



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R 17:1975

TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FÖR VÄG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

Borrhålsundersökningar i berg

**Tillförlitlighetsvärdering
av metoder**

Magnus Bergman

Byggforskningen

Borrhålsundersökningar i berg Tillförlitlighetsvärdering av metoder

Magnus Bergman

Som grundval för en projektering av en berganläggning under jord ligger undantagslöst någon form av bergutlåtande. Dylika utlåtanden, som kan ha mycket varierande utformning, baseras i sin tur på informationer om berg och bergmassa erhållna med olika undersökningsmetoder. Karaktären av och tillförlitligheten i dessa informationer är av väsentlig betydelse för projekteringsresultatet då dessa informationer på ett eller annat sätt kommer att ligga till grund för såväl bergmekaniska analyser, beräkningar och bedömningar under projekteringskedet som för entreprenörens bergtekniska överväganden under anbudsskedet.

De jämförande undersökningar och analyser av befintliga borrhålsdata som redovisades i Byggforskningens rapport R34:1973, har här kompletterats med kontrollerande fältförsök i syfte att precisera respektive undersökningsmetods informationsförmedlande förmåga samt graden av tillförlitlighet i de förmedlade informationerna. Fem undersökningsmetoder – kärnbörning, slående sonderingsbörning, metod för integral sampling, TV-granskning av borrhål och vattentrycksprovning – har med denna målsättning studerats i fält. I rapporten redovisas tillförlitligheten i de informationer som respektive metod förmedlar samt diskuteras schematiskt kostnader vid användandet av dessa undersökningsmetoder. Resultatet borde kunna underlätta en optimering av undersökningsinsatsen för varje enskilt projekt inom den kostnadsram som står till förfogande.

Vid underjordsbyggande i berg utgör den omgivande berggrunden byggnadsstomme för anläggningen i fråga. När väl det slutliga läget för berganläggningen fastställts är möjligheterna att påverka de konstruktiva förutsättningarna mycket små. Bergets faktiska egenskaper sådana som de träder fram vid utsprängningen måste således accepteras.

För att kunna utnyttja bergmekaniken som ett effektivt hjälpmedel vid projektering och planering av bergarbeten måste man skaffa sig kännedom om bergmaterialets egenskaper och det tillstånd

i vilket berget befinner sig.

Även om i princip samtliga bergtekniska parametrar borde beaktas varierar dock det primära behovet av parametrar med framför allt projektets omfattning och art, aktuella geologiska formationer och tidigare erfarenheter av berget i området. Av avgörande betydelse för såväl förutsättningarna att tolka de olika parametrarna som tillförlitligheten i denna tolkning är emellertid de använda undersökningsmetodernas möjligheter att förmedla önskad information.

Borrnings- och borrhålsundersökningar

På basis av inledande allmänna undersökningar samt utförda geofysiska mätningar bedöms behovet av borrhnings- och borrhålsundersökningar. Det är väsentligt att notera att dessa undersökningsmetoder förmedlar information om bergmassan i och lokalt kring själva borrhålet. FIG. 1 ger en översikt av de vanligen förekommande metoderna för undersökning av berg. I denna undersökning har studerats tre metoder för borrhningsundersökningar och två metoder för borrhålsundersökningar (märkta med x i FIG. 1). I en första etapp har dessa metoder ingående analyserats och diskuterats framför allt med avseende på den förmedlade informationens karaktär. Denna andra etapp bygger på särskilt utförda fältförsök där dessa metoder följts upp under noggrann kontroll. Med undantag av metoden för integral sampling är metoderna i

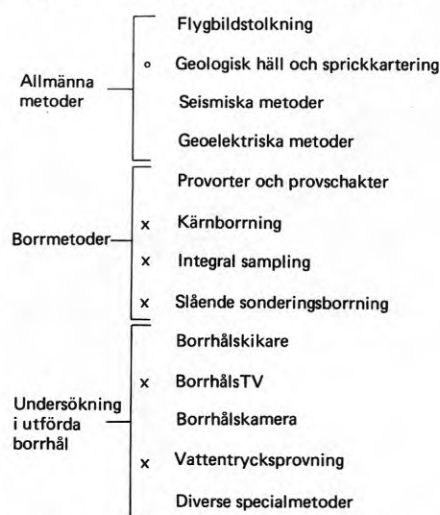


FIG. 1. Metoder för bergundersökningar.

Byggforskningen Sammanfattningar

R17:1975

Nyckelord:

bergmekanik, borrhålsundersökning, undersökningsmetod, tillförlitlighet

Rapport R17:1975 hänför sig till forskningsanslag 710884-9/C 884:2 från Statens råd för byggnadsforskning till Hagconsult AB, Stockholm.

UDK 624.12
624.131.388
SfB (19)
ISBN 91-540-2423-4

Sammanfattning av:

Bergman, M, 1975, *Borrhålsundersökningar i berg. Tillförlitlighetsvärdering av metoder*. (Statens råd för byggnadsforskning), Stockholm. Rapport R17:1975, 69 s., ill. 17 kr + moms.

Rapporten är skriven på svenska med svensk och engelsk sammanfattning.

Distribution:

Svensk Byggtjänst,
Box 1403, 111 84 Stockholm
Telefon: 08-24 28 60
Grupp: konstruktion

R34:1973 beskrivna såsom de utnyttjats vid dessa försök.

Förutsättningar för bedömning

För alla undersökningsmetoder gäller att kvaliteten på den erhållna informationen är helt beroende av fältpersonens skicklighet och noggrannhet. Därför förutsätter den följande karakteristiken att med respektive metod väl förtrogen personal utnyttjas.

En förutsättning för att borrhings- och borrhålsundersökningar skall ge optimal information är vidare att de företagts och initierats av allmänna undersökningar såsom flygfotografering, geologisk kartering etc. ofta kompletterade med seismiska undersökningar. De data som dessa undersökningar resulterar i utgör såväl ingångsdata för inriktning och orientering av borrhålen som lat-hund för utvärdering av de informationer som respektive undersökningsmetod förmedlar. En dylik uppläggning är av central betydelse för en ändamålsenlig insats av borrhings- och borrhålsundersökningar.

Värdering av olika undersökningsmetoders informationsinnehåll

Vid sammanställningen av de olika undersökningsmetodernas möjlighet eller förutsättningar att förmedla upplysningar om bergarter och bergmassa har den parameteruppdelning som framgår av TAB. 1 valts. Uppdelningen är gjord främst med tanke på undersökningsmetodernas verkningssätt och därigenom deras specifika möjligheter att samla informationer.

Tabellen visar respektive undersök-

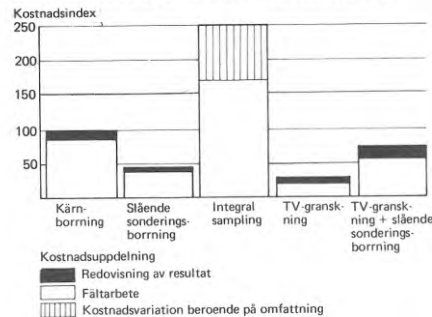
TAB. 1. Planeringsmall för borrhålsundersökningar. Olika undersökningsmetoders förutsättningar att förmedla tillförlitlig information om bergarter och bergmassa.

Undersökningsmetoder	Kärnborrning	Slående sonderingsborrning	Integral sampling	TV-granskning (inkl. slående sonderingsborrning)	Vattenprov, tryckprov		
						Parameter	
Bergart	Bergartskaraktäristika						
	Mineralinnehåll inkl. ev. bindemedel	3	2	3	2	0	
	Kornstorlek	3	0	3	3	0	
	Strukturdrag	3	0	3	2	0	
	Strykning o. stupning	2	0	3	2	0	
Bergmassa	Mekaniska egenskaper	3	1	3	0	0	
	Sprickighet (enskilda sprickor)						
		Sprickor (förekomst)	2	1	3	2	1
	Sprickvidd	0	0	3	3	1	
	Fyllnadsmttr. i sprickor	1	0	2	0	0	
	Fyllnadsgrad i sprickor	0	0	2	2	0	
	Rymdorientering av sprickor	1	0	3	3	0	
	Svaghetszoner						
		Förekomst	2	2	3	3	1
		Bredd av svaghetszon	2	1	3	3	1
Mineralinnehåll i svaghetszon		2	0	2	1	0	
Rymdorientering av svaghetszon	1	0	3	3	0		
Aktuella spänningstillstånd	0	0	0	0	0		
Permeabilitet	0	0	0	0	2		
3 = fullgod information 2 = god, dock icke entydig information 1 = någon (svårtolkad) information 0 = ingen information							

ningsmetods förmåga att förmedla detaljerad information om bergarter och bergmassa. Det framgår ganska klart att de olika metoderna har ytterst varierande förutsättningar att förmedla information om bergets egenskaper.

En jämförelse mellan TAB. 1 och TAB. 2 befäster det i och för sig ganska självklara förhållandet att ökade krav på tillförlitligheten i en undersökning i regel medför högre undersökningskost-

TAB. 2. Schematisk kostnadsjämförelse mellan de olika undersökningsmetoderna. Kärnborrningen har givits index 100 och de övriga metoderna värderas sedan relativt kärnborrning.



nader. Med detta underlag bör man redan i begynnelsestadiet av en projektering kunna diskutera sig fram till en lämplig prestationsrelaterad undersökningsinsats ställd mot den ekonomiska ramen för varje projekt.

Kärnborrning

Kärnborrning har alla förutsättningar att i bra berg lämna ett fullständigt studiematerial för bedömning och utvärdering i form av kärnor och borrhingsprotokoll. Bestämningar av bergmassans bergarter på djupet och motsvarande bergartsgränser kan i normala fall utföras med tillfredsställande säkerhet.

I dåligt berg med de från projekterings-synpunkt särskilt intressanta svaga zonerna lämnar dock kärnborrning alltför ofta ett ofullständigt bedömningsunderlag framför allt beroende på svårigheter att från dessa partier få upp ett representativt kärnmateriale. I normala fall har kärnborrningen dessutom den begränsningen att vidden av övertvänder sprickor och sprickplanens orientering ej kan bestämmas. Utvärderingen av kärnmaterialet blir därför i vissa väsentliga avsnitt behäftad med subjektiv värdering.

Slående sonderingsborrning

En kvantitativ bedömning av de bergtekniskt beroende förändringarna av borrhjningshastigheten vid hammarborrning kan göras men med viss osä-

kerhet. En automatisk registrering av borrhjningshastigheten ökar tolkningsmöjligheten. Den lokalisering av svaga punkter och zoner som erhålls är dock som komplement till andra undersökningsmetoder och då framför allt TV-granskning av väsentlig betydelse.

Integral sampling

Integral sampling metoden förmedlar en mycket fullständig bild av bergmassan inom det område som är relevant för det eller de utförda borrhålen i fråga. När inverkan av sprickor och svaghetszoner anses ha avgörande inflytande på bergmassans beteende och detta anses ha väsentlig betydelse för anläggningen i fråga samt andra metoder ej bedöms kunna ge önskade informationer, torde användandet av integral sampling metoden vara väl motiverad. Metoden kan tillämpas längs hela borrhålet eller endast inom de zoner där bergets kvalitet eller strukturella uppbyggnad är särskilt ögynnsam.

TV-granskning

TV-granskning ger, om den kombineras med håll- och sprickkartering samt sonderingsborrning, ett relativt fullständigt studiematerial i form av granskningsprotokoll och videoband. Utvärderingen blir subjektiv och kräver en erfaren specialist för att uppnå en tillfredsställande prognossäkerhet. Videobanden möjliggör dock att bedömningen av osäkra partier kan delas med andra. Bedömningen av bergmassans struktur kan med TV-granskning ske i nära ostört berg. Erhållna informationer om sprickkaraktär, sprickvidder och svaghetszoner blir härigenom i nära överensstämmelse med verkligheten.

Undersökningsprogram

Skilda projekt och olika geologiska formationer kräver tillgång till olika bergmekaniska och geologiska primära parametrar, vilka till stor del kan ringas in redan på förprojekteringsstadiet. Det torde mot denna bakgrund vara mycket lämpligt att vid projektering utnyttja och kombinera de undersökningsmetoder som har förutsättningar att förmedla så tillförlitlig information som möjligt om de parametrar som kan komma ha betydelse. Det här visade värderingssystemet borde på detta sätt kunna underlätta en optimering av undersökningsinsatsen för varje enskilt projekt inom den kostnadsram som står till buds.

Borehole investigations in rock Evaluation of the reliability of methods

Magnus Bergman

Without exception, some kind of report concerning rock conditions forms the basis for the projecting work in an underground rock excavation operation. Such reports, which may take a great variety of forms, are in turn based on information about the rock and the rock mass obtained by different investigation methods. The character and the reliability of this information is of decisive importance for the result, since it is this information which, in one way or another, will form the basis for rock mechanical analyses, calculations and evaluations during the design stage, as well as for rock mechanical and practical considerations of the contractor during the bidding stage.

The comparative investigations and analyses of existing borehole data which were reported in the Swedish Building Research report R34:1973 have been augmented in this investigation by means of field tests in order to define the capacity of the various investigation methods to provide information, and the degree of reliability of the information provided. Five investigation methods — core drilling, percussive investigation drilling, a method for integral sampling, TV examination of boreholes and water pressure testing — have been studied in the field with this object. In the report the reliability of the information communicated by the various methods is evaluated and it is discussed schematically the costs entailed in using these investigation methods. The result should facilitate an optimization of the investigation activity for each individual project within the framework of costs which is in force.

In underground construction in rock, the surrounding rock mass constitutes the building frame for the opening in question. Once the final location of the opening has been established, there is little chance of changing the constructional conditions. Consequently the actual properties of the rock mass, as it is found when excavating, must be accepted.

In order to use rock mechanics as an effective aid in designing and planning rock excavation work, it is necessary to gain knowledge of the properties of the rock and the state of the rock mass.

Although all rock mechanical parameters should, in principle, be considered, the primary need for parameters varies,

above all with the scope and nature of the project, the geological formations encountered, and previous experience with the rock in the area concerned. But what is decisive both for the possibility of interpreting the various parameters and for the reliability of this interpretation is the ability of the investigation methods employed to communicate the desired information.

Drilling and borehole investigations

The need for drilling and borehole investigations is based on the initial general investigations and geophysical measurements which have been carried out. It is important to note that these investigation methods communicate information about the rock mass in and adjacent to the borehole itself. FIG. 1 lists the methods commonly used for investigations in rock. This research project has studied three methods for drilling investigations and two for borehole investigations (marked × in FIG. 1). In a first stage, these methods were subjected to detailed analyses and discussions with reference to the character of the information communicated. This second stage is based on special field tests in which these methods were followed up under accurate control. With the exception of the method for integral sampling, the methods used are described in R34:1973, as employed in this test.

Prerequisites for evaluation

The quality of the information obtained, in all investigation methods, is entirely dependent on the skill and carefulness

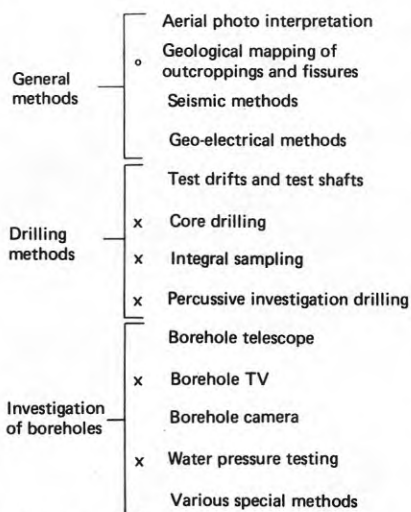


FIG. 1. Methods for investigation of rock.

National Swedish Building Research Summaries

R17:1975

Key words:

rock mechanics, borehole investigation, investigation method, reliability

Report R17:1975 refers to research grant 710884-9/C 884:2 from the Swedish Council for Building Research to Hagconsult AB, Stockholm.

UDC 624.12
624.131.388
SfB (19)
ISBN 91-540-2423-4

Summary of:

Bergman, M, 1975, *Borrhålsundersökningar i berg. Tillförlitlighetsvärdering av metoder*. Borehole investigations in rock. Evaluation of the reliability of methods. (Statens råd för byggnadsforskning), Stockholm. Report R17: 1975, 69 p., ill. Kr. 17.

The report is in Swedish with summaries in Swedish and English.

Distribution:

Svensk Byggtjänst,
Box 1403, S-111 84 Stockholm
Sweden

of the field staff. In the following characterization we then assume that personnel fully familiar with the methods are used in each case.

It is furthermore essential in all drilling and borehole investigations that they should be preceded and initiated by general investigations such as aerial photography, geological mapping, etc, in many cases augmented by seismic investigations. The data provided by these investigations constitutes both the input data for the alignment and orientation of the boreholes and also a guide in evaluating the information given by the various investigation methods. Such an arrangement of the investigation procedure is of fundamental importance for the appropriate use of drilling and borehole investigation methods.

Evaluation of the information content of the various investigation methods

In this account of the possibility or prerequisites of the various investigation methods for communicating information on the rock and the rock mass the categorization of parameters illustrated in TAB. 1 has been selected. This subdivision has been made with a view to the procedure in the different methods and thus their specific possibilities of gathering information.

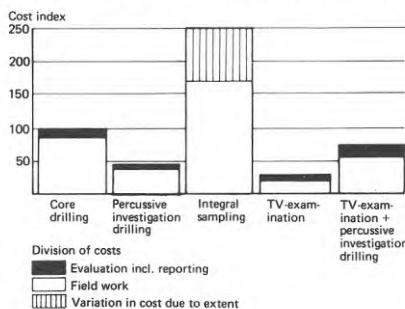
The table shows the ability of each investigation method to communicate detailed information about the rock and the rock mass. It can be noted at the outset that there is very great variation in the ability of the different methods to communicate information concerning the properties of the rock.

TAB. 1. Planning guide for borehole investigations. The capacity of different investigation methods to communicate reliable information about rock types and rock masses.

Investigation methods	Core drilling	Percussive investigation drilling	Integral sampling	TV examination (incl. percussive investigation drilling)	Water pressure testing
Parameters					
Rock type					
Characteristics of rock types					
Mineral content incl. binder if present	3	2	3	2	0
Grain size	3	0	3	3	0
Structural characteristics	3	0	3	2	0
Strike and dip	2	0	3	2	0
Mechanical properties	3	1	3	0	0
Rock mass					
Fisuring (Individual fissures)					
Fissure frequency	2	1	3	2	1
Fissure widths	0	0	3	3	1
Filling material in fissures	1	0	2	0	0
Degree of filling in fissures	0	0	2	2	0
Orientation of fissures	1	0	3	3	0
Weak zones					
Presence	2	2	3	3	1
Width of weak zones	2	1	3	3	1
Mineral content in weak zones	2	0	2	1	0
Orientation of weak zones	1	0	3	3	0
State of stress	0	0	0	0	0
Permeability	0	0	0	0	2
	3 = complete information	2 = good, but not unambiguous information	1 = some information (difficult to interpret)	0 = no information	

A comparison of TAB. 1 and TAB. 2 confirms the quite evident relationship, that increased requirements for reliability in an investigation in general entail higher investigation costs. With this data as a basis, it should be possible at the

TAB. 2. Schematic comparison of costs of the different investigation methods. Core drilling has been assigned the index 100, and the other methods evaluated in relation to core drilling.



initial stage of design to have a fruitful discussion on objective-oriented investigation in relation to the overall economic frame of the undertaking.

Core drilling

Core drilling should be fully capable, in good rock, of providing a complete study material for the assessment and evaluation of the rock in the form of cores and drilling records. Determinations of the rock types deep in the rock mass, and of the corresponding rock type boundaries, can normally be made with satisfactory accuracy.

However, in poor rock containing zones of weakness which are of particular interest from the point of view of design, core drilling far too often provides an incomplete assessment base, due, primarily, to the difficulty of bringing up representative core material from these regions. In addition, core drilling normally has the limitation that the widths of transverse fissures and the orientation of the plane of fissure cannot be determined. Evaluation of the core material must therefore in certain important sections be based on subjective assessment.

Percussive investigation drilling

It is possible to make a quantitative assessment of changes in the rate of penetration in percussion drilling which are dependent on rock conditions, but there is a certain degree of uncertainty. Automatic recording of the rate of penetration enhances the possibility of interpretation. However, the localization of weak points and zones which is achiev-

ed is of substantial importance as a complement to other methods of investigation, chiefly TV examination of boreholes.

Integral sampling

The integral sampling method provides a very complete picture of the rock mass in the area that is relevant to the borehole or boreholes concerned. When it is considered that the effect of fissures and weak zones has a decisive influence on the behaviour of the rock mass, and this is considered to have an essential significance for the rock excavation project concerned, and it is not considered that other methods can provide the information required, there is good reason to employ the integral sampling method. The method can be used along the entire borehole, or only over such zones where the quality of the rock mass, or its structural build up is particularly unfavourable.

TV examination

TV examination, combined with the result of outcropping and fissure mapping plus drilling registrations, provides a relatively complete material for study in the form of recorded comments and video tapes. Evaluation is subjective and requires an experienced specialist if satisfactory prognosis accuracy is to be obtained. The availability of the video tape makes it possible for other experts to participate in the interpretation of uncertain zones. With TV examination it is possible to evaluate the structure of the rock mass in almost undisturbed rock. The information obtained on character of fissures, fissure widths and weak zones very nearly corresponds to actual conditions.

Investigation programme

Different projects and different geological formations make necessary access to different primary rock mechanical and geological parameters, most of which can be identified as early as in the preliminary design stage. In view of this, it then appears very suitable during pre-designing to utilize and combine the investigation methods which offer the greatest chances of communicating as reliable information as possible about the parameters which will be significant. The evaluation system shown in this report should in this way be able to facilitate an optimization of investigation activity for each individual project within the framework of costs which is in force.

Rapport R17:1975

BORRHÅLSUNDERSÖKNINGAR I BERG
TILLFÖRLITLIGHETSVÄRDERING AV METODER

av Magnus Bergman

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 710884-9/C884:2
från Statens råd för byggnadsforskning till Hagconsult AB.

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
ISBN 91-540-2423-4

LiberTryck Stockholm 1975

FÖRORD

Resultatet av den första etappen av detta projekt har redovisats i BFR:s rapport R34:1973 (FIG. 1) och omfattar jämförande undersökningar, beskrivningar och analyser av de aktuella undersökningsmetoderna. Det underlag i form av tillgängliga borrhålsdata, som dessa analyser baserar sig på var dock i väsentliga delar ofullständigt, varför endast en relativ kvalitetsvärdering kunde genomföras i R34:1973.

I denna andra etapp av projektet har i syfte att precisera respektive undersökningsmetods informationsförmedlande förmåga särskilda fältförsök utförts, där metoderna i enlighet med rekommendationer i R34:1973 följts upp under noggrann kontroll.

I och med att den andra etappen av detta forskningsprojekt nu avslutats vill jag här få framföra ett varmt tack till mina kollegor på Hagconsult AB, vilka möjliggjort genomförandet av detta arbete.

Särskilt tack vill jag rikta till direktör Carl-Olof Morfeldt och civilingenjör Lars Lundström för allt det stöd, den inspiration och den konstruktiva kritik som rikligt kommit mig till del. Ett speciellt tack vill jag även rikta till ingenjörerna Alf Norlén och Arne Miljateig för ett starkt personligt engagemang och ett uppoftande lagarbete. Till ing. geolog Bengt Nicolson (illustrationer och foto) och fru Gertrud Nordahl (forskningssekreterare) ber jag att få framföra min tacksamhet för aldrig sinande entusiasm och hjälpsamhet.

Stockholm i oktober 1974

Magnus Bergman

INNEHÅLL

FIGUR- OCH TABELLFÖRTECKNING	6	
1	INTRODUKTION	9
1.1	Allmänt	9
1.2	Problemställning	9
1.3	Parametrar av bergmekaniskt intresse	10
1.4	Undersökningsmetoder (med motiv till urval)	10
1.5	Målsättning	13
2	FÄLTFÖRSÖK	14
2.1	Förutsättningar	14
2.2	Beskrivning av försöksplatser	14
2.2.1	Haninge (30 km SO Stockholm)	14
2.2.2	Forsmark (15 km NV Öregrund)	17
2.3	Försökens uppläggning	18
2.4	Kärnborrning	18
2.4.1	Borrningens utförande	18
2.4.2	Borrningsresultat	19
2.4.3	Kommentarer kärnborrning	19
2.5	Slående sonderingsborrning (hammarborrning)	22
2.5.1	Borrningens utförande	22
2.5.2	Borrningsresultat	28
2.5.3	Kommentarer slående sonderingsborrning	28
2.6	TV-granskning av borrhål	29
2.6.1	TV-granskningens utförande	29
2.6.2	TV-granskningens resultat	29
2.6.3	Kommentarer TV-granskning	29
2.7	Vattentrycksprovning	30
2.7.1	Vattentrycksprovningens utförande	30
2.7.2	Vattentrycksprovningens resultat	31
2.8	Integral Sampling Metoden	31
2.8.1	Introduktion	31
2.8.2	Teknisk beskrivning av ISM	31
2.8.3	Användningsområden	32
2.8.4	Utrustning	32
2.8.5	Kommentarer ISM	36
3	DISKUSSION AV RESULTAT	37
3.1	Förutsättningar för utvärdering	37

3.2	Faktorer som påverkar resultatet	37
3.3	Representativitet	39
3.4	Värdering av undersökningsmetoder	40
3.4.1	Tillförlitlighetsvärdering	40
3.4.2	Borrnings- och borrhålsundersökningars värde från byggnadsgeologisk och bergmekanisk synpunkt	40
3.5	Kostnadsbild	42
4	SLUTSATSER BASERADE PÅ UNDER-SÖKNINGSRESULTAT	44
4.1	Karakteristik av undersökningsmetoder	44
4.1.1	Karakteristik av kärnbörning	44
4.1.2	Karakteristik av slående sonderingsbörning	44
4.1.3	Karakteristik av integral sampling metoden	44
4.1.4	Karakteristik av TV-granskning	45
4.2	Om uppföljning av fältundersökningar	45
4.3	Om utformning av undersökningsprogram	45
5	FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNINGSVERKSAMHET	47
6	REFERENSER	48
BILAGA 1.	Teckenförklaring till bilagor	49
BILAGA 2-18.	Borrhålsredovisningar	50-66
BILAGA 19.	ESOPT rapport	67

FIGUR- OCH TABELLFÖRTECKNING

- FIG. 1 BFR-rapport R34:1973 utgör första etappen av detta projekt och omfattar bl. a. detaljerade analyser av de aktuella undersökningsmetoderna. För att undvika upprepningar kommer i denna redovisning i förekommande fall hänvisningar att göras till R34:1973.
- FIG. 2. Block diagram åskådliggörande omfattningen av en bergundersökning.
- FIG. 3. Metoder för bergundersökningar.
- FIG. 4. Berghäll i Haninge åskådliggörande gnejsens växelagring. De mjuka glimmerrika lagren har blivit urgröpta.
- FIG. 5. Schematisk karta över borrhålen i Haninge.
- FIG. 6. Schematisk karta över borrhålen i Forsmark.
- FIG. 7. Kärnbörning i Haninge (Craelius D 750).
- FIG. 8. Vid passage av partier med dåligt berg kilas lätt kärnbitarna fast inne i kärnröret. Kärnupptaget blir då förenat med vissa svårigheter att få ut kärnan ur kärnröret, vilket medför risk för manuell åverkan på kärnan.
- FIG. 9. Ju skörare bergartsmaterialet i kärnorna är desto större är risken för störande inverkan under kärnupptagen.
- FIG. 10. Kärnlåda med mycket korta kärnbitar och kärnbitsfragment.
- FIG. 11. Slående sonderingsbörning med ROC 601 i Forsmark. Borrsjunkningen registrerades såväl automatiskt som manuellt.
- FIG. 12. Schematisk beskrivning av börningens förlopp.
- FIG. 13. En meters fältutskrift av den automatiska borrsjunkningsregistreringen (jfr BIL. 18).
- FIG. 14. Principen för uttag av borrsjunkningsregistreringen i Haninge (A) resp. Forsmark (B).
- FIG. 15. Uttag av funktioner för automatisk registrering vid hammarbörningen.
- FIG. 16. TV-granskning av ett borrhål.
- FIG. 17. Integral sample.
- FIG. 18. De olika momenten vid integral sampling-börning.
- FIG. 19. Specialutrustning för integral sampling.

- FIG. 20. Injekteringsutrustning för integral sampling.
- FIG. 21. Med ledning av gjorda ytobservationer placeras och riktas borrhål för undersökningar på djupet.
- FIG. 22. Borrhålen förmedlar direkt information om bergmassan i och kring själva borrhålen. Bedömningar av den omgivande bergmassans strukturella uppbyggnad måste därför grundas på antaganden, som kvalitetsmässigt i hög grad beror på karaktären av och tillförlitligheten i de informationer som borrhålen förmedlar.
- TAB. 1. Borrutrustning använd vid de slående sonderingsborrningarna i Haninge och Forsmark.
- TAB. 2. Planeringsmall för borrhålsundersökningar. Olika undersökningsmetoders möjlighet att förmedla tillförlitlig information om bergarter och bergmassa.
- TAB. 3. Schematisk kostnadsjämförelse mellan de olika undersökningsmetoderna. I löptexten definieras omfattning och förutsättningar för jämförelsen. Kärnborrning har åsatts index 100 och de övriga metoderna jämförs sedan med kärnborrning.

Rapport R34:1973

Bergundersökningar Kvalitetsvärdering av undersökningsmetoder

**Carl-Olof Morfeldt
Magnus Bergman
Lars Lundström**

Byggforskningen

FIG. 1.

BFR-rapport R34:1973 utgör första etappen av detta projekt och omfattar bl. a. detaljerade analyser av de aktuella undersökningsmetoderna. För att undvika upprepningar kommer i denna redovisning i förekommande fall hänvisningar att göras till R34:1973.

BFR-report R34:1973 covers the first stage of this project and it comprises i. a. detailed analyses of actual investigation methods. To avoid repetitions reference to R34:1973 will be made in this report in occurring cases.

1 INTRODUKTION

1.1 Allmänt

Underjordsbyggandet har under de senaste 20 åren expanderat mycket kraftigt. Allt fler utrymmen för olika verksamhetsområden förläggs under jord och anläggningarna tenderar att öka i storlek. Enligt prognoser kommer denna trend att fortsätta under den kommande 10-årsperioden och sannolikt ytterligare att förstärkas.

Vid underjordsbyggande i berg utgör den omgivande berggrunden byggnadsstomme för anläggningen i fråga. När väl det slutliga läget för berganläggningen fastställts är möjligheterna att påverka de konstruktiva förutsättningarna mycket små. Bergets faktiska egenskaper sådana som de träder fram vid utsprängningen måste således accepteras. I och med att projektens omfång och storlek växer, ökar behovet av kunskaper om det omgivande bergets tekniska egenskaper.

Oförutsedda förstärknings- och tätningsarbeten i en berganläggning kan i ogynnsamma fall dra med sig kostnader av sådan storleksordning att projektens ekonomi äventyras.

Vid val av bergområde för placering av bergrum eller sträckning av tunnlar är det således av stor betydelse att för ändamålet bästa tillgängliga bergparti utnyttjas, så att förstärknings- och tätningsarbeten kan hållas på en rimlig och acceptabel nivå.

1.2 Problemställning

För att kunna orientera tunnlar och bergrum så lämpligt som möjligt i förhållande till bergmassans strukturer (spricksystem och svaghetszoner etc.) krävs redan i projekteringsstadiet tillgång till ett ingående underlag med uppgifter om bergartsvariationer, sprickfrekvens, sprickvidd, sprickfyllnader, strukturorientering, täthet m. m.

Utförandet av berganläggningar av någorlunda storlek föregås därför i praktiken alltid av, så långt kunskaper och resurser räcker, mer eller mindre grundliga undersökningar. Det utlåtande som blir resultatet av dessa bergundersökningar riktas till projektören och kommer bl. a. att ligga till grund för hans bedömningar och försök att placera och orientera anläggningen på från teknisk-ekonomisk synpunkt gynnsammaste sätt. Det är givetvis oerhört viktigt att de rekommendationer som lämnas i dessa bergundersökningar dels är just de som mottagaren behöver för att fullgöra sitt arbete, dels är grundad på tillförlitliga upplysningar om bergarter och bergmassa. Detta underlag kommer ju på ett eller annat sätt att ligga till grund för såväl bergmekaniska analyser och bedömningar som praktiska överväganden under det följande projekteringsarbetet. För att en relevant tolkning och analys av det primära fältundersökningsmaterialet skall kunna genomföras måste tillförlitligheten i de undersökningsdata som erhållits i fält kunna anges. Det är följaktligen av avgörande betydelse att veta på vilket sätt upplysningarna om bergarter och bergmassa samlats in. Vid bearbetning och tolkning av underlaget

från bergundersökningar i fält föreligger vid okritisk granskning uppenbara risker för felbedömningar då samtliga bergundersökningsmetoder lämnar stort utrymme för subjektiv tolkning och resultatet i hög grad beror av yttre mekaniska faktorer, se vidare R34:1973.

1.3 Parametrar av bergmekaniskt intresse

Vid projektering av en berganläggning föreligger kontinuerligt ett behov av teknisk information angående berggrundens egenskaper, alltifrån det tidigaste förprojekteringsstadiet till och med färdigställandet. Under projekteringsens gång formuleras ideligen såväl allmänna som detaljerade praktiska bergbyggnadsproblem varierande med anläggningens art och områdets geologi.

Projektören (och sedan även entreprenören), som är satt att lösa dessa praktiska problem, har som huvudkälla för inhämtande av tekniska data och uppgifter, utlåtandet från bergundersökningen att tillgå. Dessa informationer kommer således att ligga till grund för analyser, beräkningar och bedömningar som följer.

För att kunna utnyttja bergmekaniken som ett effektivt hjälpmedel vid projektering och planering av bergarbeten måste man skaffa sig kännedom om bergmaterialets egenskaper och det tillstånd i vilket berget befinner sig. De bergtekniska parametrar som bedöms vara väsentliga för projekteringen skall uppskattas, mätas eller på annat sätt anges, Müller et al, 1973.

FIG. 2 illustrerar undersökningsgången vid ett underjordsprojekt och framför allt då kopplingen mellan betraktad bergvolym och gripbara parametrar. Ju mer verklighetsnära bergmassan kan beskrivas, dvs. ju mer representativt de parametrar som skall ingå i beräkningarna kan väljas desto säkrare bergmekaniska bedömningar kan göras. Varje undersökningssteg på figuren innebär att allt större partier av berget tas i betraktande samtidigt som olika bergmekaniskt intressanta parametrar skall bedömas och helst kvantifieras för att kunna utnyttjas i och för bergmekaniska bedömningar och analyser.

Även om i princip samtliga parametrar alltid bör beaktas varierar dock det primära behovet av parametrar med framför allt projektets omfattning och art, aktuella geologiska formationer och tidigare erfarenheter av berget i området. Av avgörande betydelse för såväl möjligheten att tolka de olika parametrarna som tillförlitligheten i denna tolkning är emellertid de använda undersökningsmetodernas möjligheter att förmedla önskad information.

1.4 Undersökningsmetoder (med motiv till urval)

Bergundersökningar har till syfte att lämna de informationer om den aktuella berggrunden, som behövs för att man skall kunna lösa tekniska och ekonomiska frågeställningar på ett optimalt sätt. De för detta ändamål tillgängliga undersökningsmetoderna kan i princip delas upp i tre huvudtyper, FIG. 3.

UNDERGROUND PROJECT

C.O.MORFELDT - M.BERGMAN
HAGCONSULT 1973

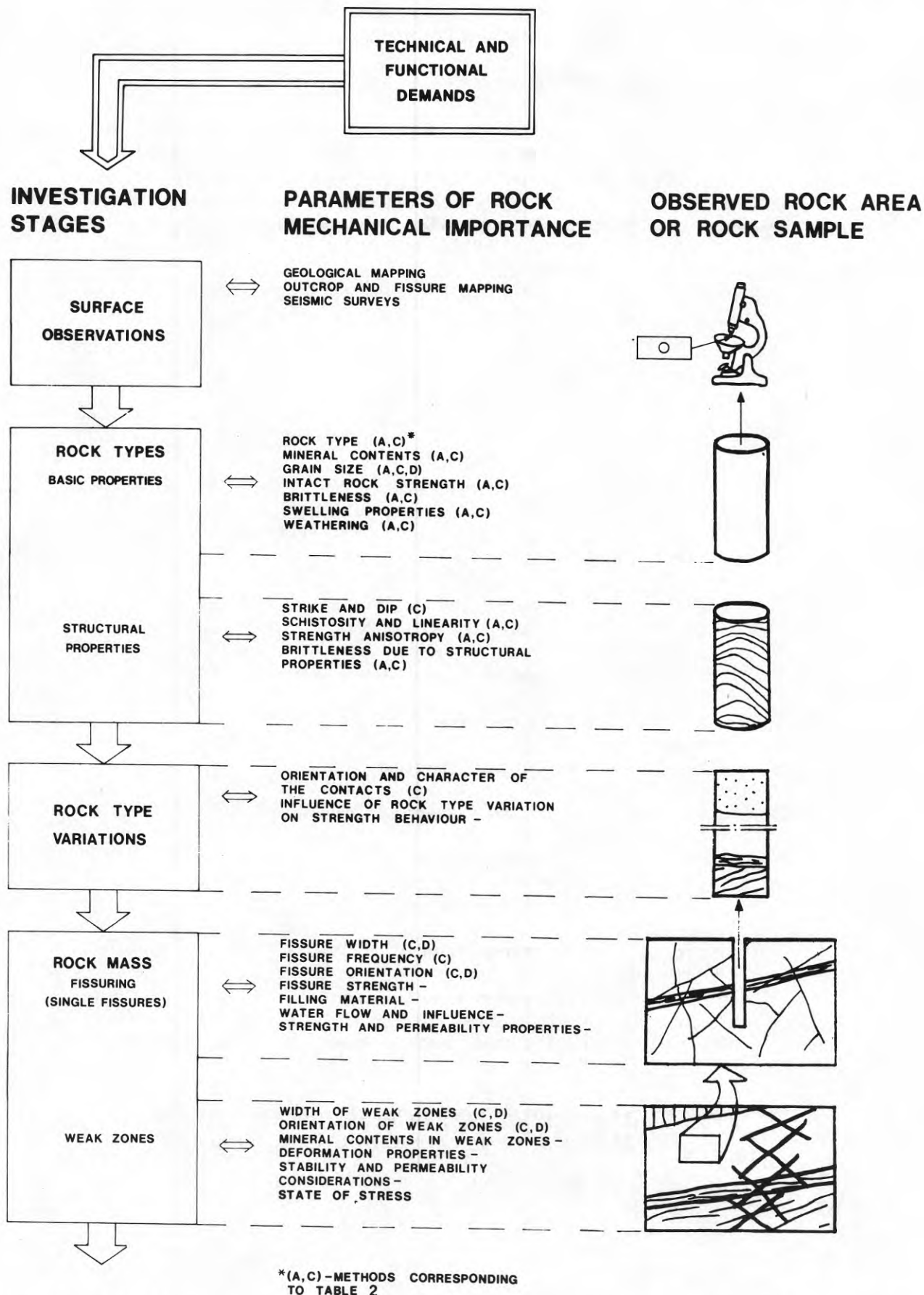


FIG. 2. Block diagram åskådliggörande omfattningen av en bergundersökning. Block diagram illustrating the scope of a rock mass investigation.

1. Allmänna metoder. Denna grupp omfattar sådana metoder som ger mer eller mindre översiktlig information från hela det aktuella bergpartiet. Dessa metoder bör alltid föregå och utgöra underlag för (styra) efterföljande borrhings- och borrhålsundersökningar.
2. Borrhingsmetoder eller metoder för utförande av hålrum under samtidigt insamlade av prov och data om berget.
3. Metoder för undersökning eller värdering av bergarter och bergmassa i utförda borrhål in situ.

För att kunna planera och utforma ett undersökningsprogram så att ett optimalt resultat erhålles erfordras en ingående kännedom såväl om det aktuella projektet utifrån geologisk/bergteknisk synpunkt som om de olika undersökningsmetodernas möjligheter att förmedla information om bergförhållandena.

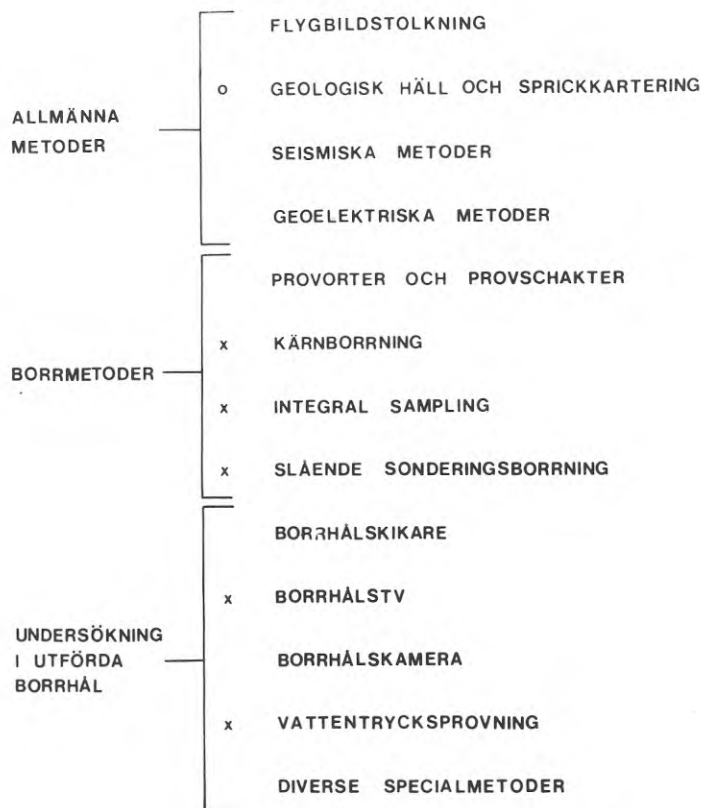


FIG. 3. Metoder för bergundersökningar.
Methods for rock mass investigations.

På basis av inledande allmänna undersökningar bedöms behovet av borrhings- och borrhålsundersökningar. Det är väsentligt att notera att dessa undersökningsmetoder förmedlar information om bergmassan i och kring själva borrhålet. Detta forskningsobjekt behandlar ~~ej de allmänna undersökningsmetoderna~~ ovan annat än på så sätt att en detaljerad geologisk håll- och sprickkartering initierat och föregått de utförda borrhings- och borrhålsundersökningarna.

I denna undersökning har valts att studera tre metoder för borrhingsundersökningar och två metoder för borrhålsundersökningar (märkta med x i FIG. 3), vilka metoder kan sägas vara de vanligen förekommande. I en första etapp har dessa metoder ingående analyserats och diskuterats framför allt med avseende på den förmedlade informationens karaktär, R34:1973. Denna andra etapp bygger på särskilt utförda fältförsök, där dessa metoder följts upp under noggrann kontroll. Med undantag av metoden för "Integral Sampling" är metoderna i R34:1973 beskrivna såsom de utnyttjas vid de här nämnda försöken.

Metoden för integral sampling ingår inte i dessa fältförsök utan har studerats vid besök på Laboratório Nacional de Engenharia Civil, (LNRC), i Lissabon.

1.5 Målsättning

För att sakligt kunna jämföra och värdera olika bergundersökningsmetoder är det nödvändigt att precisera och karakterisera respektive metoders informationsförmedlande förmåga samt graden av tillförlitlighet i de förmedlade informationerna.

Denna utredning syftar till att mot denna bakgrund utforma en mall som på ett allmängiltigt sätt redovisar dessa undersökningsmetoders parameterförmedlande förmåga. Det är väsentligt att påpeka att dessa fältförsök baserar sig på undersökningsmetoderna sådana som de utnyttjas i dag och sålunda ej syftar till att direkt utveckla eller modifiera de olika utrustningarna och metoderna.

2 FÄLTFÖRSÖK

2.1 Förutsättningar

Denna undersökningsetapp omfattar ett kontrollerat utförande av ett antal parvisa kärnborrhål och hammarborrhål i omedelbar närhet av varandra. I dessa har sedan TV-granskning och vattentrycksprovning utförts. Vid undersökningarna har de faktorer, som behandlats och karakteriserats i R34:1973 observerats och registrerats.

För att hålla kostnadsramen för projektet var avsikten att utnyttja borrhål som utfördes inom Hagconsults ordinarie uppdragsverksamhet.

Ett från forskningssynpunkt väsentligt krav för genomförandet av hela detta projekt var att kärnborrhålen och de slående sonderingsborrhålen utfördes i omedelbar närhet av varandra. Dessutom måste kärnborrningen utföras med en sådan diameter att TV-granskningen av kärnborrhålet kunde möjliggöras, dvs. yttre håldiameter minimum 56 mm.

Det visade sig tämligen svårt att hitta lämpliga försöksobjekt som uppfyllde såväl de ekonomiska som de tekniska förutsättningarna. Tack vare vänligt tillmötesgående från Statens Vattenfallsverk kunde fältförsöken genomföras i samband med de två undersökningar som verket genomförde dels i Haninge under tiden augusti - september 1973, dels i Forsmark under tiden oktober 1973 - mars 1974. Det visade sig dock att ehuru dessa objekt uppfyllde de väsentligaste kraven som hade uppställts för dessa fältförsök, fanns det dock vissa begränsningar i objektens omfattning gentemot de tekniska kraven. Dessa begränsningar gällde främst möjligheten för projektgruppen att placera och orientera hålen, håldjupen samt antalet försöksområden och därigenom spridningen på de geologiska och bergtekniska miljöerna. Detta har reducerat möjligheten till direkta jämförelser mellan de i omedelbar närhet liggande borrhålen, vilket framgår av redovisningen nedan. Antalet undersökta borrhål har däremot på anslagsmottagarens bekostnad fördubblats i jämförelse med vad som angavs i projektets anslagsansökan. Detta för att erhålla ett fullständigare bedömningsunderlag.

Av tidskäl och kostnadsskäl ansåg vi det vara angeläget att genomföra denna undersökning trots de ovan nämnda avvikelserna.

2.2 Beskrivning av försöksplatser

2.2.1 Haninge (30 km SO Stockholm)

Haninge kraftstations tre alternativa lägen ligger alla på ett gnejsunderlag. Större diskontinuiteter syns gå utanför området. Landskapet är svagt kuperat med hållar i dagen inom alla höjdparter och de kvartära avlagringarna har en mäktighet i sänkorna av omkring 6 m.

Berggrunden utgörs av skiffergnejs, huvudsakligen granatådergnejs, Stålhös (1969). Strykningen hos de naturliga lagerytorna

i berget är ca 70° och ytorna stupar från vinkelrätt till 70° mot SO. Bergarten är bildad av vittringssediment som i form av lerskiffer förgnejsats och omvandlats i hög grad. Växellagringen framgår tydligt i hållarna, jfr FIG. 4. De mer vitt-ringsresistenta partierna finns kvar på hällen som små parallella ryggar och den för bergarten karakteristiska växellagringen framträder mycket klart. Kärnorna från de olika borrhålen ger en mer differentierad bild av bergarterna. Alla kärnorna innehåller större eller mindre grovkorniga partier av pegmatit, ibland utbildad som regelbundna pegmatitliror.

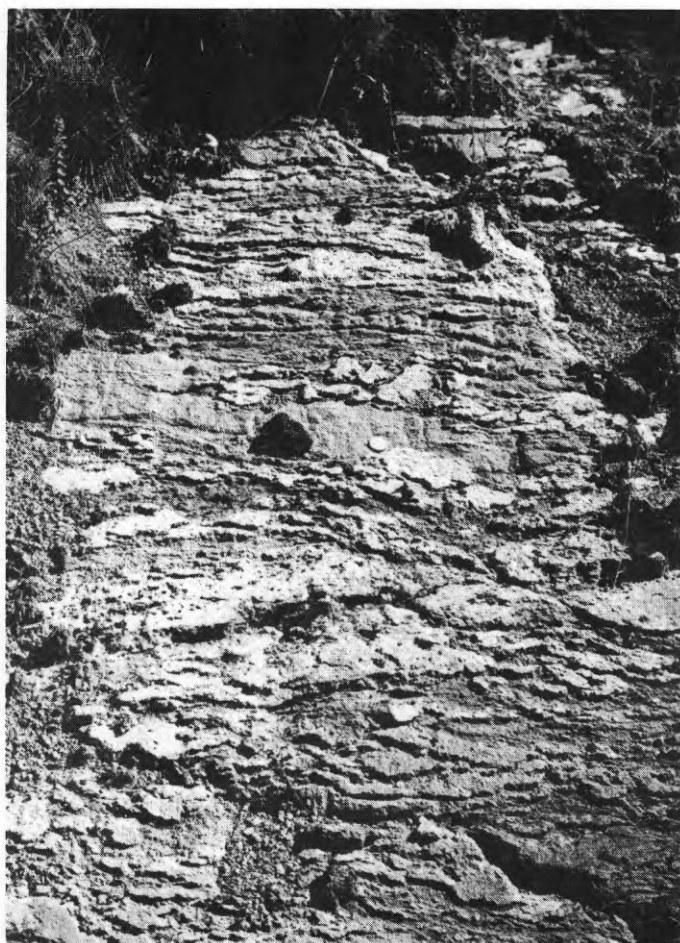


FIG. 4. Berghäll i Haninge åskådliggörande gnejsens växellagring. De mjuka glimmerrika lagren har blivit urgröpta.

Outcrop in Haninge illustrating the alternating bedding of the gneiss. The soft mica rich layers have been hollowed out.

Tre alternativa områden har undersökts. Vattenfall har inom respektive delområde placerat och riktat kärnborrhålen på basis av resultat från tidigare utförda seismiska undersökningar. Respektive delområde omfattar följande borrhål, se FIG. 5.

Område	Borrhål
1	D1, D2, H1, H2
2	D3, D4, H3, H4
3	D5, D6, H5

Inom varje område har ett hammarborrhål (H2, H3, H5) placerats i omedelbar närhet (2 - 3 m) och parallellt med motsvarande kärnborrhål (D2, D3, D5).

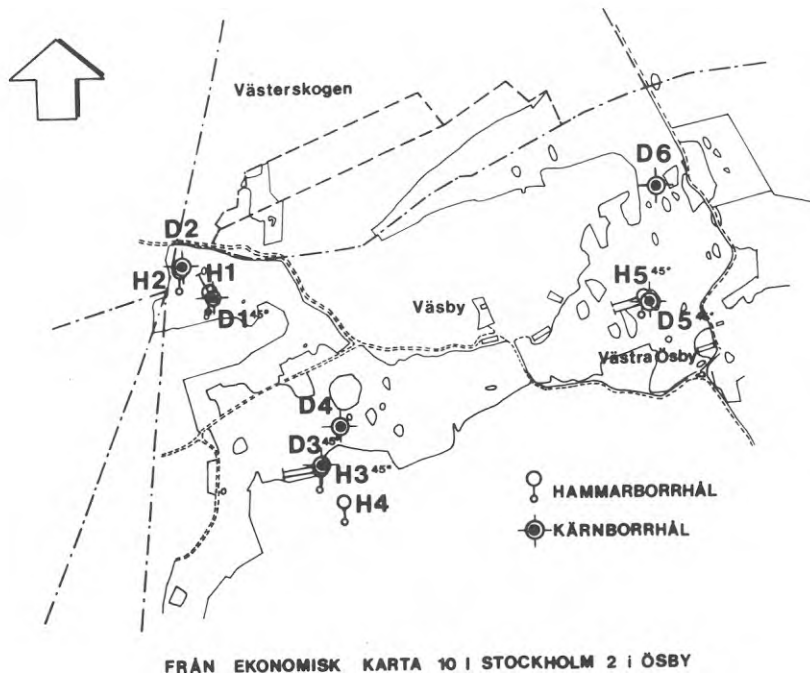


FIG. 5. Schematisk karta över borrhålen i Haninge.
Schematic map of the drill holes in Haninge.

De sprickor som förekommer är små och ofta fyllda med kalcit. Antalet öppna sprickor är litet. Bergarterna i läge 1 innehåller, på grund av en lägre omvandlingsgrad, flest öppna sprickor och sprickzoner. Läge 2 är obetydligt sprickfattigare än läge 3 och bägge kan sägas innehålla mycket sprickfattigt berg.

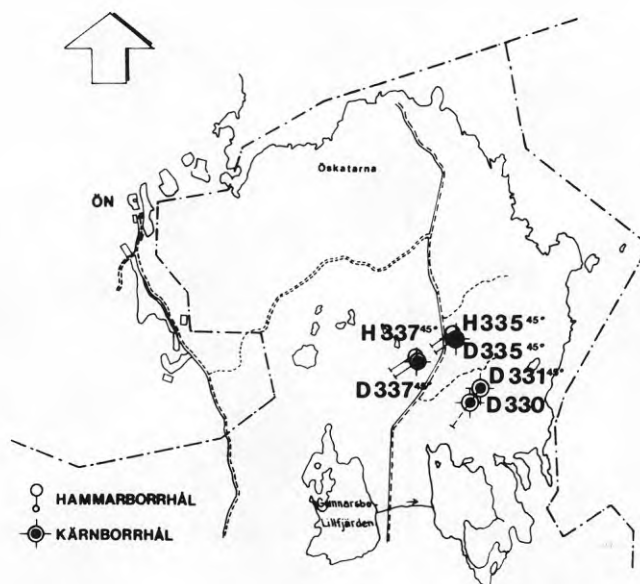
Samtliga de uppföljda lutande hålparen är parallella med gnejsens förskiffringsriktning. På grund av denna orientering ger tyvärr de parvis bredvidliggande kärn- och hammarborrhålen mycket knapphändig sinsemellan korrelerbar information.

2.2.2 Forsmark (15 km NV Öregrund)

Bergundersökningen utfördes för att skaffa underlag för placering av aggregat 3 och 4 vid Forsmarks kraftstation.

I stort utgöres berggrunden kring Forsmarks kraftstation av ådergnejser och graniter tillhörande mellersta Sveriges äldsta urberg.

Lokalt utgöres berggrunden av saliska (sura) och intermediära gnejsgraniter rikligt genomsatta av pegmatiter. Brantstående grönstengångar av varierande ålder med oftast amfibolitisk karaktär förekommer även. Ytberget är tämligen hårt bankat med talrika horisontella sprickor och skölar, som nära ytan oftast är jordfyllda. Sprickfrekvensen avtar dock markant mot djupet och bergkvaliteten kan i huvudsak karakteriseras som mycket god.



FRÅN EKONOMISK KARTA 13 I ÖSTERLÖVSTA O F RÅNGSAND

FIG. 6. Schematisk karta över borrhålen i Forsmark.

Schematic map of the drill holes in Forsmark.

Vattenfall har inom området placerat och riktat kärnborrhålen inom fem delområden på basis av resultat från tidigare utförda seismiska undersökningar. Det undersökta området omfattar borrhålen D330, D331, D335, H335, D337 och H337, FIG. 6.

Då borrhålen indikerade mycket bra och likartade bergförhållanden ansågs 2 st hammarborrhål parallellt med de lättast åtkomliga lutande kärnborrhålen vara tillräckligt. Borrhålen D330 och D331 har dessutom TV-granskats.

2.3 Försökens uppläggning

Fältförsöken har utförts i anslutning till de två ovan nämnda undersökningsobjekten i Haninge och i Forsmark.

Kärnborrningen har utförts av Statens Vattenfallsverk i Haninge genom entreprenör och i Forsmark i egen regi. Slående sonderingsborrning, TV-granskning och vattentrycksprovning har utförts av Hagconsult AB. Under samtliga undersökningsmoment fanns särskilt avdelad personal på platsen för att i detalj följa undersökningsförloppet i enlighet med rekommendationerna i R34:1973. Resultaten av försöken framgår av den följande redovisningen.

2.4 Kärnborrning

2.4.1 Borrningens utförande

Kärnborrningen utfördes såväl i Haninge som i Forsmark med diamantborrmaskin Atlas Copco Craelius D 750, FIG. 7.



FIG. 7. Kärnborrning i Haninge (Craelius D 750).
Core drilling in Haninge (Craelius D 750).

Håldiametern var i båda fallen 56 mm, vilket resulterade i 42 mm borrhåll. 3 m kärnrör av typ dubbelt kärnrör användes. Borrhål D4 och D6 i Haninge utfördes med 46 mm håldiameter då dessa ej skulle TV-granskas. Foderrörborrningen genom överlagrande jord utfördes dels med kärnborrning (duplex-borrning), dels med slående hammarborrning (foderrörborrning). Borrningen drevs några decimetrar ner i fast berg varefter foderrören göts fast i berget.

Borrningen följdes kontinuerligt (Haninge) utav en geolog som noterade händelser av intresse under såväl borrning som upptagning. Borrningarna utfördes för övrigt helt i enlighet med beskrivning i R34:1973.

2.4.2 Borrningsresultat

Resultatet från borrningarna framgår av Bil. 2, 4, 6, 8, 10, 12-15 och 17 där kärnborrhål D1 - D6 (Haninge) och D330, D331, D335 och D337 (Forsmark) finns redovisade. Borrprotokollen från Haninge är upprättade av den geolog som följt borrningarna, vilket medför att dennes noteringar är integrerade i resultatet. Borrprotokollen från Forsmark är baserade på kartering utförd av statsgeologen, fil.dr Walter Larsson.

2.4.3 Kommentarer kärnborrning

Avsikten har som nämnts ovan varit att följa diamantborrningarna enligt den mall som rekommenderats i R34:1973, sid. 58-63. De funktioner som där rekommenderas för uppföljning är borrsjunkning, matningstryckvariationer samt förändringar i spolvattenflödet. De maskiner som användes i Haninge var utrustade med otillförlitliga eller defekta mätare för registrering av såväl matningstryck som spolvattenflöde varför denna uppföljning dessvärre blev otillfredsstillande.

I Forsmark drog kärnborrningarna ut på tiden och då bergkvaliteten var mycket god (se borrprotokollen) avbröts den detaljerade uppföljningen av kärnborrningen på grund av tids- och kostnadsskäl. Vid borrningarna i Haninge har andelen sekundärsprickor, dvs. sprickor orsakade av borrning och hantering, blivit onormalt stor. Trots att borrningarna och kärnupptagen kontinuerligt följts av en geolog, har det varit problem med att skilja de primära sprickorna från de sekundära. Dessa strukturberoende hållfasthetsgenskaper understryker mycket tydligt borrspersonalens inverkan på kärnornas slutliga kondition, FIG. 8. Den manuella hanteringen vid urtagning av kärnan ur kärnröret vid odelbart dubbelt kärnrör orsakar så stora störningar på det utvunna kärnmaterialet att resultatet genomgående blir svårtolkat vid passage av de kanske intressantaste avsnitten nämligen zoner med dålig sammanhållning, se FIG. 9.

Nyttan av en alltför detaljerad uppföljning av borrhningsförloppet kan därför ifrågasättas vid kärnborrning som premierar kapacitet på bekostnad av kvalitet och noggrannhet.

I huvudsak kan dock fastslås att den i R34:1973 genomförda

diskussionen och analysen av kärnbörningsmetoden i och för bergtekniska undersökningar har bekräftats.

Det finns möjligheter att vid konventionell kärnbörning erhålla mer detaljerade informationer om bergmassan med diskontinuiteter. Dels finns utrustning för orientering av kärnan inne i kärnröret i samband med varje nytt kärnupptag, dels finns möjlighet att borra med delbart inre kärnrör, speciella kärnbörrekronor med spolning i ytterdelen av den nedre för kärninmatningsfunktionen känsliga krondelen samt borring med tre-dubbla kärnbörör. Ingen av dessa speciella komponenter har studerats i denna fältundersökning, dock skall vissa synpunkter på dessa framläggas.



FIG. 8. Vid passage av partier med dåligt berg kilas lätt kärnbitarna fast inne i kärnröret. Kärnupptaget blir då förenat med vissa svårigheter att få ut kärnan ur kärnröret, vilket medför risk för manuell åverkan på kärnan.

When passing zones of poor rock pieces of core are easily jammed in the core barrel. In such cases core collecting is associated with difficulties in removing the core from the core barrel, which involves risk for manual damage to the core.

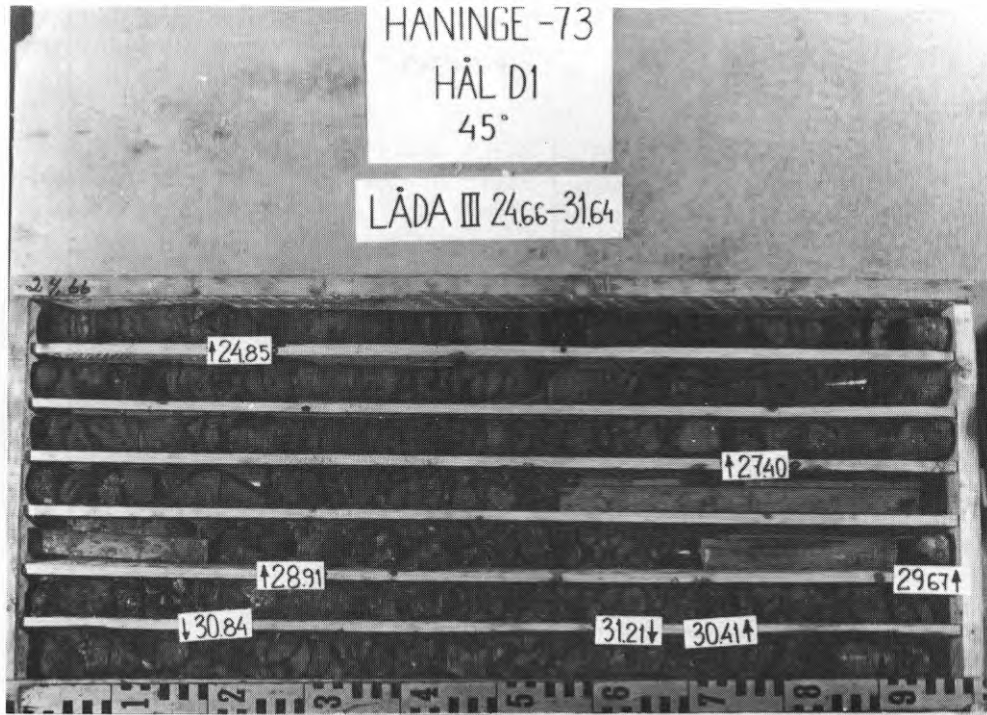


FIG. 9. Ju skörare bergartsmaterialet i kärnorna är desto större är risken för störande inverkan under kärnupptagen. The more fragile the rock material is the larger the risk is for disturbance during the core collection.

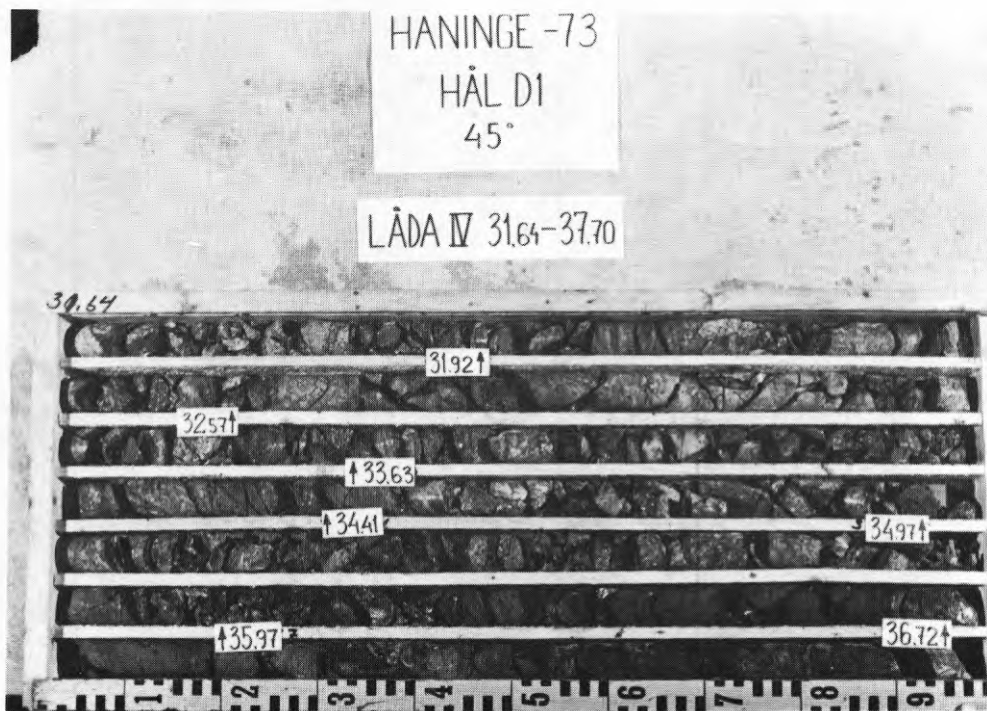


FIG. 10. Kärnlåda med mycket korta kärnbitar och kärnbitsfragment. Core case with very short pieces of cores and core fragments.

Orienteringsanordningen har alla möjligheter att fungera i bra berg med ej alltför mycket "kärnkross". I dåligt berg med uttalade svaghetszoner med mycket korta kärnbitar blir i varje upptag, se FIG. 10, endast den översta biten orienterad och således blir resultatet mycket svårtolkat alternativt kärnupptagen mycket täta varvid kostnaden för kärnbörningsinsatsen blir betydligt högre än normalt. I fråga om delade kärnrör, tre-dubbla kärnbörör och specialkronor för spolningsfunktionen är sådana utrustningar förhållandevis oprövade, i varje fall i hårda formationer med plötslig övergång i svaga zoner. Dessa typer av utrustningar är mycket intressanta och borde prövas i bergtekniska undersökningssammanhang då de definitivt har möjlighet att effektivare skydda kärnan mot störning så väl under börningsförloppet som under kärnupptaget.

2.5 Slående sonderingsbörning (hammarbörning)

2.5.1 Börningens utförande

Den slående sonderingsbörningen utfördes såväl i Haninge som i Forsmark med larvbandsburna börningsaggregatet Atlas Copco ROC 601 utrustad med separatroterad börmskin BBE 57-01, FIG. 11. Utrustningen i övrigt framgår av TAB. 1.



FIG. 11. Slående sonderingsbörning med ROC 601 i Forsmark. Borrsjunkningen registrerades såväl automatiskt som manuellt.
Percussive investigation drilling with ROC 601 at Forsmark. The penetration rate is recorded both automatically and manually.

Utrustning	Dimension	Typ
Bergborrkrona	76 mm (3")	Fyrskärs hårdmetallkrona
Borrstål	38 mm (1 1/2"x10")	Skarvborrstål R16
Excenterborrkrona	3"	ODEX
Foderrör	84/77	Casingrör (Craelius)
Spolmedel i jord		Skum DFA 51
Spolmedel i berg		Vatten

TAB. 1. Borrutrustning använd vid de slående sonderingsborrningarna i Haninge och Forsmark.

The drilling equipment used at the percussive investigation drillings at Haninge and Forsmark.

Foderrörborrningen genom överlagrande jord utfördes med 3" ODEX excenterborrningsutrustning applicerad på ovannämnda borrhög. Foderrören borrades några decimeter ner i berg varefter det göts fast i berget. Därpå fortsatte borrningen vidare i berg genom det med rör infodrade hålet, se FIG. 12.

Borrningarna utfördes i stort sett i enlighet med rekommendationerna i R34:1973, sid. 47-53. Samtliga hammarborrningar som ingick i dessa fältförsök följdes upp såväl med konventionell manuell registrering av borrsjunkning, dvs. angivande av tid per 20 cm borrsjunkning som med automatisk, kontinuerlig registrering av borrhöghetsförloppet. Detta registreringsförfarande bygger på en modifierad apparatur som utvecklats av Hagconsult för sin ordinarie verksamhet. Den återger i varje ögonblick djupet som funktion av tiden, den momentana borrsjunkningshastigheten, variationer i matningsbelastning samt borrhögens rotationshastighet, se vidare FIG. 13. I Haninge togs borrsjunkningsförändringarna ut direkt från matningsanordningens kedja (FIG. 14), vilket medförde att svårtolkade mekaniska störningsmoment överlagrade och influerade registreringsutskriften. Vid borrhögarna i Forsmark togs i stället borrsjunkningsvariationerna ut från en enkel fjäderavlastad sidoanordning (FIG. 14), som endast påverkades av borrhögslädens rörelser, dvs. i huvudsak borrhögens verkliga rörelse. Anordningen för uttag av den momentana borrsjunkningshastigheten var ej installerad vid borrhögarna i Haninge men för att underlätta uppritning av borrsjunkningskurvan kompletterades registreringsanordningen med denna funktion till Forsmarks-borrhögarna.

Rotationshastigheten och variationer i matningsbelastning erhålls genom kontinuerlig registrering av nackadapters rotationshastighet respektive förändringarna i matningspådragets läge, FIG. 15.

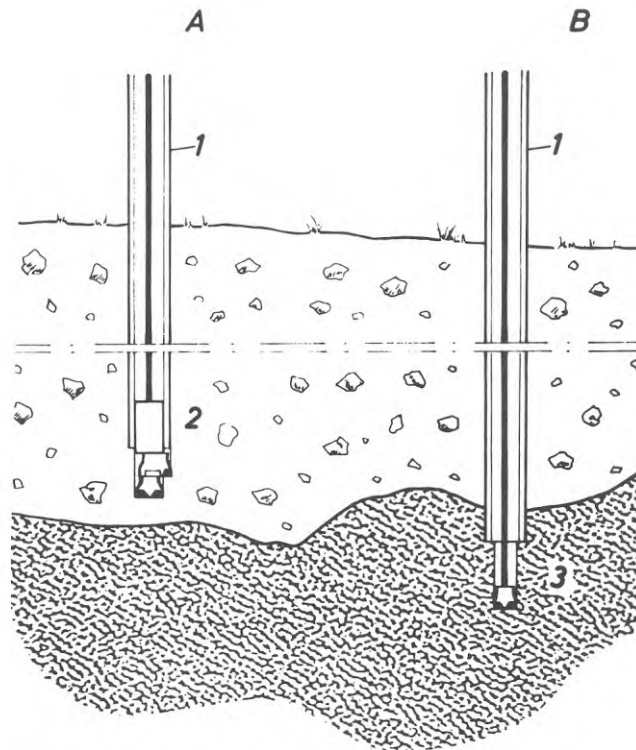


FIG. 12. Schematisk beskrivning av borrnings förlopp.

A: Foderrören (1) borras, med hjälp av en utanför dessas ytterdiameter rymmande excenterborrkrona (2), ned genom jordlagren och någon decimeter ner i berggrunden, varefter borrstålen med excenterkronan tas upp.

B: Borrstålen stoppas åter ned genom foderrören (1) och slående sonderingsborrning med standardborrkrona (3) påbörjas.

Schematic description of the drilling operations.

A: The casing tubes (1) is drilled by means of an excentric bit (2), reaming outside the outer diameter of the casing tubes while working, through the overburden and a few dicimeters into the bedrock after which the drill rods with the excentric bit is lifted up.

B: The rods are again lowered inside the casing tubes (1) and percussive investigation drilling with a standard tungsten carbide bit (3) is started.

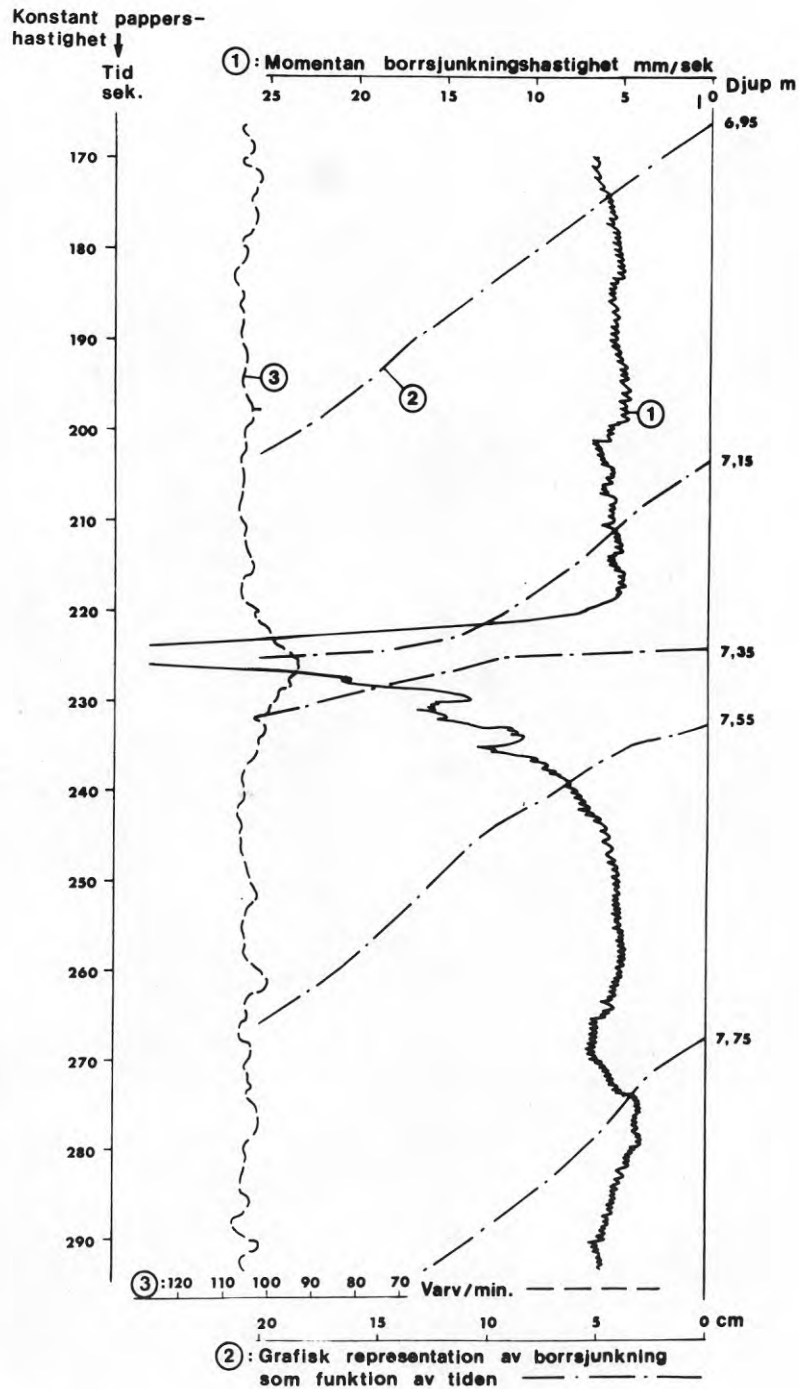


FIG. 13. En meters fältutskrift av den automatiska borrsjunktionsregistreringen (jfr BIL. 18). Registreringen av matningen var vid tillfället i fråga ur funktion. Pappersremsan rör sig med konstant hastighet genom skrivaren varför djupmarkeringarnas täthet varierar, se släppan från 7,23 till 7,52 m.

Kurva 1 redovisar den momentana borrsjunktionshastigheten.
 Kurva 2 återger borrhörens läge som funktion av tiden där varje svep över papperet representerar 20 cm sjunkning.
 Kurva 3 återger borrhörens rotationshastighet.

One meters field log from the automatic drilling speed recording (compare BIL. 18). The recording of changes in feed-force was out of function at this occasion. The paper ribbon is moved at a constant speed through the recorder, which means that the distance between the depth marking varies, see the cracks from 7.23 to 7.52 m.

Curve No. 1. indicates the momentary rate of penetration.
 Curve No. 2. shows the position of the bit as a function of the time, where every sweep represents 20 cm downward movement.

Curve No. 3. shows the rotation speed of the bit.

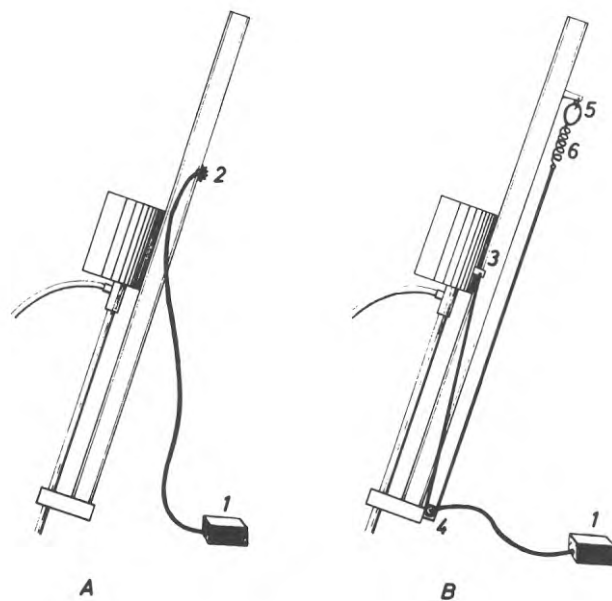


FIG. 14. Principen för uttag av borrarjunktionsregistreringen i Haninge (A) resp. Forsmark (B).

1. Låda för omvandling av mekanisk impuls till elektrisk dito för vidare befordran till skrivare.
2. Kugghjul som drives av matarbalkens kedja och som vid rotationen förmedlar impuls till (1).
3. Infästning i bormaskinens släde.
4. Kugghjul som vid rotation förmedlar mekanisk impuls till (1).
5. Infästning av wire-trumma på matarbalk.
6. Fjäder i wire-trumma som håller kedjan över (4) sträckt vid slädens rörelse.

Principles for extraction of rate of penetration recording at Haninge (A), resp. Forsmark (B).

1. Case where conversion of mechanical impulses to electrical ones takes place for transfer to recorder.
2. Cog-wheel, driven by the chain of the feed beam, transferring the impulse to (1).
3. Lock in the cradle of the drill.
4. Cog-wheel, at rotation transferring mechanical impulses to (1).
5. Fixture for the wire-drum to the feed beam.
6. Spring at the wire-drum tightening the chain at (4) when the cradle moves.

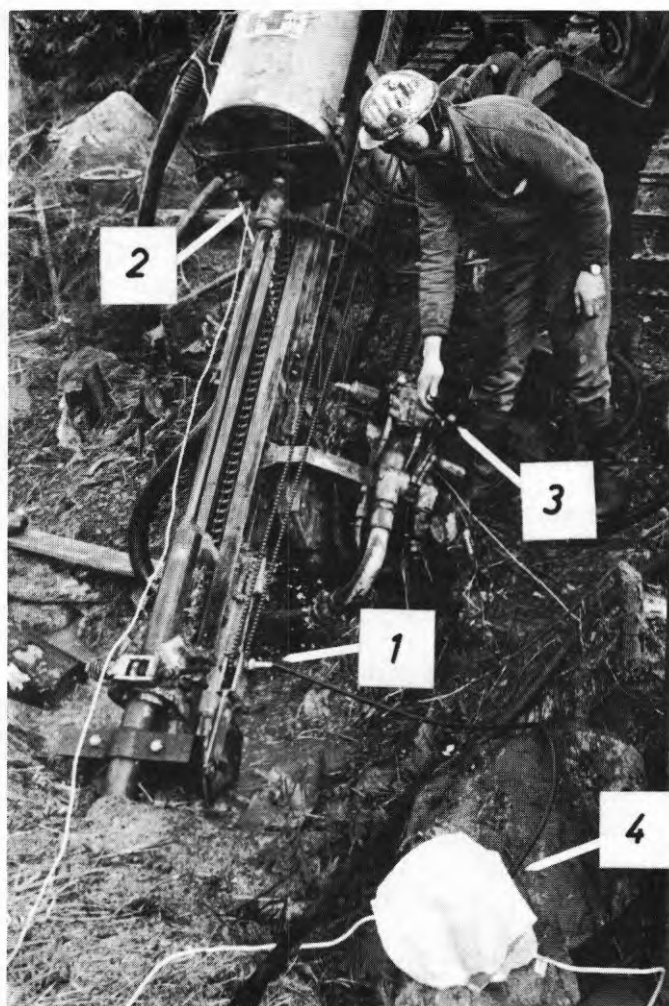


FIG. 15. Uttag av funktioner för automatisk registrering vid hammarbörningen.

1. Borrskningshastigheten tas ut från kugg-hjulet vid pilen som vid slädens rörelse genom kedjan bringas att rotera och då förmedlar mekanisk impuls till (4).
2. Rotationshastigheten erhålles genom att registrera nackadapters rotation.
3. Matningsbelastningens variation erhålles genom registrering av matningspådragets förändringar.
4. Låda för omvandling av mekaniska impulser till elektriska dito.

Extraction of functions for automatic recording at percussive investigation drilling.

1. Rate of penetration extracted from the cog-wheel (at the arrow) which at movements of the cradle is brought into rotation by the chain, thereby transferring mechanical impulses to (4).
2. Rate of rotation is obtained through recording the rotation of the shankadapter.
3. Variation in feed load is obtained through recording of changes in the position of the feed valve.
4. Case where mechanical impulses are converted into electrical ones.

Eftersom den slående bergborrningen genomfördes med vattenspolning avbröts kaxprovtagningen efter det första borrhålet då det visade sig att de tillvaratagna kaxproverna var mycket svåra att orientera till rätt nivå (R34:1973, sid. 36). Detta kunde konstateras vid jämförelse med kärnorna från de omedelbart bredvid liggande kärnborrhålen.

Slipning av borrhälskronor utföres efter behov. Hålen var genomgående tämligen korta varför i flertalet hål borrarningen kunde utföras utan omslipningar av borrhälskronan. I Forsmark var dock bergarterna mycket hårda beroende på hög kvartshalt, vilket medförde snabb nedslitning och flera kronbyten.

Borrningarna följdes kontinuerligt utav med metoden väl förtrogna fältingenjörer som svarade för såväl den manuella som den automatiska registreringen och de provtagningar som utfördes under borraringsförloppen.

2.5.2 Borrningsresultat

Resultatet från borrarningarna framgår av BIL. 3, 5, 7, 9, 11, 16 och 18 där hammarborrhål H1 - H5 (Haninge) och H335 och H337 (Forsmark) finns redovisade. Protokollen är upprättade av den fältingenjör som övervakade borrarningarna. Vidare finns i BIL. 19 en redovisning från ett särskilt borrhål för jordbergslagesbestämning utförd utanför denna undersökning. Denna redovisning gjordes i anslutning till ESOPT's (European Symposium On Penetration Testing) fältdemonstrationsutställning i Stockholm 4 - 7 juni 1974 och ger en ganska klar bild av hur den automatiska registreringen vid slående sonderingsborrning fungerar allmänt.

Hammarborrningsresultatet visar även förekommande hållfasthetsanisotroper i bergarterna. Borrkronan kommer omväxlande att slå igenom berg bestående av lösare och hårdare mineral, vilket resulterar i en mer eller mindre ojämn och ryckig sjunkningshastighet. Detta illustreras synnerligen väl på vissa av borrarprotokollen och då kanske framför allt de från Haninge.

2.5.3 Kommentarer slående sonderingsborrning

Den slående sonderingsborrning som utförts vid dessa fältförsök har som nämnts väsentligen genomförts i enlighet med rekommendationer i R34:1973. Slående sonderingsborrning torde med tanke på den förhållandevis våldsamma borrarningstekniken, som denna metod bygger på, ej gå att förfina i väsentligt högre grad än som gjorts vid dessa fältförsök. Man kan konstatera att den karakteristik av slående sonderingsborrning som redovisades i R34:1973, sid. 54-55, i alla väsentligheter är korrekt.

Den automatiska registreringen av borrsjunkningen innebär vissa definitiva fördelar jämfört med manuell tidtagning, nämligen:

1. Den mänskliga faktorn vid manuell tidtagning kan elimineras och uppmärksamheten riktas på andra väsentliga faktorer såsom lufttryck, spolvatten, kaxtransport m. m.

2. Ett faktiskt opåverkbart dokument i form av utskrift finns tillgängligt för analys.
3. En relativ bild av bergets karaktär erhålles, se FIG. 14. Vid efterföljande redovisning kan ointressanta avsnitt schematiseras. Det väsentliga är dock att de partier där man vid analys funnit förhållanden av intresse kan detaljstuderas.

Slående sonderingsborrning torde direkt påvisa större diskontinuiteter samt enskilda sprickor av ned till cirka cm-storlek. Fältförsöken har enligt TV-granskningen i såväl Haninge som i Forsmark med några få undantag visat på små enskilda sprickor av mm-storlek eller mindre, vilka i de flesta fall ej givit tolkningsbart utslag vid borrhningsregistreringen. Vissa ytterligare synpunkter kommer att behandlas senare i denna rapport.

2.6 TV-granskning av borrhål

2.6.1 TV-granskningens utförande

TV-granskningen utfördes såväl i Haninge som i Forsmark med den TV-utrustning som finns beskriven i R34:1973, sid. 71-72, dock med den skillnaden att en mindre kameraenhet användes, som inklusive det vattentäta höljet hade diametern 47 mm. Detta innebar att 56 mm kärnborrhål kunde granskas om än med vissa problem på grund av den ringa differensen mellan kameradiameter och håldiameter. TV-granskningen föregicks regelmässigt av renspolning av borrhålen och tillgick även för övrigt helt i enlighet med R34:1973, sid. 72-75. Alla borrhålsgranskningar spelades kontinuerligt in på videoband. Fältförsöken utfördes av en fältingenjör tillika TV-specialist och en erfaren geolog, vilka sedan gemensamt utarbetade granskningsprotokollen. FIG. 16.

2.6.2 TV-granskningens resultat

Resultatet av TV-granskningen framgår av Bil. 2, 4-7, 10, 11, 13-18, där borrhål D1, D2, D3, D5 och H2, H3 och H5 från Haninge och borrhål D330, D331, D335, D337, H335 och H337 finns redovisade. Vid upprättandet av dessa protokoll har ej bergartsangivelser från TV-granskningen angivits då sådana skulle blivit alltför influerade av informationen från kärnorna ur bredvidliggande borrhål. TV-undersökningen har emellertid påvisat aktuella bergarter om än med mindre exakt-
het än vid kartering av borrhålskärnorna.

2.6.3 Kommentarer TV-granskning

TV-granskningen av borrhålen vid dessa fältförsök har resulterat i ett underlag som i allt väsentligt överensstämmer med den karakteristik som finns redovisad i R34:1973. Att diskontinuiteter och enskilda sprickor i vissa borrhål ej gick att orientera beror på att dessa borrhål var vertikala varvid den använda apparaturen ej medger orientering. Det kan emellertid påpekas att borrhål som är flackare än 45° kan erbjuda vissa problem att TV-granska då renspolning av sådana hål är vanskl. Liggväggen blir sällan helt ren från kaxpartiklar.

vilket medför grumligt vatten och därmed tolkningsproblem.

Tack vare TV-bildens förstoring kan även mycket små sprickor (ned till 0,1 mm) med lätthet identifieras, vilket framgår av borrhprotokollen. Övriga synpunkter kommer att diskuteras senare i rapporten.



FIG. 16. TV-granskning av ett borrhål. Kameraenheten sänks ned i borrhålet under kontinuerlig inspelning och bildkartering på TV-skärmen av geologen.

TV-inspection of a borehole. The camera is slowly lowered into the borehole while recording and photomapping of the TV-screen is continuously done by the geologist.

2.7 Vattentrycksprovning

2.7.1 Vattentrycksprovningens utförande

Vattentrycksprovningarna utfördes som enkelmanschettmätningar, se R34:1973, sid. 80-82, varvid avståndet mellan mätnivåerna var 3 m och i något fall 6 m. Tryckningen skedde vid 5 atm och i något fall även vid 10 atm tryck. Trycket hölls konstant under 3 min. tid. Vid bearbetning av de erhållna fältvärdena har korrigeringar för strömningsförluster i ledningar, grundvattentryck m. m. genomförts.

Vattentrycksprovningen utfördes endast i Haninge då fältmätningarna i Forsmark genom olyckshändelse med mätapparaturen ej kunde genomföras. Endast ett hål vid varje hålpar kunde vattentrycksprovning utföras då mätningarna vid det senare utförda hålet vid parvis borrhålen som väntat blev influerad av det första hålet. Således vattentrycksprovades endast kärnborrhålen i Haninge.

2.7.2 Vattentrycksprovningens resultat

Avsikten med vattentrycksprovningen var att i grova drag få information om permeabiliteten på olika nivåer i respektive borrhål. I borrprotokollen i bilagorna är som jämförelse resultaten från vattentrycksprovningen inlagda även i borrprotokollet på bredvidliggande hammarborrhål. Man kan konstatera att bergmassan var så tät att vattenförlusterna genomgående blev mycket låga.

2.8 Integral Sampling Metoden (ISM)

2.8.1 Introduktion

När konventionell kärnborrning används i och för detaljerade studier av bergmassans strukturella hållfasthetsegenskaper blir resultatet vanligen mindre bra när det genomborrade bergmaterialet utgörs av dåligt berg, som t. ex. sprickor, sprickzoner, krosszoner och vittringszoner. Det är dessvärre i dessa bergpartier som man med konventionell kärnborrning riskerar att förlora kärnan eller i varje fall få en ofullständig kärna.

För att avhjälpa detta har Laboratorio Nacional de Engenharia Civil (LNEC) i Lissabon, Portugal utvecklat en provtagningsmetodik, som ger ett för den betraktade informationen representativt kärnprov. Rocha (1971). Med hjälp av denna borrhåts- och provtagningssteknik, den s.k. integral sampling metoden, ISM, kan hela och orienterade kärnor erhållas. Man får möjlighet att studera sprickor, spricksystem och fyllnadsmaterial samt att mäta antalet sprickor och att bestämma deras absoluta orientering. Metoden kan användas längs hela borrhålet eller endast inom de zoner där bergets kvalitet eller strukturella uppbyggnad är särskilt ogynnsam och intressant. Förfarandet är patenterat av LNEC i många länder.

2.8.2 Teknisk beskrivning av ISM

ISM går i huvuddrag ut på att ur bergmassan erhålla ett borkärnprov som före utboringen förstärkts eller armerats med en järnstång, därigenom säkerställande att ett fullständigt prov tas upp, FIG. 17.

I princip borrar man på botten av ett grövre borrhål först ut en centrerad kärna med en liten diameter (vanligen 26 eller 36 mm krona) varefter i detta hål ett stålrör av 4 - 5 mm mindre diameter sänks ned och injekteras fast. Efter denna operation friborras denna förstärkta bergbit med ett större kärnrör (normalt 76 respektive 86 mm krona), FIG. 18. Injekteringsmedlet är valt så att god vidhäftning erhålles mellan stång och bindemedel samt mellan bindemedel och bergyta. Det kan färgas och härdningstiden kan varieras.

LNEC har arbetat med 36 mm respektive 86 mm kärnborrkronor och tagit upp kärnor av 1,5 m längd. Längden av

varje upptag skall ju från kostnadssynpunkt vara så stor som möjligt för att minimera antalet upptag. Å andra sidan begränsas denna längd av risken för hålavvikelse hos det klena centrumhålet, vilket kan störa installationen av förankringsjärnet och efterföljande friborrning.

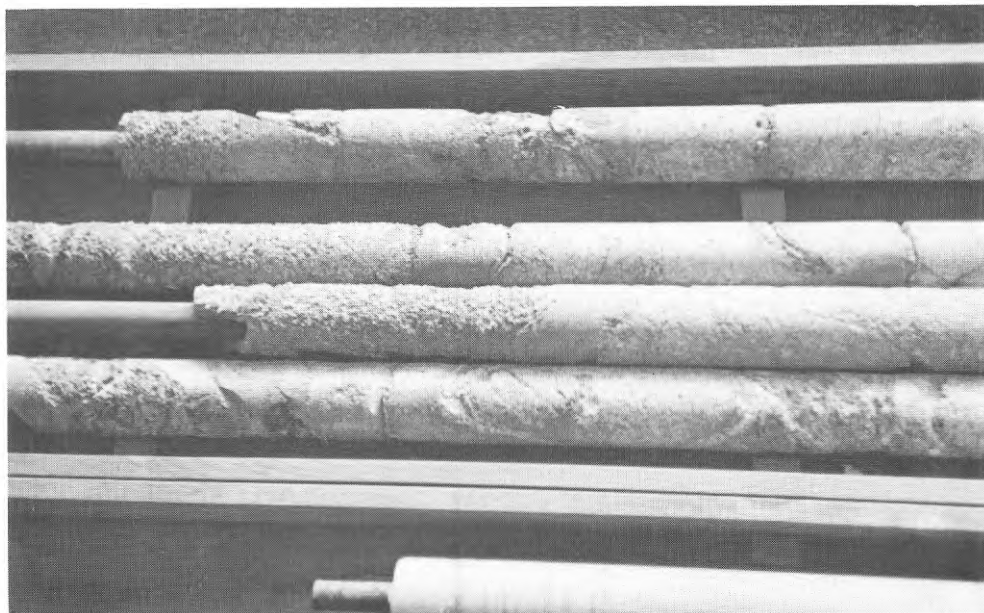


FIG. 17. Integral sample. Den kraftigt vittrade graniten har cementerats fast vid stålroret.
Integral sample. The very decomposed granite has been cemented to the steel bar.

2. 8. 3 Användningsområden

ISM har vid praktisk tillämpning i Portugal, Spanien och Brasilien visat sig fungera i mycket varierande formationer allt ifrån hårda och spröda bergarter till mycket vittrade och omvandlade bergarter. Man får fullständig information om sprickor med tillhörande fyllnadsmaterial. Metoden har med lyckat resultat utnyttjats såväl i vertikala borrhål som i borrhål med ned till 45° lutning, Rocha, Barosso (1971). Prov har enligt uppgift tagits upp från 60 m djup.

2. 8. 4 Utrustning

Den utrustning som erfordras för att genomföra integral sampling-borrningar består av två huvudenheter :

- dels konventionella kärnbormaskiner med tillhörande i-hålet-utrustning,
- dels viss specialutrustning som erfordras för att installera förstärkningsroret och injektera fast detsamma i det utborrade mindre centrumhålet.

Det enda yttre kravet som måste ställas på de kärnbormaskiner som skall användas för integral sampling-borrning är att kärnan av 72 mm respektive 62 mm diameter, motsvarande

håldimensionerna 86 mm respektive 76 mm, måste kunna tas upp. Det mindre hålet, se FIG. 18:1, kan borrar antingen med normal kärnborkrona eller med fullborkrona. Den förra kronan har fördelen att den automatiskt ger kärnmaterial och därmed en första information av bergmassan, vilket kan vara betydelsefullt för de efterföljande momenten. Fullborkronan å andra sidan är mindre utsatt för igensättning och minskar risken för efterlämnade bergartsfragment i borrhålet.

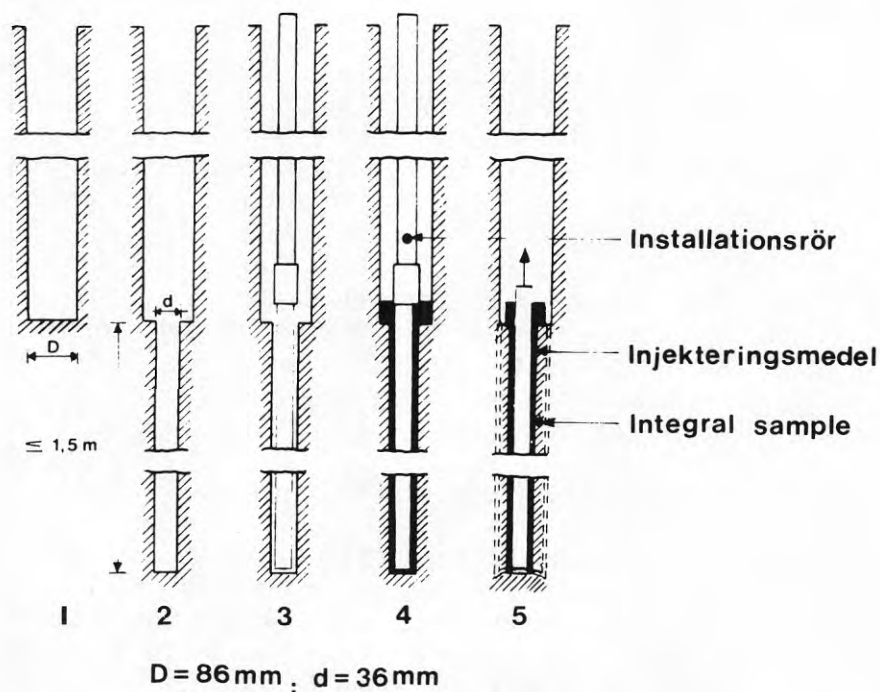


FIG. 18. De olika momenten vid integral sampling-borrning:

1. Ett borrhål med diametern D borrar till det avsedda provdjupet.
2. Ett hål med diametern d och av samma längd som den planerade provlängden borrar centriskt i det grövre hålet.
3. I detta senare borrhål placeras därefter ett stålrör med hjälp av särskilda installationsrör.
4. Genom installationsrören injekteras detta stålrör fast i det omgivande berget, varpå installationsrören avlägsnas.
5. Efter det att injekteringsmedlet härdat friborras hela provet med kärnborrning (D mm) och provet tas upp.

Stages of the integral sampling method:

1. A borehole with a diameter D is drilled to the depth where the integral sample is to be obtained.
2. A hole with a diameter d , coaxial with the former, and with the same length as the sample to be obtained, is drilled.
3. In this later borehole a reinforcing steel bar is introduced by means of special positioning rods.
4. Through which a binder is introduced to bond the bar to the rock mass, whereafter the positioning rods are set free from the steel bar.
5. After the binder has hardened, the drilling of the borehole with the diameter D is resumed by conventional core drilling, and the integral sample is obtained.

Efter det att järnstången har injekterats fast skall den så förstärkta zonen överborras eller friborras med den grövre kärnborrhkronan, se FIG. 18:5. Detta moment bör arrangeras tidsmässigt så, att härdningen av injekteringsmedlet sker under natten när borrhningsarbetet ändå är avbrutet. Denna överborring bör ske med ordinär kärnborrhkrona och kärnrör där dock användandet av tunnväggig borrhkrona medför den fördelen, att grövre prover erhålles.

Den ovannämnda specialutrustningen består av följande enheter (enligt FIG. 19 och 20).

- a) Förstärkningsenhet som skall förstärka och "hålla ihop" den cylinder som skall överborras samt överföra injekteringsmedlet. Förstärkningsenheten består av ett stålrör med omkring 32 mm utvändig diameter och 3 mm godstjocklek. Längden beror på kärnlängden.
- b) Styrsystem som styr och centrerar utrustningen vid övergång från det grövre till det klenare hålet samt underlättar installerandet av stålröret (a). Styrdonet består av en perforerad ståltub 70 mm i diameter och med 1 - 3 m längd.
- c) Anslutningshylsor och styrhuvud.
- d) Installationsrör med vars hjälp stålröret (a) förs ned genom styrsystemet (b) till rätt läge. Dessa tjänar dessutom som injekteringsrör. Rören, som är skarvbara, har en diameter av 32 mm med 1 - 3 m längd vardera. Vikten är ca 3 kg/m.
- e) Anslutningsenhet mellan installationsrör och förstärkningsrör som möjliggör lossgörandet av installationsstängerna från förstärkningsröret omedelbart efter det att injekteringen har utförts och medlet börjat härda. Den då kvarlämnade förstärkningsenheten orienteras relativt markytan innan installationsröret lösgöres.

En injekteringsenhet enligt FIG. 20 möjliggör att injekteringsmedlet blir transporterat genom installationsröret och till berget runt förstärkningsröret.

- f) Cylindrisk injekteringsbehållare av dimensionen 40 cm x \emptyset 15 cm med munstycken för tillförsel av injekteringsmedel och tryckluft samt uttag för injekteringsmedel i botten.
- g) Tryckluftsbehållare med anslutningsslang (150 kp/cm^2). Normalt arbetstryck är 3 - 5 kp/cm^2 .
- h) Plastslang för att förbinda injekteringsbehållaren med installationsrören. Denna slang skall ha 34 mm diameter och tåla 10 kp/cm^2 .

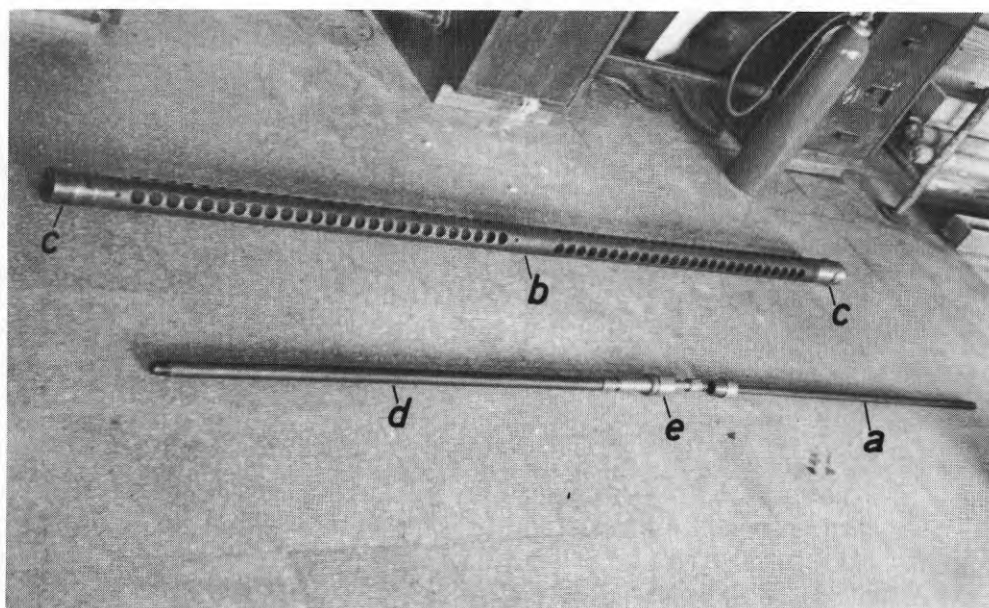


FIG. 19. Specialutrustning för integral sampling.
 a) stålrör, b) styrhylsa, c) anslutningshylsa och styrhuvud,
 d) installationsrör, e) anslutningshylsa mellan stålrör och
 installationsrör.

Special equipment for integral sampling.
 a) reinforcement bar, b) guiding tube, c) connection and guide
 head, d) positioning and installing rods, e) connection sleeve
 between installing rods and reinforcement bar.

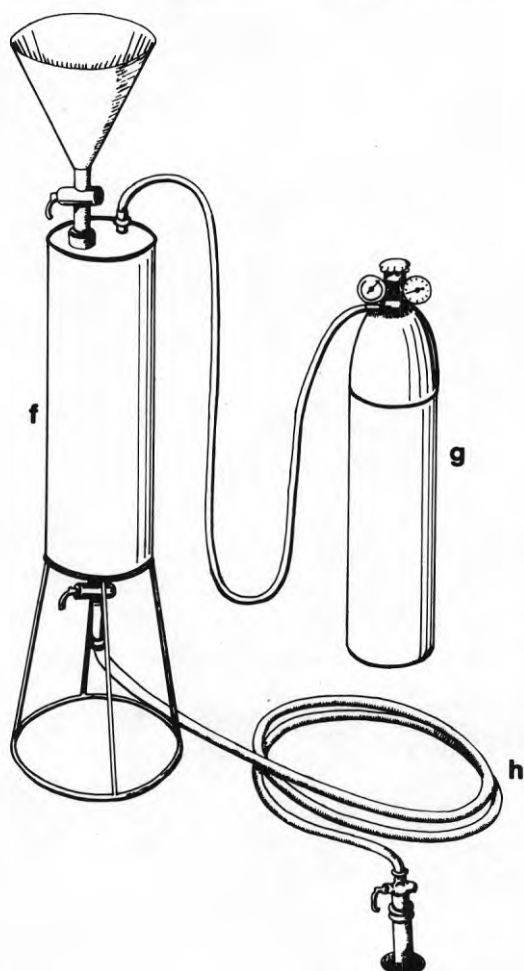


FIG. 20.
 Injekteringsutrustning för integ-
 ral sampling:
 f) injekteringsbehållare
 g) tryckluftsbhållare
 h) plastslang med anslutnings-
 kopplingar.

Injection set up for integral
 sampling:
 f) binder vessel
 g) compressed-air bottle
 h) plastic hose including coup-
 lings.

2.8.5 Kommentarer ISM

Integral sampling metoden förmedlar utan tvekan en synnerligen fullständig bild av bergförhållandena på djupet inom det område som är relevant för det eller de utförda borrhålen i fråga. Den hittillsvarande erfarenheten av ISM pekar entydigt på att förhållandena i bergmassan vanligen är bättre än vad som förutsagts på basis av studier av vanliga borrhärnor. Detta är förmodligen skälet till det tillfredsställande beteendet som majoriteten av berganläggningar uppvisar trots att tvivel mycket ofta existerar efter den geologiska undersökningen för anläggningarna i fråga. Integral sampling metoden drar dock högre kostnader än de andra undersökningsmetoderna då den är betydligt mer komplicerad och tidskrävande än dessa. Det är synnerligen värdefullt att känna till att det existerar en borrhärmetod som kan ge fullständiga upplysningar om bergmassans egenskaper, t. ex. när noggrann kännedom om bergförhållandena i ett visst avsnitt är nödvändig.

3 DISKUSSION AV RESULTAT

3.1 Förutsättningar för utvärdering

En bergundersökning för anläggningsändamål syftar till att förmedla teknisk/geologisk information i avsikt att beskriva det aktuella bergpartiets uppbyggnad. Karaktären av den erhållna basinformationen varierar med de undersökningsmetoder som utnyttjats. De i denna undersökning studerade metoderna är mycket olika i fråga om funktion och arbetssätt, varför helt följaktligt informationen förmedlas i ytterst skiftande form, alltifrån borrhämlor till videoband och registreringsremsor. En strikt tolkning eller utvärdering av de eftersökta bergtekniska parametrarna blir därför alltid mer eller mindre beroende av subjektiva värderingar. Så mycket står dock klart att ju mer dokumenterat och konkretiserat det erhållna basmaterialet är desto mindre subjektiva ställningstaganden erfordras vid tolkningen. En strävan måste dock vara att inte överdriva det erhållna undersökningsmaterialets noggrannhet vid sidan av de yttre mekaniska och metodberoende störningsfenomenen som överlagras och influerar provningsresultatet, se vidare R34:1973, sid. 87-91. Man kan vidare konstatera, vilket delvis framgår av kapitel 1 och kapitel 2 i denna rapport, att de genomförda försöken i Haninge och Forsmark ej utförts under helt ideala förhållanden i det avseendet att yttre faktorer omöjliggjort ett strikt genomförande av fältförsöken i enlighet med det planerade försöksprogrammet, som specificerades i R34:1973. Då ideala förhållanden sannolikt ej existerar i praktiken, kan detta ej anses menligt påverka undersökningen även om utvärderingen i vissa avseenden härigenom blir behäftad med icke önskvärda generaliseringar.

3.2 Faktorer som påverkar resultatet

Varje undersökningsmetod har en maximal teoretisk möjlighet att förmedla informationer om bergarter och bergmassa. Denna teoretiskt möjliga förmåga varierar från metod till metod och är i praktiken synnerligen svåruppnåelig, då detta förutsätter ideala förhållanden såväl i fråga om utrustning som om personal. I fråga om utrustning och apparatur kan man genom övervakning och kontroll med god approximation uppskatta direkta, av utrustningen orsakade yttre störningar på en provtagning. Den mänskliga faktorns inverkan på undersökningsresultatet är dock svårdefinierad och dessvärre av avgörande inflytande från bergteknisk synpunkt. För alla undersökningsmetoder gäller regelmässigt att kvaliteten på den erhållna informationen är helt beroende av fältpersonalens skicklighet och noggrannhet. Dessa kvalitetsegenskaper är dock i det närmaste omöjliga att precisera kvantitativt.

En förutsättning för att borrhämlor- och borrhålsundersökningar skall ge optimal information är vidare att de föregåtts och initierats av allmänna undersökningar såsom flygfotografering, geologisk kartering etc. ofta kompletterade med seismiska undersökningar. De data som dessa undersökningar resulterar i utgör såväl ingångsdata för inriktning och orientering av borrhålen, se FIG. 21, som lathund för utvärdering av de informationer som respektive undersökningsmetod förmedlar. En dylik upplägg-

ning är av central betydelse för en ändamålsenlig insats av borrhings- och borrhålsundersökningar.

Vissa för respektive undersökningsmetod specifika förhållanden måste självfallet alltid vara uppfyllda för att en utvärdering av metoden skall vara genomförbar. Sådana förhållanden som t. ex. att det klena första diamantborrade hålets väggar inte kollapsar vid integral sampling, att hålets väggar är intakta så att kameran kan sänkas ned vid TV-granskning m. m., jfr vidare R34:1973, förutsättes vara uppfyllda vid de jämförelser som görs i denna rapport.

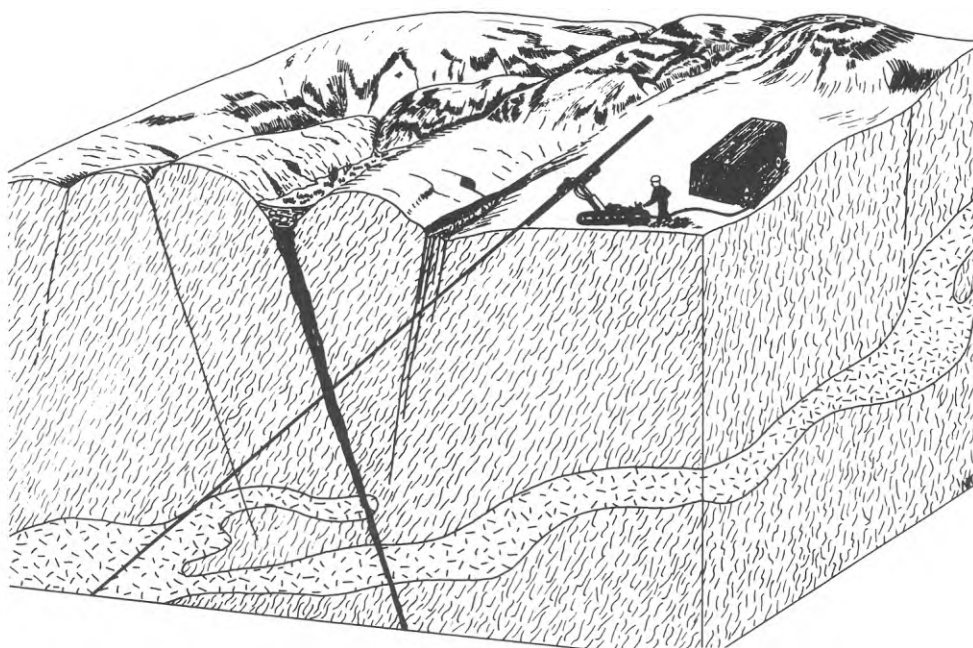


FIG. 21. Med ledning av gjorda ytobservationer placeras och riktas borrhål för undersökningar på djupet.

On the basis of surface observations the drill hole is positioned and directed for the investigation in depth.

3.3 Representativitet

En huvudfråga vid all undersökningsverksamhet är frågan om hur representativa de insatta undersökningsmetoderna är för lösandet av det aktuella problem som initierat undersökningen. Bergmassans beteende beror, såväl i mekaniskt hänseende som i täthetshänseende, åtminstone i hårda bergarter, primärt på förekomsten och karaktären av diskontinuiteter och anisotropier i bergmassan. Detta indikerar betydelsen av att vid undersökningar i sådana formationer söka parametrar som beskriver eller karakteriserar bergmassans svaghetszoner och strukturella egenskaper.

Det är då för de här aktuella metoderna väsentligt att notera att borrhings- och borrhålsundersökningen förmedlar direkt information om bergmassan i och kring själva borrhålen, se FIG. 22. För att beskriva hela bergmassans rymdgeometrisk uppbyggnad måste således erhållna borrhålsdata ställas mot och sammanvägas med resultatet ifrån den geologiska håll- och sprickkarteringen och eventuell seismik. Detta analysförfarande är en mycket komplicerad geologisk uppgift, och självfallet blir resultatet i denna bedömning säkrare ju tillförlitligare basinforma-tion som finns att tillgå. Parametrar som underlättar integrering mellan ytobservationer och borrhålsdata såsom rikt-ningsangivelser och angivelser om utsträckning i rummet är därvid särskilt värdefulla uppgifter.

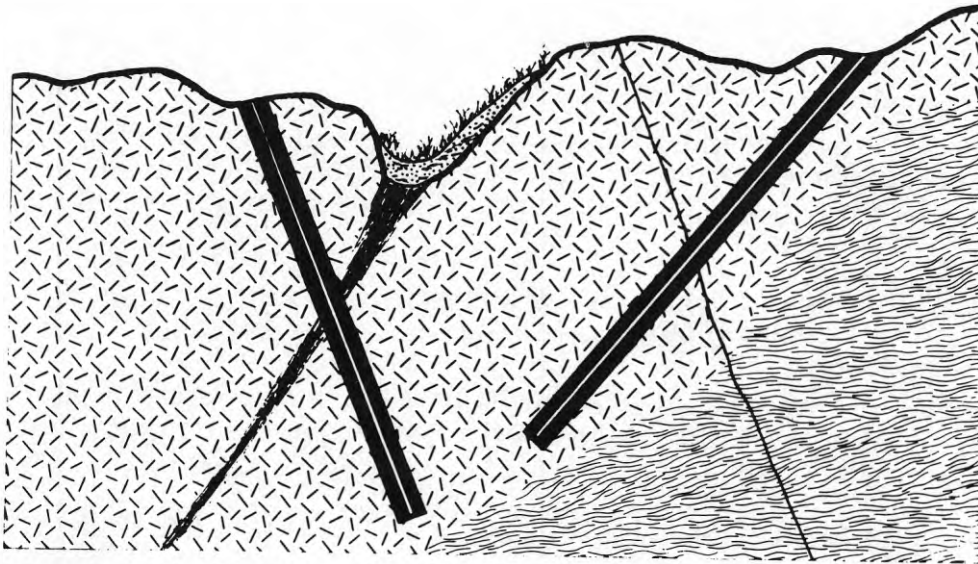


FIG. 22. Borrhålen förmedlar direkt information om bergmassan i och kring själva borrhålen. Bedömningar av den omgivande bergmassans strukturella uppbyggnad måste därför grundas på antaganden, som kvalitetsmässigt i hög grad beror på karaktären av och tillförlitligheten i de informationer som borrhålen förmedlar.

The bore holes provides direct information about the rock mass in and adjacent to the bore holes. Evaluations of the structural built up of the rock mass therefore must be based on assumptions, that qualitatively very much depend on the character and the reliability of the information obtained from the bore hole.

3.4 Värdering av undersökningsmetoder

3.4.1 Tillförlitlighetsvärdering

Vid sammanställningen av de olika undersökningsmetodernas möjlighet eller förutsättningar att förmedla upplysningar om bergarter och bergmassa har den parameteruppdelning som framgår av TAB. 2 valts. Uppdelningen är gjord främst med tanke på undersökningsmetodernas verkningssätt och därigenom deras specifika möjligheter att samla informationer. Dessutom beskriver dessa parametrar egenskaper som är av intresse ur bergteknisk synvinkel.

Med tanke på de tämligen oprecisa yttre förutsättningarna som trots allt föreligger vid en jämförelse som denna samt metodernas inneboende nyckfullheter torde en värderingsskala som går mer i detalj än den i TAB. 2 använda bli missvisande. De yttre störande ej uppskattningsbara faktorerna, som inverkar vid de olika undersökningsmomenten innebär att en mer långtgående värderingsskala skulle representera olika idealiserade specialfall med många yttre restriktioner och därmed diskutabel tillämpbarhet. Tabellen visar respektive undersökningsmetods förmåga att förmedla detaljerad information om bergarter och bergmassa. Det framgår ganska klart att de olika metoderna har ytterst varierande förutsättningar att förmedla informationer om bergets egenskaper.

3.4.2 Borrnings- och borrhålsundersökningars värde från byggnadsgeologisk och bergmekanisk synpunkt.

För att behandla frågan om vilket värde borrhåls- och borrhålsundersökningar har från byggnadsgeologisk och bergmekanisk synpunkt är det ändamålsenligt att betrakta följande två delfrågor:

1. Vilka parametrar eller faktorer är intressanta ur byggnadsgeologisk och bergmekanisk synvinkel?
2. Vad förmedlar egentligen olika borrhålsundersökningsmetoder för information om bergarter och bergmassa och hur pass tillförlitlig är den?

Skilda projekt och olika geologiska formationer kräver tillgång till olika byggnadsgeologiska och bergmekaniska primära parametrar, se FIG. 2. Dessa för den aktuella problemställningen "tunga" parametrarna kan ofta specificeras i förprojekteringsstadiet och initierar och leder till aktiviteter i form av undersökningar i syfte att få underlag att bestämma och kvantifiera respektive parameter. TAB. 2 redovisar, som nämnts, de i detta projekt studerade undersökningsmetodernas inneboende förmåga att förmedla information om berget. I FIG. 2 är de olika bergmekaniska parametrarna inom parentes kompletterade med den eller de undersökningsmetoder (A, B, C, D, E), som enligt TAB. 2 har förutsättningar att förmedla tillförlitlig information om respektive parameter. Det torde enligt denna

mall vara mycket lämpligt att vid projektering utnyttja och kombinera de undersökningsmetoder som har förutsättningar att förmedla så tillförlitlig information som möjligt om de parametrar som kan komma att ha betydelse.

UNDERSÖKNINGS-METODER		A	B	C	D	E
PARAMETRAR		KÄRN-BORRNING	SLÄNDE SONDERINGS-BORRNING	INTEGRAL SAMPLING	TV-GRANSKNING (INKL. SLÄNDE BORRNING)	VATTEN-TRYCKS-PROVNING
BERGART ↑	BERGARTSKARAKTERISTIKA					
	MINERALINNEHÅLL INKL. EV. BINDEMEDEL	3	2	3	2	0
	KORNSTORLEK	3	0	3	3	0
	STRUKTURDRAG	3	0	3	2	0
	STRYKNING \bar{o} STUPNING	2	0	3	2	0
↓	MEKANISKA EGENSKAPER	3	1	3	0	0
BERGMASSA ↑	SPRICKIGHET (ENSKILDA SPRICKOR)					
	SPRICKOR (FÖREKOMST)	2	1	3	2	1
	SPRICKVIDD	0	0	3	3	1
	FYLLNADSMTRL. I SPRICKOR	1	0	2	0	0
	FYLLNADSGRAD I SPRICKOR	0	0	2	2	0
	RYMDORIENTERING AV SPRICKOR	1	0	3	3	0
	SVAGHETSZONER					
	FÖREKOMST	2	2	3	3	1
	BREDD AV SVAGHETSZON	2	1	3	3	1
	MINERALINNEHÅLL I SVAGHETSZON	2	0	2	1	0
RYMDORIENTERING AV SVAGHETSZON	1	0	3	3	0	
↓	AKTUELLA SPÄNNINGSTILLSTÅND	0	0	0	0	0
↓	PERMEABILITET	0	0	0	0	2
3=FULLGOD INFORMATION		2=GOD, DOCK ICKE ENTYDIG INFORMATION		1=NÅGON (SVÅRTOLKAD) INFORMATION		0=INGEN INFORMATION

TAB. 2. Planeringsmall för borrhålsundersökningar. Olika undersökningsmetoders möjlighet att förmedla tillförlitlig information om bergarter och bergmassa.

Planning guide for drill hole investigations. The possibility for various drill hole investigation methods to communicate reliable information about rock types and rock masses.

3.5 Kostnadsbild

Ekonomin är naturligtvis av väsentligt intresse vid diskussioner om undersökningsmetodernas användbarhet. För likvärdiga jämförelser av metoderna är det emellertid nödvändigt att definiera omfattningen av den betraktade undersökningsinsatsen. Det bör vara ändamålsenligt att i denna inkludera samtliga moment i undersökningsförloppet fram till och med redovisning av det erhållna undersökningsmaterialet. Detta innebär således att man i kostnadsberäkningar för en undersökning förutom ordinarie utrustning inklusive erforderlig personal skall medräkna "övrigt nödvändigt" såsom etablering, behov av vatten och specifikt material som t. ex. kärnlådor, flyttning, transporter, provtagning, utvärdering och redovisning av undersökningsmaterialet.

Då respektive undersökningsmetod vidare fordrar maskiner och utrustningar av väsentligt skilda slag som är olika kapitalkrävande, är de i ekonomiskt avseende olika känsliga för en rad yttre faktorer såsom omfattningen på undersökningsuppdraget, terrängframkomlighet, tidsutsträckning, avbrott på grund av olika orsaker, m. m., till vilket man måste ta hänsyn till vid jämförelser.

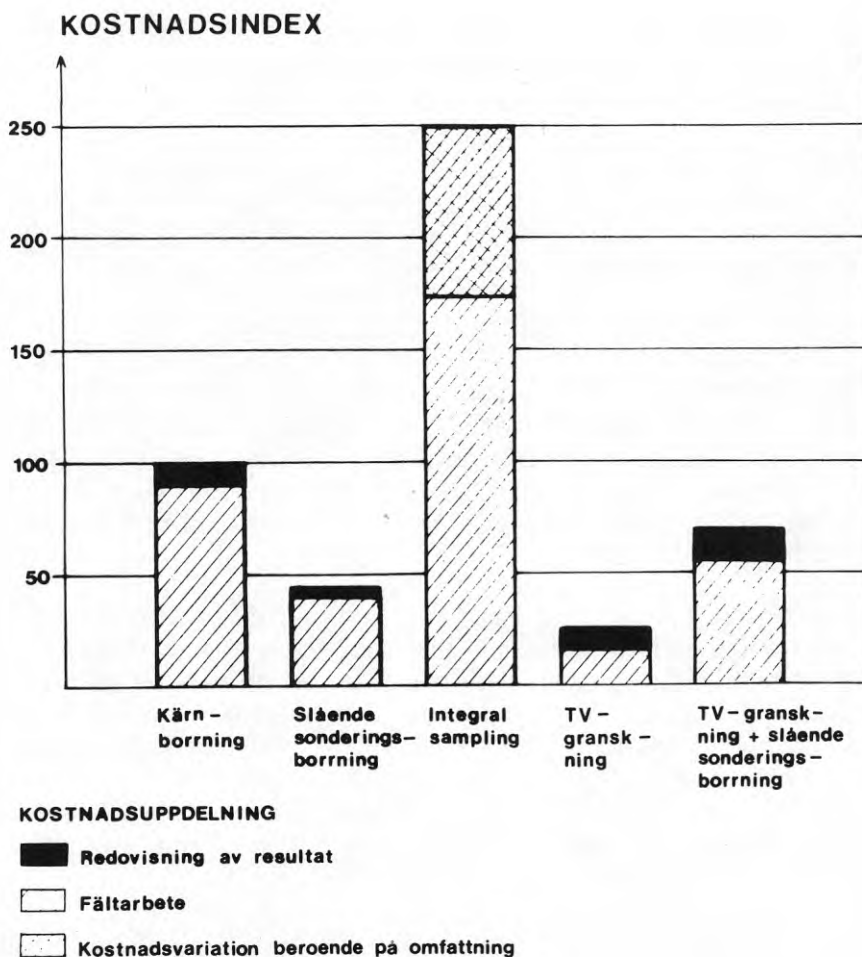
I TAB. 3 är de olika metoderna schematiskt jämförda enligt ovanstående förutsättningar och som jämförelseobjekt har valts ett fingerat arbete av följande omfattning:

Undersökt yta:	1 km ²
Terräng:	Medelsvår kuperad med en huvudväl mitt igenom området.
Omfattning:	300-500 m total borrhålslängd. 4-7 borrhål 75-90 m djupa. 45° lutning. 5-10 m överlagrande jord.

Kostnadsjämförelsen baserar sig på resultatet från ett flertal uppföljda undersökningsobjekt.

Det bör påpekas att värdena för integral sampling är kalkylerade och att dessa varierar mycket kraftigt då kostnaderna för denna metod helt beror på provtagningsarbetets uppläggning och omfattning.

En jämförelse mellan TAB. 2 och TAB. 3 befäster det i och för sig ganska självklara förhållandet att ökade krav på tillförlitligheten i en undersökning i regel medför högre undersökningskostnader. Med detta underlag bör man redan i begynnelsestadiet av en projektering kunna diskutera sig fram till en lämplig prestationsrelaterad undersökningsinsats ställd mot den ekonomiska ramen för varje projekt.



TAB. 3. Schematisk kostnadsjämförelse mellan de olika undersökningsmetoderna. I löptexten definieras omfattning och förutsättningar för jämförelsen. Kärnborrning har åsatts index 100 och de övriga metoderna jämförs sedan med kärnborrning.

Schematic comparison of costs between the various investigation methods. In the text beside, the scope and the conditions of the comparison is defined. Core drilling have been given the index 100 and the other methods are then compared with core drilling.

4 SLUTSATSER BASERADE PÅ UNDERSÖKNINGS- RESULTAT

4.1 Karakteristik av undersökningsmetoder

Försöken har visat att de undersökningsmetoder som ingått i projektet har mycket skiftande förutsättningar att förmedla informationer om bergarter och bergmassa.

Den följande karakteristiken av respektive undersökningsmetods tillämpbarhet för bergteknisk undersökningsverksamhet baserar sig på metodernas utnyttjande sådant som det beskrivits i denna rapport och i R34:1973.

4.1.1 Karakteristik av kärnbörning

Kärnbörning har alla förutsättningar att i bra berg lämna ett fullständigt studiematerial för bedömning och utvärdering i form av kärnor och borrhingsprotokoll. Bestämningar av bergmassans bergarter på djupet och motsvarande bergartsgränser kan i normala fall utföras med tillfredsställande säkerhet.

I dåligt berg med de från projekteringssynpunkt särskilt intressanta svaga zonerna lämnar dock kärnbörning alltför ofta ett ofullständigt bedömningsunderlag framför allt beroende på svårigheter att från dessa partier få upp ett representativt kärnmateriale. I normala fall har kärnbörningen dessutom den begränsningen att vidden av övertvårande sprickor och sprickplanens orientering ej kan bestämmas. Utvärderingen av kärnmaterialet blir därför i vissa väsentliga avsnitt behäftad med subjektiv värdering.

4.1.2 Karakteristik av slående sonderingsborrning

En kvantitativ bedömning av de bergtekniskt beroende förändringarna av borrsjunkningshastigheten vid hammarborrning kan göras men med viss osäkerhet. En automatisk registrering av borrsjunkningshastigheten ökar tolkningsmöjligheten. Den lokalisering av svaga punkter och zoner som erhålls är dock som komplement till andra undersökningsmetoder och då framför allt TV-granskning av väsentlig betydelse.

4.1.3 Karakteristik av integral sampling metoden

Integral sampling metoden förmedlar en mycket fullständig bild av bergmassan inom det område som är relevant för det eller de utförda borrhålen ifråga. När inverkan av sprickor och svaghetszoner anses ha avgörande inflytande på bergmassans beteende och detta anses ha väsentlig betydelse för anläggningen i fråga samt andra metoder ej bedöms kunna ge önskade informationer, torde användandet av integral sampling metoden vara väl motiverad. Metoden kan tillämpas längs hela borrhålet eller endast inom de zoner där bergets kvalitet eller strukturella uppbyggnad är särskilt ogynnsam.

4.1.4 Karakteristik av TV-granskning

TV-granskning ger, om den kombineras med håll- och sprickkartering samt sonderingsborrning, ett relativt fullständigt studiematerial i form av granskningsprotokoll och videoband. Utvärderingen blir subjektiv och kräver en erfaren specialist för att uppnå en tillfredsställande prognossäkerhet. Videobanden möjliggör dock att bedömningen av osäkra partier kan delas med andra. Bedömningen av bergmassans struktur kan med TV-granskning ske i nära ostört berg. Erhållna informationer om sprickkaraktär, sprickvidder och svaghetszoner blir härigenom i nära överensstämmelse med verkligheten.

4.2 Om uppföljning av fältundersökningar

Försöken har för samtliga studerade metoder entydigt visat att möjligheterna till tolkning av de med respektive metod förmedlade informationerna huvudsakligen beror på två faktorer:

1. Fältpersonalens erfarenhet och förtrogenhet med undersökningsmetoden i fråga.
2. Undersökningens uppläggning.

Fältpersonalens centrala position i fråga om undersökningsinsatsens värde kan närmast belysas av det faktum att en aldrig så i praktiken tillförlitlig metod kan ge helt missvisande resultat om oerfaren personal utnyttjas. Det kan därför anses som ett berättigat krav, att man vid borrhings- och borrhålsundersökningar för att få ett så invändningsfritt och därmed representativt underlag som möjligt, utnyttjar personal som är väl förtrogen med respektive undersökningsmetod såväl i fråga om handhavande som i fråga om uppföljningsteknik.

Att sättet för en undersökningsmetods utnyttjande har väsentlig betydelse för resultatet är uppenbart. Särskilt betydelsefullt i det avseendet är att specifikationen av en undersökning förutom rekommendationer om direkta arbetsmoment även inkluderar bestämmelser för hur övervakning och uppföljning av fältarbetena skall ske samt om väsentliga utrustningsdetaljer som skall ingå.

Med tanke på borrhings- och borrhålsundersökningarnas kapitalintensitet är det väsentligt att fokusera kvaliteten i undersökningsinsatsen. Detta medför automatiskt att slentriantänkande och kapacitetsprioritering vid uppläggning av undersökningsprogram icke är ändamålsenligt. Ett nära samarbete mellan undersökare och projektör är därför viktigt. Huvudsaken är inte att utföra undersökningen utan hur denna utförs.

4.3 Om utformning av undersökningsprogram

Skilda projekt och olika geologiska formationer kräver tillgång till olika bergmekaniska och geologiska primära parametrar, vilka till stor del kan ringas in redan på förprojekteringsstadiet. Det torde mot denna bakgrund vara mycket lämpligt att vid projektering utnyttja och kombinera de undersökningsmetoder som har förutsättningar att förmedla så tillförlitlig information som möjligt om de parametrar som kan

46.

komma att ha betydelse. Det här visade värderingssystemet borde på detta sätt kunna underlätta en optimering av undersökningsinsatsen för varje enskilt projekt inom den kostnadsram som står till buds.

5 FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNINGSV VERKSAMHET

Som framgår av denna rapport torde det inte vara ändamålsenligt att göra en noggrannare jämförelse mellan de olika undersökningsmetoderna än vad som gjorts här. Vissa behov av kompletterande forskningsverksamhet framgår delvis av rapporten men kan sammanställas enligt följande:

- a) Fältförsök med integral sampling metoden inklusive utvärdering i syfte att ytterligare klarlägga metodens användbarhet i dåligt berg och i svenska förhållanden.
- b) Försök med viss kärnbörningsutrustning (delbart dubbelt kärnrör, specialbörnkronor och trippel-kärnbör) i syfte att fastställa denna utrustnings användbarhet i och för bergteknisk undersökningsverksamhet.
- c) Studier beträffande den automatiska börnsjunkningsregistreringsanordningens användbarhet för såväl bergundersökningar och berglägesbestämningar som jordundersökningar samt anpassning av anordningarna för driftförhållanden.

Borrhåls- och börningsundersökningar förmedlar direkt information om bergmassan i och kring själva borrhålet. För att vid projektering av en berganläggning kunna bedöma alternativa tekniska lösningars förväntade ekonomiska konsekvenser, framför allt i fråga om förstärknings- och tätningsbehov, strävar man att få dessa informationer systematiserade eller omtolkade till ett prognosunderlag representativt för hela den betraktade bergvolymen. För att möjliggöra en dylik systematisk korrelering av geologiska och seismiska "ytdata" med "djupdata" från borrhålsundersökningar krävs en avsevärd forskningsinsats. Denna forskningsuppgift bör initieras snarast och omfatta såväl inventering och analys av befintliga projektdata som systematisk uppföljning av vissa projekt under utförande i avsikt att konkret klargöra förundersökningsinsatsens betydelse för slutresultatet.

6 REFERENSER

Bergman, M., 1974, Rock mass investigation in depth: Reliability of different methods for drill hole investigations, (3rd International Congress of the International Society for Rock Mechanics) Denver, USA.

Morfeltdt, C-O, Bergman, M., Lundström, L., Bergundersökningar. Kvalitetsvärdering av undersökningsmetoder. (Statens råd för byggnadsforskning) Rapport R34:1973, Stockholm.






Müller, L., Bock, H., Müller, K., Baugeologie der Festgesteine-Felsbaumechanik. (Grundbau Taschenbuch Band I Ergänzungsband) Berlin-München-Düsseldorf 1970.

Rocha, M., A method of integral sampling of rock masses. Rock Mechanics, bil. II/1 1971, Lissabon.

Rocha, M., Barosso, M., Some applications of the new integral sampling method in rock masses. (Laboratorio Nacional de Engenharia Civil) Memoria 397, Lissabon 1971.

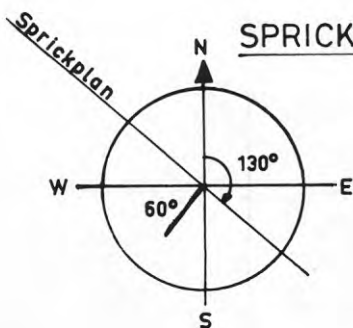
Se även referenslista i R34:1973

STÖRNINGSTYP

	Enstaka spricka
	Sprickzon, flera sprickor i varierande riktning
	Krosszon
	Sköl
	TV-stopp

SPRICKFYLLNADSMATERIAL

C	Kalcit
K	Klorit
S	Pyrit (svavelkis)
G	Grafit
Se	Serpentin
Ko	Kaolinit
L	Lera
Sc	Sericit

SPRICKORIENTERING I PLAN (EXEMPEL)

Strykning 130°

Stupning 60° SW

OBS!

Stupning alltid vinkelrätt mot strykning

D 1	NIVÅ	HÅL DJUP m u. my	56 mm KÄRNBORNING			TV-GRANSKNING			VATTEN FÖRLUST MÄTNING Lit/m min at				
			Bergart upptag	Sprick-frekvens (primära)	Sprickanalys (primära sprickor mot borrhålsrikt)	Sprickgranskning in situ		Bergart strukturer m.m					
						Absolut orientering	Stupning			Fylln. mtrl.			
<p>Lutning 45°</p> <p>Rikning 340°</p> <p>Markyta +24,40</p> <p>Bergyta +17,05</p>			0 5 10/m	Stupn.	Fylln	Typ	Vidd	Typ	Strykning	Fylln.		0 0.5 1.0	
	±16.60												
	12	gG	Pegnarit (P)		55°	C,K,S							
	13	gG	Granatöde-gnejs (gG)		80°	Leromv C,K,S,Sc,G							
	±15	14	P		80°	C,K,Se,S		01-0.3		90°/50°S			0
	15	P			30°	C,Se,K,S							
	16	gG	Skiffergnejs (sG)		40°	C,K,S,G,Se		4-6		75°/45°S		EV INJ	
	17	P	Granatöde-gnejs m pegnaritst. (gGP)		30°	C,K,G		02-0.5		170°/50°E			0
	18				45°	K,C,S,Sc							
	19							02-0.3		170°/85°E			
	20	P			45°	C,S		02-0.3		45°/40°SE			0
	±10	21	sG		40°	C,K		01-0.3		25°-80°/30°S, 115°/35°S		UPPSP PARTI	
	22	P			10°	C,S							
	23	P	sG		40°	C,S							0
	24	P	gGP		25°	C,K,S		01-0.3		-70°/50°S		EV BIOTIT	
	25	gGP			60°	C,S		01-0.3		140°/80°SE			
	26	gG	gGP		55°	C		02-0.3		60°/50°SE			0.080
	27	gG	gGP		55°	C,S,G		02-0.3		70°/50°S DELV FYLLOD			
	±5	28	gG	gGP	40°	C,S,K,Se	Leromv.	01-0.3		70°/45°S		FLERA SPRICKOR UPPSP PARTI	0
	29			Kärnförlust	50°	C,K,G							
	30			Delvis kärnförlust	50°	C,K,G		02-1.0		80°/40°SE			
	31	gGP			40°	K,Sc,Se,G		03-0.5		10°/70°E			
	32	gG			40°	C,G,Se		03-0.5		80°/60°S			
	33	P			0°	Lera C,Lm,S,Se		01-0.3		20°/70°SE			
	34	P			85°	K		02-0.3		70°/45°S		2.51. NÄSTAN PARALLELLA	0
	35	P			50°	K,S		02-0.3		10°/80°S			
	36	P			55°	S,G		01-0.3		100°/35°S		NGT. UPPSP	
	37	sG/1S			50°	S,G		05-1.0		55°/15°S			
	38	sG			80°	S,G,C,Se						UPPSP PARTI	0.288
	39	P			75°	K,S,G		02-0.4		80°/50°S		UPPSP PARTI	
	40	P			75°	C		03-0.5		70°/30°S			
	41	P			75°	C,S		03-0.8		160°/90°			0.026
	42	sG			45°	C		02-0.3		180°/85°SW		UTFALL	
	43	P						01-0.3		75°/25°S			
	44	sG/1S											0
	45	sG			40°	C,S,G							
	46	P			65°	C,S,G							
	47	P			50°	S,G,K							
	48	sG			50°	S,G							0.044
	±10	49			90°	K,S,G,Se							
	50												
	51	sGP			80°	K,S							

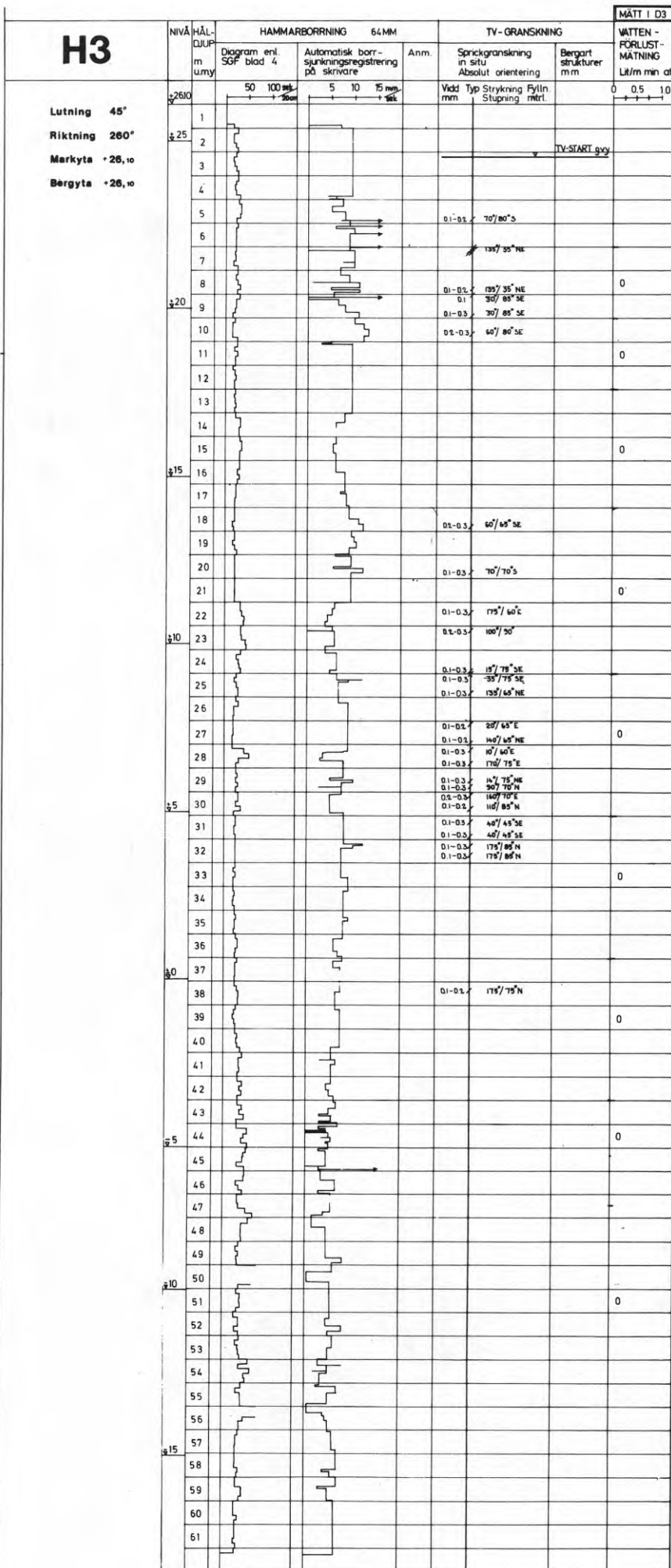
Bilaga 3

H1	NIVÅ	HÅL-DJUP m u.my	HAMMARBORNING 64MM			TV-GRANSKNING				VATTEN-FÖRLUST-MÄTNING Lit/m min at
			Diagram enl. SGF blad 4	Automatisk borrar-sjunktregistrering på skrivare	Anm.	Sprickgranskning in situ			Bergart strukturer m m	
						Vidd mm	Typ	Stupning Strykning		
Vertikalt Markyta +24,16 Bergyta +11,11	11,11	13	50 100 sek 20cm	5 10 15 mm sek						
		14								
		15								
		16								
		17								
		18								
		19								
	5	20								
		21								
		22								
		23								
	0	24								
		25								
		26								
	27									
	28									
5	29									
	30									
	31									
	32									

TV-GRANSKNING OCH VATTEN-FÖRLUSTMÄTNING EJ UTFÖRD

D2	NIVÅ	HÅL DJUP m u.m.y	56 mm KÄRNBORNING			TV-GRANSKNING				VATTEN FÖRLUST MATNING Lit/m min at	
			Bergart upptag	Sprick-frekvens (primära)	Sprickanalys (primära sprickor mot borrhålsrikt)	Sprickgranskning in situ		Bergart strukturer m.m	0 0.5 1.0		
						Stupn.	Fylln Typ mtrl.				Vidd mm
Vertikalt Markyta + 25,82 Bergyta + 22,80	±22,80	3	Skiffergnejs (sG)	0 5 10/m	45°	C, K, S					
		4	Skiffergnejs m. pegmatitströar (sGP)		50°	C, K, S					
		5	sG		45°	C					
		6	sGP		50°	C					
		±20	6	sGP		65°	K				
		7	sG		45°	K			TV-START		
		8	sGP		35°	C		0,8-0,5 / 15° 0,5-0,8 / 15° 0,5-0,8 / 25°	C		0
		9	sGP		30°	C, S		0,3-0,5 / 15°-20° 1,0-1,5 / 60°	C		
		±15	10			50°	C, K, S	1,0 / 15° 0,5-0,8 / 30° 0,2-0,5 / 80°	C		0.170
		11	sG		70°	K, S		0,2-0,5 / 85°-90° 0,5-0,8 / 10°	C		
		12			65°	K, S		0,5-0,8 / 80°-85° 0,2-0,5 / 80°-85° 0,1-0,3 / 45°-50°	C		
		13	Pegmatit (P)		60°	S					0
		14	sGP		65°	K		0,3-0,5 / 25° 0,2-0,3 / 25°			
		15	P		65°	K, S K, S		1,5-0,5 / 60°-90°	C		
		±10	16			60°		0,8-1,2 / 80°-85° 0,8-1,0 / 30°	C		0.253
		17			60°				C		
		18									
		19	sG					0,5-0,8 / 20°	C		
		±5	20			70°	K, S	0,2-0,8 / 75°-75° 0,2-0,8 / 75°-75°			0.057
		21			60°	C					
		22			45°			0,8-1,2 / 45°-50°			
		23	P		55°	K, S K, S		0,3-0,5 / 60° 0,3-0,5 / 60° 0,3-0,5 / 60° 0,3-0,5 / 45°-50° 0,3-0,5 / 45°-50° 0,3-0,5 / 45°-50°	C		0
		24	sG		60°	K		0,2-0,8 / 45°-50° 0,2-0,8 / 45°-50° 0,2-0,8 / 45°-50°	C		
		25	sG		50°	K		0,8-1,2 / 45°-80° 0,2-0,5 / 10°-25°			
		±0	25	P		60°	K, S, Lm				
		26	sG		45°	C, S		0,2-0,3 / 15° 0,1-0,4 / 15° 0,2-0,4 / 15° 0,8-1,2 / 15°	C		0.740
		27			45°	S					
		28	P								
		29			50°			0,3-0,5 / 60°			0
		30	sG		45°			0,2-0,4 / 45°-50° 0,2-0,5 / 25°-30°			
		±5	31	P		40°		0,2-0,3 / 30° 0,2-0,4 / 70°			0
		32	sG		45°	K		0,2-0,4 / 70° 0,2-0,5 / 35°			
		33			60°	L K, S		0,1-0,2 / 15°-20° 0,3-0,5 / 45°-50°		2 ST. PARALLELLA	
		34	P		45°	C		0,3-0,8 / 15° 0,3-0,8 / 40°			
		35			45°	C, S		0,3-0,5 / 35°-40° 1,0 / 80°	C		0.422
		±10	36		0°	S					
		37	sGP		50°	S					
		38	P		60°	S					0
		39									
		40	sG								
		±15	41	P							0
		42	sG		60°	C					

D3	NIVÅ	HÅL DJUP m u my	56 mm KARNBORRNING			TV-GRANSKNING			VATTEN FÖRLUST MATNING Lit/m min at		
			Bergart upptag	Sprick- frekvens (primära)	Sprickanalys (primära sprickor mot borrhålsrikt)	Sprickgranskning in situ		Bergart strukturer m m			
						Stupn	Fylln mtrl			Vidd mm	Typ Stupning mtrl
			0	5	10/m				0	0.5	1.0
Lutning 45°											
Riktning 260°											
Markyta +26,15											
Bergyta +26,15											
	± 26,15	1	g6		90°	C					
	± 25	2	g6		75°	C, Ko					
		3	g6		55°	C, S, Se	01-03	110°/30°SE			
		4	P		60°	C, Ko	01-03	100°/70°S			
		5	g6		55°	C, S, Se	01-03	100°/70°S			
		6	g6		55°	C, K, Sc, S	02-02	70°/70°S			
		7	g6		50°	C	01-03	100°/70°S			
		8	g6P		30°	C	01-02	90°/75°N			0
		9	P		70°	C	01-03	100°/90°E			
	± 20	10	g6		65°	C, K, Sc	02-04	60°/60°SE			
		11	g6		80°	Leromv	01-03	100°/90°SE			0
		12	g6		80°	C, K, Sc, S	01-03	100°/90°SE			
		13	P		90°	C, Sc	01-02	100°/75°S			
		14	g6P		80°	C	01-02	100°/75°S			
		15	P				01-03	155°/60°E			2 ST FYLDA
	± 15	16	g6		60°	C, S					0
		17	g6								
		18	g6		75°	C, K, Sc, S	01-02	75°/75°S			
		19	g6		55°	C, K, Sc, S	02-04	100°/80°S			
		20	P		50°	C, S	01-03	100°/60°S			
		21	g6P		50°	C, S					
		22	P				01-03	100°/70°N			FLERA SMÅ, KORKANDE
	± 10	23	g6								
		24	P		80°	Sc					
		25	g6		65°	C, K, G	01-06	60°/70°S			FLERA SMÅ, FYLDA
		26	g6P								
		27	g6		65°	C, Sc					PEGHATTIPARTI
		28	g6P		55°	C, K, S	02-03	70°/80°N			2 ST
		29	P		55°	C, S	01-03	100°/80°E			2 ST PARALLELLA
	± 5	30	g6P		60°	C, K, S, Sc	02-08	145°/30°E			
		31	g6P		60°	C, K, S, Sc	02-03	90°/80°N			
		32	g6		65°	C, K, S, G	03-05	100°/60°E			ÖPPET
		33	P		30°	Sc	6-8	66°/70°SE			0
		34	g6P		60°	C, K, Sc, S					
		35	P		60°	C, Sc, S					
		36	g6		60°	C, Sc, K					
	± 0	37	g6P		50°	S, Sc					
		38	P		55°	C, S, Sc	01-05	110°/60°NE			0
		39	g6		50°	C, S					
		40	P		55°	C, K, S, Sc					
		41	g6		50°	C, S, Sc, K	02-04	115°/60°NE			
		42	g6		45°	C, K, S, Sc					
	± 5	43	g6P		45°	C, K, S, Sc	03-10	105°/20°W			
		44	P		70°	C, K, S	02-03	87°/70°E			KROSSZON
		45	g6P		60°	C, K, S	03-08	100°/60°E			ÖPPEN
		46	g6P		50°	C, K, Sc, S	03-03	100°/60°E			0
		47	P		40°	C, K, S, Sc	02-10	57°/55°E			
		48	g6P		55°	C, Sc, Se, K	05-07	160°/45°E			
		49	g6		75°	C, Sc					
		50	g6		65°	C, Sc, S, K					
	± 10	51	P		75°	C, K, Sc, S	01-04	125°/45°NE			
		52	P		65°	C, S	03-06	150°/60°E			
		53	g6		70°	C, K, Sc					0
		54	g6P		60°	C, Sc, Ko, G					
		55	g6P		65°	C, K, Sc, G					
		56	g6		80°	C, S					
		57	g6		65°	C, S, Ko, G					
	± 15	58	g6		75°	C, Sc, S					
		59	g6P		30°	C, Sc, Ko					
		60	g6P		60°	K, S, Ko	03-05	120°/60°NE			



Bilaga 9

H4	NIVÅ HÅL- DJUP m u.m.y	HAMMARBORRNING 64MM			TV-GRANSKNING				VATTEN- FÖRLUST- MÄTNING Lit/m min at
		Diagram enl. SGF blad 4	Automatisk borrar- sjunkningsregistrering på skrivare			Sprickgranskning in situ		Bergart strukturer m.m	
			50 100 sek + 20cm	5 10 15 mm + sek	An.m.	Vidd mm	Typ Stupning Strykning		
Vertikalt Markyta +25,98 Bergyta +17,30	±17,30	9							
		10							
		11							
		12							
		13							
		14				TV-GRANSKNING OCH VATTEN- FÖRLUSTMÄTNING EJ UTFÖRD			
		15							
		±10	16						
		17							
		18							
		19							
		20							
		±5	21						
		22							
	23								
	24								
	25								
	±0	26							

D5	NIVÅ	HÅL DJUP m u. my	56 mm KÄRNBORRNING			TV-GRANSKNING			VATTEN FÖRLUST MÄTNING	
			Bergart upptag	Sprick-frekvens (primära)	Sprickanalys (primära sprickor mot borrhålsrikt)	Sprickgranskning in situ		Bergart strukturer m. m	Lit/m min at	
						Vidd mm	Typ		Strykning Stupning	Fylln. mtrl.
<p>Lutning 45°</p> <p>Riktning 260°</p> <p>Markyta + 23,69</p> <p>Bergyta + 23,69</p>	± 23,69		0 5 10/m	Stupn.	Fylln Typ					
	1	Skiffergnejs m pegmatitströvar (s6P)								
	2								TV-START gvy	
	3	Pegmatit (P)		40°	C					
	4			75°	C,K,G	0.2-0.5	30°/55°SE			
	5	Skiffergnejs (sG)		90°	K,G	0.3-0.5	60°/70°S			
	6			45°	C,S	0.5-0.8 / 0.3-0.5	135°/70°NE 125°/70°NE 140°/70°NE 100°/45°N	DELVIS FÄLLT		
	7			65°	C,S	0.4-0.8	150°/55°E 150°/55°NE	C	2 ST. PARALLELLA	
	8					~ 0.1 0.2-0.5	140°/75°NE 150°/65°NE		NGT UPPSP. PARTI	
	9	P		90°	C,K,Se	0.1-0.3	30°/35°N			
	10	Granatbåder-gnejs (gG)		55°	K,Ko				0	
	11	g6P		45°	C	0.3-0.5	110°/65°NE		KALCITLÄKT	
	12	g6P		45°	C	0.2-0.3	80°/60°S			
	13	P				0.1-0.3	0°/40°E		0	
	14									
	15	g6P		50°	C,K,S	0.3-0.5	0°/45°E		NGT UPPSP.	
	16	P		35°	C,K				0	
	17			60°	C,S					
	18	g6P		45°	K,Se		95°/40°N			
	19	g6P							0	
	20	g6P		75°	C	0.3-0.5	110°/60°NE 95°/90°			
	21	P							0	
	22			90°	C					
	23	g6		60°	C		154°/35°E 154°/30°E			
	24						150°/30°E 160°/50°E		2 ST. KORSANDE	
	25	P		60°	C				0.115	
	26	g6P								
	27	g6P		80°	C					
	28	sG		45°	C				0.112	
	29			60°	C	~ 0.1 ~ 1.0 ~ 1.0	110°/90° 60°/50°SE 2 ST 115°/70°NE		DELVIS LÄKT	
	30	g6P		30°	C	0.8-1.0	0°/45°E	C		
	31								0.262	
	32			60°	C	0.5-0.8	90°/40°N	C		
	33	g6		45°	C,S,C	~ 1.0	85°/70°S	C		
	34	g6P		65°	C,S,C	1.0	105°/80°N	C	0	
	35	P				0.3-0.5	2 ST. 140°/60°NE, 100°/80°E		NGT UPPSP.	
	36	g6		60°	C,K,S	0.1-0.3	105°/75°N		DELVIS LÄKT	
	37	P		60°	C,K				0	
	38	g6		45°	C,S,Se,G	0.5-0.8	90°/90°			
	39	P		60°	Leromv. C,K,Se,S	0.2-0.3 0.3-0.5	95°/55°E 2 ST. 80°/5°S		0	
40	g6P		60°	C,Se	0.2-0.5 0.3-0.5	160°/50°E 160°/50°E				

H5	NIVÅ	HÅL- DJUP m umy	HAMMARBORNING 64 MM			TV - GRANSKNING			MÅTT I D5
			Diagram ent. SGF blad 4	Automatisk borr- sjunkningsregistrering på skrivare	Anm.	Sprickgranskning in situ Absolut orientering	Bergart strukturer m m	VATTEN - FÖRLUST- MÄTNING Lit/m min at	
			50 100 sek 20m	5 10 15 mm sek		Vidd Typ Strykning Fylln. mm Stupning mtrl.		0 0.5 1.0	
<p>Lutning 45° Riktning 262° Markyta +23,55 Bergyta +23,55</p>	23,55								
	1								
	2								
	3								
	4							TV START qvy	
	5					0.1-0.3 35°/70° SE 0.1-0.3 175°/85° N			
	20					0.1 35°/65° SE			
	6								
	7					0.3 35°/65° SE		0.092	
	8								
	9					0.2-0.5 65°/80° SE			
	10					0.1-0.3 105°/60° S		0	
	11								
	15								
	12								
	13					0.2-0.3 115°/45° NE 0.3-0.5 35°/65° SE 0.2-0.3 40°/60° SE		0	
	14								
	15					0.2-0.5 105°/60° S 0.2-0.4 60°/70° SE 0.2-0.3 170°/65° E			
	16							0	
	17								
	18								
	10								
	19					0.1-0.3 70°/75° S 1-3 160°/35° E		0	
	20								
	21					0.1-0.2 10°/75° E 0.1-0.2 70°/20° S 10-20 5°/85° E			
	22					0.1-0.3 135°/85° NE		0	
	23								
	24					0.2-0.4 25°/80° E			
	25							0.115	
	26					0.1-0.3 100°/70° N			
	5								
	27								
	28							0.112	
	29								
	30					0.2-0.4 75°/50° S			
	31								
	32					0.1-0.3 60°/60° SE		0.262	
	33								
	0								
	34							0	
	35								
	36					0.2-0.4 55°/45° SE			
37							0		
38									
39							0		
5									
41					0.2-0.5 70°/70° S				
42									

D6

Vertikalt
 Markyta +19,57
 Bergyta +16,57

NIVÅ	HÅL DJUP m u.my	46 mm KÄRNBORRNING			TV-GRANSKNING				VATTEN FÖRLUST MÄTNING Lit/m min at	
		Bergart upptag →	Sprick- frekvens (primära)	Sprickanalys (primära sprickor mot borrhålsrikt)	Sprickgranskning in situ		Bergart strukturer m. m			
			0 5 10/m	Stupn.	Fylln mtrl.	Typ	Vidd mm	Stupning Strykning	Fylln. mtrl.	
±16,57	-	sGP								
	4	sG								
±15	5	Skiffergnejs (sG)		30°	C, K, S					
	6	Skiffergnejs m pegmatitst. (sG) p		45°	C					
	7	sGP		35°	C, S, G					
	8			40°	C, S, G					
	9			35°	C, S					
±10	10	sG								
	11			25°	C, S					
	12	sGP		30°	C, S					
	13	sG		20°	C					
	14	Pegmatit (P)		20°	C					
±5	15	sGP sG p		20°	C					
	16	sG sGP								
	17	sGP		65° 80°	C, S G					
	18									

TV-GRANSKNING OCH VATTENFÖRLUST-
MÄTNING EJ UTFÖRD

Bilaga 13

D 330	NIVÅ	HÅL DJUP m u. my	56 mm KÄRNBORNING			TV-GRANSKNING				VATTEN FÖRLUST MÄTNING Lit/m minat
			Bergart upptag →	Sprick frekvens (primära)	Sprickanalys (primära sprickor mot borrhålsrikt)	Sprickgranskning in situ Absolut orientering		Bergart strukturer m. m		
						Stupn	Fylln. Typ mtrl.		Vidd mm	
Lutning 90° Märkyta +102,0 Bergyta +97,9 TV-granskning utförd: 1974-03-19	± 102			0 5 10/m						0 0.5 1.0
	1									
	± 100	2								
	3									
	4								FODERRÖR NEDERKANT	
	5					0°			TV-START (= +97.4)	
	6		Pegmatit (P)			45°				
	7					5°		0.5-0.9 1-1.5	0°	DELVIS FYLLED HÖRIS DELVIS FYLLED DELVIS LÄKT
	± 95	8				5°		0.3 0.5-0.8 1-1.5	0°	HORISONTPELL TROL DELVIS LERFYLLD
	9					10°		0.3-0.5 0.5-1.5	0°	HORISONTPELL
	10		p GGR			10°		10-20 5-10	0°	HORIS. FYLLED, EV. LERA NÄRA HORISONTPELL UPPBRUKET
	11		Kärntärflus (K)			10°		2-3 1-3	0°	HORISONTPELL
	12		Plagioklas- gneisgranit (p GGR)			5°		10-15	0°	2 st HORISONTELLA
	± 90	13	Kf			5°		20-25 2	-5° 5-10°	FYLLED, EV. LERA 3 st PARAL. HORISONTELLA
	14		p GGR			10°		1-1.5	0°	
	15							0.5	5-7°	3 st HORISONTELLA
	16					0°		0.3	0°	2 st LÄKTA
	17					5°		0.2	5°	NÄRA HORISONTPELL
	± 85	18								
	19					5°				
	20									
	21		Grönsten (D)			5°				
	± 80	22				20°				
	23		p GGR			30°				
	24									
	25					5°				
	26									
	± 75	27								
	28					5°				
	29					10°				
30					10°					

Kärnboringens bergartsinventering och sprickkarteringen utförd av fil.dr. Walter Larsson

D 331	NIVÅ HÅL DJUP m u.m.y	56 mm KÄRNBORNING				TV-GRANSKNING				VATTEN FÖRLUST MÄTNING Lit/m minut
		Bergart upptag	Sprick frekvens (primära)	Sprickanalys (primära sprickor mot borrhålsrikt)		Sprickgranskning in situ Absolut orientering		Bergart strukturer m.m		
				Stupn	Fylln Typ mtrl.	Yidd mm	Typ Stupning		Fylln mtrl.	
Lutning 45° Riktning 232° Markyta +102,1 Bergyta +97,9 TV-granskning utförd: 1974-03-19			0 5 10/m							0 0,5 1,0
	1									
	2									
	3	±100								
	4									
	5							FODERRÖR	NEDERKANT	
	6								TV-START (±979)	
	7		Plagioklasneis granit (pGR)							
	8									
	9						0.3	5-10°	3 st PARALLELLA FYLLE	
	10	±95								
	11									
	12						1.5	10°	ÖPPEN	
	13							5°	FYLLED SPR TVÄRS GNEJS- STRUKTURENA	
	14		Pegmatit (P)						ÖVERGÅNG TILL LJUS BERGSTRÖL PEGMATIT	
	15		pGR Gränsten (Db)				0.8-1.2 0.8-1.2 2.0	40/70°SE 15/10° 10°	FYLLED EMLERA UTFALL, FYLLED EMLERA MÖRKARE BERG- PARTI	
	16									
	17	±90	pGR				0.4 0.5 0.6 0.8	5-10° 20/5-10°E 60/10°N	FYLLED EMLERA " "	
	18								PARALLELL RISS	
	19									
	20						0.2-0.4	5-10°	LÅGT	
	21									
	22						0.2	80/55°N	LÅGT	
	23							70/80°N	FYLLED	
	24	±85								
	25									
	26									
	27									
	28		p							
	29									
	30						0.4 0.3-0.4 0.5	45/45°SE 125/80°NE 5-10°	FYLLED FYLLED	
	31	±80								
	32		pGR (Db)							
	33		p Plagioklasneis granit med							
	34		enstaka grän- stensskivor							
	35		pGR (Db)							
	36									
	37									
	38	±75								
	39						0.5	105/80°N	FYLLED, TVÄRS GNEJSSTRUKTUR	
	40									
	41						0.5	150/50°NE	RISS	
	42									
	43						0.5	5-10°	FYLLED	
44	±70	Pegmatitisk gneisgranit								

Kärnboringens bergartsinventering
och sprickkarteringen utförd av
fil.dr. Walter Larsson

HC 335	NIVÅ m u.my	DJUP m	HAMMARBORNING			ANM	TV-GRANSKNING			VATTEN - FÖRLUST- MÄTNING Lit/m min at	
			Diagram enl. SGF blad 4	Automatisk borr- sjunkningsregistrering på skrivare			Sprickgranskning in situ		Bergart strukturer m m		
							Vidd mm	Typ Strykning Stupning			Fylln. mtrl.
Lutning 45° Riktning 232° Markyta ~ + 102,0 Bergyta ~ + 99,5			50 100 sek + 20cm	5 10 15 mm + sek							
	±100	1									
		2				FODER- RÖR		FODERRÖR			
		3									
		4						TV-START gvy			
		5				TRASIG KRONA KRONBYTE	20 2	130/80° NE 135/50 SW	UTFALL FYLLD (BIOTIT)		
		6					70 40	130/45° NE 130/45° NE	FYLLD EV. LEBA FYLLD EV. LEBA		
		7									
		8									
	±95	9									
		10									
		11							UTFALL		
		12									
		13									
		14									
		15									
	±90	16									
		17					0.3-0.5	145/85° NE	UTFALL FYLLD		
		18									
		19									
		20									
		21									
		22									
	±85	23									
		24									
		25					0.8-1.2	130/45° NE			
		26									
		27									
		28									
		29					0.8-1.0	25/55° E			
	±80	30									
		31									
		32									
		33									
		34									
		35									
		36									
		37									
	±75	38					0.8-1.0	140/40° NE	UTFALL		
		39					0.5-0.8	100/85° N	FYLLD		
		40									
	41										

D 337

Lutning 45°
 Riktning 232°
 Markyta ~+102,0
 Bergyta ~+98,8

NIVÅ	HÅL DJUP m u. my	56 mm KÄRNBORRNING				TV-GRANSKNING				VATTEN FÖRLUST MÄTNING Lit/m minut
		Bergart upptag	Sprick frekvens (primära)	Sprickanalys (primära sprickor mot borrhålsrikt)		Sprickgranskning in situ Absolut orientering		Bergart strukturer m. m		
		0 5 10/m		Stupn	Fylln	Typ	Vidd mm	Typ Styrning	Fylln mtr.	0 0.5 1.0
	1									
	2									
±100	3									
	4							FODERRÖR		
	5						0.3	TV-START 180/70° NE		
	6									
	7	Plagioklasen granit med skivor av grönsten								
	8	p GGR (Db) Kärnortusikt					25-30	140/80° NE	FYLLED, UTFALL	
	9	p GGR (Db)					0.5-0.8	10/55° E	TVÄRANDE GNEJSSTRUKTUREN	
±95	10									
	11									
	12	Intermediär gnejsgranit (GGR)								
	13									
	14	Plagioklasen granit (GGR)								
	15									
	16						0.3-0.5	45/70° NW	FYLLED	
±90	17						1.5-2.0	135/40° NE	LÄKT	
	18	p GGR (Db)					0.4	10/80° E	LÄKT	
	19						0.7-0.9	15/55° E	ÖPPEN TVÄRANDE GNEJSSTRUKTUREN	
	20									
	21						1.5	20/70° E	LÄKT	
	22						1-2	50/60° SW		
	23						1.0-1.5	65/65° NW	LÄKT	
±85	24									
	25	GGR Db					0.6 0.8	150/75° NW - 90/70° NW		
	26	GGR					1.0-1.3	50/70° NW		
	27									
	28						0.8-1.0	80/80° NW		
	29	p GGR					0.5-0.8	60/80° NW		
	30	Pegmatit								
±80	31	p GGR					0.8-1.0	105/70° E		
	32									
	33									
	34	GGR								
	35	p GGR								
	36									
	37									
±75	38									
	39	p GGR (Db)								FRÅN 38.0 m MYCKET MÖRK BANDNINGAR I GNEJSGRANITEN + 40
	40									
	41									
	42									
	43									
	44	Kf								

Kärnborrhagens bergartsinventering
 och sprickkarteringen utförd av
 fil. dr. Walter Larsson.

PERCUSSIVE SOUNDING DRILLING WITH AUTOMATIC REGISTRATION OF RATE OF PENETRATION, ROTATION SPEED AND FEED FORCE CHARACTERISTICS.

Bilaga 19:1

Magnus Bergman and Alf Norlén, Hagconsult AB, Stockholm, Sweden

In the project work on buildings and in civil engineering the predominant geological and soil mechanical conditions are of primary importance in the overall economy of the undertaking. For this reason all construction and civil engineering activity is in practice preceded by more or less extensive geotechnical investigations.

There are numerous sampling and sounding methods available for the investigation of homogeneous sequences of soil strata to limited depths. See further in the ESOPT Proceedings.

But for work with non-homogeneous soils with admixtures of stones and boulders or at greater depths the choice of suitable investigation methods is however more modest. In Scandinavia, which abounds in such troublesome geological conditions, there is a particularly pronounced need for a reliable investigation method for such circumstances.

In urban construction, characterized by extensive underground operations in the form of tunnels for various purposes, there also exists a need to obtain data in addition to the more common soil mechanical parameters which may clarify the interplay of the soil-rock system before a given section of the tunnel is excavated. Of primary interest here are the depth of the overburden and the quality of the rock, especially in the deepest, soil-filled depressions where the qualitatively worst rock can normally be expected.

In Sweden a sounding method called soil-rock sounding has been in use for the last fifteen years. The method is based on the use of conventional heavy percussive drilling equipment - in principle the same equipment as for blast-hole drilling -- in investigation drilling.

Sounding drilling with heavy, chain-fed rock drills is a fairly new development in drilling techniques and the problems faced are of quite a different character than those met in production drilling in a mining context.

In production drilling the problem is in the most rational way possible in a given rock formation to drill holes through soil, boulders and rock and then introduce explosives. The objective is then the completed hole.

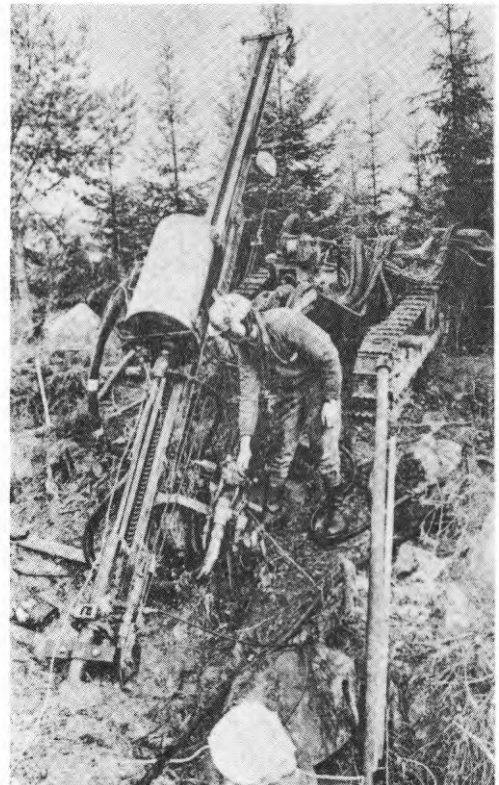
Sounding drilling, on the other hand, entails a demand for information on how the hole is realized. The focal point of interest is then the drilling sequence itself and all that occurs during it. This calls for sensitivity during the drilling operation and a continuous registration of what happens, Morfeldt, Bergman, Lundström (1973).

The parameter of greatest interest in sounding drilling is the rate of penetration. The problem here can be summarized as distinguishing and eliminating from the driller's logbook the disturbances in drilling due to equipment and technique from those of a primarily geotechnical nature -- that is, caused by the soil and rock.

All the rock drills and chain feeds available on the market today are however built for produc-

tion drilling and consequently are insensitive and lack the possibility of registering data during the drilling operation. But as this equipment is the only available, it is for natural reasons also employed in sounding drilling. This has entailed that everyone who has practically carried out sounding drilling of this type, has been obliged to adapt production drilling units to a certain degree in order to increase the possibility of recording data during the drilling sequence.

With this in mind Hagconsult AB have developed a method for automatic, continuous registration of the drilling sequence in percussive sounding drilling with top hammer equipment. This registration method indicates at every moment the depth as a function of time, the rate of penetration momentarily, feeding conditions and the rotation speed of the drill rod. These parameters may be considered the most significant within the tolerance range which the relatively violent percussive drilling technique permits.



In percussive sounding drilling we use heavy, self-propelled drill rigs, in the here described case an Atlas Copco ROC 601 crawler drill, equipped with a separately rotated rock drill, BBE 57-01 (Fig. 1). Drilling is made with 64 mm cemented carbide tipped drill bits, 10 , 1 1/2" extension drill steel and water flushing.

PERCUSSIVE SOUNDING DRILLING WITH AUTOMATIC REGISTRATION OF RATE OF PENETRATION, ROTATION SPEED AND FEED FORCE CHARACTERISTICS.

Magnus Bergman and Alf Norlén, Hagconsult AB, Stockholm, Sweden



Fig. 2. During percussive sounding drilling the rate of penetration, rotation speed and feeding conditions are automatically registered by a recorder.

During drilling the rate of penetration, speed of rotation and feeding conditions are automatically registered on the recorder (Fig. 2). The results of this registration are indicated in Diagram 1, which shows the transition from soil to rock in a sounding hole from the ESOPT field demonstration area.

This diagram is a slightly modified copy of the original write-out from the recorder. During a factual recording, the paper is fed forward from the recorder at a constant speed and has the following graphs:

1. Momentary rate of penetration (mm/sec).
The small disruptions (oscillations) recorded are due to vibrations in the drilling equipment.
2. Graphic representation of the rate of penetration with 20 cm sweeps, that is, the time between each return to the zero position.
This gives the depth position at each moment. The steeper this graph, the more rapid the rate of penetration.
3. Position of the feed lever at each moment.
When the operator increases or decreases the feeding, this is automatically recorded.
4. Rotation speed of the drill string (drill bit).

The diagram shows a very typical sequence for a geological formation of this type. In the upper strata (not visible on this section of the diagram) the rate of penetration lies beyond the edge of the paper with the chosen calibration of the recorder and the graphic representation is almost horizontal. This indicates a cohesion material. In the upper part of diagram 1 (to 18.40 m) the rate of penetration lies between 16 and 32 mm/sec, which indicates a friction material more or less compacted, covering the bedrock. Drilling is stopped at a depth of 18.70 m for fifteen seconds (the feeding is removed and the rotation drops to 0 rpm). From 18.70 m to 19.18 m the values for the rate of penetration indicate that the drilling is in rock. At a depth of 19.18 m the rate of penetration suddenly in-

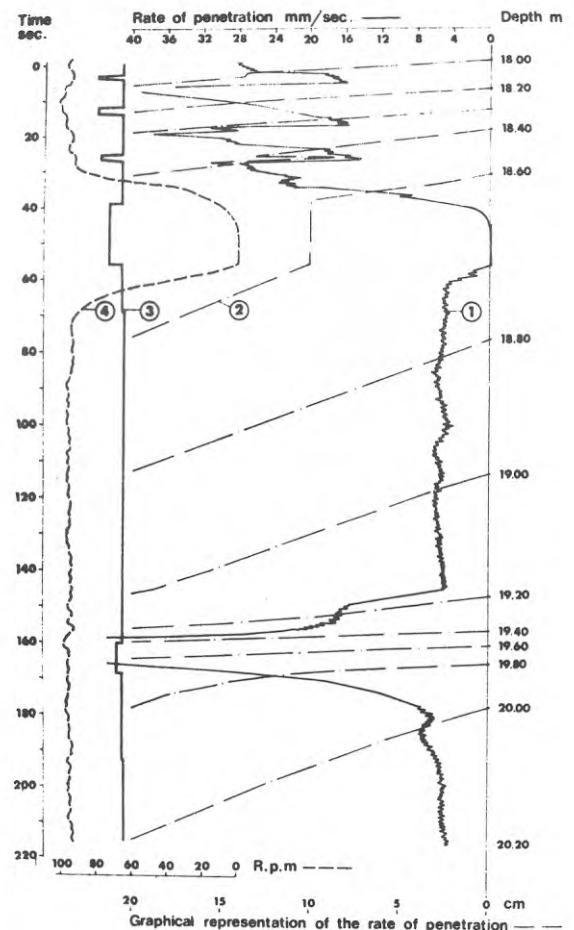


Diagram 1. The factual field data that are automatically registered by the recorder.

creases to the same values as found in the upper soft formations until 19.95 m where values for drilling in rock are again noted. This can mean either that a boulder with a size of about 0.5 m has been drilled through or that the surface contours of the rock are uneven and that an oblique depression with projecting boulders has been encountered. This has been drilled through and soil material again met before contact is finally made with bedrock.

For natural reasons percussive sounding drilling is not an exact method of investigation, but within its range of accuracy, see Morfeldt, Bergman, Lundström (1973) the registration procedure here described rapidly and effectively communicates information on soil and rock qualities, and not least in hard, difficult formations. For the determination of the level of bedrock this method communicates information that at depths down to 20 to 30 m in most cases gives a reliable basis for evaluation. To obtain reference values or for an interpretation of doubtful sections, complementary drilling with casing tubes can then be made to the indicated depth to permit soil sampling with split barrel samplers or other soil samplers. This operation is carried out with the same drilling equipment and consequently the operating time is decreased.

PERCUSSIVE SOUNDING DRILLING WITH AUTOMATIC REGISTRATION OF RATE OF PENETRATION, ROTATION SPEED AND FEED FORCE CHARACTERISTICS.

Bilaga 19:3

Magnus Bergman and Alf Norlén, Hagconsult AB, Stockholm, Sweden

The registration procedure described here is just as useful in deep-hole investigations of the rock mass, M. Bergman (1974). In this context the method communicates information on fissures and weak zones and combined with a subsequent TV investigation of the drill hole forms a very good investigation instrument.

REFERENCES

Bergman, M, 1974, Rock mass investigation in depth: Reliability of different methods for drill hole investigation, (3rd International Congress of the International Society for Rock Mechanics), Denver, USA.

Morfeltdt, C-O; Bergman, M; Lundström, L; Rock mass investigations. Evaluation of methods. The Swedish Council for Building Research. Report R34:1973.

R17:1975

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 710884-9/C 884:2
från Statens råd för byggnadsforskning till Hagconsult AB.**

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm
Grupp: konstruktion**

Pris: 17 kronor + moms