



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

R15:1976

Bergrum och tunnlar

**Byggnadsgeologisk
uppföljning och kartering**

Carl-Olof Morfeldt

Byggforskningen

see

Rapport R15:1976

BERGRUM OCH TUNNLAR

BYGGNADSGEOLOGISK UPPFÖLJNING OCH KARTERING

Carl-Olof Morfeldt

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 720452-2 från
Statens råd för byggnadsforskning till Hagconsult AB,
Stockholm.

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

ISBN 91-540-2561-3

LiberTryck Stockholm 1976

FÖRORD

De studier och analyser som här redovisas omfattar tunnlar och berggrum i hårda granitiska bergarter. Det system för uppföljning och geo-kartering som föreslås, lämpar sig därför endast för magmatiska och metamorfa⁺) bergarter. De sedimentära⁺) bergarterna är lager eller skikt av sammankittade korn (klastisk struktur) eller kemiska utfällningar och kräver ett speciellt geo-grepp.

Det är en mycket liten del av Sveriges berggrund som består av sedimentära bergarter och det finns endast ett fåtal berggrum och tunnlar utförda däri. I många andra länder är emellertid de sedimentära bergarterna förhärskande och man har där utvecklat en hög teknik att utföra berggrum och tunnlar även i det många gånger "lösa" berget. Avsikten är att som en andra etapp komplettera denna handledning så att den även kan användas för sedimentära bergarter. Härför krävs emellertid omfattande studier och analyser av bergarbeten i sandstenar, kalkstenar, saltdomer etc.

För en fördjupad förståelse för mineralens och bergarternas ursprung, uppbyggnad och egenskaper krävs kunskaper i mineral- och bergartslära. Lättillgänglig litteratur med utmärkt bildmaterial finnes, se litteraturförteckningens ×-markering.

Några nyckelord kräver en förklaring.

Byggnadsgeologi är en del av det breda begreppet ingenjörsgéologi och omfattar det kunskapsområde, där géologin kommer i beröring med byggande i alla dess former.

Den byggnadsgeologiska karteringens utförande, omfattning och redovisning är projektbunden, dvs. den skall anpassas till de krav på information om berget som ställs för respektive projekttyp. Man avser sålunda att inhämta och redovisa endast de bergförhållanden som är relevanta för byggandet av berggrum och tunnlar, alltså ej informationer av géologisk-vetenskapligt intresse.

För att underlätta läsandet kommer i denna rapport byggnadsgeologisk kartering och byggnadsgeologisk karta att benämnas geo-kartering resp. geo-karta. Den som besiktigar berget och redovisar bergbyggnadsgeologin kallas geo-mannen.

För att göra handledningen lättillgänglig och användbar har endast de viktigaste mineralen, bergarterna och diskontinuiteterna tagits upp till behandling. Porfyr, pegmatit, konglomerat, kvartsit och mylonit är några exempel på bergarter som utelämnats i protokol-len och symbolbeteckningarna. Den ansvarige géologen skall instruera geo-mannen och se till att en klar och enkel dokumentation även sker av förekommande, här icke redovisade bergarter etc.

⁺) Jfr FIG. 1, BIL. 1 samt BIL. 2 och 3.

Ett varmt tack riktas i första hand till Statens råd för byggnadsforskning BFR som genom anslagsbeviljande möjliggjort att denna studie och publikation blivit till. Stor tacksamhet känner jag likaså till ingenjörgeolog Bengt Nicolson (Hagconsult), geologen Thomas Holtz (Hagconsult) samt förman Rune Abrahamson (SENTAB), vilka utfört dygnsstudierna vid de olika bergprojekten och i samband därmed givit mig många värdefulla synpunkter och uppslag, liksom entreprenörens (Skånska Cementgjuteriet) bergfolk på de tre redovisade arbetsplatserna. Bengt Nicolson och Birgitta Österberg har utfört illustrationerna. Skapandet av dem har för oss varit synnerligen stimulerande. Till forskningssekreterare Margaretha Rydell, som haft mödan att fästa mina tankar på papper samt hålla ordning och reda på ett omfattande litteratur- och utredningsmaterial, framför jag min stora tacksamhet.

Manuskriptet har granskats av geologen, docenten Per H. Lundegårdh, som givit mig många värdefulla synpunkter och förslag till förbättringar. Ett varmt tack.

Stockholm i januari 1976.

Carl-Olof Morfeldt

INNEHÅLL

DEL I	BERGETS BYGGNAD OCH EGENSKAPER	13
1	GEOKARTERING	15
1.1	Gruvor	15
1.2	Utvecklingen av geo-kartering av bergrum och tunnlar i Sverige	16
1.3	Geo-uppföljning av bergarbeten minskar risken för katastrofartade ras och över- svämningar	19
1.4	Geo-kartering — drifts- och permanent- förstärkning, säkerhet, ansvar	21
1.5	Geo-kartering till hjälp för konstruktören	22
1.6	Geo-kartan, ett juridiskt dokument	23
1.7	Geo-kartering av tunnlar för bedömning av risken för grundvattensänkning (tätningsbehov)	23
1.8	Bergrums och tunnlar s bestånd på lång sikt	24
1.9	Geo-kartering av bergrum för förvaring av olja och gas	24
1.10	Geo-kartan, ett viktigt dokument vid änd- ring eller utbyggnad av befintliga anlägg- ningar	25
1.11	Samlade geo-informationer värdefulla för framtiden	25
1.12	Geo-kartering i Sverige och i utlandet	25
2	VAD KAN GEO-MANNEN ANALYSERA OCH PROTOKOLLFÖRA NÄR HAN GRANSKAR BERGET?	28
2.1	Mineral och bergarter (stensorter)	28
2.1.1	Granitoider och syenit	29
2.1.2	Grönstenar	29
2.1.3	Metamorfiter	29
2.1.4	Tektoniter	29
2.1.5	Sedimentära bergarter	29

2.2	Bergarternas hållfasthetsegenskaper	30
2.3	Mineralens och bergarternas strukturella egenskaper	31
2.3.1	Mineral — genomgångar, spaltning	31
2.3.2	Bergarter — gnejsighet, skiffrighet, stänglighet etc.	32
2.3.3	Klov	33
2.4	Bergartsfördelning och egenskapsvariation	35
2.5	Bergmassan	36
2.6	Bergmassans diskontinuiteter	37
2.6.1	Sprickor	38
2.6.2	Sprickfrekvens	44
2.6.3	Sprickmönster	45
2.6.4	Förkastningar och överskjutningar	47
2.6.5	Sprickytor, förskiffringsytor och skiktytor — egenskaper	50
2.6.6	Skivformiga inhomogeniteter, bergartsgångar (eruptivgångar) m. m.	50
2.7	Diskontinuiteternas rymdorientering	53
2.7.1	Strykningsriktningen	53
2.7.2	Stupningsriktningen	54
2.7.3	Beteckningar för strykning och stupning på geologiska kartor enl. Sveriges Geologiska Undersökning	55
2.8	Vittring	55
2.8.1	Svällande lera	57
2.9	Berg, ett levande material	58
2.9.1	Smällberg, knäppberg	58
2.10	Bergmassans kvalitet	59
2.11	Inverkan av bergmassans diskontinuiteter på bergmassan	59
2.12	Sprickor uppkomna vid eller efter sprängning	60
2.13	Vattnet i berget	63

DEL II	BERGETS VÅRD, FÖRSTÄRKNING OCH TÄTNING	
3	Skrotning eller bergrensning	65
3.1	Bergförstärkning genom bultning	65
3.2	Förstärkning med sprutbetong.....	67
3.3	Tätning och konsolidering av berg medelst injektering	68
3.4	Sprutbetong, injektering, system- bultning, helingjutning, tunnelspräng- ning: kostnader 1975 i svensk prisnivå	71
DEL III	HANDLEDNING FÖR BYGGNADSGEO- LOGISK UPPFÖLJNING OCH KAR- TERING	74
4	Bergarbetsplatsen — en speciell miljö.....	76
4.1	När kan geo-mannen komma åt att ut- föra sina arbetsuppgifter?	76
4.2	Geo-mannens speciella problem	78
4.3	Vem lämpar sig som geo-man?.....	79
4.4	Geo-kartering — målsättning	80
4.5	Varför gör man en byggnadsgeologisk uppföljning och kartering?	80
4.6	Geo-mannen skall studera och redovisa:.....	81
5	GEO-KARTERINGENS UTFÖRANDE	82
5.1	Protokoll	82
5.2	Karteringsproceduren	82
5.2.1	Bergartsfördelningen.....	82
5.2.2	Diskontinuiteterna	82
5.3	Geo-symboler	84
5.4	Registrering av vattenföring	89
5.4.1	Registrering av utförda förstärk- ningar m.m.	90

5.5	Provtagning av mineral och bergarter	90
5.6	Kontroll av geo-uppföljningen	90
6	REDOVISNING FÖR ARKIVERING	93
7	VEM ANSVARAR OCH ARKIVERAR?	94
7.1	Dimensionering av permanentförstärkningar på basis av geo-analys och geo-redovisning	94
8	KORRELATION MELLAN GEO-ANALYS PÅ MARKYTAN OCH I BERGET	95
9	SLUTORD	96
10	REFERENSER	97
	 BILAGORNA 1 — 3	 102

FIGURFÖRTECKNING

- FIG. 1 Bergtunnlar i Stockholm.
- FIG. 2 Principskiss som visar hur man med sonderingsborrning kontrollerar bergkvalitet och bergtäckning.
- FIG. 3 Tunnelbyggarens "via dolorosa".
- FIG. 4 Vatten- och jordgenombrott i kabeltunnel vid Hammarbyförkastningen 1965.
- FIG. 5 Kollaps i sprutbetongförstärkning på grund av dolda "stabilitetsproblem".
- FIG. 6 Trasigt, läckande berg lagas i förväg genom inpressning av cement i borrhål, s.k. förinjektering.
- FIG. 7 Principskiss; lagring av petroleumprodukter i oinklädda berggrum under grundvattenytan.
- FIG. 8 Mikrofoto av finkornig granit. 10 skalstreck = 0,5 mm.
- FIG. 9 Lagerföljd av sedimentära bergarter.
- FIG. 10 Skiffrig struktur.
- FIG. 11 I skikt orienterade platta, skiviga kristaller.
- FIG. 12 I skikt orienterade platta stavformiga kristaller.
- FIG. 13 Regelbundna klov och slag.
- FIG. 14 De horisontella svaghetsplanen, som ofta är utbildade som sprickor, s.k. bottnar, har stor betydelse när det gäller att genom kilning få loss långsträckta parallelepipediska stycken från berget.
- FIG. 15 Skarp gräns mellan finkornig granit och starkt förskiffrad gnejs. En bergartsgräns kan vara en vattenförande svaghetszon.
- FIG. 16 Eruptivbreccia. De kantiga bergbitarna har här gjutits ihop med en eruptivbergart.
- FIG. 17 Sköl är ursprungligen en gruvgeologisk term. Som skölar betecknas smala förskiffringszoner i vilka rörelser och mineralomvandlingar ägt rum (kloritskölar, lerskölar, jordskölar etc.).
- FIG. 18 Blockdiagrammet visar i princip hur en bergmassa kan spricka vid tektoniska påkänningar.

- FIG. 19 Planförskiffring.
- FIG. 20 Slirgnejs
- FIG. 21 Kännedom om diskontinuiteternas rymdorien-
tering är av största betydelse när det gäller
att bedöma bergstabiliteten.
- FIG. 22 Av inlandsisen repad berghäll. Isräfflorna löper
nära nog diagonalt genom bilden. Sprickutträdena
i mitten är oansenliga.
- FIG. 23 Bergtunnel i granit parallell med huvudsprick-
riktningen.
- FIG. 24 Skaror av sprickor: hög sprickfrekvens.
- FIG. 25 Ett sprickfritt parti i granit är ovanligt.
- FIG. 26 Sprickors vidd mäts med tolkar längs en
spraymålad linje.
- FIG. 27 Mätning av sprickfrekvens i tunnelvägg. Anges
i antal per meter.
- FIG. 28 a Ortogonalt sprickmönster (kubisk blockighet).
- FIG. 28 b Ortogonalt sprickmönster (skivig blockighet),
t. ex. bankad granit.
- FIG. 29 Bankning i granit.
- FIG. 30 Småblockigt sprickmönster.
- FIG. 31 Skivigt sprickmönster.
- FIG. 32 Romboidiskt sprickmönster.
- FIG. 33 Kaotiskt sprickmönster (vildslag). Ingen
ordning alls.
- FIG. 34 Krosszon i förkastningsregion.
Krosszon och spricksystem i överskjutning.
- FIG. 35 Veckade, eftergivliga sedimentära bergarter.
- FIG. 36 Planfrästa förkastningsytor.
- FIG. 37 Glidspår i gnejs efter förkastningszon (tunnel
Norrköping).
- FIG. 38 Plan sprickyta glider lätt i alla riktningar.
Böljande sprickyta försvårar glidning.
Rå sprickyta glider vanligen ej.

- FIG. 39 Starkt uppkrossad diabasgång. Lägg märke till magman som trängt in i granitens sprickor.
- FIG. 40 Amfibolitstråk i gnejs.
- FIG. 41 a Pegmatit limmar bra mot sidoberget.
- FIG. 41 b Schematisk bild av lagergångar och eruptivgångar.
- FIG. 42 Strykning — stupning, princip.
- FIG. 43 Stupning — strykning, några exempel.
- FIG. 44 Vittrat granitberg, Hongkong 1971.
- FIG. 45 I sprickor, krosszoner och bergartskontakter har vittringen djupgående rötter.
- FIG. 46 Längs sprickytorna verkar den svällande leran som inbyggda domkrafter.
- FIG. 47 Liksom bädden "vänjer" sig vid lasten "vänjer" sig berget vid spänningsomlagringen.
- FIG. 48 Exempel på hur diskontinuiteterna (strukturerna) kan orsaka bergutfall.
- FIG. 49 Tunnel i granit. Taket är nära nog sprickfritt även efter sprängningen.
- FIG. 50 Hur olika sprängningar påverkar det kvarvarande berget.
- FIG. 51 Geo-anpassad, punktvis bultning.
- FIG. 52 Geo-anpassad systembultning.
- FIG. 53 Redovisning av bultriktning.
- FIG. 54 Driftförstärkning med sprutbetong.
- FIG. 55 Tunnel i dåligt berg förstärkt med sprutbetong och sprutade bågar.
- FIG. 56 Urspolning (tvättning) av sprickor före injektering.
- FIG. 57 Träkilar och trasor vid injektering.
- FIG. 58 Princip för systematisk förinjektering.
- FIG. 59 a Kurvor för förstärkningskostnader.
- FIG. 59 b Kurvor tunnelsprängningskostnader.

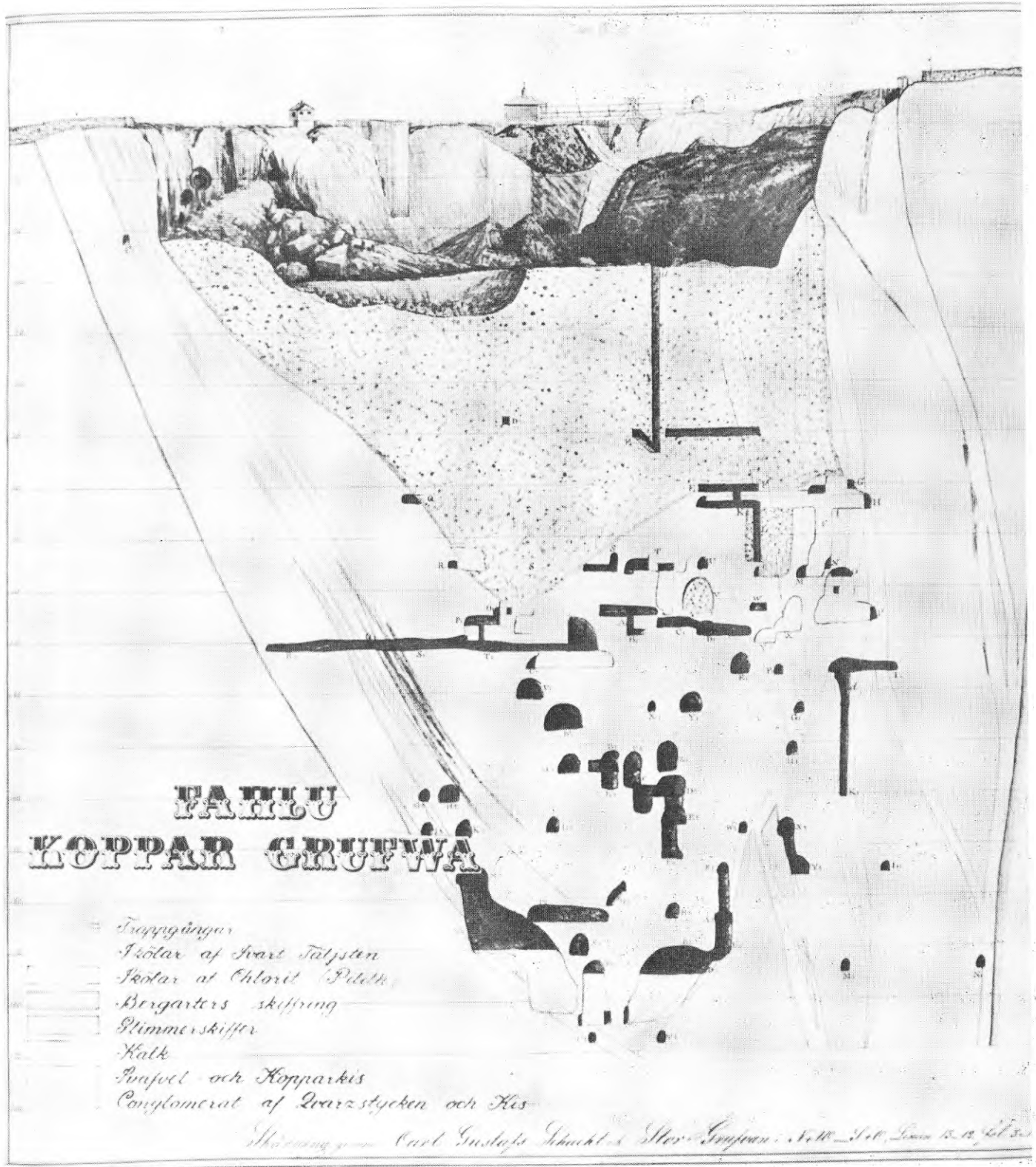
- FIG. 60 Dygnsrytm vid tunnelsprängning.
- FIG. 61 Selektiv geo-kartering av tunnelvägg.
- FIG. 62 a Geo-protokoll.
- FIG. 62 b Protokoll, tunnelsektioner.
- FIG. 63 Mätning av spricklutning med hjälp av klocka.
- FIG. 64 Geo-symboler: bergarter.
- FIG. 65 Geo-symboler: diskontinuiteter.
- FIG. 66 Nyckel till geo-stenografi.
- FIG. 67 Grundvattensänkning kring bergtunnel
- FIG. 68 Modell för geo-redovisning.
- FIG. 69 Förslag till omslag för byggnadsgeologisk redovisning.
- FIG. 70 Geologisk sektion, sammanställd genom korrelation av geo-informationer från tunnel och från markyta. (USA).
- VINJETT BILD 1 Gruvkarta från 1700-talet.
- VINJETT BILD 2 Bergrum och tunnlar.
- VINJETT BILD 3 Skrotning, lastning och geokartering.

DEL I

BERGETS BYGGNAD OCH EGENSKAPER

"Trots de försök vi göra genom att tillämpa förundersökningar av olika slag, kunna ändå ej de risker som äro förenade med bergarbeten inne i berget helt elimineras. Detta gör många gånger bergrumsanläggarens arbete ännu till ett, i ordets bokstavigaste bemärkelse, 'vågspel i det inre'. Det måste vi erkänna och böja oss inför".

Geologen Carl Caldenius
Ingenjörsvetenskapsakademien 1953



Vinjettbild 1.

GRUVKARTA FRÅN 1700-TALET MED BERGARTER,
STRUKTURER OCH SKÖLAR INLAGDA.

1. GEOKARTERING

1.1 Gruvor

Bergsmännen har i alla tider varit mycket noga med att upprätta kartor över gruvorna, dels till, som det hette, ledning för gruvdriften, dels till fromma för efterkommande. Den äldsta kända gruvkartan i Sverige är från 1629, Olof Hanson Falu gruva.

Sedan 1628 kontrollerar staten gruvkarteväsendet och ser till att gruvkartor upprättas på ett fackmässigt och enhetligt sätt. Det skulle emellertid dröja nära 100 år innan intresset för geokartering vaknade. Den första som på allvar intresserade sig härför var Urban Hjärne. År 1694 utgav och utsände han en samling frågor rörande förekomsten av "Malm- och Bergarbeten, Mineraler etc.". Hans avsikt var att på basis av inkomna svar sätta Sveriges geologiska bildningar i system. Det var i första hand de kvartärgeologiska bildningarna och de sedimentära lagerföljderna som intresserade de svenska forskarna Swedenborg och Bromell i början på 1700-talet. Från 1730 finner man hos Linné anteckningar om den kristallina berggrunden med dess saxum eller gråsten (gråberg) som bl. a. inrymde vad vi i dag kallar gnejser och graniter. Tack vare Linné blev Johan Browallius (professor och senare biskop i Åbo) intresserad av berggrundsstudier. I samband med en resa 1735 kom han i sin tur att intressera Urban Hjärnes dotterson, den sedermera i vår bergshistoria så berömde Daniel Tilas, för geologi. Med denna och Linnés resa året innan torde man kunna säga att det systematiska undersökandet av Sverige i geologiskt hänseende riktigt kom igång. / 1 /.

Daniel Tilas torde ha varit den förste som yrkade på att geokartera gruvorna. I protokollet till Bergskollegii kommissionsförrettning år 1746 i Falun yrkade Tilas på att "Marchscheidene borde lägga ut skiölar och gångar på Chartorne". Det gör ett starkt intryck, att mot bakgrund av vad som i denna utredning i dag föreslås, läsa vad Daniel Tilas skrev redan år 1735. Ur protokollet citeras:

"At the wanlige GrufwoCharterne icke innehålla annat än Figuren och skapnaden af sielfwa Grufwan till thes byggnad och brytning, men aldrig huru Skölarne och gångarne stryka, eller huru klyfternes ställning befinnes, hwilket dock är thet aldraförsta gagna, en GrufCharta bör tillskynda och thet förnämsta giöromål i en Marchscheider +) åligger,"

"At Markscheiderne få Kongl. Collegii befallning, at hädanefter wid alla mätningar på alla Chartor, ej allenast wid Stora Kopparberget, utan ock wid alla andra Grufwor i Riket utmärka skölarne och gångarne till theras fält och mäktighet samt klyfternes ställning emot gångarne och them med sine serskilte färgor beteckna:

+) Marchscheider = gruvmätare (förf. anm.)

Uti annotationerna på hvarje blad anmärka gradtalet af gångarnes donläger och dosering, samt när theras ställning och förhållande uppå planen ej tillräckel:n kan föreställas, tå författa theröfwer särskilte profiler, hwartill basis förut alltid bör wara uppdragen och profilen therå beropa sig. Färgornes lämpande härtill hölt Herr Cammarherren och Assessoren Tilas således wara bäst, at med Carmoisie tecknas guld, med mörkblått jern, med gult kies, med puncteradt gult Galmeya, med Cinnober Kobolt, med swart toma Hornskölar, och med raka grå linjer och Streck Klyfterne, stälde efter then strykning, som Klyfternes fibrer och skiffring wisa, eller tå fast och tätt berglag förefaller, utan någon skiffring med grå puncterung. "

Den 2 november 1748 accepterades och stadfästes Tilas förslag i huvudsak. Det tog sålunda mer än 10 år innan den av Tilas föreslagna geo-karteringen för gruvor blev stadfäst.

Geo-karteringen av gruvorna utvecklades efter hand och i instruktioner för "gruvmätare" +) av den 9 september 1927 ger Kungl. Kommerskollegium föreskrifter för bl. a. hur gruvkartorna skall upprättas. Beträffande den geologiska karteringen sägs i § 9 att kartorna skall "erbjuda en klar och fyllig bild av gruvan vad beträffar de geologiska förhållandena" samt vidare § 19 mom. 1, att för gruvkartans olika bergartsbeteckningar skall de färger användas som finnes angivna på den av Kommerskollegium fastställda "normalkartan". / 2 /.

Geo-kartering av Sveriges berggrund från ytan har skett genom Sveriges Geologiska Undersöknings (SGU) försorg alltsedan 1858 och är än i dag detta ämbetsverks huvuduppgift. Utförliga handledningar och modeller finns för hur denna kartering skall utföras och redovisas.

Trots att man har byggt tunnlar och berggrum i nära 100 år har emellertid icke något system för kartering av berget inifrån kommit till stånd. Det är endast i ett fåtal vetenskapliga arbeten som geo-kartering inne i berg redovisas. Här skall endast nämnas Harry von Eckermanns kartering av Fagervik- och Östrandstunnlarna i Sundsvall med bl. a. svärmar med gångar av svällande lermaterial. / 3 /.

1.2 Utvecklingen av geo-kartering av berggrum och tunnlar i Sverige

I Sverige har behovet av geo-kartering av berggrum och tunnlar länge påtalats men ännu icke blivit ett lagfäst krav. En kort översikt av utvecklingen är på sin plats.

+) Geo-kartering av gruvor utföres i vårt land i regel icke av geologer av facket utan av gruvmätare.

Redan när den stora tunnelbyggnadsepoken inleddes i Sverige i slutet av 1940-talet stod det klart för många, framför allt geologer, att man borde studera och redovisa berggrundens beskaffenhet, eftersom i samband med tunnelsprängningarna ypperliga tillfällen gavs att verkligen se berget. Det finns nämligen ingen annanstans i naturen möjlighet att göra så ingående studier av berggrundsförhållandena som man kan göra i en nysprängd tunnel, och det finns ej heller några undersökningsmetoder (borrningar, seismik, TV-granskning etc.) som så bra kan avslöja förhållandena nere i berget som en tunnel. En sådan kan betraktas som ett väldigt horisontellt borrhål, i vilket människan kan vistas och göra detaljstudier, analyser, mätningar och prov.

Motivet för geo-kartering var i början endast rent geologiskt, dvs. man ansåg att ett detaljstudium av berget skulle kunna bidra till att lösa många intressanta mineralogiska, petrografiska och tektoniska frågor. Tunnelinnehavaren intresserade sig förstärligt nog inte särskilt för att av detta skäl ta på sig några extrakostnader för geo-kartering. Att man hävdade att en geo-kartering vore bra att ha för ett eventuellt kommande tunnelprojekt och skulle innebära minskade undersökningskostnader för ett sådant ökade inte intresset.

Från IVA:s Diskussionsmöte 7/10 1970, SGI No. 49, /4/, citeras: "C.O. Morfeldt omtalade, att han i 15 år förgäves försökt övertala byggherrar om värdet av kartering av tunnlar och berggrum. Det borde ligga i byggherrens eget intresse såväl som i samhällets för att skydda sig mot krav inte enbart på grund av rasrisk utan även på grund av sekundäreffekter såsom grundvattensänkning och grundvattenförorening. Gatukontor och byggnadsnämnder kunde utgöra samhällets centralorgan för arkivering och bearbetning av karteringarna".

Ej heller kunde man från Sveriges Geologiska Undersöknings sida få medel till en systematisk geo-kartering av tunnlar. Några försök att geologiskt följa upp tunnelberg gjordes t. ex. av Stockholms Stads Gatukontors geotekniska avdelning, men några resultat har icke publicerats. I samband med författarens undervisning i geologi vid Tekniska Högskolan i Stockholm geo-karterades 1960, med hjälp av teknologer, Käppalaverkets tunnelsystem på Lidingö innan avloppsvattnet släpptes på. Detta material ligger ännu oredovisat.

Ingen kunde emellertid på 1950-talet förutse att berget under Stockholm redan 25 år senare skulle bli perforerat av bergtunnlar (trafik, avlopp, el- och telekablar, fjärrvärme, sop-sug etc.) FIG. 1. Otvivelaktigt skulle en samordning av de berggrundsinformationer som nämnda anläggningar gett ha underlättat planeringen och projekteringen av de nya bergprojekten. Tiden mognade emellertid för en samlad planering av underjordsbyggande, vilket belyses nedan. Det är viktigt att man planerar bebyggelse under mark med hänsyn till de geologiska förhållandena. (Underjordisk stadsplanering, Morfeldt, Svenska Geotekniska Föreningen). /5/.

Detta är angeläget inte bara ur geologisk-ekonomisk synpunkt utan även ur säkerhetssynpunkt. Bergprojekt kan nämligen

överraskande kollidera med varandra — närliggande projekt kan äventyra totalstabiliteten osv. Man måste hålla reda på och successivt redovisa ingreppen under mark, framför allt i bebyggelseområden. IVA:s kommitté för underjordsplanering har under de senaste åren tagit itu med denna uppgift. "En samordnande instans för underjordsbyggande i stil med vad vi har för gruvorna är därför i dag en trängande nödvändighet". (Morfeldt 1973) — / 6 /.

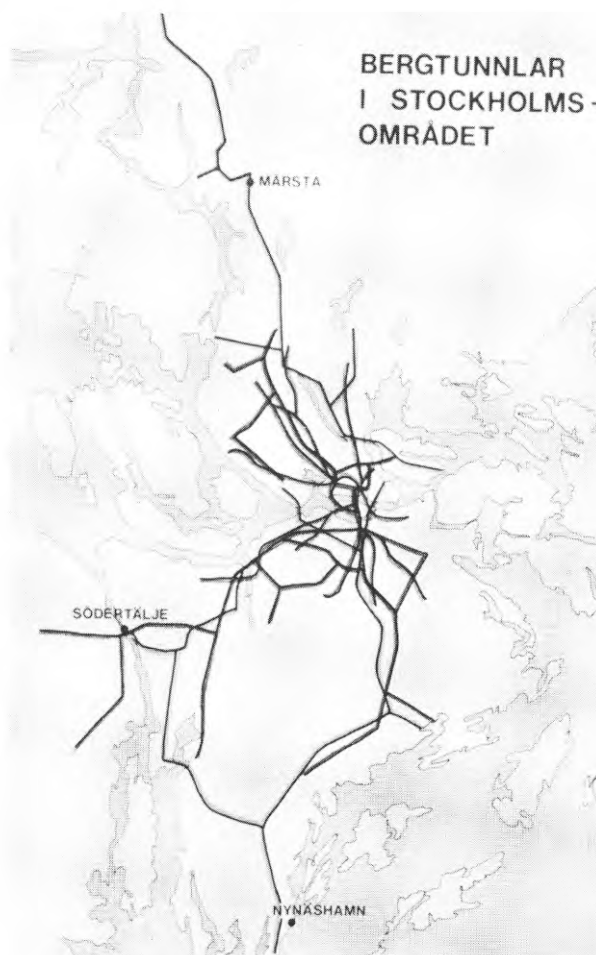


FIG. 1. Tunnelkarta, Stockholm. T-banetunnlar, 1956-1974. Avloppstunnlar, Käppala-verket, N. Stockholm, 1956-1974. Avloppstunnlar Syvab, S. Stockholm, 1968-1974. Teletunnlar, 1958-1974. El- och fjärrvärmestunnlar, 1960-1974.

Som underlag för denna planering bör ligga en detaljkarta över bergbeskaffenheten. Det finns nämligen ingen faktor som påverkar bedömningen av ett bergprojekt så mycket såväl

tekniskt som ekonomiskt som bergbeskaffenheten och vattenföringen i berget.

"För att säkerställa de erfarenheter som vinnas vid utsprängning av framtida underjordsanläggningar bör man även rutinemässigt föreskriva bergrumskartering. Denna bör utformas så att den ger en klar och översiktlig bild av förhållandena under mark". (Birger Jansson et.al. 1974). /7/.

Det är emellertid inte bara det ökade bergbyggandet som gör att tiden nu är mogen för geo-kartering av bergrum och tunnlar, även flera andra orsaker gör det angeläget.

1.3 Geo-uppföljning av bergarbeten minskar risken för katastrofartade ras och översvämningar

De kunskaper man erhåller genom bergundersökningar från markytan är endast ett "styckeverk". En geologisk uppföljning och kartering i samband med utsprängningen av berganläggningen ger emellertid möjlighet att förutse framförvarande bergförhållanden och genom sonderingsborrning i brytfron-ten kontrollera dessa.

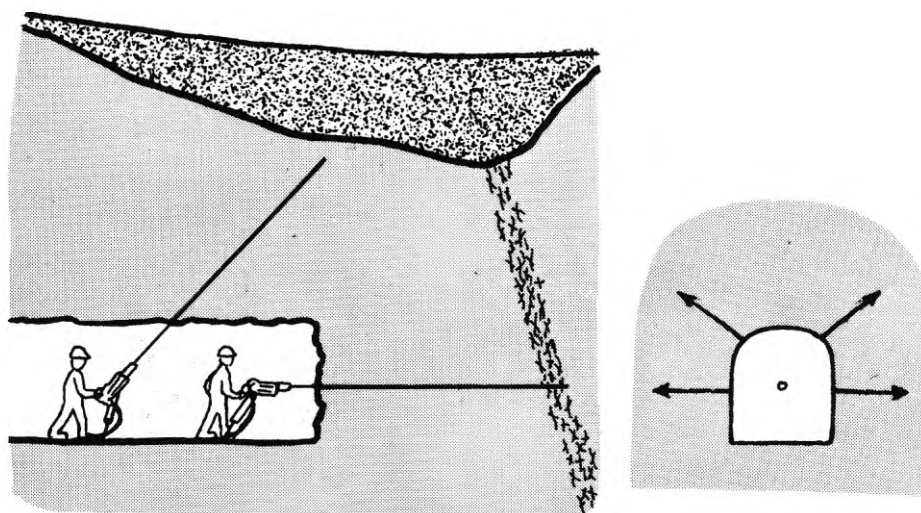


FIG. 2. Principskiss som visar hur man med sonderingsborrning kontrollerar bergkvalitet och bergtäckning. (Obs. även åt sidorna.)

Redan Terzaghi framhöll 1946, /8/ att säkerheten med bergarbeten ökar om en geolog får följa hela bergprojektet inte bara i samband med förundersökningarna utan även vid projekteringen och utförandet. Säkerheten vid bergarbeten, framför allt vid ytligt belägna tunnlar, bör knytas till den geologiska uppföljningen och de undersökningar (sonderingsborrning) som göres

inifrån berget i samband med utsprängningen. I bebyggelseområden bör en sådan uppföljning och sonderingsberedskap bli ett krav, då riskerna vid ras och vattengenombrott är stora inte bara för tunnelfolket utan jämväl för folk och byggnader ovan mark, i synnerhet som såväl seismiska undersökningar som provborrningar på grund av hinder icke går att utföra i önskad omfattning. Riskerna för olycksfall ökar därför att man i många fall strävar efter att lägga bergtunnlarna så ytligt som möjligt. Djupare läge betyder nämligen ökade kostnader genom t. ex. längre väg för trafikanter eller längre schakt och kablar för el och tele. Detta innebär att man trots förundersökningar riskerar att "gå ut ur berget" eller att få dålig bergtäckning (FIG. 3.) — tunnelbyggarens "via dolorosa", enl. Morfeldt /6/.

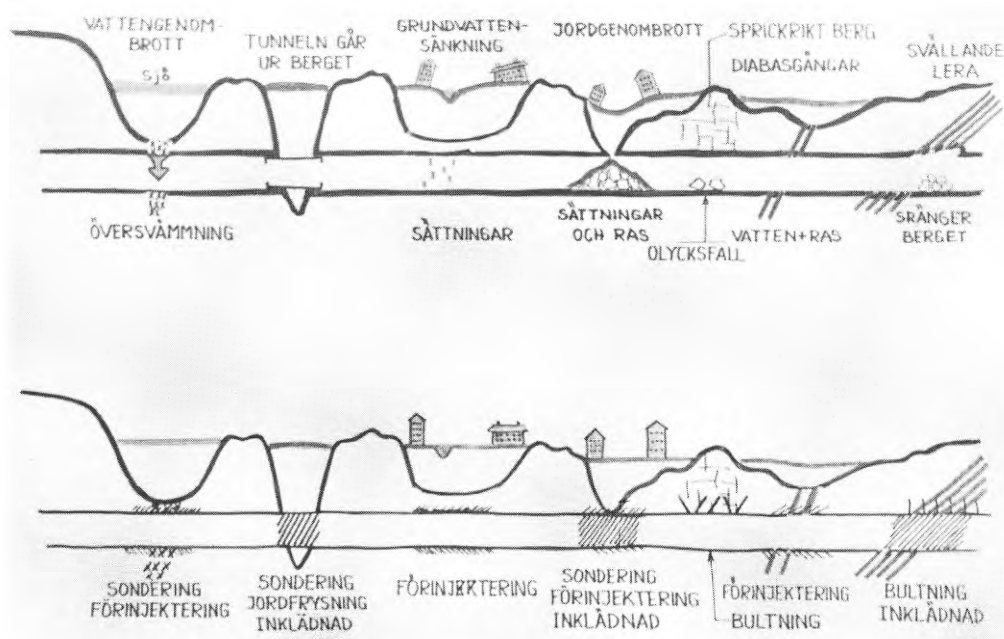


FIG. 3. Tunnelbyggarens "via dolorosa".

I stadsbebyggelse där man inom stora områden inte kan kontrollera bergytans läge är olycksrisken stor. Vem vet förresten hur många "yxhugg" i berggrunden man genom tur har klarat och hur länge taket håller vid dessa. FIG. 4.

Det finns i Sverige ett samband mellan svaghetszonerna i berget och topografin. Dåligt berg är alltid lika med lågpunkter i bergytan. Anledningen härtill är att Sveriges berggrund från istidens början för 500.000 år sedan upprepade gånger skrapats och skulpterats av mäktiga ismassor för att efter den sista nedisningen för ca 15.000 år sedan få den slutliga avputsningen.



FIG. 4. Vatten- och jordgenombrott i kabeltunnel vid Hammarbyförkastningen 1965.

En geo-kartering av svaghetszonerna ger ett dokument som i någon mån kan stilla oron hos den som har ansvaret och känner sig osäker om bergtäckningen i ej undersökta tunnelavsnitt. Frågan är om man inte borde ställa ett minimikrav på bergtäckningen för varje projekt samt genom kontrollborrningar på var 10:e meter inifrån tunneln konstatera att denna inte underskrides. Dessa kontrollhål kan ställvis behöva geo-anpassas, dvs. göras tätare. Vid den slutliga geo-redovisningen av en tunnel eller ett bergtrum (relationsritning) bör även bergtäckningen samt kontrollen av denna redovisas.

1.4 Geo-kartering — drifts- och permanentförstärkning, säkerhet, ansvar

Vid bergarbeten ansvarar entreprenören för säkerheten. För undvikande av ras och stenedfall skrotas berget omedelbart efter sprängningen, dvs. lösa block och stenar brytes loss eller sättes fast med bergbult. (Se avsnitt Skrotning.) I mycket dåligt berg måste man skydda sig genom att kläda in tunneln. En ny teknik har härvid utvecklats, nämligen att omedelbart efter sprängning i dåligt berg stabilisera detta genom att spruta på snabbhårdnande betong. Gamla tiders gruv- eller bergfolk visste att dåligt berg var livsfarligt — de skrotade, förstärkte och iakttog ständigt förändringarna i berget, de levde, som någon sagt, med berget. Situationen är i dag annor-

lunda. Vid driftsförstärkning med sprutbetong döljer man berget omedelbart efter sprängningen, ingen hinner längre "leva med" berget och ingen finns som kan vittna om hur det såg ut. Man invaggas i en falsk trygghetskänsla, ovetande om när spänningar kan utlösas och ett storras inträffa. FIG. 5. (Enl. Morfeldt 1973 — 9).

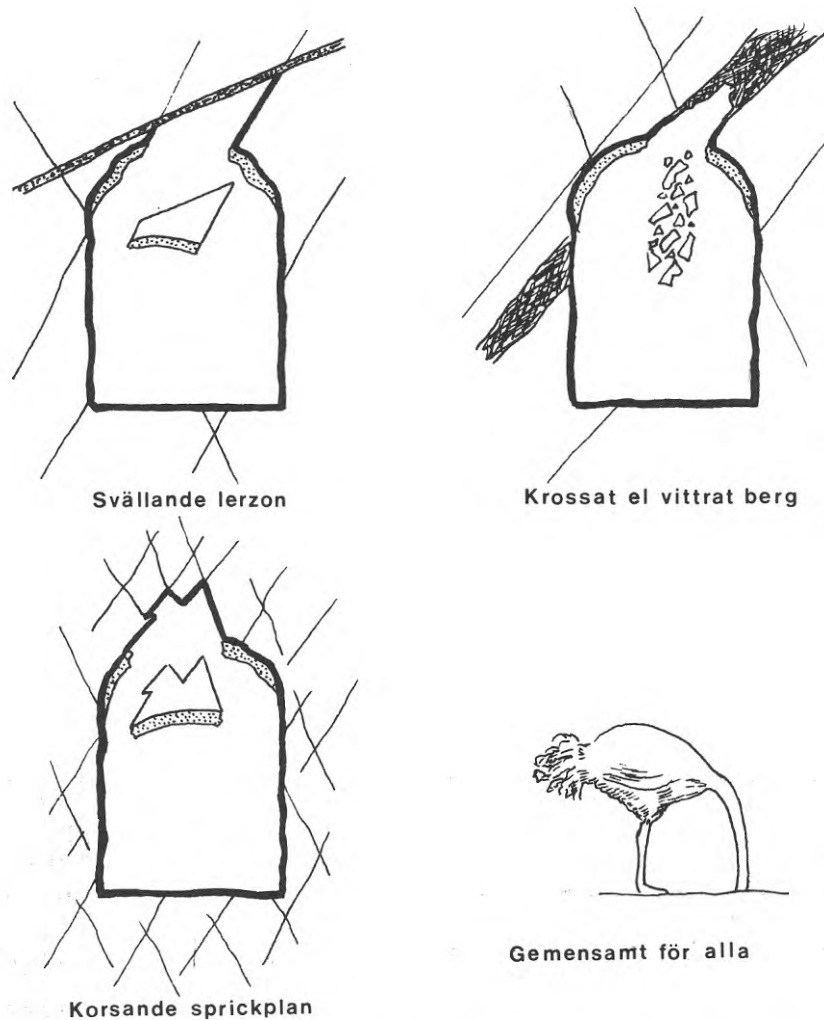


FIG. 5. Kollaps i sprutbetongförstärkning på grund av dolda "stabilitetsproblem".

Någon form av dokumentation av bergets status måste ske innan sprutbetongen lägges på, och någon måste ha ansvar för bedömningen. Inte minst när man i ett senare skede skall avgöra behovet och omfattningen av permanent förstärkningar är det viktigt att en geo-kartering finns, särskilt för de av sprutbetong dolda partierna.

1.5 Geo-kartering till hjälp för konstruktören

I samband med förstärkning, tätning, inredning och installation måste konstruktionerna anpassas efter bergförhållandena. En detaljerad geo-redovisning är erforderlig.

1.6 Geo-kartan, ett juridiskt dokument

Den redovisning av de faktiska bergförhållandena som erhålles vid geo-karteringen är ett värdefullt underlag vid tvister beställare — konsult — entreprenör. Avvikelser från givna förutsättningar medför alltid att någon får betala. Jfr "Varudeklaration av berg ett krav från entreprenören". BIL. 1. Med geo-kartan kan man även fria sig från beskyllningar, t. ex. vid skadekrav för grundvattensänkning.

1.7 Geo-kartering av tunnlar för bedömning av risken för grundvattensänkning (tätningsbehov)

Den utredning som gjordes med anledning av inträffad grundvattensänkning vid Karlaplan 1956-66 visade att även mycket små inläckande grundvattenmängder i de underliggande berg-tunnlarna kunde orsaka förödande skador på byggnader och gator ovan mark (Morfeldt 1967 — 10, Morfeldt och Hultsjö 1973 — 11). "Karlaplansfallet" har upprepats flerstädes i Stockholm och i Göteborgsregionen. Dyrköpta erfarenheter har medfört att tunnelbyggnadsprocessen i dag har ett nytt moment: kontinuerlig tätning av berget (förinjektering), FIG. 6, när man går under för grundvattensänkning känsliga områden. För en riktigt bedömning av risker och tätningsbehov krävs en ingående kännedom om berget, bl. a. sprickfrekvens, sprickvidd och sprickfyllnadsmaterial.

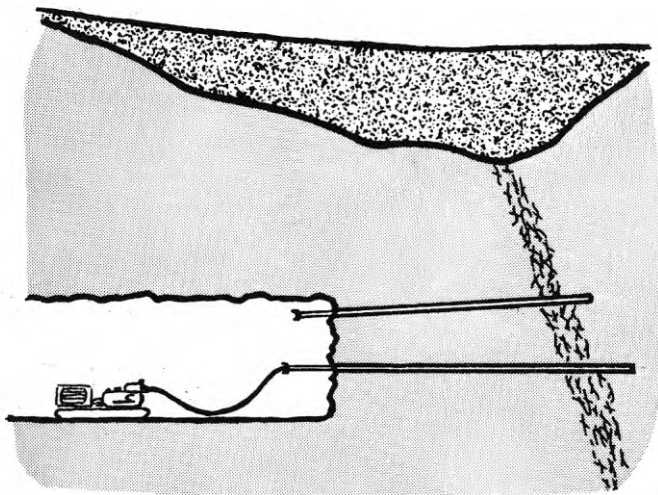


FIG. 6. Trasigt, läckande berg lagas i förväg genom inpressning av cement i borrhål, s. k. förinjektering. Jfr Del 2. 3. 3.

1.8 Bergrums och tunnlar bestånd på lång sikt

Berget används för en alltmer avancerad teknologi. Hur berget reagerar på lång sikt för påfrestningar sådana som kyla, värme, strömmande vatten, kemiska produkter etc. är av stort intresse att följa upp. Kollapser, driftsstörningar inträffar, och en geo-karta är ett ovärderligt underlag för bedömning av vad som kan ha inträffat. Det förhållandet att ingen vet någonting om bergförhållandena i en anläggning som tagits i bruk, och som kanske aldrig blir tillgänglig för inspektioner, kan icke accepteras. Liksom man vid byggande ovan mark kräver relationsritningar över hur projekten verkligen blev utförda, bör man kräva en relationsritning över bergförhållandena — en geo-karta.

1.9 Geo-kartering av bergrum för förvaring av olja och gas

Stora underjordiska anläggningar för förvaring av flytande och gasformiga petroleumprodukter (bensin, brännolja etc.) byggs i dag inte bara i Skandinavien utan i många andra länder. Funktionen och säkerheten (tätheten) hos dessa anläggningar baserar sig på att det omgivande bergets sprickor alltid skall vara vattenfyllda, dvs. tätade med vatten (Morfeldt 1970 — 12, och Janelid 1970 — 13). Närliggande bergrum med olika petroleumprodukter måste skiljas åt av "vattentätat berg" för att sammanblandning av produkter skall undvikas (Morfeldt 1974 — 14). För bedömning av risker och tätningsbehov krävs detaljerad geo-kartering av bergrummen.

FIG. 7

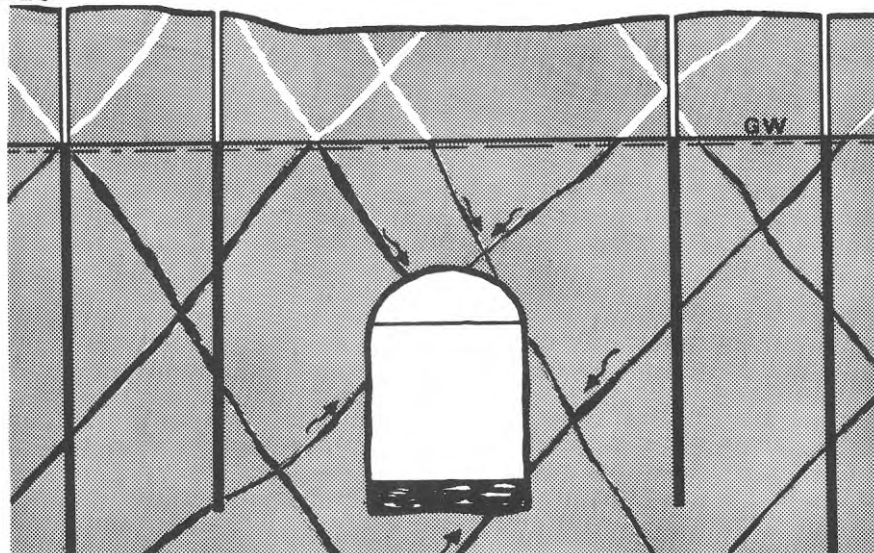


FIG. 7. Principskiss; lagring av petroleumprodukter i oinklädda bergrum under grundvattenytan.

1.10 Geo-kartan, ett viktigt dokument vid ändring eller utbyggnad av befintliga anläggningar

Trots att det intensiva bergbyggandet pågått relativt kort tid har man redan gjort den erfarenheten att bergrummen på en plats snabbt ökat i antal samt att nya tunnlar efter hand kopplas till äldre system eller utföres parallellt med dessa. Man ställer i dessa sammanhang ofta frågan: Hur var berget i den gamla intilliggande anläggningen? Ofta vet eller minns ingen något och nya bergundersökningar måste därför kosta på. Geo-kartering önskar man då — men det är för sent — den gamla anläggningen är oåtkomlig eller är berget täckt med sprutbetong, vittringsprodukter och smuts. Det är i nysprängda, våta bergytter som de bästa observationerna kan göras.

1.11 Samlade geo-informationer värdefulla för framtiden

På basis av samlade geo-informationer bör bättre prognoser i framtiden kunna göras om man ställer sådana i förhållande till det ekonomiska utfallet av utförda bergprojekt. De erfarenheter och lärdomar vi gör genom en geo-uppföljning och geodokumentation av bergrum och tunnlar bör ge oss möjligheter att i framtiden bättre undvika dåliga bergförhållanden eller att på ett bättre sätt hantera sådana. Vissa förhoppningar ställs till den geotekniska databank som Stephansson et. al. skisserat i BFR, R37:1973 /15/.

1.12 Geo-kartering i Sverige och utlandet

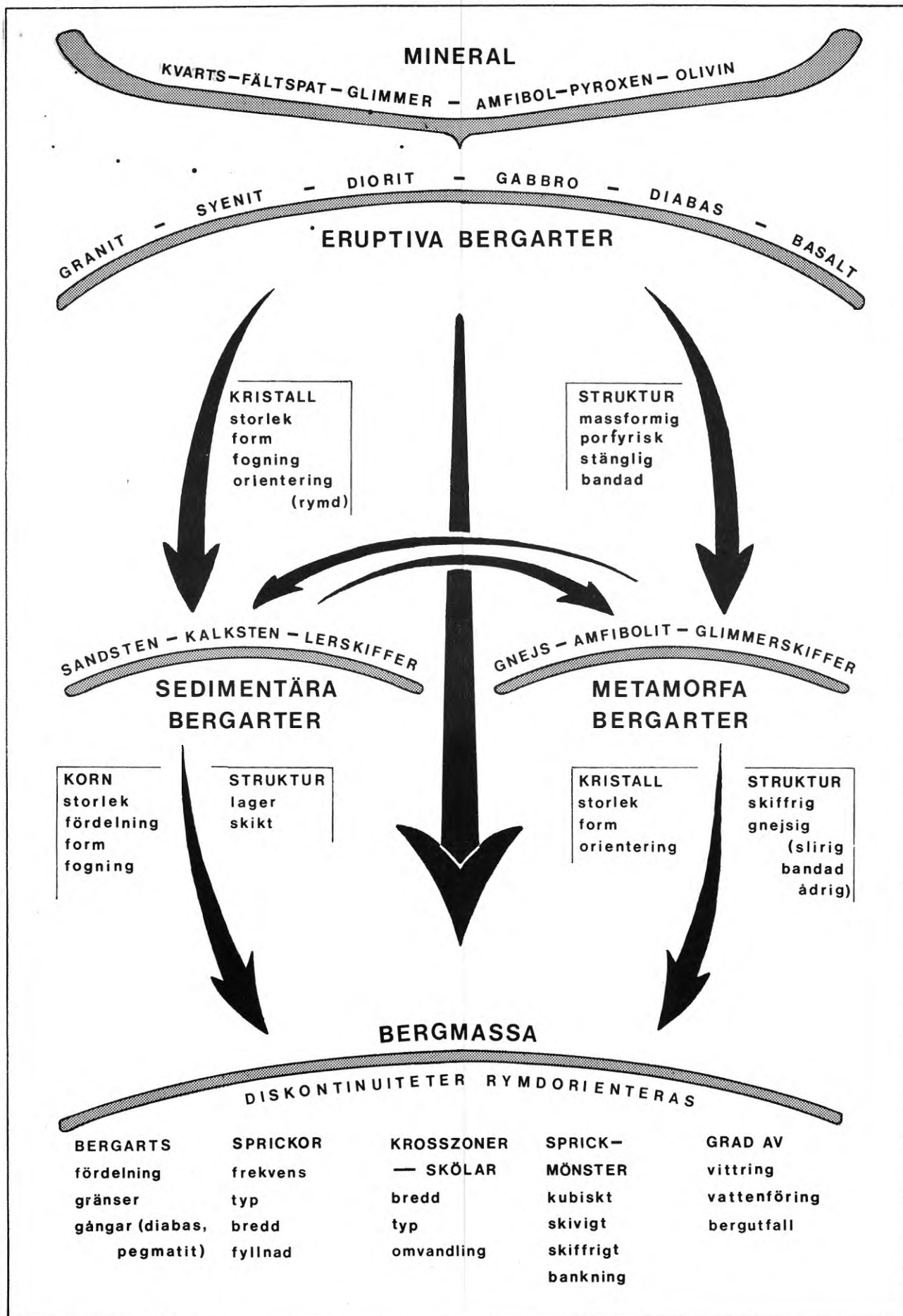
Av det ovan sagda framgår att ett växande behov av geo-kartering föreligger. Detta har medfört att en flora av karterings- och beteckningssystem har växt fram inte bara i Skandinavien utan på flera håll i världen, framför allt i England och Amerika. Magnus Bergman har i byggforskningsrapport R34:1973 /16) redogjort för några i Sverige tillämpade system. Gert Knutsson et. al. har en förstudie "Beteckningssystem för bergundersökningar" /17/.

Behovet av geo-kartering har tidigt gjort sig gällande i länder med dåligt berg (sedimentär berggrund). Professor Leopold Müller, Karlsruhe, ger 1942 i sitt arbete Baugeologie der Festgesteine, Felsbaumechanik /18/ en enkel och praktisk handledning i ämnet. Bland senare arbeten i England och Amerika skall nämnas Rickard Proctor, Mapping Geological Conditions in Tunnels, 1971 /19/ och D. U. Deere, Engineering Geology and Underground Construction, 1974 /20/ samt från Skandinavien H. Niini et. al., Byggnadsgeologisk bergklassificering, 1974 /21/, N. Barton, R. Lien och J. Lunde, Engineering Classification for the Design of Tunnel Support, 1974 /22/ och Norsk Bergmekanikkgruppe, Forslag till Terminologi, Definitioner og karttegn, 1974 /23/.

Alla dessa författare har en gemensam åsikt: de framhåller att den tid är förbi, när det räcker med att olika personer går omkring och "tycker" om berget. Exempelen kan mångfaldigas på hur man härvid kan komma till vitt skilda resultat. Man har klart insett nödvändigheten av ett gemensamt språk och karteringssätt för en entydig geo-bedömning.

The International Commission on "Classification of Rocks and Rock Masses", i vilken även Sverige deltar, har på bred front tagit sig an att skapa en internationell standard. I avvaktan härpå synes det dock nödvändigt att snabbt få fram ett arbetsmönster på nationell nivå.

Här framlagt förslag och bedömningssystem för geo-kartering har utformats så att det tämligen lätt i framtiden kan anpassas till ett internationellt system, dvs. i möjligaste mån har internationella geo-termer och geo-definitioner använts.



Vinjettbild 2.

BERGRUM OCH TUNNLAR

Från mineral Korn till bergmassa — en guide
över bergets sammansättning och egenskaper.

2 VAD KAN GEO-MANNEN ANALYSERA OCH PROTOKOLLFÖRA NÄR HAN GRANSKAR BERGET ?

2.1. Mineral och bergarter (stensorter)

Trots att det på vår jord finns mer än 2000 olika mineral och hundratals olika bergarter är det endast ett ytterst litet fåtal av dessa som dominerar och har intresse ur praktisk bergsynpunkt. Det är blott ett tiotal olika mineral som utgör beståndsdelar (bygger upp) de viktigaste bergarterna i den kontinentala jordskorpan, och dessa är inte fler än man kan räkna på fingrarna.

De bergarter som man träffar på i våra svenska berg har i korthet beskrivits i särtryck ur Väg- och Vattenbyggaren: "Varudeklaration av byggnadsmaterialet berg", BIL. 1. Se f.ö. TAB. I - III, sammanställning över mineral och bergarter i BIL. 2 och 3.

Mineral- och bergartsfördelning i jordskorpan ned till 16 km djup enligt Schumann 1973 /24/

Fältspat och ersättare	60 %
Pyroxen och amfibol	16 %
Kvarts	12 %
Glimmer	4 %
Övriga mineral	8 %
Eruptiva bergarter (magmatiter)	95 %
Sedimentära bergarter	1 %
Metamorfa bergarter	4 %

Det är inte bara bergarternas mineralsammansättning som är intressant när det gäller att bedöma bergarternas tekniska egenskaper, utan dessa är i mycket hög grad beroende på mineralindividernas (kornens) storlek, fogning samt orientering: det rymdgeometriska mönstret.

Allmänt kan sägas att kristallfogningen är god i bergarterna, vilket innebär att de är praktiskt taget vattentäta. Vattnet i den kristallina berggrunden föres fram i sprickor och krosszoner. FIG. 8.

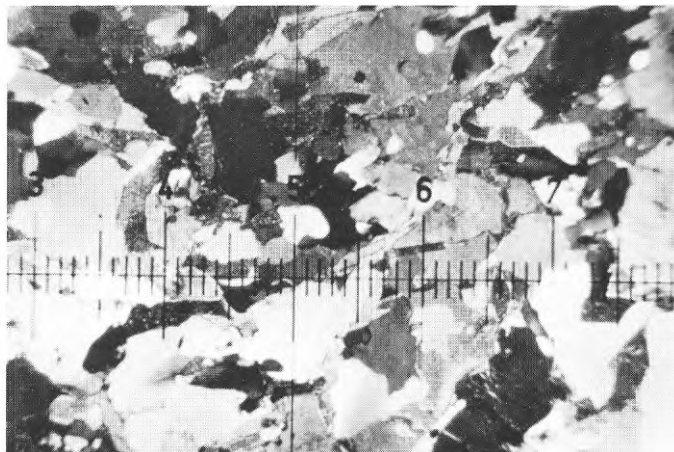


FIG. 8. Mikrofoto av finkornig granit. 10 skalstreck = 0,5 mm. Kristaller av kvarts, fältspat och glimmer.

2.1.1 Granitoider och syenit

Sveriges berggrund består till övervägande del av granitiska bergarter (granitoider), massformiga eller gnejsiga. Deras huvudmineral, fältspat och kvarts, ger dem hårdhet och hög hållfasthet. Tryckhållfastheten kan i hela bergstycken överstiga stålets. De är, som alla magmatiska och metamorfa bergarter, kristallina till sin uppbyggnad. Syenit innehåller lite eller ingen kvarts.

2.1.2 Grönstenar

Svarta eller grönsvarta bergarter är basiska, dvs. de saknar oftast kvarts. Vanligast är diorit, gabbro, diabas, hyperit och basalt. Dessa sammanfattas under det gemensamma namnet grönstenar. Dessa bergarter är inte fullt så hårda som de granitiska men har hög tryckhållfasthet.

2.1.3 Metamorfiter

Många metamorfa bergarter kan ha stor hårdhet och hög tryckhållfasthet, t. ex. kvartsiter, leptiter och gnejser med granitisk sammansättning. Andra är inte så hårda, exempelvis hornbländerik metabasit = amfibolit. Karbonatbergarten metamorf kalksten (marmor) är liksom släktingen dolomit mjuk men är ändå ett lämpligt material för tunnel- och bergrumsbyggnad. (P. H. Lundegårdh 1963— 26).

2.1.4 Tektoniter

De viktigaste tektoniska bergarterna kallas myloniter, breccior och skölar. Myloniter är granit, gnejs och liknande bergarter, som genom rörelser i jordskorpan gnuggats till pulver och därefter av kryptokristallinisk kvarts cementsats till flinthård sten. Breccia är berg sönderbrutet till kantiga bitar, som sammanfogats av ett bindemedel, oftast kvarts men i flera fall någon intrusiv magmabergart, varvid man talar om eruptivbreccia (FIG. 16). Skölar (FIG. 17) är tektoniskt omvandlade, oftast basiska bergarter och domineras av mjuka beståndsdelar sådana som klorit och lermineral. Skölarna följer rörelsezoner i berggrunden och är en för bergarbeten lömsk fribytare i berggrunden.

2.1.5 Sedimentära bergarter

Dessa bergarter är uppbyggda av mineralkorn och bergartsfragment som kittats ihop av ett bindemedel (cement), vanligen kvarts eller kalkspat. Strukturen benämnes klastisk. Sedimentära bergarter har endast undantagsvis kristallin struktur, t. ex. evaporiterna (stensalt: NaCl, sylvin: KCl, etc.) Konsolideringsgraden och kornfördelningen kan vara mycket varierande och därmed även vattengenomsläppligheten. Sedimentbergarterna har

ursprungligen anlagts i horisontella lager eller skikt och dessa kan växla i såväl mäktighet (tjocklek) som egenskaper (kornfördelning, konsolideringsgrad etc.) BIL. 1 och FIG. 9.

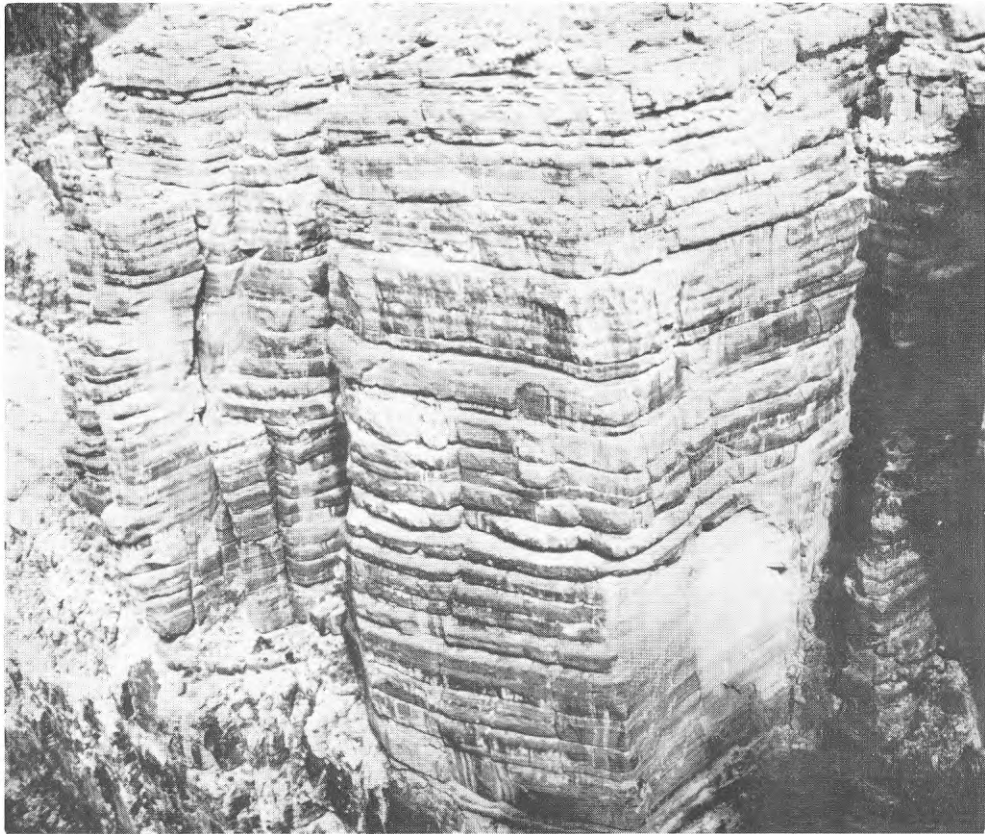


FIG. 9. Lagerföljd av sedimentära bergarter. Lägg märke till den plana gnejsyta på vilken "sedimentpacken" anlagts. Grand Canyon 1974.

Som nämnts i förordet behandlas ej i denna utredning bergrum och tunnlar i sedimentbergarter.

2.2 Bergarternas hållfasthetsegenskaper

Provkroppar uttages för laboratorier.

De flesta bergarter är anisotropa, dvs. de har olika utseende och hållfasthetsegenskaper i olika riktningar. Detta har i tekniska sammanhang mycket stort intresse; jfr skillnaden mellan att tälja ett trästycke längs eller tvärs strukturen.

Tryckhållfastheten (medeltal av ett stort antal prover) i några vanliga bergarter:

Eruptiva

Granit-syenit	1600 - 2400 kp/cm ² (x 0,1 = MPa)
Diorit-gabbro	1700 - 3000 -''-
Diabas	1800 - 2500 -''-

Sedimentära

Sandsten	300 - 1800 -''-
Sedimentära kalkstenar	200 - 900 -''-

Metamorfa

Krist. kalksten (marmor) och dolomit	800 - 1900 -''-
Amfibolit	1700 - 2800 -''-
Kvartsit-leptit	2500 - 3000 -''-

+)

Förskiffrade gnejser, glimmerskiffrar, amfiboliter etc. är ibland så starkt anisotropa att någon generell tryckhållfasthet inte kan ges.

Även om bergarternas hållfasthet i de angivna exemplen är mycket hög, äventyras bergmassans hållfasthet av svaghetsplan: sprickor och krosszoner, jfr nedan.

2.3 Mineralens och bergarternas strukturella egenskaper

Struktur är fördelningen av bergarter och anordningen av mineralkornen i en bergart i stort, exempelvis i en häll eller ett bergrum, medan textur är kornfogar, kornfördelning och kornorientering i smått i en bergart, t. ex. i ett slipprov i mikroskop (BIL. 1, FIG. 3).

	<u>Kristallina bergarter</u> (magmatiska och metamorfa)	<u>Sedimentära bergarter</u> (klastisk struktur)
Grovkornig	< 5 mm	< 2 mm
Medelkornig	1 - 5 "	2 - 0,2 mm
Finkornig	> 1 "	> 0,2 "

Enl. B. Loberg /25/

2.3.1 Mineral — genomgångar — spaltning

På grund av det molekyllära mönstret (symmetrin) har många mineral s.k. svaghetsplan eller genomgångsriktningar längs vilka de mer eller mindre lätt spaltas eller faller sönder vid

+) Vått eller torrt prov är en viktig fråga. Som exempel kan nämnas att en sedimentär kalksten torr visade 400 kp/cm², våt endast 70 kp/cm².

slag. Dessa mineralens egenskaper bestämmer i många fall även bergarternas tekniska egenskaper.

Kvarts saknar genomgångar och tjänstgör därför som armering i kristallmassan (jfr ballasten i betong).

Fältspaterna har två nästan vinkelräta genomgångsriktningar efter vilka de lätt spricker. Spaltningen är prismatisk.

Glimrarna (muskovit, biotit, klorit) liksom även mineralet grafit har en genomgångsriktning med dålig sammanhållning (skiktstruktur).

De mörka mineralen hornblände och pyroxen har båda två genomgångsriktningar med 120° resp. 87° spaltvinkel. De bildar prismatiska spaltningstavar eller nålar.

Kalkspat (kalcit) har tre genomgångsriktningar och romboedrisk spaltning.

Montmorillonit är ett exempel på lermineral som vid upptagning av vatten övergår till en jordliknande massa ("såplera"). BIL. 1, FIG. 2.

2.3.2 Bergarter — gnejsighet, skiffrighet, stänglighet

Många bergarter har en massformig struktur, dvs. kristallerna är riktningslöst anordnade. FIG. 8. Andra kan redan vid kristallisationen ha bildat plattor eller stavar i form av sinsemellan parallella skikt (planskiffrighet, gnejsighet, FIG. 10).

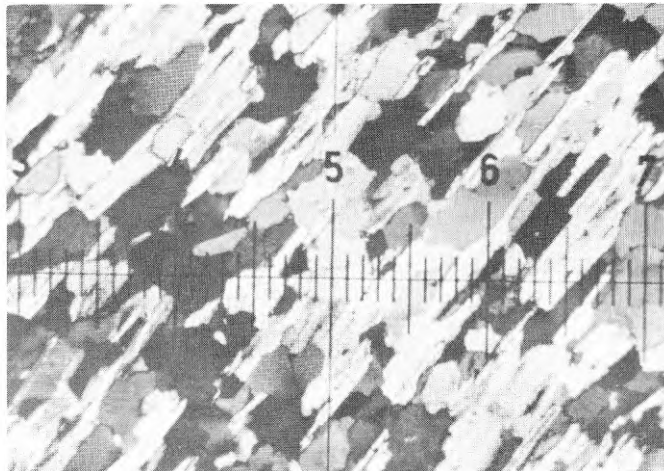


FIG. 10. Skiffrig struktur.

Genom veckning och skjuvning kan bergarterna påpräglas en linjärstruktur av utdragna, sinsemellan parallella kristaller och aggregat av mineral (linjärskiffrighet, stänglighet). Stänglighet är en bergmekanisk fördel: stänglarna verkar som små bultar (P. H. Lundegårdh, 1963 — 26). Skiffrigheten verkar däremot ofta försvarande och kräver stort hänsynstagande vid bergarbeten (FIG. 11 och FIG. 12).

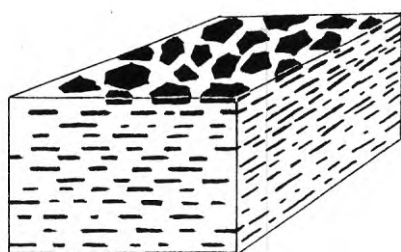


FIG. 11. I skikt orienterade platta skiviga kristaller.

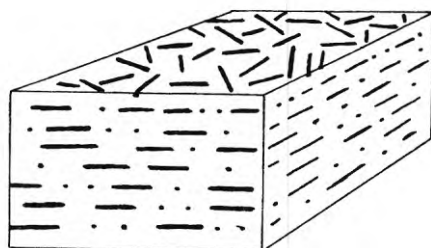


FIG. 12. I skikt orienterade platta stavformiga kristaller.

I detta sammanhang är det särskilt intressant att nämna att en bergart, en bergmassa, som för blotta ögat verkar isotrop, dvs. jämnkornig och likartad i alla riktningar, ändå kan ha en inbyggd anisotropi som ger s.k. klovriktningar.

2.3.3 Klov

Den massformiga granitens klyvbarhet är välkänd. När granitmagmorna stelnade, ordnade sig de långsträckta eller platta mineralkristallerna, fältspat och glimmer, vinkelrätt mot belastningstrycket.

Detta har gjort att den till synes homogena graniten har två nära vinkelräta svaghetsriktningar utefter vilka den lätt klyves. (FIG. 13). Svallen eller helklovet är den bästa delbarhetsriktningen och är mer eller mindre vågrätt. Vid horisontellt tryck kommer långsträckta mineral att orientera sig vinkelrätt mot tryckriktningen. Man får då en lodrät delbarhetsriktning i stenen: stående klovet, ståndklovet, klyven eller halvklovet. I en brottyta vinkelrät mot stående kloven framträder ändarna av mineralstavarna: borsten, borstklovet eller tvärklovet, som känns sträv. Öppna sprickor längs klov kallas slag.

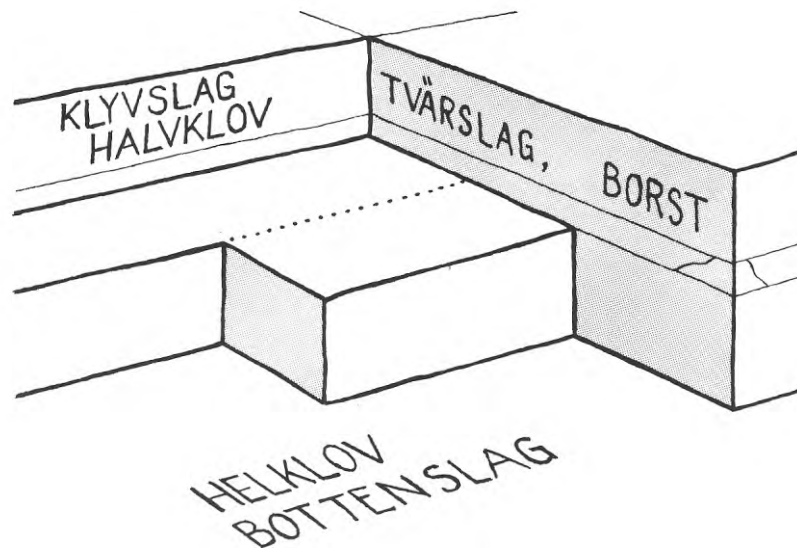


FIG. 13. Regelbundna klov och slag.
Efter Bror Asklund, 1947 / 27 /.

Kloven är välkända bland stenhuggarna och utnyttjades med stor skicklighet när man fordom för hand knackade ut kubformade gatstenar. Utan att titta på stenen kunde den vane yrkesmannen känna med sina valkiga händer utefter vilken riktning stenen lättast sprack vid slag. Han visste också att här kunde han med ett slag på rätt ställe få fram två önskade ytor på kuben. De andra två ytorna på kuben kunde han också, dock med litet större ansträngning åstadkomma. I riktningen vinkelrätt mot de båda förstnämnda kunde han med möda åstadkomma kubens återstående båda ytor, vilka alltid kändes skrovliga.

Efter klyvbarhetsgraden kallades dessa helklov, halvklov och borst. Borsten är således närmast att jämföra med tvärträ.

I större skala utnyttjar stenindustrin dessa svaghetsplan för att få fram sina råämnen (FIG. 14).

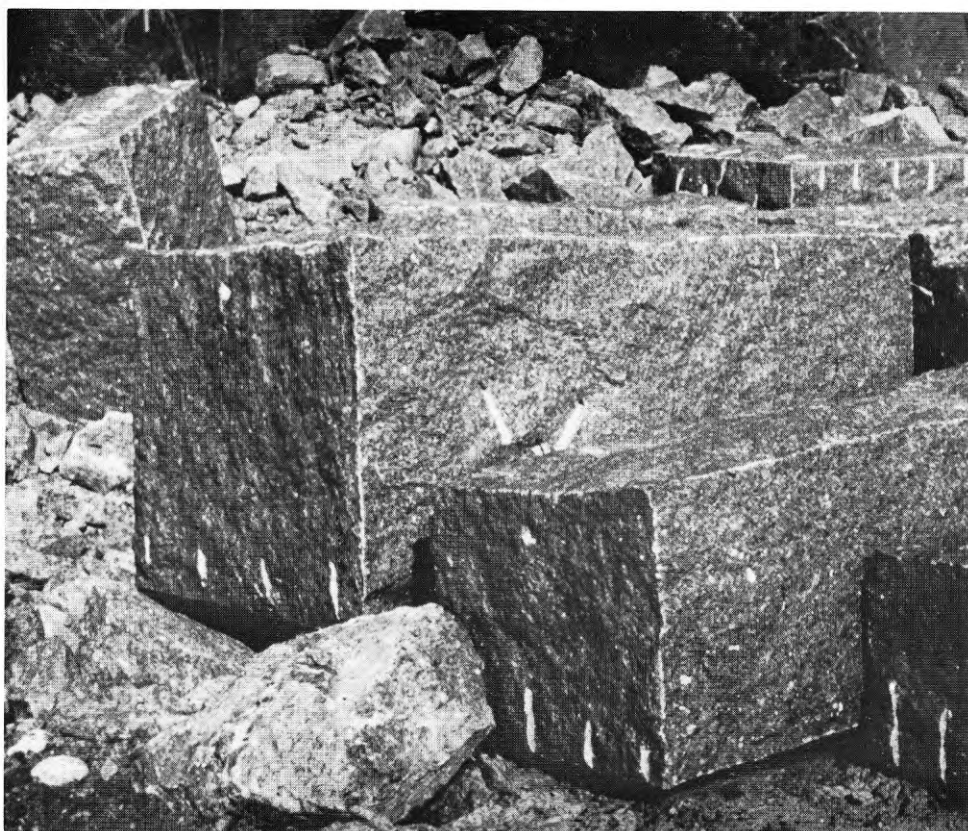


FIG. 14. De horisontella svaghetsplanen, som ofta är utbildade som sprickor, s.k. bottnar, har stor betydelse när det gäller att genom kilning få loss långsträckta parallelepipediska stycken från berget.

2.4 Bergartsfördelning och egenskapsvariation

Vid sprängning av långa tunnlar får man räkna med att stöta på den svit av olika bergarter som är typiska för varje geologiskt område. Ett snabbt byte av bergarter kan ske både i horisontell och vertikal led. Gränserna är i allmänhet tydliga (FIG. 15). Man bör beakta att kvaliteten på en och samma bergart kan variera starkt även inom ett mycket begränsat område eller avsnitt. Vid berganläggningar där man har möjlighet att välja och placera bergrummen i en och samma bergart får man inte glömma att även denna ur bergteknisk synpunkt kan ändra beskaffenhet från den ena metern till den andra.



FIG. 15. Skarp gräns mellan finkornig granit och starkt förskiffrad gnejs. En bergartsgräns kan vara en vattenförande svaghetszon.

2.5 Bergmassan

Viktigt att skilja mellan bergart och bergmassa

Bergarterna är de komponenter som bygger upp en bergmassa eller av vilka berggrunden består. Allt berg har genom tektoniska påkänningar blivit förklyftat, sönderbrutet i mer eller mindre grad i stora eller små delkroppar. Bergmassans hållfasthet är en resthållfasthet reglerad av förbandet mellan klyftkropparna (jfr ett murverk).

Bergarternas egenskaper är substansegenskaper.

Bergmassans egenskaper är fogegenskaper: förband mellan "klyftkroppar".

Bergmassor är praktiskt taget aldrig felfria utan alltid mer eller mindre genomsatta eller förstörda av sprickor, krosszoner, s.k. rörelsezoner och skölar (förkastningar). Vittringsprocesser av olika slag kan dessutom på ett genomgripande sätt ha förändrat bergmassans kristallstruktur och omvandlat mineralen.

2.6 Bergmassans diskontinuiteter

Allmän orientering

Jordskorpan har under årmiljonernas lopp varit utsatt för påkänningar av olika slag, vilka skadat och omvandlat bergmassan. Genom "injektering" av magma (bergartsgångar) samt utfällning och kristallisation av mineral i sprickor och hålrum har en viss självläkning ägt rum. Oreparerade skador kvarstår dock alltjämt och nedsätter bergmassans tekniska egenskaper.

Rörelser (förkastningar, överskjutningar, sidoförskjutningar etc.) har vid flera olika tillfällen ägt rum i berggrunden (jfr dilatationsfogar). Bergarterna kan därvid ha kalkrossats och senare läkts ihop av kvarts, kalkspat etc. till en breccia. (Se 2.1.4 och FIG.16).

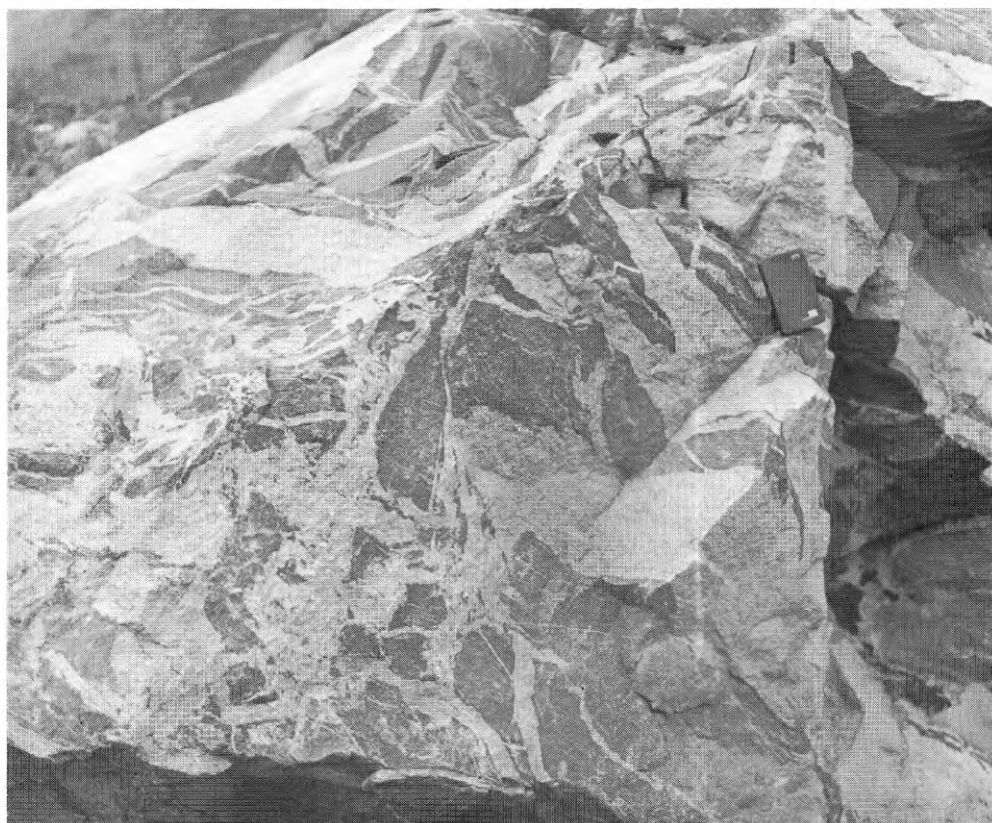


FIG. 16. Eruptivbreccia. De kantiga bergbitarna har här gjutits ihop med en eruptivbergart.

Bergarterna kan även ha gnuggats till fint bergartsmjöl, vilket läkt ihop till mylonit. (Se 2.1.4.) Utströmmande lösningar och gas kan i dessa zoner ha åstadkommit såväl mineralomvandling som mineralbildning. Nedträngande humus- och kolsyrehaltigt vatten kan genom vittring ha omvandlat bergarter till lerkonsistens.

Berget i och intill rörelsezoner är ofta illa tilltygat, krossat eller uppsprucket i skivor. Man talar då om krosszoner, eller

när även de ingående mineralen omvandlats, skölar.
(Se 2.1.4 FIG. 17.)



FIG. 17. Sköl är ursprungligen en gruvgeologisk term. (Se 2.1.4.) Som skölar betecknas smala förskiffringszoner i vilka rörelser och mineralomvandlingar ägt rum (kloritskölar, lerskölar, jordskölar etc.). (Tumstock = 1 m).

Bergarterna bryts sönder i den mån de icke kan anpassa sig plastiskt när de utsätts för påkänningar. Detta innebär att hårda och spröda bergarter lätt spricker (FIG. 18).

2.6.1 Sprickor

Sprickor (enskilda eller i skaror: sprickzoner, sprickkoncentrationer) samt krosszoner (sockerbitsberg) förekommer alltid i större eller mindre grad beroende på omfattningen av tektoniska störningar. I vittringszoner är bergarterna mer eller mindre omvandlade.

Partiellt kan i en bergmassa förekomma speciella sprick- eller förklyftningsmönster: blockighet (ortogonal = rätvinklig), skivighet, bankning.

Strukturer av genomgående karaktär, planförskiffring (FIG. 19), stänglighet, förgnejsning (FIG. 29), är företeelser i bergmassan

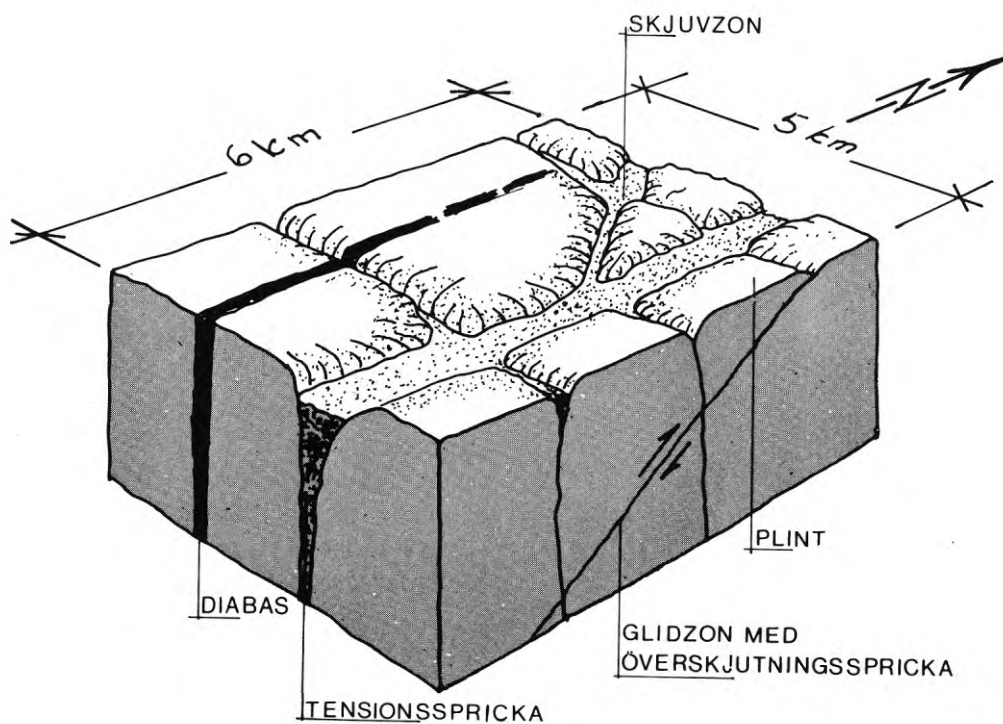


FIG. 18. Blockdiagrammet visar i pricip hur en bergmassa kan spricka vid tektoniska påkänningar.
Efter Ingemar Larsson, Pegeln, 1947.

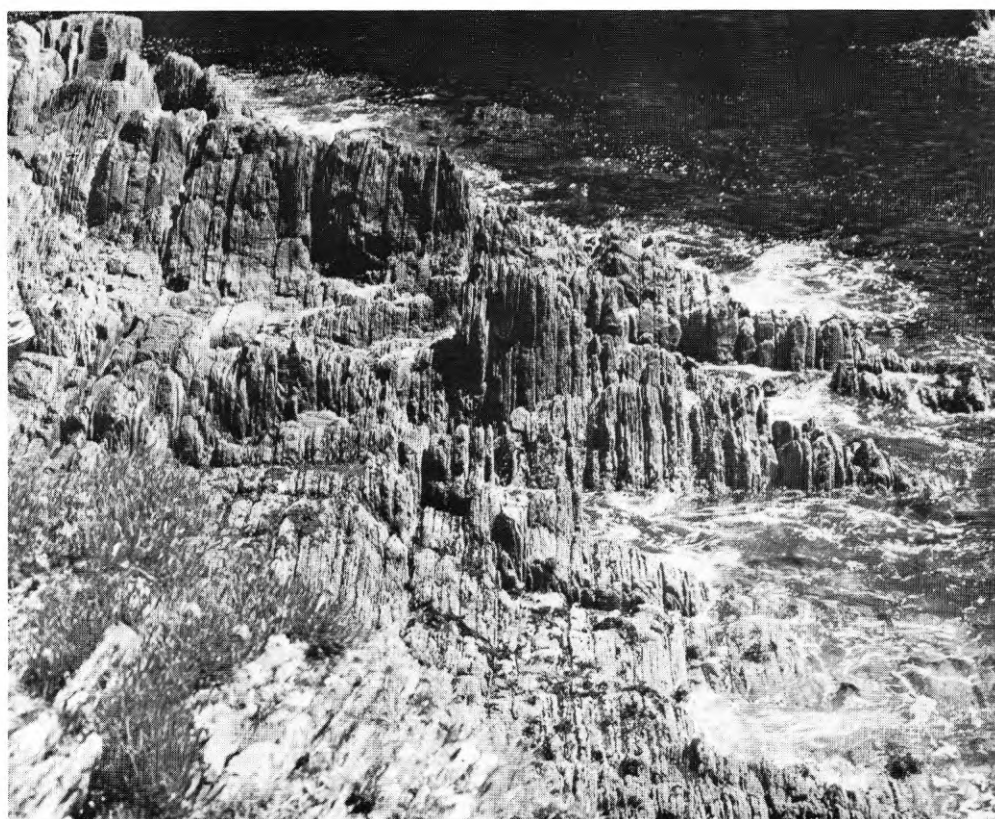


FIG. 19. Planförskiffring.



FIG. 20. Slirgnejs.

som i många avseenden påverkar ett bergarbete. Egenskaperna hos förefintliga diskontinuitetsytor (bergarts-kontakter, sprickplan, förskiffringsplan, klov, skiktytor) ytgestaltning, glatthet etc., har stor betydelse för bergstabiliteten. Bergartsgångar (eruptivgångar) och mineralgångar samt fogarna mellan sådana och sidoberget är likaledes viktigt i dessa sammanhang. Knäppberg ('smällberg'), grusvittrat och leromvandlat berg är geologiska realiteter som nedan skall behandlas. Diskontinuiteternas rymdorientering skall dokumenteras vid geo-karteringen. Den har nämligen en avgörande betydelse för bergstabiliteten och säkerheten såväl i stort som smått (FIG. 21).

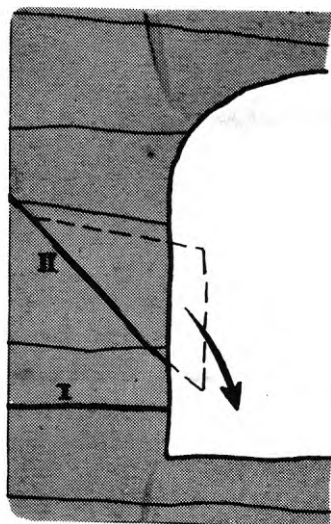


FIG. 21. Ett sprickplans rymdorientering är av största betydelse för bergstabiliteten. Jfr sprickans alternativa lägen.

- I. Inga stabilitetsproblem.
- II. Bergutfall (ras).

En spricka eller ett sprickutträde i en av inlandsisen skrapad och skulpterad berghäll ter sig obetydlig och ointressant. Man upplever den endast som ett streck i berghällen (FIG. 22).

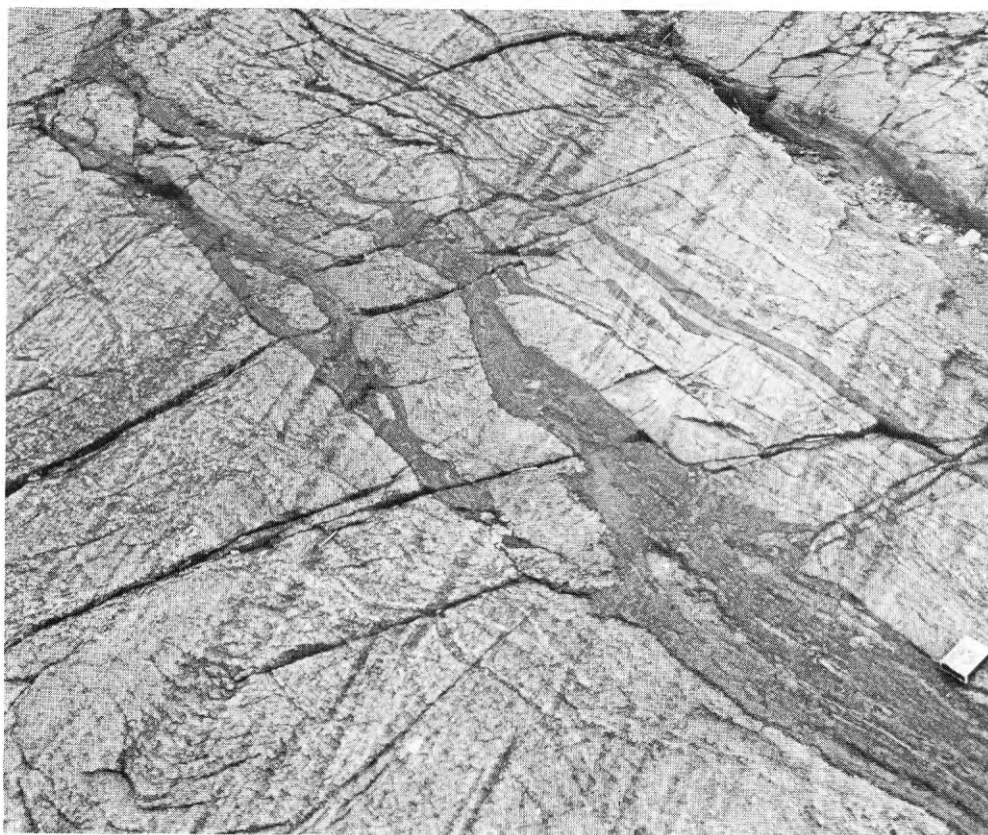


FIG. 22. Av inlandsisen repad berghäll. Isräfflorna löper nära nog diagonalt genom bilden. Sprickutträdena i mitten är oansenliga.

Tittar man lite närmare skall man dock finna att sprickutträdena representerar sprickytor, ofta plana med stor utsträckning både

i sidled och mot djupet (FIG. 23). Dessa sprickor har en tektonisk bakgrund och sprickplanen (ytorna) är ofta klädda med "harnesk", företrädesvis av glimmermineral eller lermineral. De känns därför glatta eller hala. Motsatsen är sträva sprickplan. Berget är i ytzone mer sprickigt än på djupet beroende på temperaturväxlingar, sönderfrysning etc. Latenta klov har genom temperatur- och tryckförändringar öppnats till synliga sprickor.



FIG. 23. Bergtunnel i granit parallell med huvudsprickriktningen.

Beroende på orsakerna till sprickbildningen talar man om dragsprickor, skjuvsprickor, krympsprickor etc. En bergmassa kan genom tiderna ha utsatts för flera påkänningar (spänningar) med växlande orientering. Härvid kan olika spricksystem ha utbildats. Sprickorna kan följaktligen även inom ett mycket begränsat bergområde variera i antal och täthet. Sålunda kan i en bergmassa på ett ställe uppträda sprickor i skaror med kanske några centimeters mellanrum medan det i samma bergmassa men på ett annat ställe kan vara avstånd på mellan 2-10 m mellan sprickorna (FIG. 24 och FIG. 25).



FIG. 24. Skaror av sprickor: hög sprickfrekvens.



FIG. 25. Ett sprickfritt parti i granit är ovanligt.

Av betydelse ur bergmekanisk synpunkt är sprickornas

- orientering (rymdorientering)
- utsträckning (vertikalt och horisontellt)
- frekvens (inbördes avstånd)
- mönster (regelbundet eller oregelbundet)
- vidd (grad av öppenhet), (FIG. 26)
- ytgestaltning (glatt eller rå yta)
- halt av smörjande mineral (harnesk)
- materialfyllning (gångar, skölar)
- grad av läkning (genom kvarts, kalkspat etc.)
- vattenföring (behandlas i särskilt avsnitt nedan)

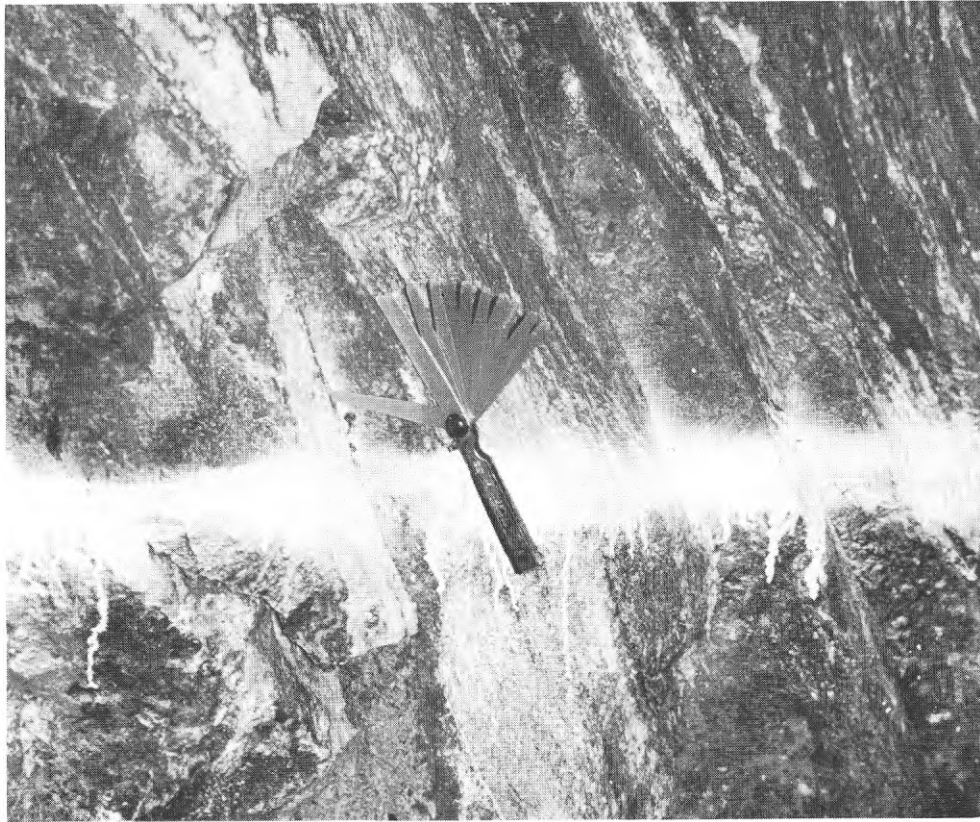


FIG. 26. Sprickors vidd mäts med tolkar längs en spraymålad linje.

2.6.2 Sprickfrekvens

mäts i antal sprickor per meter vinkelrätt mot sprickriktningen (FIG. 27).

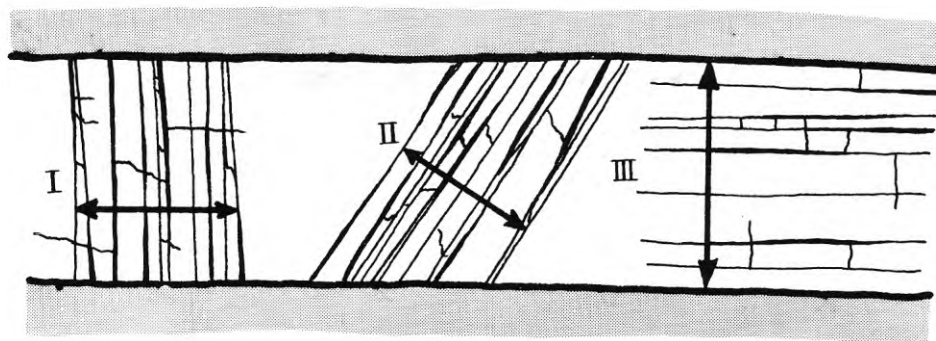


FIG. 27. Mätning av sprickfrekvens i tunnelvägg.
Anges i antal per meter för varje enskild sprickskara (I-III).

Sprickfrekvens:

< 1 per m = mycket ringa
1 - 3 -"- = ringa
3-10 -"- = hög
> 10 -"- = mycket hög

(enl. H. Niini, — 20)

Sprickavstånd:

> 1 m = stort avstånd
0,5- 1 " = medelavstånd
20-50 cm = litet avstånd
< 20 " = mycket litet avstånd

(enl. R. Pusch, — 28)

Sprickors vidd (grad av öppenhet) < 1 mm 1-5 mm > 5 mm
/sluten resp. hopläkt (kalcit,
kvarter etc.) anges även/

Sprickzoners bredd

< 1 " 1-5 " > 5 "

Krosszoners bredd

< 0,1 " 0,1-1 " > 1 "

Skölars bredd

< 1 cm 1-5 cm > 5 "

(enl. Hagconsult, IVA 1970 — 12). Se FIG. 64.

2.6.3 Sprickmönster

Under vissa förhållanden har bergmassan spruckit upp i mer eller mindre regelbundna mönster. Dessa kan kräva stort hänsynstagande vid hanteringen av ett bergarbete och kan många gånger innebära att omfattande förstärkningar blir nödvändiga.

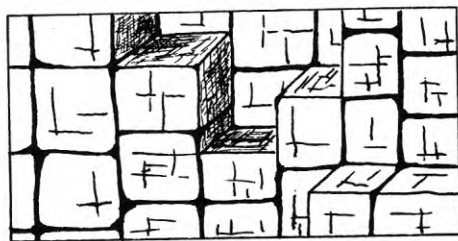


FIG. 28 a.
Ortogonal sprickmönster
(kubisk blockighet)

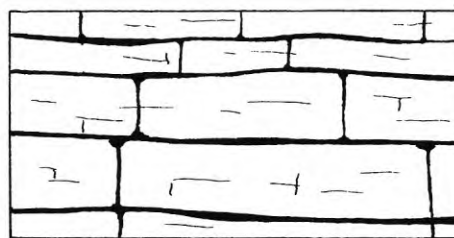


FIG. 28 b.
Ortogonal sprickmönster
(skivig blockighet), t. ex.
bankad granit.

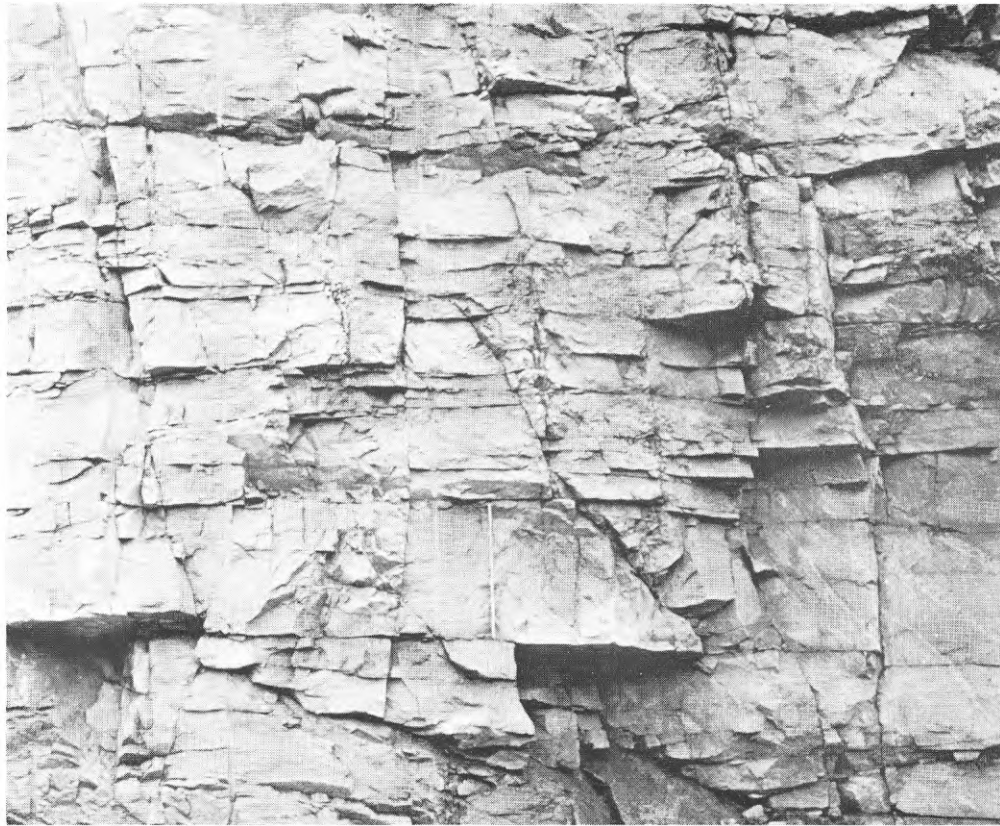


FIG. 29. Bankning i granit.



FIG. 30. Småblockigt sprickmönster. (Tumstock = 1 m).

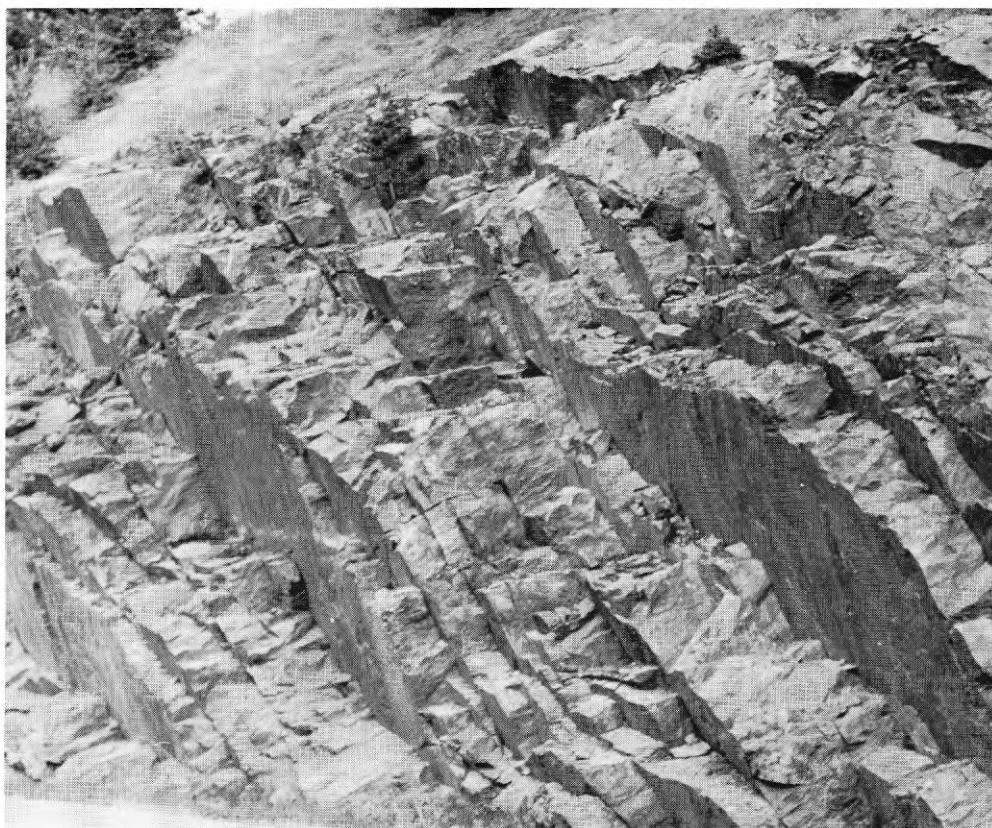


FIG. 31. Skivigt sprickmönster.

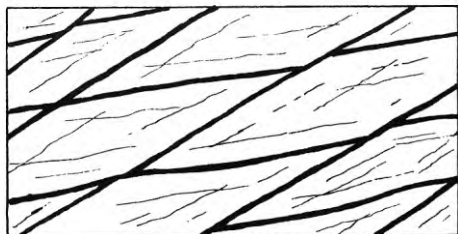


FIG. 32. Romboidiskt sprickmönster.

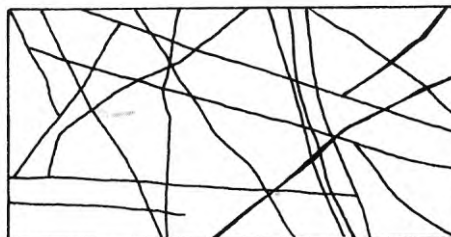
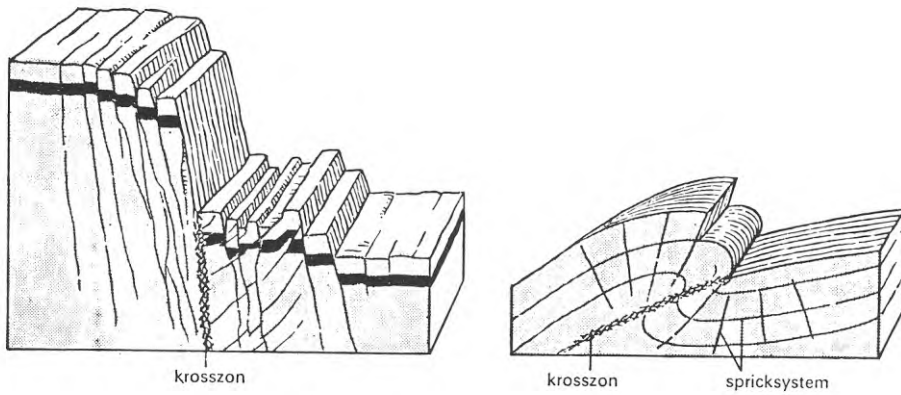


FIG. 33. Kaotiskt sprickmönster (vildslag). Ingen ordning alls.

2.6.4 Förkastningar och överskjutningar

Rörelser i jordskorpan utlöses genom tånjning eller sammanpressning ej blott längs befintliga sprickytor och svaghetszoner (P.H. Lundegårdh, 1971 — 44) utan även i brottzoner nyskapade i berggrundspartier med begränsad eller obefintlig böjlighet (Lundegårdh, 1971 — 44). Se FIG. 34.



Krosszon i förkastningsregion.
Krosszon och spricksystem i överskjutning.

FIG. 34. Enl. R. Pusch, 1974.



FIG. 35. Veckade, eftergivliga sedimentära bergarter.

Särskilt vid värmeutvecklande överskjutningar har glidytor av friktionen planfrästs och mineralnybildning skett av företrädesvis fjälliga mineral = glimrar. Ytor är klädda med harnesk. Med känsliga fingrar kan man känna åt vilket håll den senaste rörelsen längs glidytan ägt rum. Ytan känns glattast i rörelserikt-

ningen och strävast i motsatt riktning, jfr fiskfjäll. FIG. 36.

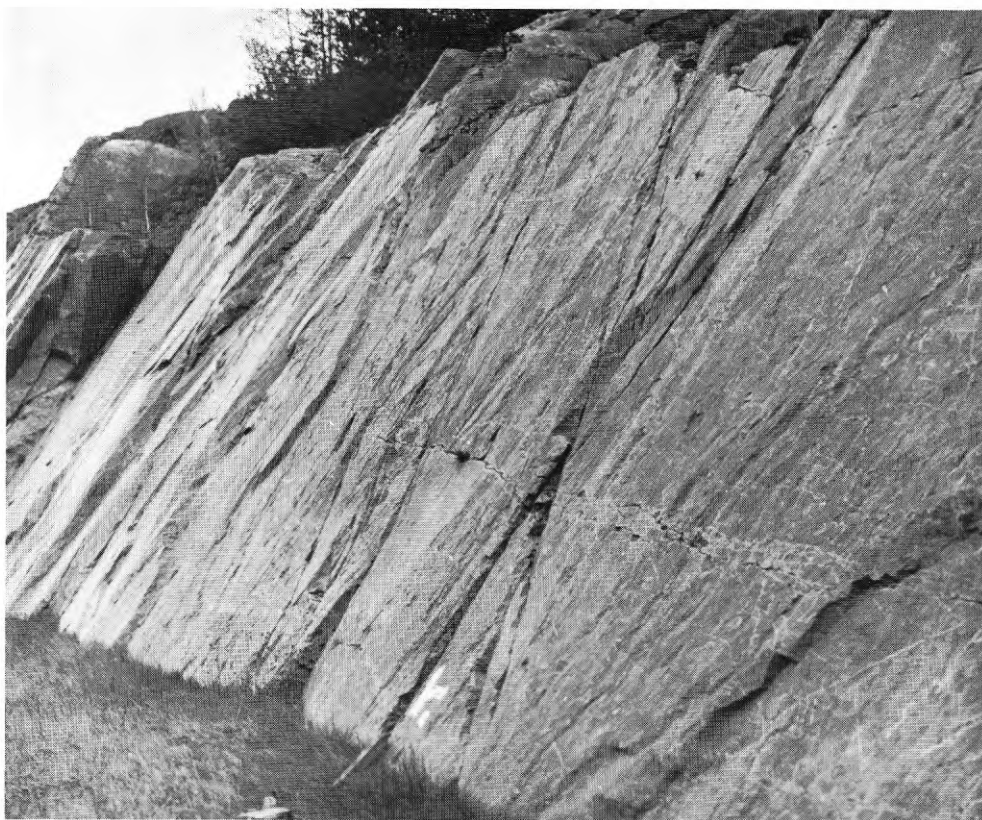


FIG. 36. Planfrästa förkastningsytor.

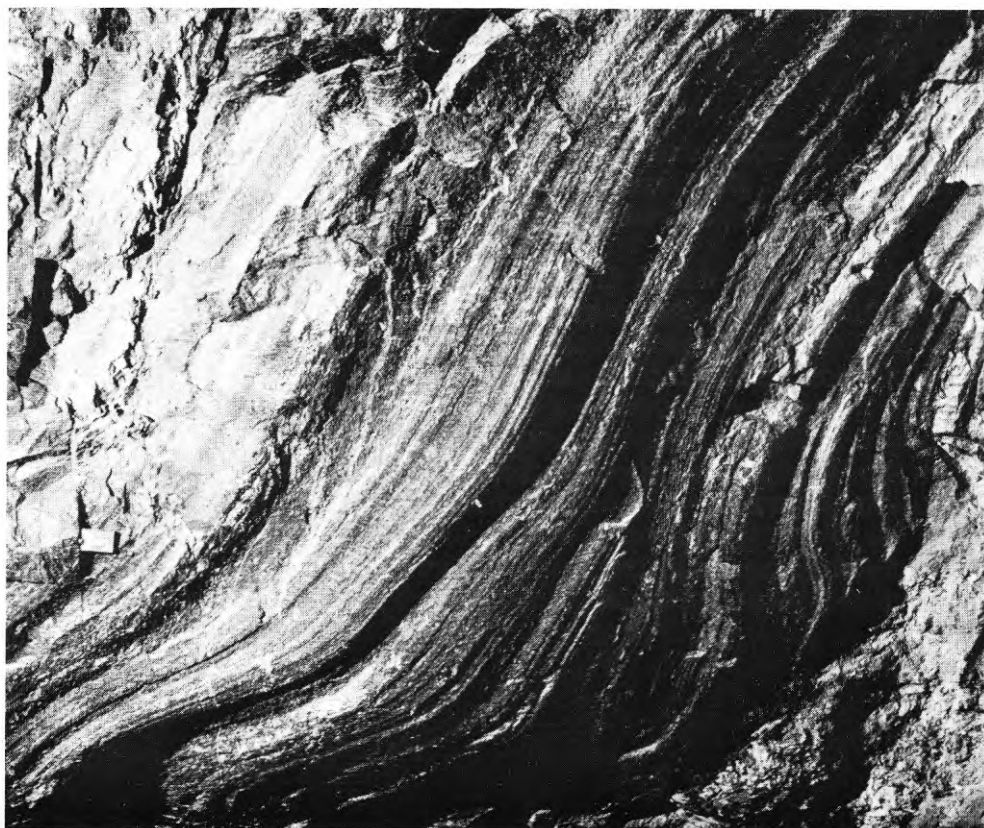


FIG. 37. Glidspår i gnejs efter förkastning (tunnel Norrköping)

2.6.5 Sprickytor, förskiffringsytor och skiktytor — egenskaper

Dessa ytor är i många bergtekniska sammanhang av stort intresse. Sålunda förekommer ytor med böljande eller småvågiga förlopp. Friktionen är i båda dessa fall riktningberoende, jfr tvättbräden och korrugerad plåt. Ytorna kan ibland vara råa eller knottriga och friktionen är då, även om ytorna är glimmerklädda eller lerbelagda, jämförelsevis stor. FIG. 38.

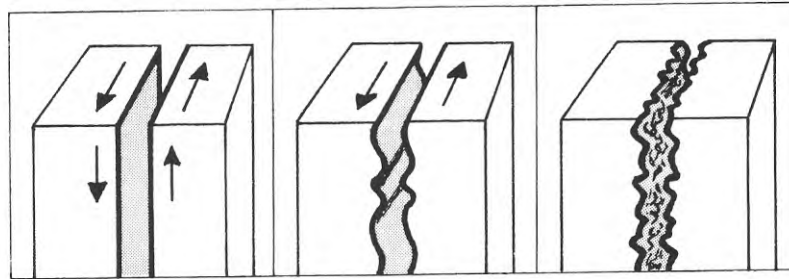


FIG. 38.
Plan sprickyta
glider lätt i alla
riktningar.

Böljande sprickyta
försvårar
glidning.

Rå sprickyta
glider vanligen ej.

Sprickor och sprickfogars fyllnad är i bergtekniska sammanhang även av betydelse. Sprickfyllnaden kan i vissa fall vara naturligt utkristalliserad eller utfälld kvarts eller kalkspat. Härvid har en god hopläkning ägt rum som konsoliderat berggrunden. I andra fall kan fyllningen utgöras av mineralpartiklar, "berglera", grafit, gips eller anhydrit, vilket kan innebära svåra komplikationer i synnerhet när sprickfyllnaderna vaskas ut av rinnande vatten eller om den innehåller svällande lermineral, vilka verkar som inbyggda domkrafter och kan spränga bort bergblock ur väggar och tak. (Se kap. Svällande lera, 2.8.1).

Svällningstrycket hos lera med orienterade montmorillonitpartiklar har uppmätts till 1,5 MPa. Gips kan under vattenupptagning orsaka en saltsprängning motsvarande 110 MPa enl. R. Pusch /28/.

2.6.6 Skivformiga inhomogeniteter, bergartsgångar (eruptivgångar) m.m.

Som fribytare i berggrunden förekommer gångformiga, eruptiva bergarter, företrädesvis diabaser, vilka trängt upp genom sprickor i berggrunden, spämt isär sprickorna och injekterat dessa (FIG. 39). Ofta innebär dessa gångar problem vad angår både stabilitet och vatten i bergrum och tunnlar på grund av dålig vidhäftning mot sidoberget och känslighet för tektonisering (sönderspräckning och krossning, FIG. 39).

I metamorf berggrund har de basiska gångarna överförts i amfibolit och andra slag av metabasit och då fått formen av skivor, linser och körtlar (FIG. 40). Dessa har inte samma uthållighet som diabasgångarna och fäster bättre vid sidoberget, varför de inte innebär bergtekniska problem av samma art som diabaserna.



FIG. 39. Starkt uppkrossad diabasgång. Lägga märke till magman som trängt in i granitens sprickor.

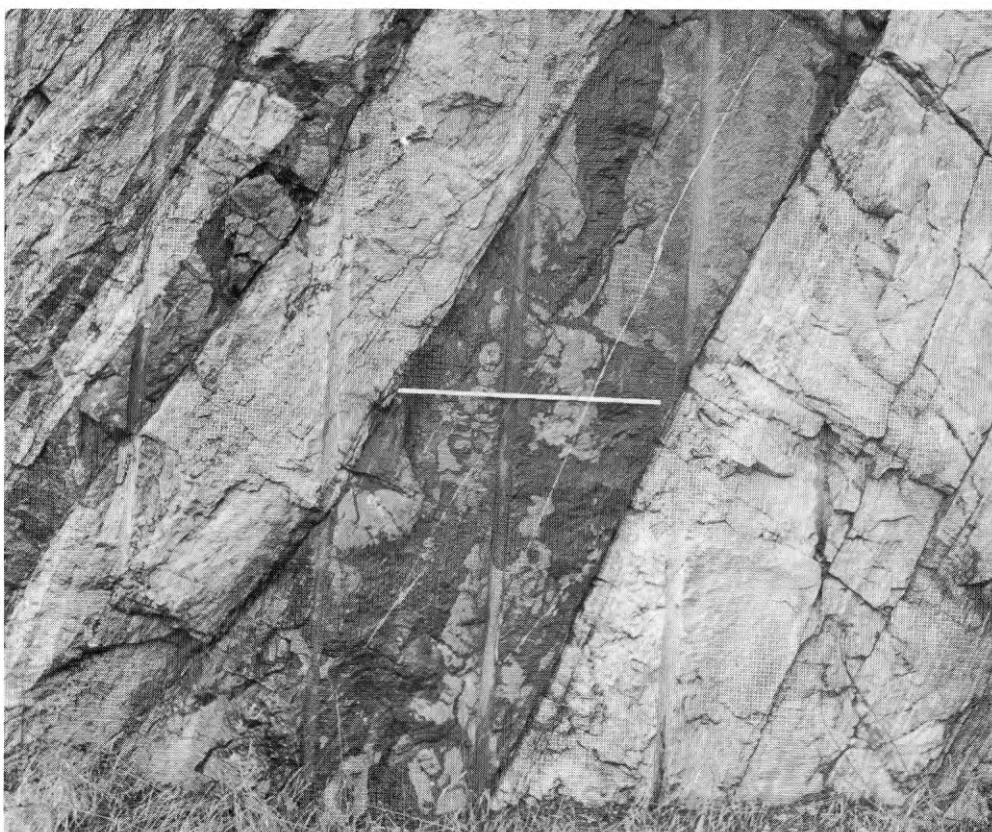


FIG. 40. Amfibolitstråk i gnejs. Lägga märke till den linsformiga bildningen till vänster. (Tumstock = 1 m).

En annan typ av eruptiva sprickfyllnader är pegmatitgångarna, FIG. 41 a. Dessa utgörs av granitens restlösningar, vilka trängt upp ej blott i sprickor utan även oregelbundna hålrum i berggrunden och limmat ihop denna. Fogen mellan pegmatiten och omgivande berggrund är ofta mycket stark. Smärre pegmatitgångar innebär inte heller någon komplikation i bergarbetet.



FIG. 41 a. Pegmatit limmar bra mot sidoberget.

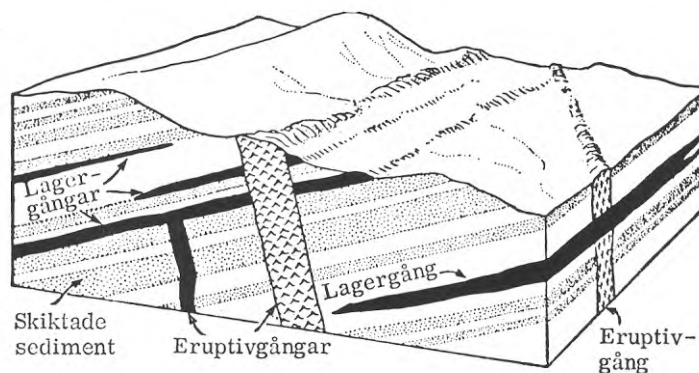


FIG. 41 b. Schematisk bild av lagergångar och eruptivgångar. De förra ansluter sig till sidobergartsens struktur medan de senare skär tvärt av. (Efter Gilluly, J. et al.: Principles of Geology, 1951).

Vissa gångformiga bergarter är instabila när man vid sprängning blottlägger dem. De omvandlas då till ett leraktigt material. Dylka gångar har vid flera tillfällen orsakat allvarliga komplikationer vid bergrums- och tunnelbyggen, jfr von Ecker-mann /3/, Morfeldt /30/, Brekke /31/, Selmer-Olsen /32/ samt BIL. 1, FIG. 2.

2.7 Diskontinuiteternas rymdorientering

Strykning och stupning. Allmänt

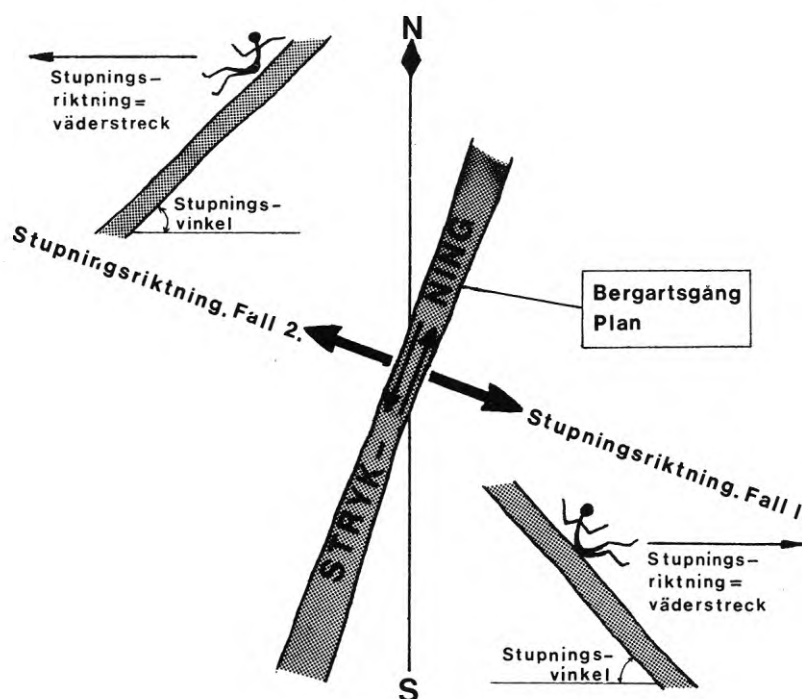
Dessa begrepp är i bergtekniska sammanhang synnerligen viktiga. En geolog anger med strykning och stupning en rymdorientering av en företeelse i berggrunden (t. ex. en bergartsgång eller en sprickzon).

Fältövningar med nära ett tusental teknologer (väg- och vattenbyggare) har lärt mig att dessa begrepp i all sin enkelhet kräver en ingående förklaring för den som skall tillämpa dem i praktiskt geo-arbete. Som exempel nedan har tagits en skivformig företeelse (en bergartsgång). Exemplet är giltigt för alla diskontinuiteter.

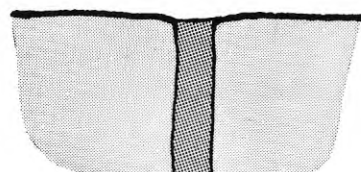
2.7.1 Strykningsriktningen

förkortat strykningen = skärningen med horisontalplanet, dvs. i terrängen, i exemplet FIG. 42 gången inlagd på kartan. Strykningen av gången i FIG. 42 är N 15° O. Gången kan sägas peka åt N eller S (jfr gata med trafik i båda riktningarna).

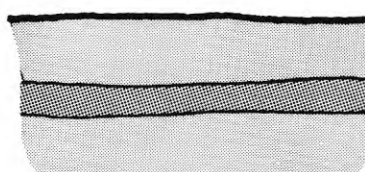
BERGARTSGÅNG – STRYKNING OCH STUPNING



SPECIALFALL



Stupning 90°. Stupningsriktning saknas.



Stupning 0°. Stupningsriktning saknas.

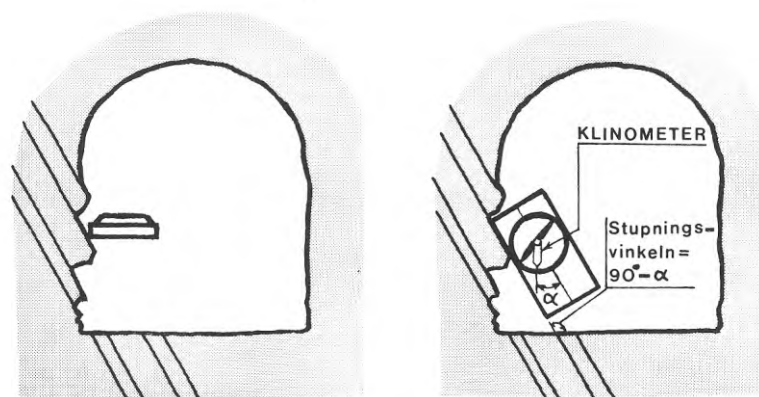
FIG. 42. Strykning — stupning, princip.

2.7.2 Stupningsriktningen,

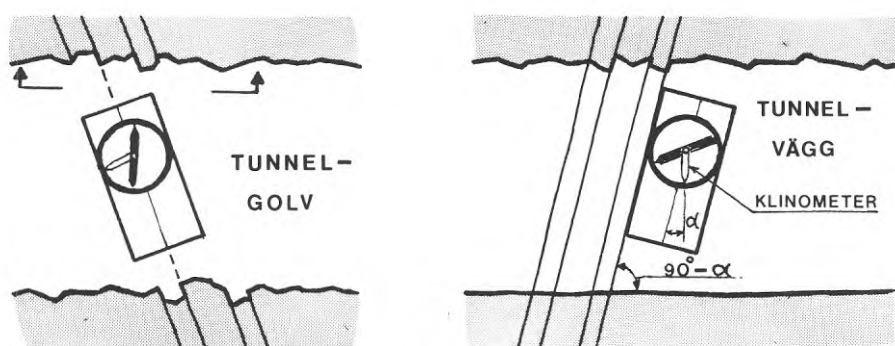
eller stupningen, är den riktning som man förflyttar sig i om man åker kana på den lutande ytan. Stupning mätes alltid vinkelrätt mot strykningen men är i fall 1 (se FIG. 42) riktad åt V och i fall 2 riktad åt Ö. Stupningen är således riktad mot ett visst väderstreck (jfr gata med enkelriktad trafik).

Graden av lutning anges med den vinkel mot horisontalplanet som den lutande ytan bildar (stupningsvinkeln). Två specialfall kan inträffa: horisontell och vertikal stupning. (jfr FIG. 43).

Med hjälp av en geo-kompass med klinometer = lutningsmätare (inbyggt "lod") kan man mäta strykning och stupning även inne i ett bergrum. FIG. 43 illustrerar tillvägagångssättet med några exempel.



EX 1



EX 2

FIG. 43. Stupning och strykning, några exempel.








På geologiska kartor anges strykning och stupning med speciella symboler enligt nedan.

2.7.3

Beteckningar för strykning och stupning å geologiska kartor enligt Sveriges Geologiska Undersökning.

Långa strecket anger strykningen.

Korta strecket och punkten anger stupningsriktningen.

	Stupning med angivet gradtal	} Planstruktur (Skiktning, skiffrihet)
	Stupning 80 - 90°	
	Lodrät stupning	
	Obekant eller starkt växlande stupning	
	Stänglighet, riktning och gradtal för stupning	} Lineärstruktur (stänglighet)
	Horisontell stänglighet	
	Vertikal stänglighet	

2.8 Vittring

En bergyta i Sverige som legat utsatt för väder och vind allt sedan den blottades av inlandsisen för mer än 10.000 år sedan visar oftast inga tecken på att ha sargats av tidens tand. De repor (räfflor) som isen åstadkom kan ännu tydligt iakttagas, se FIG. 22. På våra granithällar har man endast en tunn vittringshud = ytlig missfärgning av järnutfällningar m.m. Polerad granit som fasadsten behåller sin lyster även i den aggressiva miljö som storstadsluften i dag innebär.

Trots sin resistens mot vittring och korrosion kan genom kemisk vittring granit och många andra bergarter under geologiska tidrymder fullständigt ha nedbrutits till en jordig massa utan att någon påtaglig förflyttning av materialet ägt rum (Morfeldt 1972 — 33).

Vittringen har bl. a. orsakats av kolsyrehaltigt vatten som från ytan trängt ned i granitens sprickor och från alla håll angripit "bergblocken", FIG. 44. I den ytliga delen är graniten fullständigt omvandlad. Mot djupet avtar vittringen och s. k. kärn-

stenar, så friska att man måste spränga dem, tilltar i antal och storlek. Det finns en nedre gräns för denna ytliga vitt-ring, men den kan lokalt ha djupgående rötter i sprick- och krosszoner.

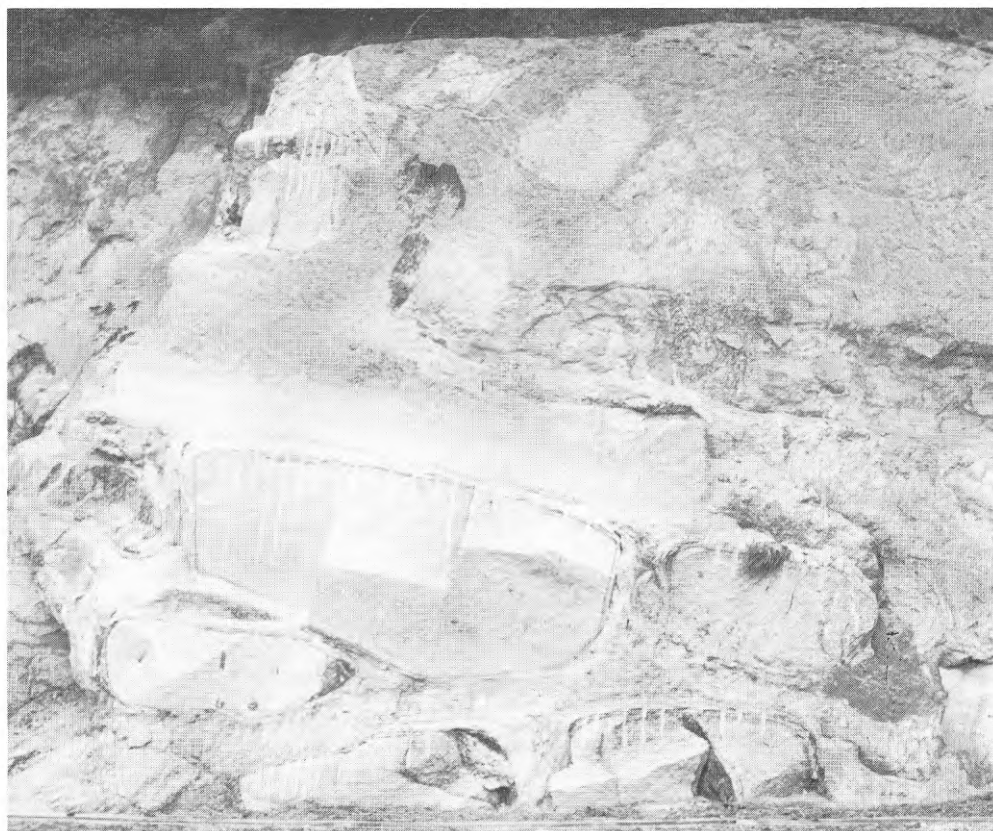


FIG. 44. Vittrat granitberg, Hongkong 1971.

Granitbergets ursprungliga strukturdrag är bevarade och visar att någon förflyttning icke har ägt rum av vare sig mineralindivid eller "bergblock".

Till skillnad från i Sverige, där is, vatten och vind danat våra jordarter, plöjer lantarbetaren i Hongkong direkt i granitberget. I Sverige har vi endast några rester kvar av det vittringstäcke som bl. a. inlandsisarna skrapat bort. Det har bevarats t. ex. på Ivöns nordspets, där fältspaterna i den hårda Vångagraniten (brytes som fasadsten) är fullständigt omvandlade till lermineralet kaolin. Vid bergarbeten bör man räkna med att man kan råka ut för vittringsrötter även på ganska stora djup, FIG. 45. I samband med uppträngande lösningar och gaser från "jordens inre" kan en likartad sönderdelning och omvandling av bergarten ha ägt rum.

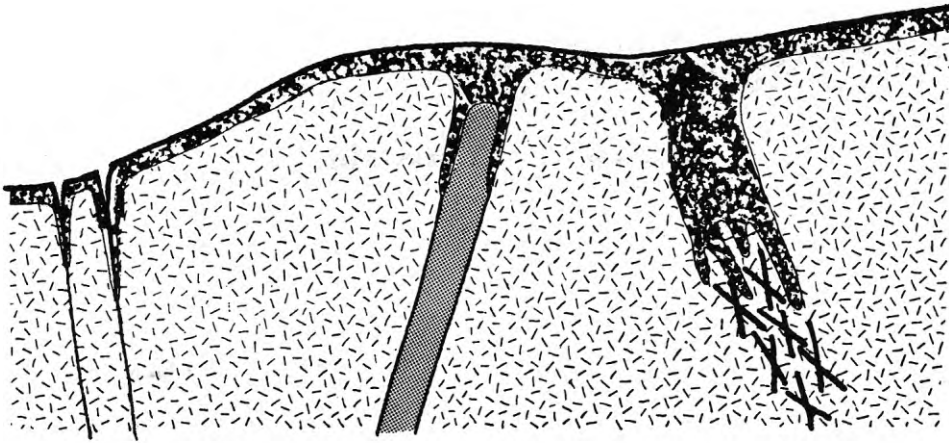


FIG. 45. I sprickor, krosszoner och bergartskontakter har vittringen djupgående rötter.

2.8.1 Svällande lera

I vissa fall har stråk eller zoner i berggrunden omvandlats till montmorillonit och liknande lermineral som i bergtekniska sammanhang har en mycket farlig egenskap. När zoner vid sprängning frilägges och icke längre står under tryck tages vatten upp och bergarten flyter ut som plastisk lera. När montmorilloniten absorberar vatten utvidgas nämligen mineralet och åstadkommer ett avsevärt svällningstryck. När utflytning ej kan ske, sprängs berget av detta tryck, FIG. 46.

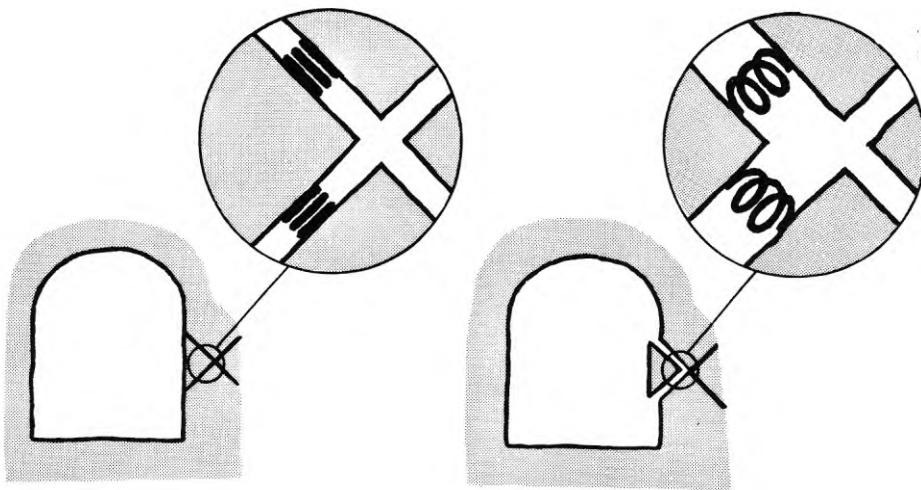


FIG. 46. Längs sprickytorna verkar den svällande leran som inbyggda domkrafter.

Man har teoretiskt beräknat att tryck av storleksordningen 10 M Pa kan utbildas. Jfr FIG. 2., BIL. 1.

Lerbildning längs sprickor och slag verkar med sin smörjande effekt menligt på bergstabiliteten (låg friktion, jfr skidvalla).

2.9 Berg, ett levande material

Berg är, hur underligt det än kan låta, ett levande material. Det krymper vid uttorkning, sväller vid vattenupptagning och rör sig vid temperaturväxlingar.

Detta var välkänt redan under antiken, där man provade byggnadsstenens egenskaper genom att låta den ligga ute i flera år. De stenblock som skadats av torka, fukt eller temperaturväxlingar sorterades bort. Vissa bergarter kan genom temperaturväxlingar eller när de losstages ur sitt naturliga spänningssammanhang falla sönder till grus (grusvittring).

2.9.1 Smällberg, knäppberg

När man åstadkommer ett hålrum i berggrunden, stör man ett spänningförhållande och skapar ett nytt. Det omgivande berget anpassar sig om än långsamt efter de nya förhållandena. Det kan ta veckor eller år, FIG. 47.

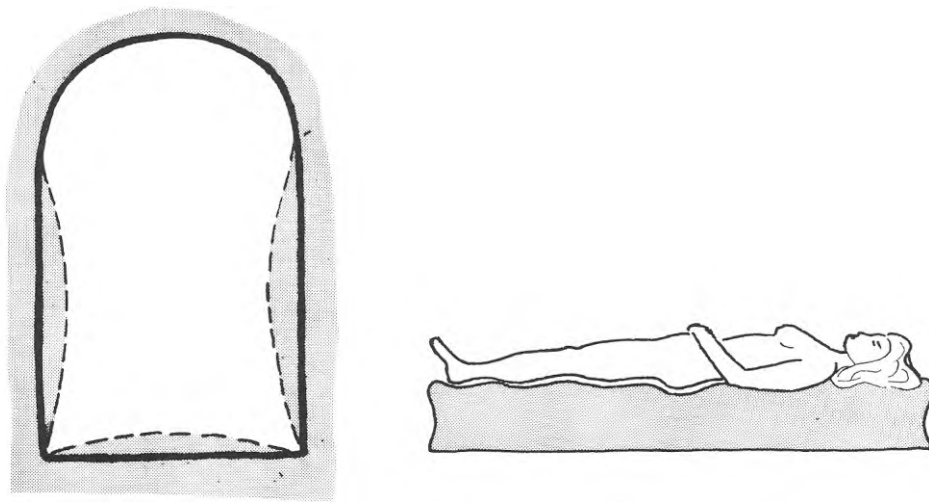


FIG. 47. Liksom bädden "vänjer" sig vid lasten "vänjer" sig berget vid spänningsomlagringen.

Detta innebär att man i spröd berggrund omedelbart efter sprängningar kan få rörelser i berget som orsakar avflagnings från väggar och tak. Fenomenet kan ske under ljuddefekter — smällar. Omlagringen av spänningarna i berget kan även förorsaka krepetering, s.k. knäppberg. Ljudet kan avlyssnas med en speciell hörapparat och tjäna till ledning vid bergtekniska bedömningar. Dessa rörelser i berget har vid bergarbeten givit anledning till vad man kallar efterskrotning. Med efterskrotning menas att man håller berget under uppsikt och med jämna mellanrum kontrollerar den "ytliga" stabiliteten genom att känna på skivor och block, vilka, som termen lyder, "bommat upp". Se vidare avsnittet Skrotning eller bergrensning.

2.10 Bergmassans kvalitet

Som framhållits kan bergmassan ha omvandlats av många olika orsaker, vittring, tektoniska processer etc. Detta gör att kvaliteten kan skifta i stort, och man behöver därför göra en grov kvalitetsbedömning.

Denna kan med hjälp av hammare eller spett bestämmas sålunda:

- | | |
|----------------------------|--|
| God kvalitet
- A - | = hårt, fast berg, som ger bergsvar eller klang för hammare och spett, är klingfast. |
| Medelgod kvalitet
- B - | = måttlig omvandling (vittring av berget, som hackas ut med hammare och vid slag ger ett klanglöst, ihåligt ljud, jfr murkna träd. |
| Dålig kvalitet
- C - | = ett berg så vittrat och omvandlat att man i vått tillstånd kan krama sönder prover av det med handen, jfr ruttet trä. |

2.11 Inverkan av bergmassans diskontinuiteter på bergrummet

Diskontinuiteterna i berggrunden påverkar mer än något annat stabiliteten såväl i stort som i smått: FIG. 48.

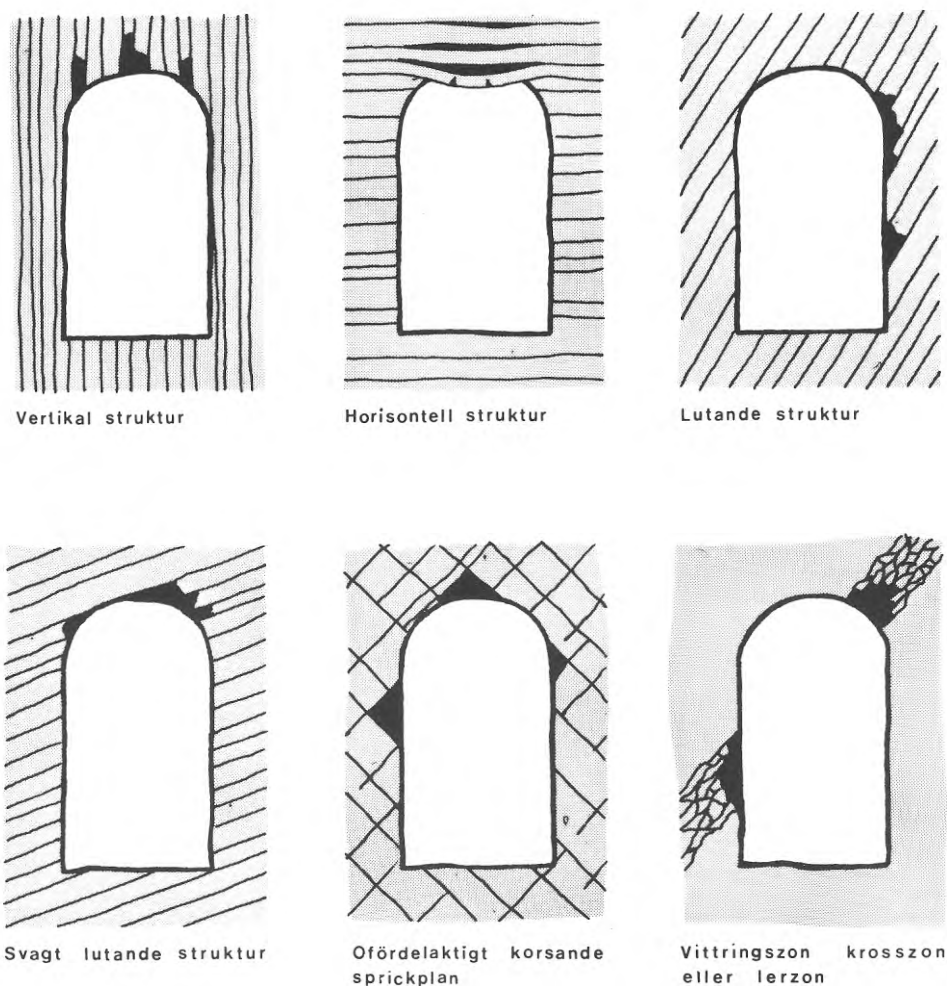


FIG. 48. Exempel på hur diskontinuiteterna (strukturerna) kan orsaka bergutfall.

2.12 Sprickor uppkomna vid eller efter sprängning

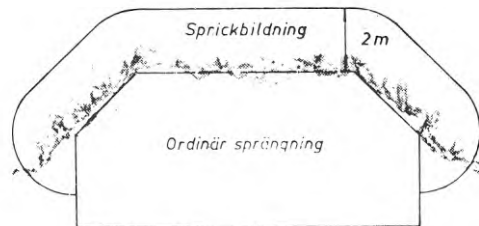
Vid utsprängning av bergrum och tunnlar liksom vid all bergsprängning förstör man en del av det kvarvarande berget. Skadornas omfattning beror på hur och med vilka medel man sprängt. Vid sprängningen sker en chockartad påverkan av berget, som inte bara öppnar befintliga sprickor och slag utan jämväl åstadkommer helt nya brottytor. Man har efter hand lärt sig att anpassa borrhning och sprängning efter olika berggrundsförhållanden och till projektens storlek. Även om berget har, ur bergteknisk synpunkt

sett, de allra bästa egenskaperna kan det vid en oförsiktig sprängning förstöras och därmed medföra omfattande skrotnings- och förstärkningsarbeten. Resultatet av sprängningarna är ur dessa synpunkter i hög grad beroende av insatsen från personalen vid borrharna. Det kan ges många exempel på hur man i ett fall lyckats mycket bra och i ett annat fall mycket dåligt med samma bergparti, dvs. i ena fallet har man fått lägga ner stora kostnader på skrotning och förstärkning, medan man i andra fallet har erhållit en slät och jämn takyta i bergrummet, FIG. 49.

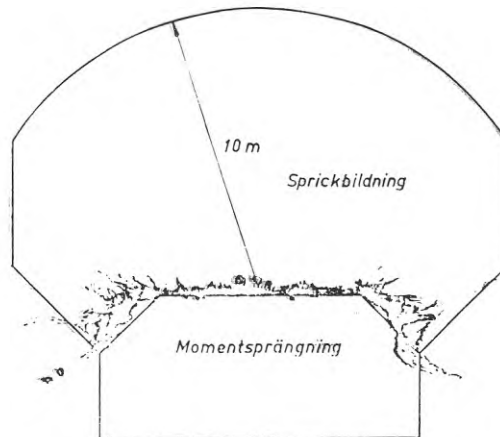


FIG. 49. Tunnel i granit. Taket är nära nog sprickfritt även efter sprängningen.

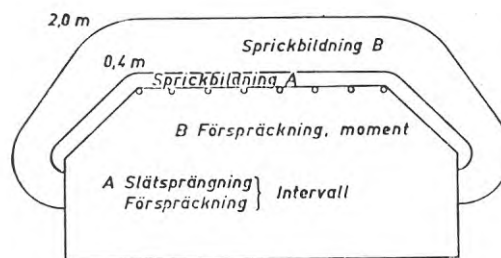
Langefors /34/ har visat hur takberget skadas i olika omfattning beroende på den sprängning och borrhning som användes. Hur försiktigt man än spränger kan man emellertid inte undgå att befintliga sprickor öppnas av spränggaserna och man kan heller knappast undvika att nya sprängsprickor uppträder i såväl väggar som tak.



Bergets hållfasthet i närområdet kring utsprängda rum påverkas på ett avgörande sätt av utsprängningen.



Med moment-sprängning fås jämnare kontur, men kraftigare skakningsverkan erhålles på större avstånd från konturen.



Med förspäckning och slätsprängning med intervalltändning kan berget lämnas praktiskt taget intakt utanför den utsprängda konturen.

FIG. 50. Hur olika sprickmönster påverkar det kvarvarande berget.

Det är en maktpåliggande uppgift för Geo-mannen att kunna skilja mellan de sprickor i berget, som har så att säga naturlig bakgrund, och sådana som har åstadkommits av människan i samband med bergarbetet. Mera härom i avsnittet Handledning.

2.13 Vattnet i berget

Berggrundens vattenföring är, som tidigare nämnts, i många tekniska sammanhang av mycket stort intresse och det är därför viktigt att man vid geo-karteringen även fångar in alla iakttagelser om berggrundens vattenföring. Klart bör sägas ifrån att samtliga kristallina bergarter, som här berörs, är praktiskt taget vattentäta. Det är i bergmassans sprickor och krosszoner som vatten tränger fram.

I sedimentära bergarter kan man emellertid råka ut för en allmän vattenläckning när konsolideringsgraden är ofullständig, dvs. vattnet tar sig fram i hela det porösa materialet och i skiktfogar.

Vattnet spelar i alla typer av bergmassor en flerfaldig roll. Porvattnet mellan kristallerna och kornen nedsätter hållfastheten. I sprickor verkar porvatten smörjande och nedsätter sprickfriktionen, medan fritt sprickvatten åstadkommer tryck på sprickytorna med nedsättning av förbandshållfastheten som resultat och kan ge dynamiska påkänningar i samband med strömningstryck eller s.k. sprickvattenslötar. Å andra sidan kan vatten i sprickigt berg också verka adhesivt sammanhållande, varvid uttorkning orsakar uppbomning och ej sällan ras. Behovet av information beträffande vattenförhållandena i berg är i allra högsta grad projektbundet. Vid vissa projekt kan man acceptera kraftiga vattenläckningar så länge man har pumpkapacitet nog att hålla undan vattnet.

För att undvika grundvattensänkning kan det ibland bli nödvändigt att man tätar berggrunden extremt. Man eftersträvar i dag i Stockholms- och Göteborgsområdet att genom förinjektering täta bergtunnlarna så att man kommer ned till en vattenläckning understigande 10 l/min. per km tunnel. Detta är en vattenkvantitet som är så liten att den är nästan omöjlig att mäta i ett ordinärt tunnelarbete. Vid oljelagringsanläggningar, där man ofta är tvungen att hålla läns till 80° uppvärmt vatten, innebär inläckning en stor driftskostnad. Med anledning härav strävar man efter att täta t. ex. ett bergrum för oljelager på 100 000 m³ så att man får en inläckning understigande 20 l/min. Vid noggranna mätningar av inläckande vattenmängder i långa bergtunnlar i gnejs- och granitberggrund har man, sedan starkt läckande sprick- och krosszoner tätats, inmätt en genomsnittlig, låt oss säga naturlig läckning av 100 l/min. per km tunnel. Nämnas kan att man gjort mätningar i många isolerade, vattenförande sprick- och krosszoner och därvid funnit att man kan ha en läckning av 5 - 10 l/min. och zon. Sådana zoner måste man dock alltid täta med förinjektering i samband med tunneldrivning och bergrumsbyggande. Jfr Hagerman och Morfeldt, 1953 / 35/, Morfeldt / 36/.

DEL II

BERGETS VÅRD, FÖRSTÄRKNING OCH TÄTNING

3 SKROTNING ELLER BERGRENSNING

Skrotning innebär avsyning av bergets beskaffenhet, prövning av dess klingfasthet och vidhäftning samt borttagande av därvid upptäckta lösa partier. Skrotningen skall planläggas, ledas och bedrivs så att inte säkerheten äventyras. För noggrann prövning av bergets klingfasthet kräves tystnad. Skrotning i bullrande miljö bör undvikas.

Berglossning kan inträffa på grund av följande orsaker:

- Sprickigt eller vittrat berg. (2.6.1), (2.10).
- Sprickbildning (uppluckringszon) runt nysprängt bergutrymme. (2.10.2).
- Spänningsomlagringar i berget på grund av det utsprängda rummet. (2.9.1).
- Spänningsomlagringar eller minskad vidhäftning längs sprickor i berget förorsakade av uttorkning eller uppvärmning. (2.9).
- Skakningar i samband med pågående sprängningar.
- Vibrationer vid t. ex. borrhning.

Man skiljer mellan salvskrotning och efterskrotning. Salvskrotning utföres omedelbart efter sprängningen för att minska risken för stenedfall vid fortsatt arbete.

Efterskrotning göres första gången så nära som möjligt efter salvskrotningen, när berget ännu inte kommit till ro.

Varje person som anförtros en skrotningssuppgift måste ges entydiga besked om utsträckningen av det område som han skall avsyna och skrota. Man bör föra dagbok över efterskrotningen. Nybörjaren bör en längre tid läras upp under ledning av erfarna skrotare.

Bergsvaret för skrotningsspettet ger besked om berget är bomt eller klingfast. Vid ett bergmästaredistrikt har man på försök infört en bestämmelse som går ut på att en skrotare har rätt till 1,5 minuters tystnad pr m² takarea. Detta visar klart hur stor vikt man lägger vid provningen av bergstabiliteten medelst ljudindikation.

3.1 Bergförstärkning genom bultning

För att hindra ras eller nedfall av block och skivor "syr" man ihop berget genom att i borrhåll föra in "pliggar" av stål, vanligen kamjärn, och gjuta fast dessa med cement eller plast. Bultarnas riktning anpassas efter strukturförhållandena i berget och ges varierande längd beroende på de lastningsantaganden som man för varje enskilt fall kan räkna fram.

Partiellt fästes enstaka lösa bergpartier på anvisning av bergsakkunnig med en eller flera bergbultar. FIG. 51. Vid ihållande bergstrukturer, som ger anledning till förstärkning, kan generella bultningsanvisningar ges, t.ex. 1 bult per m^2 . FIG. 52. För att man skall erhålla god samverkan mellan bultstålet och berget, kräves fullständig ingjutning. Detta är viktigt även ur rotskyddssynpunkt. Obs. särskilt bultens ytterände.

Flera olika metoder användes och de har alla för- och nackdelar. I vissa fall förses bultarna med bricka och mutter och kan eventuellt förspännas. Forsknings- och utvecklingsarbete pågår och såväl plastingjutna bultar av stål som bultar av nylon förekommer. Jfr Bjurström / 41 / och Fjelbolting / 42 /.

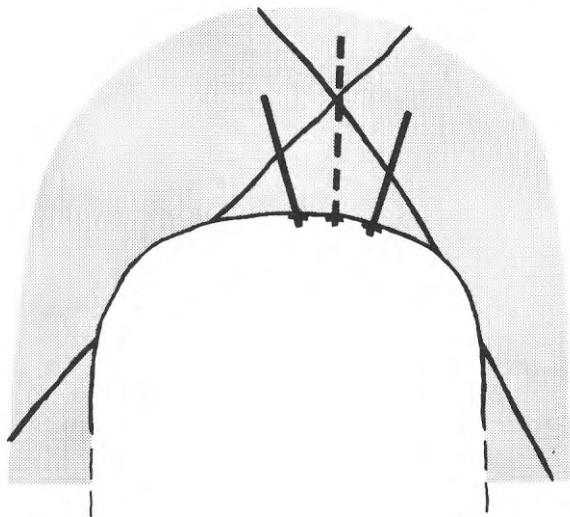


FIG. 51. Geo-anpassad punktvis bultning. Efter Bjurström / 41 /.

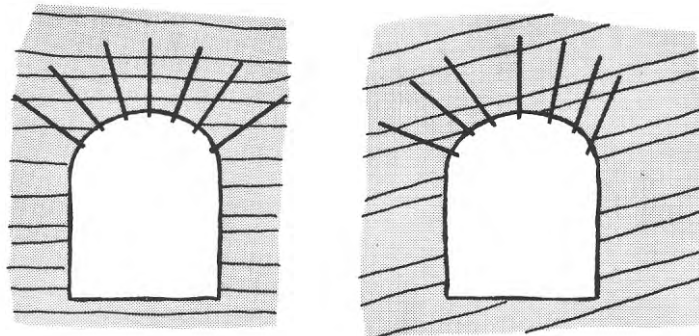
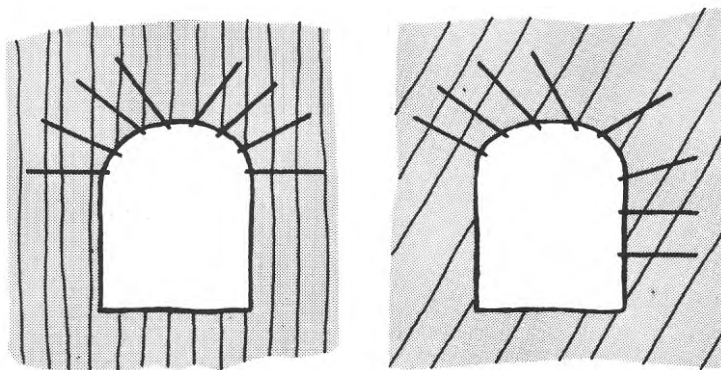


FIG. 52. Geo-anpassad systembultning. Efter Heltzen et al. /42/ Fjelbolting.



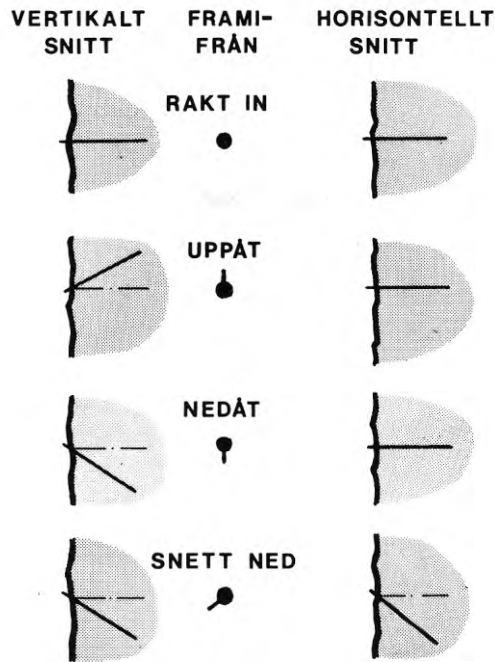


FIG. 53. Redovisning av bultriktning. Efter Fjelbolting. /42/.

3.2 Förstärkning med sprutbetong

Sprutbetong för förstärkning kan sägas fungera på två sätt. Ett tunt påslag av sprutbetong har en fixerande verkan på sprickiga bergytter och håller s.k. "låsstenar" på plats så att några rörelser inte uppkommer. Även ett tunt sprutbetongpåslag har på grund av sin veckade yta en viss styvhet (jfr ett i olika riktningar tillbucklat stanniolpapper).

Av mera bärande och överbryggande karaktär blir sprutbetongen om den nätarmeras, utföres med flera påslag och samverkar med bultar. I sådana fall kan sprutbetongen till och med bära upp rasbenägna krosszoner och skölar.

Vid sprutbetongarbeten FIG. 55. är det viktigt att bergytan omsorgsfullt rengöres så att god vidhäftning sker mellan sprutbetong och berg. Ytterligare forskning sker på detta område.

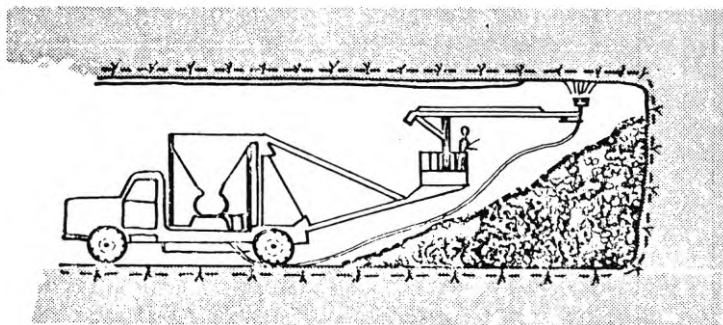


FIG. 54. Driftförstärkning med sprutbetong.

På starkt vattenförande bergytor fäster inte sprutbetongen. Man måste i sådana fall dirigera vattnet till dräneringsrör, som sprutas över med betong. Genom dräneringen förhindras också att vattentryck byggs upp bakom sprutbetongförstärkningen.

Som tidigare nämnts användes numera sprutbetong med förkärlek framför allt i höga bergrum för att hindra stenedfall vid fortsatt sprängning. Jfr 1.4, FIG. 5.



FIG. 55. Tunnel i dåligt berg förstärkt med sprutbetong och sprutade bågar.

3.3 Tätning och konsolidering av berg medelst injektering

Metoden att laga berg, dvs. att fylla sprickor och håligheter med cement så att berget tätas och konsolideras har länge tillämpats, framför allt när det gäller berg under dammar. Även i samband med tunneldrivning tillämpades tidigt injekteringsteknik.

Metoden går i huvudsak ut på att man genom bergborrade hål med pumpar trycker in en cementsuspension i berget, varvid man eftersträvar att fullständigt fylla ut sprickor och håligheter. Detta innebär inte bara att berggrunden blir tät utan att man även erhåller en konsoliderande effekt som ökar bergstabiliteten och sammanhållningen mellan "bergblocken".

För att erhålla den senare effekten är det viktigt att man tvättar sprickor och håligheter rena genom omsorgsfull vatteninpressning och spolning mellan borrhålen, FIG. 56.

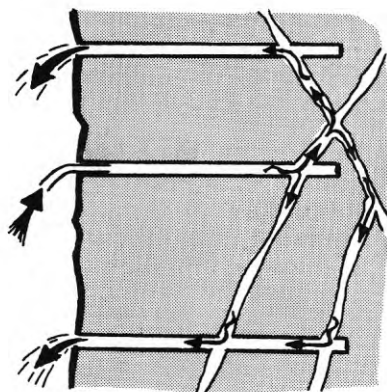


FIG. 56. Urspolning (tvättning) av sprickor före injektering.

Tidigare utförde man injektering först sedan man efter tunnelns utsprängning upptäckt att berget var dåligt och läckte. Denna s.k. efterinjektering har emellertid den nackdelen, att när man i en punkt injekterar med relativt högt tryck sprutar cementslammet ut i sprickutträdet i tunnelväggarna. Man försöker då med tråkilar och trasor täta sprickorna så att man uppnår ett injekteringstryck som ger spridning åt injekteringsmaterialet.

Denna typ av injektering är emellertid en ganska hopplös uppgift, eftersom man hela tiden "flyttar" vatten i tunnelns väggar, tak och botten. Det är också en tidsödande procedur att "jaga" vattenet med tråkilar och trasor.



FIG. 57. Med tråkilar och trasor söker man förhindra att injekteringsbruket sprutar ut.

x) Injektering har inte bara en tätande effekt utan förbättrar även i hög grad bergmassans bergmekaniska egenskaper, (=konsoliderar berget).

Dessa erfarenheter öppnade tidigt vägen för ett annat förfa-
ringssätt, s. k. förinjektering, vilket innebär att man i bryt-
fronten borrar långa injekteringshål genom vilka man kan in-
jektera med högt tryck innan man "spränger på sig" dåligt
berg och vatten. Jfr 1.7, FIG. 6.

Metoden har emellertid den nackdelen att den avsevärt hind-
rar den rationella tunneldrivningen då man inte säkert vet var
man behöver förinjektera.

Vid cementinjektering skall cement-vattenblandningen anpas-
sas efter sprickornas och porernas permeabilitet. Det kan
ibland vara nödvändigt att använda mycket tjocka blandningar
av cement-sand-sågspån eller annat fillermaterial.

FIG. 58 visar systematisk förinjektering vid drivning av tunnel
i kalkberg från Köpenhamn under Öresund, /Jespersen, år 1945/.

Först i början på 1950-talet började man fundera över hur man
på ett systematiskt sätt skulle kunna samordna tunneldrivning
och (punktvis) selektiv förinjektering. Då skapades begreppet
rationell förinjektering, vilket innebär att man redan tidigt
skaffar sig informationer om bergförhållandena så att man i
förväg vet i vilka tunnelavsnitt förinjektering kan komma att
krävas.

För att verifiera gjorda prognoser skall man inifrån tunneln
sonderingsborra dessa avsnitt och kontrollera tätheten medelst
vatteninpressning och vattenförlustmätning i sonderingshålen.

Denna geoanpassade förinjektering finns beskriven i 35, 1955.

De injekteringar som före 1960-talet skedde i bergrum och
tunnlar har till övervägande del utförts för att hindra stora,
för tunnelarbetet besvärande vatteninläckningar.

Sedan det under 1960-talet blev klarlagt att man via tunnlar
kan orsaka grundvattensänkningar med stor förrödelse som
följd, även om vatteninläckningen är ringa, har fintätning av
berg genom injektering kommit till användning. Härvid har det
selektiva geo-anpassade förinjekteringsmönstret ersatts med
kontinuerlig förinjektering, varvid injekteringsförfarandet in-
arbetats i tunnelrutinen.

För fininjektering av berg har under senare år även plastpro-
dukter och andra organiska material kommit till användning.
Forskning pågår nu (BFR) för att klargöra dessa produkters
användbarhet och hållbarhet på lång sikt.

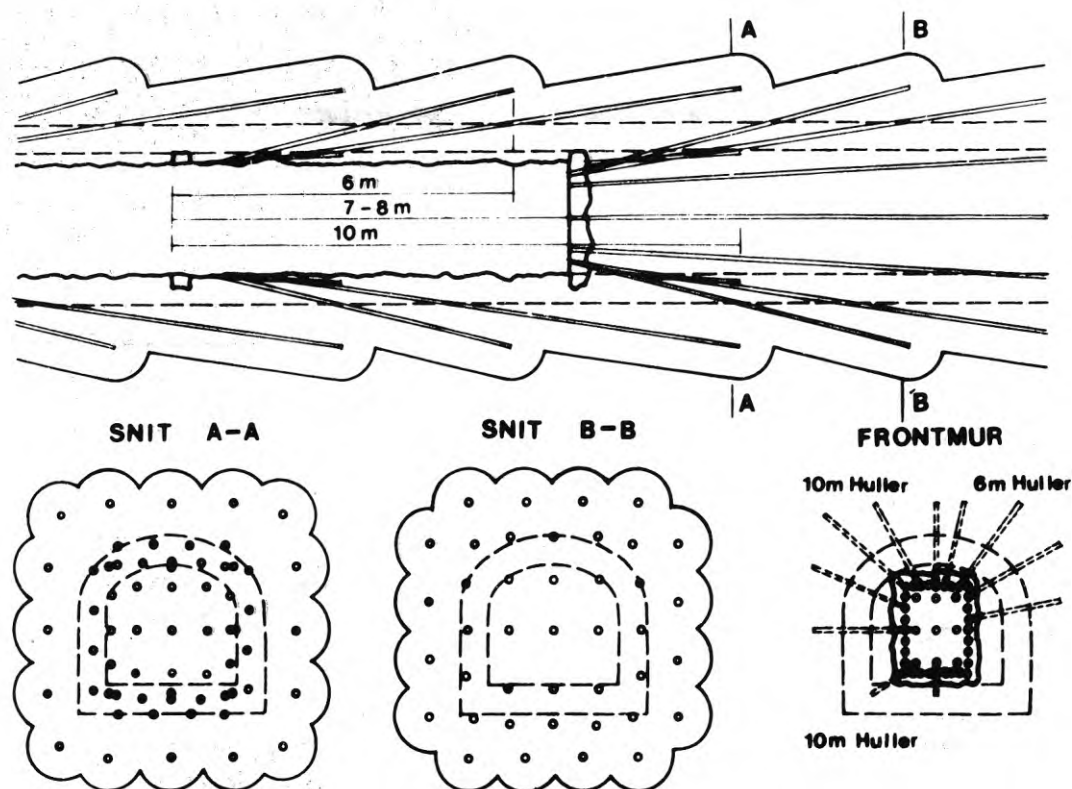
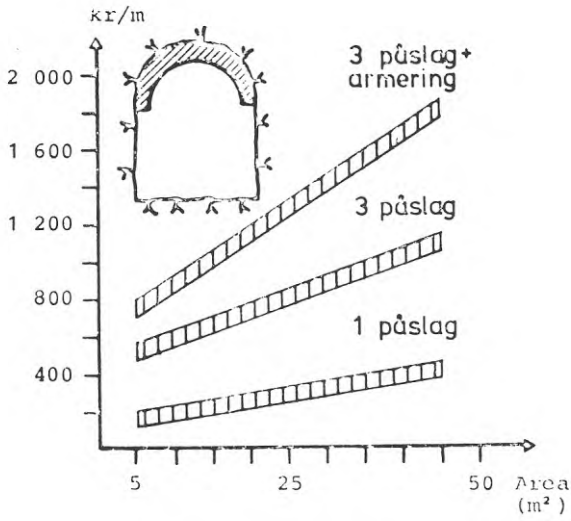


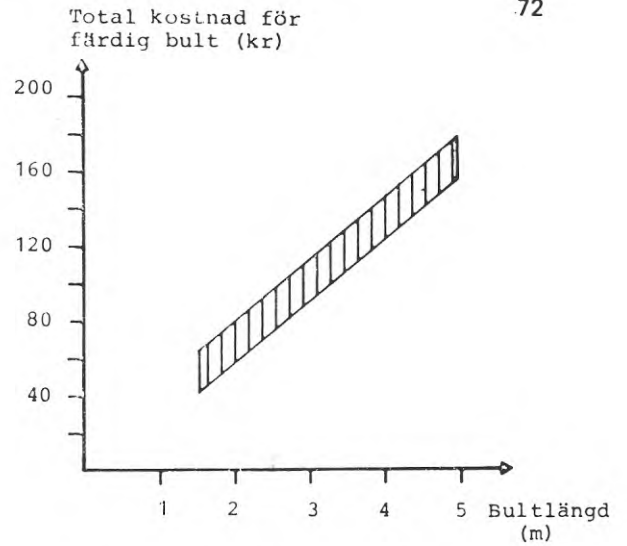
FIG. 58. Systematisk förinjektering vid drivning av tunnel i kalkberg från Köpenhamn under Öresund. Enl. Jespersen, 1945 / 6 /.

3.4 Sprutbetong, injektering, systembultning, helingjutning, tunnelsprängning: kostnader i svensk prisnivå 1975

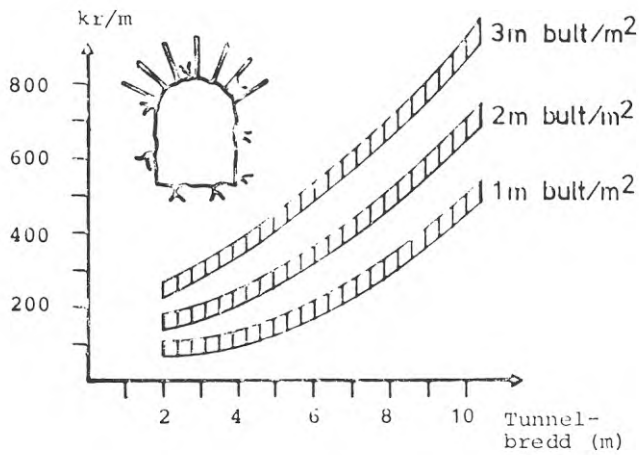
Med GEO-ANPASSADE förstärkningsåtgärder, dvs. bästa förstärkningsåtgärd på rätt plats, kan kostnaderna hållas nere utan att man gör avkall på säkerhet och funktion på lång sikt. För att läsaren skall få en någorlunda uppfattning om storleken av kostnaden för olika förstärkningsåtgärder redovisas dessa, liksom sprängningskostnaderna, med kurvor, FIG. 59 a och 59 b.



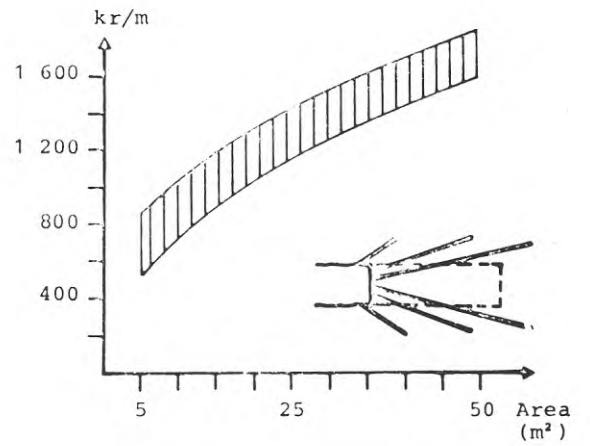
Kostnad för SPRUTBETONG-förstärkning av tak som funktion av tunnelarean



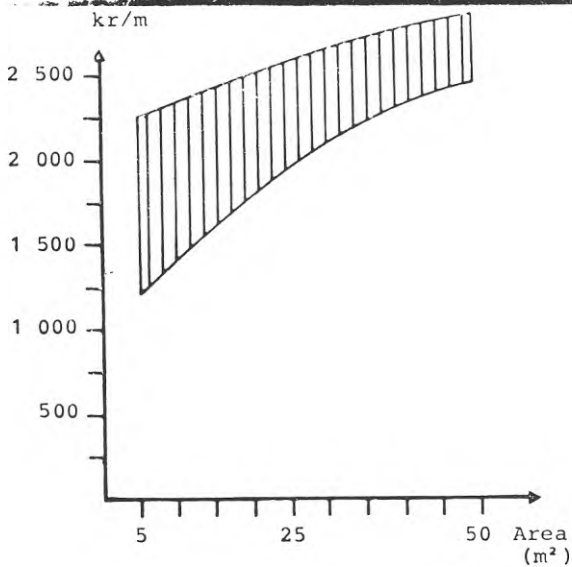
Totalkostnad för infäst BULT som funktion av bultlängden



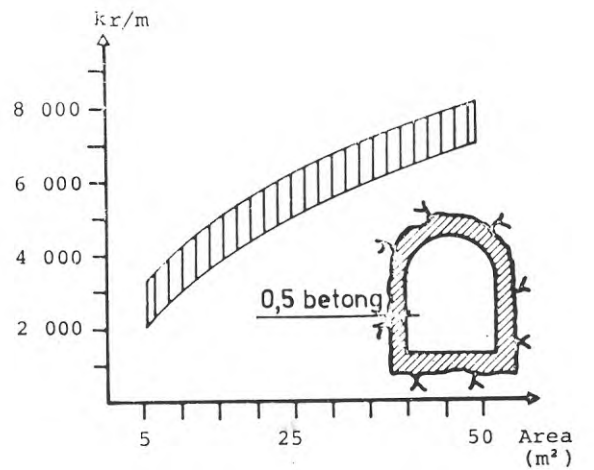
Kostnad för SYSTEMBULTNING som funktion av tunnelbredden



Kostnad för FÖRINJEKTERING som funktion av tunnelarean

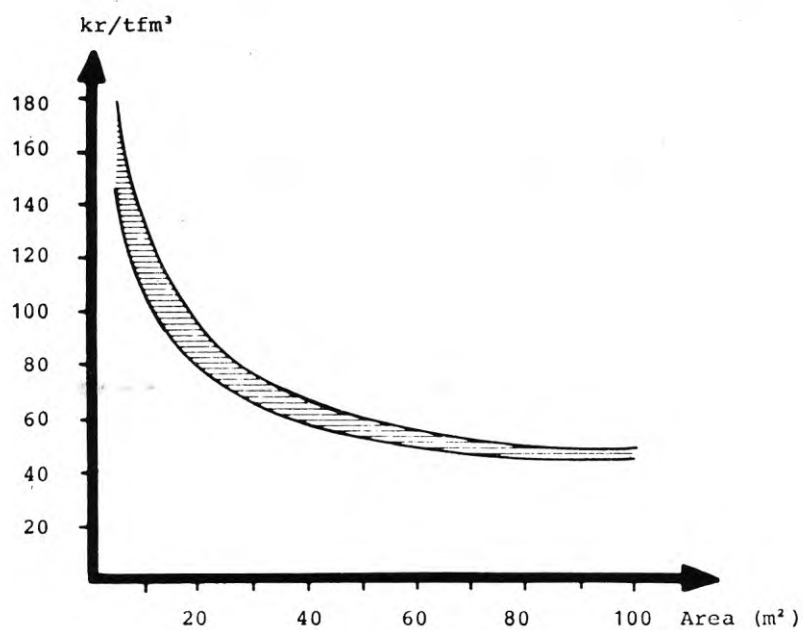


Kostnad för EFTERINJEKTERING som funktion av tunnelarean

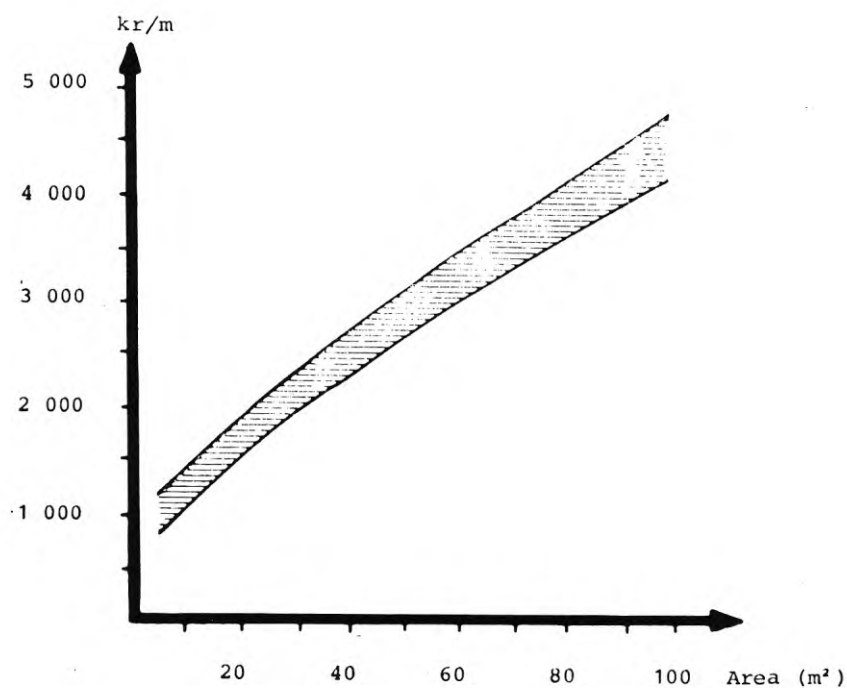


Kostnad för HELINGJUTNING som funktion av tunnelarean

FIG. 59 a. Kurvor för förstärkningskostnader. Ur Undermarksplanering, 1975. /7/.



Kostnaden för att spränga ut en tunnel anges oftast i kronor per utsprängd volym för olika areor areor.



Utsprängningskostnader för tunnlar av olika areor kan också anges i kronor per längdmeter tunnel.

FIG. 59 b. Kurvor för tunnelsprängningskostnader. Ur Undermarksplanering, 1975.

DEL III

HANDLEDNING FÖR BYGGNADSGEOLOGISK UPPFÖLJNING OCH KARTERING

Den utredning och studie som här redovisas har strävat efter att ge svar på följande frågor:

NÄR skall geo-uppföljningen ske?

VAD skall analyseras och registreras?

VEM lämpar sig för geo-uppföljningen i berget?

HUR skall geo-karteringen gå till?

VEM kontrollerar och ansvarar?

HUR redovisas slutresultaten?

VEM bör ansvara för och arkivera dessa?



Vinjettbild 3.

SKROTNING, LASTNING OCH GEOKARTERING

Mänskligt förnuft och erfarenhet kan icke ersättas med någon datamaskin.

4 BERGARBETSPLATSEN — EN SPECIELL MILJÖ

Arbetsmiljön under jord skiljer sig i hög grad från andra byggmiljöer. Bergborrharnas buller är öronbedövande liksom ljudet från lastmaskiner och fordon. När spränggaserna vädrats ut råder ännu en tät dimma av fukt och damm. Belysningen ger ofta endast ledsyn. Trängseln är stor på grund av ständiga transporter ut och in. Flera arbetsmoment pågår samtidigt, t. ex. utlastning, skrotning, förstärkning, inmätning och reparationer. Miljön är med andra ord för ovant folk riskabel. Bergväggarna belamras snabbt med kablar och rör och blir även otillgängliga för observationer på grund av beläggning med stenmjöl, sot, olja samt utfällningar av järnföreningar m. m.

Den bästa berggrundsanalysen kan därför, som tidigare nämnts, göras direkt efter sprängningen, när avgaserna vädrats ut. Då är bergväggarna ännu våta, varför strukturer och reliefer bäst kommer till synes. Vid utsprängningen av flera bergrum kan man, sedan transporttunneln är färdig, arbeta på mer än en front samtidigt. Vid tunnelarbeten kan man på sin höjd ha två fronter per tillfartstunnel eller schakt. Arbetsmönstret blir därför olika för olika projekt.

4.1 När kan geo-mannen komma åt att utföra sina arbetsuppgifter?

För att få svar på denna fråga har man studerat tre typer av bergarbeten i detalj, nämligen en spårtunnel på 24 m², en mindre va-tunnel på 14 m² samt ett oljelager på mer än 600 m² yta.

Dygnsrytm för de olika arbetsmomenten i respektive projekt redovisas i cirkelsektorer, symboliserande en klocka med 24 timmar: FIG. 60.

En geolog av facket, en ingenjörgeolog samt en praktiker med livslång erfarenhet av arbeten nere i berg har analyserat de olika arbetsmomenten för att utröna vid vilka tillfällen geo-mannen kan komma åt att göra sina observationer.

Såväl arbetare som arbetsledning har på dessa arbetsplatser lämnat synpunkter och uppgifter som i hög grad bidragit till att göra denna handledning praktiskt användbar i, som tidigare nämnts, en mycket ovanlig miljö.

Som framgår av dygnsanalyserna är det vid relativt få tillfällen som geo-mannen kommer åt att analysera berget vid en brytfront. Eftersom indriften per dygn endast är ett fåtal meter bör han emellertid hinna göra sina observationer på den timme som står till buds efter varje sprängning. Om man skjuter upp mer än två brytfronter samtidigt torde emellertid tiden blir knapp. En förutsättning är att man hinner ordna med ordentlig belysning.

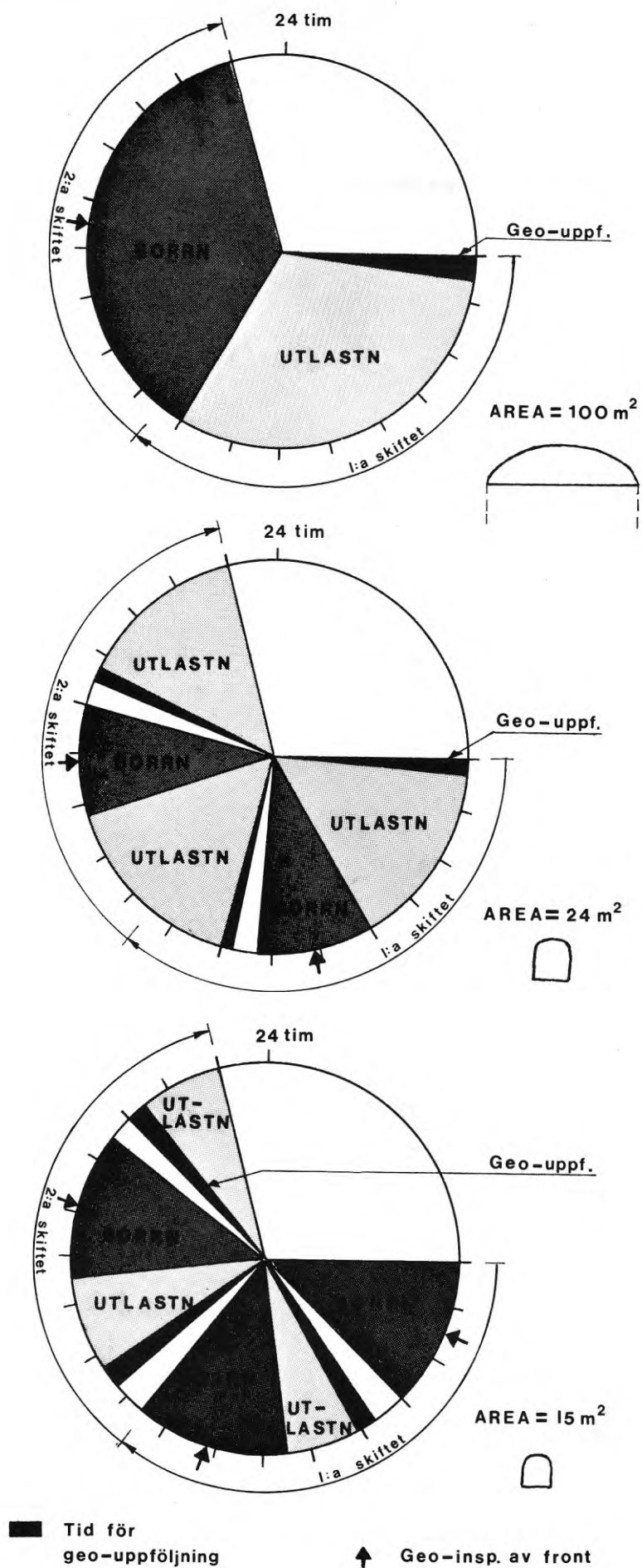


FIG. 60. Dygnsrytm vid tunnelsprängning.

Det förutsättes att geo-mannen har god kontakt med berg-folket, såväl borrhare som skrotare, och inhämtar informationer från dessa, liksom att han studerar brytfronten även före sprängningen, då denna blivit ren av borrharens spolvatten.

Hur detaljerat geo-mannen skall bedriva sina berggrundsstudier beror, som tidigare nämnts, på typen av projekt. Vissa grunddata skall dock i alla sammanhang inhämtas och geo-mannen skall på ett snabbt sätt notera sina iakttagelser och redovisa dem så att de bli lättillgängliga för så många intresserade som möjligt.

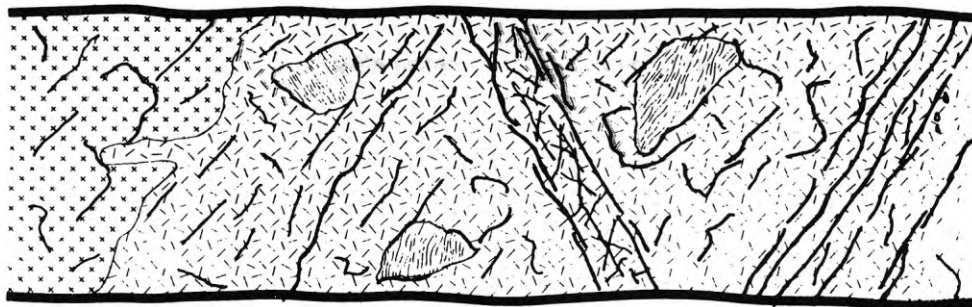
Många försök har gjorts, inte bara i Skandinavien utan på flera håll i världen, att lösa dessa frågor, och många olika redovisningssätt har under hand framkommit. Polaroidkamera för fotografering av det nysprängda berget har även använts. Proctor 1971 /19/.

Att tolka bergets egenskaper från foto är emellertid vanskligt då strukturerna i berget gärna överdrivs på grund av skugg-effekter eller utplånas på grund av reflexer i den våta bergväggen.

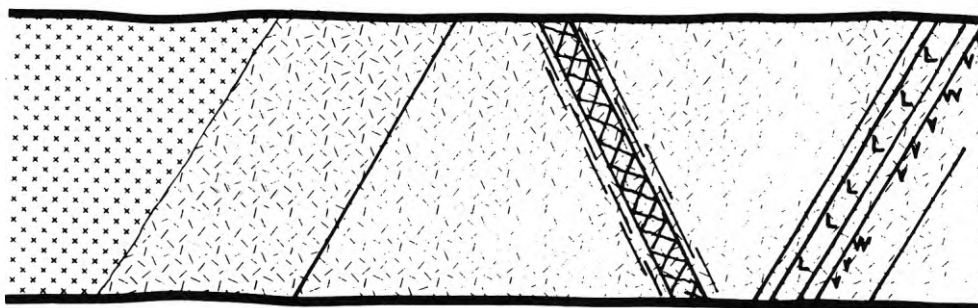
Fotoutrustningar är svåra att hantera i den fuktiga miljön. En kontinuerlig fotografering ger ett omfattande fotomaterial, som är svårt att redovisa överskådligt och enkelt. Detta har gjort att en uppföljning av bergförhållandena på fotografisk väg inte slagit igenom. Dock är metoden att rekommendera när man dokumenterar enskilda, ovanliga företeelser i berggrunden.

4.2 Geo-mannens speciella problem

är att kunna sovra bland de informationer han får vid studium och analys av berget. Det är en allmän erfarenhet att den ambitiöse geologen vid sina första bergkarteringsarbeten tar med alla sprickor och mönster i berggrunden. Hans alster blir oläs-bart, och det virrvarr av sprickor som redovisas nära nog av-skräcker från en fortsättning av bergarbetet. Endast sprickor med geologisk bakgrund (studera sprickytorna m. m.) skall med-tagas, och grupper av sprickor och typiska sprickmönster behö-ver inte avritas men skall anges till läge, typ (mönster) och in-bördes avstånd. Även när det gäller bergartsfördelningen måste en grov generalisering göras; man kan inte och bör inte avbilda allt man ser. FIG. 61. Det är i tunneln urvalet skall ske och icke när man renritar från protokollen. Geo-mannen bör i detta avseende tränas av en erfaren geolog.



GEO-KARTERING AV TUNNELVÄGG
UTAN URSKILJNING



SELEKTIV GEO-KARTERING AV TUNNELVÄGG

FIG. 61. Geo-kartering av tunnelvägg.

4.3 Vem lämpar sig som geo-man?

Av utförda analyser framgår att geo-mannen endast under mycket kort tid kommer åt att göra sina observationer. Även om man har flera brytfronter så kan man inte räkna med att all hans arbetstid fylls med meningsfyllda uppgifter. Geo-mannen bör därför ha sådan utbildning och erfarenhet att han även kan användas till andra rutiner i tunnelarbetet.

Det är sällan man i kombination med ingenjörsutbildning skaffar sig geo-kunskap. Därför kan man i dag endast undantagsvis hoppas på att i den ordinarie arbetsstyrkan finna en lämplig geo-man.

I avvaktan på att elever kommer ut från den geoteknologiska linjen vid högskolan i Luleå bör man omedelbart söka lösa problemet genom att låta t. ex. utsättningspersonal eller verkmästare genomgå någon form av kurser i mineral- och bergartslära, strukturgeologi och geo-kartering.

Den geolog som alltid bör följa ett bergprojekt (förundersökning, projektering och byggnad) skall även ansvara för geo-uppföljning och geo-kartering.

4.4 Geo-kartering — målsättning

Vid utarbetandet av det system för den byggnadsgeologiska uppföljningen och karteringen som här redovisas har målsättningen varit:

- Arbetet skall kunna utföras i den tidigare beskrivna, påfrestande miljön (ej skriv- och ritvänlig).
- Arbetet skall kunna utföras utan andra instrument än hammare.
- Protokollföringen i fält skall utföras på ett sådant sätt att perspektivskisser inte kräves.
- Den geologiska "stenografin" skall innehålla ett mycket begränsat antal tecken så att minneslistor och uppslagsböcker icke behöver användas vid arbetets utförande.
- Protokollet skall vara enkelt och lättläst.
- För utförandet av uppgiften skall icke krävas en professionell geolog, men geo-mannen skall ha baskunskaper i mineralogi, petrografi, strukturgeolog etc. En med bergarbeten väl förtrogen geolog (petrograf) leder och ansvarar.
- I slutredovisningen skall symbolerna även ge en visuell känsla av företeelsernas storlek, t. ex. bred eller smal krosszon, bred eller smal sprickzon. Strukturelementens rymdorientering sker på ritkontoret.
- För att underlätta geo-mannens klassificering har man gjort försök att begränsa sig till tre värderingar, t. ex. vid bedömningen av bergmassans kondition med hänsyn till omvandling och vittring (kvalitet A, B, C) eller sprickvidd (I, II och III). Jfr 2.10.

4.5 Varför gör man en byggnadsgeologisk uppföljning och kartering?

- För att kontrollera bergförhållandena och förundersökningarnas prognoser (säkerhetsfråga).
- För att dokumentera berggrundens beskaffenhet innan den genom sprutbetong eller andra åtgärder blir otillgänglig för observation.

- För att kunna bedöma behovet av provisoriska förstärkningar (arbetarskydd).
- För att kunna bedöma behovet av permanenta förstärkningar (= funktion och säkerhet på lång sikt).
- För att kunna bedöma behovet av tätningsåtgärder med hänsyn till anläggningens funktion eller med hänsyn till risken för skadlig grundvattensänkning etc. (risker för miljö och människor ovan mark).
- För att få underlag för bedömningen av orsakerna till framtida oförutsedda komplikationer.
- För att minska behovet av undersökningar vid framtida utbyggnader och närbelägna nya projekt.
- För att ta tillvara de geologiska informationer som ur allmän vetenskaplig och praktisk synpunkt kan vara av värde för framtiden.

4.6 Geo-mannen skall studera och redovisa:

- Bergartsfördelningen inkl. bergartsgränser. Jfr 2.4 och FIG. 15.
- Bergmassans (bergartens) strukturer (rymdorientering). Jfr 2.31 och 2.3.2.
- Bergmassans diskontinuiteter: sprickor (frekvens, mönster, vidd, ytbeskaffenhet, fyllnad etc. , jfr 2.6.1), krosszoner, skölar, bergartsgångar (bredd, typ), som rymdorienteras.
- Bergmassans vittring och omvandling. Jfr 2.8.
- Kvalitet, dvs. konsistens, i klasserna A.B.C. enl. 2.10.
- Berggrundens vattenföring. Jfr 2.11.
- Vidtagna förstärknings- och tätningsåtgärder. Jfr Del II.
- Inträffade bergutfall och ras. Jfr 2.10.1
- Provtagningsställen för bergarter, vatten etc.
- Utförda sonderingsborrningar för kontroll av bergtäckning etc. Jfr 1.3.
- Resultat av sprängning. Jfr 2.10.2.

Geo-mannen skall efter samråd ha befogenhet att påkalla sonderingsborrning och injektering.

5 GEO-KARTERINGENS UTFÖRANDE

Uppgift: Att under driften ange (protokollföra) läge och typ av iakttagelser.

5.1 Protokoll

Å färdigställda protokoll, FIG. 62 a och 62 b, inlägges den längdmarkering som alltid utföres invid golvet i bergrum och tunnlar. Vid utarbetandet av protokollet har strävan varit att göra detta så enkelt som möjligt samt att kombinera ena väggen med taket så, att man undviker att i det praktiska arbetet misstaga sig på riktningar och rymdgeometrisk orientering. Skalan på protokollet skall anpassas till objektet. Det är viktigt att man har samma längd och höjdskala. Observera den förtydligande figuren som alltid skall finnas på protokollet, liksom NORRPIL.

Erfarenheten visar, att det inte alltid är lätt att göra tydliga observationer i bergrummets väggar och tak. Detta innebär, att man får registrera sina iakttagelser och senare försöka korrelera dem vid renritningen. Vid den gemensamma genomgången som med jämna mellanrum skall göras tillsammans med bergsakkunnig geolog bör man kontrollera, att protokollet uppfattats på rätt sätt.

5.2 Karteringsproceduren

Enligt här föreslaget system skall väggarna karteras var för sig. Taket karteras men ej golvet, som sålunda aldrig behöver friläggas och rengöras. Höga bergrum spränges våningsvis, i flera etapper. Geo-analys och kartering sker då från varje pall, taket från den första.

5.2.1 Bergartsfördelningen

markeras i rutnätet nederst på protokollet (FIG. 62 a). Förhärskande bergarter föres från fall till fall in i vänstra kolumnen.

5.2.2 Diskontinuiteterna

Lutningen av diskontinuiteterna, som geo-mannen mer eller mindre känslomässigt avritar, bör vara tillräckligt noggrann. Han kan även använda klockan som hjälp vid angivande av lutningen. Härvid torde det vara tillräckligt om man med hjälp av klockan endast skiljer på vinkelintervall av 30°, dvs. horisontella sprickor = kl. 9, vertikala = kl. 12 och mellan dem spricklutningarna kl. 10 och 11 samt kl. 1 och 2. FIG. 63.

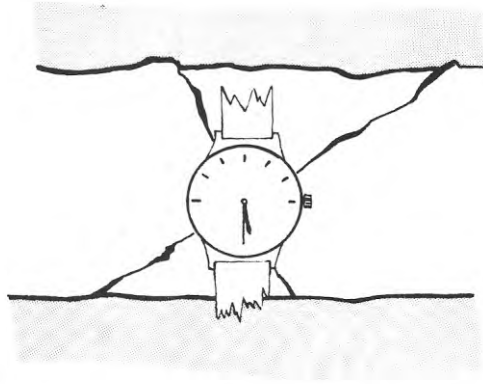


FIG. 63. Mätning av spricklutning med hjälp av klocka.

5.3 Geo-symboler

Vid valet av geo-symboler har det, som tidigare nämnts, varit en strävan att visualisera företeelserna i berget, så att läsaren av de slutliga ritningarna får en känsla för storleken av sprickor, krosszoner etc.

För bergarterna har sålunda standardraster valts så att strukturen i möjligaste mån direkt framgår av bergartsbeteckningen, FIG. 64. Jämför t.ex. gnejs, sandsten, sedimentär kalksten, skiffer. För svarta bergarter har valts ett mörkare raster. Tack vare rutnätet, FIG. 62 a, behöver geo-mannen icke vid driftsuppföljningen avbilda dessa beteckningar.

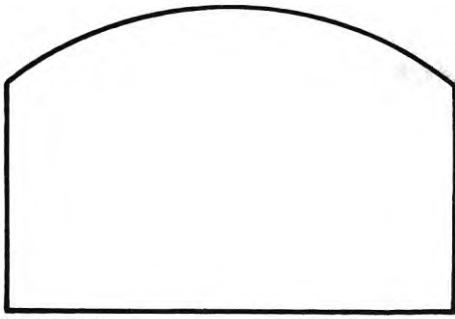
För diskontinuiteterna, FIG. 65, har valts raster lätta att avbilda även vid driftsuppföljningen. Diskontinuiteternas vidd eller bredd anges på protokollen i tre klasser, I, II och III. Invid varje diskontinuitet anges uppgifter om t.ex. vattenföring (v), sprickfyllnad (lera L, sand S, grafit G, klorit K). Sprickmönster, sprickfrekvens och bergkvalitet⁺⁾ anges i enlighet med rutnätet t.h. på FIG. 62 a = protokollet, liksom övriga uppgifter å FIG. 66, nyckel till geo-stenografin.

Den rymdgeometriska orienteringen behöver geo-mannen inte intressera sig för. I och med att man kan följa upp diskontinuiteterna i båda väggarna och förhoppningsvis även i taket, kan man med hjälp av hans underlag få fram den rymdgeometriska orienteringen.

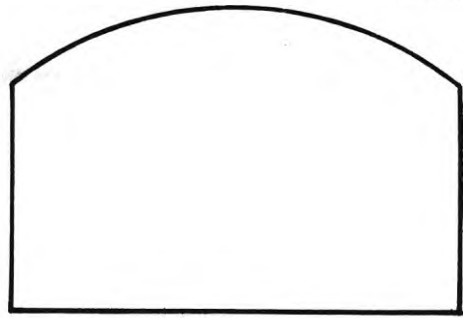
En extra hjälp för rymdorienteringen av strukturerna och övriga diskontinuiteter erhålles om man även karterar brytfronten mellan salvorna. Denna kartering kan ske på protokoll (enl. FIG. 62b) med tunnelsektioner, vilka för varje enskilt fall anges med längdmätning, datum och signatur. Sektionerna skall vara skalriktiga.

⁺⁾ I - IV, I - III, A - C, resp.

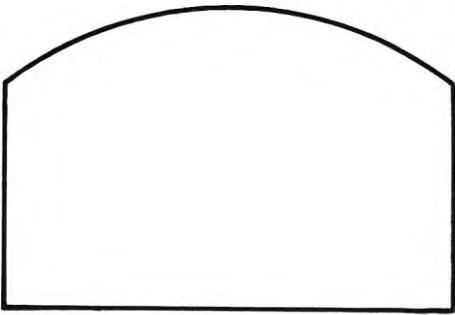
Fig. 62 b



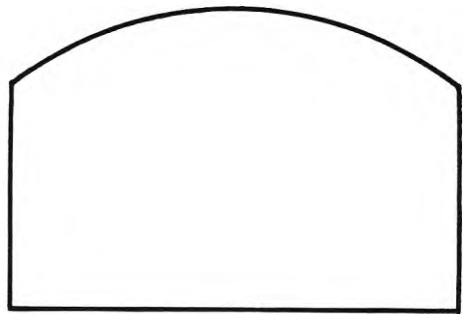
Sekt.
Dat.
Sign.



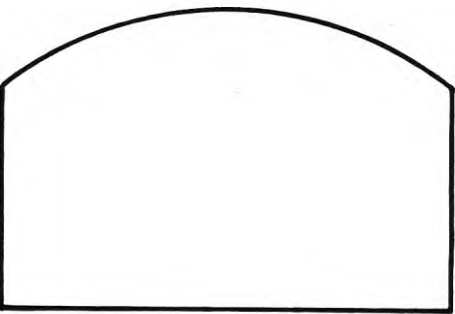
Sekt.
Dat.
Sign.



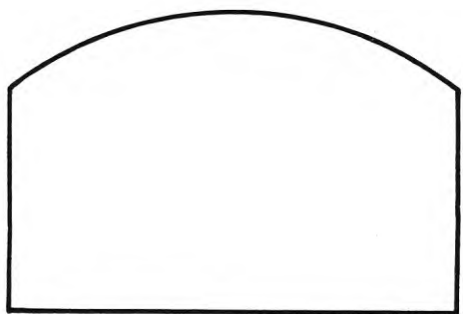
Sekt.
Dat.
Sign.



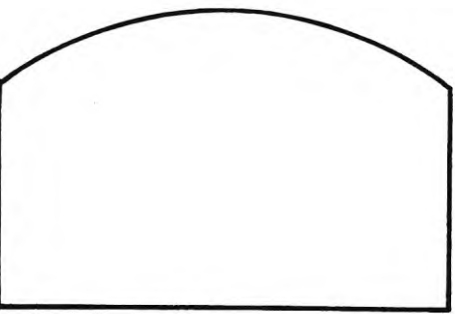
Sekt.
Dat.
Sign.



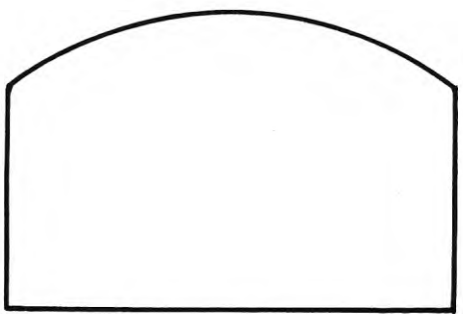
Sekt.
Dat.
Sign.



Sekt.
Dat.
Sign.



Sekt.
Dat.
Sign.

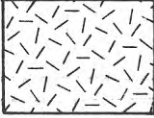

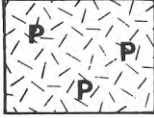
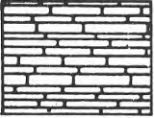
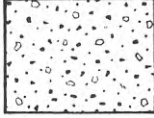

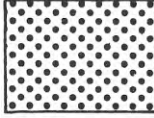
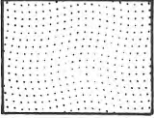
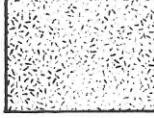
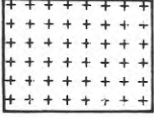
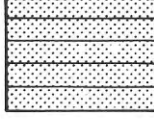
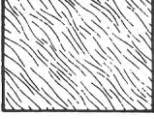
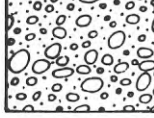




Sekt.
Dat.
Sign.

FÖRSLAG TILL GEO - SYMBOLER

(BERGARTER)

Fig. 64

GRANIT	F 7163		LERSKIFFER	F 7166	
PEGMATIT	F 7163		SED. KALKSTEN	F 7144	
PORFYR	F 7117		GNEJS	F 7103	
MÖRKA MASSFORM. BERGARTER	F 7095		KVARTSIT	F 7211	
DIABAS	F 7191		AMFIBOLIT	F 7106	
SANDSTEN	F 7014		GLIMMERSKIFFER	F 7215	
KONGLOMERAT	F 7119		KRIST. KALKSTEN	F 7164	
			LEPTIT	F 7241	

FÖRSLAG TILL GEO - SYMBOLER









(DISKONTINUITETER)

DISKONTINUITET

VIDD/BREDD

	I	II	III
Enstaka sprickor	< 1 mm	1- 5 mm	> 5 mm
Sprickzon/upprepade sprickor	< 1 m	1- 5 m	> 5 m
Krosszon	< 0.1 m	0,1- 1 m	> 1 m
Sköl	< 1 cm	1- 5 cm	> 5 cm

Bergartsgräns 

Sköl med lerfyllnad	Sk _L		Spricka, torr
Sköl med sandfyllnad	Sk _S		Spricka med fuktutslag
Sköl med grafitfyllnad	Sk _G		Spricka med vattendropp
Sköl med klorit-biotitfyllnad	Sk _K		Spricka med rinnande vatten
			Sprickriktning med stupningsangivelse
			Sprickriktning, vertikal stupning
			Förkastning
	Horisontella Diskontinuitr.		

NYCKEL TILL GEO-STENOGRAFIN

Beträffande

BERGARTSGRÄNSER FIG. 15

SPRICKZONER FIG. 24

SPRICKKOR (enstaka) FIG. 22 & 23

KROSSZONER FIG. 30

SKÖLAR FIG. 17

hänvisas till FÖRSLAG TILL GEO-SYMBOLER (Diskontinuiteter) FIG. 65. Märk "vidd/bredd" anges i protokollet, FIG. 62 a, med I, II och III. Vid slutredovisningen användes de graderade symbolerna. Symbolerna för S, L, G, K och v invid diskontinuiteterna är tillräckligt enkla att användas även i fältprotokollet.

Strukturer, 2.3.2

Massformig (Massf.) FIG. 15 t. v.

Skiffrig (Skf.) FIG. 19

Skiktad (Skikt.) FIG. 9

Gnejs: Slir (Slir.) FIG. 20

Stänglighet (Stängl.) FIG 12

Sprickfrekvens (Sprf.) 2.6.2

I = 1-3 pr m = ringa

II = 3-10 pr m = hög

III = >10 pr m = mycket hög, FIG. 24

Sprickmönster (Sprm.), 2.6.3

I = ortogonal blockighet, FIG. 28, 29 & 30

II = skivigt sprickmönster, FIG. 31

III = romboedriskt sprickmönster, FIG. 32

IV = kaotiskt sprickmönster, FIG. 33

Sprickplanens beskaffenhet (Sprk.), 2.6.5, ytkonfiguration.

I = plan sprickyta, FIG. 38 & 36

II = böljande sprickyta, FIG. 38 & 37

III = rå sprickyta, FIG. 38

Klov (klv.) FIG. 13 & 14

Bergkvalitet (Bkval.) 2.10

A = god kvalitet

B = medelgod kvalitet

C = dålig kvalitet

Svällande lera = $L_{sväll}$

Smällberg = smällb.

Grusvittrat berg = Grusvittr.

Bergutfall = bergutf.

FIG. 66. Nyckel till geo-stenografin.

5.4 Registrering av vattenföring

Vid registrering av vattenläckning bör observeras, att man ofta arbetar med en falsk bild, dvs. berget är torrt inte därför att det är vattentätt utan därför att bergväggarna är dränerade på grund av att vattnet tränger upp i sprängstensmassorna på golvet och sålunda inte blir synligt för geo-mannen, FIG. 67.

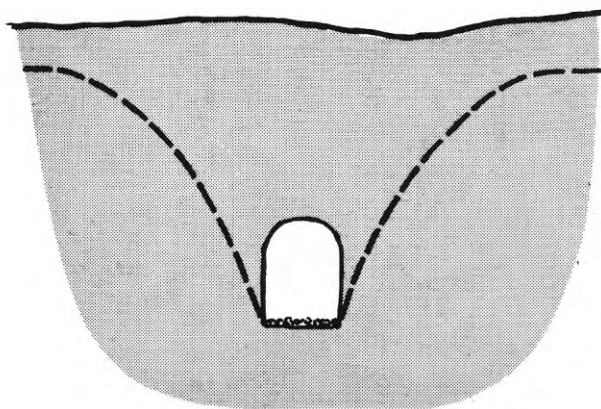


FIG. 67. Grundvattensänkning kring bergtunnel.

Även en grov uppskattning av de vattenmängder (l/min) som läcker in i bergrum och tunnlar är mycket svår. Man kan öva sig med hjälp av klockan, en hink och vattenkranen i köket. Av denna anledning är det viktigt att geo-mannen även studerar och noterar sprickornas vidd och öppenhet liksom fyllnadsmaterial i dem.

Att avgöra sprickornas vidd i bergväggen är en vanskelig uppgift och kräver stor erfarenhet, då det framför allt gäller att avgöra om en sprickas öppenhet är naturlig eller om öppnandet orsakats av sprängningen. Jfr Kap. 2:12.

En god hjälp för en statistisk behandling av sprickornas öppenhet är att pröva deras vidd med hjälp av tolkar. Jfr FIG. 26 och symbolerna i FIG. 65.

Dessa analyser är av stor betydelse när det gäller att bedöma inläckande vattenmängder (när grundvattensituationen runt bergutrymmet är återställd) och därmed även kostnaderna för länshållning och tätning.

Efter sprängning kan ibland häftiga vattenflöden inträffa som efter någon eller några timmar avtar för att snart helt upphöra. Det är viktigt att notera när sådana fall inträffar; geo-mannens ständiga kontakt med bergfolket är även här en viktig informationsväg.

5.4.1 Registrering av utförda förstärkningar m.m.

Utöver de geologiska analyser och geo-karteringar som här beskrivits skall geo-mannen även protokollföra utförda förstärkningar med angivande av typ, mängder och längder av bultar (FIG. 62 a), omfattningen av utförda sprutbetongförstärkningar med angivande av antal påslag armering etc.

På basis av detta skall man efter inmätning av tunneln eller berggrummet sådant det blev efter utsprängningen göra en relationsritning, som visar inte bara läget och formen av det hålrum som åstadkommits utan jämväl alla de åtgärder som vidtagits med berget.

5.5 Provtagning av mineral och bergarter

Proverna (stufferna) lägges omedelbart i dubbla plastpåsar och en etikett angivande läge, datum, signatur etc. stoppas mellan påsarna. Helst skall den vara läsbar utifrån. På kontoret bör stufferna märkas med löpande nummer och registreras i liggare. Stuffer kommer nämligen ofta, när de studeras vid gruppmöten, på villovägar och det är därför angeläget att kunna identifiera dem.

Vid tagning av vattenprov för kemisk analys kräves rena, med destillerat vatten sköljda kärl. Vid bakteriologisk analys kräves dessutom renlighet och speciell förvaring (i kylskåp).

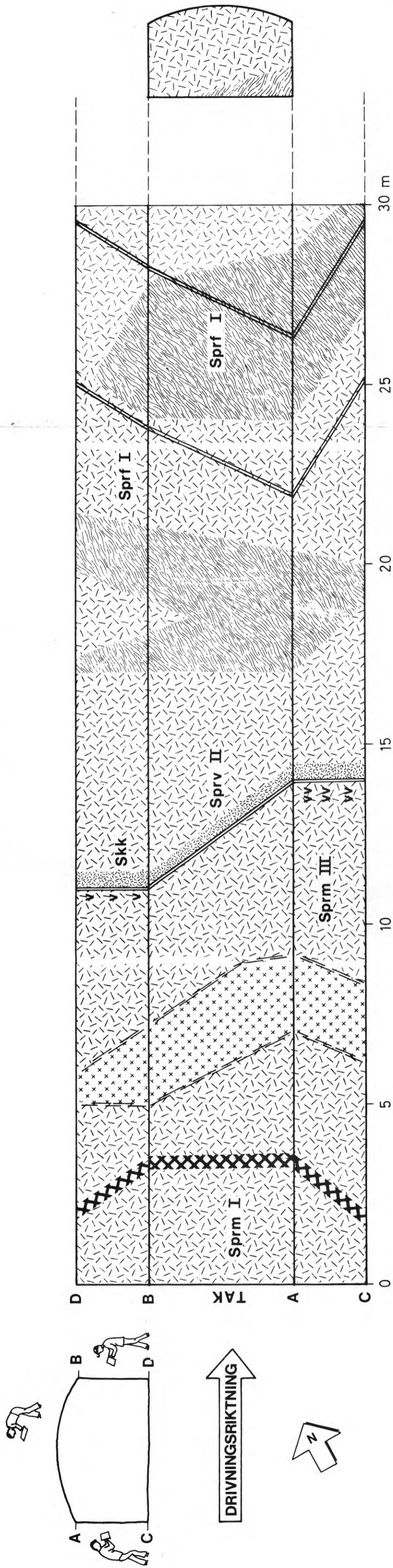
5.6. Kontroll av geo-uppföljningen

En gemensam genomgång av bergprojektet skall ske av ansvarig geolog och konstruktör, varvid geo-redovisningen skall granskas och revideras. Vid denna inspektion skall minst en bergvägg vara renspolad samt bra belysning ordnad. Den slutliga redovisningen (se nästa kap.) skall signeras av ansvarig geolog och konstruktör.

MODELL

SLUTLIG GEO-REDOVISNING

Fig. 68



SKALA 1:100

BERGKVALITET I - III	A			B			C			A			B			A		
	F12	F22	F8	E10	E5	E3	E10	E6	E3	F10	F40	F10	F10	F10	F10	F10	F10	
vägg																		
Antal säckar cement. x																		
SPRUTBETONG																		
Antal påslag armering																		
BULTAR																		
Antal																		
ANNAN FÖRSTÄRKNING																		
INDRIFT / dag vecka																		

x F = Förinjekttering
E = Efterinjekttering

6 REDOVISNING FÖR ARKIVERING. BETECKNINGSSYSTEM

På basis av geo-mannens protokoll skall tunneln eller berg-rummet redovisas på ritningar och i en skala som får bestämmas från fall till fall. Redovisningen skall vara sådan att den är lättillgänglig även för icke fackmän samt utföras på ett sådant sätt att den kan sättas in i en plankarta så att geo-observationerna kan korreleras med övriga geo-informationer i området (jfr gruvkartan).

Vid den slutliga redovisningen (arkivritningarna) användes de symboler för bergarter och diskontinuiteter som anges på FIG. 64 och FIG. 65.

Vid renritningen spegelvändes ena väggen så att den kan anslutas till taket, varefter väggarna fälls ut (jfr tillplattad kartong). Som exempel visas i FIG. 68 slutredovisningen av en byggnadsgeologisk uppföljning och kartering av ett berg-rum för en tunnel.

Den arkivbeständiga geo-redovisningen skall förvaras i pärmar å vilka lämpligen lämnas informationer enligt FIG. 69.

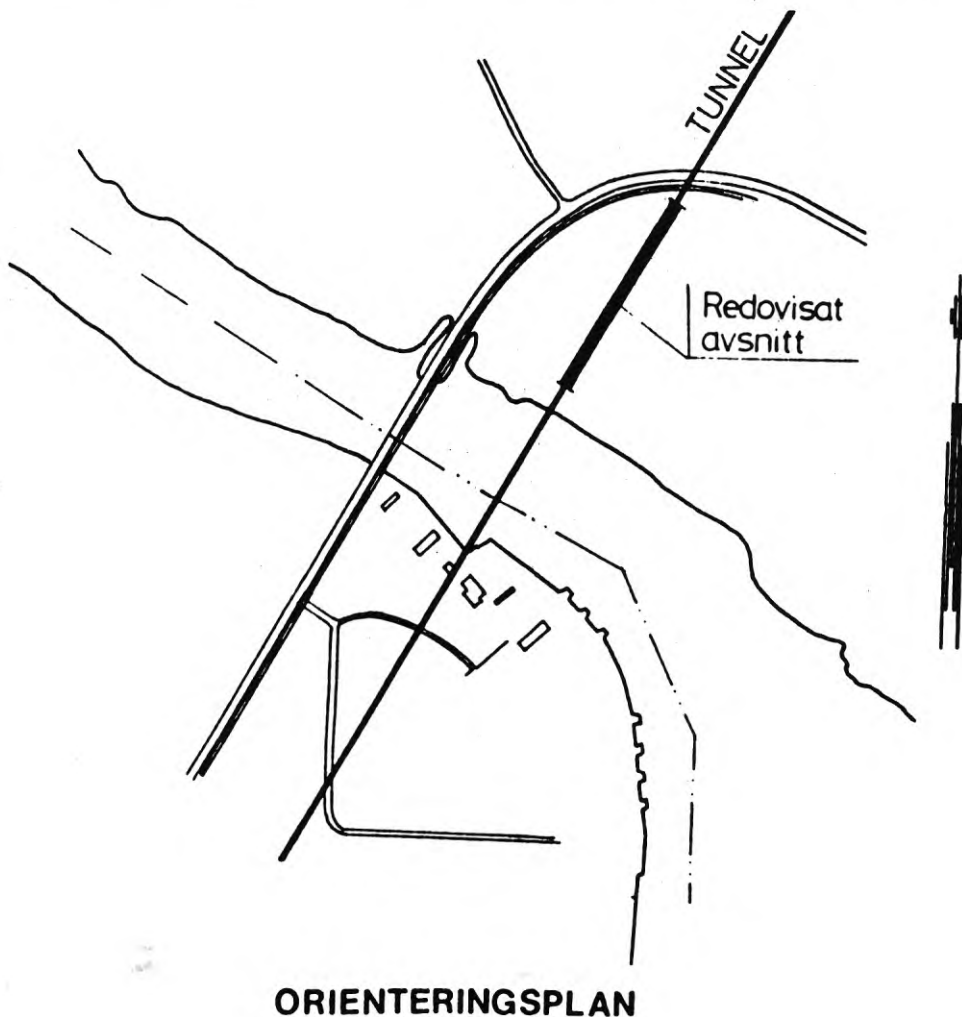


FIG. 69. Förslag till omslag för byggnadsgeologisk redovisning.

Verkställande och arkivering bör ske på kommunal nivå (byggnadsnämnd eller planmyndighet).

För samordning och övervakning föreslås Planverket.

Geo-området får en allt större betydelse i det moderna samhället. Dess olika grenar, byggnadsgeologi, geoteknik, bergmekanik och hydrogeologi osv., är under stark utveckling vid statliga institutioner, universitet och högskolor (SGI, SGU, BeFo, CTH, KTH, LuHS, VTI).

Alla dessa kunskapsområden är emellertid så starkt integrerade i varandra så det kan ifrågasättas om det inte vore lämpligt att tillskapa ett samordnande organ i form av ett statligt verk, "Geoverket", som i sig sålunda skulle ha erforderlig kompetens för samordning och övervakning av undermarksbyggnade.

7.1 Dimensionering av permanentförstärkning på basis av geo-analys och geo-redovisning

Med den föreslagna geo-redovisningen som underlag bör projektgruppen (konstruktören, ansvarige geologen och representanter från beställarsidan) direkt kunna markera de områden av tunneln, som bör förstärkas utöver den driftförstärkning som redan gjorts. Förstärkningens dimensionering och utformning i detalj bör dock ske medelst anvisning (markering) direkt i bergrummet.

Som tidigare nämnts skall inte bara stabilitets- och stenedfallsrisker i detta sammanhang beaktas utan även den funktionsmässiga sidan av projekten. Vad som ovan sagts gäller även behovet av tätningsåtgärder.

I den slutliga geo-dokumentationen skall alla vidtagna förstärknings- och tätningsåtgärder redovisas.

8 KORRELATION MELLAN GEO-ANALYS PÅ MARKYTAN OCH I BERGET

Vid relativt ytligt belägna bergrum och tunnlar kan det ur många synpunkter vara intressant att jämföra på ytan gjorda geo-observationer med dem man gör nere i berget.

De bästa berggrundsstudierna gör man, som nämnts, i en tunnel och får då ett värdefullt komplement till den geologiska ytkarteringen. I svensk hård granitisk berggrund är behovet av korrelationer i detalj med ytkarteringen kanske inte så stort, men i områden med starkt växlande berggrund, t. ex. vid sedimentära bergarter i en brant stående lagerföljd, kan en detaljkorrelation vara av stort värde. FIG. 70.

I Sverige har sedan 1967 ett flertal analyser gjorts vad gäller korrelation berget i tunneln jämfört med berget ovan mark, se Tor H. Hagerman /45/, "Geologisk kartering av tunneln Uttran-Himmerfjärden och precisering av det tekniska värdet från motsvarande fotbildtolkning och markkartering", C.-O. Morfeldt - J. Lundberg /46/, "Flygbildstolkning — ett hjälpmedel vid projektering av bergtunnlar — en erfarenhetsåterföring", samt L. Lysén - K. Palmquist /47/, "Be-teckningssystem för geologisk-tektionisk undersökning".

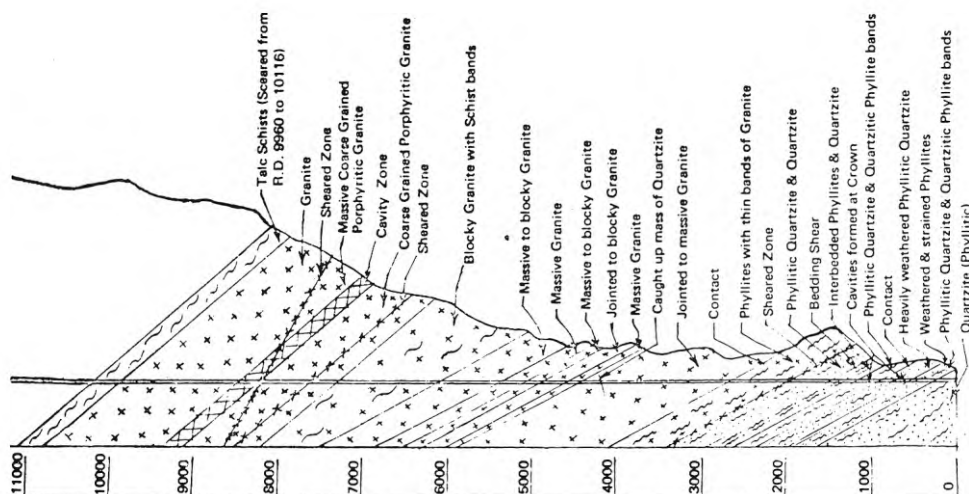


FIG. 70. Geologisk sektion, sammanställd genom korrelation av geo-informationer från tunnel och från markyta. (USA).
Ur Sten G.A. Bergman et. al, BFR:s Informationsblad B10:1973.

9 SLUTORD

Redan har nämnts, att gamla tiders bergfolk levde med sitt berg och var väl medvetna om de risker till liv och lem som nedfallande stenblock och ras kunde innebära. Man kände berget i detalj och vidtog snabbt åtgärder när fara hotade. I den moderna berghantering saknas tid och utrymme för bergfolket att studera och lära känna berget. De moderna borrhiggarna reagerar inte för bergkvaliteter, så som mannen vid den handhållna maskinen alltid gjorde. Borrningen för sprängningen var förr en sorts sonderingsborrning. Man måste därför numera lägga säkerheten i en geo-uppföljning av speciellt utbildad personal, som ger en riktig bild av bergförhållandena praktiskt användbar för bergtekniska ställningstaganden och bedömningar.

Geokartan skall utföras på ett enkelt och lättillgängligt sätt så att den kan användas av kommande generationer och ge dem ökad säkerhet vid det ständigt ökande byggandet i berg. Geo-kartan skall utgöra det instrument med vars hjälp man skall kunna utföra en förnuftig undermarksplanering på lång sikt.

Den geo-uppföljning och geo-kartering för bergrum och tunnlar, som här föreslagits, följer i mångt och mycket den mall som gruvindustrin tillämpat i flera århundraden. Stora skillnader föreligger dock i såväl arbetssätt som redovisning. Målsättningen är dock densamma — att vid bergarbeten skapa ökad trygghet för människan såväl under som över jord, nu och i framtiden.

Den föreslagna geo-redovisningen gör inte anspråk på att vara fullständig och allmängiltig. Urvalet av geo-informationer måste, liksom beteckningar och skalor, alltid projektanpassas.

Det är min förhoppning att denna studie skall bidra till att gemensamma och enhetliga normer för geo-uppföljning och geo-kartering av bergrum och tunnlar snabbt skall komma till stånd och att ansvariga myndigheter skall kräva deras tillämpning.

Normarbetet bör samordnas med den internationella klassifikation av berget och dess egenskaper som nu pågår i ISRM:s regi. /48/. Ärendet är angeläget bl. a. därför att geo-uppföljning och geo-kartering utgör grunden för en riktig undermarksplanering.

10 REFERENSER

- /1/ ZENZÉN, N. , 1925,
Geologiska kartor och geologisk kartläggning i Sverige
före upprättandet av Sveriges Geologiska Undersökning.
Geol. Fören. Förhandl. Bd 47, H. 3.
- /2/ GRIP, E. 1944,
Den geologiska karteringen vid Bolidens Gruvaktiebolags
gruvor. Geol. Fören. Förhandl. Bd 66, H. 1.
- /3/ von ECKERMANN, H. , 1958,
The Alkaline and Carbonatitic Dikes of the Alnö Formation
on the Mainland North-West of Alnö Island. Vetenskaps-
akademiens Handlingar, Fjärde Serien, Band 7, Nr 2.
- /4/ MORFELDT, C.-O. , 1972,
Praktiska erfarenheter av lerzoner i svensk berggrund,
Lerzoner i berganläggningar. Diskussionsmöte IVA 1970.
Statens Geotekn. Inst. rapport No 49, 1972.
- /5/ MORFELDT, C.-O. , 1966,
Bebyggelseplanering med hänsyn till den geologiska
jämvikten. Föredrag Svenska Geotekn. Fören.
Byggmästaren nr 6, 1967.
- /6/ MORFELDT, C.-O. , 1973,
Geologiska förutsättningar för underjordsanläggningar
i de nordiska storstadsregionerna. IVA-konferens
Utnyttjar vi underjorden rationellt, Rapport 56, 1973.
- /7/ JANSSON, B. , et al, 1974,
Undermarksplanering. Lägesrapport (etapp 2), 1974.
- /8/ TERZAGHI, K. , 1946,
Introduction in Tunnel Geology, Ohio, 1946.
- /9/ MORFELDT, C.-O. , 1973,
Bergrums förstärkning och tätning vid lagring av kalla
och varma media. Swedish Rock Mechanics Research
Foundation, BeFo, Meeting in February 1973.
- /10/ MORFELDT, C.-O. , 1967,
Problem med vatten vid tunneldrivning i berg.
IVA Bergmekanikkommittén, Diskussionsmöte 1967.
- /11/ MORFELDT, C.-O. , HULTSJÖ, S. , 1973,
Litet dropp stjälpes ofta stor stad. Väg o. vattenbyg-
garen No 6, 1973.
- /12/ MORFELDT, C.-O. , 1970,
Berggrundens och grundvattnets betydelse för tätheten
hos bergrum. IVA Bergmekanikkommittén, Diskussions-
möte 1970.

- /13/ JANELID, I. , 1970,
Metod för att bibehålla grundvattnet som tätande
medel kring bergrum. IVA Bergmekanikkommittén,
Diskussionsmöte 1970.
- /14/ MORFELDT, C.-O. , 1974,
Lagring av olja och gas i oinklädda bergrum.
(Norsk Forening for Fjellsprengningsteknikk:
Fjellsprengningsteknikk, Bergmekanikk),
Tapir, Oslo.
- /15/ STEPHANSSON, O. , et al. , 1973,
Geoteknisk databank. Byggeforskningen R 70, 1973.
- /16/ BERGMAN, M. , 1974,
Bergrum och tunnlar. Inventering av system för bygg-
nadsgeologisk uppföljning och kartering. BFR-anslag
720452-2 till Hagconsult AB.
- /17/ KNUTSSON, G. , et al. , 1973,
Beteckningssystem för bergundersökningar - förstudie.
BFR F 998, Statens Väg- och trafikinstitut, Rapport 34.
- /18/ MÜLLER, L. , 1970,
Baugeologie der Festgesteine, Felsbaumechanik, Grund-
bau. Taschenbuch, Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1970.
- /19/ PROCTOR, R. J. , 1971,
Mapping geological conditions in Tunnels. Bull. of the
Association of Engineering Geologist, No. 1, 1971.
- /20/ DEERE, D. U. , 1974,
Engineering Geology and Underground Construction.
2nd International Congress of the International
Association of Engineering Geology, 1974.
- /21/ NINI, H. , et al. , 1974,
Byggnadsgeologisk bergklassificering. Statens tekniska
forskningscentral, Otnäs 1974, Finland.
- /22/ BARTON, N. , LIEN, R. , LUNDE, J. , 1974,
Engineering Classification for the Design of Tunnel
Support. Journal of the International Society for Rock
Mechanics, Vol. 6, No. 3, 1974.
- /23/ Forslag till Terminologi, Definisjoner og Karttegn
innen bergmekanikk og ingeniørgeologi, 1974. Norsk
Bergmekanikkgruppe, Trondheim.
- × /24/ SCHUMANN, W. , 1973.
Mineral och bergarter. Norstedt & Söner, Stockholm,
1973.

×) Se förklaring i slutet av referensförteckningen.

- × /25/ LOBERG, B. , 1973,
Geologiska material och Sveriges berggrund. Norstedt
& Söner, Stockholm, 1973.
- × /26/ LUNDEGÅRD, P. H. , 1963,
Projektering av rum och tunnlar i berg. Sveriges
Geol. Undersökn. Ser. C, nr 590, 1963.
- /27/ ASKLUND, B. , 1947,
Gatsten och kantsten. Sveriges Geol. Undersökn.
Ser. C, nr 479, 1947.
- × /28/ PUSCH, R. , 1974,
Bergmekanik. Almqvist & Wiksell, Stockholm, 1974.
- /29/ MORFELDT, C. -O. , 1962,
Berggrundens diskontinuiteter. Byggmästaren nr 6,
1962.
- /30/ MORFELDT, C. -O. , 1965,
Undersökningar, förstärkningar och tätningar föranledda
av svällande vittringszoner i en svensk oljelagringsan-
läggning. IVA, Meddelande 142, 1965.
- /31/ BREKKE, T. L. , 1963,
Om Montmorillonittföreande leirsleppe og ras i fjellan-
legg. Trondheim 1963.
- /32/ SELMER-OLSEN, R. , 1963,
Om svelleleire i norske fjellanlägg. Fjellsprengnings-
teknikk, Oslo 1963.
- /33/ MORFELDT, C. -O. , 1972,
Bergbeskaffenheten i utsprängd anläggning jämförd med
prognoser, grundade på geologiska ytobservationer.
IVA, Bergmekanikkommittén 1972.
- /34/ LANGEFORS, U. , 1965,
Berghållfasthetens beroende av sprängningen.
IVA, Meddelande nr 142, 1965.
- /35/ HAGERMAN, T. H. , MORFELDT, C. -O. , 1955,
Air-tight and Water-tight Rock Chambers. Civil
Engineering and Public Works Review, Vol. 50,
No. 584, Febr. 1955.
- /36/ MORFELDT, C. -O. , 1973,
Storage of Oil in Unlined Caverns in Different Types
of Rock. New Horizons in Rock Mechanics. American
Society of Civil Engineers, New York, 1973.
- /37/ HAGERMAN, T. H. , 1975,
Groundwater Problems in Underground Construction.
Large Permanent Underground Openings. Universitets-
forlaget, Oslo, 1970.

- /38/ BORGSTRÖM, H. , et al. , 1957 och 1968,
Stenhandboken. Kungl. Tekn. Högskolan och
Sveriges Stenindustriförbund, 1957 och 1968.
- /39/ MORFELDT, C.-O. , 1972,
Drainage Problem in Connection with Tunnel
Construction in Precambrian Granitic Bedrock
(in Sweden). Deutsche Gesellschaft für Erd- und
Grundbau, Essen, 1972.
- /40/ KNUTSON, G. , MORFELDT, C.-O. , 1974,
Vatten i Jord och Berg. Ingenjörsförlaget, Stock-
holm, 1974.
- /41/ BJURSTRÖM, S. , 1973,
Bergbultsförband i sprucket berg. Fortifikations-
för. rapp. 121:3, 1973.
- /42/ HELTZEN, A.M. , et al. , 1973,
Fjellboltning. Fjellsprengningsteknikk. Oslo, 1973.
- /43/ JANSSON, B. , et al. , 1975,
Undermarksplanering, slutrapport etapp 3, BFR,
Stockholm, 1975.
- × /44/ LUNDEGÅRDH, P.H. , 1971,
Geologi — det levande jordklotet. 2. uppl. GLA 1971.
- /45/ HAGERMAN, T.H. , 1969,
STU-rapport 69-1178/U857.
- /46/ MORFELDT, C.-O. , LUNDBERG, J. ,
Flygbildstolkning — ett hjälpmedel vid projektering
av bergtunnlar — en erfarenhetsåterföring. BeFo
Bergmekanikdag 1974.
- /47/ LYSÉN, L. , PALMQUIST, K. ,
Tätning av bergtunnlar. Projekteringsmetodik, injek-
tering och förstärkning. BFR rapport R4:1976.
- /48/ ISRM, 1975,
Recommendations on Site Investigation Techniques,
Final Report: July 1975
- /49/ ISRM, 1975,
Terminology, Final Draft: July 1975.

För den som önskar förkovra sig i Mineral- o. Bergartslära,
Bergmekanik, Sprängteknik etc. , rekommenderas utöver de
med ×) märkta litteratur-ref. , följande lättanskaffade svenska
böcker:

LUNDEGÅRD, P.H. , 1970,
Stenar i färg. 6. uppl. Almqvist & Wiksell, 1970.

LUNDEGÅRD, P.H. , LUNDQVIST, J. , och
LINDSTRÖM, M. , 1974,
Berg och jord i Sverige. 4. uppl. Almqvist & Wiksell,
1974.

BRÄNNFORS, S. , et al. , 1973,
Bergsprängningsteknik. 2. uppl. Norstedt & Söner,
Stockholm, 1973.

Varudeklaration av byggnadsmaterialet berg

Carl-Olof Morfeldt*

Vi upplever ett allt intensivare underjordsbyggande överallt i världen. De större tätorterna flyttar trafiken ned i tunnlar, och tunnlar för vatten, avlopp och kablar har i varje fall i någorlunda hyggligt berg visat sig vara en god lösning. Lagringsanläggningar för olja, gas och livsmedel m m byggs nu, framförallt i anslutning till goda hamnar.

Ofta handlar det om bergrum av avsevärd storlek på upp till flera miljoner m³. Milslånga tunnlar för konstbevattning och vattenförsörjning har byggts, t ex i Hongkong och är under planering i Peru. I Spanien finns ett program för ett nät av bergtunnlar över hela landet.

Ofta kan sprängstensmassorna efter stora bergarbeten användas för utfyllnad och man spar då inte bara utrymmen ovan mark när man väljer underjordsbyggande utan man skapar även nya utrymmen — reclaimed area

Den tid är för länge sedan förbi när man kunde driva ett bergarbete enligt "låt gå"-principen och efter hand anpassa sprängningar och förstärkningar efter de förutsättningar som naturen bjuder. Jätteprojekten i dag kräver en noggrann tidplanering och såväl beställaren som konsulten och entreprenören är vid dessa arbeten mycket angelägna om att tidramar och ekonomiska rammar hålls. En förutsättning för att detta skall vara möjligt är emellertid att man redan vid projekteringsstadiet känner till egenskaperna hos den bergmassa, ur vilken anläggningen skall utsprängas.

Varudeklaration av bergmassan

Liksom man inom alla tekniska områden kräver en varudeklaration eller en specifikation på materialegenskaper, måste man när det gäller berg ställa samma krav, i synnerhet som bergmaterialet kan vara mycket varierande, såväl när det gäller själva bergarternas sammansättning och utformning som bergmassans egenskaper.

De geologiska utlåtanden, på vilka man i dag baserar sina projekt, är ofta mycket omfattande och detaljerade, men de talar ej sällan ett språk, vilket är svårtillgängligt för den planerande projektgruppen, beställaren och entreprenören. Denna språkförbistring har medfört att många bergarbeten i dag är ett äventyr, vars konsekvenser förr eller senare drabbar entreprenören eller beställaren och kanske ibland konsultens ansvarsförsäkring.

För att i någon mån komma till rätta med dessa problem har Statens råd för byggnadsforskning sedan flera år tillbaka lämnat forskningsanslag för att bringa ordning i en synnerligen komplicerad problemställning. Även internationellt brottas man i dag med dessa frågor och en kommitté, Classification of Rock and Rock Masses, är tillsatt av International Society for Rock Mechanics, ISRM, för att lösa problemen.

När en beställare i dag väljer underjordsalternativet för sitt projekt, vill han med hjälp av konsulten göra klart för sig att inga andra lösningar är billigare och bättre. För att klara detta försöker konsulten efter bästa förmåga att tala ett tydligt språk och om möjligt översätta detsamma till kostnader, vilket naturligtvis är en svår uppgift, då han saknar "röntgensyn" och då utgifterna för geologiska undersökningar (borrningar, seismiska undersökningar etc) måste begränsas.

I medvetande om detta försöker beställaren överföra "bergriskerna" på entreprenören genom att skriva in i kontraktet tex att entreprenören i kontraktsumman också åtager sig alla förstärkningar och tätningar m m. Det finns många sorgliga exempel på hur entreprenören genom dylika kontrakt dyrt fått betala för att han icke kände till bergets dåliga egenskaper.

Den hårda konkurrensen på bergsprängningsssidan innebär i dag att chanserna att tjäna pengar är små, under det att riskerna att förlora på dylika kontrakt är stora. Från entreprenörshåll ställs därför allt starkare kravet på varudeklaration samt ett geologisk-tekniskt språk som han förstår.

För att i någon mån belysa hur mångfacetterat problemet är med varudeklaration av berg skall en kort revy över bergarternas och bergmassans egenskaper redovisas.

Bergarterna har som byggnadsmaterial mycket olika egenskaper

Den indelning av bergarterna som tillämpas av geologerna och som baserar sig på bergarternas bildningssätt, bör kunna behållas som en bas i diskussionen. Sålunda talar man om magmabergarter, sedimentbergarter och metamorfa bergarter, där namnet i sig, i varje fall för geologen talar om den geologiska bakgrunden och därmed också ger honom möjligheter att "känna" för deras egenskaper.

För ingenjören måste emellertid de olika bergartsgruppernas egenskaper och kvalitetsvariationer närmare preciseras. Här skall endast beröras följande.

Magmabergarterna som levereras från jordens inre, *fig 1*, är kristallint utbildade. Kristallstorleken kan variera och är för ytbergarterna täta till nästan glasiga i sin struktur. Mineralsammansättningen av kvarts, fältspat och mörka mineraler gör att dessa bergarter i allmänhet är mycket hårda och resistent mot vittring. Bergarterna har hög tryckhållfasthet, upp till mer än 3 000 kp/cm². En viss orientering i kristalluppbyggnaden förekommer ibland, s k kristallisationskiffrihet, som ger även dessa bergarter skilda egenskaper i olika riktningar, ehuru de för det mesta är massformigt utbildade.

Sedimentbergarterna är uppbyggda av vittrings- och nötningsprodukter av magmabergarter. Dessa nötningsprodukter, korn av olika storlekar, har läkt samman med hjälp av ett bindemedel, (cementet), vanligen bestående av kvart eller kalkspat. Kornskellet kan vara mycket varierande. Jämnkorniga sandstenar förekommer såväl som blandningar av olika kornstorlekar, t ex runda stenar i konglomerat.

Konsolideringsgraden kan också variera. Det finns sedimentbergarter som är så

* Verkst dir
Hagconsult AB
Banérgatan 37
115 22 Stockholm. Tel 08-23 37 50

välkonsoliderade av kvarts, att de ur hållfasthetssynpunkt kan jämföras med **tex graniter**. Men det finns även sandstenar som är så dåligt konsoliderade, att man kan krama dem i handen så att de övergår till lös sand.

Sedimentbergarterna kan också innehålla svällande material så att de, när de under vattenupptagning kommer ut ur sitt "tryckta" läge i berget, spontant faller sönder till sand. Även vissa kristallina bergarter kan hastigt omvandlas till leraktigt material. *Fig 2.*

Såväl magmabergarter som sedimentbergarter har under gångna geologiska perioder blivit utsatta för tryck och temperatur och på det sättet omvandlats, ofta till oigenkännlighet, till sk metamorfa bergarter.

Gemensamt för såväl sedimentbergarter som metamorfa bergarter är att de primärt ofta har en "inre" struktur. Sålunda är sedimentbergarterna uppbyggda skikt för skikt och spaltas då lätt längs skikttytorna. Detsamma gäller förskiffrade metamorfa bergarter, där sammanhållningen mellan förskiffningsytorna kan vara synnerligen dålig. *Fig 1 och 3.* Oavsett vilket läge i rymden dessa svaghetsplan har vid ett bergarbete, kräver de ett särskild hänsynstagande vid projekteringen, borringen och sprängningen.

Det är en mycket svår uppgift att betygsätta och ge en varudeklaration på de sedimentära och metamorfa bergarternas tekniska egenskaper visavi konsolideringsgraden, resp graden av metamorfos.

Bergmassan - ett ofta illa tilltygat byggnadsmaterial

Även om man förhoppningsvis framdeles lyckas låsa in de olika bergarternas tekniska egenskaper med en grovklassificering i kanske 3-5 klasser, så är man därmed icke framme vid målet. Bergarterna är nämligen det material som bygger upp bergmassan, vilken under årmiljonernas lopp varit utsatt för påfrestningar av olika slag, vilka illa tilltygat densamma. Det räcker sålunda icke med att man analyserar vilka berg-

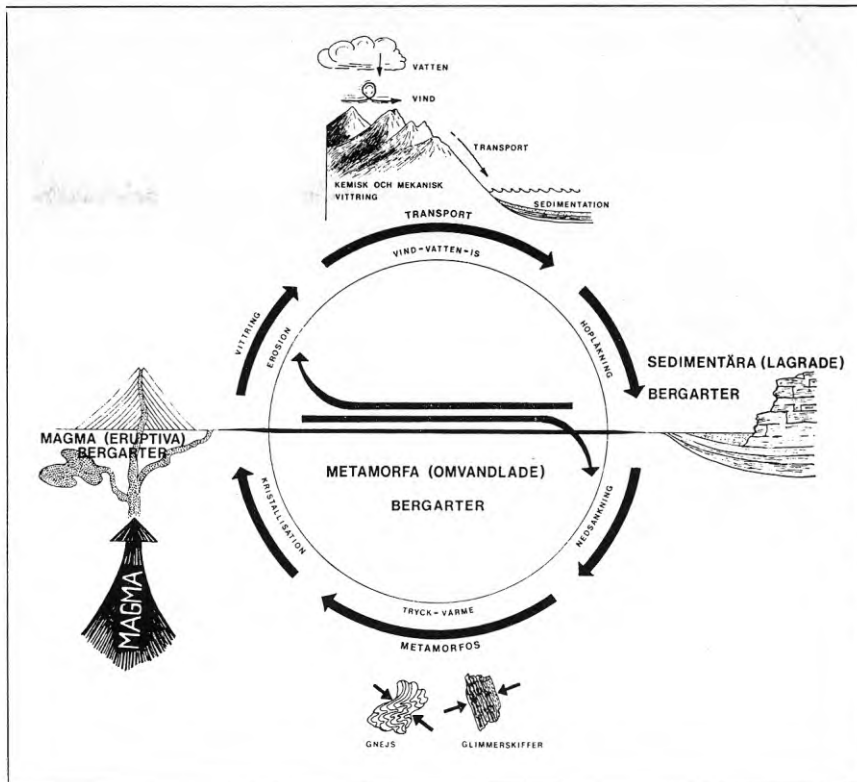
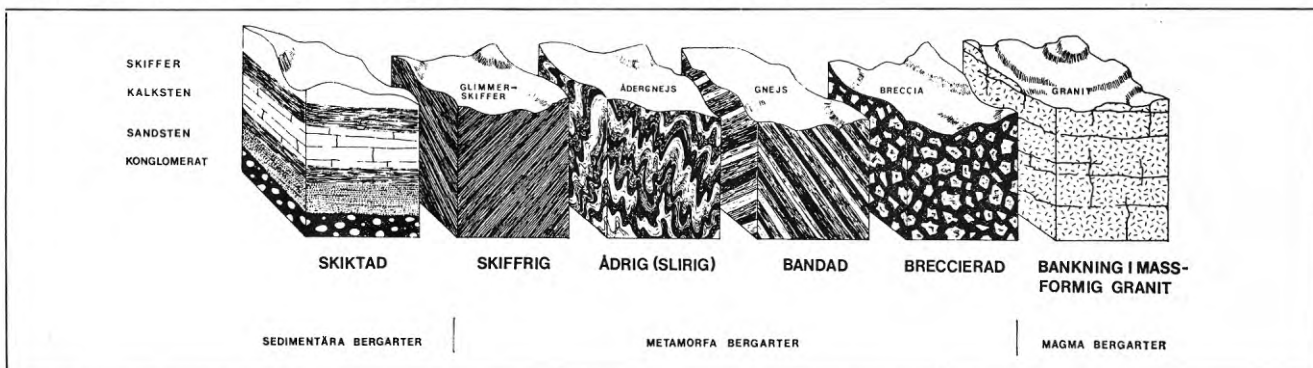


Fig 1. Bergarternas bildningssätt

Fig 2. Det fasta bergstycket har på mindre än 10 minuter sugit upp vatten från svampduken och övergått till lerkonsistens



Fig 3. Byggnadsmaterialet berg har mycket skiftande strukturer, här några exempel



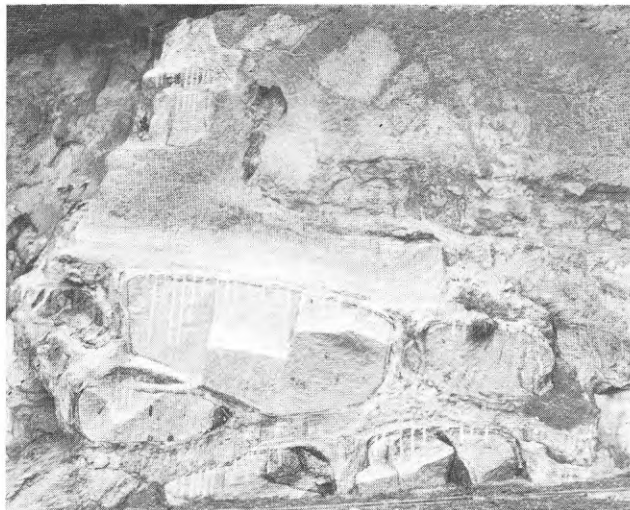


Fig 4. Vittrad granit i Hongkong

artssviter som bygger upp en bergmassa, utan man måste även studera bergmassans kvalitet.

Mera globalt sett kommer vittringen in i bilden. Nedvittringen av en bergmassa kan ha skett underifrån genom uppströmmande gaser och aggressiva lösningar, på geologspråk kallat pneumatolytiska processer. Dessa processer är bundna till vissa djupgående sprickbildningar genom vilka de nedbrytande gaserna och vätskorna levererats.

Berggrunden har överallt på vår jord utsatts för vittringsprocesser ovanifrån, varav en del kan vara mycket djupgående. Mest förekommande är de vittringsprocesser som fullständigt kan bryta ned fältspatsmaterialet i bergarterna. Dessa vittringsprocesser, som omvandlar berget till lerkonsistens, beror på nedträngande kolsyra, humushaltiga vattenlösningar m m. Fig 4.

Ofta är denna vittring knuten till tidigare svaghetszoner i berget. I dessa svaghetszoner kan vittringen gå ned som djupa rötter i en annars på överytan frisk bergart, där de övriga vittringsprodukterna förts bort av inlandsis, vatten och vind.

Måktiga vittringstäckan har gett upphov till de stora kvantiteter jordarter som förekommer; i Sverige helt omvandlade av inlandsis och vatten, i andra länder, som i Hongkong, fig 4, ligande kvar som en residualjord, dvs berget är fullständigt nedbrutet men finns kvar med sina sprickor och gångar utan att ha ändrats, och bonden plöjer sin åker direkt i det till lerkonsistens vittrade berget.

Inget kan fördyra ett bergarbete så mycket som dessa vittrade bergarter och de kan många gånger omöjliggöra slutförandet av ett projekt.

De "inre" strukturerna i bergmassan, skiktning och förskiffring, ger berget dess speciella karaktär, fig 3. Dessa strukturer övertväras emellertid av de "fel" som alltid förekommer i en bergmassa

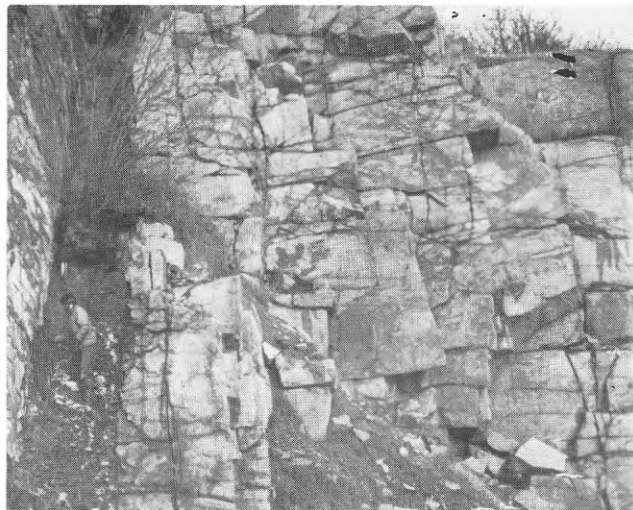


Fig 5. Starkt krossat granitiskt berg invid diabasgång

Fig 6. Exempel från grundschakt i glimmerskiffer vid Arlanda, där berget inte ville som byggaren



blå i form av sprickor och krosszoner. Dessa "fel" har ofta en tektonisk bakgrund som är speciell för varje enskilt geologiskt område.

Sprickor, krossoner och bergartsgångar kan ha mycket olika frekvens och utbildning. Fig 5. Ur bergmekanisk synpunkt kan de helt spoliera de bästa bergarter. De påverkar inte bara stabiliteten i berggrunden utan de utgör för bergsprängaren de strukturer som är avgörande för formgivningen av bergrummet eller schaktet och hanteringen av de utsprängda bergmassorna. Fig 6. I en bergmassa förekommer ofta främlingar som fribytare i berggrunden i form av tex bergartsgångar. Dessa kan ofta, som pegmatiterna, ha ett fast förband med sidobergarten och innebär då vid bergarbeten inga större komplikationer. Har däremot gångbergarten krympt vid stelnandet så att det uppstår ett glapp vid sidobergarten, så spolierar dessa gångar bergstabiliteten och inverkar menligt på sprängningsarbetet samt medför ofta vattenproblem. Det är sålunda inte bara bergarternas egenskaper utan även diskontinuiteterna i bergmassan som på förhand måste avslöjas för att man skall kunna ge en riktid varudeklaration på berget.

Problemet är komplicerat ur den synpunkten att en bergmassa kan variera i tekniska egenskaper inom mycket begränsade områden. Sålunda kan man inom en vanlig tomt få uppleva en utomordentligt hög kvalitet på berget i den ena delen av tomten och i den andra delen ett starkt uppkrossat och omvandlat berg.

I Sverige har vi förmånen att ha ur bergteknisk synpunkt många goda bergmassor. Så länge man har möjlighet att bland dessa välja ut de bästa bergkvaliteterna så minskas problemet med varudeklarationen.

Går man emellertid ut i världen så möter man ofta ett sämre berg. Valmöjligheterna är små, då projekten ofta är bundna till tätorter, goda hamnförhållanden etc. Man får då hålla tillgodo med det berg som bjuds och göra det bästa möjliga av detsamma. En varudeklaration av bergmassan och en analys av hur man skall angripa och hantera densamma är då en grundförutsättning för att man skall kunna presentera ett bergprojekt så att både beställare och entreprenör kan känna sig trygga vad avser till den ekonomi och de tidramar, på vilka projektet baseras.

DE VANLIGASTE ERUPTIVBERGARTERNAS HUVUDSAKLIGA MINERALSAMMANSTÄLLNING

DJUPBERG- ARTER +) MAGMATITER	Fri kvarts	Kalifält- spat	Plagioklas	Glimmer	Horn- blände	Pyroxen	MOT DJUPBERG- ARTERNA SVARANDE YT- OCH GANGBERG- ARTER ++)	
							RYOLIT	PORFYR
GRANIT GRANITOIDER	rikligt	rikligt	sparsamt eller måttligt	sparsamt	sparsamt, någon eller några			
SYENIT	--	rikligt	sparsamt	sparsamt	måttligt	--	TRAKYT	SYENIT- PORFYR
DIORIT	--	--	rikligt	--	rikligt	--	ANDESIT	PORFYRIT
GABBRO	--	--	rikligt	sparsamt	sparsamt	rikligt	BASALT	DIABAS HYPERIT

Med rikligt avses mer än 30 %, med måttligt 10-30 % och med sparsamt mindre än 10 %.

+) Långsamt stelnade, grovkristallinisk struktur.

++) Hastigt avkylda, finkornig till glasig struktur.

TABELL I

Några vanliga sedimentära bergarter och deras ursprung

Sandsten	=	hopläkt (cementerad) sand
Konglomerat	=	hopläkt (cementerat) osorterat, rundat (bollar) material (mineral och bergarter)
Lerskiffer	=	hopläkt (cementerad) och mer eller mindre förskiffrad lera
Alunskiffer	=	hopläkt (cementerad) och mer eller mindre förskiffrad lera med organisk substans, mörk
Sedimentkalksten ... (Karbonatstenar)	=	förhårdnat kalkslam (ur lösning utfälld kalцит) vanligen med fragment av kalkskal o. dyl. (fossil)

TABELL IINågra eruptiva och sedimentära bergarter och deras metamorfa motsvarigheter, Metamorfiter

Granit	bildar	Granitgnejs
Gabbro, Diorit } Porfyrit } Diabas, Basalt }	.....	" { Grönsten/Metabasit, Amfibolit (svart, vanligen pressad)
Kvartssandsten .....	.....	" Kvartsit, (fettglänsande, kornig)
Sandsten, Lerskiffer, Mylonit m. fl. ....	.....	" Gnejs, ådergnejs
Lerskiffer m. m. ....	.....	" Glimmerskiffer, Fyllit
Sedimentär kalksten ....	.....	" Kristallin kalksten och Dolomit (marmor) = Karbonatstenar
Porfyr, Porfyrit, Mylonit Vulkaniskt tuff .....	.....	" Leptit och Leptitgnejs
Breccia, Mylonit .....	.....	" krossat bergartsmaterial, hopläkt (cementerat)

TABELL III

Tabel I - III enl. Morfeldt, Stenhandboken, 1957 / 38 /

R15: 1976

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 720452-2 från
Statens råd för byggnadsforskning till Hagkonsult AB,
Stockholm.**

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

Pris: 31 kronor + moms