



SAMMANFATTNINGSRAPPORT

Sammanfattning av resultat från undersökningar utförda på typområdet Klipperås

Göran Nilsson,
Bengt Gentschein
Stefan Sehlstedt
Sveriges Geologiska AB

Januari 1987

SVENSK KÄRNBRÄNSLEHANTERING AB
SWEDISH NUCLEAR FUEL AND WASTE MANAGEMENT CO
BOX 5864 S-102 48 STOCKHOLM
TEL. 08-665 28 00 TELEX 13108 SKB
TELEFAX 08-661 57 19

SVERIGES GEOLOGISKA AB
Division Ingenjörsgologi

RAPPORT
Datum: 1987-01-26
ID-nr: IRAP 87003

SAMMANFATTNING AV RESULTAT FRÅN UNDERSÖKNINGAR

UTFÖRDA PÅ TYPOMRÅDET KLIPPERAS

Göran Nilsson *
Bengt Gentschein
Stefan Sehlstedt *

Sveriges Geologiska AB
Box 1424, 751 44 Uppsala

* Sveriges Geologiska AB
Box 801, 951 29 Luleå

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sid
1. BAKGRUND	2
2. KORTFATTAD BESKRIVNING AV SVERIGES BERGGRUND	2
3. INLEDANDE BESKRIVNING AV KLIPPERÅS	4
4. UNDERSÖKNINGAR UTFÖRDA I KLIPPERÅS	5
4.1 Ytundersökningar	5
4.2 Djupundersökningar	6
5. RESULTAT FRÅN UNDERSÖKNINGARNA	11
5.1 Ytundersökningar	11
5.2 Djupundersökningar	15
6. REFERENSER	25

1. BAKGRUND

SKB bedriver sedan 1976 forskning rörande omhändertagande av radioaktivt avfall från de svenska kärnkraftverken. En del av denna forskning innebär studier av den svenska berggrunden med syfte att utreda möjligheten att där lokalisera och bygga ett slutförvar för använt kärnbränsle. Sådana undersökningar av olika bergformationer har gjorts på ett stort antal platser i Sverige. Dessa platsundersökningar har genomförts enligt ett program som omfattar följande faser:

- * Rekognosering
- * Ytundersökning
- * Djupundersökning
- * Modellberäkningar

Rekognosering, som har genomförts i flera omgångar, innebär att ett stort antal platser studeras översiktligt på kartor, flygbilder etc. Några väljs ut för fältundersökning och begränsade geologiska och geofysiska markmätningar. Slutligen avslutas denna fas med ett rekognoseringsborrhål på enstaka platser.

På områden som fortfarande bedöms som lämpliga görs mera omfattande så kallade typområdesundersökningar från såväl markytan som från ett stort antal borrhål, vilket motsvarar andra och tredje fasen. Slutligen utförs numeriska modellberäkningar för att beskriva grundvattnets naturliga strömning på stort djup.

Hittills har omfattande typområdesundersökningar genomförts på åtta platser i Sverige. Resultaten från dessa visar att den svenska berggrunden är väl lämpad för slutförvaring av kärnavfall. Detta har lagts fram i samlad form, i Kärnbränslecykelns slutsteg, KBS-3, 1983. Rapporten genomgick en omfattande internationell expertgranskning, vilket utgjorde underlag för den svenska regeringens godkännande av den framlagda redovisningen.

SKB fortsätter att bedriva forskning inom detta område för att ytterligare fördjupa kunskapen. Inriktningen är ett krav från regeringen och är formulerade i lagen. Enligt den plan som följs skall slutförvaret börja byggas 2010 för att vara färdigt 2020. Val av plats kommer därför ej att göras förrän år 2000, ett beslut som kommer att fattas av regeringen. Inför detta val kommer detaljerade undersökningar på ett par platser att påbörjas omkring 1993. Utvärdering av platser för detaljundersökningar planeras ske 1991-1992.

2. KORTFATTAD BESKRIVNING AV SVERIGES BERGGRUND

Sveriges berggrund domineras av så kallat kristallint urberg, vilket innebär att det huvudsakligen består av granit och gnejs samt av sedimentära och vulkaniska bergarter vilka genomgått en mer eller mindre intensiv omvandling. Till de senare hör bland annat grönstenar och porfyrier. Åldersdateringar har visat att dessa bergarter bildades för 1-2.5 miljarder år sedan. Av de bergskedjor som då bildades har det mesta nötts bort under

den enorma tidsperiod som passerat så att endast rotzonen återstår, vilket utgör den nuvarande bergytan.

På några platser i Sverige finns yngre bergarter, huvudsakligen i Skåne, Öland och Gotland, där urberget överlagras av yngre sedimentära bergarter samt fjällkedjan, vilken bildades genom veckning för ca 500 miljoner år sedan. Vid upprepade tillfällen har gångar bildats genom att smält magma trängt upp i sprickor under geologiskt oroliga skeden.

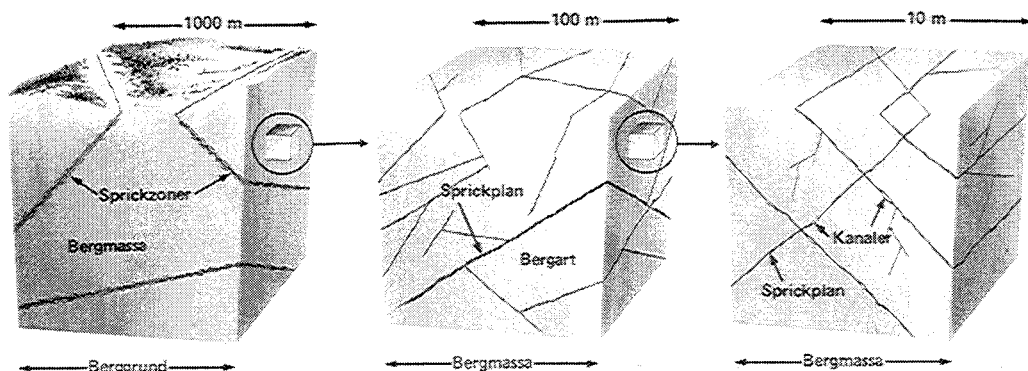
Det svenska urberget utgör en del av den så kallade baltiska skölden som är mycket stabil sedan miljontals år tillbaka i förhållande till vulkaniskt och seismiskt aktiva områden.

I kristallint berg finns alltid sprickor, sprickfritt berg förekommer ej. Det normala mönstret är att större sprickzoner delar upp berget i block och inom dessa block förekommer mindre sprickzoner och sprickor av olika bredd och längd, figur 1. Dessa sprickor och zoner har bildats under de miljarder år som gått sedan berget bildades. Eventuella framtida bergrörelser förväntas huvudsakligen ske i redan befintliga sprickzoner.

I kristallin berggrund rör sig vattnet i sprickorna. Av det vatten som tillförs marken i form av regn och snö tränger en liten del ned i bergets sprickor. Det mesta av detta vatten omsätts i de övre mera uppspruckna delarna av berget. Vattenomsättningen på stora djup är i allmänhet mycket långsam. Man kan t ex hitta salt grundvatten där som ännu inte "tvättats" ut. Hur vattnet rör sig och omsätts i berget beror på sprickornas storlek och övriga egenskaper samt av de topografiska nivå-skillnaderna som finns i området.

Vid slutlig förvaring av kärnavfall i berg utgör berget en skyddande barriär. Det är därför av stor vikt att undersöka berget, det vatten som finns i berget och hur detta vatten strömmar och omsätts i berget.

Ett förvar bör placeras i ett bergblock omgivet av större sprickzoner, som kan ta upp eventuella framtida bergrörelser. De geologiska undersökningarna syftar därför till att lokalisera sådana block, bestämma hur mindre sprickzoner och sprickor inuti blocket ser ut och vilka vattentransporterande egenskaper dessa har. Vidare undersöks vattnets kemiska egenskaper, vilket är av betydelse bland annat för att beräkna hur avfallet och dess omslutande kapslar påverkas i den miljö som finns i berget.



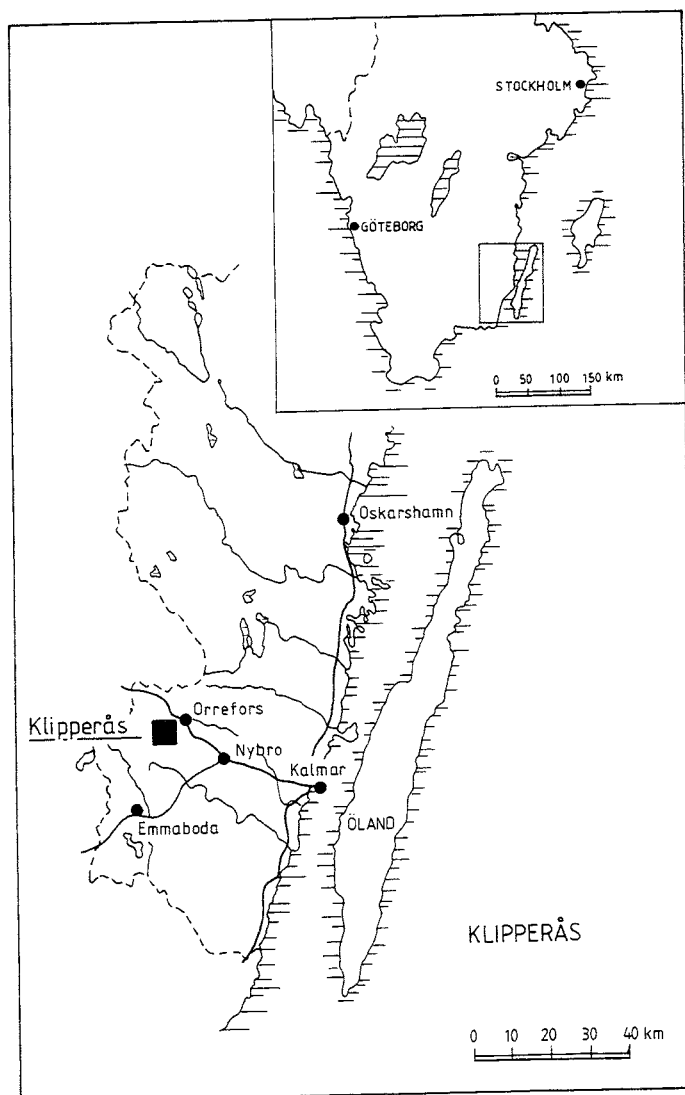
Figur 1 Modell över berggrunden i olika skalor.

3. INLEDANDE BESKRIVNING AV KLIPPERÅS

Typområdet Klipperås är beläget i Kalmar län, Emmaboda och Nybro Kommuner, ca 35 km nordväst om Kalmar, figur 2.

I samband med 1982 års inventeringsarbeten, vilka syftade till att lokalisera områden med flack eller mjukt utformad topografi, framstod området sydväst om Orrefors som intressant. Fortsatta rekognoseringsarbeten omfattade översiktliga geofysiska mätningar och geologisk kartering. Det första hålet borrades 1983, och utgjorde därmed avslutningen av rekognoseringsfasen.

Omfattande yt- och djupundersökningar genomfördes därefter huvudsakligen under 1984-1985. Sedan fältundersökningarna slutförts har omfattande bearbetningar av mätresultaten vidtagits, inklusive rapportskrivning. Resultaten har presenterats under 1986, bortsett från de undersökningar som under 1986 genomförts med den nyutvecklade borrhålsradarn, vilken kommer att rapporteras under våren 1987. Den återstående fasen gällande modellberäkningar av grundvattenströmningen i formationen kommer att genomföras senare när forskarresurser för detta finns tillgängliga.



Figur 2 Typområdet Klipperås geografiska läge

4. UNDERSÖKNINGAR UTFÖRDA I KLIPPERÅS

Nedan följer en kortfattad beskrivning av de undersökningar som genomförts i Klipperås. Framställningen är uppdelad i ytundersökningar och djupundersökningar. Undersökningsresultaten presenteras i kapitel 5.

4.1 Ytundersökningar

Målsättningen med ytundersökningen är att kartlägga berggrunden och lokalisera sprickornas utsträckning på markytan. I en ytundersökning ingår följande moment:

- * geologisk ytkartering
- * studier av flygfoton
- * markgeofysisk mätning

Geologisk ytkartering innebär att man bestämmer bergarter och mäter sprickors riktning och längd på förekommande kala bergytter. Dessutom identifieras större sprickzoner som ofta uppträder som långsträckta svackor i terrängen. Klipperåsområdet är dock till största delen täckt av morän och därmed fattigt på kalt berg, det har dessutom flack topografi varför ytkarteringen endast gav en begränsad geologisk information.

Flygfoton har därför varit extra värdefulla för tolkning av större regionala sprickzoners uppträdande i markytan, så kallade lineament. De avgjort viktigaste ytundersökningarna har varit de markgeofysiska mätningarna. För dessa mätningar upprättades ett staksystem på en yta av ca 9 km². Inom detta utfördes mätningarna i linjer med 40 m mellanrum och med 20 m avstånd mellan mätpunkterna. De metoder som använts är:

- * Slingram (elektromagnetisk mätning)
- * Magnetisk mätning

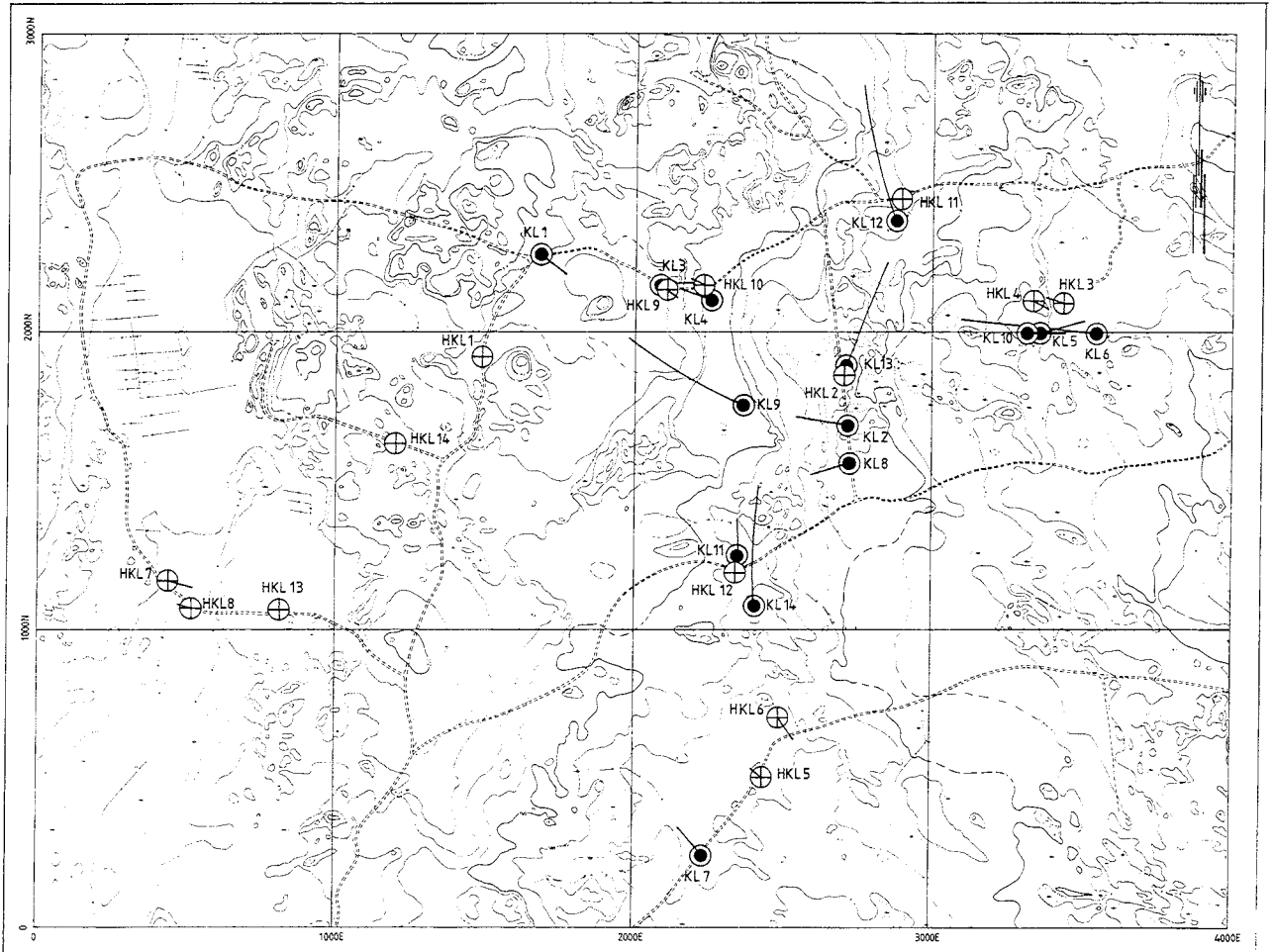
Slingrammetoden indikerar partier med högre elektrisk ledningsförmåga än den omgivande berggrunden, t.ex. vattenfyllda sprickzoner. Mätningar med slingram har utförts i två riktningar för att noggrannare lokalisera zoner i alla riktningar. Figur 7 visar resultat från en sådan mätning. Kartbilden är sammansatt av mätvärden från över 11 000 mätpunkter.

Magnetiska mätningar innebär att man mäter det jordmagnetiska fältet. Variationen i detta magnetfält kan orsakas av såväl sprickzoner som förekomst av olika bergarter inom området. Figur 8 visar resultatet från magnetmätningen.

Med ledning av mätresultaten upprättas en preliminär tolkningskarta över området, figur 9, vilket utgör ett viktigt underlag för planering av kommande borrningar.

4.2 Djupundersökning

Djupundersökningar genomförs för att karaktärisera bergformationen på djupet, avseende bergarter, spricksystem, vattenförande egenskaper och kemisk sammansättning. Det primära målet för det borrarprogram som genomförs är att bestämma de från ytundersökningarna lokaliserade sprickzonernas och bergartsgångarnas utbredning mot djupet. I Klipperås har 14 stycken hammarborrhål, 66-150 m djupa och 14 stycken kärnborrhål borrarats, det djupaste är 958 m (figur 3 och tabell 1)



- ⊙ KÄRNBORRHÅL
- ⊕ HAMMARBORRHÅL

Figur 3 Hammar- och kärnborrhålens lägen i Klipperås

Hammarborrhålen utgörs av konventionella brunnshål där borrar-sjunkningshastighet, vattenflöde samt borrar-kax registreras för att få en uppfattning om sprickzoner och bergartsgränser. Den sammanlagda borrhåls-längden är 1420 m.

Kärnborrning innebär att en cirkulär diamantborrkrona skär ut så kallade borrar-kärnor längs hela borrhålet. De upptagna borrar-kärnorna undersöks och dokumenteras (karteras) i detalj av

geologerna. På detta sätt har sprickor och sprickzoner bestämts från totalt 6933 m kärnborrhål. På ett antal kärnbitar har speciella laboratorieanalyser gjorts. Sålunda har 34 stycken så kallade tunnslip gjorts för att i mikroskop bestämma bergarternas mineralogiska sammansättning och dels har 13 prover malts ner för fullständig kemisk analys. Prov tas också av de mineral som sitter fast på sprickytorna, så kallade sprickmineral. Dessa mineral har ofta avsatts på sprickytorna genom utfällning från det vatten som strömmat där. På andra provbitar har geofysiska parametrar såsom densitet, porositet, resistivitet, inducerad polarisation och magnetiska egenskaper bestämts.

Under borrhningen registreras spolvattenförluster vilket indikerar sprickzoner. I borrhålen görs sedan omfattande geofysiska, hydrologiska och vattenkemiska undersökningar. I tabell 1 framgår omfattningen av utförda undersökningar, förutom ett tiotal olika geofysiska borrhålsmetoder.

Tabell 1 Undersökningar utförda i borrhålen i Klipperås

	Borrhåls- längd (m)	Vertikal- djup (m)	Injektions- tester(antal) 25(20) 5 m(*)	Grundvatten registrering	Vattenprov- tagning	Borrhåls- radar
K1 1	564	555	21	6	x	x
K1 2	958	943	44	16		x
K1 3	250	216			x	
K1 4	200	173			x	x
K1 5	246	213			x	
K1 6	808	700	38		x	x
K1 7	250	216			x	
K1 8	266	230				x
K1 9	801	693	37	20	x	x
K1 10	202	175				x
K1 11	250	217				
K1 12	730	598	35			x
K1 13	700	606	33	20		x
K1 14	705	610	33			x
HK1 1	66	66			x	
HK1 2	150	150			x	
HK1 3	96	62			x	
HK1 4	99	63			x	
HK1 5	90	58			x	
HK1 6	150	96			x	
HK1 7	99	63			x	
HK1 8	93	60			x	
HK1 9	77	50			x	
HK1 10	100	64			x	
HK1 11	100	100			x	
HK1 12	100	100			x	
HK1 13	100	100			x	
HK1 14	100	100			x	

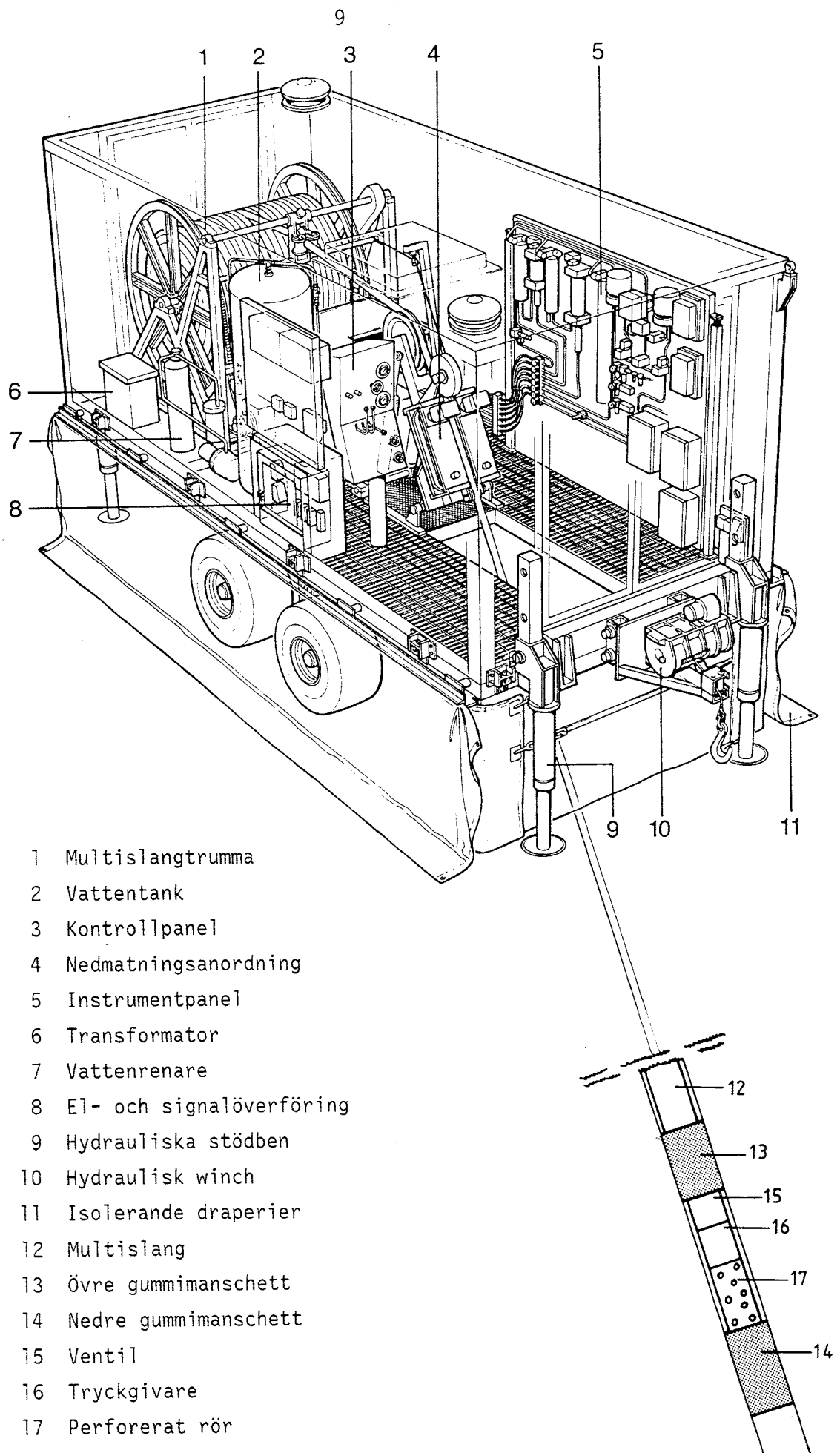
* anger sektionlängden (avståndet mellan manschetterna), 5 m, 20 m eller 25 m vid vatteninjektionstesterna

Med geofysiska borrhålsmetoder, så kallade borrhålsloggningar, mäts bergets elektriska, magnetiska, radiometriska egenskaper samt borrhålsvattnets elektriska egenskaper och temperatur. Sålunda har samtliga 14 kärnborrhål loggats med metoderna naturlig gammastrålning, magnetisk susceptibilitet, punktresistans, lateral och normal resistivitet, självpotential, temperatur och resistivitet i borrhålsvattnet och borrhålets krökning. I hammarborrhålen mättes naturlig gamma, punktresistans och magnetisk susceptibilitet utom i två borrhål som var igenrasade. Några av metoderna är speciellt lämpade för att avgöra bergartsförändringar, andra indikerar sprickor och sprickzoner medan åter andra visar på vattenförande sprickor. Dessutom mäts hur krokigt borrhålet är, vilket har betydelse för tolkningen av sprickzonernas geometriska utsträckning. Resultaten från de geofysiska mätningarna från varje borrhål, presenteras tillsammans i ett diagram, figur 10. Baserat på dessa mätningar samt borrhålskarteringen samt den preliminära yttolkningen upprättas sedan en detaljerad tolkningsmodell över området, (figur 9).

Under 1986 har en nyutvecklade geofysisk metod prövats i Klipperås, borrhålsradarn. Denna går ut på att högfrekventa elektromagnetiska vågor, radarpulser, sänds ut i berget. Dessa reflekteras mot ytor med avvikande elektriska egenskaper, t ex sprickor, sprickzoner och bergartsgångar. Med denna metod kan man under gynnsamma omständigheter "se" upp till 130 m ut från borrhålet. Om ett par borrhål är närmare än ca 200 m från varandra kan radarmetoden med fördel användas vid mätning mellan borrhålen, vilket dock ej varit möjligt i Klipperås. Borrhålsradarn har använts i 10 borrhål och i några av dessa har mätningar med två olika frekvenser genomförts.

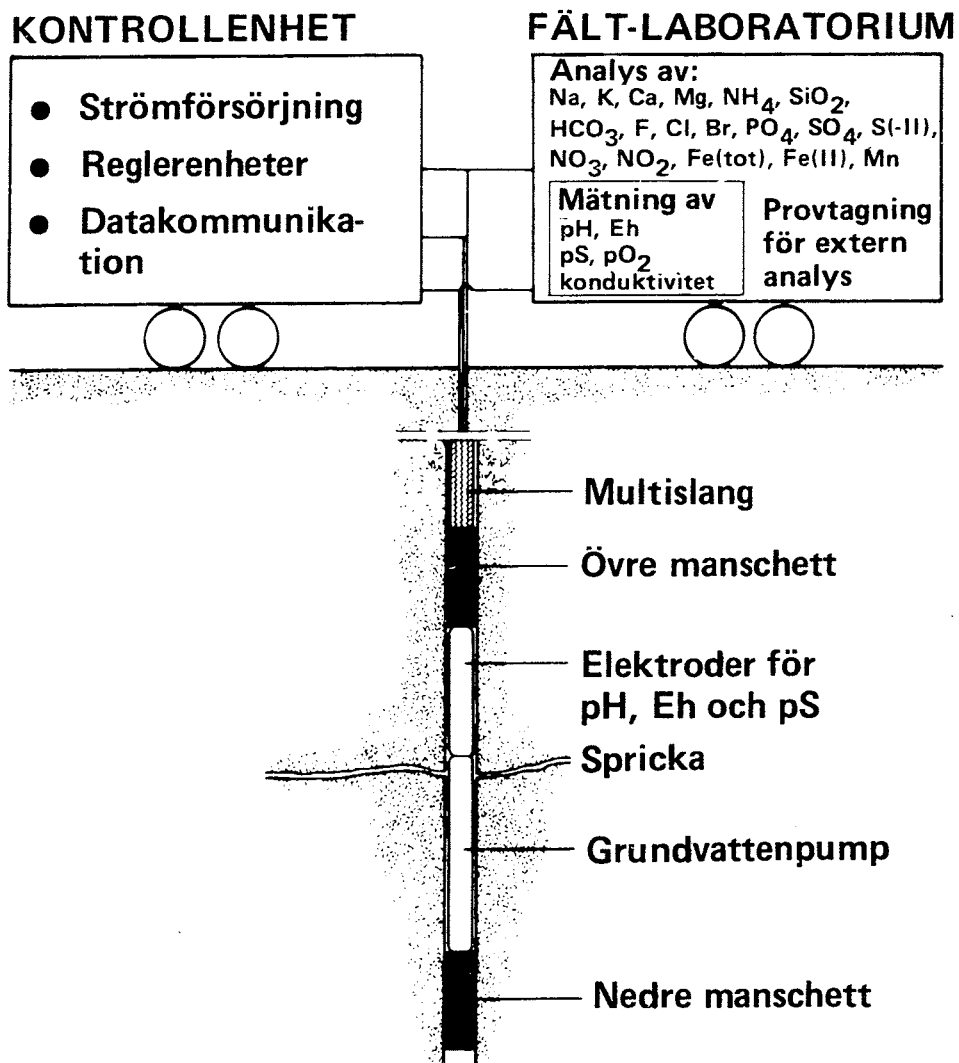
De hydrogeologiska mätningarna omfattar så kallade vatteninjektionstester och registreringar av grundvattentryck. Den första mätmetoden innebär att man mäter hur mycket vatten som med ett visst övertryck kan pressas in i berget mellan gummiavtätade sektioner i borrhålet. Dessa mätningar har utförts med en helt automatiserad utrustning monterad i en så kallad multivagn (figur 4) i en omfattning som framgår av tabell 1. Från varje mätning kan ett värde på bergets vattengenomsläpplighet, så kallad hydraulisk konduktivitet beräknas.

Den naturliga grundvattenströmmningen i berget bestäms förutom av bergets genomsläpplighet också av den så kallade hydrauliska gradienten, det vill säga skillnaden i grundvattenytans nivå från plats till plats. Grundvattennivån har därför under en längre tid registrerats i 21 av borrhålen, varav i 17 stycken med en automatisk grundvattenlogger. Grundvattentryckets variation mot djupet bestäms i samband med vatteninjektionstesterna. Om tryckskillnader förekommer i sektioner med hög vattengenomsläpplighet i samma borrhål sker ofta en vattenströmning längs borrhålet mellan dessa zoner. Denna företeelse brukar också kunna identifieras på ett par av de geofysiska mätningarna.



Figur 4 Multivagn som används vid vatteninjektionstestning.

Grundvattnets kemiska sammansättning har bestämts på sammanlagt 7 nivåer i 3 borrhål. För provtagningen och analysen av proverna har ett mobilt kemiskt fältlaboratorium använts, figur 5. Med detta kan de känsliga parametrarna surhetsgrad (pH), redoxpotential (Eh) och sulfidhalt (pS) analyseras nere i borrhålet. Andra kemiska ämnen analyseras inne i laboratorievagnen. Vattenprover skickas också till andra laboratorier för dubbelkontroll och speciella analyser.

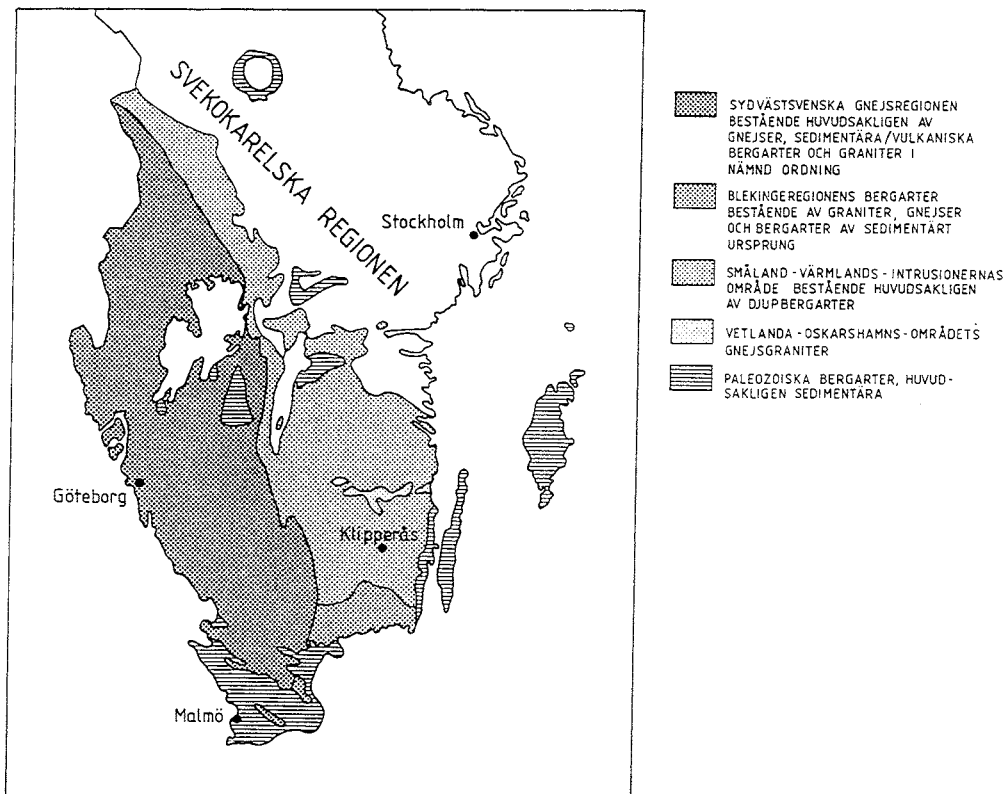


Figur 5 Schematisk bild av vattenkemiskt fältlaboratorium.

5 RESULTAT

5.1 Ytundersökningar

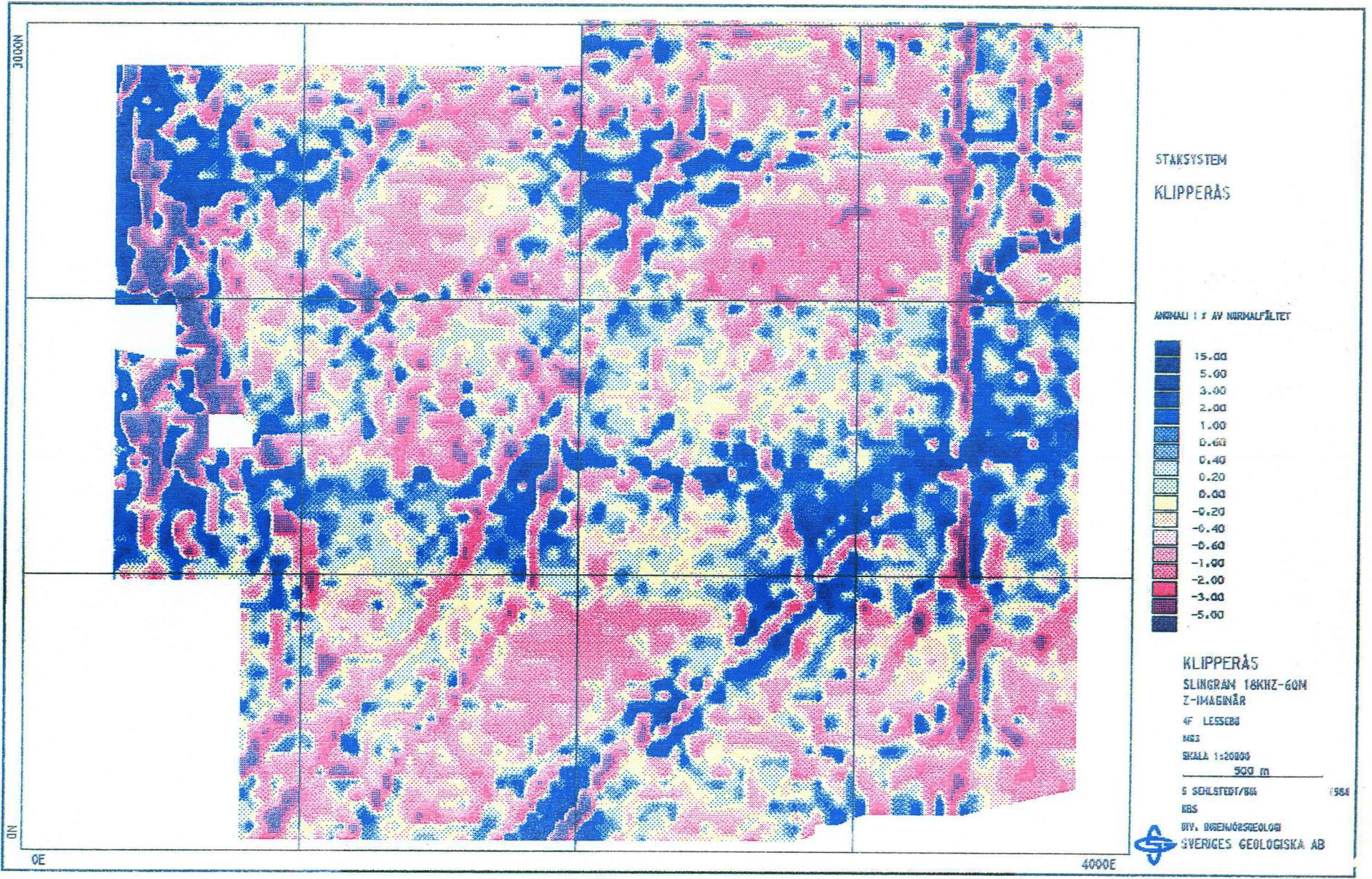
Tidigare regionala geologiska undersökningar av sydöstra Sverige visar att Klipperås ligger inom den så kallade Småland-Värmland intrusionen, figur 6. Bergarterna i denna intrusion utgörs i huvudsak av graniter och sura vulkaniter (Smålandsporfy). Dessutom förekommer olika typer av gångbergarter. Dateringar gjorda på dessa bergarter visar att graniten och porfyren är ca 1600-1700 miljoner år gamla (Åberg, 1978; Aftalion, 1981). De yngre förekommande bergarterna utgörs ofta av basiska gångar och är daterade till ca 900-1000 miljoner år (Patchett, 1978).



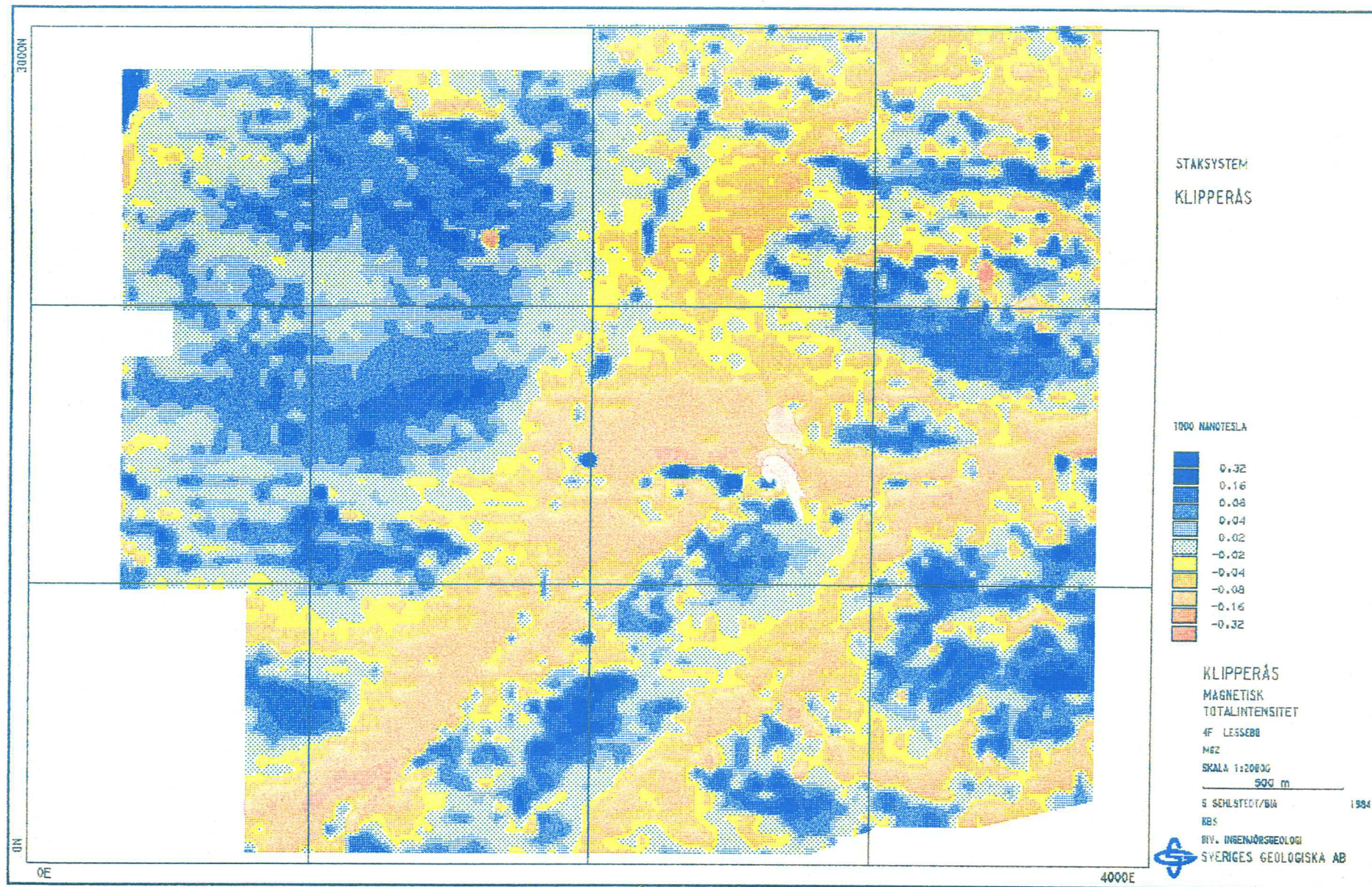
Figur 6 Förenklad berggrundskarta över södra Sveriges berggrundsgéologiska regioner (efter T. Lundqvist från "The precambrium of Sweden". SGU serie C nr 768).

Den geologiska undersökningen av typområdet Klipperås visar att dominerande bergart är en grå-röd, medelkornig granit, en så kallad Smålandsgranit, (Olkiewicz och Stejskal 1986). Graniten är ibland svagt folierad i riktning öst-väst till västnordväst-östsydöst. Övriga förekommande bergarter är porfyr, grönsten, basiska gångar och aplit. I tabell 2 visas fördelningen av bergarterna i de borrhäror som undersökts.

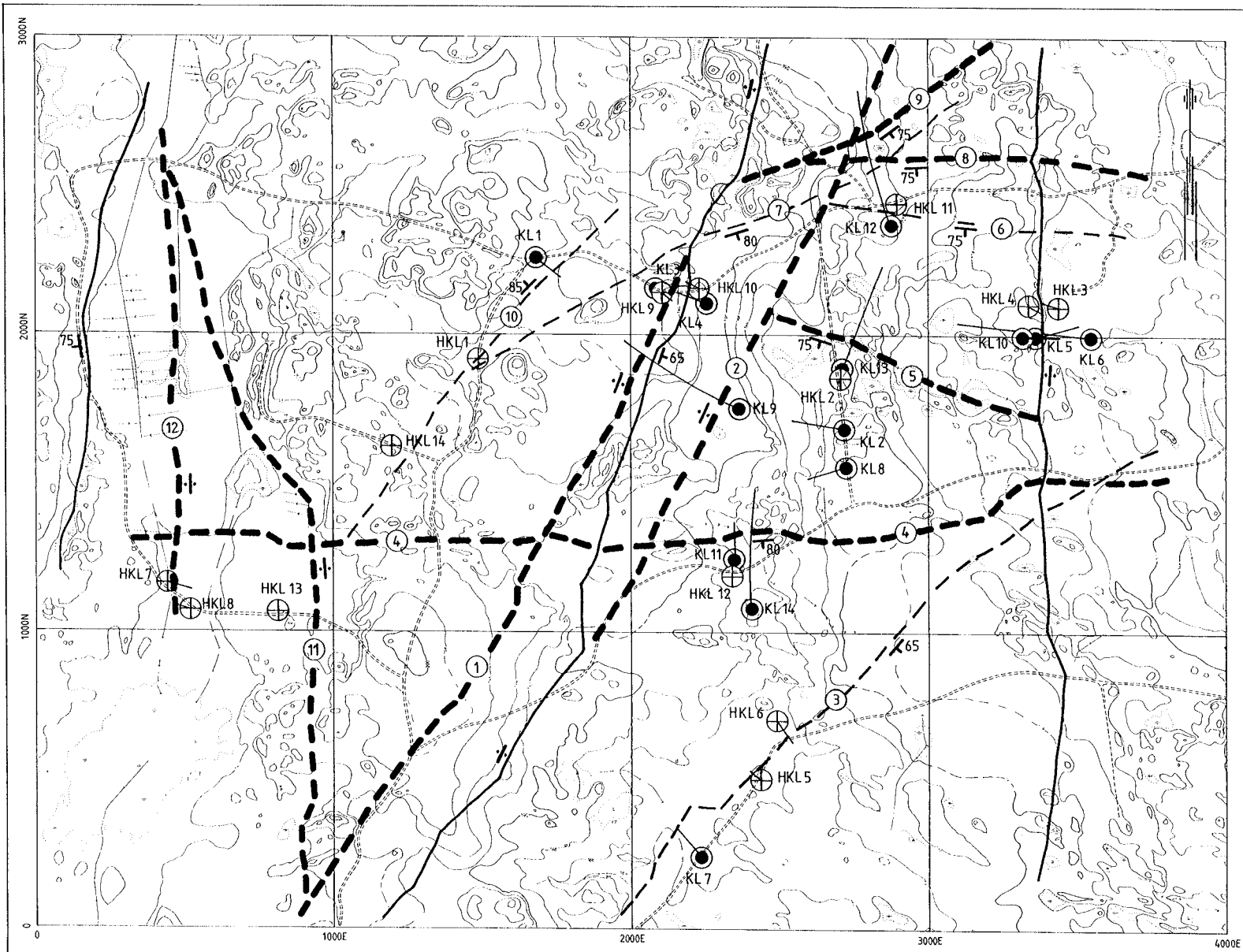
I figur 7 och 8 visas resultat från de geofysiska markmätningarna. På slingramkartan, figur 7, framträder sprickzoner som röda så kallade lineament, på grund av att de har andra elektriska egenskaper än omgivande berg. Bergets magnetiska egenskaper speglas av magnetmätningarna, figur 8. På denna karta syns



Figur 7 Geofysisk mät-karta - slingram.



Figur 8 Geofysisk mätkaart - magnetiska totalfältet.



- TECKENFÖRKLARING
- SPRICKZONER
- > 15 m
 - 0-15 m
 - STUPNING
 - ZON
 - BASISK GÅNG
 - KÄRNBORRHÅL
 - HAMMARBORRHÅL

KLIPPERÅS



Figur 9 Tolkningskarta av typområdet Klipperås.

en diabasgång (en blå linje) som delvis följer sprickzon (1) och delvis sprickzon (2). Sprickzoner framträder oftast med gul eller orange färg på kartan. Resultaten från markmätningarna sammanställs till en tolkningskarta, figur 9. Tolv olika sprickzoner har definierats från de geofysiska markmätningarna och efterföljande borrningar (Sehlstedt och Stenberg, 1986). Sprickzonerna (1) och (2) är brantstående och går i nordnordost- sydsydvästlig riktning.

Sprickzonen (3) går i nordost-sydvästlig riktning och syns tydligt på slingrammätningen, jämför med figur 7. Sprickzonen (4) går i öst-västlig riktning. Denna framträder tydligt på slingrammätningen som utförts i den andra riktningen. Detsamma gäller för sprickzonerna (5) t.o.m. (9).

I östra delen av området framträder ett tydligt drag på slingrammätningen som går i nordsydlig riktning. Denna motsvaras av en bergartsgång med basisk sammansättning. Sprickzonerna (11) och (12) går i ett område med torv- och myrmark. Dessa överlagrar jordarter med hög elektrisk ledningsförmåga som påverkar slingrammätningarna. Detta försvårar utnyttjande av markgeofysiska mätningar i detta område.

Utöver de geovetenskapliga undersökningarna av typområdet Klipperås som utförts har också mätningar av naturligt förekommande radioaktiva ämnen gjorts (Sundblad et al 1985). Denna studie omfattade dels mätning av direktstrålningen från marken och dels provtagning av bergarter, jordarter, växtdelar samt ytvatten för att fastställa koncentrationerna av de naturliga radioaktiva isotoperna. Mätningarna, som genomförts på varje typområde, syftar till att kartlägga de naturliga radioaktiva grundämnenas förekomst och transportvägar i ytliga jordar och vatten.

Undersökningarna visar att samtliga mätvärden har sådana nivåer som normalt förväntas i granitområden med moräntäckning. Direktstrålningen ligger i genomsnitt på 18 uR/h (mikroRöntgen per timme) men kan i torvområdena gå ner till omkring 5 uR/h. Halterna av uran och thorium ligger på ca 10 ppm (miljondelar) för jordar med höga halter av organiskt material, för sandiga jordar och sten är halterna 2-3 ppm medan halten för torv är ca 2 ppm. Analyser på det insamlade växtmaterialet gav halter på ca 0.01 ppm, räknat på torrvikterna.

5.2 Djupundersökningar

Av figur 9 framgår läget av de 14 kärnborrade hålen inom området. Borrhålen 1 och 2 borrades nära vertikalt för att undersöka bergartsvariationerna mot djupet. Övriga borrhål har borrats i huvudsak för att undersöka de vid ytmätningarna påträffade sprickzonerna och bergartsgångarna och deras fortsättning och karaktär mot djupet. Borrhål 3 och 4 borrades för att undersöka sprickzon (1) och diabasgången. Borrhål 9 borrades för att undersöka diabasgången, liksom sprickzonernas (1) och (2), fortsättning mot djupet. Sprickzonen (3) undersöktes med borrhål 7. Borrhål 11 och 14 sattes på sprickzon (4). Sprickzon (5) undersöktes av borrhålet 13. Sprickzon (6) t.o.m. (9) samt sprickzon (2) undersöktes med borrhålet 12. Borrhålen 5, 6 och 10 borrades på den basiska bergartsgången, som beroende på dess karaktär på ytmätningarna först tolkats att motsvaras av en

sprickzon.

Av de borrhärlor som tagits upp ur berggrunden, totalt 6933 m, är merparten granit (Olkiewicz och Stejskal, 1986). Bergartsfördelningen och sprickfrekvensen för respektive bergart presenteras i tabell 2.

Tabell 2 Bergartsfördelning samt sprickfördelning för respektive bergart i borrhärlorna från Klipperås.

Bergart	Bergartsfördelning (%)	Sprickfördelning (sprickor/m)
Granit	85.0	4.3
Grönsten	7.0	10.0
Porfyr	5.5	7.5
Diabas	1.4	6.4
Basalt	0.1	18.7
Aplit	1.0	7.4

De avsnitt av borrhärlorna med högre sprickfrekvens än omgivningen definieras som sprickzoner. Dessa sprickzoner har uppstått genom tidigare rörelser i berggrunden. Ett vanligt fenomen i sprickzoner är leromvandling av sprickmineralen. Även rödfärgning av sprickytorna är vanlig på grund av oxidation.

Med hjälp av de geofysiska mätningarna i borrhärlorna kan också sprickzonerna och bergartsändringar indikeras genom karaktäristiska mätresultat från de olika mätmetoderna (Sehlstedt och Stenberg, 1986). De geologiska och geofysiska undersökningarna används tillsammans för att bestämma sprickzonernas bredd, riktning och lutning (tabell 3). De flesta zoner är brantstående med undantag för en flack sprickzon på 800 meters djup i K12

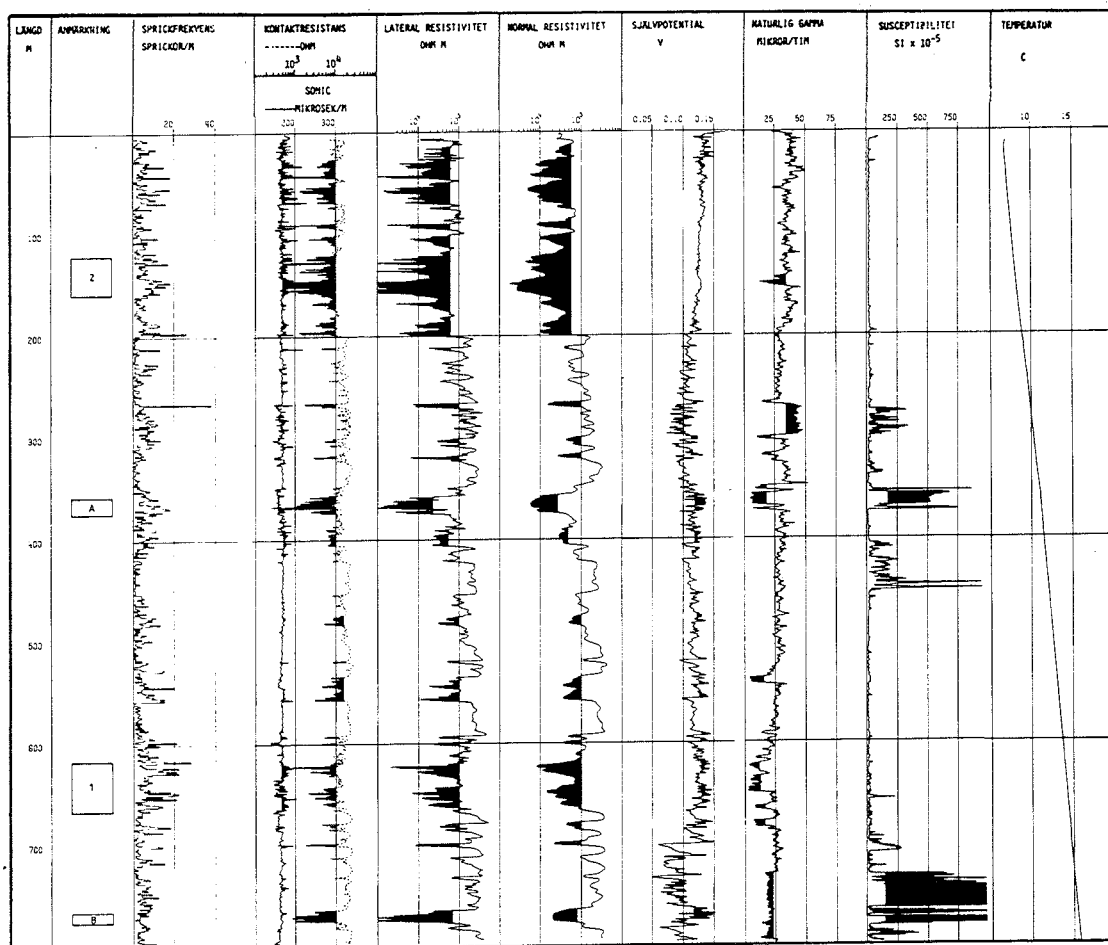
Tabell 3. Data om sprickzoner

Zon-nummer	Borrhål	Zon-sektion	Riktning/lutning	Bredd
1	K1 3	140-195 m	N-S/90°	28 m
1	K1 4	110-180 m	N20°Ö/90°	36 m
1	K1 9	615-665 m	N30°Ö/90°	29 m
2	K1 9	120-160 m	N30°Ö/90°	22 m
2	K1 12	595-630 m	N15°Ö/85°Ö	13 m
3	K1 7	115-130 m	N35°Ö/65°Ö	12 m
4	K1 11	108-148 m	N75°Ö/90°	23 m
4	K1 14	368-410 m	N85°Ö/80°	27 m
5	K1 13	152-188 m	N80°V/75°S	23 m
6	K1 12	70- 88 m	N75°V/75°S	12.5 m
7	K1 12	288-306 m	N65°Ö/80°S	13.5 m
8	K1 12	312-347 m	N85°V/90°	28 m
9	K1 12	362-384 m	N60°Ö/75°S	17.5 m
10	K1 1	280-310 m	N45°Ö/85°NV	10.5 m
H1	K1 2	792-804 m	Sub-Horizontal	12 m

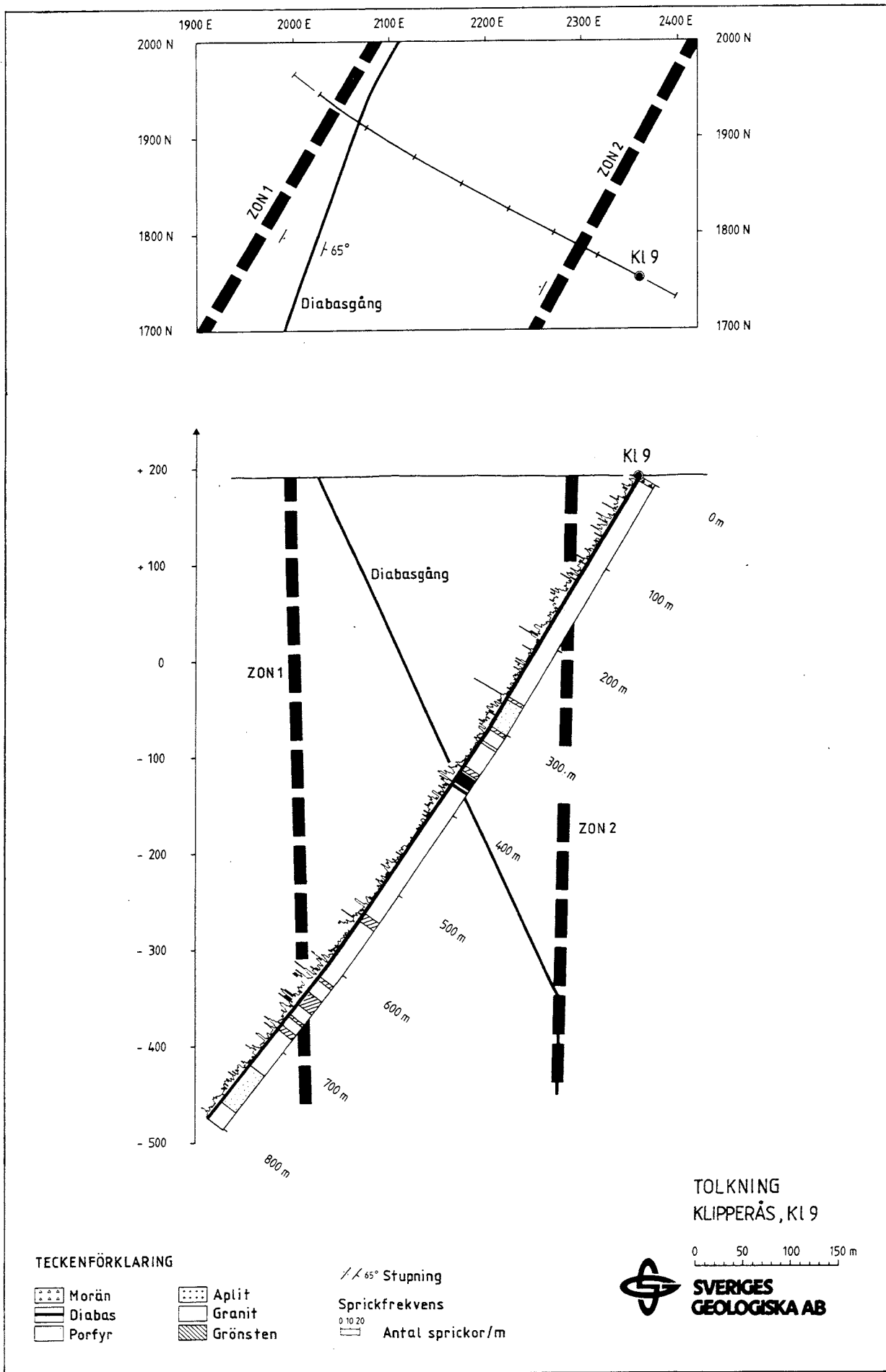
Som ett exempel på tolkningen av mätresultaten har man i borrhål 9 förutom zon 1 och 2, som tidigare nämnts, även påträffat en diabasgång. Vid de geofysiska mätningarna indikeras dessa av andra elektriska och magnetiska egenskaper än omgivande berg, figur 10.

I figur 11 visas ett vertikalsnitt av borrhål K1 9. Zonerna 1 och 2 samt diabasgången, figur 9, har med hjälp av kärnkartering och borrhålsgeofysiska mätningar kunnat identifieras i borrhål K1 9. Zon 1 och 2 skär borrhålet i intervallen 615-665 m respektive 120-160 m. Diabasen skär borrhålet mellan 356 och 374 meter.

De geofysiska undersökningarna har i ett senare skede kompletterats med borrhålsradarmätningar (Carlsten et al 1987). Dessa är under utvärdering och kommer att avrapporteras under våren 1987. Preliminära resultat visar att även smala grönstengångar har betydande utsträckning. Mätningarna styrker den tidigare tolkningen att de smala grönstenarna går i östvästlig riktning. Den beräknade lutningen på diabasgången i K1 9 har bekräftats till ca 65° från horisontalplanet. Lutningen av zonen H 1 avviker $20-30^{\circ}$ från horisontalplanet. Ett exempel på ett så kallat radargram visas i figur 12.

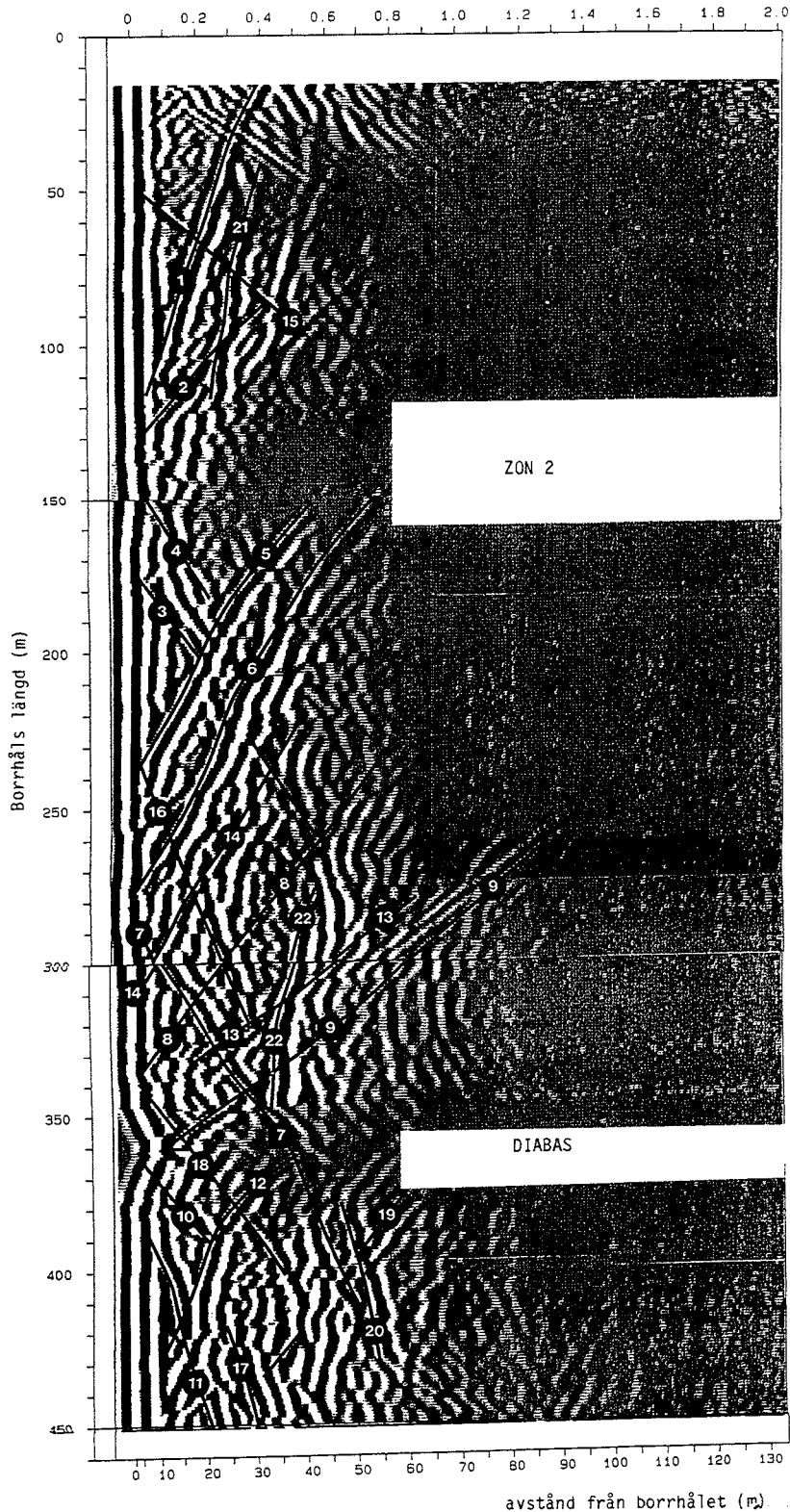


Figur 10 Presentation av geofysisk loggningsbild K1 9.



Figur 11 Tolkning av vertikalt snitt av borrhål Kl 9.

KL 9 Radar plot: KLIPPERÅS

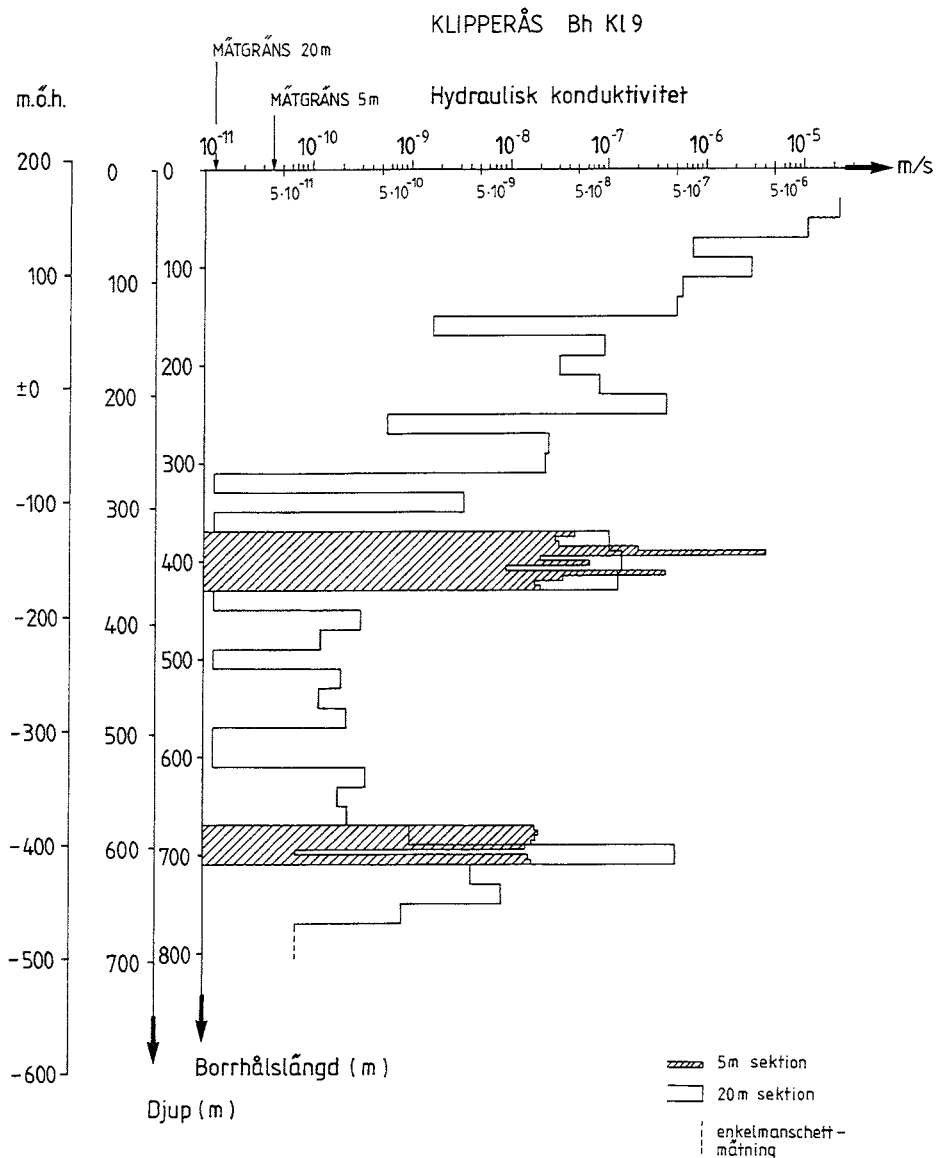
tid (TVT) _{1us}

nr	djup* (m)	vinkel** (^o)	struktur
1	179	10	grönsten,
2	149	30	breccia, zon 2***
3	149	28	samma som (2)***
4	122	25	sprickzon, zon 2***
5	262	23	grönsten
6	307	20	grönsten
7	263	24	samma som (5)
8	355	30	grönsten
9	374	60	diabas****
11	328	10	grönsten
12	480	14	sprickzon
13	357	55	diabas****
14	333	22	
15	32	40	sprickzon
16	179	10	grönsten samma som (1)
17	394	33	grönsten
18	313	23	grönsten
19	370-435	30	35-55 m från borrhålet
20	380-430 *****	10	50-55 m från borrhålet
21	40-115 *****	5	25-35 m från borrhålet
22	275-350 *****	8	35-40 m från borrhålet

- * djup avser längd längs med borrhålet
- ** vinkel avser radarvinkel mot borrhålsaxeln
- *** radarvinkeln 25-30^o mot borrhålsaxeln för zon 2 styrker tolkningen att zonen stupar brant 85-90^o mot öst
- **** radarvinkeln 55-60^o mot borrhålsaxeln för diabasen styrker tolkningen att diabasa stupar 60-65^o mot väst
- ***** dessa strukturer löper nära parallellt med borrhålet och tolkas som grönstenar med en strykning parallellt med borrhålets riktning

Figur 12 Radargram från kärnborrhål Kl 9, sektion 0-450 m.

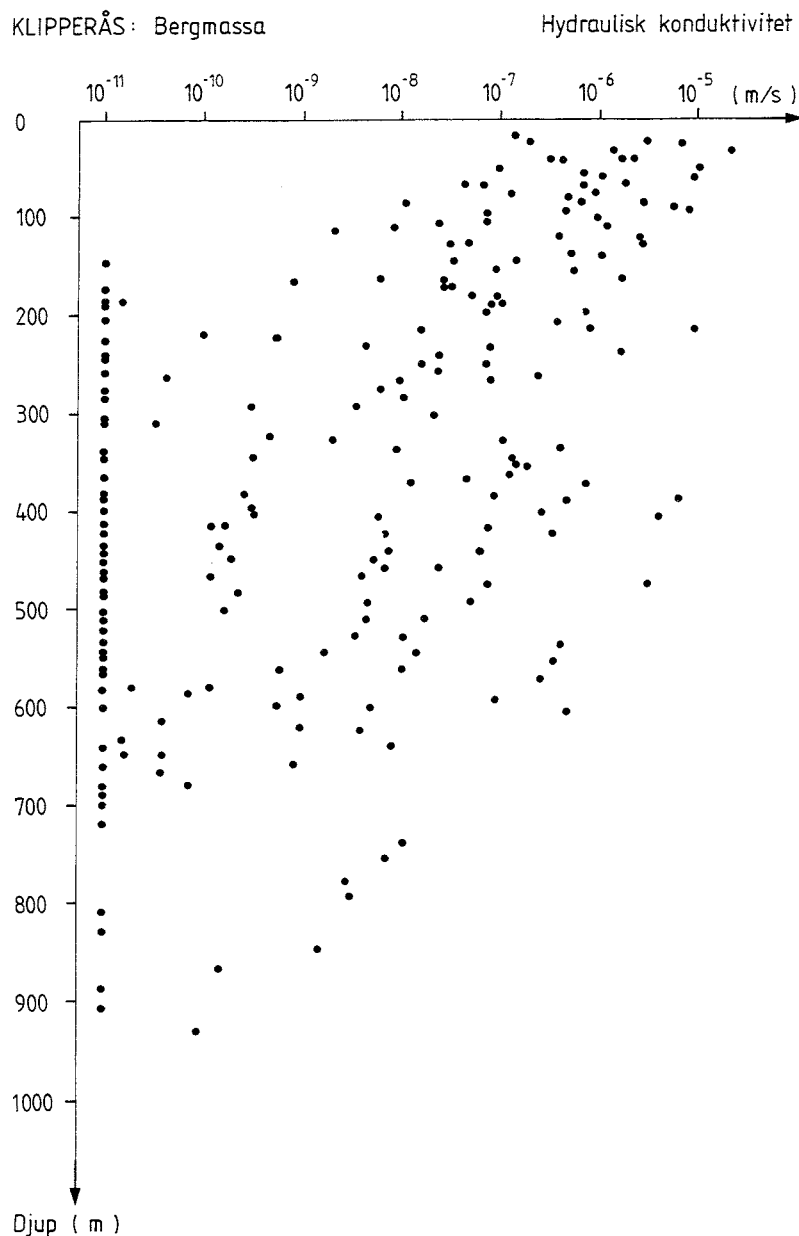
Vatteninjektionstester för att bestämma bergets vattengenomsläpplighet (eller hydraulisk konduktivitet) har utförts i 7 kärnborrhål (Gentzschein, 1986). Resultaten från mätningarna i borrhålet Kl 9 finns presenterade i figur 12. Borrhålet är mycket vattengenomsläppligt i den övre delen. Enligt 20 m-testerna är den hydrauliska konduktiviteten (K-värdet) oftast högre än 10^{-7} ovan 270 meters borrhålslängd. Mot djupet avtar konduktiviteten och under 350 meter är vanligen K-värdet från 20 m-sektionerna lägre än 10^{-9} m/s med några undantag. I två vattengenomsläppliga intervall under 300 meters nivå har injektionstester i 5 m-sektioner utförts för att undersöka K-värdets variation inom respektive 20 m sektion. Resultaten från 5 m-testerna stämmer väl överens med 20 m-testerna i intervallet 370-430 meter, däremot mindre väl i intervallet 670-690 meter, där medelvärdet av 5 m-värdena skiljer sig avsevärt från motsvarande 20 m-värde. Denna skillnad kan bero på "läckage" via spricksystem runt gummimanschetterna, men orsaken är ej säkerställd. Nedersta sektionen avgränsas av en gummimanschett och borrhålsbotten, så kallad enkelmanschettmätning.



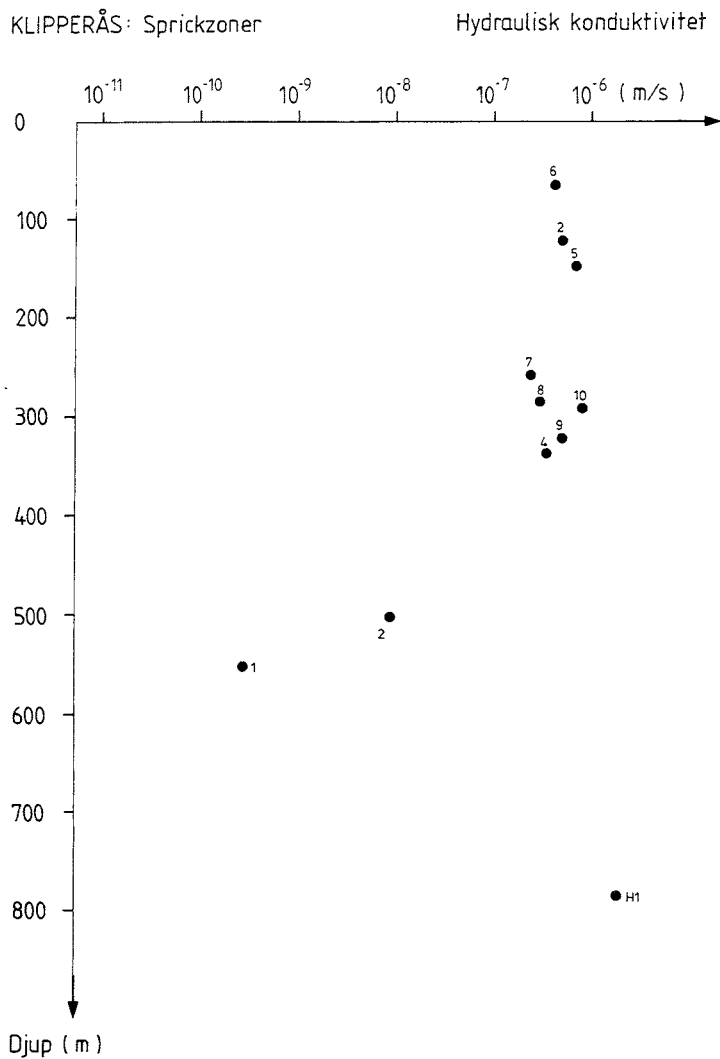
Figur 13 Hydraulisk konduktivitet - kärnborrhål Kl 9.

Berggrunden i Klipperås har indelats i två enheter med avseende på deras hydrauliska egenskaper. Dessa är bergmassa och sprickzoner. Indelningen baseras på resultaten från de geologiska, geofysiska och tektoniska undersökningarna, vilka indikerar sprickzonernas läge och utsträckning. Bergmassan representeras av hydrauliska konduktiviteten från de 20 m-sektioner som ej skäres av sprickzonerna. Hydrauliska konduktiviteten för sprickzonerna beräknas från K-värdena i de intervall i borrhålen som korsas av respektive zon.

Figurerna 14 och 15 visar samtliga mätvärden av den hydrauliska konduktiviteten för de hydrauliska enheterna bergmassa respektive sprickzon. Som framgår är bergmassans vattengenomsläpplighet genomgående hög ovan 150 metersnivån. Mot djupet ökar antalet låga K-värden men variationsbredden är relativt stor. Under nivån 600 meter är dock majoriteten av värdena mycket låga. Sprickzonernas vattengenomsläpplighet varierar mindre och är i medeltal högre än bergmassans.



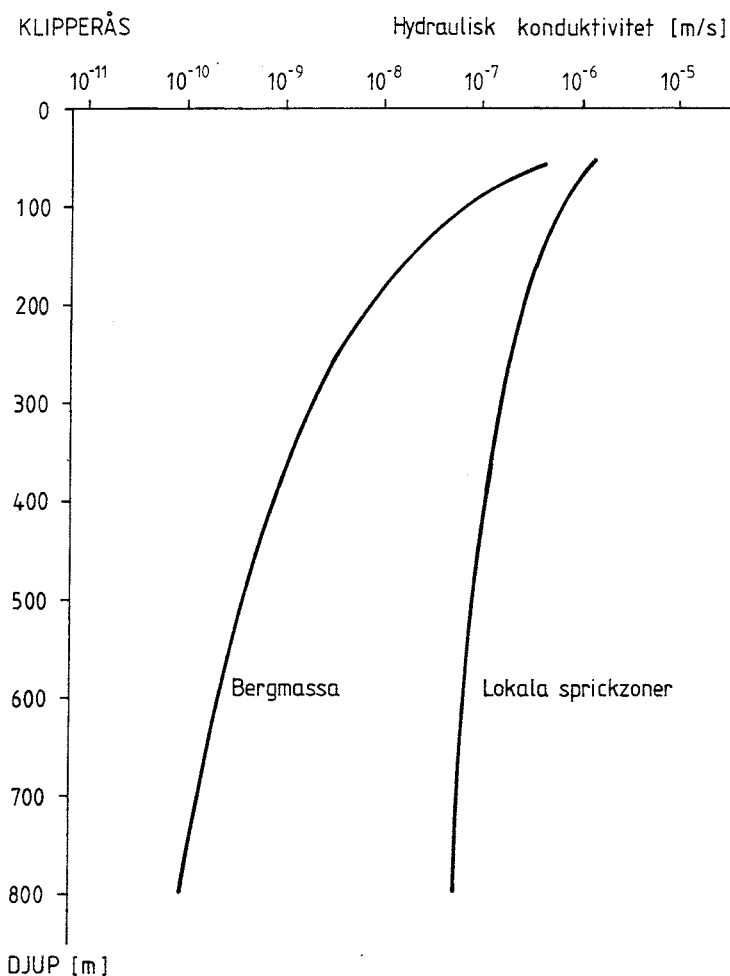
Figur 14 Hydrauliska konduktiviteten för bergmassan.



Figur 15 Hydraulisk konduktivitet för sprickzonerna

Resultaten från samtliga mätsektioner från borrhålen i Klipperås har utnyttjats för att med regressionsanalys beräkna den genomsnittliga hydrauliska konduktiviteten och hur den varierar mot djupet. Av figur 16 ser man att genomsläppligheten är högre i sprickzoner än i bergmassa, samt att den minskar med ökat djup. Detta beror på att de ökade bergtrycket på större djup pressar ihop de öppna sprickorna. För 500 m djup är vattengenomsläppligheten 4×10^{-10} m/s och 8×10^{-8} m/s för bergmassa respektive sprickzoner.

Grundvattennivåmätningarna visar att djupet mellan grundvattenytan och markytan är mellan 0.5 meter och 5.5 meter i de högre belägna borrhålen. I de lägre delarna av området minskar djupet till mellan ca 0.1 meter och 1.7 meter. Under mätperioderna var variationsbredden för grundvattennivån lägre än en meter i de allra flesta borrhålen. Hydrauliska gradienten, det vill säga skillnaden i grundvattentryck från plats till plats, är relativt låg inom Klipperåsområdet, lägre än i andra områden. Detta kan förklaras av den flacka topografin.

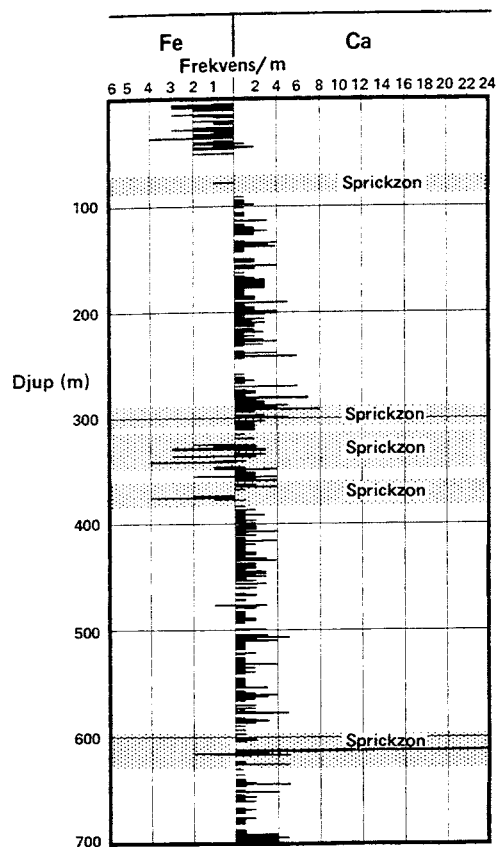


Figur 16 Hydraulisk konduktivitet - regressionsanalys.

Grundvattnets kemiska sammansättning har undersökts med provtagning och analys från tre av kärnborrhålen, Kl 1, Kl 2 och Kl 9. Man har provtagit vattnet från ca 300 till ca 800 meters djup (Laurent 1986). Sammanfattningsvis avviker inte resultaten från det normala, pH är neutralt eller något åt det basiska hållet. Redoxpotentialen är låg och de vanligaste jonerna är natrium, kalcium, magnesium, kalium, vätekarbonat, klorid och sulfat.

Genom provtagning och analys av sprickmineral från borrhälen kan man studera vattnets påverkan på sprickmineraler (Tullborg 1986). I borrhålet Kl 12, figur 17, kan man se hur det kolsyrerika ytgrundvattnet (regn och snö) har löst ut kalcitmineralen ur de övre delarna av borrhålet. De djupare och äldre grundvattnet är mättat på kalcit vilket beror på att kalcium tillförs eller att pH höjs genom mineralens inverkan. Strömningförhållanden och sambandet mellan mineral och grundvatten kan på så sätt studeras i sprickmineralen.

Åldersdateringar av vattnen från två borrhål har gjorts med kol-14 metoden. Kol-14 är en radioaktiv kolisotop som bildas naturligt i atmosfären p g a kosmisk strålning. Halveringstiden för kol-14 är 5730 år. Halten kol-14 har bestämts i vatten från två borrhål. Halterna är mycket låga, vilket visar att det tar mycket lång tid för vattnet att nå dessa djup (hundratals-tusentals år).



Figur 17 Järnoxidhydroxid (rost) och kalcit i sprickmineral från borrhål Kl 12. Oxiderande förhållanden (rost) och kalcitupplösning de övre 100 m, följer av reducerande förhållanden och kalcitutfällning längre ned. Spår av oxidation förekommer även i sprickzonerna.

6. REFERENSER

- Aftalion, M., Fallick, A.E. and Wilson, M.R (1981). Age and isotope studies in Norrbotten and Småland: Preliminary results. Geol Fören. Stockholm. Förh., vol 103, pp 519-520.
- Carlsten, S., Sehlstedt, S. and Stenberg, L. (1987). Radar Measurement Performed at the Klipperås Study Site. SKB TR 87-xx. SKB Stockholm (utkommer våren 1987)
- Gentzschein, B. (1986). Hydrogeological Investigations at the Klipperås Study Site. SKB TR 86-08. SKB, Stockholm
- Laurent, S. (1986). Analysis of Groundwater from Deep Boreholes in Klipperås. SKB TR 86-17. SKB, Stockholm.
- Olkiewicz, A. and Stejskal, V. (1986). Geological and Tectonic Description of the Klipperås Study Site. SKB TR 86-07. SKB, Stockholm.
- Patchett, P.J. (1978). Rb/Sr ages of Precambrian dolerites and syenites in southern and central Sweden. Sveriges Geologiska Undersökning. C, 747, pp 1-63.
- Sehlstedt, S. and Stenberg, L. (1986). Geophysical Investigations of the Klipperås Study Site. SKB TR 86-07. SKB, Stockholm.
- SKBF/KBS, (1983). Kärnbränslecykelns slutsteg. Använt kärnbränsle. KBS 3 Del 1-IV. SKB, Stockholm.
- Stenberg, L. (1986). Geophysical Laboratory Investigations on Core Samples from the Klipperås Study Site. SKB TR 86-09. SKB, Stockholm.
- Sundblad, B., Landström, O. and Axelsson, R. (1985). Concentration and distribution of natural radionuclides at Klipperås and Bjulebo, Sweden. SKB TR 85-09. SKB Stockholm.
- Tullborg, E-L. (1986). Fissure Fillings from the Klipperås Study Site. SKB TR 86-10. SKB, Stockholm.
- Åberg, G. (1978). Precambrium geochronology of south-eastern Sweden. Geol. Fören. Stockholm Förh., 100, pp 125-154.