



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

R34:1973

TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FÖR VÄG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

**Bergundersökningar
Kvalitetsvärdering av
undersökningsmetoder**

Carl-Olof Morfeldt

Magnus Bergman

Lars Lundström

Byggforskningen

Bergundersökningar. Kvalitetsvärdering av undersökningsmetoder

Carl-Olof Morfeldt, Magnus Bergman & Lars Lundström

Det kraftigt ökade underjordsbyggandet omfattande allt ifrån transport- och ledningstunnlar till bergrum för lagring av gasol, bensin, brännolja, varmvatten och tryckluft m.m., ställer stora krav på tillförlitliga metoder för detaljundersökningar av berget.

Det existerar för närvarande ej någon helt tillförlitlig metod för undersökning av berget på djupet. I rapporten påvisas att samtliga behandlade metoder, slående sonderingsborrning, kärnborrning och tv-granskning av borrhål, innehåller många subjektiva moment där tillförlitligheten i hög grad beror av fältpersonalens förmåga och noggrannhet. I rapporten har de olika undersökningsmetoderna beskrivits och analyserats i detalj. Risker för metodberoende feltolkningar av erhållen information har ingående behandlats.

På grund av basmaterialets ofullständiga karaktär har det endast varit möjligt att upprätta en stomme för en kvalitets- och tillförlitlighetsvärdering av informationer erhållna vid bergundersökningar. Med utgångspunkt härifrån bör det vara möjligt att utarbeta ett system för en absolut värdering av dessa informationer. Den fortsatta utredningen kommer med denna målsättning att kunna leda till en normering av provningsförfaranden vilket möjliggör att kvalitetskraven på bergundersökningar i framtiden kommer att kunna specificeras.

I takt med det ständigt ökade byggandet i vår fasta granitiska berggrund ökar även de tekniska kraven på det omgivande bergets egenskaper. Förstärknings- och tätningsarbeten i en berganläggning är mycket kostsamma och kan i ogynnsamma fall dra med sig kostnader av sådan storleksordning att projektens ekonomi äventyras.

För att kunna orientera och utforma tunnlar och bergrum så lämpligt som möjligt med hänsyn till berggrundens beskaffenhet krävs redan på projekteringsstadiet ingående informationer om berget från aktuella djup.

Undersökningarna som härför utföres har till syfte att lämna information om bergartsvariationer, strukturdrag, sprickfrekvenser, sprickvidder, sprickfyllningar, täthet m.m. vilket erfordras för att tekniska och ekonomiska problem skall kunna lösas på ett optimalt sätt.

Eftersom höga krav på informationernas tillförlitlighet i regel medför större undersökningskostnader, måste övervägas vilken kvalitetsgrad på undersökningen som är nödvändig och ekonomiskt försvarbar för varje enskilt projekt. Sådana bedömningar förutsätter dock ett system för jämförande värdering av undersökningsmetodernas informationsinnehåll.

Undersökningsmetoder

Det underlag projekteringsarbetet base-

Byggforskningen Sammanfattningar

R34:1973

Nyckelord:

bergundersökningar, slående sonderingsborrning, borrhål (tv-granskning), kärnborrning, vattentrycksprovning, metodvärdering, bergmassa

Rapport R34:1973 hänför sig till anslag C 884 från Statens råd för byggnadsforskning till Hagconsult AB, Stockholm

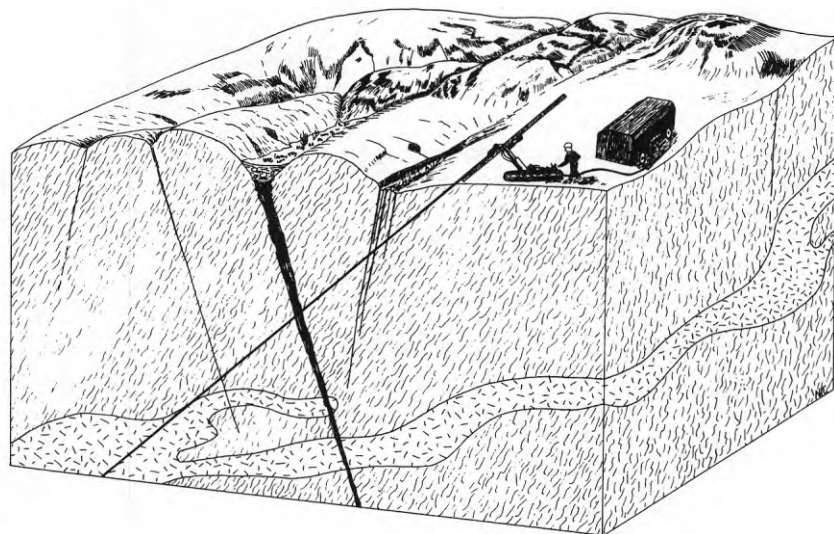


FIG. 1 Med ledning av gjorda ytobservationer placeras och riktas borrhål för undersökningar på djupet.

UDK 624.12
624.131.388
SfB A
ISBN 91-540-2148-0

Sammanfattning av:

Morfeldt, C-O, Bergman, M & Lundström, L, 1973, *Bergundersökningar. Kvalitetsvärdering av undersökningsmetoder*. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport 34:1973, 116 s., ill. 22 kr.

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

Borrhål 1,5 – 3 m innanför bergbrant. Borrhålet utfört för jämförande studier av information erhållen vid sonderingsborrning med kax-provtagning och tv-granskning. Obs. Borrhåls- och bergväggsarter ligger ej i samma plan.

Anm.:	Beteckningar	H	tv
H: Spricka vid ca 2 m djup registrerades till rätt djup och vidd. Spricka vid ca 3 m överdriven till vidd. Sprickzon vid ca 10 m djup märktes ej vid borringen. Kax-provtagningen gav en viss känedom om bergarterna, den huvudsakligen granitiska mineralsammansättningen erhöles.	Bergartstyper		
	Väsentliga mineral	+	++
	Kornstorlek	0	++
	Strukturdrag	0	+
	Kvalitet	+	+
	Sprickighet		
	Förekomst (frekvens)	+	++
	Vidd	+	++
	Fyllnadsmaterial	0	0
	Fyllnadsgrad	0	+
tv: Spricka vid ca 2 m djup registrerades till rätt läge och vidd liksom spricka vid ca 3 m djup. Horisontell spricka vid ca 6 m djup återfanns ej vid granskningen, troligen beroende på att sprickan är slutet i borrhålet. Sprickzon vid ca 10 m djup konstaterades. Den hade en vertikal bredd av ca 60 cm och utgjordes av 4 parallella mm-sprickor. Gnejs, pegmatit och amfiboliter kunde särskiljas beroende på allmänna kunskaper om förekommande bergarter och deras stora olikheter i kornstorlek, strukturdrag och gråskala.	Orientering (rymd)	---	---
	Svaghetszoner (ex. krosszoner)		
	Förekomst	0	++
	Bredd	0	++
	Orientering	---	---
	Karaktär	0	+
	Deformationer	0	0
	Permeabilitet	0	0

FIG. 2 Exempel på redovisning av informationsvärdering.

ras på består av ytobservationer i form av geologisk håll- och sprickkartering, seismiska undersökningar samt av bergundersökningar på djupet i form av borringar, FIG. 1.

För bergundersökningar på djupet borras hål genom kärnborrning som ger en kontinuerlig kärna av berget, eller genom hammarborrning. Den senare metoden, s.k. slående sonderingsborrning, har en om ock begränsad möjlighet att indikera ojämnheter i berg. Båda dessa bormetoder kompletteras ofta med vattentrycksprovning för täthetsmätning. För detaljerade studier av bergets sammansättning och sprickighet in situ utföres tv-granskning av borrhål.

Utförande

Förutsättningen för att en bergundersökning skall vara meningsfull är att det går att lita på de informationer om berget som erhålles.

Genom att jämföra och kritiskt analysera resultaten från olika undersökningsobjekt, där en eller flera olika metoder används, med vad som framkommit efter bergprojektets utförande, har man i denna utredning sökt utarbeta en mall för hur de olika undersökningsmetoderna skall behandlas för att tolkningen av de framkomna resultaten ska bli så pålitlig som möjligt.

Informationen indelas i tre kategorier.

1. Upplysning om gränsen jord/berg.
2. Upplysningar om bergmassans bergarter och bergartsgränser.
3. Upplysningar om bergmassans struktur (sprickor, krosszoner, skiktning- ar etc.).

Resultat

En systematiskt uppbyggd mall för informationsvärdering har utarbetats, FIG. 2. Tack vare denna värderings- tablå och de genomförda analyserna av respektive metod har en i stort tillämpbar jämförande värdering av de olika metoderna genomförts. Därvid konstateras att metoderna täcker olika områden avseende informationskaraktär. Vissa generella slutsatser kan dragas:

- En noggrann ytkartering ökar förutsättningen för att en djupundersökning skall ge tillförlitlig information.
- Det är sällan som en undersökningsmetod ensam ger tillräckliga informationer.
- För alla metoder gäller att kvaliteten på den erhållna informationen är helt beroende av fältpersonalens förmåga och noggrannhet.
- Med kärnborrning erhålles den kvalitetsmässigt bästa informationen om bergarter och bergartsgränser. tv-granskningen ger en tämligen tillfredsställande information om bergarterna i stort.
- Upplysningar om bergmassans sprickighet erhålles med både tv-granskning och kärnborrning. Med tv-granskning kan sprickvidder bestämmas. Metoden kan dock medföra viss risk för övervärdering av bergmassans bergtekniska egenskaper då klov och slutna sprickor ej framgår. Kärnborrning å andra sidan kan medföra risk för undervärdering av bergmassans egenskaper på grund av sprickbrott orsakade av borringen.

- Med tv-granskning kan den kvalitetsmässigt bästa informationen om svaghetszoner i berggrunden erhållas. Kärnborrning synes i många fall ge osäker och svårtolkad information i detta avseende.
- Hammarborrning ger i sig själv en mycket begränsad information om berggrunden. Noteras bör att denna metod i ännu högre grad än de övriga metoderna är beroende av personalens skicklighet.
- Automatisk borrhålsregistrering är av fundamental betydelse för resultatet vid hammarborrning. Denna registreringsmöjlighet förelåg ej vid de i rapporten redovisade borrhålens utförande.

Fortsatt undersökningsverksamhet

Utöver de jämförande undersökningar och analyser av befintliga borrhål som gjorts i Etapp I kommer i Etapp II en förfinad jämförande analys av resultat erhållna från speciellt utförda borrhål att genomföras.

Den fortsatta undersökningen, FIG. 3, omfattar bl. a. kontrollerat utförande av ett antal parvisa kärnborrhål och hammarborrhål i omedelbar närhet av varandra i vilka såväl tv-granskning som vattentrycksprovning skall utföras. Vid dessa borringar skall de faktorer, som behandlats och karakteriserats i Etapp I observeras och registreras för utvärdering.

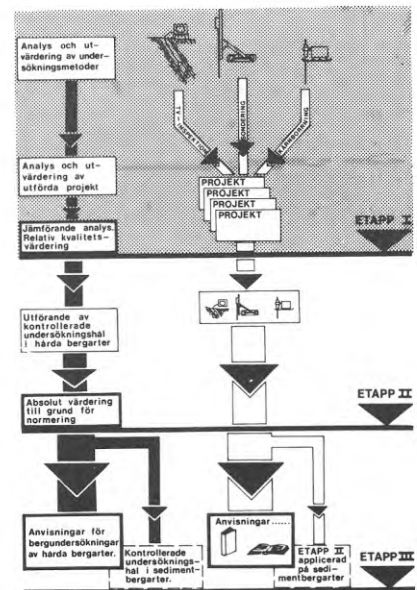


FIG. 3 Flödesschema åskådliggörande projektet i sin helhet.

Rock mass investigations Evaluation of methods

Carl-Olof Morfeldt, Magnus Bergman
& Lars Lundström

The great increase in underground construction, comprising everything from transportation and utilities lines tunnels to rock chambers for the storage of propane, petrol, oil, warm water and compressed air, inter alia, creates a great demand for reliable methods for detailed investigations of the rock mass.

For the present there exists no fully reliable method for investigating rock in depth. This report reveals that all the methods here dealt with — percussive investigation drilling, core drilling and TV examination of drill holes — contain many subjective aspects where the reliability of the method is to a great extent dependent on the ability and accuracy of the field personnel. In the report the various investigation methods are described and analyzed in detail. The risks for erroneous interpretations of the information obtained, which may have their origin in the method chosen, are treated at length.

As a result of the incomplete nature of the basic material, it has proved possible only to establish a framework for the evaluation of the quality and reliability of information obtained in investigations of the rock mass. Using this framework as a basis however it should be possible to elaborate a system for absolute evaluations of such information. With this goal, the continuation of this investigation should lead to a standardization of testing procedures so that quality requirements in rock mass investigations can be specified in the future.

Keeping pace with the continuous increase in construction in our solid granitic bedrock, technical demands placed on the properties of the surrounding rock also increase. Reinforcement and sealing operations in a bedrock installation are very expensive and can in unfavourable cases entail costs of such an order that the economy of the project is jeopardized.

In order to position and shape tunnels and rock chambers as suitably as possible with reference to the basic rock conditions it is necessary that even as early as the projecting stage detailed information should be available on the rock from the depth in question.

The purpose of the rock investigations is to provide information on rock type variations, structural characteristics, fissure frequency, fissure width, fissure fillings, density and so on — information required if the technical and economic problems are to be solved in optimal fashion.

Since rigorous demands on the reliability of information generally entail high investigation costs, a decision must be taken as to which qualitative level is necessary for the investigation and economically defensible for the project in question. Such a judgement however presupposes a system for comparative evaluations of the information obtained.

Methods of investigation

The basic information for projecting consists of surface observations in the

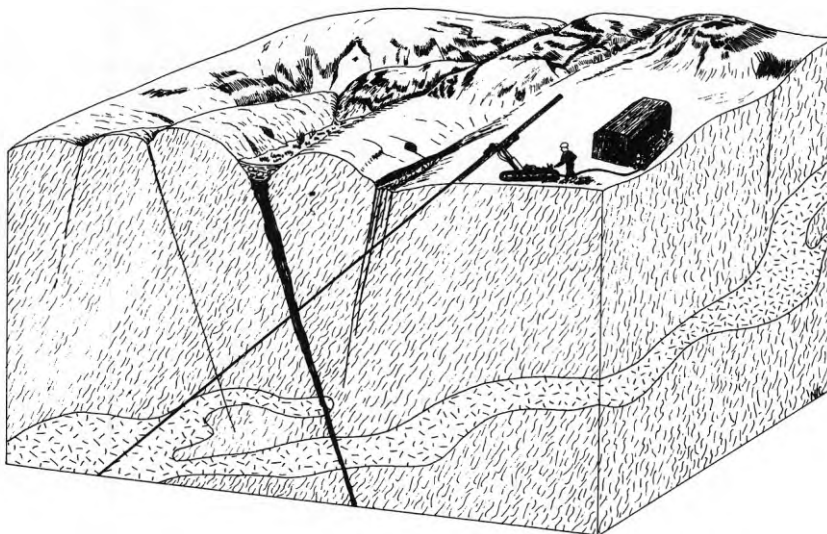


FIG. 1 On the basis of surface observations the drill hole is positioned and directed for the investigation in depth.

National Swedish Building Research Summaries

R34:1973

Key words:

rock mass investigations, percussive investigation drilling, drillhole (tv-examination), coredrilling, water pressure test, evaluation of methods, rock mass

Report R34:1973 has been financed through Grant C 884 from the Swedish Council for Building Research to Hagconsult AB, Stockholm.

UDC 624.12
624.131.388

SfB A
ISBN 91-540-2148-0

Summary of:

Morfeldt, C-O, Bergman, M & Lundström, L, 1973, *Bergundersökningar. Kvalitetsvärdering av undersökningsmetoder*. Rock mass investigations. Evaluation of methods. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Report R34:1973, 116 p., ill. 22 Sw. Kr.

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

Distribution:

Svensk Byggtjänst
Box 1403, S-111 84 Stockholm
Sweden

Drill hole 1,5 – 3 m distant from rock cut surface. Hole executed for comparative studies of information obtained in investigation drilling with sampling of cuttings and tv-examination. Note. The drill hole and the rock face are not in the same plane.

Remarks	Symbols	Percussive	TV
P Fissure at approx. 2 m depth registered with correct depth and width. Fissure at approx. 3 m depth exaggerated in width. Fissured zone at approx. 10 m depth not noted during drilling. Cuttings samples gave some information on the kinds of rock, the predominantly granitic mineralogical composition was registered.	ROCK TYPE		
	Rock type characteristics		
	Main minerals	+	++
	Grain size	0	++
	Structural characteristics	0	++
	Quality	+	+
	Fissuring		
	Presence (frequency)	+	++
	Width	+	++
	Filling material	0	0
Degree of filling	0	+	
Position and direction	--	--	
TV Fissure at approx. 2 m depth registered with correct position and width as was the fissure at approx. 3 m depth. Horizontal fissure at approx. 6 m depth was not noted during the examination, no doubt to the fact that the fissure is closed off in the drill hole. Fissured zone at approx. 10 m depth noted. It had a vertical width of approx. 60 cm and was formed of 4 parallel millimetre-wide fissures. Gneiss, pegmatite and amphibolites could be distinguished as a result of general knowledge of the prevalent rock types and their great differences in grain size, structural characteristics and shading.	ROCK MASS		
	Discontinuities (e.g. crushed zones)		
	Presence	0	++
	Width	0	++
	Position and direction	--	--
	Character	0	+
	Deformations	0	0
	Permeability	0	0

FIG. 2 Example of the evaluation of information

form of geological outcrop and fissure mapping, seismic investigations, and bedrock investigations in depth in the form of drill holes. FIG. 1.

In bedrock investigations in depth, holes are drilled by means of core drilling to provide a continuous core sample of the rock or by percussive drilling. The latter method, percussive investigation drilling, has possibilities, even if limited, to indicate irregularities in the rock. Both these drilling methods are often complemented by water pressure tests. For a detailed study of the composition of the rock and degree and nature of fissures in situ a TV examination of the hole is carried out.

Procedure

For a rock mass investigation to be meaningful the prerequisite is that the information about the rock can be trusted.

By comparing and analyzing critically the results from various investigations, where one or more different methods were employed, in the light of information available on the completion of the construction project, we have attempted in this inquiry to establish a structure for dealing with the various investigation methods so that the interpretation of the results obtained will be as trustworthy as possible.

The information is divided into three categories:

1. Information on the boundary between soil and rock.
2. Information on the rock types and their boundaries in the rock mass.
3. Information on the structure of the rock mass (fissures, crush zones etc).

Result

A systematically constructed framework for the evaluation of information has been elaborated, FIG. 2. With the aid of this evaluation table and the analyses carried out of the various methods, it has been possible to make a generally applicable comparative evaluation of the different methods. Here it can be noted that the methods cover different areas as concerns the nature of the information. Certain general conclusions can be drawn:

- A careful surface mapping increases the chances of an investigation in depth providing reliable information.
- It is rare that a single investigation method provides sufficient information.
- It is true of all the methods that the quality of the information obtained is completely dependent on the ability and accuracy of the field personnel.
- Core drilling provides the qualitatively best information on rock types and their boundaries. TV examination gives fairly satisfactory information on the rock types on the whole.
- Information on the presence and nature of fissures in the rock mass can be obtained with both TV examination and core drilling. With the former the width of the fissures can be established. The method may however entail a certain risk for overrating the properties of the rock mass, as joints and closed fissures are not recorded. Core drilling, on the other hand, can entail the risk of underrating the quality of the rock mass because of fissures caused by drilling.

- TV examination provides the qualitatively best information on discontinuity zones in the rock mass. Core drilling in many cases appears to give unsure information, difficult to interpret in this respect.
- Percussive drilling in itself gives very limited information about the rock mass. It should be noted that this method to an even greater extent than the others is dependent on the skill of the personnel. Automatic registration of the rate of penetration is of fundamental importance for the results. There was however no such possibility for registration when the drill holes here reviewed were executed.

Continuation of the inquiry

In addition to the comparative investigations and analyses of completed drill holes which were made in Phase I, Phase II will include a refined comparative analysis of results obtained from specially executed drill holes.

The continuation of the inquiry, FIG. 3, includes, inter alia, controlled execution of a number of paired holes – core drilled holes and percussive drilled holes in the immediate vicinity of one another – in which both TV examinations and water pressure tests will be carried out. During this drilling, the factors discussed and characterized in Phase I will be observed and registered for subsequent evaluation.

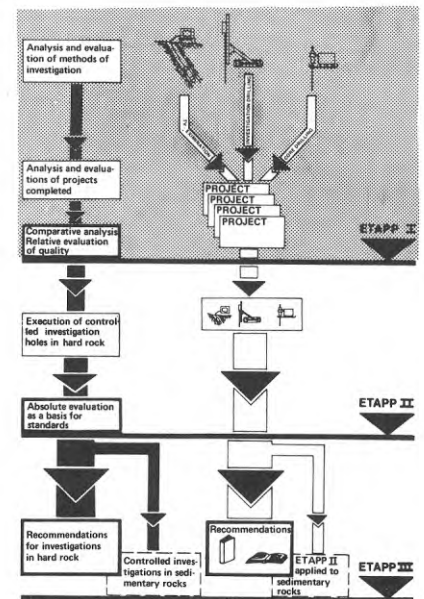


FIG. 3 Flow pattern illustrating the project as a whole.

Rapport R34:1973

BERGUNDERSÖKNINGAR
KVALITETSVÄRDERING AV UNDERSÖKNINGSMETODER

ROCK MASS INVESTIGATIONS
EVALUATION OF METHODS

av

Carl-Olof Morfeldt, Magnus Bergman & Lars Lundström

Denna rapport avser anslag nr C 884 från Statens råd för byggnadsforskning till Hagconsult AB, Stockholm. Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.

Statens Institut för Byggnadsforskning, Stockholm

ISBN 91-540-2148-0

Rotobekman AB, Stockholm 1973

FÖRORD

Alla som arbetar med bergundersökningar har erfarit, att borrhning och provtagning i berg kan ske utan komplikationer så länge som berget är bra, men de har också med besvikelse upplevt, att man nästan alltid "tappar" information där man bäst behöver den, dvs. där det är fel på berget.

Tack vare anslag från Statens råd för byggnadsforskning gavs möjligheter att förverkliga en länge närd önskan nämligen att analysera och jämföra olika bergundersökningsmetoders tillförlitlighet.

I och med att första etappen av denna forskning nu avslutats är det mig angeläget att här få framföra ett varmt tack till mina medarbetare inom Hagconsult AB, vilka bidragit till denna publikations förverkligande.

Särskilt tack vill jag rikta till civilingenjörerna Lars Lundström och Magnus Bergman för ett starkt personligt engagemang och ett inspirerande lagarbete. Lars Lundström har genom sin rika erfarenhet av bergundersökningar i skilda delar av världen på ett värdefullt sätt kunnat belysa och konkretisera problemställningarna. Magnus Bergmans stora erfarenhet av olika borrhmetoder i teori och praktik har utgjort en bas för hela utredningen och han har ansvarat för denna publikations sammanställning och utformning. Till bergsingenjör Allan Nordström (kärnborrhning), fil. lic. Jörgen Lundberg (berg-byggnadsgeologi), ingenjör Birgitta Sahlström och ing. geolog Bengt Nicolson (illustrationer och foto) samt fru Gertrud Nordahl (forskningssekr.) framför jag min tacksamhet för aldrig sinande entusiasm och hjälpsamhet.

Carl-Olof Morfeldt
Projektledare

INNEHÅLL

GEOLOGISK BAKGRUND OCH DEFINITIONER	7
1. PROBLEMSTÄLLNING, MÅLSÄTTNING, URVAL	
1.1 Inledning	19
1.2 Problemställning	19
1.3 Målsättning	22
1.4 Urval	23
2. UNDERSÖKNINGSMETODER, BESKRIVNING, VÄRDERING OCH DISKUSSION	
2.1 Slående sonderingsborrning	25
2.1.1 Inledning	25
2.1.2 Karakteristik av sonderingsborrning	27
2.1.3 Bergartsklassificering efter borrarbarhet	28
2.1.4 Påverkande faktorer vid hammarborrning	30
2.1.5 Analys och diskussion av förutsättningarna för slående sonderingsborrning vid bergundersökningar på djupet	47
2.1.6 Utvecklingsmöjligheter	53
2.1.7 Sammanfattning slående sonderingsborrning	54
2.2 Kärnborrning	56
2.2.1 Inledning	56
2.2.2 Borrningens utförande	58
2.2.3 Studier av borrhåll	61
2.2.4 Analys och diskussion av förutsättningarna för kärnborrning vid bergundersökningar på djupet	63
2.2.5 Utvecklingsmöjligheter	66
2.2.6 Sammanfattning kärnborrning	66
2.3 Borrhållsgranskning med TV-kamera	68
2.3.1 Inledning	68
2.3.2 Utrustning	71
2.3.3 Granskningsmetodik	72
2.3.4 Diskussion och analys av förutsättningarna för TV-granskning av borrhåll vid bergundersökningar på djupet	73
2.3.5 Utvecklingsmöjligheter	78
2.3.6 Sammanfattning TV-granskning	79
2.4 Vattentrycksprovning	80
2.4.1 Inledning	80
2.4.2 Utrustning och metodbeskrivning	80
2.4.3 Kommentar	82

3.	UTFÖRDA BERGUNDERSÖKNINGAR	
3.1	Historik	83
3.2	Redovisning av utförda undersökningar med kommentarer	87
3.2.1	Förutsättningar	87
3.2.2	Diskussion av resultat	88
4.	SAMMANFATTANDE SLUTSATSER	92
5.	FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSK- NINGSPROGRAM	94
6.	LITTERATUR	95
	BILAGA 1 - 13	97
	CAPTIONS	110

BERGARTSCYKELN

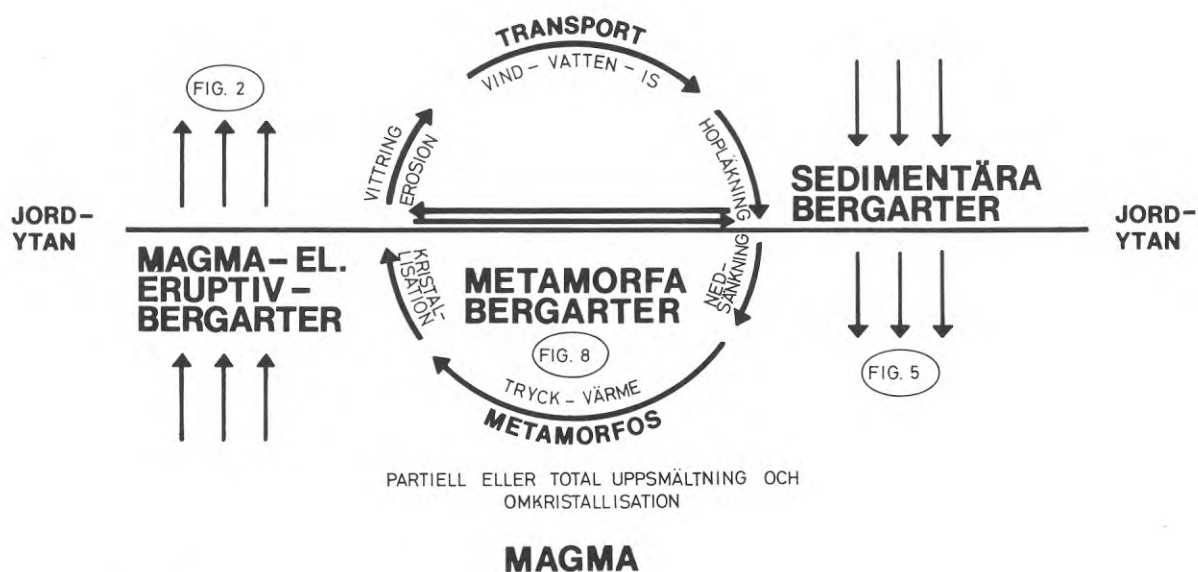


Fig. 1
Bergartscykeln

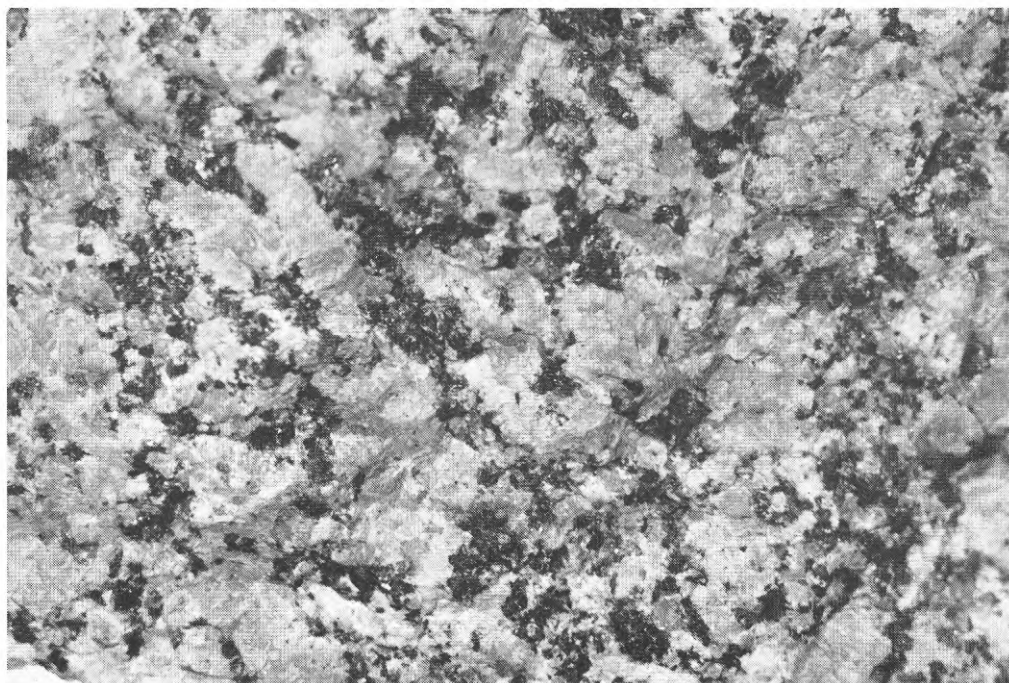


Fig. 2

Grovkristallin granit. De ljusa kristallerna utgöres av kvarts och fältspat, de mörka av glimmer.
 Naturlig storlek: Grovkristallin; kornstorlek 7 mm
 Finkristallin; kornstorlek 1-2 mm.

GEOLOGISK BAKGRUND OCH DEFINITIONER

Den berggrund, som idag utnyttjas för anläggnings- och byggnadsarbeten är, sett i sitt stora sammanhang, ytligt belägen och mycket varierande till sin uppbyggnad. Våra berggrum och tunnlar ligger sällan på djup större än 100 meter.

Man skiljer mellan tre huvudgrupper av bergarter nämligen magmabergarter eller eruptivbergarter, sedimentbergarter och metamorfa bergarter. (FIG. 1) Varje grupp har i sig specifika drag, vilka har betydelse ur bergbyggnadssynpunkt.

Magmabergarterna är massformigt utbildade med kristallstorleken varierande från finkornig till grovkornig. Till dessa bergarter hör graniterna, som har mycket hög kvartshalt. (FIG. 2, 3) Vid minskad kvartshalt och ökad halt av mörka mineral benämnes bergarten basisk, i vissa fall dominerar de mörka mineralen. Detta ger bergarter av typen diorit, gabbro, diabas osv. (FIG. 4) Magmabergarterna är, med få undantag, hårda och har ur borrhings-, sprängnings- och hållfasthetssynpunkt goda egenskaper.

Sedimentbergarterna har en annorlunda uppbyggnad. De har bildats av vittrings- och nötningsprodukter av bl. a. magmabergarter. Bergarts- och mineralfragment av varierande storlek har transporterats av vatten eller vind och ofta avsatts i form av skiktade lagerföljder, vilka senare "förstenats" så att kornen limmats samman och en fast bergart har utbildats. (FIG. 5) Limmet eller cementet utgöres vanligen av kvarts eller kalkspat. (FIG. 6) Grovkorniga partiklar ger sandstenar, finkorniga partiklar ger lerstenar och lerskiffrar. Till sedimentbergarterna hör även kemiskt utfälda sediment såsom sedimentära kalkstenar av olika typer. (FIG. 7)



Fig. 3
Mikrofoto av finkornig granit.
10 skalstreck = 0,5 mm.



Fig. 4
Mikrofoto av diabas.
10 skalstreck = 0,5 mm.



Fig. 5
Sandsten med skiktstruktur.

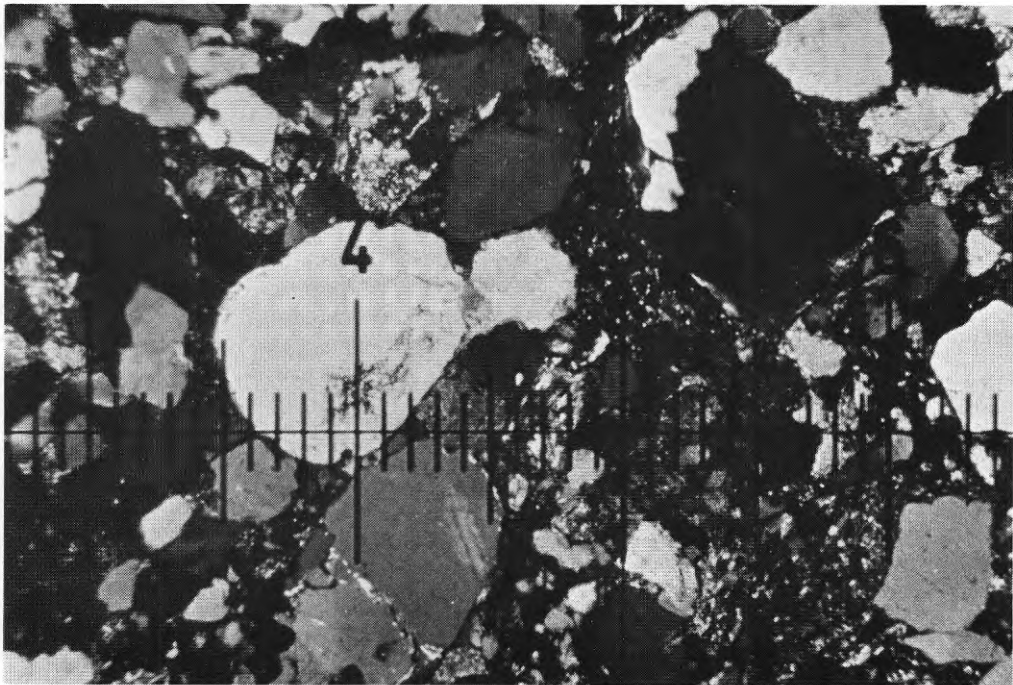


Fig. 6
Mikrofoto av sandsten innehållande rundade
och kantiga kvartskorn. Cementet utgöres
här av kvarts och limonit. 10 skalstreck = 0,5 mm.

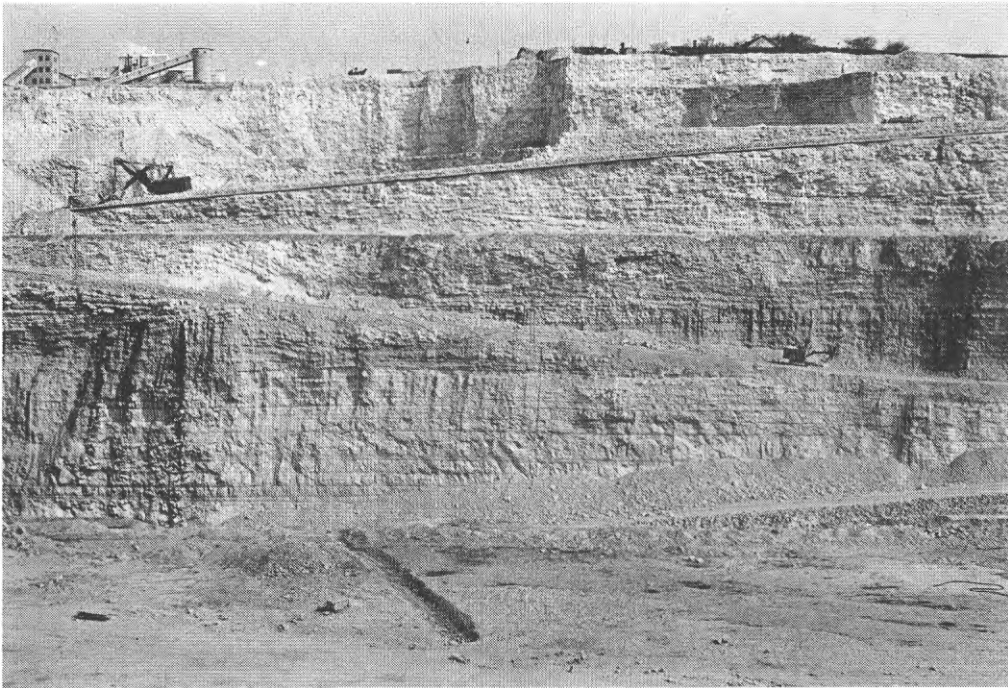


Fig. 7
Kalkstensbrott i Limhamn (kritkalksten).

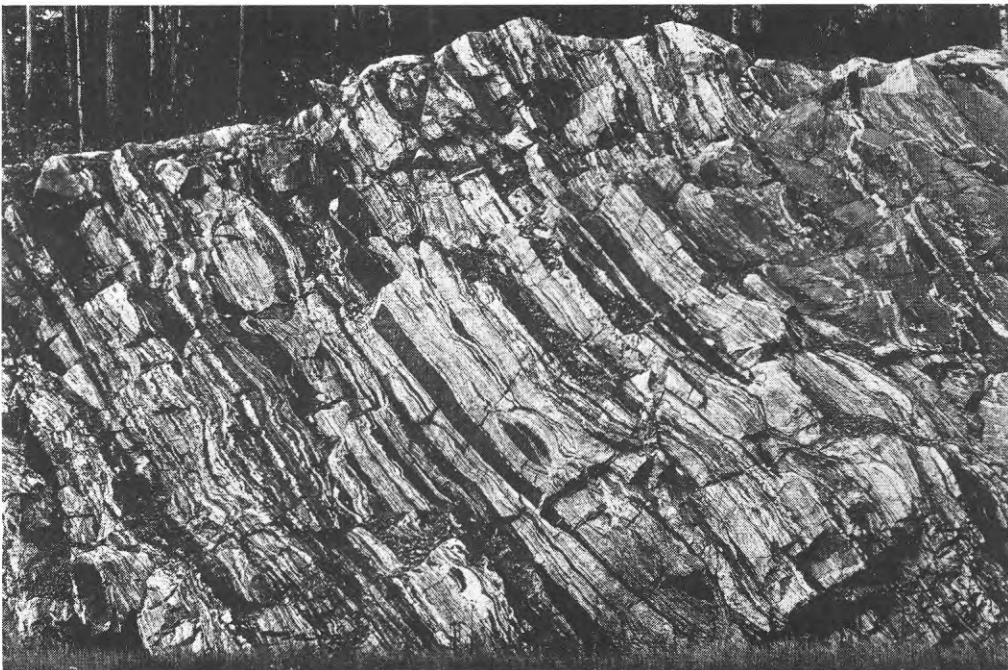


Fig. 8
Omsmält och starkt pressad bergart, gnejs.

Såväl magma- som sedimentbergarterna har under olika epoker i jordens historia blivit utsatta för tryck och uppvärmning. På detta sätt har den tredje huvudgruppen av bergarter uppkommit, nämligen de metamorfa bergarterna, vars struktur (planskiffrighet, stänglighet och slirighet) i allmänhet bär vittne om pressning eller partiell uppsmältning. De speciella strukturdrag som bergarterna vid dessa förändringar erhåller har i bergtekniskt sammanhang mycket stor betydelse. Som exempel skall här nämnas att graniterna kan pressas och partiellt smältas om så att gnejs av olika typer uppkommer. (FIG. 8) Följaktligen kan en granit vara mer eller mindre förgnejsad. Sedimentära bergarter kan på detta sätt omvandlas totalt och få en helt ny skepnad. Sandstenar kan exempelvis övergå till kvartsiter och glimmerskiffrar (FIG. 9, 10) och kalkstenar av sedimentär typ till kristallin kalksten (marmor). Dessa förändringar kan från bergmekanisk synpunkt vara såväl till fördel som till nackdel.

De bergarter, som uppbygger en bergmassa, kan i sig uppvisa mycket goda hållfasthetsegenskaper men bergmassan kan ändå vara olämplig för bergbyggnadsändamål. Under årmillioners lopp har nämligen berggrunden varit utsatt för förändringar av olika slag, vilka inneburit, inte bara den tidigare nämnda metamorfosen av magma- och sedimentbergarterna, utan även påkänningar och rörelse i jordskorpan, som medfört att bergpartier blivit mer eller mindre uppspruckna. Det finns inget berg som är helt fritt från sprickor och krosszoner. I samband med rörelserna i jordskorpan har i tektoniska zoner berget ofta blivit omvandlat, söndergnuggat till lerkonsistens och i vissa fall åter hopläkt.

Sprick- och krosszonerna har blivit centrum för ytterligare omvandling och nedbrytning av berget. (FIG. 11) Uppifrån kommande kolsyrehaltigt och humushaltigt vatten har brutit



Fig. 9
Pressad och veckad glimmerskiffer.

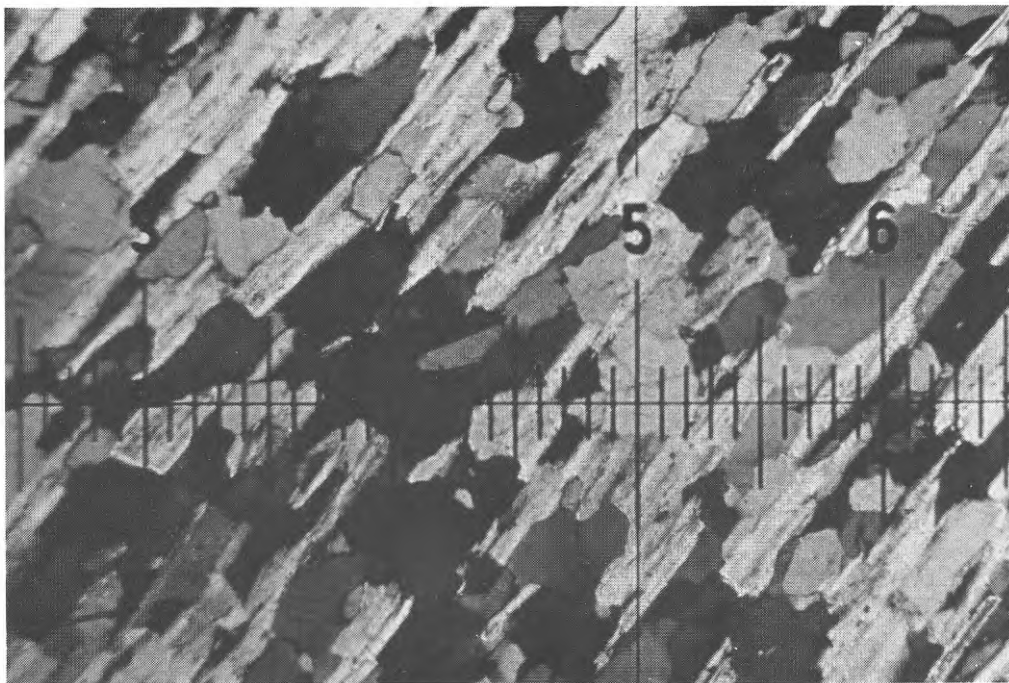


Fig. 10
Mikrofoto av glimmerskiffer. Mineralkornen har
i samband med tryck fått en långsträckt form.
10 skalstreck = 0,5 mm.



Fig. 11
Krosszon, ca 4 m bred, på gränsen mellan granit
till höger i bilden, och gnejs till vänster i bilden.

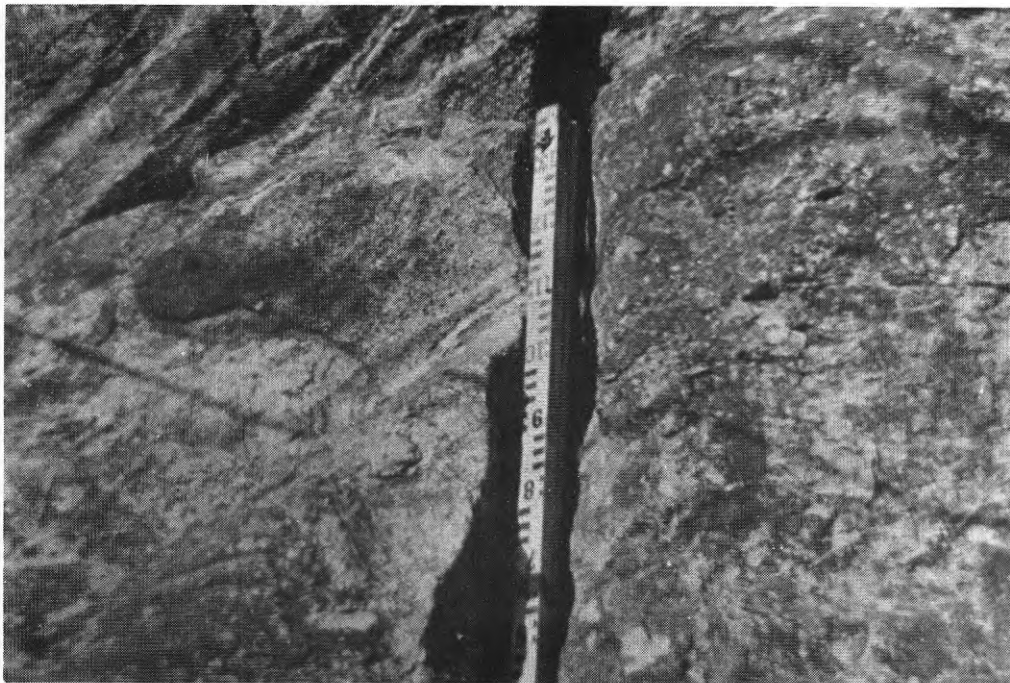


Fig. 12
Enskild spricka utan fyllnad.

ner fältspaterna i bergarterna till lermineral av typ kaolin. Underifrån kommande varma gaser och lösningar kan på liknande sätt ha omvandlat berget i sprick- och krosszonerna. Man erhåller sålunda svaghetszoner där berg av olika kvaliteter förekommer alltifrån sprickrikt till leromvandlat berg. (FIG. 12, 13, 14)

Berget är i motsats till vad man kanske tror, ett "levande" material. Berg sväller vid vätning och krymper vid uttorkning.

I och med att man åstadkommit ett hålrum i berget ändrar man på kraftspelet och rörelser kan uppkomma för utjämnning av den nya spänningssituationen i berget. På många ställen i berggrunden föreligger ännu "gamla spänningar", vilka i samband med bergarbeten utlöses och bl. a. orsakar bergutfall under ljudeffekter, s. k. smällberg, varvid bergskivor avlossas. De nämnda exemplen sammanhänger med bergartens inre uppbyggnad och mineralinnehåll. Sålunda är det i vissa fall även av stort intresse att studera bergarterna i detalj.

Diskontinuiteternas utbildning samt förskiffringsplanens, sprick- och krosszonernas riktning och orientering visavi berggrummet är av mycket stor betydelse för stabiliteten i berget. Risk för bergutfall och ras föreligger i fall där förbandet mellan bergskivorna är dåligt (FIG. 15) liksom i kross- och vittringszoner. Risken för olycksfall, inte bara genom ras utan även genom nedfall av enstaka stenar sammanhänger med bergarternas strukturer, vilka således måste beaktas. Några typfall visas i FIG. 17.

Berggrundens diskontinuiteter medför inte bara stabilitetsproblem utan även, där anläggningarna ligger under grund-



Fig. 13
Sprickzon i granit.

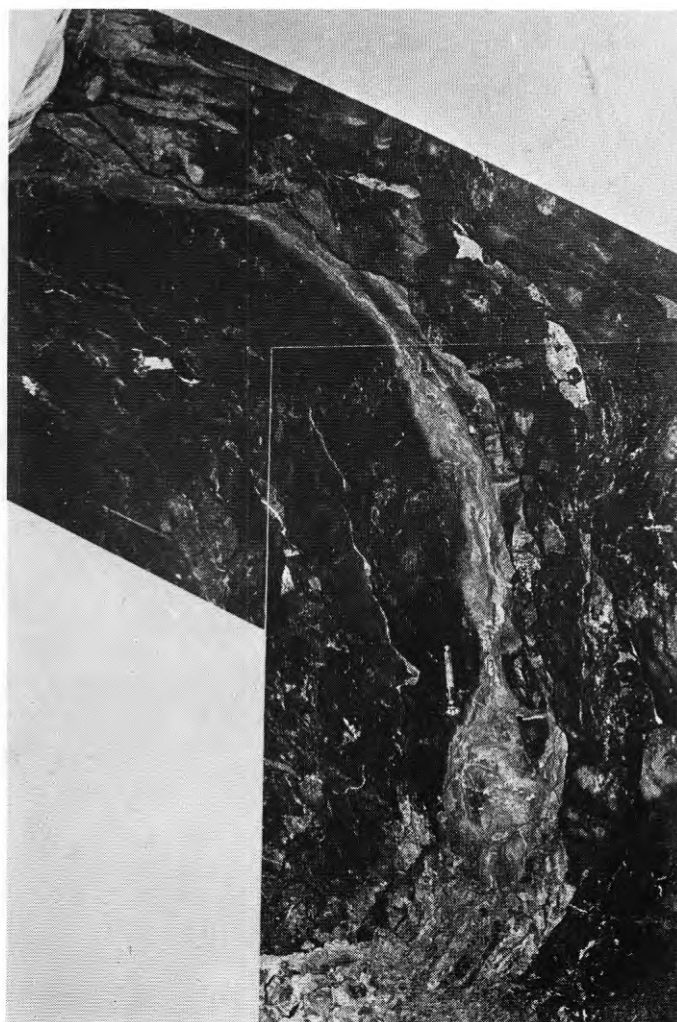


Fig. 14
Leromvandlat berg. Lerzonen
tvärrar gnejsstrukturen.

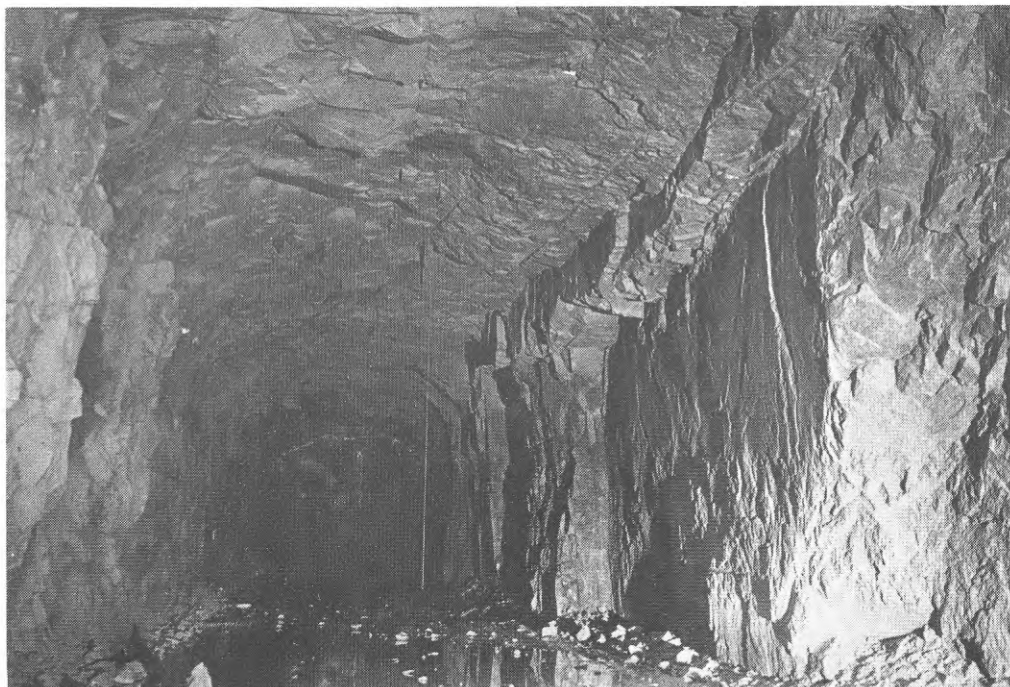


Fig. 15
Bergtunnel i granit, parallell med huvudsprick-
riktningen.

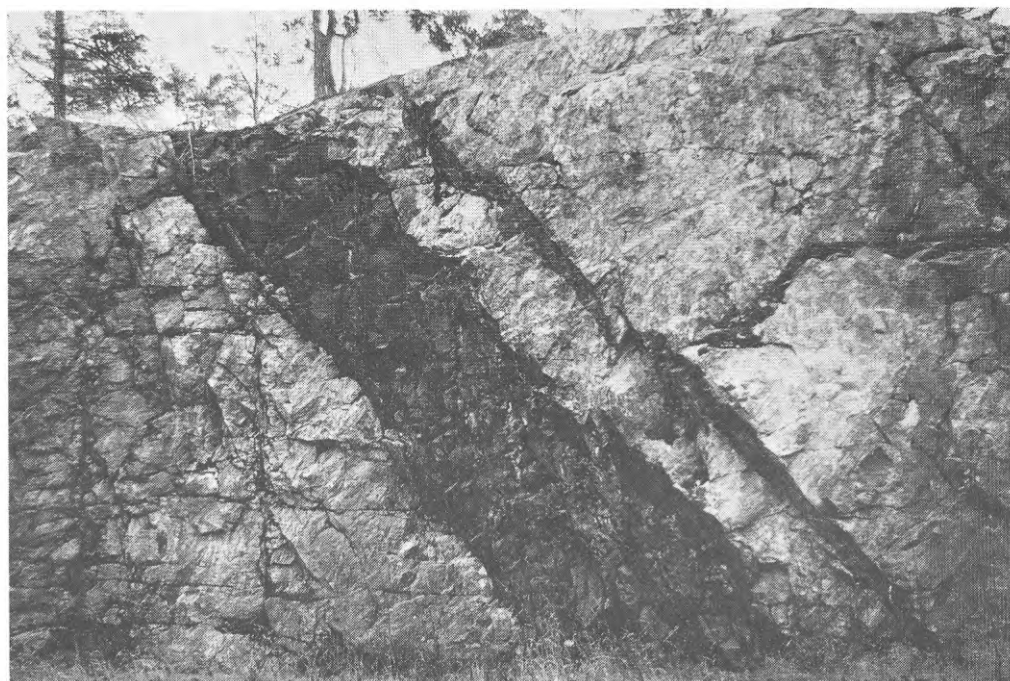


Fig. 16
Bergartsgångar, diabaser, i gnejs.

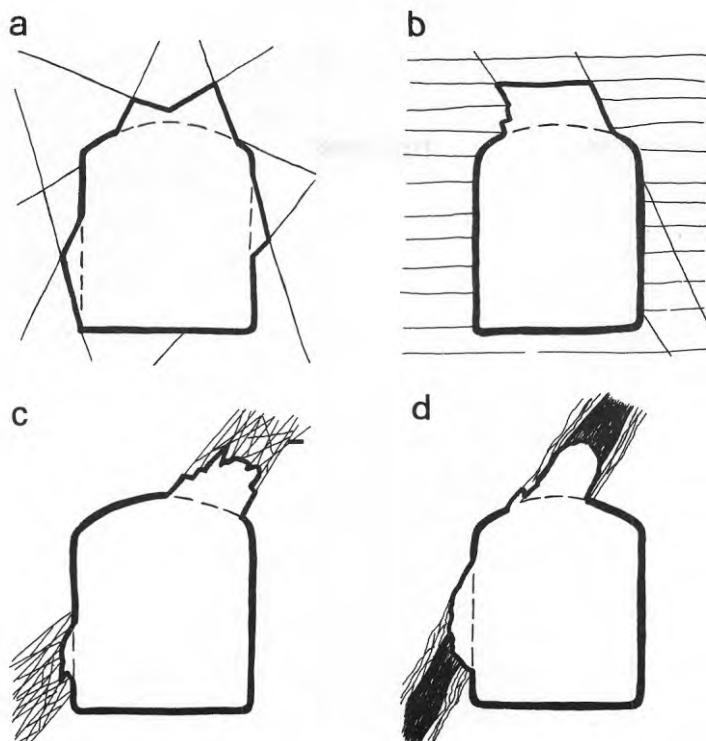


Fig. 17

- a Bergutfall på grund av ofördelaktigt korsande sprickplan.
- b Bergutfall på grund av horisontella strukturer i berget.
- c Risk för stenedfall från sprick- och krosszon.
- d Rasrisk på grund av lerzon.

vattenytan, risk för besvärande vattengenombrott. Under de senare åren har man även erfarit faran av att via bergarbeten dränera de lösa jordlagren, vilket kan medföra svåra sättningsskador på bebyggelse ovan jord samt förstörelse av vegetation m. m. på grund av grundvattensänkning. Tättningsarbetena har därför under senare år blivit mera omfattande med hänsyn till faran av att pumpa bort grundvatten i känsliga områden.

Bergartsgränser och "främlingar" i berggrunden i form av bergartsgångar innebär ofta problem för bergarbetet.

(FIG. 16) Bergartsgångar går ofta fram i berggrunden oberoende av omgivande bergartsstrukturer och t. ex. diabasgångar utgöres av basisk magma som trängt upp i sprickor i en redan svalnad berggrund. I samband med avkylningen av gångbergarten inträder ofta krympning och glapp med dåligt förband till sidoberget och risk för vattenläckning i fogen. Bergartsgångar såväl som bergartsgränser innebär i regel nedsatt hållfasthet och risk för vattenläckning i en bergrumsanläggning.

Svagheter i berggrunden såsom sprick-, kross- och vittringszoner såväl som förekomsten av "lösa" bergarter påverkar bergytans topografi. På grund av eroderande krafter av olika slag, bl. a. inlandsisens verkan, har bergytan skulpterats och formats och har i Sverige ett mycket växlande utseende. Vid förkastningszoner är risken för en starkt oregelbunden bergyta särskilt stor och tvära nivåkast på mer än 20 m är icke ovanliga i svensk berggrund. Det är därför ofta av mycket stor vikt att man i detalj fastlägger det fasta bergets yta. (FIG. 41)

1. PROBLEMSTÄLLNING, MÅLSÄTTNING, URVAL

1.1 Inledning

Tack vare det svenska bergets ovanligt goda bergtekniska egenskaper gör man såväl inom husbyggnads- som inom anläggningssektorn allt mer omfattande ingrepp i berggrunden i form av djupa grundschakt och vägskärningar samt tunnlar och bergrum.

I takt med att projektens omfång och storlek växer, ökar även de tekniska kraven på det omgivande bergets egenskaper.

Vid val av bergområde för placering av bergrum eller sträckning av tunnlar är det av stor betydelse - framförallt ekonomisk sådan - att för ändamålet bästa tillgängliga bergparti utnyttjas.

Förstärknings- och tätningsarbeten av olika slag i en berganläggning är mycket kostsamma och kan i ogynnsamma fall dra med sig kostnader av sådan storleksordning att projektens ekonomi äventyras. Det är därför synnerligen viktigt att man med hänsyn till de olika projektens utförande och funktion beaktar berggrundens egenskaper.

1.2 Problemställning

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

Ur byggnadsteknisk synpunkt är det följaktligen egenskaperna hos den av sprickor, skölar och krosszoner - eventuellt vattenförande - genomsatta bergmassan, som är av betydelse.

Möjligheterna att bestämma bergmassans väsentliga egenskaper är dock begränsade, dels beroende på att egenskaperna kan skifta mycket starkt mellan även närliggande områden, dels av storleks- och kostnadsskäl. Vid stora byggnadsverk företas ofta s.k. in situ-provningar eller arbetar man med provkroppar av storleksordningen $1 - 3 \text{ m}^3$. Härvid finner man genomgående att bergmassans hållfasthet och deformationsmodul avsevärt understiger bergartens, i vissa extrema fall kan t. ex. hållfasthetsvärdena ha relationen 3:1 - 10:1. I stora tunnlar, höga dammar, bergrum etc. gäller den ingenjörstekniska uppgiften ofta att uppskatta egenskaperna hos bergmassor med 100.000-tals m^3 volym. Då måste även in situ-bestämda egenskaper bedömas försiktigt och framförallt måste tillbörlig hänsyn tas till bergmassans geologiska storstruktur.

Det underlag man har att basera projekteringsarbetet på består dels av ytobservationer i form av geologiska håll- och sprickkarteringar, dels av bergundersökningar på djupet i form av borrhål ur vilka information hämtas på olika sätt. (FIG. 18, 19) Dessa borrhningar kan utföras genom kärnborrhning eller genom slående sonderingsborrhning. Båda dessa borrhmetoder kompletteras ofta med vattentrycksprovning och under senare år har också TV-granskning tillkommit som komplement för detaljerade studier av hålväggen.

Vid bearbetning och tolkning av underlaget från dessa bergundersökningar föreligger stora risker för felbedömningar. Vid nämnda undersökningar är man hänvisad till att ifrån markytan (eller, i vissa fall sedan drivning påbörjats, från tunnel-

Fig. 18
Geologisk karta över
Stockholmsområdet.

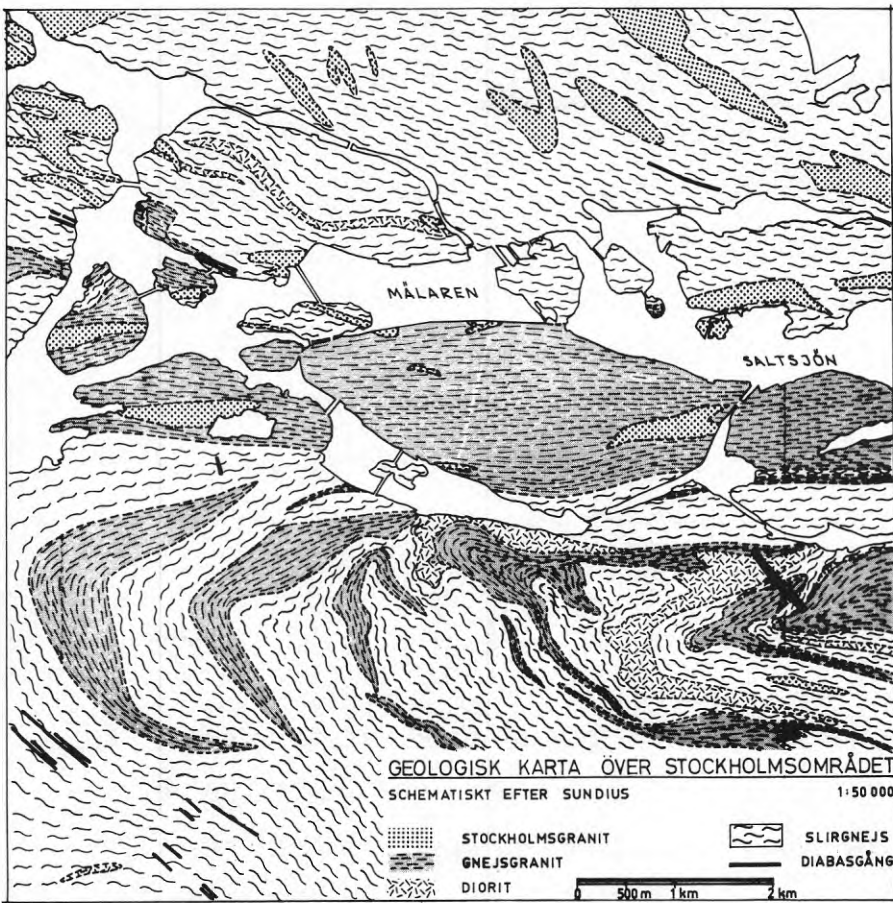
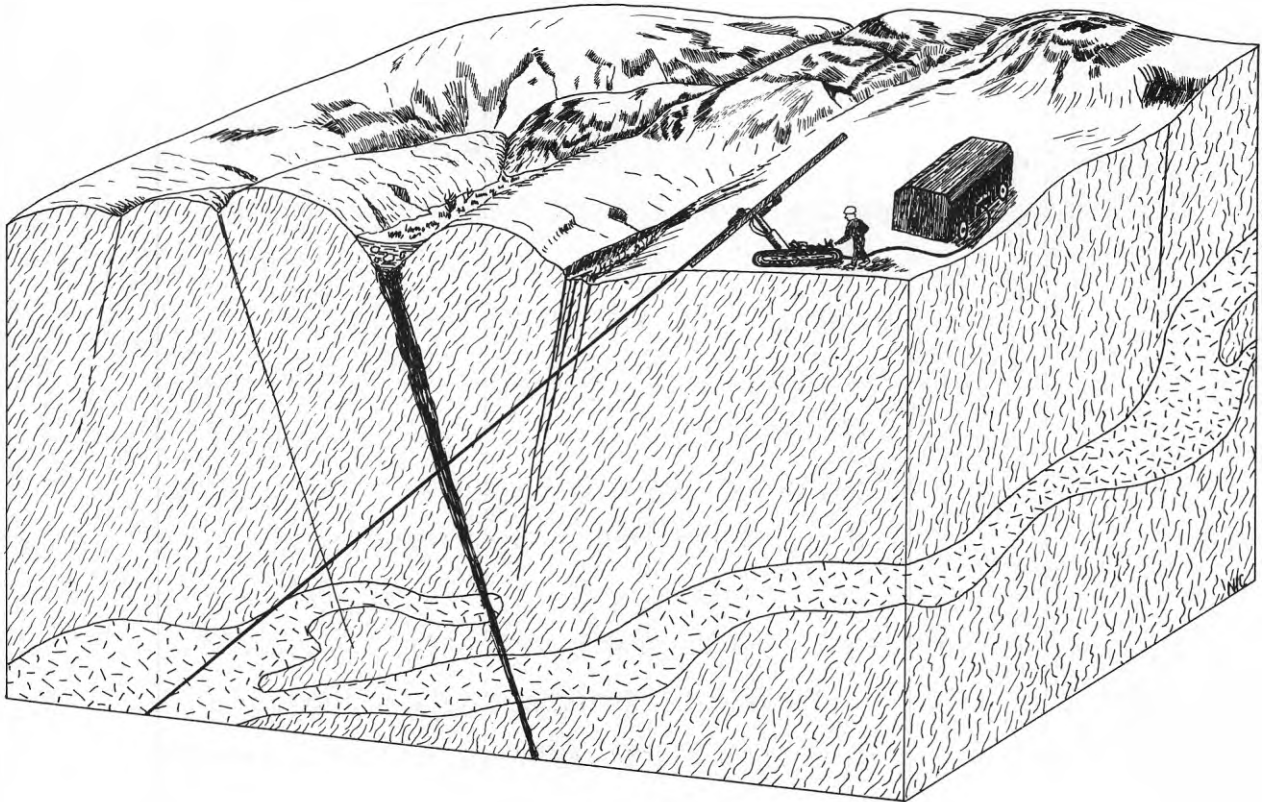


Fig. 19
Med ledning av gjorda
ytobservationer placeras
och riktas borrhål för
undersökningar på djupet.



gaveln) försöka samla så relevant information som möjligt om bergmassan för analys och bedömning. Eftersom alla undersökningsmetoder lämnar stort utrymme för subjektiv tolkning och i hög grad beror av yttre mekaniska faktorer, är det nödvändigt att komma fram till någon form av kvantifiering och tillförlitlighetsvärdering av den information som erhålles med respektive undersökningsmetod. Detta bör sedan leda till en standardisering, för att alla inblandade parter skall veta vilka informationer man kan få fram vid dylika undersökningar samt tillförlitligheten av dessa informationer.

1.3 Målsättning

Bergundersökning på djupet har till syfte att lämna de informationer om berggrunden, som behövs för att man skall kunna lösa tekniska och ekonomiska frågeställningar på ett optimalt sätt. Eftersom höga krav på informationernas tillförlitlighet i regel medför högre undersökningskostnader, måste man överväga vilken kvalitetsgrad på undersökningen som är nödvändig och ekonomiskt försvarbar för varje specifikt projekt.

I praktiken kan man indela bergundersökningar på djupet i tre kategorier med avseende på önskad informationsmängd.

1. Upplysning om gränsen jord/berg
2. Upplysningar om bergmassans bergarter och bergartsgränser
3. Upplysningar om bergmassans struktur (sprickor, krosszoner, skiktning etc.)

Det är nödvändigt att värdera dessa informationers karaktär och ange graden av deras tillförlitlighet med hjälp av den mall, som på basis av föreliggande undersökning bör kunna utformas.

Med denna mall bör man ha möjlighet att på ett allmängiltigt sätt utvärdera bergundersökningar och anpassa omfattningen av dessa till önskad nivå.

Med ovanstående målsättning skall de vanligaste undersökningsmetoderna analyseras och diskuteras samt skall analyserna ställas mot ett antal utförda bergundersökningar, där olika undersökningsmetoder kommit till användning och där man i huvudsak efteråt kunnat konstatera undersökningsprognosens riktighet. I denna utredning kommer i Etapp 1 huvudsakligen problemställningen i hårda magmabergarter och metamorfa bergarter att behandlas.

Rekommendationer till system för värdering av bergundersökningar och till fortsatta praktiska prov för bekräftande av detta system kommer även att ges.

1.4 Urval

Denna rapport behandlar, som framgår av rubriken, såväl sonderingsborrning, kärnborrning och TV-granskning av borrhål för bergundersökningsändamål. Avhandlingen består av en teoretisk metodanalyserande del och en denna belysande tillämpad del. Den senare har baserats på material hämtat från ett tiotal bergundersökningar för olika berganläggningsprojekt genomförda under de senaste fyra åren. Totalt har ett trettio-tal borrhål härifrån bearbetats och analyserats. Av dessa finns elva signifikativa borrhål detaljredovisade i rapporten. (Resterande borrhål kan studeras hos Hagconsult AB.)

För att få en så fullständig bild som möjligt av de utförda undersökningarna har även vattentrycksprovning behandlats som metod i avhandlingen, då de flesta genomförda bergundersökningarna även inkluderat denna metod.

Geofysiska metoder har ej behandlats i denna rapport.

Vissa nya bergundersökningsmetoder är av stort intresse och faller inom ramen för denna rapport. Framförallt skall den av Dr Rocha utvecklade "integral sampling"-metoden särskilt nämnas då förutsättningar synes föreligga för att denna metod skall kunna ge en tämligen fullständig information om bergmassans utseende t. ex. i vittringszon. Metoden måste dock studeras i praktiskt bruk innan en bedömning av dess användbarhet är möjlig.

De i denna rapport behandlade undersökningsmetoderna har här beskrivits såsom de i praktiken används. Speciella konstruktioner (provtagare, förfaranden etc.), som på många håll utformats för att i vissa speciella fall ge fullständigare detaljinformationer har följaktligen icke behandlats.

2.1 Slående sonderingsborrning

2.1.1 Inledning

Slående borrning kan utföras med två olika typer av maskiner

- med en topphammare där slagverket är placerat på ytan och är sammankopplat med borrkronan genom en skarvstångsträng. (FIG. 20a)
- med en sänkborrhammare som arbetar direkt på borrkronan och följer efter denna ned genom hålet. (FIG. 20b)

De väsentliga skillnaderna mellan dessa bormetoder är följande:

- Genom att sänkbormaskinen slår direkt på borrkronan arbetar denna med konstant slagenergi mot berget vilket inte är fallet vid topphammarborrning där energiförlusterna, som främst uppträder över kopplingarna, ökar successivt eftersom hålet blir djupare.
- Vid sänkhammarborrning användes samma luft för såväl slagverk som för spolning. Detta medför lägre luftförbrukning men minskar samtidigt möjligheten att utnyttja andra spolmedel. Möjligheten att variera spoltrycket är även mycket begränsad. Vid topphammarborrning, där man opererar med separat spolning, får man en större flexibilitet vad beträffar dessa funktioner.

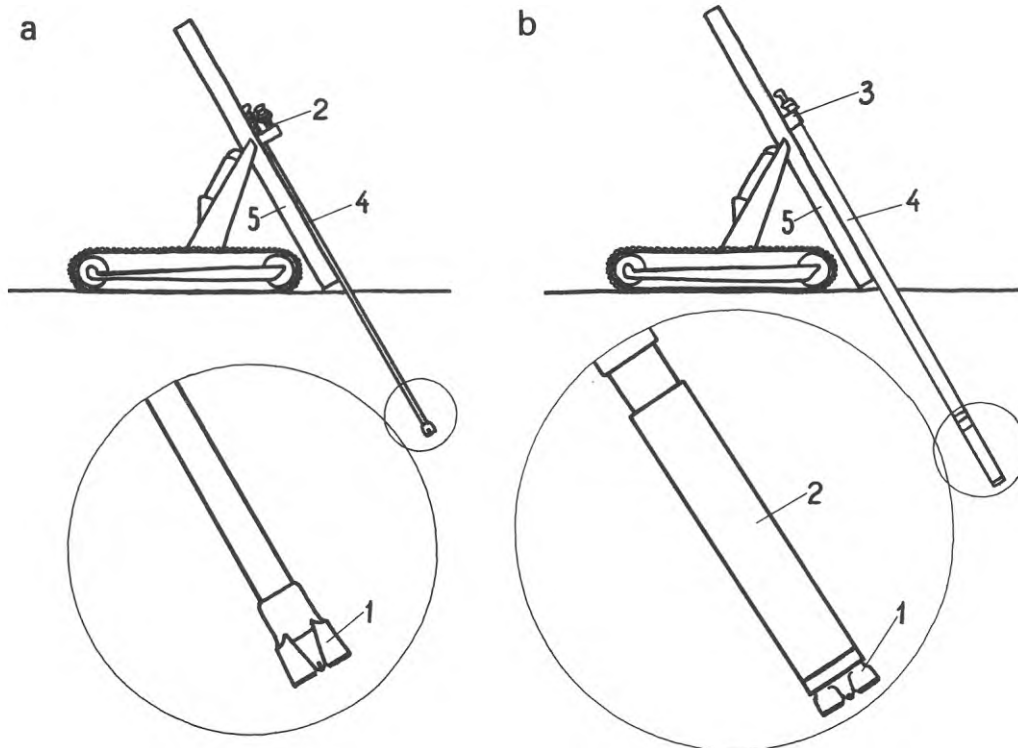


Fig. 20 a

ToppHAMMARBORRNING

1. Borrkrona
2. Borrmaskin
4. Borrstål
5. Kedjematare

b

SÄNKHAMMARBORRNING

1. Borrkrona
2. Borrmaskin
3. Rotationsmotor
4. Borrör
5. Kedjematare



Fig. 21

Tung kedjematad bergborr-
 utrustning under arbete med
 sonderingsborrning. Ter-
 rängen är vanligen mycket
 svårforcerad varför band-
 burna underreden underlät-
 tar framkomligheten.

- Då sänkbormaskinen har en komplicerad mekanism som kräver stort utrymme blir de håldiametrar som kan komma ifråga tämligen stora (90-100 mm) jämfört med de som normalt borrar med topphammarmaskiner. Sänkbormaskinens håldimension är onödigt stor i sonderingsborrnings-sammanhang, vilket bl. a. resulterar i en betydligt lägre borrsjunkning i hårdare bergarter.

Då hitintills alla sonderingsborrningar i Sverige utförts med topphammare kommer endast denna bormetod att behandlas här. Eftersom endast vissa mekaniska faktorer skiljer topphammarborrning ifrån sänkhammardito kan detta underlag vid behov kompletteras för att även kunna utnyttjas för den senare borrhningstekniken.

2.1.2 Karakteristik av sonderingsborrning

Sonderingsborrning med tunga kedjematade bergbormaskiner är ett tämligen nytt begrepp inom borrhningstekniken och problemställningen är av helt annan karaktär än den vid produktionsborrning i bergbrytningssammanhang. (FIG. 21)

Vid produktionsborrning står man inför problemet att på rationellast möjliga sätt i en given bergformation borra hål genom jord, block och berg för att sedan föra ned sprängladdningar. Målet är följaktligen det färdigborrade hålet.

Sonderingsborrning däremot innebär krav på information om hur hålet blir till. Här ligger således huvudintresset vid själva borrhningsförloppet och vad som inträffar härunder, vilket ställer krav på känslighet under själva borrhningen och en kontinuerlig registrering av vad som händer.

Samtliga borrar-maskiner och kedjematrare som finns på marknaden idag är dock konstruerade för produktionsborrning med därav följande okänslighet och avsaknad av möjligheter för registrering under borraringsförloppet. Då dessa utrustningar är de enda som finns tillgängliga användes de av naturliga skäl även vid sonderingsborrningar. Detta har medfört att alla som praktiskt utför sonderingsborrningar varit tvungna att i viss mån anpassa produktionsborrningsaggregaten i avsikt att öka registreringsmöjligheten under borraringsförloppet.

2.1.3 Bergartsklassificering efter borrarbarhet

Alltsedan bergbormaskinen började användas i bergbrytningssammanhang har frågan om en måttstock för att klassificera berget efter dess borrarbarhet diskuterats. Åtskilliga förslag och metoder för bestämmande av borrarbarheten har under årens lopp redovisats. Definitionen av begreppet borrarbarhet har dock ej blivit entydigt definierat förrän tämligen sent, vilket medfört att de flesta av dessa arbeten saknar intresse i sammanhanget. Dessa arbeten har dessutom mer eller mindre uteslutande varit baserade på laboratorieförsök, vilket kan ha betydelse i och för produktionsborrning då man direkt på plats i berget kan ta ut erforderliga prover, vilket vid sonderingsborrning är omöjligt att göra.

Borrarbarhet har definierats av Schöne, 1965 och Maidl, 1971, på följande sätt:

"Bergets borrarbarhet är en karakteristik av bergförhållandena under påverkan av den använda borrar metodens speciella betingelser."

Denna definition är allmängiltig men har hitintills inte kunnat

konkretiseras då detta har vållat debatt främst beroende på att den använda borrar metodens (borrtrustningens) inverkan blir direkt avgörande för vad som kan mätas och tillförlitligheten av detta. Maidl har på ett genomgripande sätt penetrerat litteratur inom ämnet för att mot ovannämnda definition försöka lösa problemet. Hans sammanfattning lyder:

"Uppskattningen av borrhast beror av två ekvivalenta faktorer:

- den aktiva delen som innefattar borrartrustning inklusive operatör
- den passiva delen som omfattar det borrarade berget.

Under det att inverkan från borrartrustningen, om än med viss svårighet, är uppskattningsbart, kan bergets inverkan endast anges med mycket stor osäkerhet.

Då ingen av de existerande mätmetoderna är praktiskt användbar, används i denna rapport som bas för klassificeringsarbetet en specificerad provborrmaskin med jämförande provborrningsresultat från representativa bergarter. Denna klassificeringsmetod är tillräckligt noggrann för rena borrhastuppskattningar, under det att teoretiska bedömningar baserade på dessa försök leder till kontroverser."

Dessa resultat överensstämmer med vad White, 1969, kommit fram till i sina försök att åstadkomma ett borrarbarhetsindex. För att få jämförbara resultat vid borrarning i 98 olika bergartsprover utförde han sina experiment med en noggrant specificerad laboriebormaskin för att borrar-

rustningen skulle inverka likvärdigt på resultaten.

Även om användbarheten av hans borrarbarhetsindex som sådant är diskutabelt, indikerar resultaten från hans arbete att det existerar få väsentliga korrelationer mellan borrarbarheten och bergarternas fysikaliska egenskaper. White fann dock en signifikant korrelation mellan bergets tryckhållfasthet och slående borrarning även om denna var för osäker för att direkt förutsäga borrarbarhet. (FIG. 22)

Det framgår rätt klart att det idag ej existerar någon metod att laboratoriemässigt entydigt klassificera bergarter efter borrarbarhet. Det torde då vara ännu svårare att, mot målsättningen för föreliggande rapport, i fält med åtföljande krav på praktisk tillämpbarhet finna någon applicerbar metod att beskriva bergmassans utseende på djupet under borraringsförloppet. Här är de inverkanse faktorerna i än högre grad komplicerade än vid bergartsundersökningar. Direkt användning av enkla teorier eller långt gående idealiserade modeller för att analysera fältinformationer, skapar förutsättningar för allvarliga missbedömningar och medför att dessa oftast blir ovederhäftiga. För att kunna diskutera vad man verkligen kan utläsa av och tillförlitligheten i dessa informationer skall i det följande en noggrann inventering och karakteristik av de på borrarningen inverkanse faktorerna genomföras.

2.1.4 Påverkanse faktorer vid hammarborrarning

Det finns en mångfald yttre faktorer som påverkar borraringsförloppet och som försvårar tolkningen av resultaten. Följande uppdelning är gjord med utgångspunkt från fältförhållanden med avseende på själva borraringsarbetet.

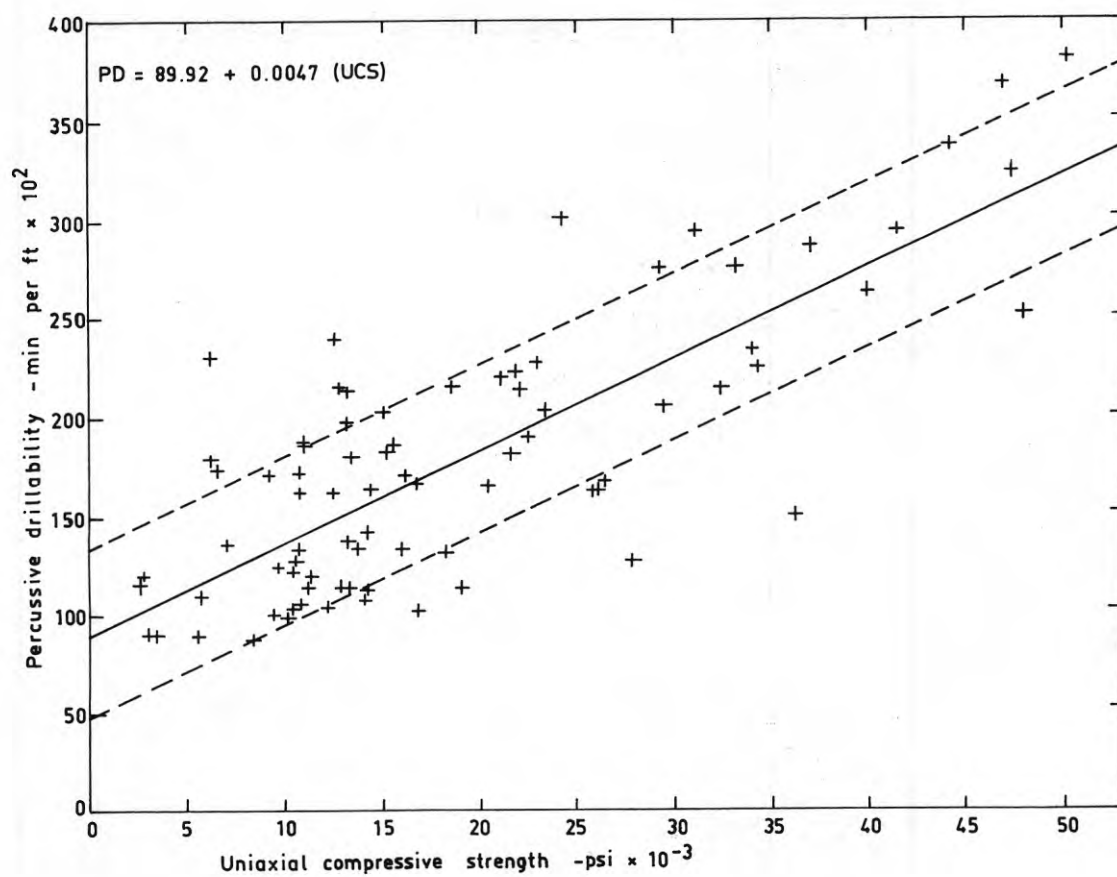


Fig. 22

Korrelationsdiagram mellan slående borrarning och tryckhållfasthet enligt White's försök.

I. Under borrning teoretiskt mätbara/observerbara variabler

- a) Borrsjunkning
- b) Aktuellt borrhålsdjup
- c) Lufttryck
- d) Spoltryck
- e) Matningstryck
- f) Rotationshastighet
- g) Vridmoment
- h) Slageffekt
- i) Borrkax

II. Innan/efter borrningen uppskattningsbara variabler

- a) Operatör
- b) Spolmedel
- c) Borrmaskin: storlek, typ och kondition
- d) Borrkroneslitage, borrkronedimension och typ
- e) Skarvningsförluster
- f) Jordtäckte

III. Variabler varom information önskas

- a) Hållfasthetsegenskaper såsom tryckhållfasthet m. m.
- b) Bergartstyper
- c) Kornstorlek och mineralsammansättning
- d) Sprickor
- e) Krosszoner och skölar
- f) Permeabilitet

I.a) Borrsjunkning

Borrsjunkningen har i stort sett fått tjäna som begrepp för det ovan berörda begreppet borrhårheten. Att borrhårheten ej kunnat definieras konkret är främst beroende på att borrsjunkningsregistreringar är svåra att tolka på grund av den mångfald av övriga faktorer (se ovan) som samtidigt inverkar och "stör" borrsjunkningsförloppet. Det är uppskattningen och kvantifieringen av dessa faktorer som är svår att genomföra. En av förutsättningarna för en bedömning av borrsresultatet vid sonderingsborrning är dock att borrsjunkningen mätes och registreras. Undersökningar av bl. a. Schöne, 1965, Sievers, 1950, Maidl, 1971 och White, 1969 ger klara belägg för att det ej går att förutsäga bergarten enbart med kännedom av respektive borrsjunkningsvärde ens vid laboriemässig borring i homogena bergarter med likvärdig borrrustning. Vid sådana försök minimeras variationerna i de påverkande yttre faktorerna så långt möjligt är, men trots detta ger inte borrsjunkningen tillräcklig information för att särskilja bergarter med tillfredsställande säkerhet. Självfallet ger en mjuk bergart en större nettoborrsjunkning än en hård dito, men genom att samma bergart kan innehålla olika mineral med varierande hårdhet och orientering, blir respektive "ythårdhet", dvs. den mot borrhårkronan resulterande inverkan, varierande och därmed borrsjunkningen trots att borringen kanske utförts i bergarter som klassificeras lika.

I fält tillkommer dessutom betydande svårigheter med att hålla inverkan av övriga faktorer (som kommer att kommenteras var för sig nedan) konstant. Detta innebär, att möjligheten att i fält direkt ur borrsjunkningsregistreringen kunna bergartsbestämma genomborrat bergartsmaterial i det närmaste är obefintlig.

I.b) Aktuellt borrhålsdjup

Vid sonderingsborrning är det väsentligt att kontinuerlig registrering av borrhålsdjupet utföres för att eventuella förändringar i borrhningsförloppet skall kunna hänföras till rätt nivå.

Ju djupare eller längre ett sonderingshål borrar, desto sämre blir "känselförmågan", dvs. registreringsmöjligheten ifrån markytan, vilket självfallet försvårar den efterföljande tolkningen av borrhförloppet. Detta beror på att inverkan av skarvförluster, stångvikt, borrhkroneslitage, motståndet mot spolluftens evakuering etc. blir allt mer dominerande vid tilltagande djup. Som exempel kan nämnas att vid 70 m djup enbart stångvikten uppgår till ca 600 kg. Detta vikttillskott kan i viss mån kompenseras genom minskning av matningskraften, men känsligheten blir avsevärt nedsatt. Vid sneda borrhål måste ansatt vinkel noteras.

I.c) Lufttryck

Drivkraften vid bormaskinen måste hållas konstant för att eliminera okontrollerbar variation i utgående effekt över nackadapter till borrhkronan. Därför måste lufttrycket vid bormaskinen hållas konstant under borrhningsförloppet (normalt 6 atö).

I.d) Spoltryck

Spolningsfunktionen genom borrhstängerna och ut i hålbotten genom borrhkronan tjänar tre huvudsyften; att hålla rent mellan kronan och hålbotten, att spola upp löst borrhkax till ytan mellan borrhstång och hålvägg för att eliminera mantelfriktion mot borrhstängerna och för att kyla i-hålet utrustningen.

Genom att variera spoltrycket ändras spolintensiteten, vilket är en förutsättning för att få en jämn upptransport av borrhax under borrhningen. Vid tilltagande djup ökar spolningsbehovet, eftersom lyftkraftsbehovet på kaxpartiklarna för att transportera dem till ytan blir större. En plötslig nedgång i spolningsförloppet (s.k. spolförlust) förorsakas oftast av att borrhkronan passerar en öppen sprickzon eller någon annan diskontinuitet, varvid spolmedlet försvinner ut i denna. Ändringar i spolningsförloppet bör därför noteras och orienteras till rätt nivå.

I. e), f), g), h) Matningstryck, rotationshastighet, vridmoment, slageffekt

Vid borrhning med slående borrhrustningar i berg är det främst slageffekt, matningstryck, vridmoment och rotationshastighet som förutom spoltrycket är faktorer som ständigt måste anpassas efter rådande bergförhållanden i hålbotten. Passeras en krosszon eller en bergartsgång med en relativt sett mjukare bergart, måste matningstrycket minskas då rotationshastigheten börjar sjunka. Matar man så hårt att borrhkronans rotation uteblir samtidigt som den slår mot hålbotten, kommer den att fastna.

Även om man ur teoretisk synvinkel skulle önska att dessa variabler kunde hållas konstanta under borrhningsförloppet, för att underlätta tolkningen av borresultatet, är detta i praktiken ej möjligt eftersom själva borrhningstekniken på djup överstigande 10-15 m bygger på möjligheten att variera dessa parametrar. Detta innebär att operatörens subjektiva iakttagelser under borrhningen kommer att tjäna som underlag vid bedömning av dessa variablers inverkan på borrhförloppet. Den information som kan erhållas på detta sätt är av stort intresse, eftersom man med vetskap om

vid vilka nivåer förändringar i matning, slag och rotation har måst vidtagas, får indikationer om att leta efter förklaringar (bergtekniska eller maskintekniska) till dessa åtgärder just vid sådana ställen. En kontinuerlig registrering och styrning av matningstryck, rotationshastighet och vridmoment medför sannolikt behov av hydrauliska borrar maskiner för att erforderlig regleringsmöjlighet skall uppnås.

Vid borrning av vinkelhål inträffar ofta en i matnings- och rotationshänseende märkbar effekt. En eventuell hålavvikelse känns vid borrar maskinen genom en nedgång i rotationen orsakad av ett ökat friktionsmotstånd mellan skarvhylsa och hålvägg just vid skarvhylsornas passage av krökningen.

I. i) B o r r k a x

Spolmedlet, som evakueras till ytan mellan hålväggen och borrar stängerna, transporterar borrar kaxet, bestående av till fina partiklar sönderkrossat berg. Vid markytan kan man ofta kontinuerligt följa kaxpartiklarnas färg och även ta ut prover för senare undersökning. (FIG. 23) Färgändringar ger exempelvis indikationer om att borrar kronan passerat in i ett annat bergartsmaterial, vilket bör noteras. Denna information tillsammans med borrar sjunkningsdiagram och borrar ningsvariablernas beteende kan ge värdefulla upplysningar vid senare analys.

Petrografiska studier av tillvaratagna kaxprover kan indikera vilka bergarter som genomborrats.

Kaxproverna är dock svåra att orientera till en exakt nivå eftersom det tar en viss, efter storlek på partiklarna varierande, tid innan de når ytan.



Fig. 23
Mikrofoto av borrkax som uppsamlats ur spolvattnet. 10 delstreck = 0,5 mm.

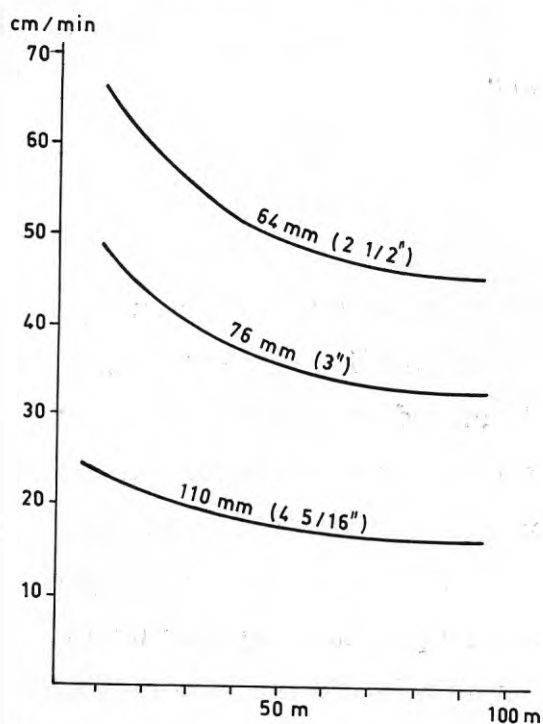


Fig. 24
Principdiagram åskådliggörande sambandet mellan borrsjunkning och borrkronans dimension.

I praktiken inträffar ofta spolförluster vid passage av större sprickor eller krosszoner, vilket innebär att man ej får upp något borrhax till ytan. En registrering av en sådan spolförlust till rätt nivå är självfallet av vikt för den efterföljande bedömningen.

II.a) Operatör

För att en sonderingsborrning överhuvudtaget skall kunna ge avsedd information krävs att operatören är väl införstådd med ändamålet för borrhningen. Han måste ha förmåga att kunna optimera känsligheten under borrhningen, vilket naturligt sker på bekostnad av snabbheten. Vidare måste han kunna registrera och notera alla de företeelser som framkallar åtgärder av honom och hänföra dessa till respektive håldjup. Förutom detta måste han självfallet behärska borrhtrrustningen. Det subjektiva inflytandet som ligger hos operatören är ofrånkomligt och kan endast minimeras genom att använda väl tränade och erfarna "sonderingsoperatörer".

II.b) Spolmedel

Spolningsfunktionen spelar som ovan berörts en väsentlig roll under borrhningen. Det använda spolmedlet är härvidlag av betydelse för att erhålla tillräckligt god smörjande effekt, kylning, kaxtransport etc. Valet av spolmedel medför varierande möjligheter att applicera spoltryck och att erhålla en jämn kaxtransport. Luftspolning medger exempelvis ej att högre spoltryck än det som kompressorn ger kan utnyttjas under det att det vid vattenspolning är möjligt att använda betydligt högre tryck.

Olika spolmedel har varierande egenskaper vad gäller smörjning, stabilisering och bärande förmåga. Detta kan ha bety-

delse för borrhållfrikktionens inverkan, inrasningstendenser m. m. För att kunna kvantifiera denna inverkan vid sonderingsborrning krävs dock detaljerade försök.

II.c) Borrmaskin: storlek, typ och kondition

Borrmaskinen, som utgör själva kraftkällan, är naturligtvis av stor betydelse för borrhållingsförloppet. Med borrmaskin inkluderas här alla bakomliggande påverkande faktorer såsom kompressor, slangar m. m.

Vid de ansatser som har gjorts med att försöka åstadkomma ett borrhållbarhetsbegrepp har nästan samtliga forskare varit tvungna att standardisera provtagningsutrustningen mycket hårt för att erhålla jämförbara resultat. Vid fältarbeten är det inte praktiskt möjligt att gå lika långt som vid dessa laboratorieundersökningar, men obestridligt står dock det faktum att ju fler variationer som åstadkommes på grund av borrmaskinen desto svårare blir det att tolka borrhållingsförloppet ur bergteknisk synpunkt.

För att minimera denna icke önskade inverkan erfordras bl.a. att:

- borrmaskinens slagverk arbetar vid fullt lufttryck (hydraultryck)
- borrmaskinens rotationsenhet arbetar vid önskat lufttryck (hydraultryck)
- borrmaskinens kondition är acceptabel.

Om dessa förutsättningar inte uppfylles blir möjligheten att meningsfullt tolka borresultatet mycket liten.

Olika borrar maskiner har dessutom skilda karakteristika vad gäller slagenergi, slagtal, vridmoment m.m., vilket även inverkar på borrarförloppet. Denna inverkan är dock icke möjlig att kvantifiera utan ytterligare undersökningar. En dålig maskinkondition inverkar dock betydligt mer störande än variationer i maskinkarakteristika.

II.d) Borrkroneslitage, borrkronedimension och typ

Borrkronan, som utgör den direkt mot berget arbetande enheten, spelar självfallet en betydande roll vid sonderingsborrning. Borrkronan inverkar på borrarförloppet på tre principiellt skilda sätt:

- A. Dimension
- B. Typ av krona
- C. Slitage

En stor dimension på borrkrona medför normalt en lägre borrsjunkning och i de flesta fall en nedsatt "känslighet" vid marken. (FIG.24) Detta innebär att borrsjunkningsresultat från två borrarningar där olika krondiametrar används dessvärre ej är direkt jämförbara.

Borrkronetypen påverkar borrarförloppet genom att omslipningsbehovet varierar och därmed även borrsjunkningen. Dessutom måste slipningens utförande anpassas efter uppträdande bergarter.

En stiftborrkrona är uppbyggd på ett sådant sätt att metallen i kronan förutsättes slitas bort i en sådan takt att hårdmetallstiften alltid sticker ut. En dylik krona slipar därmed sig själv under borrarningen under det att en fyrskärs-

eller mejselkrona kräver omslipning på var 10 à 20 meter.

(FIG. 25)

Borrkronans slitage under borrhningen avspeglas mycket tydligt i borrsjunkningen, åtminstone i hårdare bergarter, varför det vid sonderingsborrning är väsentligt att kontinuerligt kontrollera kronans kondition. En slö krona innebär minskad borrsjunkning och sämre "känslighet", varför omslipning vid sonderingsborrning måste ske ofta. (BIL. 3)

II.e) Skarvningsförluster

Vid borrhning med topphammare är det omöjligt att undvika skarvningsförluster, dvs. effektförluster vid kronan orsakade av stötvågornas övergång från stång till stång vid skarvarna. Ju flera skarvar (längre borrhål) desto större skarvförluster erhålles, vilket medför en minskande borrsjunkning. (FIG. 26) Dessa förluster varierar med borrstålsdimensionen, kondition hos borrstål och krona och bormaskinstorlek och typ. Denna borrsjunkningsminskning är dock ej möjlig att kvantifiera då de inverkanse faktorerna är många och svåruppskattade.

II.f) Jordtäcke

Vid borrhning i berg överlagrat av jord kan jorden i många fall orsaka störningar i de ovan nämnda faktorernas betenande genom att hålväggarna rasar in mot borrstängerna. Detta kan, om jordtäcket är tjockt, medföra att borrstängerna kommer att belastas av ett friktionsmotstånd, som gör borrhningen mycket okänslig. Genom att i sådana fall borra med foderrör ned till bergnivån kan denna ej önskvärda inverkan elimineras.

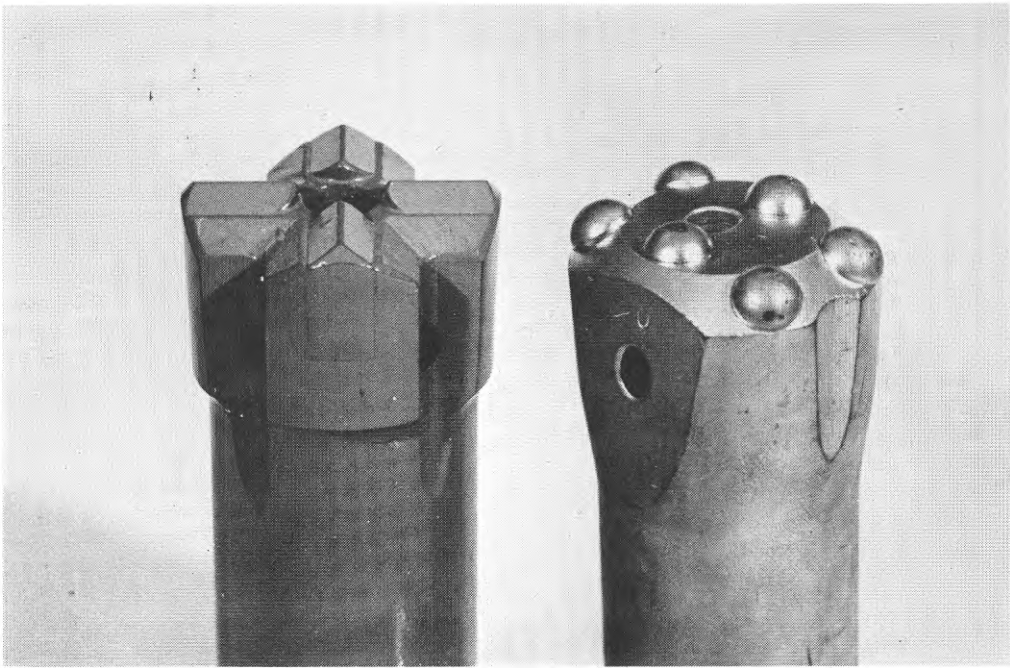


Fig. 25
 Fyrskärskrona t.v. i bilden.
 Stiftborrkrona t.h. i bilden.

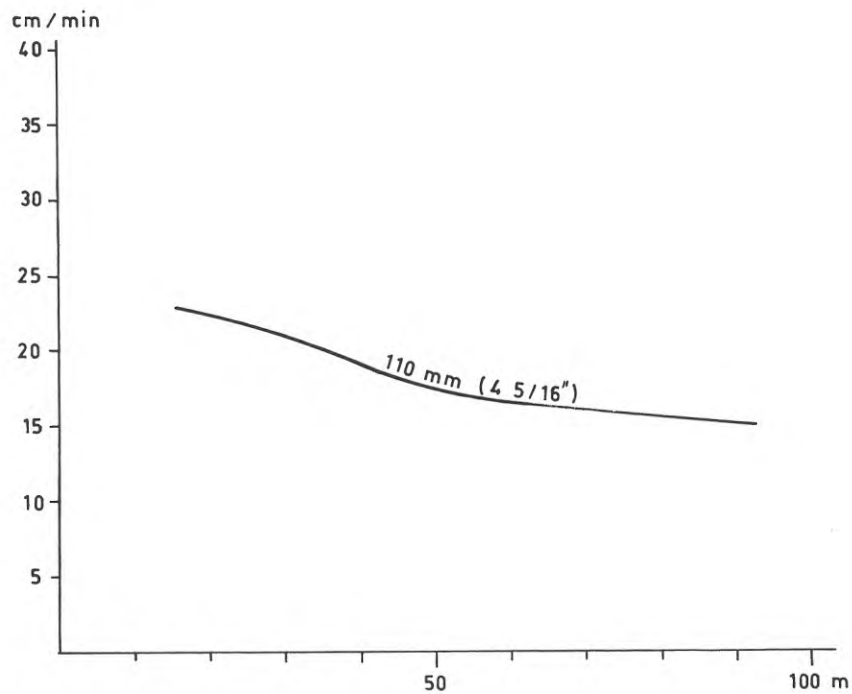


Fig. 26
 Principdiagram åskådliggörande borrsjunkningens
 avtagande med djupet vid vertikalborrning.

III. a), b) Hållfasthetsegenskaper såsom tryckhållfasthet m. m. , bergartstyper

Bergartens tryckhållfasthet är en fysikalisk egenskap som blivit föremål för ett flertal undersökningar baserade på borrhjunkning eller snarare borrhårbarhet. White, 1969, har som tidigare nämnts, vid sina försök erhållit en viss korrelation mellan borrhjunkning och tryckhållfasthet. Makarov, 1962, har med en teoretisk modell, som han sedan verifierat med försök, framställt en metod att bestämma borrhjunkningen med utgångspunkt från bergets tryckhållfasthet. Detta förfarande har sedan ytterligare utvecklats av Schöne, 1965. (FIG.27) Dessa undersökningar är dock alla utförda laboriemässigt med mycket långt gående idealiserade förhållanden och med användande av små maskiner. Vidare har man vid dessa försök haft möjlighet att arbeta med homogena bergarter, som i stora stycken kunnat transporteras till laboratoriet. En direkt överföring av dessa resultat till fältförhållanden med därvid sammanhängande stora maskiner och stora djup är i praktiken ogörligt, då man i fält arbetar med bergmassan, som består av inhomogena, av diskontinuiteter genomsetta bergarter med oftast väsentligt avvikande hållfasthets- och deformationsmoduler än motsvarande homogena bergarter. En bergundersökning på djupet, som endast bygger på tryckhållfasthetsbedömningar baserade på borrhjunkningar, kan följaktligen medföra svåra felbedömningar.

Det är i detta sammanhang även värt att påpeka att en borrhjunkningsvariation i den svenska berggrunden med betydligt större sannolikhet beror på passage av en inhomogenitet eller en i maskinutrustningen påverkad förändring, än att man gått in i en annan bergart med väsentligt skild tryckhållfasthets- eller deformationsmodul.

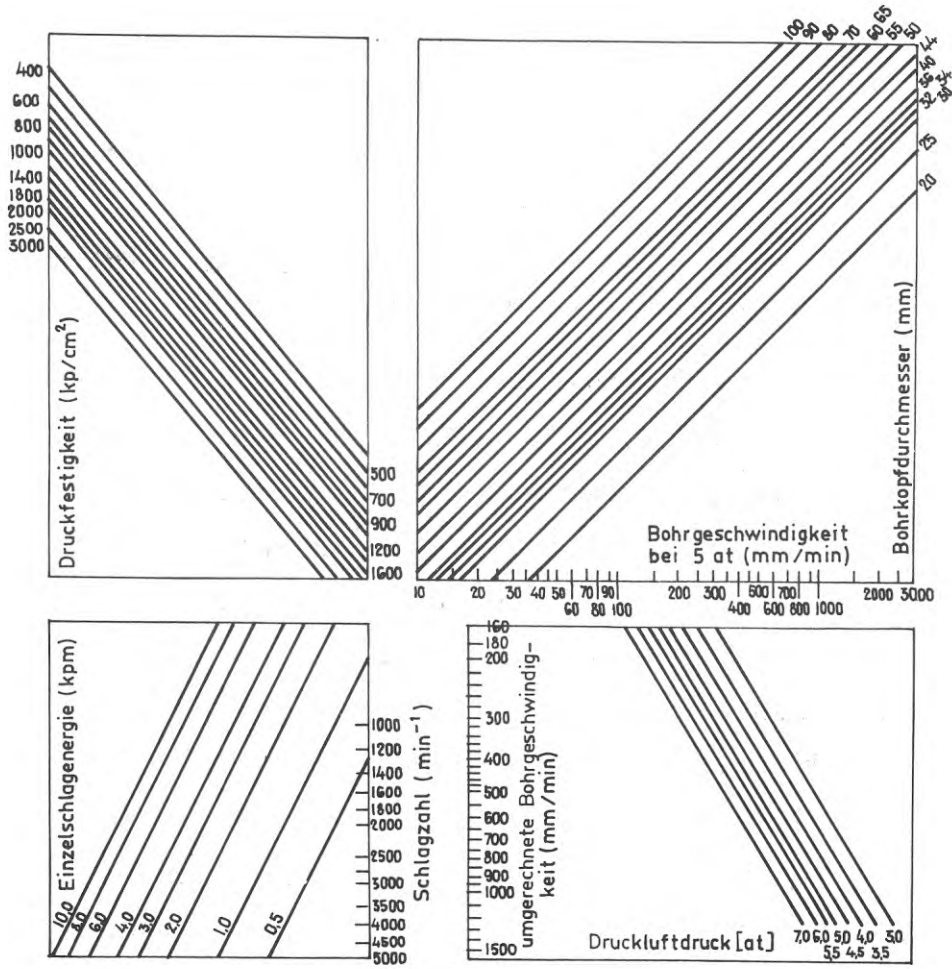


Fig. 27
 Nomogram för uppskattande av borrsjunkning
 med hjälp av bergets tryckhållfasthet efter
 Makarov och Gerhardt, Schöne.

Som en mycket grov uppskattning av den genomborrade bergmassans bergartsinnehåll bör det dock finnas möjlighet att utveckla Makarovs och Schönes nomogram under förutsättning att de maskinberoende faktorerna kan hållas under kontroll.

III. c) Kornstorlek och mineralsammansättning

En kontinuerlig information om bergmassans aktuella kornstorleksinterall, kornens orientering och bergartens mineralsammansättning skulle innebära en ökad möjlighet till tolkning av borrhingsresultatet. Kornens storlek och mineralinnehållet kan ge indikation om bergmassans bergarter och förändringar under borrhningen.

Kornens orientering och deras sammansättning kan förklara onormalt kronslitage. Enda möjligheten att erhålla denna information är att studera det borrhkax som spolas upp mellan borrhstål och hålvägg. Genom att bevaka färgförändringar hos kaxet och ta prover vid eventuella övergångar för analys, kan eventuellt förklaringar till borrsjunktionsvariationer erhållas. Analyser av borrhkaxet ger viss information om mineralsammansättningen, medan kornstorleken oftast är omöjlig att få kännedom om, eftersom borrhkronan krossar ner berget oberoende av den naturliga kornstorleken hos partiklarna i bergarten. Bergartens textur och struktur går ej att utläsa ur uppspolade kaxprover.

III. d), e) Sprickor, krosszoner och skölar

Orsaken till att bergmassans hållfasthetsegenskaper avsevärt understiger respektive bergarts dito är just att bergmassan, förutom uppbyggnad av olika bergarter, är genomkorsad av sprickor, krosszoner, yngre genomskärande bergartsgångar och skölar, som i högre eller lägre grad nedsätter

systemets hållfasthet. Dessa egenskaper är dock i praktiken omöjliga att särskilja direkt vid slående borrning eftersom de oftast inverkar på borrhingsförloppet på likartat sätt.

Med slående sonderingsborrning erhålles ett basmaterial med borrhingsregistreringar som måste sammanställas och analyseras för att en prognos över sprickfrekvens, sprickvidder, krosszoner m. m. skall kunna upprättas. Baserat på olika noteringar och registreringar, som gjorts under borrhingsförloppet, göres så förenklade bedömningar huruvida en företeelse kan bero av en liten inhomogenitet som en spricka eller en större dito såsom en krosszon, en bergartsgång eller en sköl. Det är därför av vikt att borrhingsförloppet följs mycket noggrant.

III. f) Permeabilitet

Bergmassans permeabilitet på olika nivåer bestämmes vanligen med hjälp av vattentrycksprovning. Noteringar i borrhingsprotokollet om variationer i spolningsförloppet under borrhningar kan dock i vissa fall komplettera vattentrycksprovningen vid permeabilitetsbedömningar.

2.1.5 Analys och diskussion av förutsättningarna för slående sonderingsborrning vid bergundersökningar på djupet

Allmänt

Slående borrning är en mycket snabb men våldsam borrar metod. Detta accentueras i hög grad av att maskinutrustningen, som nämnts, ursprungligen är konstruerad för produktionsborrningsändamål med åtföljande avsaknad av krav på känslighet och registreringsmöjlighet under borrhningsförloppet. Vid sonderingsborrning på djup överstigande 15 å 20 m erfordras dock dessa okänsliga, tunga kedjematade bergborrningsmaskiner för att borrhningen överhuvudtaget skall vara utförbar. Önskvärt skulle vara en större finreglering med möjlighet för registrering av vissa vitala funktioner hos maskinenheterna såsom matningskraft, rotation och vridmoment. Dylika anordningar kräver med stor sannolikhet hydrauldrivna enheter.

Målet med en sonderingsborrning är att genom information om vad som har inträffat under borrhningsförloppet skapa underlag för en bedömning av geologiska förhållanden på djupet som kan vålla hållfasthetstekniska problem vid efterföljande konstruktion och byggnation. Tillförlitligheten av en sådan prognos beror helt på tillförlitligheten och noggrannheten i det underlag som insamlas under själva borrhningen. Ju flera iakttagelser som är gjorda desto större förutsättning finns att tolka orsakerna till det under borrhningen inträffade och därmed öka riktigheten i prognosen.

Den helt dominerande faktorn, som direkt avgör sonderingsborrnings resultat, är operatörens kvalifikation och intresse. Det kan vara svårt bara att borra sig ned

i jord och berg. Ökar kraven på borrhningen som vid sonderingsborrning ställs stora krav på personalen, som måste ha omdöme nog att kontinuerligt bevaka själva borrhningsförloppet och känsligt anpassa borrhningen efter förhållandena samtidigt som förändringar måste registreras och noteras. Utan en sådan vaksamhet blir underlaget ifrån borrhningsförloppet mer eller mindre värdelöst.

Resultatet från en sonderingsborrning med slående hammarborrmaskin får naturligtvis inte övervärderas. I det följande skall därför diskuteras något om vad för information som erhålles med de idag aktuella maskinenheterna och tillförlitligheten i dessa informationer.

Diskussion och analys

En förutsättning för att slående borrhning skall kunna användas för sonderingsborrning är att borrsjunkningen mätes och registreras. Denna registrering bör ske kontinuerligt eftersom det är de plötsliga förändringarna som är av störst intresse vid den efterföljande bedömningen.

Alla som sysslat med borrhning vet att borrsjunkningsförloppet varierar mycket påtagligt vid varje borrhning i bergmassan. Alla sådana variationer beror på att någon av de påverkande variablerna ändrats. Av avgörande betydelse för bedömningen är det då att, dels registrera dessa relativa förändringar i borrsjunkningsförloppet, dels hålla reda på och följa de påverkbara variablerna. (FIG. 28) Om alla teoretiskt mätbara och innan och efter borrhningen uppskattningsbara variabler på detta sätt skulle kunna mätas och bestämmas skulle den påverkan dessa variabler haft på borrsjunkningsförändringarna kunna elimineras, varefter endast bergmassans inverkan återstod för bedömning i det då erhållna borrsjunkningsdiagrammet. Varje relativ för-

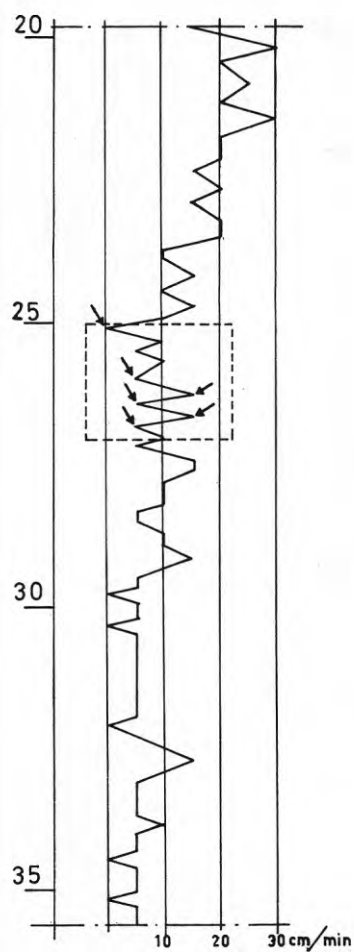


Fig. 28

Det är nödvändigt att åskådliggöra de relativa förändringarna i borrarjunktionsdiagrammet. Denna registrering kräver för att vara meningsfull en mycket verklighetsanpassad mätteknik för att ej de plötsliga, relativa förändringarna skall gå förlorade.

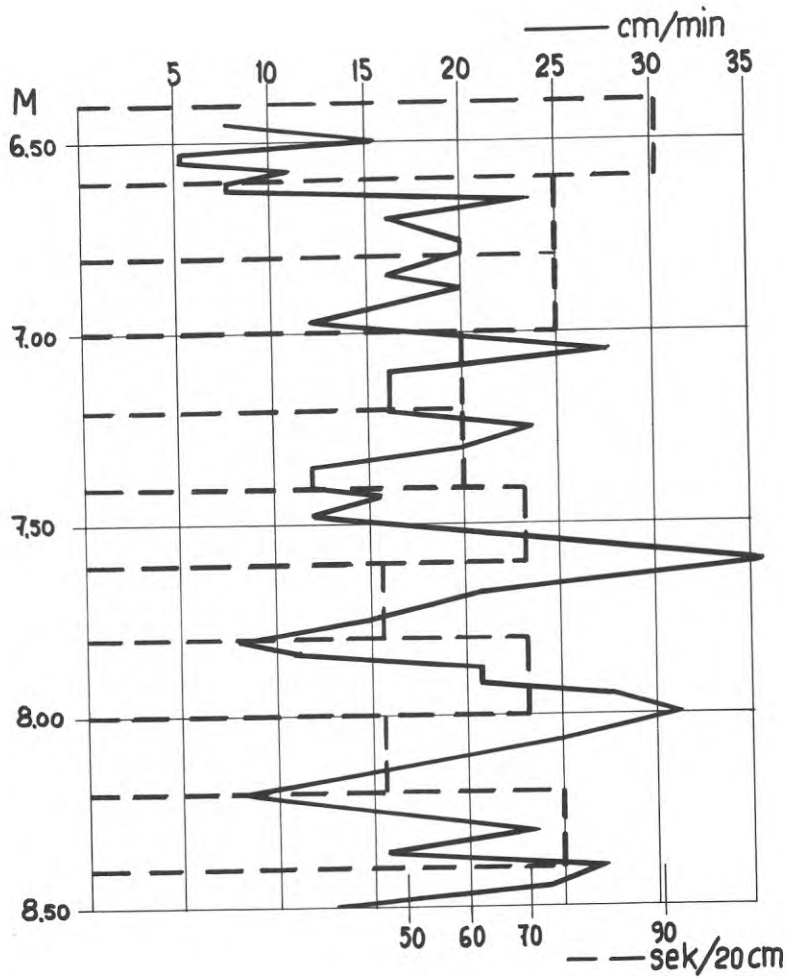


Fig. 29

En redovisning av borrsjunkning i sek/20 cm medför en approximation av borrsjunkningen under varje 20 cm intervall. Som synes ovan ger en kontinuerlig registrering av borrsjunkningen (t. ex. cm/m) en ögonblicksbild av borrhningsförloppet, vilket är nödvändigt om sonderingsresultatet skall tjäna avsett syfte.

ändring i detta diagram innebär då någon form av förändring i bergmassans struktur eller sammansättning. En sådan renodling av det resulterande borrsjunkningsdiagrammet är i praktiken omöjlig att genomföra på grund av tekniska svårigheter att mäta och kartlägga de påverkande faktorernas faktiska inverkan. Registreringen av borrsjunkningen måste dock göras med stor noggrannhet så att ej de relativa (ofta små) förändringarna går förlorade, då det är dessa som indikerar inhomogeniteter i bergmassan. Lämpligt är att använda någon form av automatisk skrivare för att eliminera subjektiv inverkan av operatören i borrsjunkningsmätningen. Den idag använda tekniken efter SGFs blad nr 4 (Beteckningar för geotekniska undersökningar) vid registrering av borrsjunkning vid sonderingsborrning med angivande av tid per 20 cm sjunkning är ej tillfredställande eftersom alltför mycket information då går förlorad. (FIG. 29)

En given förutsättning för en meningsfylld borrning är givetvis att borrarutrustningens kondition är god. Om operatören vidare uppfyller följande villkor:

- kontinuerligt registrerar borrsjunkningen
- relaterar alla relevanta observationer till exakt borrhålsdjup
- håller lufttrycket vid bormaskinen konstant
- anpassar spolningen (tryck och flöde) så att en jämn kaxtransport erhålles (Varje spolflödesändring och färg- eller annan skönjbar ändring av upptransporterat borrhålskax skall noteras av operatören och kaxprov ev. uppsamlas.)
- anpassar matning, slageffekt och rotation efter förhållanden (Avvikelse noteras.)
- anpassar borrhålslipning och kronlipintervallet efter bergmassan och använd kronstyp samt noterar vid vilket djup slipning utförts,

erhålles ett material som kan ge underlag för en meningsfylld vidare bearbetning. Detta sonderingsresultat innehåller en viss basinformation som dock självfallet inte kan karakteriseras som entydig i något avseende.

Ett sådant borrsjunkningsdiagram bör kunna utnyttjas för att med utgångspunkt härifrån försöka förklara de relativa variationer som uppstått på respektive nivåer med hjälp av noteringar som operatören gjort om spolvariationer, kaxförändringar, driftstörningar, omslipning m. m. Härigenom erhålles ett mänskligt bedömt rent material där kvarstående variationer och oförklarliga noteringar med stor sannolikhet beror av bergmassans variationer.

En noggrann analys och kartering av bergmassans struktur är inte möjlig att genomföra på enbart detta material. Man får dock viss information om att det vid nivåer med oförklarliga variationer i borrningsförloppet kan förekomma diskontinuiteter i bergmassan. Med hjälp av sparade kaxprover, noteringar av spolförluster, specifika borrsjunkningar m. m. kan erfarenhetsmässigt vissa ansatser göras om förekomst av eventuella sprickor, skölar, skiktningar, krosszoner och bergartsgångar.

Vid en detaljsondering bör dock även ytterligare undersökningar såsom vattentrycksmätning, optisk granskning etc., utföras som komplement till hammarborrningen i det hål som åstadkommits. Härigenom ökar möjligheten till en riktig prognos högst avsevärt, eftersom man då erhåller från borrningsförfarandet oberoende information att jämföra med. Med hammarborrningen kan man således lokalisera vissa osäkra zoner som bör undersökas mer noggrant.

Den slående sonderingsborrningen kan i vissa fall kompletteras med korta kärnprover (0,5 m) från intressanta nivåer. Den separatroterade bormaskinens rotationsenhet utnyttjas som kraftkälla vid denna kärnprovtagning (slagverket är frånkopplat). Vid intressant nivå eller vid plötslig förändring i borrhingsförloppet avbryts den slående borrhningen och en kärnbit tages, varefter borrhningen fortsätter. Denna provtagning måste utföras under borrhningens gång, eftersom det ej går att ta ett sådant prov från en av den slående borrhkronan redan passerad nivå.

Ett sådant kärnprov lämnar givetvis mycket värdefull information om bergmassan under förutsättning av att provet tas från utslagsgivande partier. Se vidare 2.2. Kärnborrning.

2.1.6 Utvecklingsmöjligheter

Användandet av slående hammarborrning för sonderingsborrning i berg står och faller för närvarande dels med operatörens skicklighet och förmåga, dels med uttolkarens geologiska och bergmekaniska erfarenhet. För att öka tillförlitligheten i metoden och därigenom allmängiltigheten, vilket är högst önskvärt eftersom slående borrhning erbjuder det utan jämförelse billigaste sättet att åstadkomma hål i hårda bergarter, föreslås en utveckling av följande punkter:

1. Detaljstudium och utprovning av en automatisk borrsjunkningsmätare.
2. Utveckling av spolningstekniken i syfte att bättre kunna tillvarata kontinuerliga kaxprover. Tonvikten bör här läggas vid undersökning av olika spolmedel som t. ex. skum.
3. Försök med att utveckla Makarov och Schönes nomogram över tryckhållfasthet/borrsjunk-

ningsbestämningar för grova bergartsuppskattningar i kombination med borrhaxprover.

4. Bättre regleringsmöjligheter av matningskraft, slagverk och rotationshastighet. Detta är dock en fråga som endast maskintillverkarna kan lösa, vilket förmodligen ej kommer att kunna genomföras förrän hydrauldrivna enheter finns som standard.

2.1.7 Sammanfattning slående sonderingsborrning

Resultatet från hammarborrning vid sonderingsborrning blir ofrånkomligt behäftad med subjektiv värdering, vilket givetvis medför en hög grad av osäkerhet i bedömningarna. Ju större erfarenhet och noggrannhet hos operatör och uttolkare desto större blir säkerheten i prognosen.

I stort sett entydig information om gränsen jord/berg erhålles med slående hammarborrning under förutsättning att denna utföres i form av foderrörsborrning som medger jordprovtagning. Detta är även nödvändigt för att inte friktionen mellan borrhåll och jordmassan skall ge ett missvisande borrhållförlopp. Med foderrörsborrning vinnes även den fördelen att störda jordprover kan tagas på intressanta nivåer under borringen.

Bestämningar av bergmassans bergarter och bergartsgränser på djupet är behäftade med stor osäkerhet vid slående sonderingsborrning. En förutsättning för att en sådan bestämning överhuvudtaget skall kunna genomföras är att spolningsfunktionen är intakt så att borrhax kontinuerligt kan tillvaratagas för analys.

Någon teoretisk modell för bestämning av bergarter på djupet, som kan tillämpas på den i praktiken inhomogena bergmassan medelst slående sonderingsborrning, finns ej utvecklad.

Vid slående sonderingsborrning erhålles vissa indirekta upplysningar om bergmassans struktur på djupet. Karaktären av dessa upplysningar är indikationer om att borrhningsförloppet på vissa nivåer har påverkats antingen av inhomogeniteter i bergmassan eller av variationer i maskinutrustningen. En kvantitativ bedömning av de bergtekniskt beroende förändringarna kan göras men med mycket stor osäkerhet. Den lokalisering av svaga punkter och zoner som erhålles är dock som komplement till andra undersökningsmetoder av stor betydelse.

2.2 Kärnbörning

2.2.1 Inledning

Kärnbörning är en form av rotationsbörning, som karakteriseras av att endast en ring utböras i berget och det inom ringen befintliga materialet, kärnan, upptages senare. (FIG.30) Metoden kan, åtminstone på djup ned till ca 100 m, användas vid alla maskiner, där borrstänger kan roteras, alltså icke blott med hjälp av speciella kärnbörmaskiner utan även exempelvis vid rotarymaskiner eller vid separatroterade slående bormaskiner med fränkopplat slagverk, som tidigare omnämmts.

Borrkronan är försedd med infästa stycken av hårdmetall eller diamant, eller också består skärytan av sintrat pulver innehållande dessa material.

Tidigare var diamantbörningen den vanliga metoden vid alla undersökningsbörningar, men allteftersom hammarbörningstekniken gjort stora framsteg under de senaste 25 åren har många börningar, som förr skulle ha utförts som kärnbörningar, nu ersatts med hammarbörningar. Eftersom börningskostnaden vid sistnämnda förfarande är mycket låg jämfört med diamantbörning (25-30 %) vid djup ned till ca 75 m men därefter stiger starkt med djupet och kostnaden för diamantbörning stiger ganska måttligt med tilltagande djup, erhålles ett visst gränsvärde, där kostnaden blir lika. Detta gränsvärde, som ännu på 1940-talet låg vid 10-15 m håldjup, ligger nu kanske vid 125-150 m. Belysande härför är att ännu omkring 1950 användes diamantbörning vid långhålsbörning (30-40 m) för sprängningshål i gruvor. Ovanstående är sett endast ur kostnadshänseende utan hänsyntagande till kvaliteten av erhållen information.

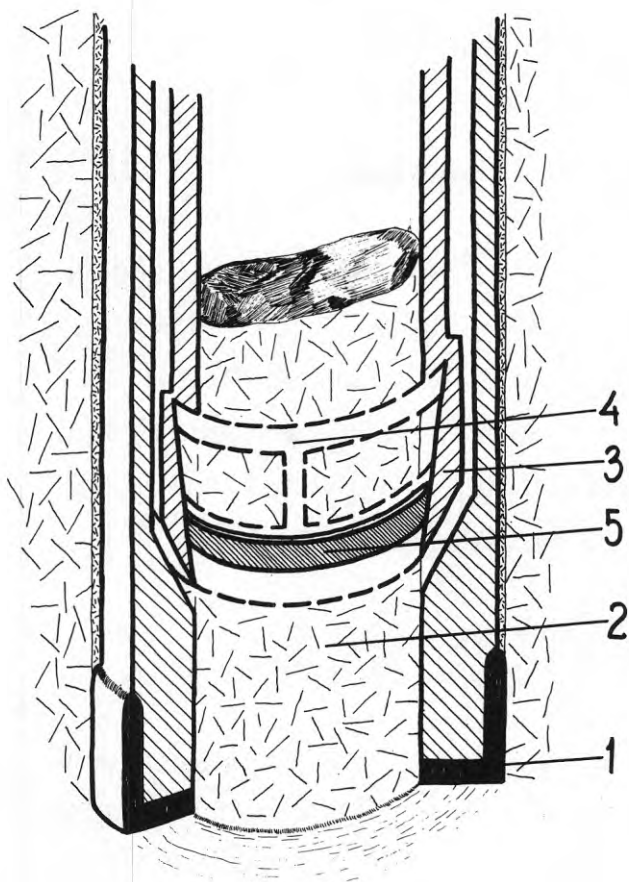


Fig. 30

Principskiss av dubbelt kärnrör.

1. Diamantkrona
2. Utborrad kärna
3. Koniska styrningar
4. Kärnfångarhylsa
5. Kärnlyftarring

Vid upptagning av utrustningen pressas kärnlyftarringen (5) p. g. a. friktion mot kärnan. Genom de koniska styrningarna (3) kommer (5) att pressas så hårt mot kärnan att dragbrott uppstår, varvid kärnan kan tas upp.

Vid direkt kostnadsjämförelse mellan dessa metoder måste även hänsyn tagas till att vid diamantborrning borrhningen i överlagrande jord (frånsett i lera etc.) oftast är betydligt dyrare än den efterföljande borrhningen i berg. Vid exempelvis borrhål i mäktig morän och där berget därunder endast skall undersökas ett tiotal meter kommer av ekonomiska skäl endast hammarborrning, eventuellt kompletterad med kärnprovtagning av ca 0,5 m på ett eller annat djup, ifråga. En kombination av diamantborrning med foderrörborrning i jord har emellertid vid flera tillfällen använts.

2.2.2 Borrningens utförande

Diamantborrningen utföres så att en borrhkrona fastskruvas på rör som allteftersom djupet ökar förlänges genom skarvning, på modernare maskiner helt maskinellt. (FIG. 31). Vid kärnborrningar för undersökningar av bergmekaniska faktorer bör kärnröret (det nedersta röret i vilket borrhkärnorna samlas) vara av typ dubbelt kärnrör för att ge adekvat information, (FIG. 32). Kärnröret kan tagas upp antingen genom att alla rören dras upp eller, som är brukligt vid djupare hål, genom uppspelning av innerrör med kärna med lina, wire line coring. Kärnrörets längd är 1,5, 3 eller 6 m. Håldiametern varierar från 36 till 86 mm.

Vid tunt jordlager och grunda hål börjar man i regel med 46 mm - man har då en möjlighet att gå ned en dimension, vid djupare hål börjar man med grövre dimensioner och har flera reduktionsmöjligheter. Spolning sker i regel med vatten, men om stora vattenförluster misstänkes, resp. uppträder, tillsättes bentonit, som ju är tixotrop och beklädder borrhålsväggen med en hinna, vilken även tätar de sprickor som överborras. Tillsats av bentonit skadar inte kärnorna men förhindrar TV-inspektion av borrhålsväggarna

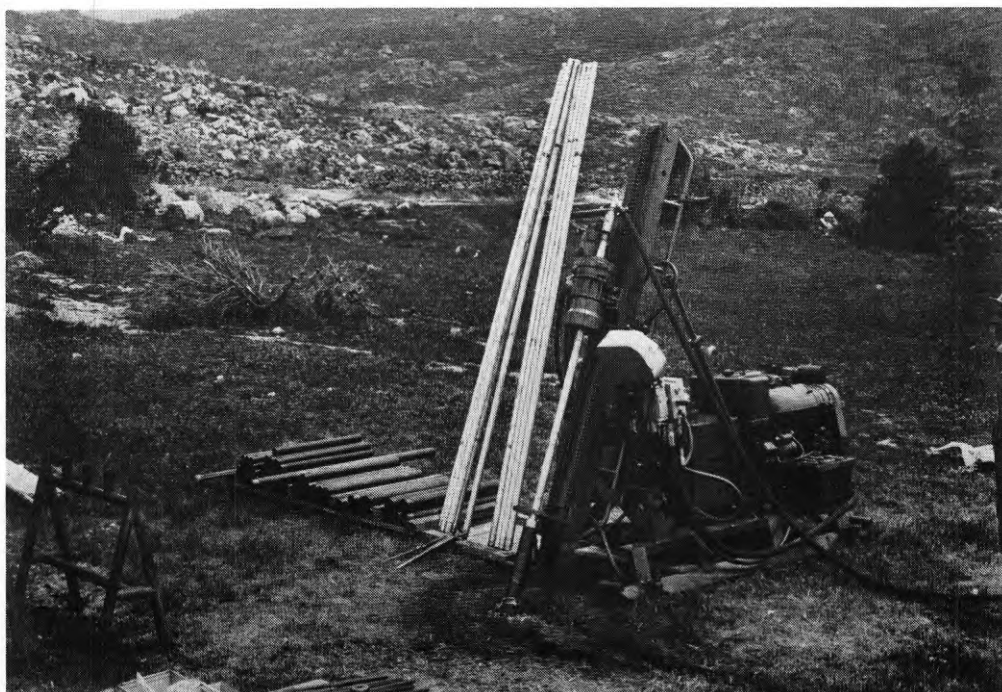


Fig. 31
Mekaniserad diamanborrmaskin Atlas Copco's
Diamec 250 (foto Atlas Copco).

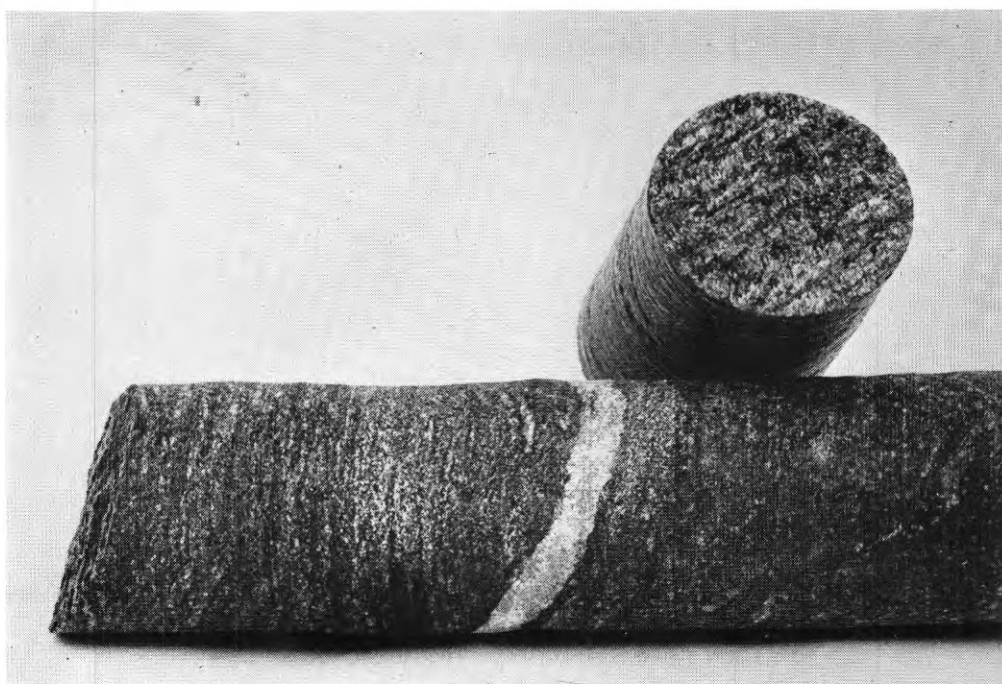


Fig. 32
Utborrade kärnbit.

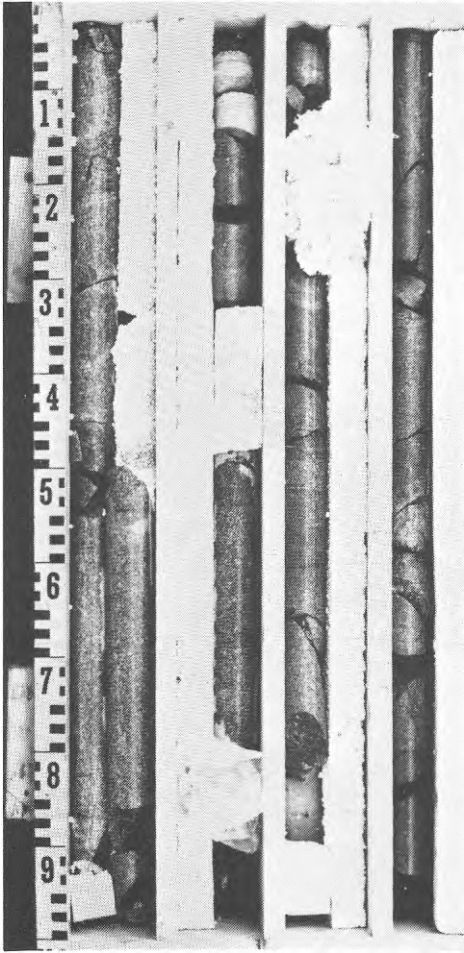


Fig. 33
Kärnlåda. Jfr BIL. 11.

resp. leder till för små värden vid vattenförlustmätningar. Kemikalier med ännu större stabiliserande och tätande effekt kan även tillsättas spolvattnet.

Under hela borrarningen skall "borrförmannen", förste mannen (han har i regel en medhjälpare), föra protokoll med djupangivelser omfattande:

borrsjunkningen, särskilt när den ökar över det normala,

spolvattnets tryck och kvantitet samt återflöde till borrarplattformen,

spolvattnets färg etc. Borrkaxet blir så finkornigt att vid ifrågavarande borrarningar det ej är aktuellt att studera det s.k. bormjålet - man har ju kärnan att senare studera,

matningstryckets variation. En onormal uppgång kan orsaka mekanisk sönderkrossning av kärnmaterial.

2.2.3 Studier av borkärnor

När borkärnorna inlägges i kärnlådorna finner man oftast att den sammanlagda kärnlängden icke uppgår till det borrade metertalet. (FIG. 33) Man får då en s.k. kärnförlust. Var har den uppstått? Här har man endast att hålla sig till borkförmannens iakttagelser. Han lägger in en träbit i kärnlådan på den plats där hans iakttagelser säger honom att förlusten borde ha skett. Han kan därvid knappast bortse från att ta intryck av att i kärnlådan ett visst parti visar trasigt berg och lägger in träbiten där, om det går ihop med hans iakttagelser vid borrarningen. Han väljer också sannolikt den längsta störningszonen, om han har iakttagit flera onormala sjunknings- och spolvattenförhållanden inom kärnsträckan.

Nästa steg är geologens granskning av kärnlådan. Hans protokoll innehåller utom geologisk terminologi ett särskilt sprickprotokoll. Han urskiljer vilka brottytor på kärnbitarna som är "primära" (bergsprickor), dvs. brottytor som redan finns i bergstrukturen samt de "sekundära" (borrsprickor), som tillkommit genom borrhningen. Givetvis kan härvid icke subjektiva moment helt uteslutas. Om t. ex. kärnbitens ena ände är klädd med klorit och nästföljande kärnbit också är klädd med klorit betecknas denna "primära" spricka såsom en kloritklädd spricka (av okänd bredd). Endast vattenförlustmätningar kan ge en antydning om sprickan varit igenläkt eller i mer eller mindre grad öppen. TV-granskning, som sällan förekommer i kärnborrhål, bl. a. av diameterskäl, kan givetvis även ge en upplysning härom. Andra fall, där nybildning av för sprickförekomster karakteristiska mineral inte förekommer, är svåra att bedöma.

I regel lämnas av geologen inga numeriska beräkningar beträffande bergkvaliteten, endast ett omdöme. Försök till omräkningar av observationer på borrhkärnor till "bergmassans kvalitet" och t. o. m. dess tryckhållfasthet har emellertid gjorts. Deere m. fl. 1967 har lanserat den s.k. RQD (Rock Quality Designation)-metoden, där klassificeringen grundar sig på den procentuella totala längden av de erhållna kärnbitarna med minimilängd överstigande 4". En liknande metod, Kiruna-metoden, har utarbetats av Hansági 1966. Han använder sig icke av 4" som "kvalifikationsgräns" utan i stället kärndiametern, oftast 42 mm. Båda har framlagt formler enligt vilka "bergmassans tryckhållfasthet" beräknas. Hansági har vidare angivit graden av förstärkningsbehovet baserat på den så beräknade tryckhållfastheten vid metodens tillämpning i Kiruna. Det torde emellertid vara klart att dessa klassningsvärden endast kan ge relativt allmänna indikationer beträffande vissa av de

väsentliga bergfaktorerna vid bergarbeten i byggnadssammanhang. De geologiska och rymdstrukturella förutsättningarna inryms ju t. ex. inte i dessa bedömningssystem.

2.2.4 Analys och diskussion av förutsättningarna för kärnbörning vid bergundersökningar på djupet.

Allmänt

En bergundersökning på djupet skall som tidigare omnämnts ge information om bergmassans beskaffenhet och struktur på djupet. Det är då de dåliga partierna som måste lokaliseras och detaljstuderas, eftersom det är omfattningen och karaktären av dessa som i stor utsträckning är styrande för projekteringsarbetet. Kvalitativt lämnar kärnbörning, om välhållen, modern utrustning användes och den betjänas av duktig och erfaren personal, ett mycket fullständigt studiematerial i form av kärnor och borrhprotokoll. Då man borrar med ständigt spolvattentryck är det emellertid mycket svårt att få prov av just "dåligt berg" (skölar och krosszoner) eller av jordfyllda sprickor, då dessa vid borrarngen ofta mals sönder och förs bort med spolvattnet. Dessa bergpartier, som ur projekteringssynpunkt är av största intresse, registreras då endast som "kärnförluster".(FIG. 33)

Det är självfallet svårt att tolka utebliven information och betecknande för detta är att de tre tillvägagångssätt som finns för hållfasthetsteknisk bearbetning av kärnmaterialet

- med C-faktorn (Kiruna-metoden)
- med RQD-faktorn
- med kärnlängdsklassifikation

alla bygger på de upptagna kärnbitarnas längd. Ett dåligt berg med stora kärnförluster resulterar därför i en på subjektiva tolkningar baserad utvärdering, eftersom här vä-

sentlig information saknas för både geologisk kartering och hållfasthetsteknisk analys.

Ett noga fört borrhprotokoll med exakta nivåangivelser för ev. mekaniska störningar underlättar denna utvärdering och kan i många fall ge rimliga förklaringar till kärnförluster.

I det följande skall de speciella förutsättningar och faktorer som föreligger vid kärnboringar för undersökningar i bergbyggnadssammanhang diskuteras.

Analys och diskussion

Kärnboring är otvivelaktigt den undersökningsmetod, som lämnar det mest påtagliga och fullständiga analysmaterialet i form av den upptagna kärnsträngen. Denna möjliggör en i huvudsak entydig geologisk kartering av bergarter och bergartsgränser på djupet. Att bedöma bergmassans strukturorientering utifrån det erhållna kärnmaterialet är dock en mycket komplicerad uppgift, som dels kräver en erfaren specialist, dels kräver att kärnan utborrats med stor noggrannhet för att resultera i ett vederhäftigt prognosunderlag.

De ovan nämnda metoderna för klassificering av kärnmaterialet baserar sig alla på en form av statistisk bearbetning av de upptagna diamantborrkärnorna. Dessa klassificeringsmetoder innehåller i komprimerad form viss information om bergets hållfasthetsegenskaper och struktur i vid bemärkelse. De "funktionella" klassificeringsfaktorerna C och RQD utgör dock bara en delupplysning i en rad av tekniska uppgifter, som erfordras för det praktiska projekteringsarbetet. Bland annat spelar spänningarna i berget stor roll - ett sprickigt berg kan i vissa fall kompenseras av en gynnsam spänningsbild. Det är vidare praktiskt taget omöjligt att vid

diamantborrning bestämma vidden av övertvärande sprickor och eventuella sprickfyllnader, vilka faktorer är av avgörande betydelse för risken för grundvatteninläckningen och i vissa fall, t. ex. för oljelagringsanläggningar, för funktionen. Dock föreligger fördelen att stupningen kan bestämmas, i specialfall även strykningen; noggrannheten hos dessa bestämningar avtar dock med djupet p. g. a. svårigheterna att lägesbestämma kärnan.

En detaljerad kartläggning av bergets struktur i svaga partier med dåligt berg är en besvärlig uppgift.

Kärnmaterialet, som här kan förmodas bestå av en i småbitar upptagen kärna med åtföljande kärnförluster, måste sorteras och analyseras med avseende på primära och sekundära sprickor ävensom kärnförlusternas inverkan (se BIL. 11) Denna analys blir helt avhängig av hur själva borrningen har genomförts samt på vad som finns noterat i borrhingsprotokollet. Eftersom diamantkronan under visst matningstryck roteras med tämligen hög hastighet och lågt vridmoment är det möjligt att urskilja påtagliga störningar i borrhingsförloppet såsom ändring i borrsjunkning, rotation och spolning.

Om inte operatören anpassar borrningen efter bergmassans strukturella förändringar kommer, dels för den efterföljande tolkningen väsentlig borrhingsprotokollsinformation att gå förlorad, dels borrhingskärnan att erhålla onödiga sekundärsprickor. Dessa sekundärsprickor åstadkommes i huvudsak genom att matningen är för stor, varvid kärnmaterialet, speciellt i dåligt berg, kommer att krossas mekaniskt, vilket givetvis försvårar den efterföljande kärnanalysen. Med tillräckligt hög matning kan detta fenomen även inträffa i homogena bergpartier. (BIL. 9)

Kärnbörning ger en mycket detaljerad information om bergets förändring. Eftersom borrhningskostnaden är hög jämfört med hammarborring på djup ned till 100 m bör metoden i byggnadssammanhang användas där detaljerad information erfordras. Metoden kräver vidare för fullständig kartering komplettering med vattentrycksprovning och/eller TV-granskning för bedömning av sprickvidder och sprickplanens riktningar.

2.2.5 Utvecklingsmöjligheter

Kärnbörning för bergundersökning inom anläggningssektorn är en betydligt mer exakt undersökningsmetod än slående sonderingsborring, men metoden är fortfarande behäftad med betydande osäkerhetsmoment. Räknat efter bormeterkostnad är för borrhål av begränsat djup ned till omkring 100 m diamantborrade hål väsentligt mycket dyrare än hammarborrade. Karaktären på den information som erhålles från slående sonderingsborring respektive kärnbörning är som framgått olika. Kärnbörningen ger kvalitativt bättre information än hammarborring men till en betydligt högre kostnad. Det vore därför önskvärt att under kontroll utföra ett antal parvisa kärnborrhål och hammarborrhål i olika formationer för att utvärdera, hur dessa metoder kompletterar varandra och hur de skall kunna utnyttjas optimalt vid upplägningen av ett bergundersökningsprogram.

Dessa hål bör givetvis granskas med TV för att en så total information som möjligt skall erhållas.

2.2.6 Sammanfattning kärnbörning

Kärnbörning lämnar, om välhållen, modern utrustning användes och denna betjänas av duktig och erfaren personal,

ett ganska fullständigt studiematerial i form av kärnor och borrhingsprotokoll. Utvärderingen av materialet blir i vissa väsentliga avsnitt behäftad med subjektiv värdering, varför denna måste utföras av en erfaren specialist för att öka prognossäkerheten.

Borrning genom jord är med diamantborrning en jämförelsevis dyr metod, som därför ej i normala fall kommer i fråga för enbart jord/berglägesbestämning. Dock ger metoden, i sådana fall där ytberget är starkt söndersprucket och/eller vittrat, god möjlighet att bestämma gränsen mot fast berg.

Bestämningar av bergmassans bergarter på djupet och motsvarande bergartsgränser kan i normala fall utföras med tillfredsställande säkerhet vid kärnborrning.

Bedömningar av bergmassans struktur, med utgångspunkt från det utborrade kärnmaterialet och motsvarande borrhingsprotokoll, är en mycket komplicerad uppgift, som i varje fall i dåligt berg inte är entydig. Viss information om bergets struktur i allmän bemärkelse kan erhållas men detaljkartering av ur projekteringssynpunkt speciellt intressanta, svaga bergpartier blir behäftad med osäkerheter, framförallt beroende på svårighet att vid dessa partier rekonstruera kärnförluster, sekundärsprickor och primärsprickor. Kärnborrning har dessutom den bristen att vid den av övertvärande sprickor och sprickplanens riktning ej kan bestämmas - denna information kan dock erhållas med t. ex. TV-inspektion.

2.3. Borrhålsgranskning med TV-kamera

2.3.1 Inledning

Undersökning av bergmassan på djupet har länge utförts genom kärnborrning. Som nämnts ovan har denna metod emellertid vissa svagheter. Sålunda är kärnborrning relativt tidskrävande och kostsam och risk finns för missvisande detaljupplysningar från avsnitt med sämre berg. Ofta föreligger dessa partier i form av kärnförluster i kärnlådan.

Den snabbare och billigare hammarborrningsmetoden har, där kravet på noggrannhet av information ej varit så stor, i vissa fall kunnat ersätta kärnborrningen. För att få ut mer information om berggrunden än vad som erhålles vid hammarborrning har olika typer av optiska instrument för borrhålsgranskning utvecklats för in situ-inspektion av berget. I princip föreligger två typer, en för kontinuerlig granskning med möjligheten till intermitterent dokumentering i form av fotografier och en annan typ, vilken möjliggör kontinuerlig granskning och kontinuerlig dokumentation.

Ett instrument av den senare typen är borrhåls-TV:n där borrhålets väggar kan granskas kontinuerligt med TV-kameran under samtidig inspelning av bilden på videoband. Metoden, som ännu är relativt ny och oprövad, har visserligen använts på flera håll i världen i snart 15 år, men med begränsad framgång på grund av bl. a. tekniska problem av olika slag. Dessa är nu till stor del övervunna och metoden har därför under de senaste åren fått ökad användning för fältbruk.

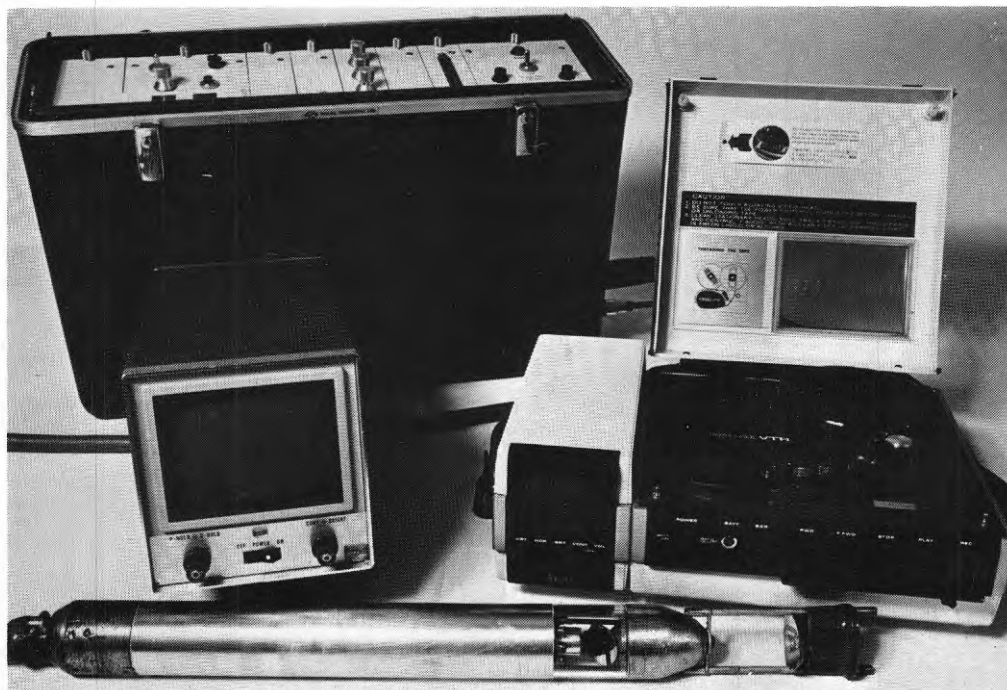


Fig. 34

TV-utrustning för borrhålsgranskning.

Närmast: TV-kamera för radiell sikt.

Till höger: Videobandspelare med TV-monitor.

Till vänster: Extra TV-monitor.

I bakgrunden: Styrenhet med förstärkare.

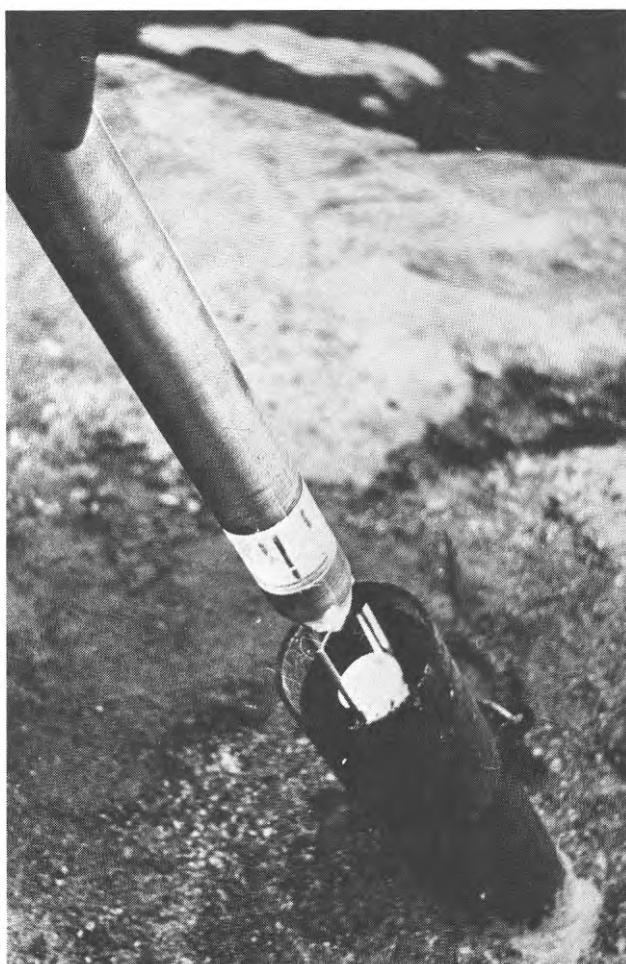


Fig. 35

TV-kamera sänkes ned i borrhålet. Borrhålets diameter är 76 mm.

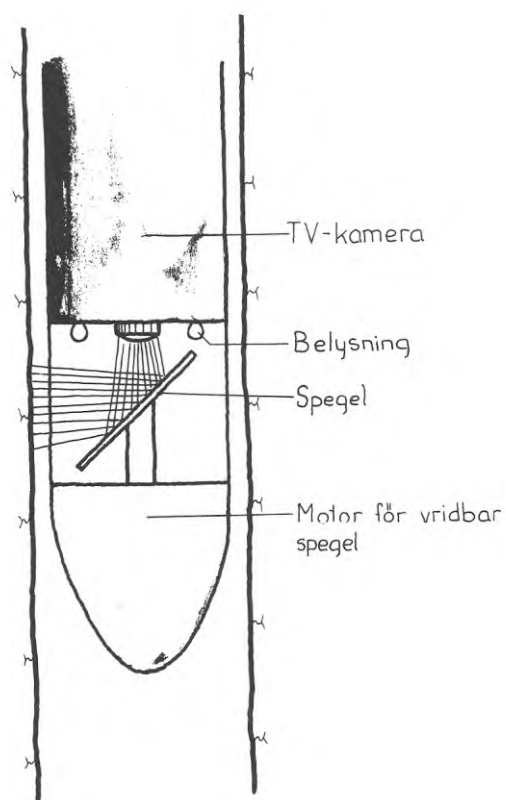


Fig. 36

Borrhålsväggen förmedlas till TV-kameran via en snedställd roterande spegel.

2.3.2 Utrustning

Här beskrives den TV-utrustning, som använts vid de undersökningar som redovisas i denna rapport. För detaljinformation om andra liknande utrustningar (metoder) hänvisas till Müller 1958, Zemovek 1970 m. fl. Dessa utrustningar skiljer sig givetvis i detaljutformning och handhavande, men alla bör i princip kunna ge samma typ av information om undersökningsobjektet.

TV-utrustningen, som är portabel, består i princip av en kameraenhet med förstärkare, styrningscentral och monitor samt en videobandspelare för bildupptagning och kommentarer. (FIG. 34) För orienteringen i borrhålet finns en speciell anordning. TV-kameran kan utrustas med optik för:

- a) axiell observation och
- b) radiell observation med vridbar spegel.

Radiell observation har visat sig vara mest lämplig för studium av sprickor, bergartsväxlingar etc. (FIG. 35 o. 36) Synfältet har härvid en begränsning av ca 3 x 4 cm i ett 76 mm borrhål.

TV-kameran är normalt innesluten i ett vattentätt hölje, som tål vattentryck av 25 kp/cm^2 . Belysning av borrhålsväggen sker från en ljuskälla med variabel intensitet monterad på kameraenheten. Med det vattentäta höljet har kameran diametern 52 mm och längden 500 mm. Vikten är ca 4 kg.

En kabel förbinder kamera med förstärkar- och styrenheten. Denna kabel, vilken kan märkas och användas som måttband, skulle i princip kunna göras hur lång som helst men vid

större längd än ca 150 m krävs mellanförstärkare. För granskning av hammarborrhål användes vanligen en ca 125 m lång kabel.

2.3.3 Granskningsmetodik

Förarbeten

Undersökningsobjektet uppborras med t. ex. hammarborr och borrhningen utföres till önskad nivå. För att erhålla optimal bildkvalitet bör håldiametern vara minst 3" (76 mm), men diametern 2 1/2" (64 mm) kan även användas.

Borrhningen bör åtminstone till en del utföras med styrhylsa för att erhålla ett rakt borrhål. Borrhålet bör ges en lutning av minst 5-10^o från vertikalplanet för att TV-kamerans orienteringsanordning skall fungera.

Efter avslutad borrhning skall borrhålet blåsas med luft och spolats upprepade gånger med vatten tills hålet är rent och torrt eller vattnet i hålet klart. Att vattnet i vattenfyllda hål är rent och klart är ett villkor för bra bild.

Utförande

TV-utrustningen anslutes vid drift till det elektriska nätet (220 V AC 50 p/s) eller till en portabel strömgivare.

TV-kameran, upphängd i sin uppmärkta kabel och en säkerhetswire, sänkes för hand av en erfaren medhjälpare till TV-operatören, som bör ha geologisk skolning. (FIG. 35)

För att underlätta samarbetet kan två monitorer användas parallellt, en av medhjälparen och en av operatören/granska- ren. Är avståndet stort kan radiokommunikation användas.

TV-kameran sänkes i borrhålet med en hastighet som anpassas till rådande bergförhållanden. Normalt granskas ca 20 m borrhål per timme. Metoden ger möjlighet att iaktta och noga studera bergmassan och växlingar i denna såsom sprickor, sprick- och krosszoner samt vissa bergartsvariationer. Vid granskningen föres protokoll. Intressanta avsnitt av ovan angiven typ spelas in på band tillsammans med muntliga kommentarer såsom djup under markytan och geologiska iakttagelser.

Bearbetning

Med protokollen och bandinspelningarna från granskningen som grund upprättas en borrhålsprofil över iakttagelser som, ställda mot det aktuella projektet har betydelse från teknisk synpunkt. De sprickorienteringar som är väsentliga utvärderas efter uppgjorda mallar. (FIG. 37)

Vid bedömning av resultatet från TV-granskningen bör övriga informationer också utnyttjas såsom den geologiska ytkarteringen, hammarborrningen och kaxproven samt vattentrycksprovningen.

2.3.4 Diskussion och analys av förutsättningarna för TV-granskning av borrhål vid bergundersökningar på djupet

Allmänt

För projektering av en berganläggning krävs i allmänhet antingen kärnborrning eller sonderingsborrning för undersökning av bergmassans beskaffenhet och struktur på djupet. För att öka den information som man härvid erhåller och samtidigt även öka säkerheten i denna, kan borrhålet

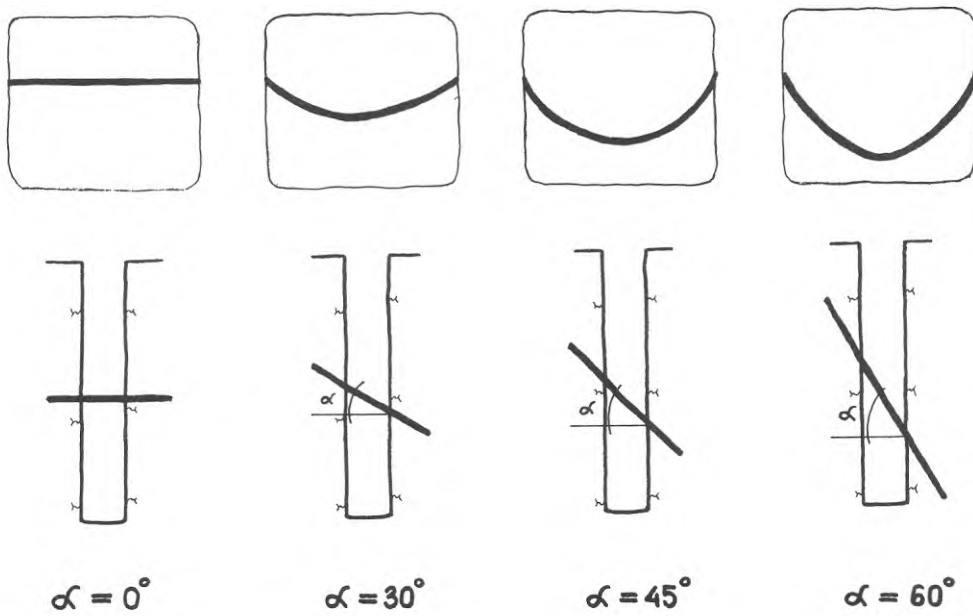


Fig. 37

Sprickornas orientering i rymden kan bestämmas på TV-skärmen med hjälp av mallar. På TV-skärmen varierar sprickornas utseende med rymdorienteringen.

granskas med borrhåls-TV. TV-granskningsmetoden kan således i detta sammanhang ses som ett komplement till den utförda undersökningsborrningen.

TV-granskning är en subjektiv undersökningsmetod som kräver erfaren personal för att rätt överföra synintrycken från bildskärmen till verkliga förhållanden i borrhålet. Granskningen bör följas av en geologiskt skolad person, som helst även äger tekniska kunskaper så att man redan i fält kan anpassa granskningen efter det aktuella projektet och koncentrera undersökningen till de avsnitt i borrhålet som är av något intresse. Eftersom bilden på TV-skärmen representerar en längd av normalt ca 2,5 - 3 cm i borrhålet är det nämligen lätt att förlora sig i detaljer av underordnad art om det icke sker ett urval redan under arbetet i fält. Detta innebär å andra sidan en nackdel då urvalet på detta sätt lämnas för en mans bedömning. Risken finns att väsentliga upplysningar blir utsorterade.

Hittills har TV-granskningsmetoden här i Sverige utnyttjats huvudsakligen i hammarborrade hål.

Jämsides med granskningen bör, för att denna skall bli meningsfull, borrarprotokollen från sonderingen studeras. Kvalitetsbedömningar blir annars mycket osäkra.

I det följande diskuteras de förutsättningar och faktorer som påverkar resultatet av en TV-granskning i samband med undersökningar för bergarbeten i anläggningsammanhang.

Analys och diskussion

Genom granskning med borrhåls-TV enbart kan tillförlitliga upplysningar om bergmassans struktur (sprickor,

krosszoner etc.) erhållas. Således kan sprickornas förekomst (frekvens), vidd (ned till 0,1 mm), orientering och ibland även fyllnadsgrad bestämmas. (FIG.37,38) Svaghetszoner, typ kross- och sprickzoner, kan lokaliseras och bestämmas till karaktär, bredd i borrhålet och ibland även när orientering av dessa är möjlig, deras absoluta bredd.

Med en god kännedom om den allmänna geologin i området, samt med informationer från borrhningen, ökar möjligheterna att inhämta upplysningar om bergart och bergmassa avsevärt. Man kan då ofta med god säkerhet avgöra bergmassans bergarter, bergartsgränser, sprickfyllnader etc., samt bergmassans struktur. (BIL. 2)

Som nämnts är det viktigt att borrhålsväggen är ren, dvs. i det närmaste fri från borrhkax, samt att, vid vattenfyllt hål, vattnet i hålet är så pass rent att det ej absorberar ljuset från ljuskällan eller i för hög grad minskar sikten. Detta kan i de flesta fall uppnås genom renspolning av borrhålet med luft och vatten. Rester av kaxet bör även få tid att sedimentera.

I vissa fall är denna förutsättning en klar begränsning, speciellt i områden med förorenat grundvatten. Inledande prov med spolning av rent vatten mellan hölje och hålvägg ger anledning tro att svårigheterna med smutsigt vatten kan övervinnas.

En förutsättning för granskning, som samtidigt utgör en begränsning av metoden, är givetvis att borrhålet måste vara öppet, dvs. berget får inte vara så dåligt att hålet rasar igen. Stenar och gruskorn, som lossnar ur hålväggen, kan medföra att kameran fastnar. Fyllnadsmaterialet i sprickor är i allmänhet omöjligt att bestämma utom i speciella fall, t. ex.

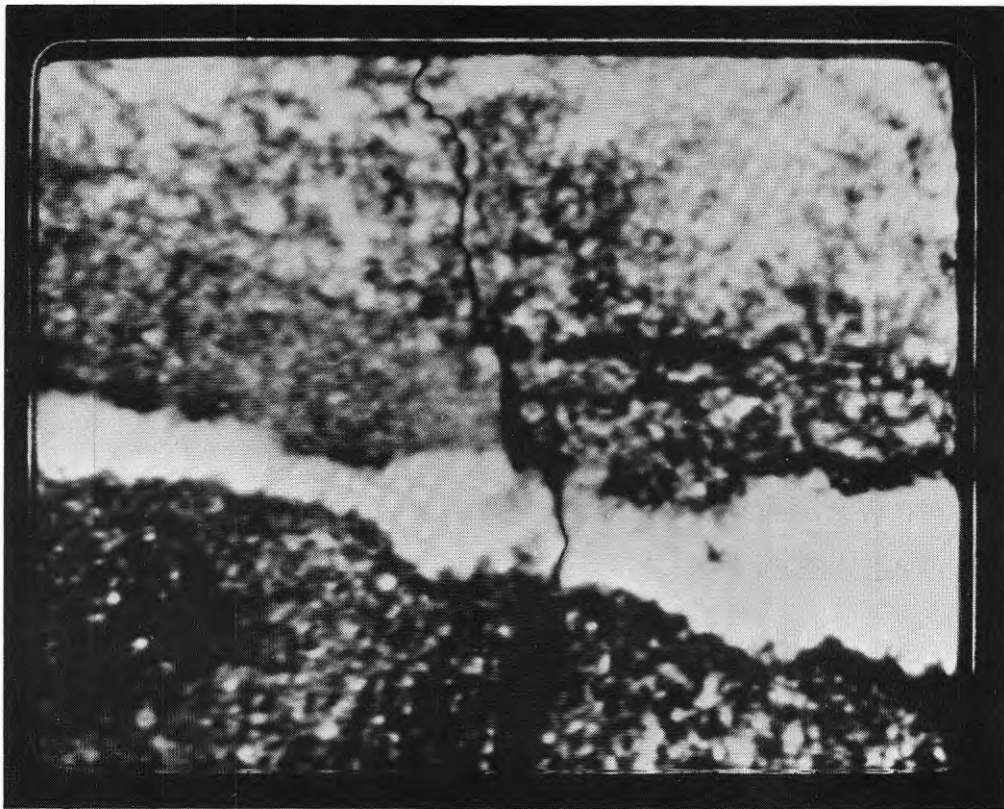


Fig. 38
TV-bild från borrhål visande en gnejs med
kvartsgång genomskuren av liten vertikal
spricka med vidden 0,1 - 0,3 mm.

sprickor läkta med kalцит eller kvarts. Även lerförekomst kan ibland avgöras. Borrhållet skall provas med "tolk".

Några faktorer som minskar noggrannheten av den information som erhålles vid TV-granskning av borrhål är följande.

Mörka kontrastfattiga bergarter som absorberar ljuset kan vara mindre väl lämpade för TV-granskning.

Skikt av mörk glimmer kan förväxlas med sprickor och vice versa. (BIL. 2)

Vid borrning och då vattentrycksprovningsföregår TV-granskningen blir sprickorna mer eller mindre urspolade, vilket kan ge en felaktig föreställning om fyllnadsgraden. (BIL. 4)

2.3.5 Utvecklingsmöjligheter

Ett stort önskemål är givetvis att kunna åskådliggöra hålväggen i färg, vilket skulle öka möjligheterna att bestämma bergarter m. m. Det torde inte dröja länge förrän färg-TV i dessa dimensioner för industriellt bruk finns på marknaden.

För att förbättra analysmöjligheterna med TV-granskningsmetoden är det önskvärt att:

- a) prov i olika bergarter utföres så att TV-granskningsresultat kan jämföras med kärnborrhålsresultat. Härigenom erhålles bättre kunskaper och säkrare bedömningsunderlag,
- b) få fram en förfinad metodik för snabb och säker bedömning av sprickorienteringar.

2.3.6 Sammanfattning TV-granskning i borrhål

TV-granskningsmetoden ger, om den kombineras med håll- och sprickkartering på markytan samt sonderingsborrning, ett kvalitativt relativt fullständigt studiematerial i form av granskningsprotokoll och videoband. Utvärderingen blir dock alltid subjektiv och kräver en erfaren specialist för att uppnå en tillfredställande prognossäkerhet. Dock finnes den fördelen att osäkra partier kan dokumenteras på videoband, vilket möjliggör att bedömning kan delas med andra.

Berglägesbestämning med TV-granskningsmetoden är normalt ej lämplig av bl. a. kostnadsskäl men kan vara en utväg där andra undersökningar icke givit entydiga informationer.

Möjligheterna till bestämning av bergmassans bergarter på djupet och gränser mellan olika bergarter beror i hög grad på de kunskaper om berggrunden som kunnat erhållas genom andra undersökningar, t. ex. geologisk ytkartering. Normalt gäller att de bergarter som väsentligt skiljer sig i strukturdrag, kornstorlek och svartvit reproduktion i övrigt kan bestämmas, om i området förekommande bergarter är bestämda. Bergarternas hållfasthetsegenskaper kan däremot inte bestämmas, utan måste utvinnas under borrhningen.

Bedömningar av bergmassans struktur kan genom TV-granskning ske i nära ostört berg. Erhållna informationer om sprickbildningen blir härigenom nära överensstämmande med verkligheten.

2.4 Vattentrycksprovning, en orientering

2.4.1 Inledning

Vattentrycksprovning eller vattenförlustmätning i borrhål är en metod att bestämma bergmassans permeabilitet. Förutom vid undersökningar av berggrunden för berganläggningar användes metoden bl. a. i samband med injekteringsarbeten i berg.

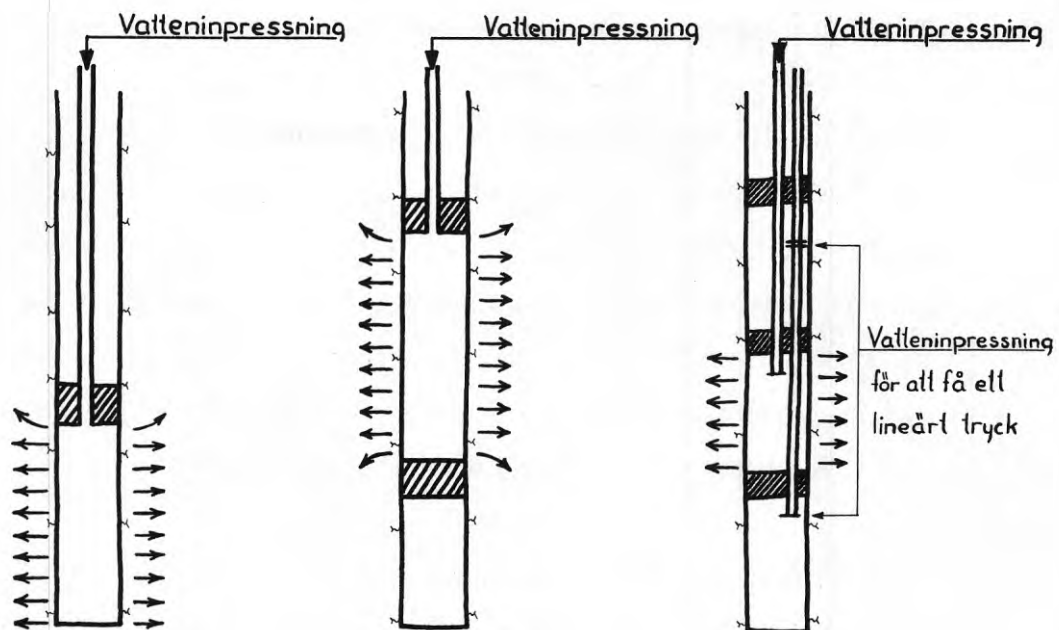
Till det borrhål, som skall vattentryckprovas, ansluts en vattenledning med en tätning mellan hålväggen och ledningsändan. Den mängd vatten som vid ett visst vattenöverttryck kan pressas in i berget ger ett mått på tätheten hos berget.

Det finns idag i Sverige inga fastställda normer för hur en vattentrycksprovning skall gå till och ej heller någon standardiserad utrustning, varför flera olika provningsförfaranden förekommer.

2.4.2 Utrustning och metodbeskrivning

Utrustningen består av ett förlängningsbart stålrör eller en gummi- eller plastslang i vars nedre ände en, två eller ibland flera gummimanschetter är monterade för tätning mellan rör och hålvägg. Härigenom kan en viss provtryckningssträcka avgränsas. Vid två manschetter sitter dessa ofta ca 3 m från varandra. (FIG. 39)

Manschetterna manövreras antingen mekaniskt eller hydrauliskt från markytan. Rör eller slang anslutes till en vattenpump. Mätanordningar för vattenflöde och vattentryck är anslutna till utrustningen. Vattentrycket mätes antingen vid manschett eller markyta.



ENKELMANSCHETT DUBBELMANSCHETT TRIPPELMANSCHETT

Fig. 39

Vattentrycksprovning av borrhål kan ske enligt flera olika principer. Med tre manschetter vill man åstadkomma ett lineärt flöde.

Tryckningen sker våningsvis med 1,5, 3 eller 5 m mellan våningarna. Vattenförlusterna mätes för vissa pålagda tryck. Ofta sker tryckningen vid 3, 5 och 7 atm manometertryck, dels vid successiv ökning, dels vid minskning av trycket. Om tryckningen sker med två manschetter med början längst ned i borrhålet förflyttas den undre manschetten, efter avslutad mätning vid en nivå, till den övre manschettens tidigare läge och ny tryckning sker. På detta sätt flyttas manschetterna upp våning för våning tills hela hålet provtryckts.

Vid bearbetning av de erhållna värdena korrigeras för strömningsförluster i ledningarna, grundvattentryck m. m. Olika måttenheter för permeabiliteten förekommer, såväl inom Sverige som internationellt.

2.4.3 Kommentarer

Det finns flera yttre faktorer som kan påverka resultaten vid vattentrycksprovning och som kan ge felaktiga eller svårtolkade värden. Så t. ex. kan läckage uppstå mellan manschett och bergvägg, vilket inte alltid upptäcks. Vidare kan vattentryckningen ge ett ökat grundvattenmottryck, vilket ofta är svårt att värdera.

Genom den ökade vattenströmningen och genom tryckökningen störs också berggrunden, vilket inverkar på uppmätta vattenförluster.

Det torde vara ett önskemål att den för vattentrycksprovningar använda tekniken vidareutvecklas och normeras, så att prognoser, t. ex. beträffande vatteninrinningen till en berganläggning, blir jämförbara med avseende på utgångsvärden från det ena fallet till det andra.

3. UTFÖRDA BERGUNDERSÖKNINGAR

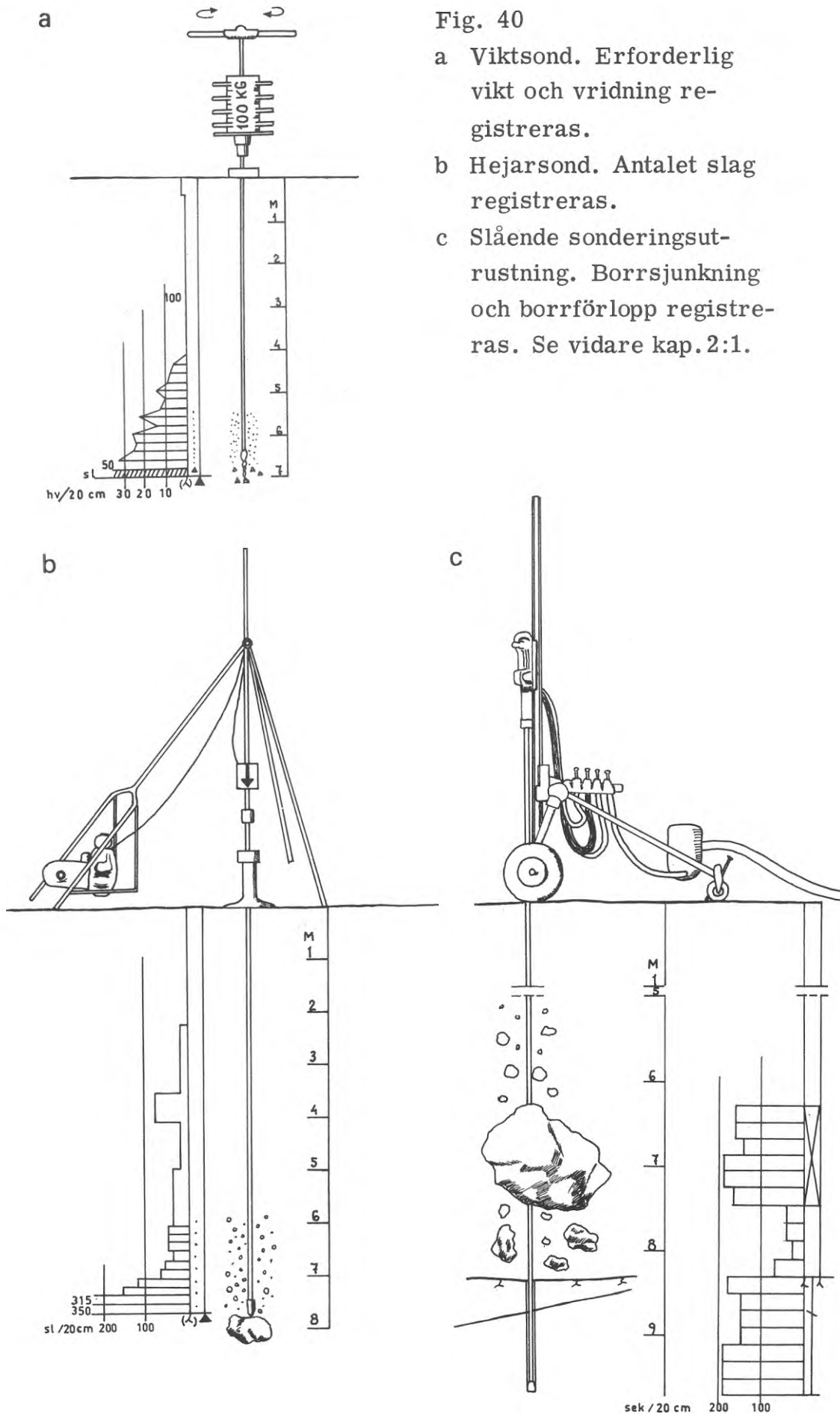
3.1 Historik

När man i början av 1900-talet vid järnvägsbyggandet nödgades dra fram järnvägar över lermarker, började problemen med markstabilitet bli intressanta och det var i samband med dessa arbeten som den första geotekniska utrustningen kom fram för borrhning och provtagning. I samband med bl. a. skredet vid Getå 1918 utarbetades av Statens Järnvägars geotekniska kommission normer för hur bl. a. en utrustning för sonderingsborrning av lösa jordlager skulle se ut. (FIG. 40a)

Utvecklingen har sedan gått vidare och Statens Geotekniska Institut m. fl. har utvecklat borrhmetoder av olika slag så att man idag direkt i fält kan registrera markbärigheten.

(FIG. 40b, c) I och med att skarvbara borren för hammarborrning utvecklades i början på 1940-talet fick man däri ett redskap, som kunde användas inom geotekniken för att penetrera hårda marklager, lager av rullsten, blockigt material och hårt packad bottenmorän för att bestämma bergytans läge. Man behövde inte som tidigare riskera att borrhspetsen fastnade på block och sten eller annat hårt material.

I samband med de första djuphusen i Stockholm blev det klarlagt att man ofta i ytberget hade lager av sand insprängda i berget. Förekomsten av berghättor av olika tjocklek såväl som förekomsten av stora block gjorde att man för bestämning av den fasta bergytans läge med lugna bergförhållanden krävde sonderingsborrning i fast berg till ett djup av 3 m, men där oroliga bergförhållanden förelåg utsträcktes sonderingsborrningen i fast berg till 5 m. I samband med dessa sonderingsborrningar i berg utvecklades så småningom en protokollföring där man registrerade inte bara borrhnings-



förloppet utan jämväl också borrsjunkningen för bedömning av bergkvaliteten.

Sedan den skarvbara borrhjulen utvecklats mot tyngre utrustningar kan man idag borra 100 å 150 m i fast berg. Detta innebär att man med denna utrustning når de nivåer som företrädesvis är intressanta i samband med bergarbeten och man har därvid fått ett komplement till den traditionella kärnboringen, som ursprungligen utvecklats för gruv- och mineralindustrin men som idag även användes i samband med bergundersökningar av olika slag.

För att studera utvecklingen samt för att skaffa fram de senaste 20 årens erfarenhet av hur skarvbara borren kommit till användning i geotekniska och bergtekniska sammanhang såväl i Sverige som i vissa andra länder, har tidigare gjorda undersökningar penetrerats. För att belysa utvecklingen har som exempel valts att åskådliggöra den utveckling som skett i Stockholm i samband med den stora tunnel-epoken, som började på 1940-talet och som har drivits huvudsakligen i Stockholms stads gatukontors regi. Ur denna har genom detaljstudier här plockats fram ett utvecklingsförlopp, vilket i någon mån avser att visa hur behovet och kvalitetskravet av bergundersökningar ökat. (FIG. 41 - 43)

Utvecklingen går på grund av våra utomordentliga berggrunds-förhållanden inte bara mot ett ökat berggrumsbyggande utan jämväl mot ett berggrumsbyggande, där man för funktionen ställer allt större krav på berggrundens beskaffenhet. Sålunda utför man idag berggrum för olika ändamål; kylrum i berg, oljelager och hetvatten i berg, gaslager i berg, luftmagasin i berg osv. Berggrum för atomavfall diskuteras och prövas i Amerika. Man strävar sålunda alltmer efter metoder att på ett enkelt och pålitligt sätt kunna utvärdera berggrundens egenskaper.

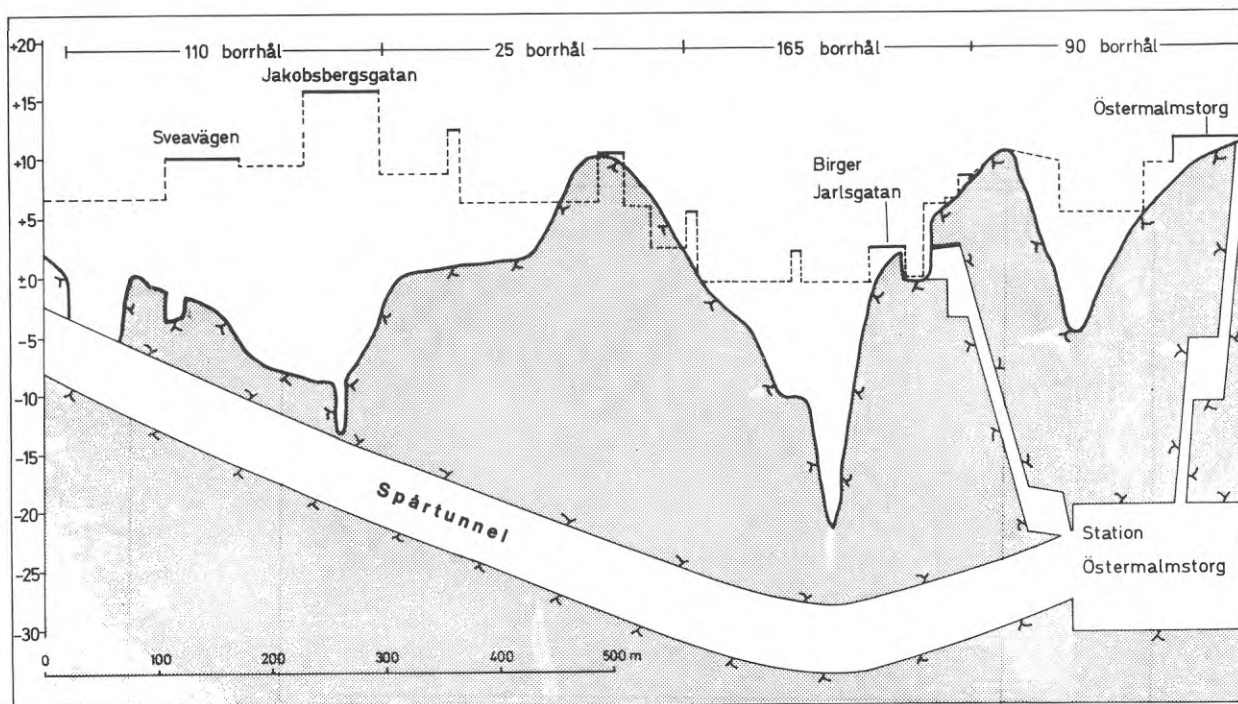


Fig. 41

Schematisk geologisk sektion visande bergytans starkt växlande topografi under de lösa jordlagren över ett tunnelavsnitt. Behovet av att känna bergets läge och kvalitet är stort i lågpartierna, vilket framgår av borrhålsfördelningen.

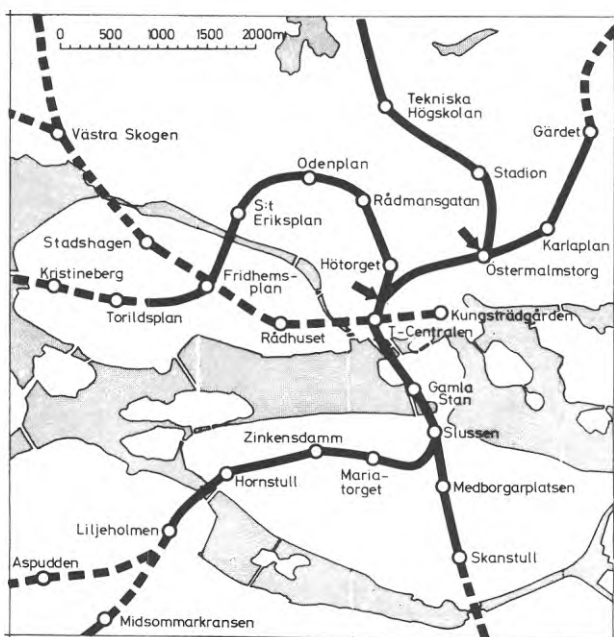


Fig. 42

Spårtunnlar i Stockholm. Borrningar för de heldragna sträckorna har analyserats. Sträckan mellan pilarna redovisas i sektion (Fig. 41), där antalet borrhål angivits för olika avsnitt.

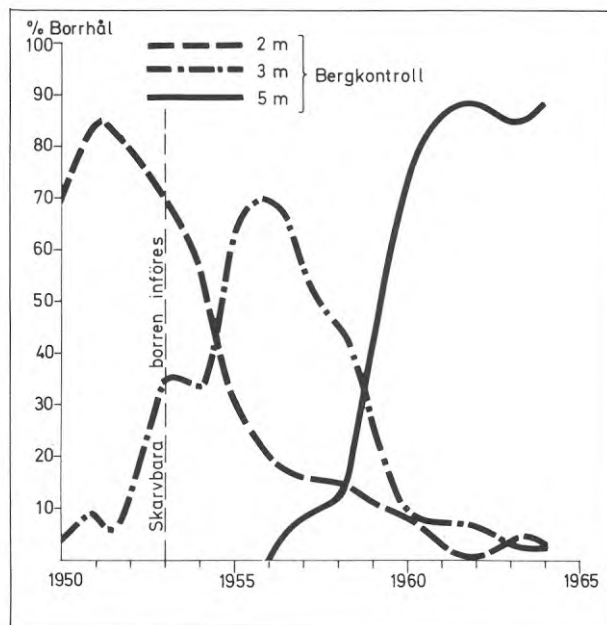


Fig. 43

De ökade kraven på tillförlitlig information vid undersökningsborrning kan åskådliggöras med ovanstående diagram över utvecklingen av sonderingstekniken vid tunnelbaneprojekteringen i Stockholm 1950-1965. Materialet baserat på ca 2.000 borrhål, nedförda i berg.

3.2 Redovisning av utförda undersökningar med kommentarer

3.2.1 Förutsättningar

Bilaga 1 - 13 redovisar elva signifikativa undersökningshål utförda mellan åren 1969-1972 i samband med Hagconsult AB's verksamhet, där de under Kapitel 2. behandlade undersökningsmetoderna i olika kombinationer kommit till användning. Varje borrhål detaljredovisas och de informationer, som erhållits med respektive metod, värderas och kommenteras i anslutning till respektive borrhål. Ett trettiotal borrhål har behandlats på liknande sätt men i rapporten har endast elva hål från nio olika projekt medtagits. Protokollen från dessa borrhål redovisas i ursprungsskick, varför språk, nomenklatur och beteckningar varierar något.

Dessa undersökningar representerar, som tidigare nämnts, i huvudsak endast hårda eruptivbergarter och metamorfa bergarter. Eftersom undersökningarna har utförts för skilda projekt, har förutsättningar och ändamål med respektive undersökning delvis varit olika, vilket medfört att utvärderingen av erhållen information i vissa fall inte är direkt jämförbar. Detta framgår även av dels teckenförklaring i BIL. 1, dels kommentarerna till de enskilda borrhålen.

TV-granskning av kärnborrade hål har ännu ej utförts i nämnvärd omfattning, varför tillgången till borrhål undersökta med kombinationen TV-granskning / kärnborrning varit begränsad.

De borrhål, som här redovisas, har alla utförts innan denna rapport påbörjats, vilket medfört att borrhålsarbetet bedrivits utan möjlighet till kontroll och uppföljning i och för

denna undersökning. Detta har varit till stor nackdel, då en hel del nödvändigt underlag för den jämförande värderingen saknats. Vissa icke önskvärda generaliseringar har därför behövt göras.

3.2.2 Diskussion av resultat

Det önskade informationsbehovet vid en bergundersökning varierar dels med avseende på objektets art och storlek, dels med avseende på i vilket stadium av projekteringen som undersökningen initieras. Den bedömning av informationskvaliteten från de olika projekt, som redovisas i Bilagorna 1 - 13, är således ej direkt jämförbara med varandra, varför en strikt matematisk bearbetning av materialet ej är meningsfull. Här skall dels kommentarerna i bilagorna sammanställas och jämföras med analyserna i Kapitel 2, dels skall resultatet av bedömningstablåerna diskuteras.

A. Kommentarer, hammarborrning

<u>Bilaga</u>	<u>Kommentar</u>	<u>Hänvisn. Kap. 2</u>
2, 3, 8, 11	Inhomogeniteter i bergmassan hade troligen, om de enbart baserats på borrsjunkningsregistringen, tolkats fel (överdrivits) om inte annan undersökningsmetod samtidigt använts.	s. 33 s. 48
5, 6, 8	Hög borrsjunkning orsakad av "mjukare" bergartsskikt är svår att skilja ifrån hög borrsjunkning orsakad av sprickigt berg.	s. 43
5.	Ojämn borrsjunkning orsakad av längsgående spricka.	s. 45, 46

<u>Bilaga</u>	<u>Kommentar</u>	<u>Hänvisn. Kap. 2.</u>
4, 8	Ojämn borrsjunkning beror ej av berget (enl. jämförelse med TV).	s. 33
Generellt	Borrkax ger visst besked vid tveksamhet.	s. 63, 65
Generellt	Den relativa borrsjunkningen är väsentligast, ej den absoluta.	s. 51

B. Kommentarer, kärnborrning

<u>Bilaga</u>	<u>Kommentar</u>	<u>Hänvisn. Kap. 2.</u>
9, 10	Mekanisk sönderkrossning svår att tolka till omfattning och rätt nivå.	s. 36, 52
11	Partier med kärnförluster är svåra att rekonstruera. Orsaken svår att härleda.	s. 65
10, 11	Sekundärspricka svår att särskilja från primärspricka.	s. 62

C. Kommentarer, TV-granskning

<u>Bilaga</u>	<u>Kommentar</u>	<u>Hänvisn. Kap. 2.</u>
3	(Ler)fyllda sprickor svåra att tolka.	s. 77
2, 6	Slutna sprickor längs skifferplan svåra att tolka	s. 78
4	Sprickors verkliga fyllnadsgrad svår att bestämma p. g. a. urspolning.	s. 78

<u>Bilaga</u>	<u>Kommentar</u>	<u>Hänvisn. Kap. 2</u>
5	Vittrat berg gav dålig sikt p. g. a. avståndsvariation till hålvägg och därav betingad kontrastlöshet.	s. 77
9, 10, 11	Sprickanvisningar och slutna sprickplan framgår ej.	s. 77
10, 11	TV-stopp vid fyllt eller blockerat hål.	—
Generellt	Ytkartering och borrhningsförlopp ger nödvändig basinformation.	s. 73
Generellt	TV-granskning kompletterar borrhning med väsentliga detaljinformationer.	—

Den för respektive borrhål genomförda bedömningen av informationskvaliteten ger intressanta resultat. I huvudsak kan konstateras att de värderingar om respektive metods styrka och svagheter som framförts i Kapitel 2 bekräftats. Vissa genomgående drag i bedömningstablåerna kan urskiljas.

1. En noggrann ytkartering ökar förutsättningen för att en djupundersökning skall ge bra information.
2. Det är sällan som en undersökningsmetod ensam ger tillräckliga informationer.
3. För alla metoder gäller att kvaliteten på den erhållna informationen är helt beroende på fältpersonalens förmåga och noggrannhet.
4. Med kärnborrhning erhålles den kvalitetsmässigt bästa informationen om bergarter och bergartsgränser. TV-granskningen ger en tämligen tillfredställande information om bergarterna i stort.

5. Upplysningar om bergmassans sprickighet erhålles med både TV-granskning och kärnbörning. Med TV-granskning kan sprickvidder bestämmas. Metoden kan dock medföra viss risk för övervärdering av bergmassans bergtekniska egenskaper då klov och slutna sprickor ej framgår. Kärnbörning å andra sidan kan medföra risk för undervärdering av bergmassans egenskaper på grund av sprickor orsakade av börningar.
6. Med TV-granskning kan den kvalitetsmässigt bästa informationen om svaghetszoner i berggrunden erhållas. Kärnbörning synes i många fall ge osäker och svårtolkad information i detta avseende.
7. Hammarbörning ger i sig själv en mycket begränsad information om berggrunden. Dock skall noteras att denna metod i ännu högre grad än de övriga metoderna är beroende av personalens skicklighet. Tillgång till automatisk borrsjunkningsregistrering är av fundamental betydelse för resultatet. Denna registreringsmöjlighet förelåg ej vid de här redovisade borrhålens utförande.
8. Eftersom TV-granskning alltid utföres i kombination med någon av borrmotoderna, ökar detta TV-granskningens förutsättning, då på så sätt alltid två metoder utnyttjas.

På grund av basmaterialets ofullständiga karaktär har det endast varit möjligt att upprätta en stomme för tillförlitlighetsvärdering av den information respektive undersökningsmetod kan ge. För befästade av denna tillförlitlighetsvärdering samt för kvantifiering av den erhållna informationen erfordras undersökningar i speciella under sträng kontroll utförda borrhål med registrering av samtliga inverkanade faktorer.

4. SAMMANFATTANDE SLUTSATSER

Tyvärr måste konstateras att det ej existerar någon tillförlitlig universalmetod för genomförande av bergundersökningar på djupet. Alla metoder innehåller många subjektiva moment och tillförlitligheten beror av fältpersonalens förmåga och noggrannhet. I rapporten har de olika undersökningsmetoderna beskrivits och analyserats i detalj med karakteristik av respektive metods svaga och starka sidor. Risker för metodberoende feltolkningar av erhållen information vid användande av respektive metod har därvid ingående behandlats.

En systematiskt uppbyggd mall för värdering av erhållen information har utarbetats. Denna värderingsmall är uppbyggd för att kunna användas såväl i fält som vid utvärderingar av undersökningsmaterial. Ett sådant system är en förutsättning för att en kvalitativ och kvantitativ jämförelse av olika metoders informationsinnehåll skall vara genomförbar.

Tack vare den utarbetade värderingstablan och de genomförda analyserna av respektive metod har en i huvudsak tillämpbar jämförande värdering av de olika metoderna kunnat genomföras. Därvid kan konstateras att metoderna täcker olika områden vad gäller typ av information. Kärnbörning ger exempelvis i de flesta fall tillfredsställande information om bergmassans bergarter och bergartsgränser under det att TV-granskning + hammarbörning ger den kvalitetsmässigt bästa informationen vad gäller bergmassans svaghetszoner.

Denna jämförande värdering ger betydligt större möjligheter till att rekommendera val av detaljundersökningsmetod med avseende på önskade krav än tidigare.

Tyvärr har det på grund av basmaterialalets ofullständiga karaktär endast varit möjligt att upprätta en stomme för en kvalitativ tillförlitlighetsvärdering av erhållna informationer. För bekräftande av denna tillförlitlighetsvärdering samt för komplettering av denna med en kvantitativ värderingsmall av erhållna informationer erfordras fullskaleprov under vederbörlig vetenskaplig kontroll och uppföljning. Den fortsatta utredningen (Etapp II) bör leda till en standardisering av dessa provtagningsförfaranden för att kvalitetskraven på bergundersökningar i framtiden skall kunna specificeras.

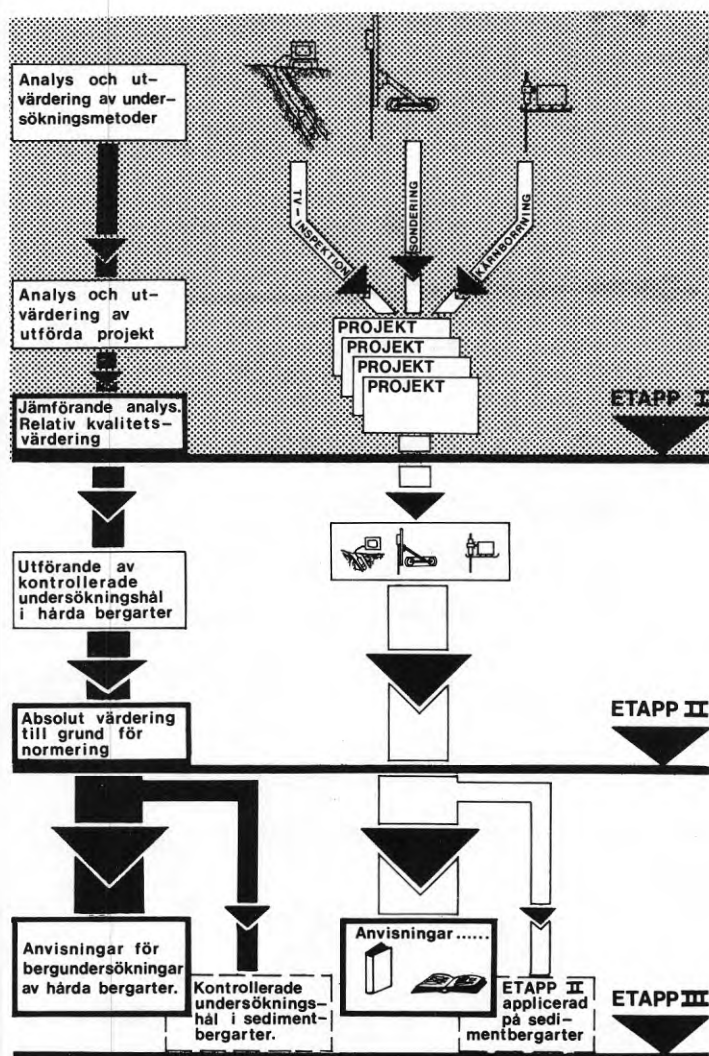


Fig. 44

Flödesschema åskådliggörande projektet i sin helhet.

5. FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNINGSPROGRAM

De jämförande undersökningar och analyser av befintliga borrhål, som gjorts i detta avsnitt, har tyvärr måst baseras på ett ofullständigt underlag, i det att tillgängliga borrhålsdata ej uppfyller för förfinad bearbetning erforderlig kvalitetsnivå. En sådan bearbetning, som är nödvändig för att bl.a. informationskvantifiering skall vara genomförbar, kräver en förfinad jämförande analys av resultat erhållna från speciellt utförda borrhål.

Således föreslås, liksom i ursprungsprogrammet, ett kontrollerat utförande av ett antal parvisa kärnborrhål och hammarborrhål i omedelbar närhet av varandra i vilka sedan såväl TV-granskning som vattentrycksprovning skall utföras. Vid dessa borrhningar skall samtliga de faktorer, som behandlats och karakteriserats i Etapp 1, observeras och registreras för en efterföljande analys.

Dessa hålpar skall placeras i olika bergtyper med varierande bergstrukturer såsom t. ex. förskiffrad gnejs, regelbundet uppsprucken granit, medelgod gnejs eller granit samt även i ett bergparti med omväxlande gnejs och granit.

Vid dessa fältprov bör vissa under Kap. 2.1.6 ; 2.2.5 ; 2.3.6 (Utvecklingsmöjligheter) föreslagna punkter detaljstuderas och utvärderas.

6. LITTERATUR

Bergman, S, G, A, 1965, Funktionell bergklassificering. (IVA) Med. 142, p. 115-123. Stockholm.

Bergman, S, G, A, Bergklassificering, Bergkonturer, Bergförstärkning, (STF - TLI kursverksamhet) Stockholm.

Deere, D, U, Miller, R, P, 1966, Engineering classification and index properties for intact rock. (Techn. Rep. No. AFWL-TR-65-116, Kirtland Air Force Base). New Mexico.

Gerhardt, H, Schöne, D, 1965, Die Bestimmung der Bohrgeschwindigkeit. (Bergakademie) h. 6, p. 326-331. Freiberg.

Hagerman, T, H, 1965, Olika typer av berg i bergmekaniskt hänseende. (IVA) Med. 142, p. 25-34. Stockholm

Handboken BYGG, 1966, kap. 994, Berganläggningar. Stockholm

Hansági, I, 1970, Jämförelse mellan bergklassificering enligt RQD- och Kirunametoden. (IVA) rapp. 29, p. 85. Stockholm.

Helfrich, H, K, 1971, Kartering av berghållfastheten med refraktionsseismik. (IVA) Rapp. nr 38, p. 28-36. Stockholm

Holmes, A, 1946, Principles of Physical Geology, London

Maidl, B, 1972, Klassifizierung der Gesteine nach der Bohrbarkeit, (Rock Mechanics) Vol. 4, No. 1, p. 25-44, Wien - New York.

Makaroy, 1962, Angenäherte Bestimmung der Bohrgeschwindigkeit beim Schalgbohren. (Izv. Sibirsk. Otd. AN SSSR) 9, p. 120-122.

Morfeltdt, C-O, 1953, Inventering genom borrhning av fyndigheter för dagbrytning, (Tekn. Tidskr.) h. 12. Norrköping.

Morfeltdt, C-O, 1962, Berggrundens diskontinuiteter, (Byggmästaren) nr 6. Stockholm

Morfeltdt, C-O, 1965, Granskning av borrhål i berg och betong, (Väg- och vattenbyggaren) nr 4. Stockholm

- Morfeldt, C-O, 1967, Problem med vatten vid tunneldrivning i berg. (IVA) Diskussionsmöte. Stockholm.
- Morfeldt, C-O, 1969, Significance of Groundwater at Rock Constructions of Different Types, (International Symposium on Large Permanent Underground Openings) Oslo.
- Morfeldt, C-O, 1972, Bergbeskaffenheten i utsprängd anläggning jämförd med prognoser, grundade på geologiska ytobservationer. (IVA) Rapp. nr 45, p. 47-65. Stockholm
- Müller, L, 1963, Der Felsbau, (Ferd. Enke) Stuttgart.
- Niini, H, 1972, Om krosszoner och deras undersökning ur praktisk synvinkel. (IVA) Rapp. nr 45, p. 199-214. Stockholm
- Schöne, D, 1965, Die Bedeutung und die Definition der Begriffe „Bohrbarkeit“ und „Bohrwiderstand“, (Bergakademie) h. 3, p. 146-151. Freiberg.
- Sievers, H, 1950, Die Bestimmung des Bohrwiderstandes von Gesteinen, (Glückauf) p. 776-784.
- de Sitter, L, U, 1956, Structural Geology, (Mac Graw Hill) p. 105-12, New York.
- Svenska Geotekniska Föreningen, 1970, Beteckningar för geotekniska undersökningar, blad 4. Stockholm
- Trefethen, J, M, 1949, Geology for Engineers. Londong.
- White, C, G, 1969, A rock drillability index. (Quart. Colorado School Mines 64) No. 2, p. 92.
- Zemovek, J, 1968, The borehole Televier - a new logging concept for fracture location and other types of boreholes inspection, (Mobil Research and Development Cooperation Field Research Laboratory). Dallas Texas.
- Zemovek, J, Glenn, E, E, Norton, L, J, Caldwell, R, L, 1970, Formation evaluation by inspection with the Borehole Televier. (Geophysics) Vol. 35, No. 2, p. 254-269.

BILAGA 1

BETECKNINGAR GÄLLANDE BILAGA 2 - 13

Bedömning av informationskvalitet

- ++ Tillräcklig till fullgod information
- + Någon information
- 0 Ingen information
- Inget behov av information och/eller information ej förväntad

Undersökningsmetod

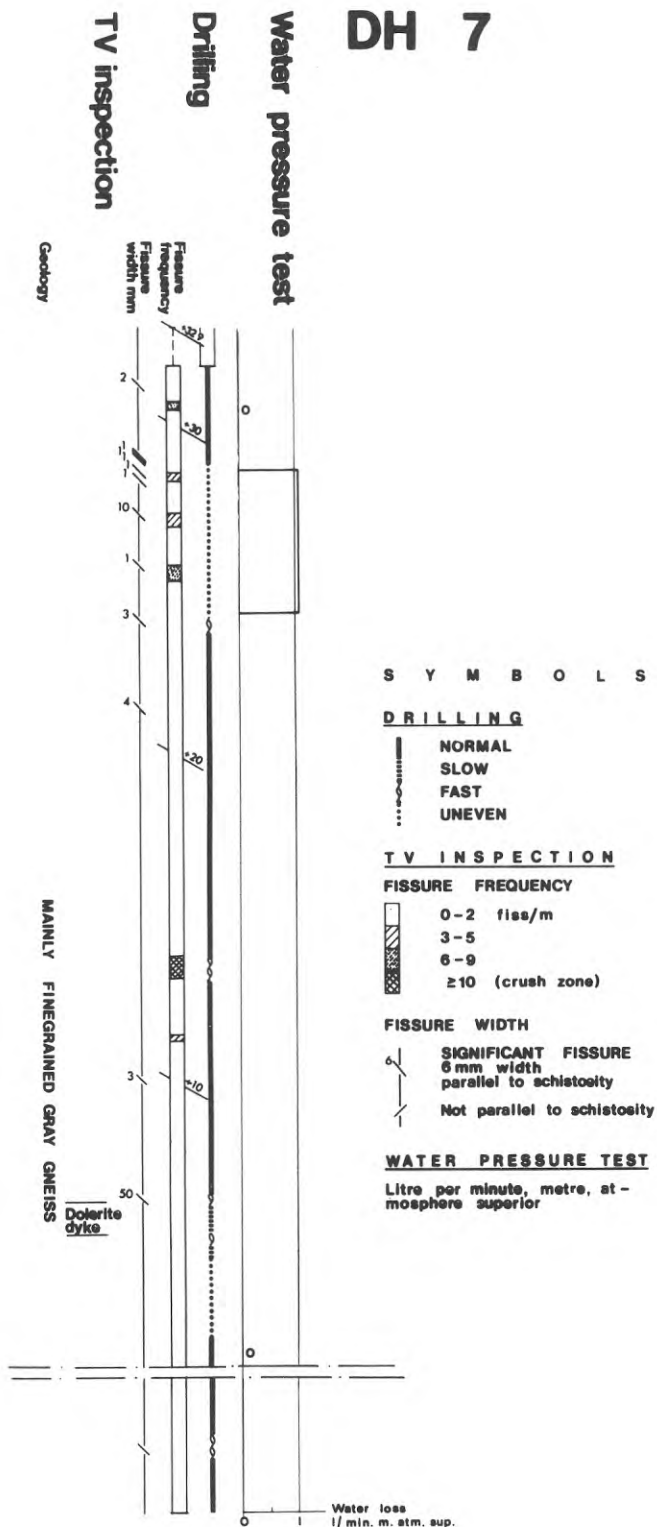
- H Sonderingsborrning utförd med hammarborrustrustning, typ Atlas Copco Roc 600 med BBE 57-01
- K Kärnborrning, maskintyp ej noterad
- TV TV-granskning, borrhålskamera Ø 52 mm med radiell sikt
- V Vattentrycksprovning, enkelmanschett, hydraulmanövrerad

Obs:

På grund av olikheter beträffande ändamål och informationsbehov vid de projekt, varifrån i BIL. 2 - 13 redovisade borrhål är hämtade, kan dessa i vissa fall icke jämföras sinsemellan. Den bedömning av informationskvalitet som utförts är därför relaterad till varje enskilt borrhål.

BILAGA 2

DH 7



Berggrund: Huvudsakligen finkornig grå gnejs av granitisk sammansättning.

Projekt: Bergrum för råolja och produkter. Under projektering.

Undersökningsår: 1972

Undersökningsmetod: Geologisk håll- och sprickkartering, hammarbörning med kaxprovtagning, TV-granskning samt vattentrycksprovning.

Jämförelse mellan information erhållen vid hammarbörning, TV-granskning och vattentrycksprovning.

Beteckningar, se BIL. 1	H	TV	V
Bergartstyper			
Väsentliga mineral	+	++	--
Kornstorlek	0	++	--
Strukturdrag	0	++	--
Kvalitet	+	+	--
Sprickighet			
Förekomst (frekvens)	+	+	--
Vidd	0	++	--
Fyllnadsmaterial	0	0	--
Fyllnadsgrad	0	+	+
Orientering (rymd)	0	++	--
Svaghetszoner (ex. krosszoner)			
Förekomst	+	++	--
Bredd	+	++	--
Orientering	0	++	--
Karaktär	+	+	+
Deformationer	0	0	--
Permeabilitet	0	0	+

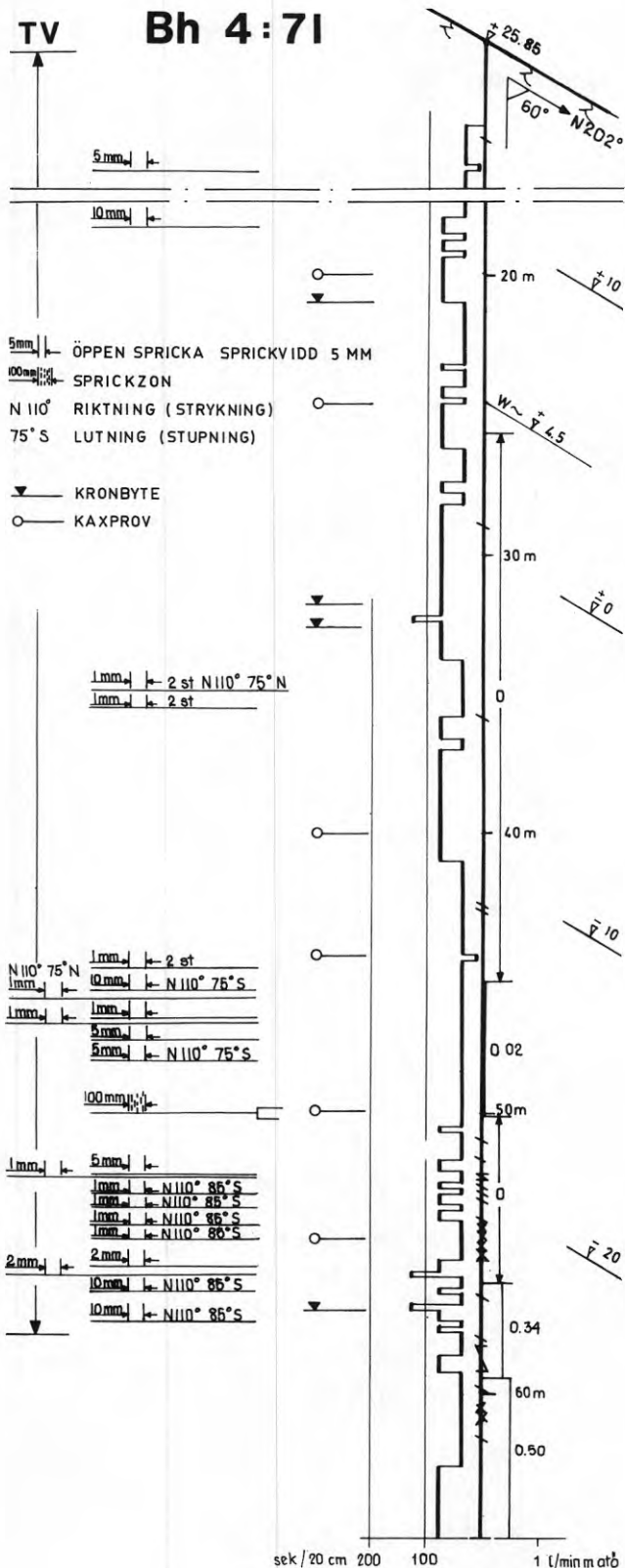
Anm. :

H: Från nivå ca +29 m till +24 m var borrhjunsningen ojämn vilket var svårt att tolka. Den efterföljande TV-granskningen visade att förekommande sprickzoner lätt kunde ha överdrivits.

Diabasgången, som genomtvarades vid +5 m, gav ett tydligt utslag i borrhjunsningen men borrhjunsförloppet påverkades även 3 m efter passagen av diabasgången. Detta kunde konstateras vid TV-granskningen.

TV: Den ibland förskiffrade gnejsen med mörka band av klorit och amfiboler var svår att skilja från öppna sprickor parallella med gnejsstrukturerna.

BILAGA 3



Berggrund: Finkornig granittyp med tillhörande pegmatiter och kvartsådror.

Projekt: Bergrum för oljeprodukter. Under byggnad.

Undersökningsår: 1971

Undersökningsmetod: Geologisk håll- och sprickkartering, hammarbörning med kaxprovtagning, TV-granskning, samt vattentrycksprovning.

Jämförelse mellan information erhållen vid hammarbörning, TV-granskning och vattentrycksprovning.

Beteckningar, se BIL. 1

	H	TV	V
Bergartstyper			
Väsentliga mineral	+	++	--
Kornstorlek	0	++	--
Strukturdrag	0	+	--
Kvalitet	+	++	--
Sprickighet			
Förekomst (frekvens)	+	++	--
Vidd	0	++	--
Fyllnadsmaterial	0	0	+
Fyllnadsgrad	0	+	+
Orientering (rymd)	0	++	--
Svaghetszoner (ex. krosszoner)			
Förekomst	+	++	--
Bredd	+	++	--
Orientering	0	+	--
Karaktär	0	++	+
Deformationer	0	0	0
Permeabilitet	0	0	+

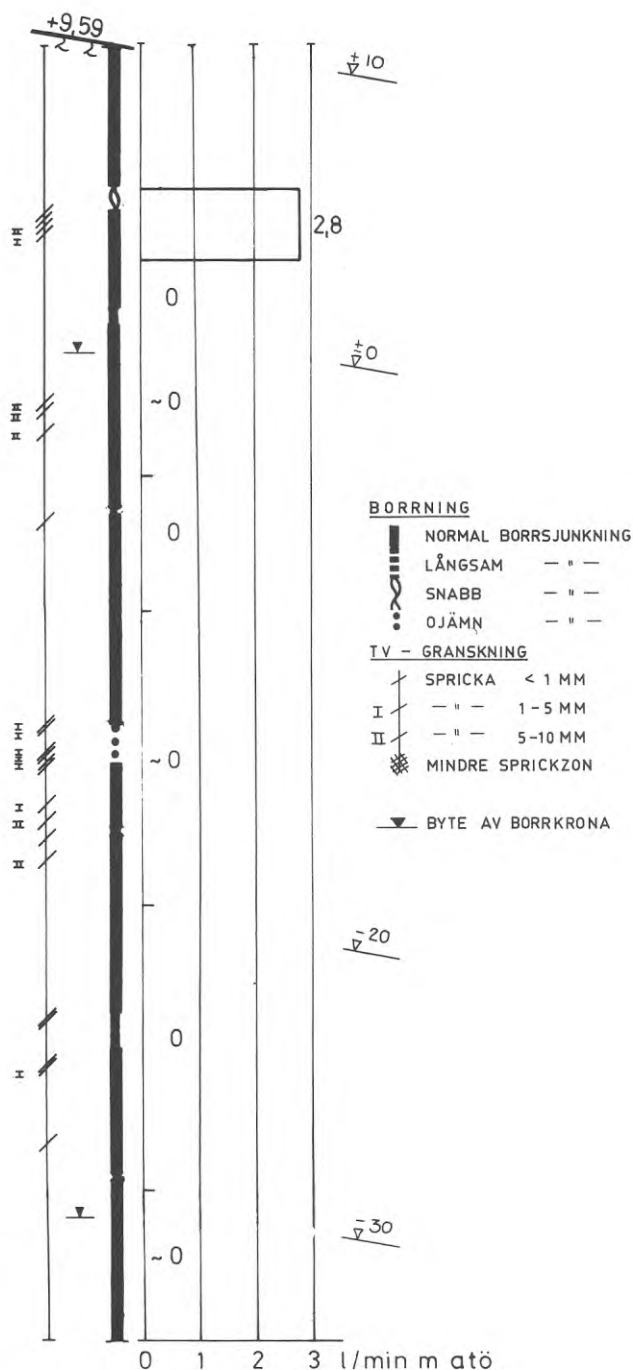
Anm. :

H: Krosszon registrerades vid 55 m djup. Fanns ej i verkligheten. Flertalet sprickvidder för stora. Ett antal sprickor hade ej "känts" vid borrningen men tydligt setts vid TV-granskningen.

TV: Ett par lerfyllda sprickor hade icke iakttagits om icke protokollen från hammarbörningen utnyttjats.

BILAGA 4

H5



Berggrund: Medel - finkornig granittyp.

Projekt: Bergrum för olja.

Undersökningsår: 1971

Undersökningsmetod: Geologisk håll- och sprickkartering, hammarborring med kaxprovtagning, TV-granskning samt vattentrycksprovning.

Jämförelse mellan information erhållen vid hammarborring, TV-granskning och vattentrycksprovning.

Beteckningar, se BIL. 1	H	TV	V
Bergartstyper			
Väsentliga mineral	+	++	--
Kornstorlek	0	++	--
Strukturdrag	0	+	--
Kvalitet	+	+	--
Sprickighet			
Förekomst (frekvens)	+	++	--
Vidd	0	++	--
Fyllnadsmaterial	0	0	+
Fyllnadsgrad	0	+	+
Orientering (rymd)	0	++	--
Svaghetszoner (ex. krosszoner)			
Förekomst	+	++	--
Bredd	+	++	--
Orientering	0	++	--
Karaktär	0	+	+
Deformationer	0	0	--
Permeabilitet	0	0	++

Anm.:

H: Förändringar i borrsjunkningen har, som framkommit av TV-granskning och geologisk kartering i utsprängd tunnel, inte alltid berott på bergmassans inhomogeniteter. Vid ca -25 m fanns exempelvis ingenting i tunneln som kunnat ge orsak till saktare borrsjunkning.

TV: Sprickfrekvensen och uppmätt sprickvidd stämmer väl med verkligheten.

Urspolning av fyllnadsmaterialet i de större sprickorna gav dock en felaktig bild av dessas fyllnadsgrad. Vattentrycksprovningen gav dock besked om att så måste ha skett.

DH 7

TV Inspection
Drilling
Water pressure test

Berggrund: Ignimbrit, granitisk sammansättning.

Projekt: Bergum för råolja.

Undersökningsår: 1972

Undersökningsmetod: Geologisk håll- och sprickartering, hammarbörning med kaxprovtagning, TV-granskning samt vattentrycksprovning.

Jämförelse mellan information erhållen vid hammarbörning, TV-granskning och vattentrycksprovning.

S Y M B O L S

DRILLING

- NORMAL
- SLOW
- FAST
- UNEVEN

TV INSPECTION

FISSURE FREQUENCY

- 0-2 fiss/m
- 3-5
- 6-9
- ≥10 (crush zone)

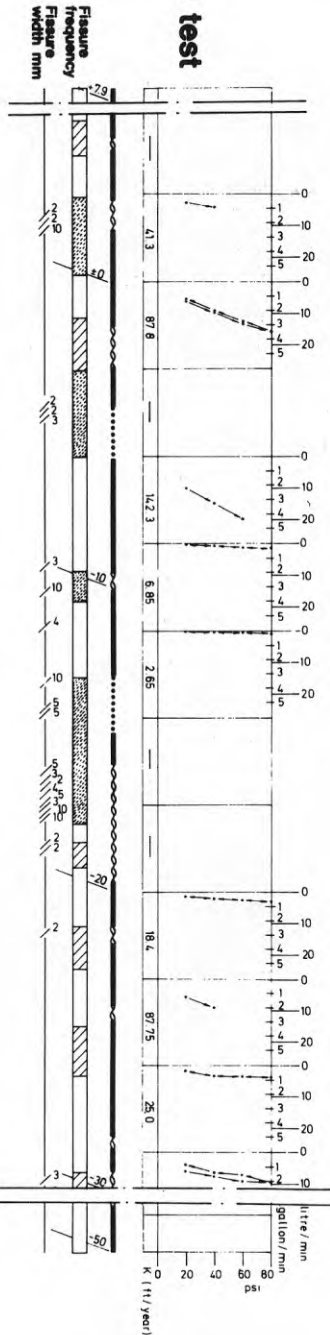
FISSURE WIDTH

- SIGNIFICANT FISSURE
- 6 mm width

WATER PRESSURE TEST

$K \text{ (ft/year)} = 10^{-2} \cdot K \text{ (litre per minute, metre, atmosphere)}$

MAINLY IGNIMBRITE WITH PEGMATITIC AND APLITIC VEINS



Beteckningar, se BIL. 1

	H	TV	V
Bergartstyper			
Väsentliga mineral	+	++	--
Kornstorlek	0	++	--
Strukturdrag	0	+	--
Kvalitet	+	+	--
Sprickighet			
Förekomst (frekvens)	+	+	--
Vidd	0	++	--
Fyllnadsmaterial	0	0	--
Fyllnadsgrad	0	0	+
Orientering (rymd)	0	++	--
Svaghetszoner (ex. krosszoner)			
Förekomst	+	++	--
Bredd	+	++	--
Orientering	0	+	--
Karaktär	0	+	--
Deformationer	0	0	--
Permeabilitet	0	0	+

Anm. :

H: Ett par partier med relativt snabb borrsjunkning registrerades vid hammarbörningen men ej vid TV-granskningen. Orsaken ej klar men kan bero på att berget här är något vittrat.

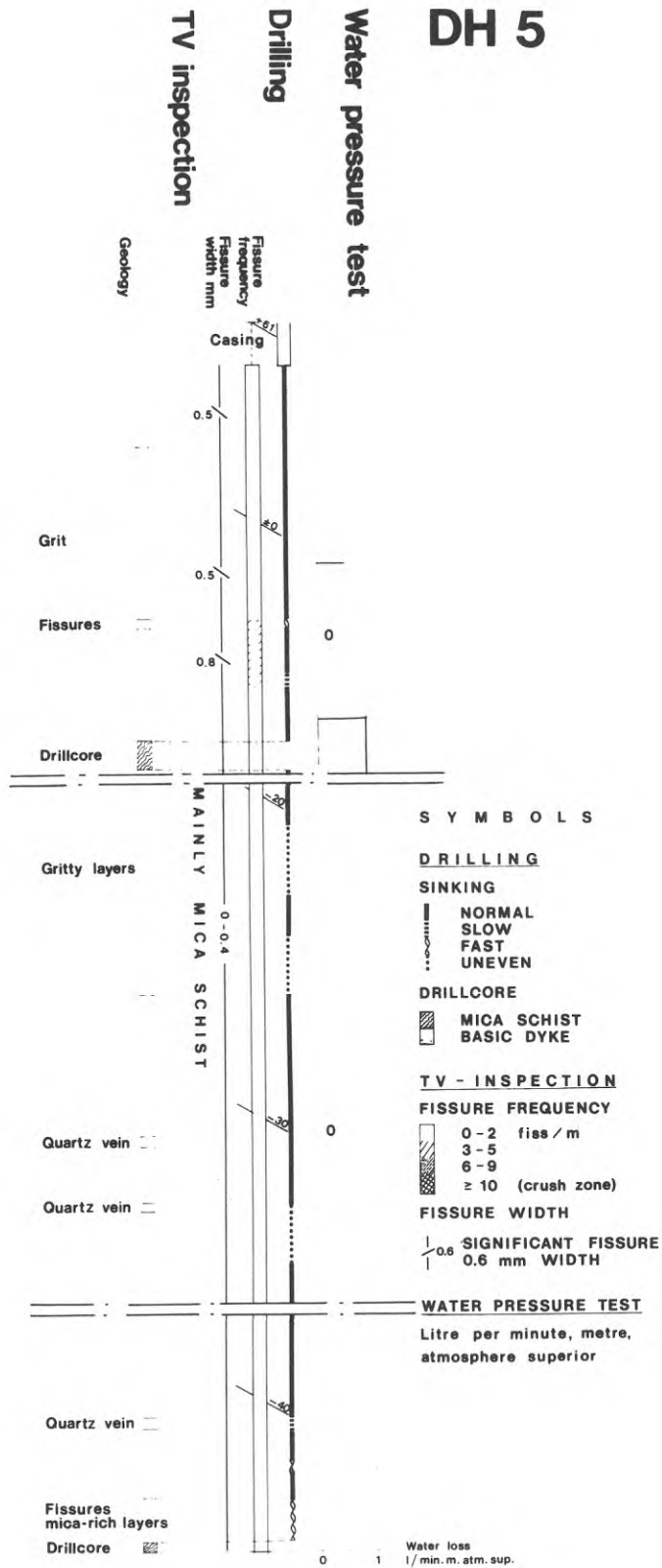
Ojämn borrsjunkning har i detta borrhål stått i samband med sprickigt berg. I ett bredvidliggande borrhål registrerades ojämn borrsjunkning på en sträcka av 5 m. TV-granskningen visade emellertid att detta orsakats av en enda med borrhålet längsgående tunn spricka.

TV: Berget var på flera avsnitt starkt vittrat, vilket orsakat stora kaviteter vid vattenspolningen under borringen.

Skärpan blev härigenom försämrad, vilket gav möjlighet att lokalisera dessa vittringszoner. De enskilda sprickorna var här emellertid svåra att fastställa.

BILAGA 6

DH 5



Berggrund: Veckad glimmerskiffer med ådror och lager av bl. a. kvarts.

Projekt: Bergrum för råolja.

Undersökningsår: 1971

Undersökningsmetod: Geologisk häll- och sprickartering, hammarborrning med kax- och kärnprovtagning, TV-granskning samt vattentrycksprovning.

Jämförelse mellan information erhållen vid hammarborrning, TV-granskning och vattentrycksprovning.

Beteckningar, se BIL. 1	H	TV	V
Bergartstyper			
Väsentliga mineral	+	++	--
Kornstorlek	0	++	--
Strukturdrag	0	++	--
Kvalitet	+	+	--
Sprickighet			
Förekomst (frekvens)	0	+	--
Vidd	0	++	--
Fyllnadsmaterial	0	+	--
Fyllnadsgrad	0	+	+
Orientering (rymd)	0	++	--
Svaghetszoner (ex. krosszoner)			
Förekomst	+	++	--
Bredd	+	++	--
Orientering	0	+	--
Karaktär	0	++	+
Deformationer	0	+	--
Permeabilitet	0	0	+

Anm. :

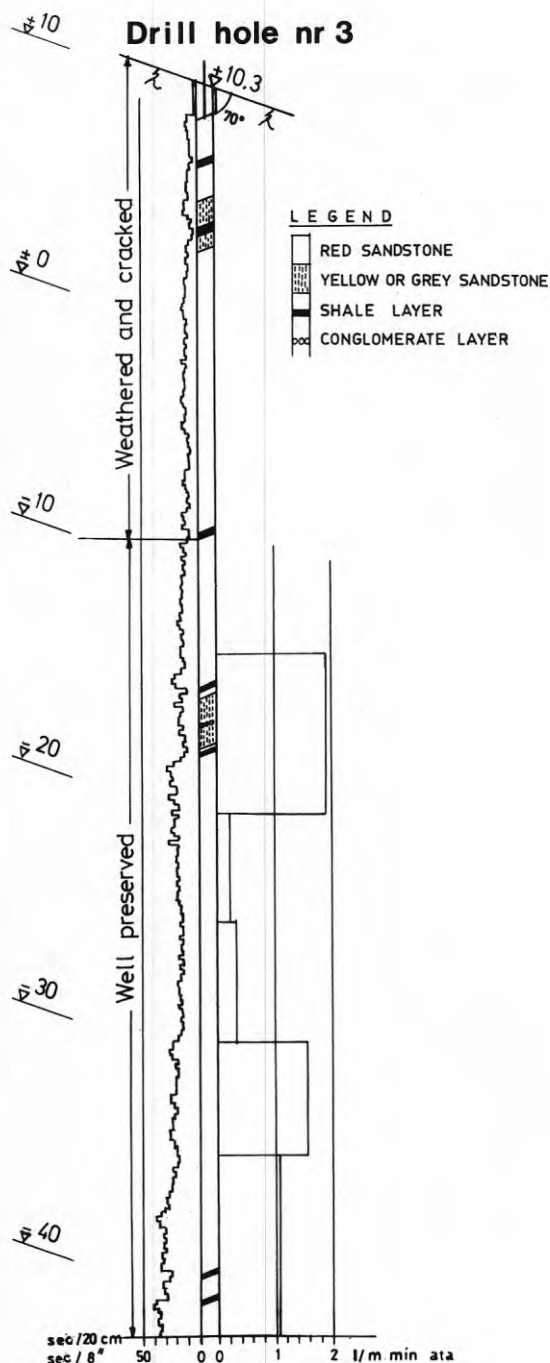
H: Mellan -20 m och -27 m registrerades två avsnitt med ojämn borrsjunkning, vilka kunde tolkas som sprickzoner.

TV-granskningen visade emellertid att en annan bergart med omväxlande hårda och mjuka skikt orsakat den ojämna borrsjunkningen.

Den snabba borrsjunkningen mot botten av borrhålet orsakades huvudsakligen av ett glimmerrikt parti, vilket både borrkax och TV-granskning gav besked om.

TV: Sprickor längs skifferplanen var ibland svåra att skilja från urspolade glimmerskivor. P. g. a. veckningen av bergarten var borrhålet för litet för att med bestämdhet fastställa glimmerskifferns strukturorientering.

BILAGA 7



Berggrund: Röd sandsten med skikt och lager av grå och gul sandsten, skiffer samt konglomerat.

Projekt: Bergrum för råolja.

Undersökningsår: 1969

Undersökningsmetod: Geologisk håll- och sprickkartering, hammarborrning, TV-granskning, vattentrycksprovning.

Jämförelse mellan information erhållen vid hammarborrning, TV-granskning och vattentrycksprovning.

Beteckningar, se BIL. 1	H	TV	V
Bergartstyper			
Väsentliga mineral	+	++	--
Kornstorlek	0	++	--
Strukturdrag	0	++	--
Kvalitet	+	+	--
Sprickighet			
Förekomst (frekvens)	0	++	--
Vidd	0	+	--
Fyllnadsmaterial	0	+	--
Fyllnadsgrad	0	0	--
Orientering (rymd)	0	++	--
Svaghetszoner (ex. krosszoner)			
Förekomst	--	--	--
Bredd	--	--	--
Orientering	--	--	--
Karaktär	--	--	--
Deformationer	0	0	--
Permeabilitet	0	0	+

Anm. :

H: På grund av sandstenens olika hårdhet, förekomsten av mjuka lager och skikt av skiffer kunde man vid borrningen ej särskilja eventuellt förekommande sprickor från dessa.

Borrsjunkningsdiagrammet visar tydligt att det är den relativa borrsjunkningen inom ett visst intervall som har någon betydelse, ej absolutvärdena av borrsjunkningen.

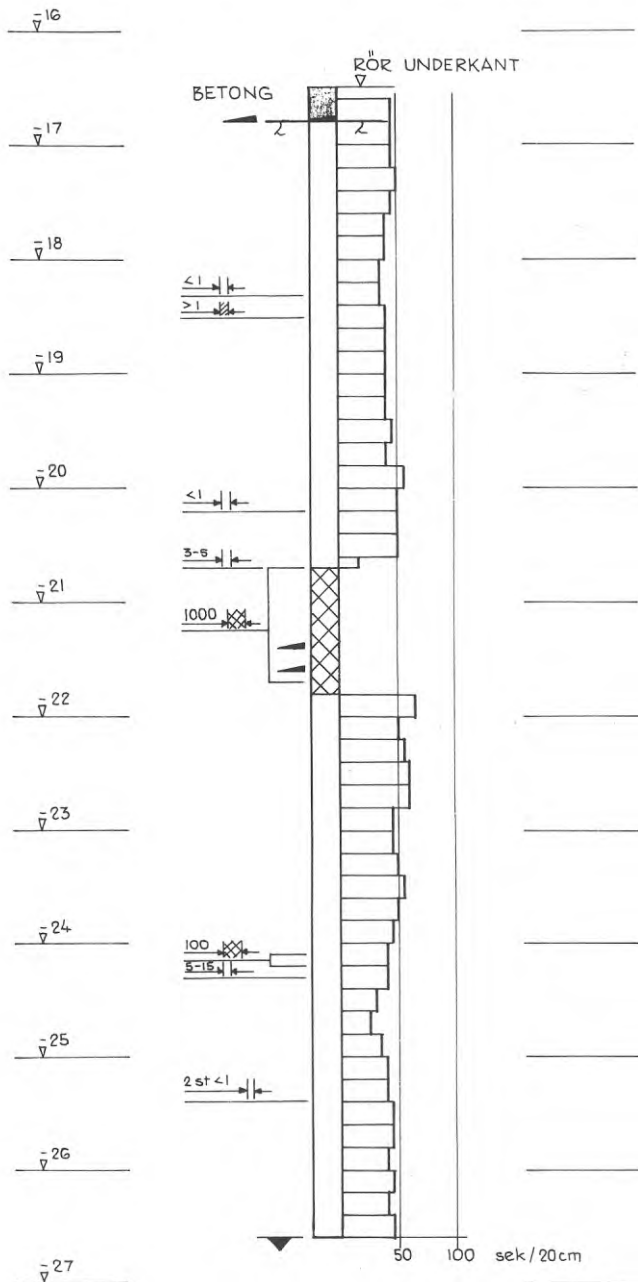
TV: De olika bergarterna kunde bestämmas sedan ytkarteringen givit besked om vilka som kunde förekomma.

BILAGA 8

195

TV - GRANSKNING

HAMMARBORNING



Teckenförklaring se Bilaga 13

Berggrund: Finkornig, huvudsakligen homogen rödgrå granit.

Projekt: Djupgrundläggning av byggnad med slitsmur på berg.

Undersökningsår: 1971

Undersökningsmetod: ^{a)} Hammarborring med kaxprovtagning och TV-granskning.

Jämförelse mellan information erhållen vid hammarborring och TV-granskning.

Beteckningar, se BIL. 1

	H	TV
<u>Bergartstyper</u>		
Väsentliga mineral	+	--
Kornstorlek	0	--
Strukturdrag	0	--
Kvalitet	+	+
<u>Sprickighet</u>		
Förekomst (frekvens)	0	++
Vidd	0	++
Fyllnadsmaterial	0	0
Fyllnadsgrad	0	+
Orientering (rymd)	--	--
<u>Svaghetszoner (ex. krosszoner)</u>		
Förekomst	+	++
Bredd	+	++
Orientering	--	--
Karaktär	0	+
Deformationer	0	0
Permeabilitet	0	0

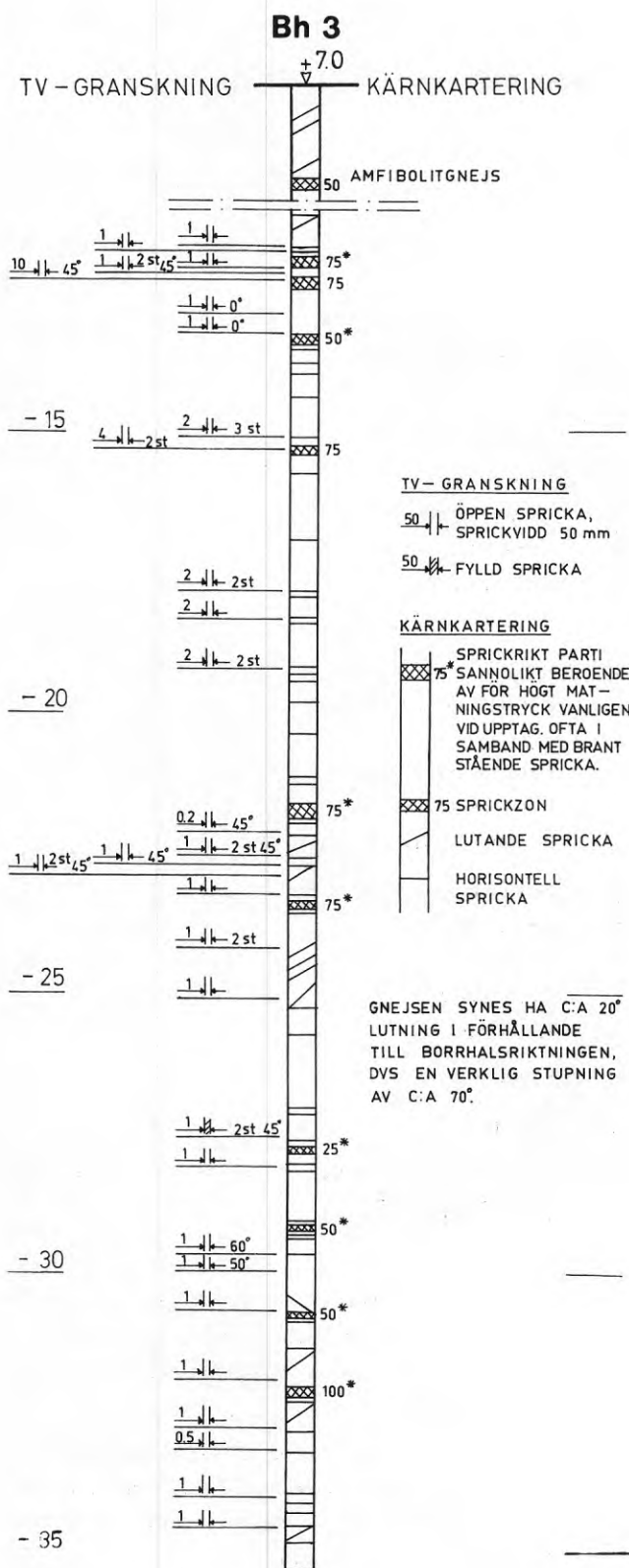
a) Hammarborrhålet borrades genom slitsmuren och vidare ner i berggrunden. Undersökningen genomfördes dels för kontroll av att muren var nedförd till fast berg, dels för utvärdering av den fasta berggrundens kvalitet.

Anm.:

H: Partiet med 0-sjunkning skulle förmodligen ha överdrivits om inte TV-granskningen visat att berget visserligen var uppsprucket men inte helt söndervittrat. Mycket dålig överensstämmelse mellan borrsjunkningsprotokoll och enskilda sprickor.

TV: Uppgifter om bergartstyper var ej påkallad i detta fall då kärnborringar utförts i närheten. Det granskade hålet var vertikalt, varför orienteringsmöjligheten av diskontinuiteter var begränsad.

BILAGA 9



Berggrund: Migmatit, granitisk sammansättning.

Projekt: Bergrum för olja. Under byggnad.

Undersökningsår: 1970

Undersökningsmetod: Kärnborrning jämfördes med TV-granskning. a)

Jämförelse mellan information erhållen vid kärnborrning och TV-granskning.

Beteckningar, se BIL. 1 K TV

Bergartstyper	K	TV
Väsentliga mineral	++	++
Kornstorlek	++	++
Strukturdrag	+	+
Kvalitet	++	+
Sprickighet		
Förekomst (frekvens)	++	+
Vidd	0	++
Fyllnadsmaterial	+	0
Fyllnadsgrad	0	+
Orientering (rymd)	+	+
Svaghetszoner (ex. krosszoner)		
Förekomst	+	++
Bredd	+	++
Orientering	+	+
Karaktär	+	++
Deformationer	+	0
Permeabilitet	0	0

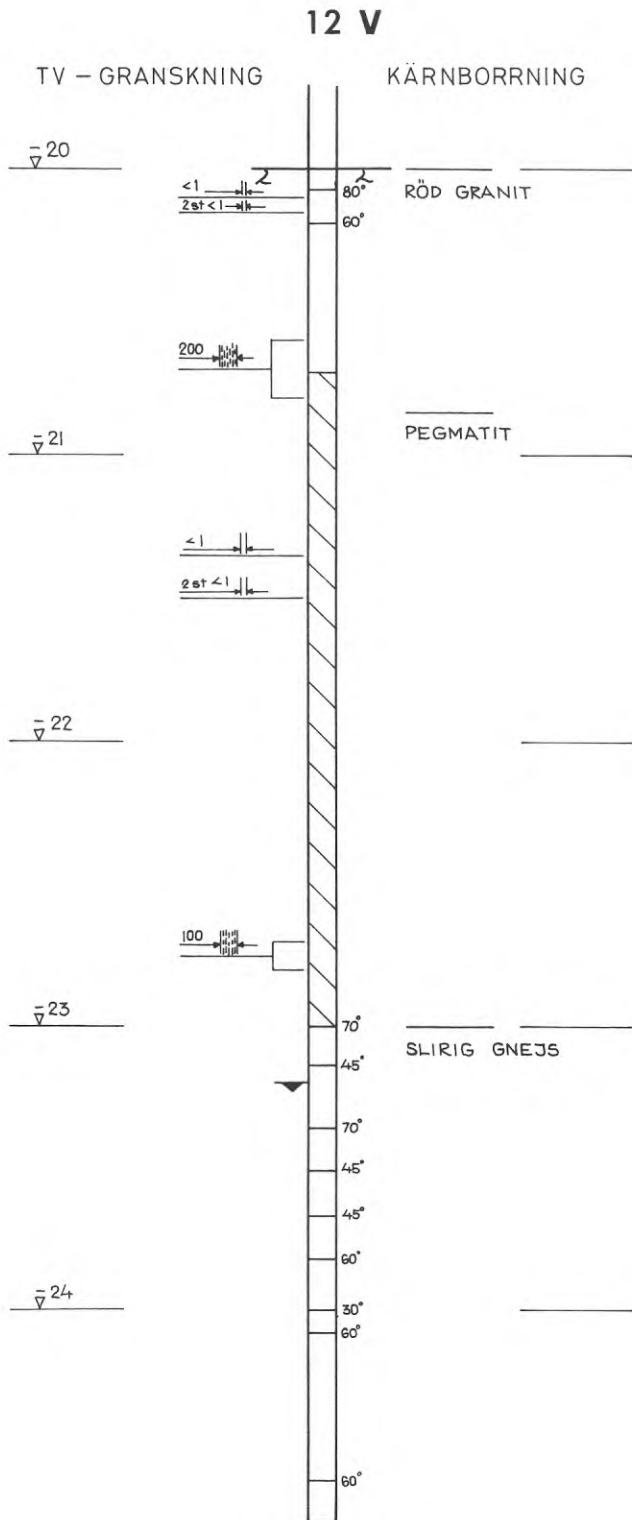
a) Undersökningen var i första hand anpassad för kärnborrning. Siktförhållandena vid TV-granskningen var relativt dåliga. Hålet vertikalt.

Anm. :

K: På flera nivåer där borrningen avbrutits och kärnan upptagits har den sista biten, 10-20 cm, malts sönder. Dessa sträckor hade tolkats som krosszoner. TV-granskningen gav dock besked om att berget här var relativt helt.

TV: De ränder som uppstår i hålväggen vid kärnborrningen uppfattades vid några tillfällen som sprickor. Vattenspolning av hålen hade ej utförts ordentligt, vilket gjorde att bilden blev oklar och försvårade tolkningen. Flera befintliga sprickor överhoppades härför vid granskningen.

BILAGA 10



Berggrund: Finkornig röd granit - pegmatit.

Projekt: Djupgrundläggning av byggnad med slitsmur på berg.

Undersökningsår: 1971

Undersökningsmetod: a) Kärnbörning och TV-granskning.

Jämförelse mellan information erhållen vid kärnbörning och TV-granskning.

Beteckningar, se BIL. 1	K	TV
Bergartstyper		
Väsentliga mineral	++	--
Kornstorlek	++	--
Strukturdrag	++	--
Kvalitet	+	+
Sprickighet		
Förekomst (frekvens)	+	++
Vidd	0	++
Fyllnadsmaterial	0	0
Fyllnadsgrad	0	+
Orientering (rymd)	+	--
Svaghetszoner (e x. krosszoner)		
Förekomst	0	++
Bredd	0	++
Orientering	0	--
Karaktär	0	+
Deformationer	+	0
Permeabilitet	0	0

a) Kärnborrhålet borrades omedelbart innanför slitsmuren. Undersökningen genomfördes för utvärdering av berggrundens kvalitet.

Anm. :

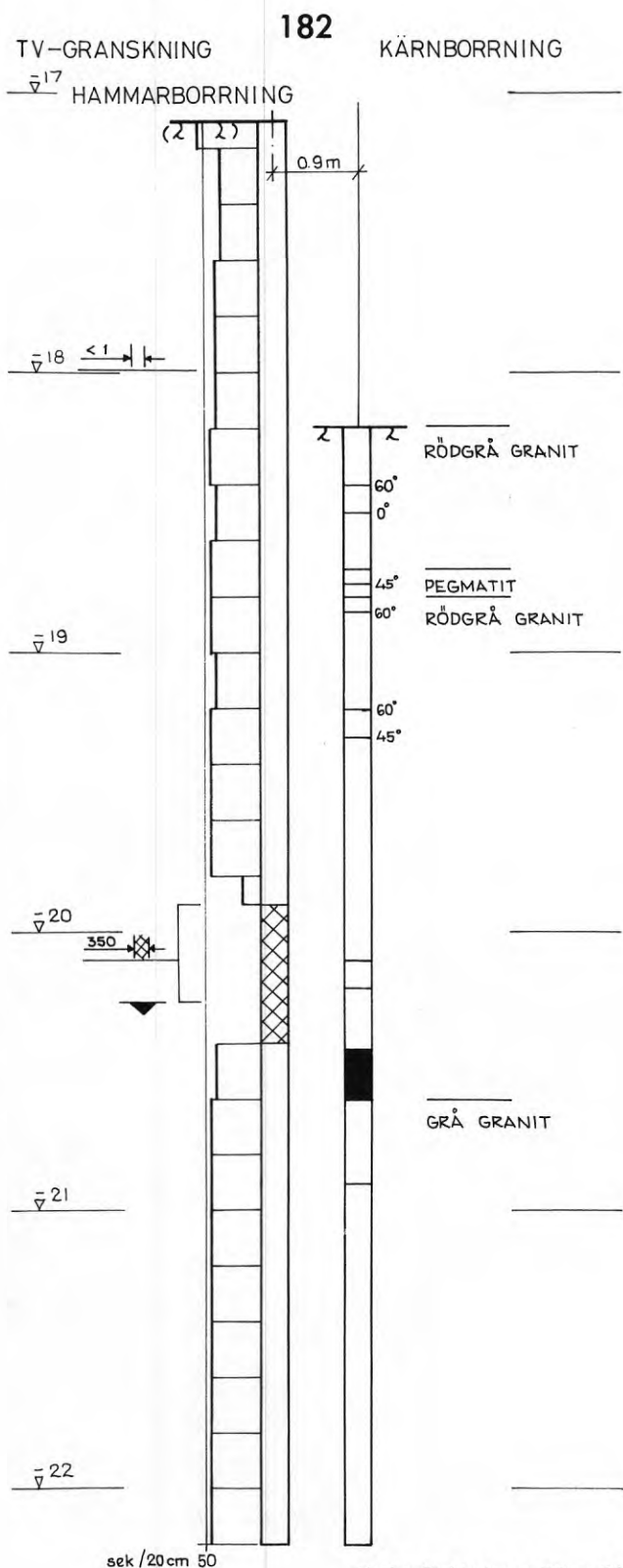
K: Kärnbörningen redovisar ett avsnitt med hög sprickfrekvens (sprickorna jämnt fördelade) där man kan förmoda ett större antal mekaniskt åstadkomna sekundärsprickor.

TV: Uppgifter om bergartstyper var ej påkallad i detta fall då kärnbörningen redan hade utförts. Hålet var vertikalt, varför orienteringsmöjligheten av diskontinuiteterna var begränsad.

TV-granskningen ger en klar bild av sprickornas läge och vidden av desamma. Svaghetszonerna lokaliseras till nivå och omfattning.

Mycket små fyllda sprickor och igenläkta svaghetsplan har förmodligen ej upptäckts vid TV-granskningen.

BILAGA 11



Teckenförklaring se Bilaga 13

Berggrund: Finkornig, huvudsakligen homogen rödgrå granit.

Projekt: Djupgrundläggning av byggnad med slitsmur på berg.

Undersökningsår: 1971

Undersökningsmetod: a) Hammarbörning, TV-granskning och (i bredvidliggande hål) kärnbörning.

Jämförelse mellan information erhållen vid kärnbörning, TV-granskning och hammarbörning.

Beteckningar, se BIL. 1	K	H	TV
Bergartstyper			
Väsentliga mineral	++	+	--
Kornstorlek	++	0	--
Strukturdrag	++	0	--
Kvalitet	++	+	+
Sprickighet			
Förekomst (frekvens)	++	0	+
Vidd	0	0	+
Fyllnadsmaterial	0	0	0
Fyllnadsgrad	0	0	+
Orientering (rymd)	+	--	--
Svaghetszoner (ex. krosszoner)			
Förekomst	++	+	++
Bredd	+	+	++
Orientering	0	--	--
Karaktär	0	0	+
Deformationer	+	0	0
Permeabilitet	0	0	0

a) Hammarbörnhålet borrades genom slitsmuren och vidare ner i berggrunden. Kärnbörnhålet borrades omedelbart innanför denna mur. Undersökningen genomfördes dels för kontroll av att muren var nedförd till fast berg, dels för utvärdering av den fasta berggrundens kvalitet.

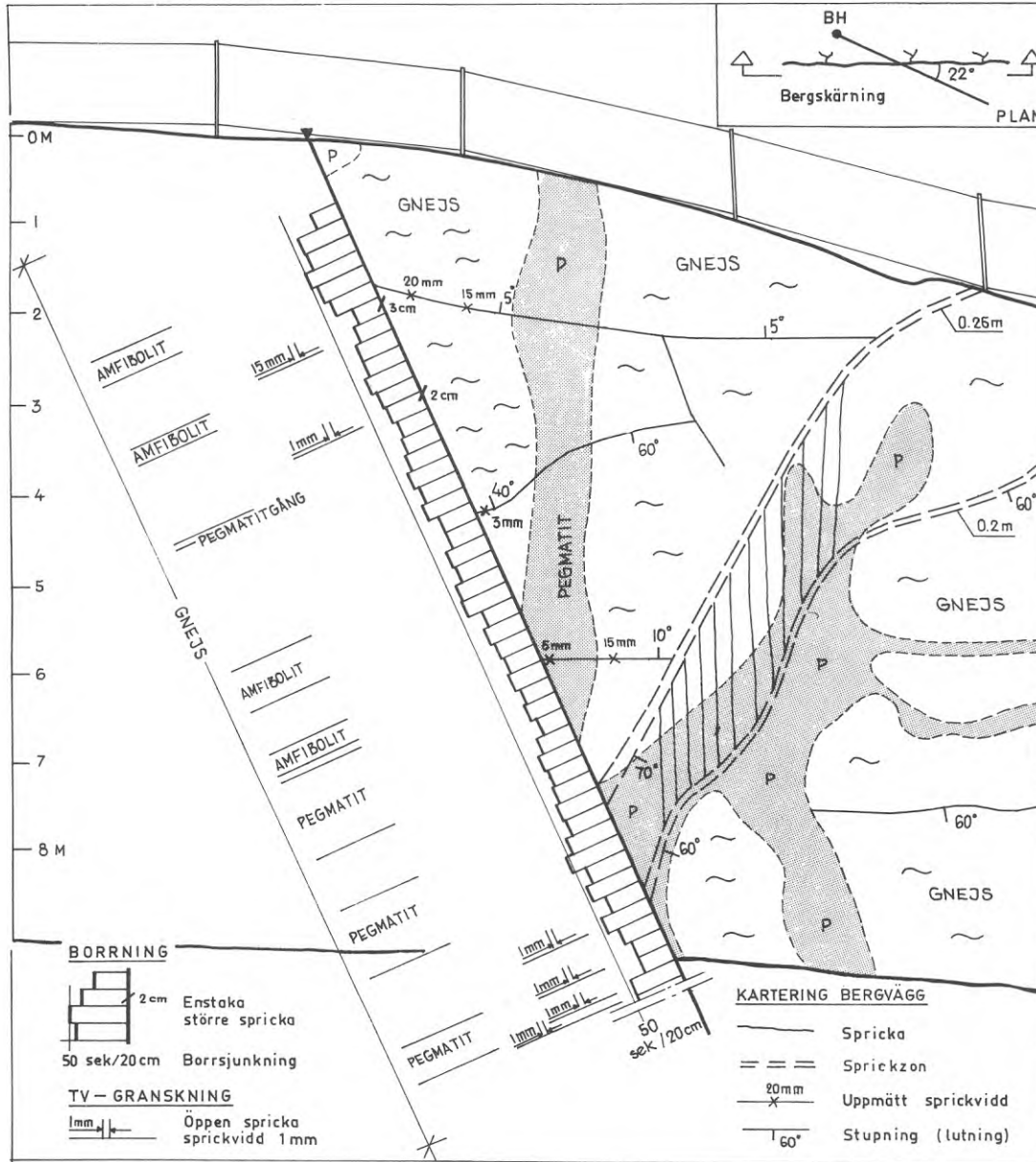
Anm.:

K: En del av de redovisade sprickorna är sekundärsprickor orsakade av borrhningen. Kärnförlusten representerar en krosszon, som kunnat påvisas under stora delar av byggnaden. Denna krosszon visade sig vid urschaktningen ligga något högre än vad som framgår av kärnbörningsprotokollet. Detta beror på svårighet att tolka kärnförlusten till rätt nivå. Dessutom kan i-frågasättas om kärnförlusten inte i verkligheten är uppdelad på flera mindre avsnitt.

H: Partiet med 0-sjunkning skulle förmodligen ha överdrivits om inte TV-granskning visade att berget visserligen var uppsprucket men inte helt söndervittrat.

TV: Uppgifter om bergartstyper var ej påkallad i detta fall, då kärnbörningen redan hade utförts i omedelbar närhet. Det granskade hålet var vertikalt, varför orienteringsmöjligheten av diskontinuiteterna var begränsad. På grund av bergutfall kunde ej hela svaghetszonen granskas.

BILAGA 12



Jämförelse geologisk kartering - hammarborrning - TV-granskning.

Borrhål 1, 5 - 3 m innanför bergbrant. Borrhålet utfört för jämförande studier av information erhållen vid sonderingsborrning med kaxprovtagning och TV-granskning.

Obs. Borrhåls- och bergväggskartering ligger ej i samma plan.

Anm. :

H: Spricka vid ca 2 m djup registrerades till rätt djup och vidd. Spricka vid ca 3 m överdriven till vidd.

Sprickzon vid ca 10 m djup märktes ej vid borringen. Kaxprovtagningen gav en viss kännedom om bergarterna, den huvudsakligen granitiska mineralsammansättningen erhöles.

TV: Spricka vid ca 2 m djup registrerades till rätt läge och vidd liksom spricka vid ca 3 m djup.

Horisontell spricka vid ca 6 m djup återfanns ej vid granskningen, troligen beroende på att sprickan är sluten i borrhålet. Sprickzon vid ca 10 m djup konstaterades. Den hade en vertikal bredd av ca 60 cm och utgjordes av 4 parallella mm-sprickor. Gnejs, pegmatit och amfiboliter kunde särskiljas beroende på allmänna kunskaper om förekommande bergarter och deras stora olikheter i kornstorlek, strukturdrag och gråskala.

Beteckningar, se BIL. 1

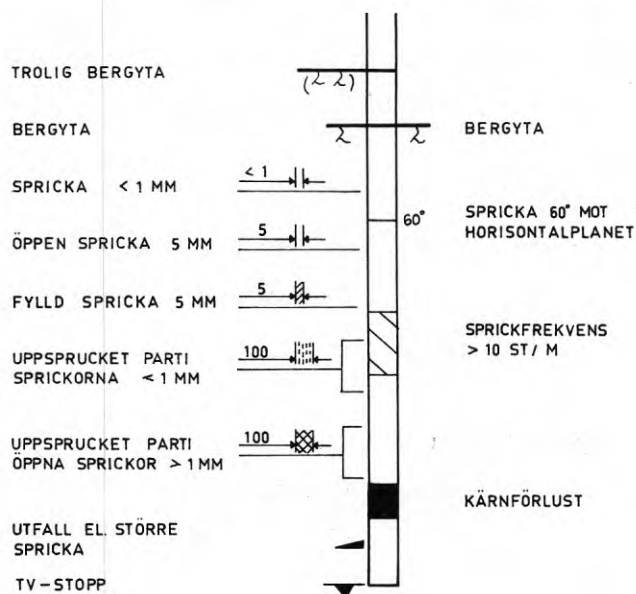
	H	TV
Bergartstyper		
Väsentliga mineral	+	++
Kornstorlek	0	++
Strukturdrag	0	+
Kvalitet	+	+
Sprickighet		
Förekomst (frekvens)	+	++
Vidd	+	++
Fyllnadsmaterial	0	0
Fyllnadsgrad	0	+
Orientering (rymd)	--	--
Bergmassa		
Svaghetszoner (ex. krosszoner)		
Förekomst	0	++
Bredd	0	++
Orientering	--	--
Karaktär	0	+
Deformationer	0	0
Permeabilitet	0	0

BILAGA 13

TECKENFÖRKLARING FÖR BIL. 8, 10 o. 11.

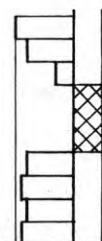
TV – GRANSKNING

KÄRNBORNING



HAMMARBORNING

MYCKET SPRUCKET BERG
FRI BORRSJUNKNING



CAPTIONS

- FIG. 1 Evolution of rocks.
- FIG. 2 Coarse-grained granite. The light crystals consist of quartz and feldspar, the dark ones of mica.
Natural size: Coarse-grained; grain size 7 mm
Fine-grained; grain size 1-2 mm
- FIG. 3 Micro-photograph of fine-grained granite.
10 divisions on the scale = 0.5 mm.
- FIG. 4 Micro-Photograph of diabase.
10 divisions on the scale = 0.5 mm.
- FIG. 5 Sandstone with stratified structure.
- FIG. 6 Micro-photograph of sandstone containing rounded and angular grains of quartz. The matrix here consists of quartz and limonite.
10 divisions on the scale = 0.5 mm.
- FIG. 7 Limestone quarry at Limhamn (chalk limestone).
- FIG. 8 Metamorphosed and heavily pressed rock, gneiss.
- FIG. 9 Pressed and folded mica schist.

- FIG. 10 Micro-photograph of mica schist. In conjunction with the pressure the mineral grains have been given an oblong shape.
10 divisions on the scale = 0.5 mm.
- FIG. 11 Crushed zone, approx. 4 m wide, on the boundary between granite to the right in the figure and gneiss to the left.
- FIG. 12 Single fissure without filling material.
- FIG. 13 Fissured zone in granite.
- FIG. 14 Rock metamorphosed to clay. The clay zone crosses the gneiss structure.
- FIG. 15 Rock tunnel in granite, parallel with the main line of fissuring.
- FIG. 16 Veins and dykes of different rocks, here diabases, in gneiss.
- FIG. 17 a Rock fall because of unfavourably crossing planes of fissures.
b Rock fall because of horizontal structures in the rock.
c Risk for rock fall from fissured and crushed zone.
d Risk for caving because of clay zone.

- FIG. 18 Geological map of the Stockholm area.
- FIG. 19 On the basis of surface observations the drill hole for in depth investigations is positioned and directed.
- FIG. 20 a Top hammer drilling
1. Drill bit
 2. Rock drill
 3. Drill steel
 4. Chain feed
- b Down-the-hole drilling
1. Drill bit
 2. Rock drill
 3. Rotation motor
 4. Drill rods
 5. Chain feed
- FIG. 21 Heavy, chain-feed rock drilling equipment engaged in investigation drilling. The terrain is very difficult so that a tracked carrier is employed to improve accessibility.
- FIG. 22 Correlation diagram for percussive drilling and compressive strength according to White's tests.
- FIG. 23 Micro-photograph of cuttings collected from the flushing water.
10 divisions = 0,5 mm.

- FIG. 24 Principal diagram illustrating the connection between rate of penetration and the size of the drill bit.
- FIG. 25 Four point bit to the left in the figure.
Button bit to the right in the figure.
- FIG. 26 Principal diagram illustrating the decline in rate of penetration with increasing depth in vertical drilling.
- FIG. 27 Nomogram for evaluating rate of penetration with the aid of the compressive strength of the rock according to Makarov and Gerhardt, Schöne.
- FIG. 28 It is necessary to illustrate the relative modifications in the diagram of the rate of penetration. To be meaningful this registration requires a very realistically adapted measuring technique so that the sudden, relative changes are not neglected.
- FIG. 29 A value for the rate of penetration in seconds per 20 cm gives an approximation of the rate of penetration during every 20 second interval. As can be seen above a continuous registration of the rate of penetration (e. g. in cm per minute) gives an immediate view of the drilling sequence, which is necessary if the results of the investigation are to serve their original purpose.
- FIG. 30 Principal sketch for a double tube core barrel.
1. Diamond bit
 2. Drilled-out core
 3. Conical guides

4. Core catcher sleeve

5. Core lifter ring

When the equipment is taken up, the core lifter ring (5) is pressed by friction against the core. Because of the conical guides (3) the ring (5) is pressed against the core so hard so that tensile fracture occurs and the core can be brought up.

- FIG. 31 Mechanized diamond core drill, Atlas Copco's DIAMEC 250 (photo Atlas Copco).
- FIG. 32 Piece of a drilled-out core.
- FIG. 33 Core box. Cf. supplement 11.
- FIG. 34 TV equipment for examining the drill hole.
Closest: TV camera for radial viewing.
To the right: Video tape recorder with TV monitor.
To the left: Extra TV monitor.
In the background: Control unit with amplifier.
- FIG. 35 The TV camera is lowered into the drill hole. The diameter of the drillhole is 76 mm.
- FIG. 36 The walls of the drill hole are passed on to the camera by way of an oblique, rotary mirror.
- FIG. 37 The position of the fissures in space can be established on the TV screen with the aid of standard curve charts.
On the TV screen the appearance of the fissures varies according to their orientation.

- FIG. 38 TV picture from the drill hole showing a gneiss with a vein of quartz intersected by a small vertical fissure with a width of 0.1 - 0.3 mm.
- FIG. 39 Water pressure testing of the drill hole can be carried out according to a number of different principles. Three sleeves are used to create a linear flow.
- FIG. 40 a Weight probe. The weight required and the twisting are recorded.
- b Driving probe, the number of blows is registered.
- c Percussive probing equipment. The rate of penetration and drilling sequence are registered. See further chapter 2:1.
- FIG. 41 Schematic geological section showing the greatly varying topography of the rock surface under the loose layers of soil above a stretch of tunnel. The need to know the position and quality of the rock is great in the lower parts, as is illustrated by the distribution of drill holes.
- FIG. 42 Underground railway tunnels in Stockholm. The drilling marked by the full drawn lines has been analyzed. The section between the arrows is reviewed in cross section (FIG. 41) where the number of drill holes is listed for various sections.

FIG. 43 The increasing demands for reliable information in investigation drilling can be illustrated by the above diagram of the development of investigatory techniques in the projecting for underground railways in Stockholm 1950-1965. The material is based on approx. 2000 drill holes in bedrock.

FIG. 44 Flow pattern illustrating the project as a whole.

R34: 1973

Denna rapport avser anslag C 884 från Statens råd för byggnadsforskning till Hagconsult AB, Stockholm.

Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.

Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm

Grupp: konstruktion

Pris: 22 kronor