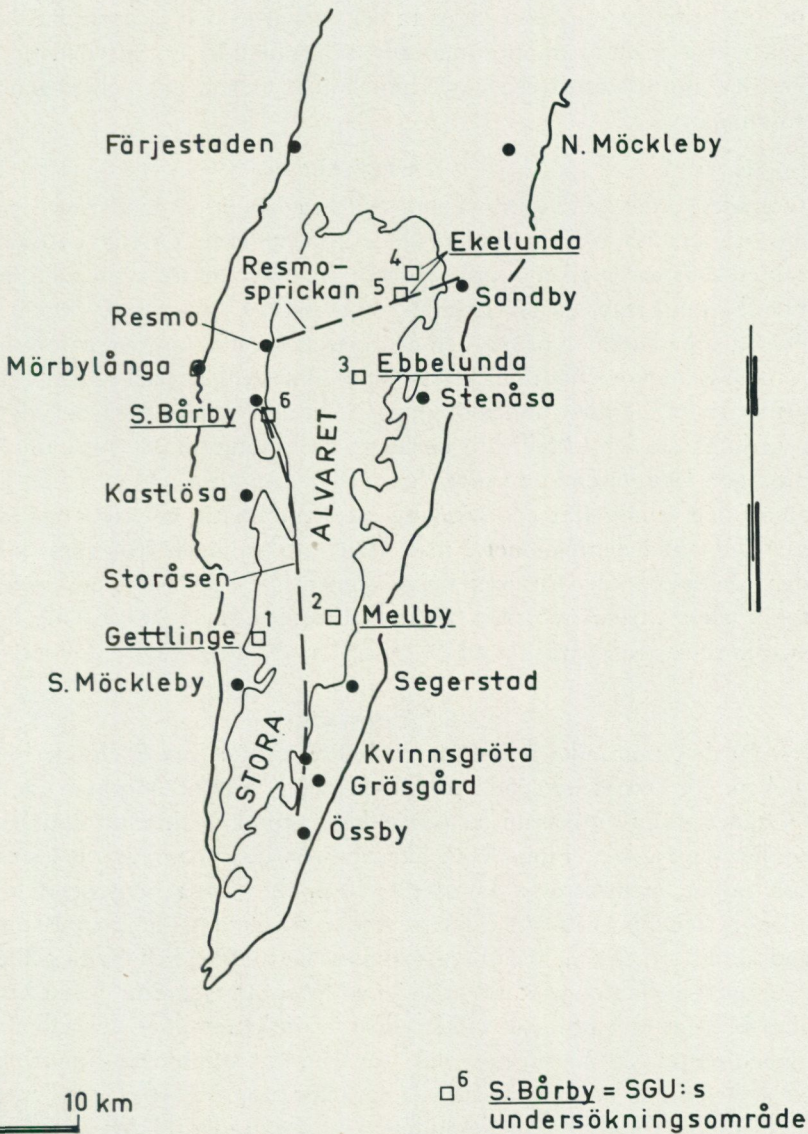


Fig. 3. Undersökningsområdenas belägenhet.
 Localization of the investigated areas.

nedförd schaktgröp i ryggen, ca 2 m djup, visar att kalkstenen är takåsformat uppbruten åtminstone ned till schaktets botten. Nedsjunkningen och sprickigheten på bergåsens sidor är inte så accentuerad som på andra ställen på Öland, men att de finns där visades av den gjorda geofysiska undersökningen. Ryggens markerade sträckning inom området är ca 300 m. Dess totala längd kun-

de inte bedömas, då den i sin östra del flackar ut och täcks av jordlager. Även den västra delen är mindre markant framträdande. En antydning till riktningsändring mot västnordväst kunde här skönjas men är inte belagd genom undersökningar.

2.4 EBBELUNDA

Område 3 är beläget vid Möckelmosen, strax söder om landsvägen mellan Resmo och Stenåsa. Markområdet tillhör Ebbelunda by i Stenåsa socken och karakteriseras av en rikedom på sprickor från alla de tre systemen. Sprickornas bredd i markytan varierar mellan några få och upp till 40–50 cm. Avsikten var att söka borra en brunn i en av dessa stora sprickor för att om möjligt utröna dess djup och hydrauliska samband med strukturerna i omgivningen. Som alternativ planerades undersökningar i områdets nordöstra del, där en svinrygg liknande den i Mellby är belägen i anslutning till det nyssnämnda sprickområdet. Den väsentliga skillnaden mellan ryggarna i Mellby och Ebbelunda är att den senare står i förbindelse med områden med stora öppna sprickor samt ett antal depressioner i markytan som möjligen kan vara doliner, medan Mellbyområdet förutom själva ryggen inte uppvisar någon påtaglig tektonik eller vittringspåverkan. Ebbelundaryggen är ca 200 m lång och löper i nordnordöst–sydsydvästlig riktning mellan två förmodade doliner.

2.5 EKEUNDA

Det fjärde typområdet är beläget ca 500 m nordöst om Ekelunda by i Sandby socken, för övrigt det enda försöksområdet utanför Mörbylånga kommun. Området ansågs intressant framför allt på grund av sin efter öländska förhållanden kuperade terräng. Även här finns en liten svinrygg med sträckningen norr–söder, men intresset knöts till två mjukt välvda bergryggar omedelbart norr om den lilla bäck som tidvis avvattnar träsket norr om byn. Ryggarnas huvudsakliga sträckning är nordväst–sydöst. De är 10–15 m breda och parallella. Avståndet mellan ryggkrönen är ca 20 m. Norr om ryggarna sluttar berggrundsytan kraftigt mot nordöst, vilket alltså är vinkelrätt mot den allmänna stupningen på ön. Ca 200 m norr om ryggarna blir stupningen mindre brant och ett alvarområde med mycket breda sprickor, upp till 50–60 cm, vidtar.

Avståndet från det aktuella undersökningsområdet till den s. k. Resmosprickan, den förmodligen tektoniskt betingade zon som kan följas från Resmo över alvaret mot Ekelunda och Sandby, är ca 1000 m.

Ett av reservområdena förlades till en plats sydöst om Ekelunda. Området utgör den del av Resmosprickan som är belägen närmast byn. Sprickzonen är här ca 500 m bred, inberäknat slutningarna ned mot den dalgång som bildar zonen mitt. Utseendemässigt påminner området om det första undersökningsområdet i Ebbelunda, d. v. s. med stora sprickor i alla de tre huvudriktningarna. I dalgångens mitt finns två grunda vattenhål för kreatur upptagna. Enligt uppgift finns vatten tillgängligt här även under extrema torrperioder.

2.6 SÖDRA BÅRBY

Det sista undersökningsområdet ligger på Storåsen ca 2 km sydsydöst om Södra Bårby. Den breda åsryggen är här tydligt markerad, och dessutom finns, framför allt på dess östra sida, en mängd domformiga uppdrivningar med någon eller några meters diameter.

På grund av sin avsides belägenhet kom området att få låg prioritetsgrad och blev inte föremål för några hydrologiska studier under år 1971. Vid en eventuell uppföljning av undersökningarna på Öland bedöms det dock som angeläget att klarlägga grundvattenförhållandena även i detta område.

3. Geofysiska undersökningar

3.1 ANVÄNDA METODER

För att söka bekräfta de antaganden om sprickfrekvens och sprickvolym som gjordes vid okulärbesiktningen samt för att mera exakt bestämma eventuella sprickzoners läge utfördes i april och maj 1971 geofysiska mätningar i fyra områden för vilka tillstånd till undersökningar erhållits. Därvid användes seismisk refraktionsmätning och elektrisk motståndsmätning. Den första metoden går ut på att mäta ljudvågornas fortplantningshastighet i marken, varvid en hög hastighet indikerar täta berglager och låg hastighet porösare berg eller jord. Vid elektrisk motståndsmätning mäter man den skenbara resistivitet som marklagren bjuder mot elektriska strömmar. Täta jord- och berglager med ringa vatteninnehåll medför stort motstånd, medan vattenförande lager lättare släpper igenom elektronerna. Låg skenbar resistivitet indikerar alltså områden där grundvatten sannolikt förekommer. För närmare studier av teorierna bakom de geofysiska undersökningsmetoderna hänvisas till facklitteraturen i ämnet.

3.2 RESULTAT AV MÄTNINGARNA

3.2.1 Gettlinge

Vid Gettlinge utfördes mätningar utefter tre tvärs över dalgången utstakade profiler vars lägen framgår av kartan, fig. 4. Resultaten av mätningarna redovisas på fig. 5. För samtliga mätningar gäller att höga gånghastigheter för ljudvågorna och hög skenbar resistivitet förelåg vid ändarna av profilerna, medan motsatt förhållande konstaterades i deras mittpartier. Indikationer förelåg alltså på en sprickig och vattenrik zon i mitten av dalgångens längdsträckning. De låga gånghastigheterna och det låga motståndet skulle delvis kunna förklaras med att dalgångens mitt har ett ca en meter tjockt jordtäcke. Vidare konstaterades något överraskande att den överst belägna bergarten under jordtäckets utgjordes av alunskiffer, sannolikt uppfluten genom kalken enligt det mönster som ovan angetts. Då den samlade geologiska situationen ansågs vara gynnsam bedömdes en provborrning vara motiverad. Platsen för denna bestämdes till en punkt på profilen B₀-B₁, 144 m från dess södra ändpunkt.

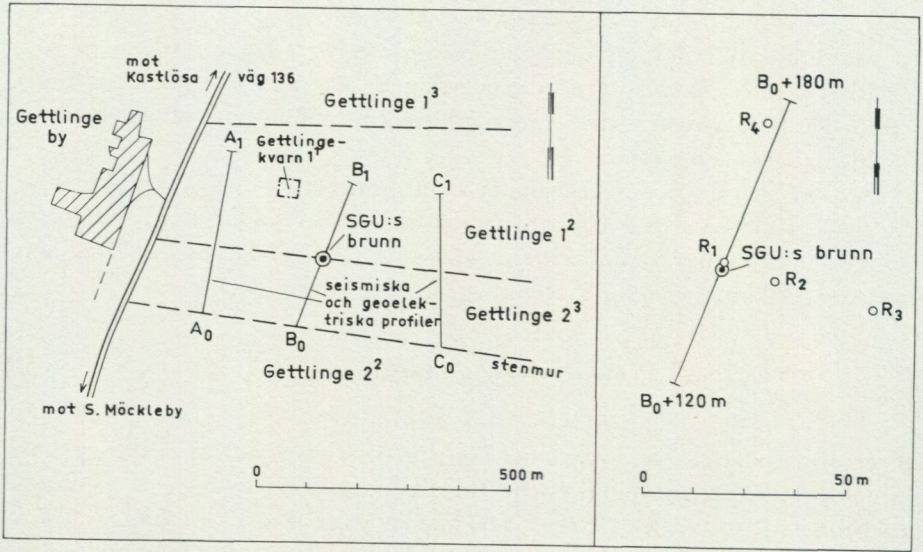


Fig. 4. Försöksområdet vid Gettlinge.
Study area at Gettlinge.

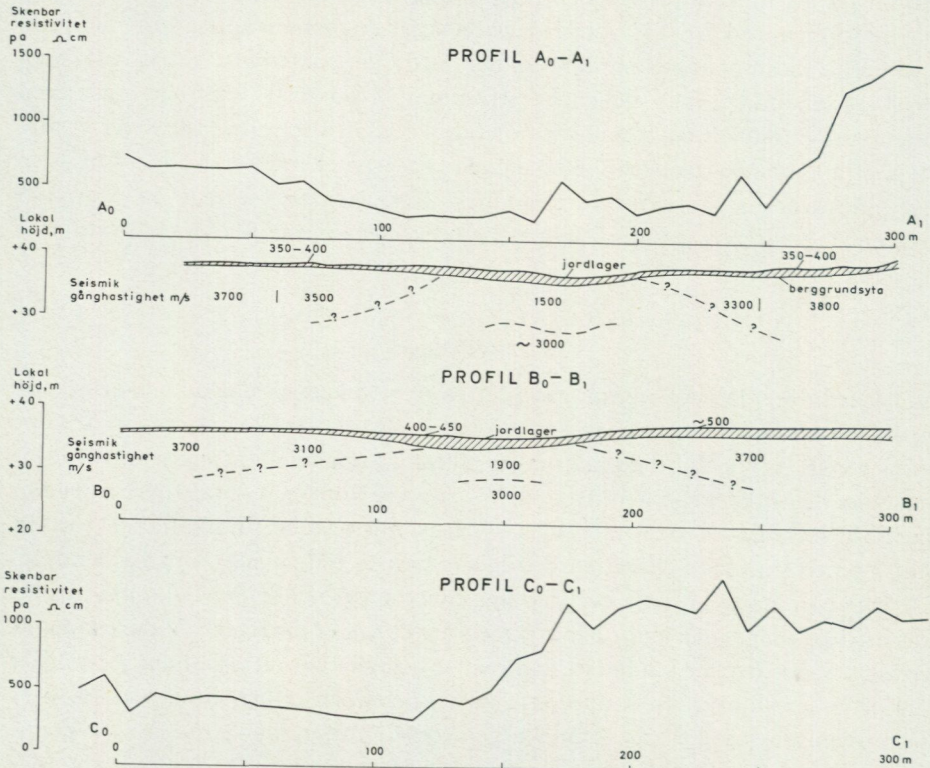


Fig. 5. Resultat av de geofysiska undersökningarna vid Gettlinge.
Results from the geophysical investigations at Gettlinge.

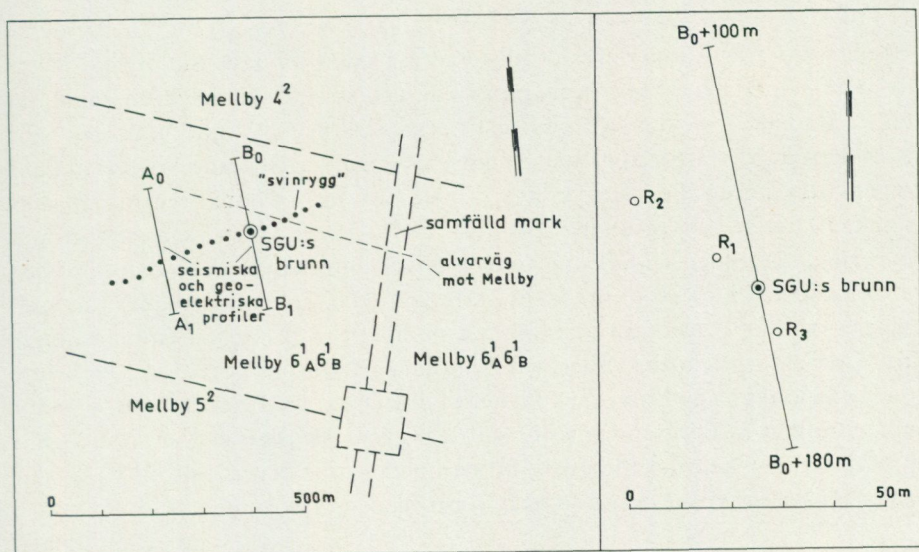


Fig. 6. Försöksområdet vid Mellby.
Study area at Mellby.

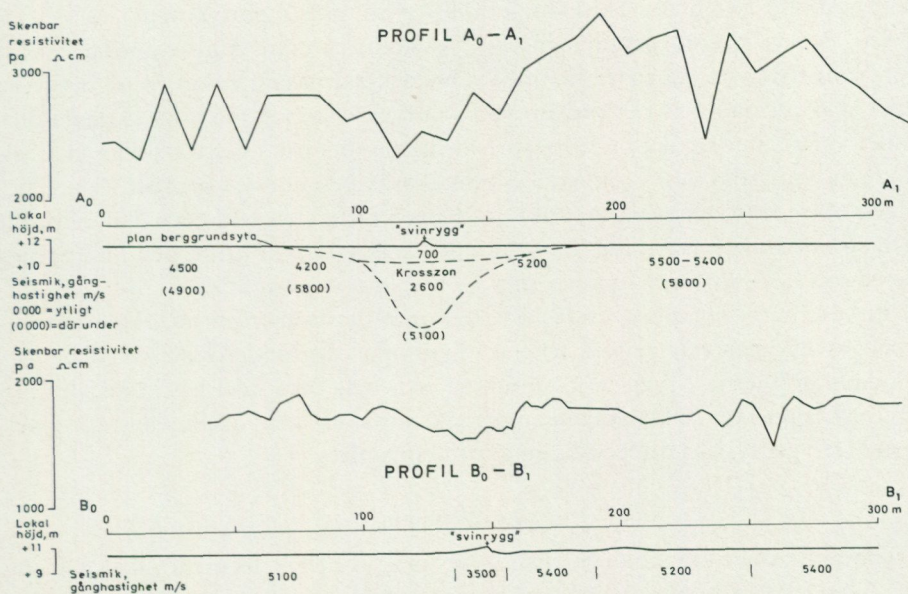


Fig. 7. Resultat av de geofysiska undersökningarna vid Mellby.
Results from the geophysical investigations at Mellby.

3.2.2 Mellby

I Mellby-området knöts intresset till i vad mån den topografiskt tydligt framträdande svinryggen skulle registreras i de geofysiska mätningarna samt om den förmodade sprickigheten i sidopartierna vid ryggen skulle indikeras. För att undersöka detta företogs mätningar i två profiler, stakade vinkelrätt mot ryggens sträckning. Profilernas läge framgår av fig. 6. Som framgår av diagrammen, fig. 7, blev resultaten positiva. De tolkades så att täta, av tektonik opåverkade områden, vidtar omedelbart sydöst om bergåsen, medan nordväst om densamma en ca 60 m bred, sprickrik zon med låg gånghastighet för ljudvågorna och låg resistivitet förekommer parallellt med ryggen. Anmärkningsvärt är, att sidosprickorna enbart var märkbara på ryggens norra sida. En brunn kunde sannolikt ha nedförts var som helst i denna zon med gott resultat, men för att om möjligt få upplysningar om själva ryggens struktur och eventuellt hur djupt den var uppsprucken beslöts att en borra skulle drivas i profil B_0-B_1 där denna skär åsen, vilket sker 148 m från profilens norra ändpunkt.

3.2.3 Ebbelunda

Det första området vid Ebbelunda undersöktes genom mätningar i två profiler som skar varandra under rät vinkel i den del av området som uppvisade den kraftigaste ytsprickigheten. Profilernas läge framgår av fig. 8. Som framgår av fig. 9 indikerade varken de seismiska eller de geoelektriska mätningarna påtagligt någon väl avgränsad zon med låg gånghastighet eller låg resistivitet inom det område där profilerna korsade varandra och som preliminärt utvalts som lämplig borrhålsplats. Däremot erhöles gynnsamma mätvärden i den östra delen av den längsta profilen, B_0-B_1 . Orsaken till detta kunde antingen vara förekomsten av ett ca en meter tjockt jordtäckte samt en strandvall på bergytan eller en av dessa lösa avlagringar täckt svinrygg. Då avsikten i det aktuella området var att undersöka de stora sprickorna beslöts trots negativa eller svårtolkade mätningssdata att ett borrhål skulle drivas i en punkt i profilen A_0-A_1 belägen 60 m från dennas ändpunkt A_0 . Flera kraftiga sprickor var här blottade och en borrhning förväntades bl. a. ge upplysning om hur djupt ned i berggrunden dessa stora sprickor sträcker sig.

En alternativ borrhålsplats valdes senare i områdets nordöstra del. Den där belägna svinryggen står uppenbarligen i hydraulisk förbindelse dels med de förmodade dolinerna i ryggens ändpunkter och dels med det sprickområde som utgjorde alternativ 1. Då ryggen ansågs påminna om den i Mellby avstods emellertid från geofysiska undersökningar på denna plats.

3.2.4 Ekelunda

I typområdet vid Ekelunda by utstakades två profiler, vars sträckningar framgår av fig. 10. De mätningar som gjordes utefter dessa visade att intervallet 80–140 m i profil A_0-A_1 var särskilt intressant, och det beslöts att borrhning

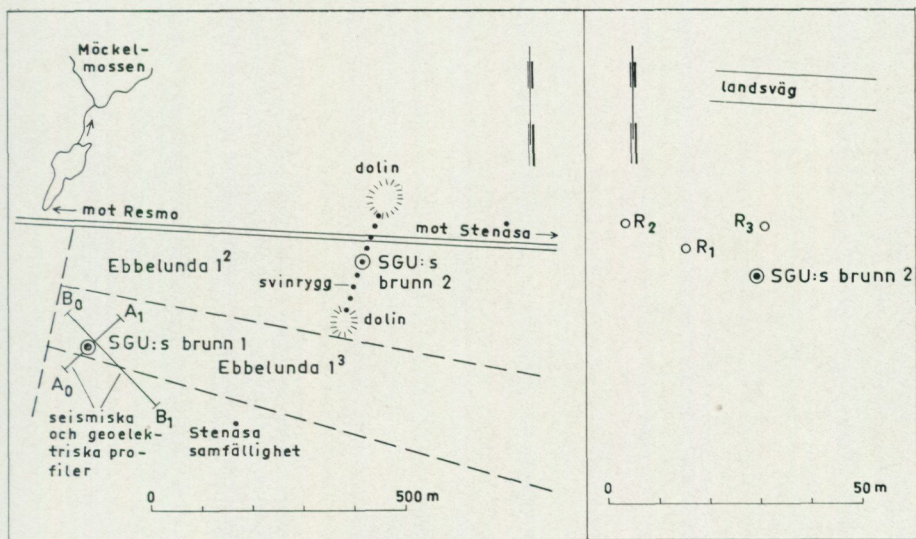


Fig. 8. Försöksområdet vid Ebbelunda.
Study area at Ebbelunda.

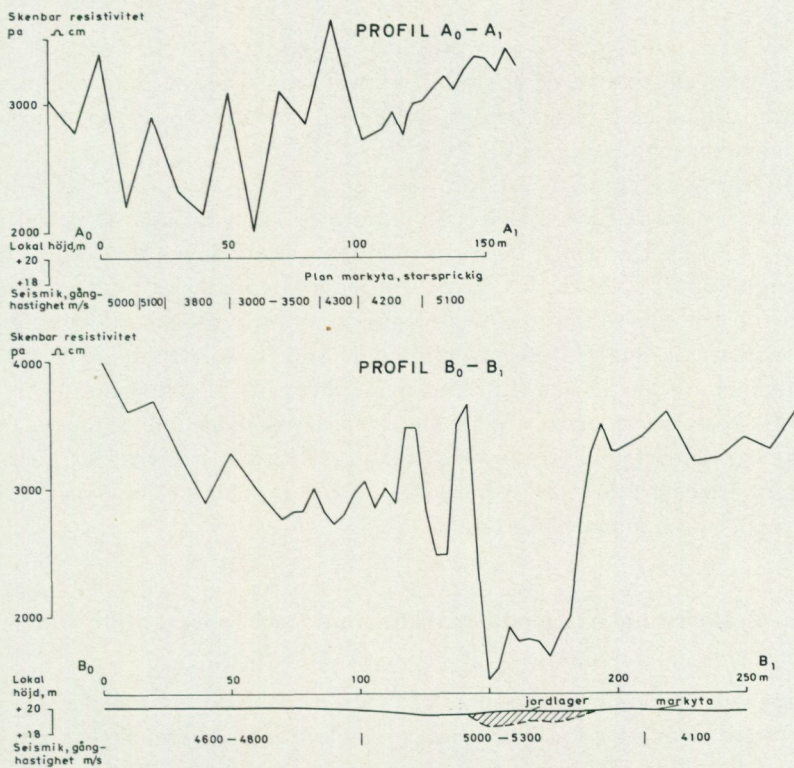


Fig. 9. Resultat av de geofysiska undersökningarna vid Ebbelunda.
Results from the geophysical investigations at Ebbelunda.

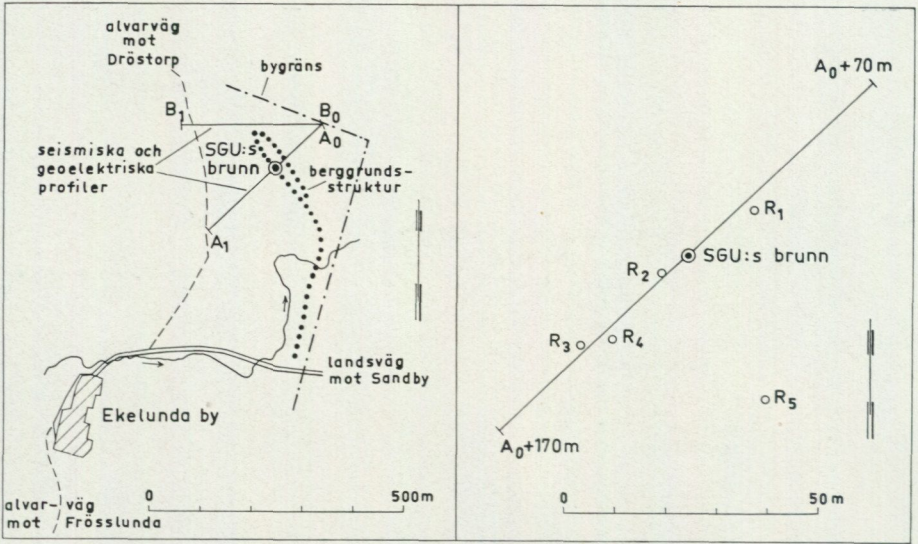


Fig. 10. Försöksområdet vid Ekelunda.
Study area at Ekelunda.

skulle ske i en punkt 121 m från profilens ändpunkt A_0 , vilket innebar krönet på den sydvästligaste av de två rundade ryggarna. Den markanta sänka som bäckfåran utgör är tydligen endast ytlig. Några indikationer på djupgående sprickighet här erhöles inte, se fig. 11.

Resmosprickan, som stryker förbi sydöst om byn, är tidigare känd för sin vattenförande förmåga och sina källor, framför allt i sin sydvästra del i närheten av Resmo. Detta och de förut nämnda vattenhålen i den dalgång som strukturen bildar vid Ekelunda låter förmoda att denna är vattenförande också i sin nordöstra del. Det ansågs därför angeläget att undersöka hur dalgången skulle registreras vid geofysiska mätningar. Som ovan nämnts är markytans beskaffenhet mycket lik den vid Ebbelunda, alternativ 1, och resultaten av mätningarna kom också att bli likartade. Det synes alltså inte föreligga någon distinkt strömningszon i strukturen, utan grundvattnet söker sig på bred front fram mot nordöst i de stora sprickorna. Någon borrning i dalgången var inte planerad och kom inte heller till stånd.

4. Borrning av produktionsbrunnar och observationshål

4.1 ALLMÄNT

Borrningen av produktionsbrunnar utfördes med linstötmaskin och igångsattes i början av juli 1971. Gemensamt för hela borrprogrammet var att brunnarna skulle göras ca 15 m djupa och ha en diameter av 200 mm. Det ringa brunnsdjupet motiverades med att grundvattenytan som regel är belägen en-

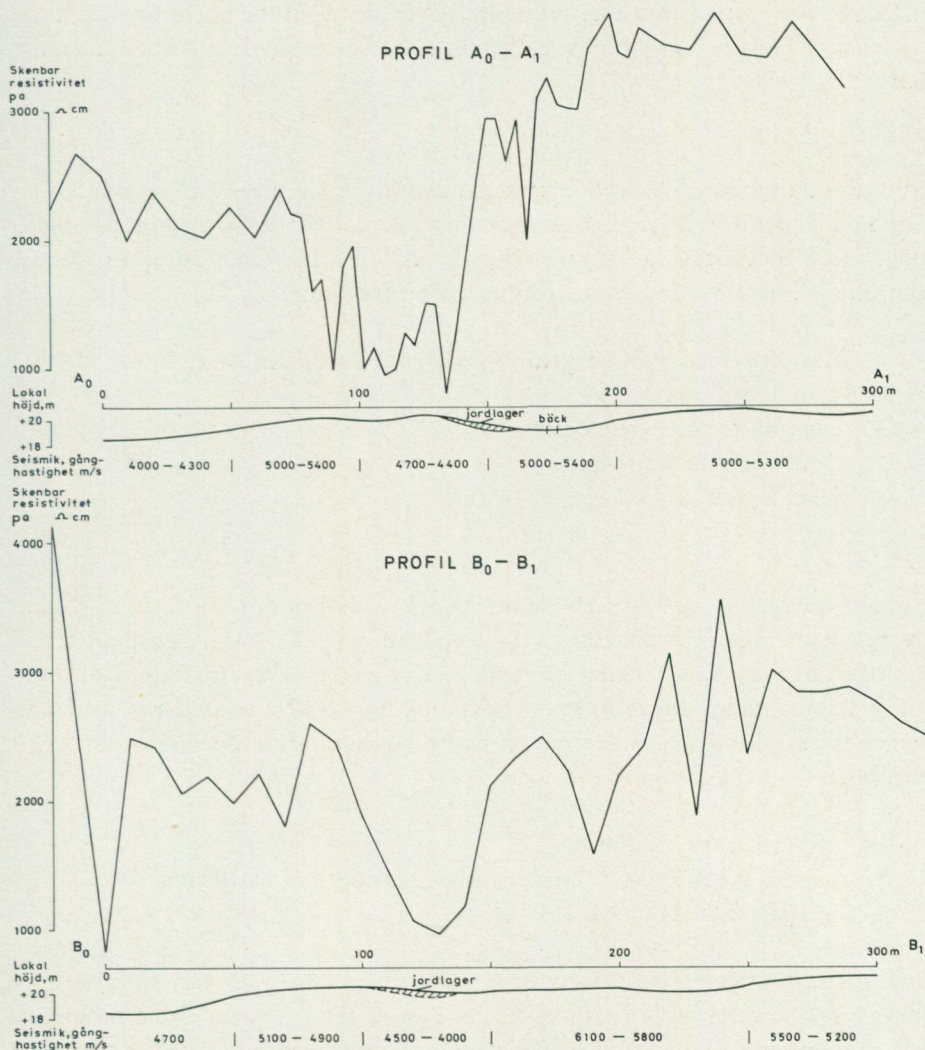


Fig. 11. Resultat av de geofysiska undersökningarna i Ekelunda.
Results from the geophysical investigations at Ekelunda.

dast någon eller några meter under markytan på Öland, varför tillräcklig avsänkning ändock skulle kunna erhållas vid pumpningsförsöken. Dessutom förmodades att en djupare borrhning endast i undantagsfall skulle tillföra brunnen ytterligare grundvattenmängder av betydelse. Avsikten var dessutom att i möjligaste mån undvika kontakt med orstenslagren som ofta ger lukt och smak åt vattnet. Diametern valdes av olika orsaker, bl. a. därför att den ger god tillgänglighet för pumpar och sonder av olika slag och relativt stor inström-

ningsarea för vattnet. En kort redogörelse för de separata borrhningarna lämnas nedan. De nivåuppgifter som förekommer är angivna i förhållande till markytan.

4.2 GETTLINGE

Brunnens djup blev 15.0 m. Foderrör sattes från +1.0 till -2.15 m. Vattenin-slag skedde på nivåerna 6 och 8 m under markytan. Eventuella tillskott på större djup kunde ej iakttas då brunnen ej gick att länsa med den pumputrustning som tillhör bormaskinen. Lagerföljden från markytan:

- 0 - 0.5 m: torvjord, mot bergytan övergående i grus och sand
- 0.5- 8.5 m: alunskiffer
- 8.5-11.5 m: alunskiffer med orsten
- 11.5-13.5 m: övervägande orsten
- 13.5-15 m: lerskiffer med mosten

4.3 MELLBY

Brunnens djup blev 15.0 m. Diameter: 0-6.5 m 200 mm, 6.5-15 m 150 mm. Övergång till mindre diameter berodde på att borrhå, stång och mejsel för 200 mm borrhning slogs sönder på nivån 6.5 m genom s. k. snedslag. Kontinuerliga grundvattentillskott förekom mellan 3.5 och 6.5 m under markytan. Berget var uppkrossat och svårborrat ned till ca 6 m, därefter mera solitt. Lagerföljden från markytan:

- 0 - 4 m: grå vittrad kalksten
- 4 - 5.5 m: röd s. k. "kalkbut", en fossilrik, lagringsstörd kalksten
- 5.5-15 m: grå kalksten, vittrad 5.5-6 m

Foderrör sattes från +0.3 till -5.35 m, slitsat med 25 st. 2.5×25 cm slitsar, 5 i krans, 5 kransar från -3.7 till -5.2 m. Denna typ av perforerade foderrör, som motverkar ras i borrhål och samtidigt släpper igenom grundvatten, har enligt brunnsborraren tidigare ej använts på Öland.

4.4 EBBELUNDA

Borrhningen i det första alternativläget kunde ej ansättas på den plats som från början var avsedd, då bormejseln fastnade i en stor spricka. Maskinen flyttades då ca 60 cm från sprickan med förhoppning att påträffa denna på större djup, men trots 25 m borrhning skedde detta ej. Tillrinningen i hålet var så liten att borrhvatten hela tiden måste tillföras. Den lärdom som kan dras av detta borrhningsförsök är, att de av stora vertikala sprickor begränsade berggrundsblocken åtminstone ibland kan vara mycket täta. Möjligheten att framgångsrikt utvinna vatten ur denna typ av berggrund är helt beroende av att en eller

flera sprickor penetreras vid borrhningen. Detta görs bäst med gradhålsborrning (snedhålsborrning).

Genom ingrepp i borrhål med liten grundvattentillrinning kan sekundärt kontakt erhållas med angränsande sprickor. Om medel kan ställas till förfogande avser SGU att pröva olika sådana åtgärder. Detta kommer att beröras i slutet av uppsatsen.

Lagerföljden i borrhålet är följande:

- 0 – 6.5 m: röd kalksten
- 6.5–16 m: grå kalksten
- 16 –17 m: grön glaukonitkalksten
- 17 –25 m: alunskiffer, mellan 22 och 25 m med inslag av orsten.

Borrningstekniskt förelåg inga svårigheter.

Borrmaskinen flyttades därefter till alternativplats 2, nordöst om det primärt utvalda området. I den där befintliga svinryggen ansattes borrhningen på en plats ca 35 m söder om landsvägen Resmo–Stenåsa. Flera intressanta skillnader jämfört med ryggen i Mellby kunde konstateras under borrhningen av hålet. Klarast framgår detta av lagerföljden, som från markytan räknat hade följande utseende:

- 0 – 3 m: grå, lös, vittrad kalksten
- 3 – 4.5 m: rödbrun, något fastare kalksten
- 4.5– 8.5 m: rödgrå, relativt lös kalksten
- 8.5–15 m: brun och grå kalksten med mycket lera

Leran blev med tilltagande borrhningsdjup grön och mycket lös. Förmodligen tillhör den undre leran ceratopygelagen, och borrhningen torde ha avslutats omedelbart ovanför alunskiffern. De kalkstensbitar som upphämtades från intervallet 8.5–15 m uppvisade att vittring påverkade ytor, vilket antas tyda på att sprickigheten mellan dessa nivåer är riklig. Lerinslagen utgör ofullständigt konsoliderade skikt av lersediment.

Från ca 2.5 m borrhdjup och nedåt förelåg kontinuerlig vattentillrinning.

Brunnen försågs med foderrör från +0.2 till –4.3 m, slitsat som i Mellby, mellan nivåerna –2.6 och –4.1 m.

4.5 EKEKUNDA

På grund av en ovanlig lagerföljd kom denna brunn att borraras till ett djup av 19 meter under markytan. Måttliga vatteninslag förekom kontinuerligt från ca 2.5 m. Foderrör med 200 mm diameter sattes från +0.3 till –1.7 m, ej perforerat. Lagerföljd:

- 0 – 3 m: grå, lös kalksten
- 3 – 6 m: röd, fast kalksten
- 6 – 12 m: grå, fast kalksten
- 12 – 13.5 m: gröna, lösa ceratopygelager med mycket lera
- 13.5–15 m: lös alunskiffer
- 15 – 16.5 m: grå, fast kalksten
- 16.5–17.5 m: gröna, lösa ceratopygelager
- 17.5–19 m: alunskiffer, hårdare än lagret 13.5–15 m, 18.5–19 m med orsten

Den upprepade lagerföljden på djupet antyder att det här kan vara fråga om en skålla liknande den som konstaterats vid Gestadåsen vid Borgholm.

4.6 OBSERVATIONSHÅL

På olika avstånd från provpumpningsbrunnarna borrades observationshål. Lågena av dessa hål framgår av fig. 4, 6, 8 och 10. De nedfördes mestadels till ett djup av ca 10 m under markytan. I vissa fall var detta dock inte möjligt, då under borrningen nedrasande material gjorde att borren trängdes fast mot borrhålets vägg. Riklig vattentillrinning var stundtals en annan faktor som gjorde att enstaka hål inte kunde nedföras till avsett djup. I Gettlinge-området utfördes och användes fyra hål, i Mellby tre, i Ebbelunda tre och i Ekelunda fem. Borrningen skedde med en kompressordriven tryckluftmaskin. Hålens diameter var ca 35 mm.

5. Provpumpningar

5.1 MATERIEL OCH METODIK

Redan under rensumpningarna efter borrningen av produktionsbrunnarna stod det klart att efter öländska mått tämligen goda resultat kunde förväntas vid de efterföljande provpumpningarna. Inte i något fall, givetvis med undantag för Ebbelunda 1, gick det att med den till bormaskinen hörande pumpen länsa brunnarna. Kapaciteten för denna pump är 1.3 l/s. I Mellby kunde inte någon som helst avsänkning erhållas. För att fastställa det vid provpumpningen lämpligaste uttaget av vatten gjordes i varje brunn en kort pumpning med olika kapaciteter, varefter brunnen fick återhämta sig under ca ett dygn. Därefter igångsattes det slutliga pumpningsförsöket, som pågick under 2–5 dygn. De pumpar som användes var av typerna SUMO och Honda W 30. Den förra är en djupbrunnspump som vid behov kan sänkas ned till brunnarnas bottnar, den senare är en självvakuerande centrifugalpump med en maximal sughöjd av ca 8 m. Det uppfodrade vattnet bortledes i brandslangar så långt ifrån respektive brunn att infiltration till och återförening med det vatten som berördes av pumpningen ej skulle hinna ske under den tid försöket pågick.

En av avsikterna med försöken var att utröna hur mycket vatten varje brunn

kunde lämna per tidsenhet vid fortfarighet d. v. s. då tillrinning till och uttag ur brunnen var lika stora. För att erhålla maximala värden på fortfarigheten ansänktes vattenytan i brunnarna så mycket som pumparna tillät. Meningen var att komplettera dessa pumpningar med s. k. stegvis avsänkning, som innebär uppmätandet av vattenstånd vid fortfarighet vid olika kapaciteter, men tiden medgav inte några sådana mätningar.

5.2 BEGREPPSFÖRKLARINGAR

Huvudsyftet med pumpningsförsöken var att söka beräkna de gällande T- och S-värdena i de olika typområdena. T betyder transmissivitet och kan uttryckas som den vattenmängd som per tidsenhet strömmar igenom ett en meter brett vertikalt tvärsnitt av de vattenförande lagren vid en hydraulisk gradient av 100 %. Enheten kan uttryckas som $m^3/m/sek$ eller m^2/sek . S är den s. k. magasin-koefficienten. Den kan uttryckas som den vattenmängd som en artesisk grundvattenreservoar avger eller upptar i ett vertikalt snitt med ytan $1 m^2$ vid en sänkning eller höjning av grundvattenytan med en meter. Enheten blir då $m^3/m^2/m$, d. v. s. den är dimensionslös. Vid en fri grundvattenyta, vilket var fallet i samtliga fyra undersökningsområden på Öland, är S den vattenmängd som ett vattenförande lager efter full vattenmättnad vid fri dränering avger per volymenhet. Magasinkoefficienten betecknas i detta fall som lagrets vattenavgivningstal eller effektiva porositet och uttrycks i procent.

De formler som används för att räkna fram T och S innefattar en mängd villkor som måste uppfyllas för att formlerna skall gälla. Dessa villkor existerar så gott som aldrig helt i praktiken, men det har erfarenhetsmässigt t. ex. i England visat sig att formlerna ändå med god giltighet kan användas för praktiska beräkningar även beträffande berggrundsakviferer.

5.3 BERÄKNINGSFÖRFARANDE

T- och S-värdena beräknas på följande sätt:

Efter pumpningens början mäts avsänkningen i de olika observationshålen med vissa tidsmellanrum. Tid-avsänkningens värdena avsätts sedan på ett dubbellogaritmiskt papper och en linje dras genom punkterna. Därvid erhålls för varje observationshål en s. k. datakurva. Över denna kurva placeras sedan ett genomskinligt dubbellogaritmiskt papper med speciella typkurvor. En typkurva är en grafisk avbildning av i detta fall en tid-avsänkningens funktion med väldefinierade förutsättningar. Papperet med typkurvorna skjuts över datakurvan tills dess man finner den typkurva som närmast sammanfaller med eller "matchar" datakurvan. Båda papperens x- och y-axlar skall då vara parallella. Man börjar inpassningen på datakurvans tidigare, vänstra del. Då matchning föreligger utväljs en valfri gemensam skärningspunkt för papperens x- och y-axlar, en s. k. matchpunkt, och punktens x- och y-värden på båda papperen bestäms. Därefter görs en liknande matchning på datakurvans senare del med

användandet av samma typkurva. I den första matchpunkten blir T och S i regel felaktiga, bl. a. beroende på tryckförändringar i akviferen, vilken då reagerar som vid artesiska förhållanden. I den senare matchpunkten är T och S mera representativa för grundvattenmagasinet i fråga. Det är dessa senare värden som är de viktigaste och som används vid t. ex. beräkningar av magasinets volym.

De formler som använts är följande:

$$T = \frac{7.95 \times 10^{-2} \times Q}{s} \times W(u_{ay}, r/D), \text{ m}^2/\text{sek}$$

$$S = \frac{240 \times T \times t}{r^2} \times \frac{1}{u_{ay}} \times 10^2, \text{ \%}$$

där

Q = vattenkapaciteten i m³/sek

W(u_{ay}) = "borrningsfunktionen" för grundvattenmagasin med fri vattenyta
r/D = värden för typkurvor för den del av datakurvan som är påverkad av fördröjd vattenavgivning (= läckage uppifrån)

s = avsänkningen i meter i respektive matchpunkt

t = tiden i minuter (vid matchpunkten) sedan pumpningen startade

$\frac{1}{u_a}$ = abskissan för den tidiga matchpunkten på typkurvan

$\frac{1}{u_y}$ = abskissan för den sena matchpunkten på typkurvan

r = avståndet från produktionsbrunnen till observationshålet i m.

Ett exempel på det ovan beskrivna förfaringsättet visas i fig. 12.

5.4 ÅTERHÄMTNINGSTEST

Vid användandet av pumpar med låg maximikapacitet händer det att den upp-pumpade vattenmängden per tidsenhet minskar i takt med avsänkningen i produktionsbrunnen. Det finns metoder att kompensera för detta vid beräkningarna av T och S, men enklast är att i stället för ett pumpningstest göra mätningar av återhämtningen efter pumpningens upphörande. Data avsätts på ovan angivet sätt, men i stället för avsänkning används återhämtning. För övrigt tillämpas samma beräkningsprocedurer och formler som vid propvpumpning. Vinsten jämfört med kompenserande ingrepp i beräkningarna i avsänk-ningsfallet är att man vid återhämtning i de flesta fall enbart behöver räkna med en kapacitet, nämligen den som förelåg omedelbart innan pumpningen avbröts.

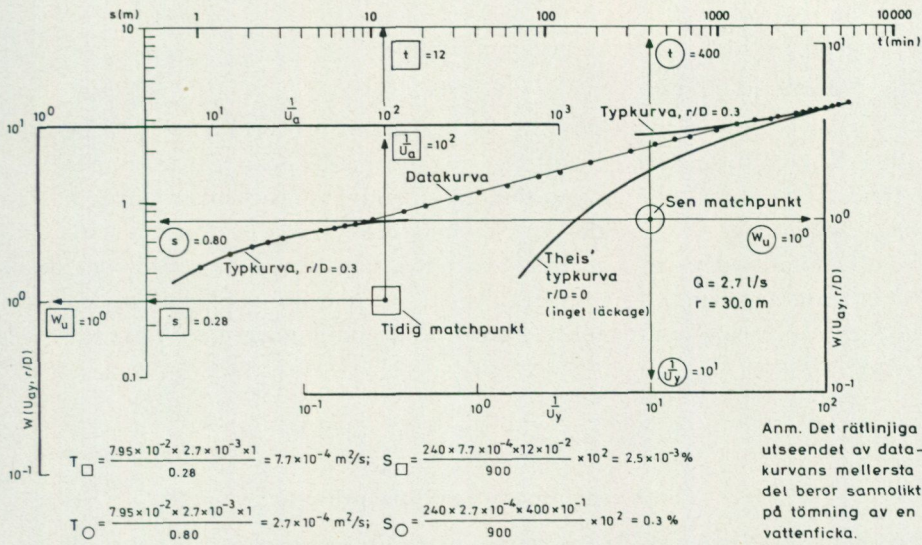


Fig. 12. Exempel på matchning av data- och typkurva för bestämning av transmissivitet (T) och effektiv porositet (S). Tid-avsänkingsmätningar, observationshål R₃, Gettlinge. *Matching of data and type curves for the determination of transmissivity (T) and effective porosity (S). Time-drawdown measurements, observation hole R₃, Gettlinge.*

5.5 KOMPENSATIONSKRAV FÖR GILTIGHETEN AV ERHÅLLNA RESULTAT

Vattenståndet i brunnar nedförda i artesiska grundvattenmagasin påverkas av ändringar i lufttrycket, och kompensation för detta måste tillgripas vid pumpningsförsök i sådana brunnar. Vid fria grundvattenytor, vilket var fallet i de fyra områdena på Öland, behöver sådan korrektion ej vidtas.

Om sänkningen eller återhämtningen i ett borrhål eller observationshål under avsänkings- eller återhämtningsförsök är stor jämfört med det vattenförande lagrets totala mäktighet bör korrektion göras för ändringar i vattenmäktigheten. Sådana kompensationskrävande förhållanden bedömdes inte föreligga vid undersökningarna på Öland.

Som ovan nämnts bör matchning ske i datakurvans senare del för att T och S skall bli så korrekta som möjligt. Den tidpunkt t_{wt} då detta inträffar kan beräknas, och man får på så sätt en kontroll av att provpumpningen pågått länge nog för att de önskade beräkningarna skall kunna göras. Därvid används följande formler:

$$\alpha = \frac{(r/D)^2 \times \frac{1}{u_y}}{4t}, \text{ min}$$

$$t_{wt} = \frac{\alpha t_{wt}}{\alpha}, \text{ min}$$

där

α = index för fördröjd vattenavgivning, min.

t_{wt} = fördröjd tid, min.

Värdet på at_{wt} kan erhållas ur en typkurva, publicerad av N. S. Boulton 1963. Kurvan bygger på att värdet av at_{wt} är beroende av värdet av r/D .

Vid fältberäkningar av t_{wt} framkom att pumpningsförsöken borde ha fått pågå under längre tid än vad som blev fallet. De värden på T och S som framkom bedömdes dock med hjälp av extrapolering vara så lika dem som skulle ha erhållits vid längre försöksperioder att sådana inte var motiverade. Tidsnöd gjorde dessutom att tanken på fortsatta pumpningar måste överges.

6. Resultat av provpumpningarna

En sammanställning av de resultat som erhöles vid försöken i tre av de fyra typområdena återfinns i tabell 1. Där redovisas också observationshålens avstånd från respektive brunn och använda pumpkapaciteter. Vid tidiga T- och S-värden skall inte fästas alltför stor uppmärksamhet av skäl som ovan angetts.

Som synes saknas Mellby i tabellen. Detta beror på, att under den tid som stod till förfogande för pumpning och med den pump som användes skedde endast magasininstömning eller möjligen konstant tillrinning av vatten till pumpplatsen trots ökad avsänkning. Datakurvorna blir då räta linjer, och T och S kan ej beräknas. Efter två dygns pumpning med kapaciteten 3.75 l/s hade en avsänkning skett i brunnen med ca tre meter. Det skede då tillströmningen av vatten till pumpplatsen från resten av magasinet borde börja eller eventuellt öka hade då fortfarande inte inträtt, åtminstone inte så påtagligt att en matchning mellan data- och typkurvor kunde företas. Avsänkningen i observationshålen skedde likformigt, och sänkningstratten var så gott som helt plan. Detta indikerar höga värden för T och S. Att konstant tillrinning, lägre än den använda provpumpningskapaciteten, möjligen kunde föreligga indikeras av att man vid rensumpning efter borrning inte alls kunde avsänka grundvattenytan med den pump som då användes. Kapaciteten hos denna är 1.3 l/s. Vidare kom SGU:s pump oavsiktligt att under en åttatimmarsperiod före den egentliga provpumpningen prestera endast 2 l/s. Under denna period var grundvattenytan både i brunn och observationshål stagnant på en nivå 2.27 m under den ursprungliga. Ingen nederbörd föll närmast före eller under pumpningen. Detta låter ana att den senare kapaciteten är vad som minst bör kunnat uttas på denna plats under längre tid. Om tillfälle ges till en ny provpumpning bör denna äga rum under längre tid och med en pump som tillåter större avsänkning.

TABELL 1. Provpumpningsdata från Ölands Stora alvar

Plats och mätobjekt	Tx10 ⁻⁴ m ² /s, tidig	Tx10 ⁻⁴ m ² /s, sen	S % tidig	S % sen	Max. av- sänkn./ återh., m	Avst. fr. brunn, m	Q l/s	Anm.
Gettlinge								
R 1	—	3.1	—	19.0	4.60	1.0	2.7	
R 2	—	3.5	—	0.5	3.95	10.0	„	
R 3	7.7	2.7	0.002	0.3	3.60	30.0	„	
	5.0	—	0.1	—	2.80	30.0	„	Återhämtningstest
R 4	2.2	2.1	0.4	0.5	3.50	30.0	„	
	7.7	—	0.9	—	1.95	30.0	„	Återhämtningstest
Prod.brunn	—	3.1	—	—	5.10	—	„	
	6.0	—	—	—	4.60	—	„	Återhämtningstest
Ekelunda								
R 1	1.8	1.1	0.008	0.5	4.00	15.1	2.7-1.3	Kap. nedg. succ.
	0.4	—	0.6	—	3.00	15.1	1.3	Återhämtningstest
R 2	—	—	—	—	—	—	—	Hålet igenrasat
R 3	1.7	2.1	0.03	0.2	3.00	27.3	2.7-1.3	Kap. nedg. succ.
R 4	—	1.3	—	0.2	3.45	22.3	„	Kap. nedg. succ.
R 5	—	1.6	—	0.04	3.65	31.7	„	Kap. nedg. succ.
Prod.brunn	—	—	—	—	ca 16	—	„	Kap. nedg. succ.
Ebbelunda								
R 1	11.1	8.0	0.2	1.0	0.71	15.3	„	Kap. nedg. succ.
R 2	25.6	6.1	74.0	14.0	0.59	27.8	„	Kap. nedg. succ.
R 3	8.0	6.5	0.4	0.6	0.75	10.4	„	Kap. nedg. succ.
	—	6.9	—	0.6	0.76	10.4	1.3	Återhämtningstest
Prod.brunn	—	—	—	—	ca 12	—	2.7-1.3	Kap. nedg. succ.

6.1 BRUNNSKAPACITETER

Ett väsentligt syfte vid utväljandet av typområdena var att finna lämpliga platser för produktionsbrunnar. Därvid eftersträvades en sådan uppsprucken berggrund att inströmningsmotståndet för det vatten som vid pumpning dras in i brunnarna kunde förväntas bli små. Hur valen lyckats avspeglas bl. a. i avsänkningen av grundvattenytan runt pumpplatserna. En liten avsänkning och ett flackt utseende hos sänkningstratten vid hög pumpkapacitet är kriterier på lyckad lokalisering av en brunn. Av detta framgår att brunnen vid Mellby var rätt placerad.

Beträffande de övriga brunnslägena visar tabell 1 att Ebbelundaområdet, som är delvis analogt med Mellby, har god vattenförande förmåga (låga avsänkningsvärden i observationshålen, höga T-värden) men att brunnen kunde varit bättre (stor avsänkning i själva brunnen vid måttlig kapacitet). Detta har sin förklaring i de lerlager som påträffades vid borrhningen. Leran uppfyller sannolikt en betydande del av sprickor och andra håligheter i berggrunden och nedsätter sålunda grundvattnets rörelsemöjligheter. Som regel sker en viss ursköljning av sprickorna i och med att grundvattnet bringas att cirkulera och lerhaltigt vatten pumpas bort. Brunnar nedförda i berggrunden med lerinslag ger av denna anledning ofta efter hand större kapaciteter. Även det motsatta

förhållandet förekommer men är inte vanligt. Det rör sig då om lerslam som vid pumpning ytterligare försämrar en redan dålig brunn. Brunnar liknande den i Ebbelunda går att förbättra. Detta kommer att beröras nedan.

Försöken i Ekelunda visar något sämre värden både vad beträffar brunnen och magasinet. Även här kan förbättringar i brunns kapacitet åstadkommas med enkla medel.

Gettlinge avviker från övriga undersökta områden främst genom att alunskiffern här är det dominerande vattenförande berggrundslagret. Fördelaktiga T- och avsänkningsvärden antyder att man ur den befintliga brunnen bör kunna erhålla upp emot 5 l/s. Det förefaller även troligt, med hänsyn till magasinet förmodade relativt stora utsträckning, att man med en lämpligt anordnad pumpgrupp kan producera totalt 10–15 l/s, åtminstone under någon eller några månader per år.

Det förtjänar i detta sammanhang åter påpekas att försöksområdena valdes med stor hänsyn tagen till lättillgänglighet för att ingen onödigt tidsspilla skulle behöva förekomma genom t. ex. besvärliga transporter. Betydligt kraftigare svinryggar och andra liknande strukturer än de vid Mellby och Ebbelunda förekommer på Alvaret, vilket Stephanssons undersökningar redan visat. Vid en grundvattenprospektering med fritt val av brunnsläge kan således åtskilligt gynnsammare resultat förväntas än de som framkom vid SGU:s arbeten. De senare bör, som inledningsvis angavs, endast ses som ett exempel i liten skala på en sådan prospektering.

6.2 ÅTGÄRDER FÖR STÖRRE VATTENUTTAG

För att förbättra vattenkapaciteten i brunnar liknande dem i Ekelunda och Ebbelunda kan en upprensning av lerfyllda sprickor ske genom syrabehandling. Numera finns koncentrerade syror i form av små kulor, s. k. pellets, där syran bundits vid vattenlösliga ämnen med högre täthet än sötvatten. Kulorna hålls direkt i brunnen och sjunker till botten, där syran löser kalciumkarbonatet. Om ingrepp önskas på högre nivåer kan brunnen lätt skärmassas av med hjälp av en gummiblåsa. Förutom i form av rensning av sprickorna sker syraangrepp också på den fasta brunnsväggen vars yta således förstöras. Detta minskar inströmningsmotståndet. Även kolsyreis kan användas för att rensa leriga sprickor. Därvid fås också en blåsningseffekt genom det höga gastryck som utvecklas vid de kemiska reaktionerna.

Sprängning är en annan metod att öka sprickvolymen i och omkring en bergborrad brunn. Förutom att det sker en utvidgning av de sprickor som redan leder vatten till brunnen kan kommunikation erhållas med sådana vattenförande sprickor som tidigare inte haft förbindelse med pumpplatsen.

Skulle tillräcklig kapacitet likväl inte ernås ur en ensam brunn, kan med fördel, i områden som de ovan nämnda, anordnas pumpgrupper med tre till fem brunnar med gemensamt vattenverk. Antalet brunnar, deras inbördes av-

stånd samt uttagbara vattenmängder kan beräknas först efter ytterligare undersökningar inkluderande provpumpning utförd på tidigare beskrivet sätt.

6.3 TRANSMISSIVITET

Som ovan angetts bör endast T- och S-värden baserade på mätvärden under en provpumpnings senare skede användas som uttryck för ett grundvattenmagasins vattenförande egenskaper. Ur tabell 1 framgår då att de framräknade värdena ligger väl samlade, framför allt inom varje enskilt undersökningsområde. Variationerna får tillskrivas den olikartade sprickigheten i berggrunden. De aktuella storheterna utgör vid mätningar i sprickig berggrund ett mått på transmissivitet och effektiv porositet vid respektive observationspunkt och dess omedelbara närhet, varför medeltalsberäkningar bör göras med stor försiktighet.

I Ebbelunda-området, som kan tas som ett exempel på väldefinierade sprickstrukturer, varierar T mellan 6×10^{-4} och 8×10^{-4} m²/s, medan Getlinge och Ekelunda, som representerar sprickig berggrund i övrigt, uppvisar värden mellan 1×10^{-4} och 3.5×10^{-4} m²/s. Enligt definitionen på T innebär detta, att på varje längdmeter av ett tvärsnitt över en vattenförande zon kan mellan 0.1 och 1 l vatten per sekund strömma fram vid en hydraulisk gradient av 100 %. Sådana gradienter förekommer ej under naturliga förutsättningar. På Öland är gradienten från västra landborgen mot havet i öster ca 0.5 %. Om man t. ex. vid anläggandet av en vattentäkt i en 200 m bred sprickzon genom pumpning kan skapa en genomsnittlig gradient av 2 % medför detta att den vattenmängd som strömmar genom zonen är $200 \times 10^{-3} \times 10^3 \times 0.02 = 4$ l/s, eller vid det lägre T-värdet 0.4 l/s.

6.4 EFFEKTIV POROSITET

Den möjligen intressantaste information som försöken gav var värdena på sprickvolymen inom vissa avsnitt av Ölands berggrund. Så vitt bekant har inga sådana volymbestämmningar gjorts tidigare. Med ledning av undersökningsresultaten framgår, bortsett från enstaka ytterlighetsvärden, att man i sprickstrukturer liknande den i Ebbelunda kan räkna med en effektiv porositet av mellan 0.5 och 1 %, medan vanliga värden i mera normalsprickiga områden varierar mellan 0.2 och 0.5 %. I klartext innebär det senare att varje kubikmeter av den vattenförande berggrunden kan avge mellan 2 och 5 l vatten. Om försiktigtvis den mindre siffran tas som genomsnittsmått för Öland och om endast halva öns yta på totalt 1 344 km² antas ha betydelse ur grundvattnens synpunkt samt om de vattenförande lagrens genomsnittliga mäktighet sätts till 15 m fås en teoretiskt utvinnbar vattenmängd ur öns berggrund av drygt 20 Mm³. Denna mängd stämmer väl med de beräkningar som tidigare gjorts av författaren från andra utgångspunkter (SGU C 640). Se sid. 00.

7. Vattenkvalitet

Prov på vatten för kemisk analys togs i alla undersökningsområden, och resultatet av analyserna redovisas i tabell 2 nedan.

TABELL 2. Resultat av kemiska analyser av vatten från Ölands Stora alvar

	Gettlinge	Mellby	Ebbelunda	Ekelunda	
KmNO ₄ -förbrukning	mg/l	6	7	18	6
pH		7.5	7.7	7.6	7.6
NH ₄	mg/l	1.3	provet slut	1.1	1.2
Ca	mg/l	97.7	76.6	110.2	80.7
Mg	mg/l	30.1	18.0	18.6	21.6
Totalhårdhet, beräknad som Ca	mg/l	147	106	141	116
Totalhårdhet, tyska grader ..	d°H	20.6	14.9	19.7	16.3
Na	mg/l	4.3	5.3	5.5	49
K	mg/l	1.5	0.85	0.85	2.8
Fe	mg/l	<0.05	<0.05	0.38	0.54
Mn	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Alkalitet, beräknad som HCO ₃	mg/l	244	192	311	268
Cl	mg/l	8	9	14	80
SO ₄	mg/l	45	45	15	11
NO ₃	mg/l	<2	provet slut	<2	<2
NO ₂	mg/l	<0.01	provet slut	0.03	<0.01
Marmoraggr. kolsyra, beräknad som CO ₂	mg/l	<5	<5	<5	<5

Av tabellen framgår att vattnet på samtliga platser är hårt samt uppvisar anmärkningsvärt höga ammoniumhalter. Det senare torde ha sin förklaring i att proven togs i ett tidigt skede av pumpningarna och att någon egentlig omsättning av grundvattnet ej hunnit ske. Nitritvärdet i Ebbelunda är något högt förmodligen av samma anledning. Nederbörden infiltrerar vanligen direkt i berggrunden. Då så ej är fallet passerar den genom ett tunt jordlager (vittringsjord). I båda fallen kan föroreningar lätt medfölja vid infiltration. Det är sannolikt att den höga halt av kväveföreningar som påvisades i vattenproverna har sin förklaring häri. Inte minst gäller detta med tanke på att samtliga undersökningsområden utnyttjas som ko- och fårbeten. Kvävet skulle således härstamma från djuren.

Provbörningen i Ekelunda gjordes invid ett skrotupplag. Närheten till detta kan förklara den höga järnhalten i grundvattnet. Vid ett framtida anläggande av vattentäcker i områden liknande de nyssnämnda måste relativt stora skyddsområden anordnas runt pumpplatserna.

En fullständig analys som i annat sammanhang gjordes i slutet av år 1971 på vatten från Mellby medförde inga anmärkningar, vare sig på bakteriologisk eller fysikalisk-kemisk kvalitet.

8. Sammanfattning

Syftet med den nu redovisade undersökningen har varit att söka få fram ett lämpligt tillvägagångssätt vid grundvattenundersökningar i berggrund som normalt ansetts vara av föga intresse ur prospekteringsynpunkt. Geofysiska undersökningsmetoder har visat sig lämna ett gott stöd vid val av lämpliga brunnslägen. Studiet av ljudvågornas och de elektriska strömmarnas uppträdande inger förhoppningar om gynnsamma förutsättningar för meningsfyllda undersökningar även i områden med jordtäckt berggrund.

Vid det inledande okulära utväljandet av lämpliga områden för undersökningarna eftersträvades zoner eller stråk med synbarligen hög sprickfrekvens och -volym samt strukturellt betingade anomalier i berggrundsytan. Då inga lokala synpunkter på valet av försöksområden förelåg, t. ex. deras senare eventuella ianspråktagande för enskild eller kommunal vattenförsörjning, utvaldes för undersökningarna sådana platser som var lätt tillgängliga för vanliga fordon. Vid ett målinriktat sökande efter lämpliga uttagspunkter för stora vattenmängder blir lokaliseringsförutsättningarna helt andra. Inne på alvaret finns redan nu dokumenterade ett flertal strukturer av betydligt större omfattning än de nu undersökta, och en noggrann inventering skulle säkerligen leda till upptäckt av ännu flera.

De vattenkapaciteter som under de korta pumpningskedena uttogs i de olika områdena kan generellt sett te sig blygsamma, men måste ur öländsk synvinkel betraktas som tämligen stora. Det sämsta pumpningsresultatet medger vattenförsörjning för ca 300 personer, mätt med dagens förbrukning. En förbättring av brunnarna och användandet av brunnsgrupper med gemensamt vattenverk torde kunna innebära att det ur vart och ett av undersökningsområdena kan utvinnas 5–10 l/s. Liknande kapaciteter ur de ännu outforskade större strukturerna inne på alvaret synes inte vara någon utopi.

Framkomna värden på effektiv porositet och transmissivitet antyder dels att i Ölands berggrund bör finnas en magasinerad, teoretiskt utvinnbar vattenmängd av storleksordningen 20 Mm³, dels att förutsättningar finns för att erhålla goda kapaciteter ur brunnar som placeras i hydrogeologiskt gynnsam miljö.

Fysikalisk-kemiska olägenheter i vattenkvaliteten är vanliga, framför allt på den västra delen av Öland. Detta har sin orsak i de svavel- och kolväteföreningar som förekommer i alunskiffern. De aktuella undersökningarna har visat att man till stor del kan undvika sådana problem genom att inte göra brunnarna djupare än nödvändigt. Att Gettlinge-vattnet trots att brunnen är nedförd genom 13 m skiffer inte uppvisar några olägenheter på grund av orstenslukt eller -smak måste bero på att bergarten når upp i markytan och att en naturlig luftning av vattnet och berggrunden alltså sker.

Bakteriologisk förorening av grundvattnet ligger nära till hands i områden liknande dem som omfattas av undersökningen. Det är därför givet, eftersom

det vid infiltration av nederbördsvatten i kalt berg inte finns några naturliga filter, att skyddsområdesfrågan vid anläggandet av vattentäkter på alvaret måste ägnas speciellt stor uppmärksamhet.

9. Litteraturförteckning

- ANDERSEN, L. J. och HAMAN, Z., 1970: Nye metoder for prøvepumpning af boringer och grundvandsreservoirer. – DGU, III. Raekke. Nr. 38. København.
- KRUSEMAN, G. P. and DE RIDDER, N. A., 1970: Analysis and evaluation of pumping test data. – Intern. Inst. for Land Reclamation and Improvement, Bulletin 11. Wageningen.
- KÖNIGSON, L.-K., 1968: The Holocene History of the Great Alvar of Öland. – Acta Phytogeographia Suecia 55. Uppsala.
- POUSETTE, J. och MÖLLER, Å., 1972: Ölands hydrogeologi. En översikt. – SGU C 670, Stockholm.
- STEPHANSSON, O., 1971: Gravity Tectonics on Öland. – Bull. of the Geol. Inst. of the Univ. of Uppsala, New Series, Vol. 3. Uppsala.

PRISKLASS E

Distribution
FACK, 162 10 VÄLLINGBY 1
SVENSKA REPRODUKTIONS AB

Växjö 1971 C. Davidsons Boktryckeri AB
Printed in Sweden

ISBN 91-7158-011-5