



STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT

SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

No. 49

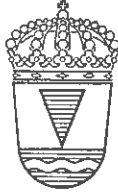
SÄRTRYCK OCH PRELIMINÄRA RAPPORTER

REPRINTS AND PRELIMINARY REPORTS

Supplement to the "Proceedings" and "Meddelanden" of the Institute

Lerzoner i berganläggningar

**Diskussionsmöte anordnat av IVA
den 7 oktober 1970**



STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT

SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

No. **49**

SÄRTRYCK OCH PRELIMINÄRA RAPPORTER

REPRINTS AND PRELIMINARY REPORTS

Supplement to the "Proceedings" and "Meddelanden" of the Institute

Lerzoner i berganläggningar

**Diskussionsmöte anordnat av IVA
den 7 oktober 1970**

FÖRORD

Med stöd av anslag från Styrelsen för teknisk utveckling (STU) påbörjades 1970 ett forskningsprojekt kallat "Stabilisering av berg med vittringszoner". Arbetsgrupp 4 inom förutvarande IVA:s Bergmekanikkommitté har svarat för forskningsprogrammet och har fram till våren 1972 även fungerat som styrgrupp för projektet. Projektnamnet har sedermera ändrats till "Lerzoner i berganläggningar". Arbetet har i huvudsak bedrivits vid Statens geotekniska institut av en särskild forskningsgrupp med Per Ahlberg som projektledare.

Forskningsprogrammet omfattar tre etapper, varav den första bl a inrymmer litteraturstudier. Dessa studier har redovisats av arbetsgruppen i "Forskningsrapport, Stabilisering av berg med vittringszoner, Etapp 1" till Styrelsen för teknisk utveckling (STU Dnr 69-1009/U 745) i april 1971. Det nu pågående arbetet under Etapp 2 kommer att resultera i flera delrapporter till STU (STU Dnr 71-63/U46). Delrapport 1, som utgör en förteckning över aktuell litteratur färdigställdes i juni 1972.

I samband med planeringen av projektet framfördes tanken att ordna ett diskussionsmöte i avsikt att ge forskningsgruppen vidgad information om problem rörande lerzoner i berganläggningar. Till mötet skulle inbjudas personer som i sin verksamhet kommit i kontakt med hithörande frågor. Därmed kunde man få till stånd ett ömsesidigt utbyte samt en inventering och konkretisering av de tekniska problem som kan uppstå i detta sammanhang.

Diskussionsmötet ägde rum den 7 oktober 1970 i Stockholm med Ingenjörsvetenskapsakademien som värd för ett 40-tal deltagare från Sverige, Norge och Finland. Under mötet behandlades flera intressanta fall, där leromvandling av berget förorsakat problem vid anläggningsverksamhet. Diskussionerna kring dessa fall, liksom gruppdiskussionerna kring speciella frågor, utmynnade i förslag och idéer, som för forskningsgruppen har varit av stor betydelse i det fortsatta arbetet.

Det allmänt visade intresset för problemställningarna samt ett uttalat önskemål vid diskussionsmötet ledde till beslutet att i efterhand dokumentera och publicera aktuellt material. Föreliggande rapport utgör sålunda en sammanställning av föredrag, anföranden och gruppdiskussionsredovisning från mötet samt resultat av genomförd enkät.

Rapporten har redigerats av Tekniska kansliet vid Statens geotekniska institut. Institutet framför sitt tack till författarna och IVA för deras intresse och stöd samt till Stiftelsen Bergteknisk Forskning (BeFo), som ekonomiskt bidragit till utgivningen av publikationen.

Stockholm i december 1972

STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT

INNEHÅLL

Förord

INLEDNINGSAINFÖRANDE	1
Bengt Broms	
PRESENTATION AV GENOMFÖRD ENKÄT	3
Per Ahlberg, Tom Lundgren, Shanti Parekh	
LERIGA ZONER I SVERIGES BERGGRUND	13
Jüri Martna	
EXEMPEL PÅ UTFÖRDA PROJEKT ("Case histories")	
Praktiska erfarenheter av lerzoner i svensk berggrund	39
Carl-Olof Morfeldt	
En zon av vittrat urberg i fjärrvärmestunnel under Linnégatan, Stockholm	51
Heino Roosaar	
Skarvbergstunneln på Nordkap-vägen i Norge	53
Claes Alberts	
Grundläggning av Kvinnokliniken, Östra Sjukhuset i Göteborg	59
Ingemar Larsson	
Spillvattentunnlarna på Hisingen, Göteborg	63
Tom Lundgren	
Svällande lerzoner i oljelagringsanläggningar	67
Sune Granström	
SAMMANFATTNING AV AKTUELLA PROBLEMSTÄLLNINGAR	71
Lars Olof Emmelin	

INNEHÅLL (forts.)

DISKUSSIONER

Klassificering av svällande leror i bergsprickor Jan Eurenus	77
Ämnen för gruppdiskussion	
Metoder att i förväg lokalisera lerzoner i berggrunden Grupp 1. Rapportör: Hans Helfrich	85
Metoder att under pågående arbeten identifiera lerzoner Grupp 2. Rapportör: Ann Mari Asklund	91
Metoder för bedömning av lerzoners farlighet och konsekvenser av uteblivna förstärkningsåtgärder Grupp 3. Rapportör: Carl-Olof Morfeldt	95
Olika förstärkningsmetoder Grupp 4. Rapportör: Bengt Broms	99

BILAGOR

Mötesprogram	Bilaga 1
Deltagarförteckning	Bilaga 2
Enkätformulär	Bilaga 3

INLEDNINGSANFÖRANDE

Bengt B. Broms, Statens Geotekniska Institut

Inom IVA:s Bergmekanikkommitté bedrivs sedan 1965 viss forskning på det bergmekaniska området. Arbetet har varit fördelat på fem arbetsgrupper, varav Arbetsgrupp 4 har haft ansvaret för problem, som berör bergets sönderbrytning. Till detta ämnesområde hör sådana frågor som bergtunnlars och bergrums stabilitet, ras i bergskärningar och bergslänter samt bergets sönderbrytning genom exempelvis sprängning, krossning, bränning eller skärning.

Ledamöter i Arbetsgrupp 4 är

Bengt Broms	Statens Geotekniska Institut
L. O. Emmelin	Vattenbyggnadsbyrån
Bo Hall	Nitro Consult
Olaf Meyer	Atlas Copco
K. A. Scherman	Statens Vattenfallsverk

Under åren 1966 - 1968 har arbetsgruppen studerat bergtunnlars stabilitet med finansiellt stöd av Statens Vattenfallsverk och Fortifikationsförvaltningen.

Owen S. Cecil, gästforskare från USA, har varit anställd som utredningsman. Ett antal tunnlar har studerats i detalj i Sverige och Norge.¹⁾ Jämförelser har gjorts mellan resultat av ingenjörsgelogiska förundersökningar, stabilitetsproblem som uppträdde vid utsprängningen och vidtagna förstärkningsåtgärder. Undersökningen, som kompletterades med modellförsök, utgjorde grunden till Cecils doktorsavhandling vid University of Illinois. Resultaten visade att 70% av de ras som hade inträffat kunde hänföras till förekomst av lerslag i berget.

Resultaten från Cecils undersökning föranledde arbetsgruppen att söka anslag från Styrelsen för teknisk utveckling (STU) i avsikt att studera stabilisering av

1) SGI Särtryck och preliminära rapporter No. 40.

berg med vittringszoner. Ett sådant anslag beviljades 1970. Undersökningens syfte var att belysa och söka förklara de leromvandlingar som uppträder i urberg, att utveckla sätt och laboratoriemetoder för identifiering av leromvandlat berg samt att utveckla beräknings- och förstärkningsmetoder.

Det ursprungligen framlagda forskningsprogrammet var mycket omfattande och skulle ta lång tid att genomföra. För att medge en smidig anpassning till såväl personella som ekonomiska resurser och kunna utnyttja aktuella, lämpliga försöksobjekt är det olämpligt att i förväg låsa programmet. En indelning i flera arbetsetapper har därför gjorts.

Första etappen omfattar litteraturstudier och intervjuer av byggherrar, entreprenörer och konsulter om deras erfarenheter från anläggningsverksamhet i berg och hur förekomster av lerzoner har påverkat stabiliteten. Resultatet från denna etapp skall ligga till grund för planeringen av följande etapper. Konferensen idag är en mycket viktig del i insamlandet av detta erfarenhetsmaterial.

De följande etapperna planeras omfatta studium av de fysikaliska och kemiska processer som leder till leromvandling. Särskilt ursprungsbergartens betydelse bör klarläggas samt möjligheten att fysikaliskt eller kemiskt förändra lermineralens egenskaper genom exempelvis jonutbyte. Vidare planeras att undersöka olika lerminerals svällningstryck, och hur detta påverkas av volymändringar. Dessutom planeras modell- och fältförsök, där främst olika förstärkningsmetoder skall undersökas. Man hoppas även kunna studera olika provtagnings- och identifieringsmetoder. Dessa studier bör utmynna i enkla beräkningsmodeller, förundersöknings- och förstärkningsmetoder av förvittringszoner, samt anvisningar för dimensionering och utförande av olika typer av förstärkningar.

För att kunna uppnå uppställda mål fordras emellertid ett intimt samarbete mellan forskare, konsulter, entreprenörer och byggherrar. Denna konferens är ett led i arbetsgruppens strävan att skapa förutsättningar för ett sådant samarbete. Den stora anslutningen och det stora intresset för forskningsuppgiften bådär gott för framtiden.

PRESENTATION AV GENOMFÖRD ENKÄT

Överingenjör Per Ahlberg, Statens Geotekniska Institut

Fil. kand. Tom Lundgren, KTH

Laboratorieingenjör Shanti Parekh, Statens Geotekniska Institut

Bakgrund

Den första etappen av forskningsprojektet "Stabilisering av berg med vittringszoner" avsåg bl a en inventering av leromvandlingsfenomenets utbredning och problem i samband därmed.

I syfte att komma i kontakt med personer med kännedom om dessa förhållanden utsändes under våren 1970 en kort frågelista till entreprenörer, byggherrar, konsulter och forskare, vilka antogs på något sätt ha kommit i kontakt med anläggningsarbeten i berg. Listan innehöll en anhållan om svar på frågan om lerzoner var kända i någon anläggning i Sverige, var denna i så fall är belägen och vilken funktion den har samt huruvida aktuella förhållanden kring anläggningen finns dokumenterade. Det inkom svar, som berörde 27 anläggningar. Man beslöt undersöka dessa objekt närmare.

I augusti 1970 utsändes en mera omfattande enkät till kontaktmännen för dessa objekt. Den omfattade allmänna uppgifter om anläggningen, eventuella förundersökningar, lerzonen i anläggningen, problem och förstärkningsarbeten samt om kostnad för drivning och förstärkning. Enkätformuläret medföljer här som bilaga 1. Det ansågs nödvändigt att svaren erhöles genom personlig intervju med kontaktmännen. Dessa intervjuer utfördes och sammanställdes till diskussionsmötet den 7 oktober 1970.

Behandling av enkätsvaren

Kännedomen om leromvandlingsförekomsterna var i allmänhet god för de objekt, som endast redovisade enstaka lerslag eller lerzoner. Objekt som däremot redovisar flera zoner med varierande uppträdande är mindre kända i de-

talj. Vissa objekt, ofta äldre anläggningar, finns dåligt eller inte alls dokumenterade. I vissa hänseenden blir således objekten svåra att jämföra.

Göteborgsområdet utgör ett intressant område eftersom leromvandling är ett vanligt inslag i dess berggrund och berganläggningsverksamheten blivit så intensiv där på senare år. Enkätsvaren från objekt inom detta område kommer därför att behandlas i ett särskilt avsnitt.

Objektens referensnummer, geografiska läge och funktion är redovisade i tabell 1.

Förundersökningar och sammanställning av enkät svar

Aktuella förundersökningar vid objektens anläggning, typer av sådana undersökningar samt därvid indikerade lerzoner har sammanställts i tabell 2.

Lerzonernas uppträdande

Leromvandlingszoner har rapporterats från anläggningar med bergtäckning varierande från 0 till 150 m. I allmänhet är lerzonerna vertikala, men lutande sådana är också vanliga. I två fall har även redovisats mer eller mindre horisontella omvandlingszoner. Påträffade zoner i anläggningar är oftast genomgående och plana, vilket i förhållande till anläggningarnas dimensioner tyder på ganska stor utbredning i plan. Det har inte rapporterats någon exakt iakttagelse av någon sådan utbredning tillhörande någon kraftigare zon. Av observationer att döma torde dock utbredningar på över 50 m vara vanliga (fig. 1).

Lerslag av typ 1A (fig. 2 och bilaga 3) med mäktighet mindre än 0,1 m är vanliga både som enstaka slag och svärmvis i zoner med varierande antal slag. Bredare lergångar av typerna 3 och 4 samt lerzoner av typ 2 förekommer oftast ensamma. För en anläggning (Väg- och Vattenbyggaren nr 1/1965) är rapporterat minst 800 längdmeter lerfyllda sprickor varav ungefär hälften med mer än 0,5 m bredd. Här torde zonindelning icke vara möjlig.

Av sammanlagt 21 svar från 17 anläggningar fördelar sig lerbeförekomsttyp enligt tabell 3.

TABELL 1. Data för rapporterade objekt med lerzoner

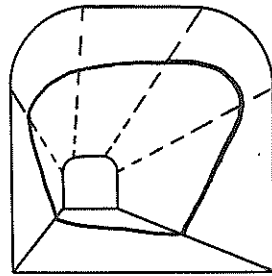
Löpande nr	Referens nr	OBJEKT Läge Ort och län	BERGRUM			TUNNLAR			ÖPPNA SCHAKT		
			Produktlagring	Maskin- o skyddsrum	Övriga rum	Rå- o spillvatten	Kraftverksanläggning	Trafikanläggning	Övr torra anläggning	Byggnader	Kanaler
1	1	Lackarebäcken, Göteborg				•					
2	3	Fysicum Chalmers, Göteborg								•	
3	4	Uddcomb, Karlskrona									•
4	5	Östra Sjukhuset, Göteborg								•	
5	6	Hisingen, Göteborg				•					
6	8a	Kortedala-Bergsjön, Göteborg						•			
7	8b	Hjällbo-Hammarkullen, Göteborg						•			
8	8c	Kortedala torg, Göteborg						•			
9	9a	Medicinarberget, Göteborg							•		
10	9b	Gårda, Göteborg						•			
11	11	Norrboda, Stockholms län				•					
12	12	Lidingö, Stockholms län				•					
13	13a	Huvudsta, Solna, Stockholms län							•		
14	13b	Sollentuna Centrum, Stockholms l.				•					
15	14	Rasta, Ekerön, Stockholms län								•	
16	15a	Hemlig ort, Malmöhus län		•							
17	15b	Hemlig ort, Kristianstads län	•								
18	17	Rätan, Jämtlands län						•			
19	18	Junsele, Västernorrlands län						•			
20	19	Sällsjö, Jämtlands län						•			
21	20	Mörsil, Jämtlands län						•		•	
22	21	Stensjön, Jämtlands län						•			
23	23	Hällby, Västernorrlands län								•	
24	25a	Östertälje, Södertälje, Sthlms län				•					
25	25b	Hågelbygård, Botkyrka-Tumba Stockholms län				•					
26	16	Genastorp, Osby, Kristianst. län						•			
27	27	Trängslet, Kopparbergs län						•			

TABELL 2. Förundersökningar av objekt med lerzoner

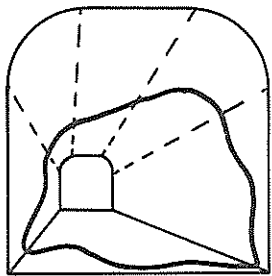
Typ av undersökning	Antal objekt	%
Totalfördelning		
Inga förundersökningar	7	26
Förundersökningar utförda	20	74
Totalt	27	100
Fördelning på typer av undersökningar (26 objekt)		
Bergartskartering	12	46
Kartering av kross- och sprickzoner ovan jord	8	
Seismiska undersökningar	10	38
Jorddjupsbestämningar	10	38
Hammarborrning	10	38
Kärnborrning	11	40
Andra metoder:	5	19
Allmän inspektion av blottat berg	1	4
Läckageberäkning	1	4
Akustiska metoder	1	4
Bergtrycksmätningar	1	4
Magnetometriska metoder	1	4
Indikerade lerzoner (17 objekt)		
Fastlagda till utbredning och karaktär	2 fall	
Konstaterade	1 fall	
Misstanke om lerzoner	2 fall	

TABELL 3. 21 fall av lerbeförekomst i 17 anläggningar fördelade på olika lerbeförekomststyper enligt fig. 1 och bilaga 3.

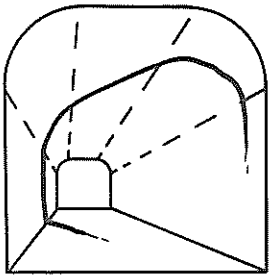
Lerbeförekomststyp	1A	1B	2	3	4	5	6
Antal	8	0	2	2	5	0	4



Genomgående,
plant slag

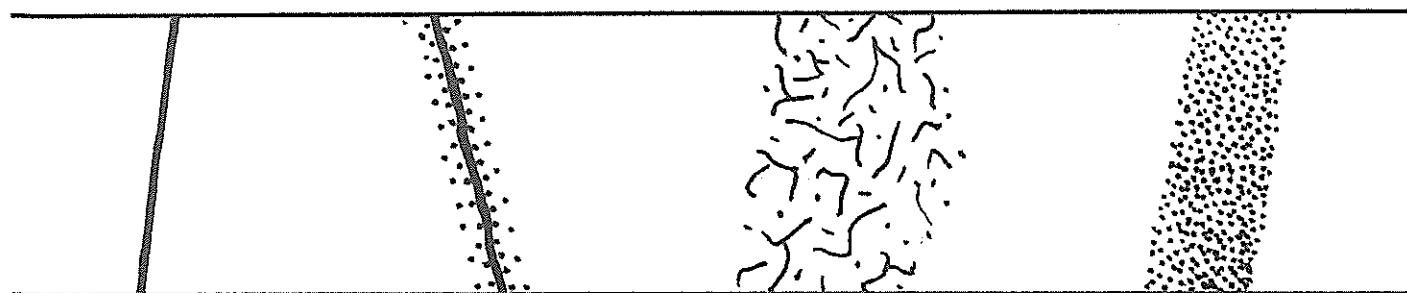


Genomgående,
vindlande slag



Ej genomgående
slag

Fig. 1. Förklaring av begreppen genomgående, plant och vindlande.



TYP 1A

"Lerslag".

Leromvandling
begränsad helt
till sprickan.

TYP 1B

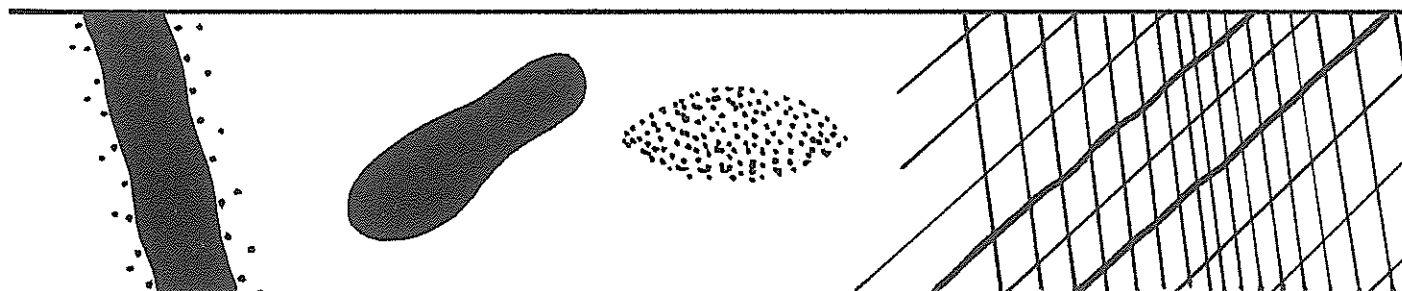
"Lerslag" med
vittring i om-
givande berg.

TYP 2

Oregelbunden
leromvandling
företrädesvis
i smala band.
Inga genom-
gående slag.

TYP 3

Gångformig
lerförekomst.
Ofullständigt
leromvandlad.



TYP 4

"Lergång".

Fullständigt
leromvandlad.

TYP 5A

Fullständigt resp. ofullständigt
leromvandlad kropp. "Lerlins".

TYP 5B

TYP 6

Leromvandlad matrix
i breccia eller lerfilm
i alla slag i tektonisk
zon.

Fig. 2. Schematisk skissering av olika leromvandlingstyper i t ex en tunnelvägg.

Av 17 anläggningar med förekomst av leromvandlat berg har det i 9 fall företagits närmare undersökningar av lerzonerna. 7 av dessa (9 undersökningar) har skett med röntgen och 2 med någon form av svällningsförsök.

Sidoberget

Lerzonernas sidoberg har utgjorts av gnejs, granit, amfibolit, diabas, fjällskiffer och alunskiffer. Jotnisk sandsten har rapporterats innehålla slag med sericit (glimmertyp). Sidobergets karaktär har varit växlande som framgår av tabell 4.

TABELL 4. 17 svar angående sidobergets karaktär

Sidobergets karaktär	Ja	Nej	Vet ej
Sidoberget vittrat	5	9	3
Sidoberget uppsprucket	9	5	3
Vattenläckage i eller i anslutning till zonen	7	6	4

Problem vid drivningen

Såsom framgår av tabell 2 kunde i 3 av de 17 anläggningarna leromvandlingen indikeras vid förundersökningarna. De övriga lerzonerna upptäcktes vid indrift utom i två fall, där de observerades vid besiktning.

Vid fem av anläggningsarbetena har man haft borrhningssvårigheter vid drivning genom zonerna. Två av dessa var emellertid av mindre allvarlig art. Sprängningssvårigheter har rapporterats för tre anläggningar, varav två av mindre grad. Inga svårigheter med lastningen har rapporterats från anläggningarna. Tvärtom har denna ibland underlättats vid brytning genom lerzoner. Utfallsproblem har förekommit i fem anläggningar. Svällning har konstaterats i endast två fall och har i bägge fallen uppkommit först en viss tid efter indrift.

Förstärkningar

25 svar angående förstärkningstyp i 17 anläggningar fördelar sig enligt följande

de tabell. (4 anläggningar saknar förstärkning av förekommande leromvandling).

TABELL 5. Olika förstärkningsåtgärder vid leromvandling och ändamålet med eller momentet för insatsen

Typ av förstärkning	Förstärkningsåtgärder					
	Bultning	Bultn. nätn.	Injekttering	Sprutbetong	Armerad spr. btg	Ingjutning btg. båge etc
Driftsförstärkning	1	1	-	1	-	1
Permanent förstärkning	-	-	-	-	-	-
Efterförstärkning	-	-	-	-	-	-
Ett-momentförstärkning	3	-	3	5	3	7

Förstärkningskostnader

Få av enkätsvararna har vågat sig på att uppskatta hur stor del av deras förstärkningsinsatser, som varit motiverade av leromvandlingsförekomster och hur stor del, som betingats av det ofta i övrigt dåliga berget i lerzonernas omgivning. Med hänsyn härtill kan man påstå, att förstärkningskostnaderna sällan låter sig beräknas med avseende på lerzoner.

GÖTEBORGSOMRÅDET

Allmänt

Att leromvandling förekommer i varierande omfattning inom praktiskt taget hela urberget inom Göteborg stad bekräftas av iakttagelser från flera anläggningar. Hittills har inrapporterats elva anläggningar med leromvandlingsproblem, nio tunnelanläggningar och två husschakter.

Förundersökningar

För praktiskt taget varje tunnel- och bergrumsanläggning i Göteborg utförs någon form av förundersökning. I dessa brukar ingå

- 1) Någon form av geologisk ovanjordsbesiktning
- 2) Seismiska mätningar (om möjligt)
- 3) Borrningar, dels hammarborrningar och liknande för att bestämma jorddjup i dalarna, dels kärnborrningar i misstänkt dåligt berg.

Förundersökningar kan ännu inte ge exakta informationer om leromvandlingarnas karaktär och omfattning. Man har dock kunnat få en viss uppfattning av leromvandlingsrisken för olika sträckningsalternativ. Efter hand som den lokala kännedomen om geologi och tektonik ökar, kan dessa prognoser troligtvis göras säkrare.

Lerzonernas uppträdande

Samtliga lerzonstyper enligt frågeformuläret, utom typ 5A och 5B är vanliga i Göteborgsområdet. Liksom i övriga landet är de vertikala lerslagen eller -zonerna vanligast, men lutande sådana och speciellt då de som följer för-gnejsningsriktningen är också vanliga. I det senare fallet är det ofta fråga om leromvandling av basiska inlagringar i gnejs och granit.

Sidoberget

Lerzoner tycks uppträda sporadiskt inom alla förekommande bergartstyper.

Vissa bergartstyper som t ex en basisk och grå gnejs med starkt alkaliskt innehåll har otvetydigt högre frekvens av lerzoner. Sidoberget är i allmänhet inte förvittrat i anslutning till lerzonerna. Krosszoner i anslutning till lerzoner förekommer, men är inte vanligt. Mindre vattenläckage kan förekomma, men överhuvudtaget är leromvandlingszonerna i allmänhet torra.

Problem vid drivningen

Lerzonerna konstateras så gott som alltid vid indriften. Vid fullt utbildad och ej hård lera förekommer borrhningssvårigheter i samband med typerna 1A, 1B och 4. Det kan däremot gå lättare än normalt vid borrhning genom lerzoner av typ 2, 3 och 6. Borrhnings- och laddningssvårigheter till följd av borrhålsras samt sprängningssvårigheter på grund av övertändning eller avskjutning har rapporterats. Utfall förekommer tydligt oftare i mer lerfrekventa partier jämfört med motsvarande utan lera. De flesta lerzonerna innehåller svällande lera. Svällningseffekter uppträder i allmänhet först efter 3 månader, och i vissa fall först efter 1/2 - 1 år. Svällningsförmågan är ofta varierande. I samtliga rapporterade fall har lerzonerna undersökts med röntgen samt i två fall även med ödometer. I bägge fallen uppgick svällningstrycket till 4 kg/cm².

Förstärkningar

Förstärkningar utföres ofta i två moment - driftsförstärkning och permanentförstärkning. I några fall har även efterförstärkning måst tillgripas. Oftast är det då tyngre förstärkningar i form av betongbågar eller gjutna konstruktioner, som måst komplettera tidigare förstärkningar. De vanligaste förstärkningsåtgärderna omfattar annars sprutbetong och armerad sprutbetong.

Förstärkningskostnader

I Göteborg finns och byggs för närvarande ca 4 km trafikunnelar där leromvandlingsproblem förekommer. Förstärkningskostnaderna för dessa är av samma storleksordning som drivningskostnaderna. Totala sträckan av påbörjade och färdigställda vatten- och gemensamhetstunnelar med lerzoner utgör ca 50 km. Förstärkningskostnaderna för dessa tunnelar uppgår till 40 - 50% av drivningskostnaderna. I ett fall till 92%.

LERIGA ZONER I SVERIGES BERGGRUND

Byrådirektör Jüri Martna, Statens Vattenfallsverk

Lermineral är till sin kristallstruktur bladiga silikat och har förmågan att mellan dessa blad upptaga vatten (Grim, 1953; Pusch, 1970). De har ur teknisk synpunkt två viktiga egenskaper, dels är deras hållfasthet i hög grad beroende av vattenhalten och dels utövar de ett svällningstryck vid vattenupptagning, vissa av dem (de montmorillonitiska lerorna) ett mycket påtagligt sådant. Dessa egenskaper är väsentliga orsaker till förekommande skador i berganläggningar.

Lermineral bildas främst genom omvandling av fältspat och glimmer, och denna process synes alltid kräva närvaro av vatten. De viktigaste bildningssätten är vittring, då vattnet kommer från jordytan, och hydrotermal omvandling då vattnet härstammar från jordens inre. Det finns dock även andra bildningssätt, exempelvis genom inverkan av havsvatten på vulkaniskt glas (bentonitbildning) och i vissa fall kan inverkan av tektonik inte uteslutas. Vilka lermineral som bildas vid omvandlingen torde väsentligen bero på bildningsmiljön, kanske i någon mån även på utgångsmaterialet. Det kan i det enskilda fallet vara mycket svårt att avgöra bildningssättet. Detta har inte enbart teoretiskt intresse utan även en avsevärd praktisk betydelse, exempelvis vid bedömning av möjligheter att undvika besvärliga lerzoner.

Lerminerals förekomst

Leromvandlingen av berget börjar vanligen i genomsläppliga partier där vattnet kan cirkulera. I första hand blir alltså förkastningar, överskjutningar och andra sprickiga zoner i berget angripna (fig. 1). Därifrån sprider sig omvandlingen längs sprickor och i sista hand längs korngränser till det övriga berget. Även kontaktytor mellan gångar och det omgivande berget, där det ibland förekommer sprickor, kan i sådana fall bilda utgångslägen för leromvandling. Det förefaller sannolikt (Selmer-Olsen, 1963 och 1971; Brekke, 1965b), att en del norska lerzoner helt eller delvis har bildats av hydrotermalt (i lösningsform

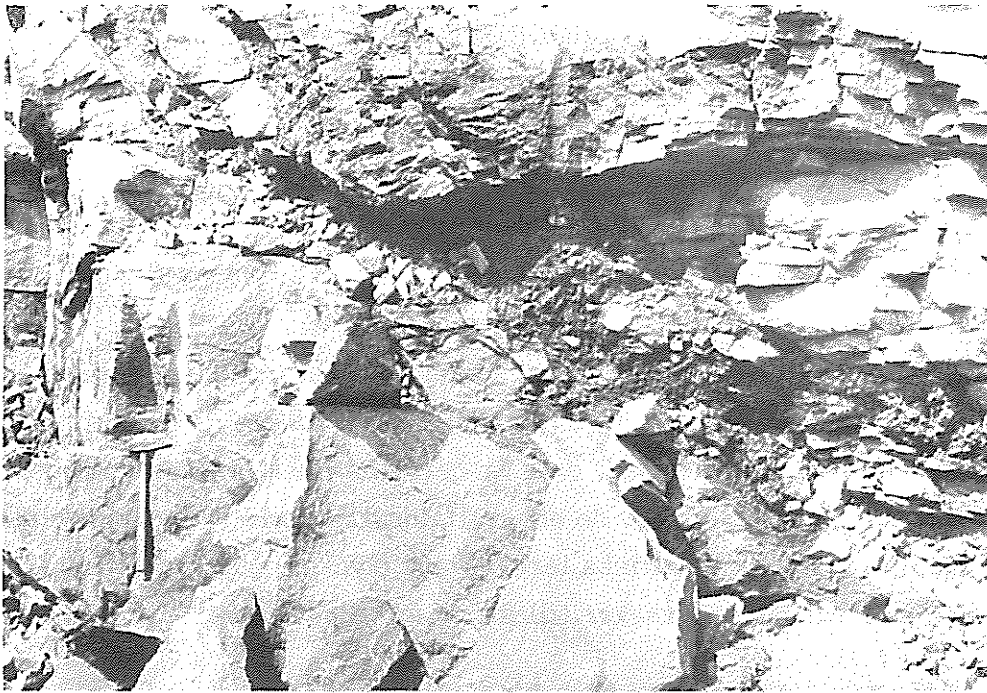


Fig. 1. Lerhaltig krosszon i gnejs. Ringhals kraftstation, Väröbacka. Foto förf.



Fig. 2. Skarp gräns (pilen) mellan leromvandlat (nedre delen av bilden) och friskt berg. Letsi kraftstation (Lule älv), avloppstunnel. Foto förf.

från jordens inre) tillfört material.

Både i Norge (Brekke, 1965b) och i Sverige kan man observera lerzoner av två principiellt olika typer. I det ena fallet har zonen en skarp gräns till det omgivande friska berget (fig. 2) och i det andra är övergången diffus till ett mer eller mindre omvandlat sidoberg (fig. 3). Detta behöver i och för sig inte betyda olika uppkomstsätt; i Bergforsen förekommer båda typerna sida vid sida (v. Eckermann, 1958) och är båda av hydrotermalt ursprung. Själva omvandlingen kan ske på olika sätt, bilda olika mönster (fig. 4 och 5).

En fråga av byggnadsteknisk betydelse i sammanhanget är kornstorleksfördelningen av det omvandlade bergartsmaterialet. Det förefaller som om i flertalet fall resultatet av omvandlingen av eruptiva och metamorfa bergarter är en moränartad eller grusig massa med en relativt god stabilitet (fig. 6 och 7).

När leromvandlade partier av berget eroderas, bildas sedimentära lerlager. Dessa avlagras normalt i botten på vattensamlingar, men även öppna håligheter och sprickor i berget kan fyllas av sediment (fig. 12, 13 och 14). På detta sätt bildas vanligen finkorniga och välsorterade sprickfyllnader.

Det krävs således speciella förhållanden, exempelvis svällande lera, abnormt hög lerhalt, dåligt sidoberg eller olämplig riktning av lerzoner, i olika kombinationer, för att besvärligare förhållanden än "normalt" skall uppstå.

Lerzoners förekomst i Sverige

De flesta i Sverige förekommande leromvandlingar i berget är sannolikt mycket gamla och uppkomna under helt andra betingelser än de nu härskande.

S k lättvittrande berg är ofta således redan vittrat; vid vilken vattenhalt lermeneral förekommer beror väsentligen på den redan vid bildning eller eventuellt senare erhållna konsolideringsgraden (v. Eckermann, 1958; Brekke & Selmer-Olsen, 1966). Det kan hända, att leran väller direkt ut i en nysprängd öppning. Det kan också hända att vattenhalten ligger under den hygroskopiska, varvid leran har förmåga att, under svällning och hållfasthetsminskning, uppta fuktighet ur luften. Det synes emellertid vara ganska vanligt, att någorlunda fasta



Fig. 3. Diffusa gränser mellan leromvandlat och friskt berg. Seitevare kraftstation (Blackälven), inspektionstunnel. Foto förf.

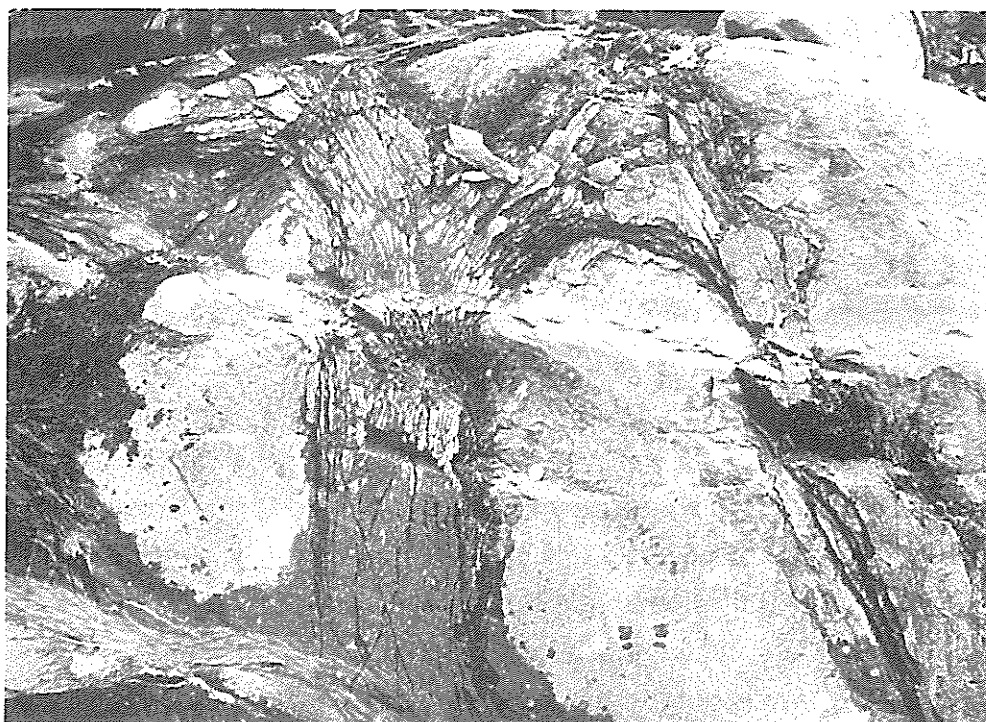


Fig. 4. Klotvittring i grönsten. Bastusels kraftstation (Skellefte älv), dammläge. Foto förf.



Fig. 5. Smala vittrade stråk i frisk granit. Bastusels kraftstation (Skellefte älv), avloppstunnel. Foto förf.

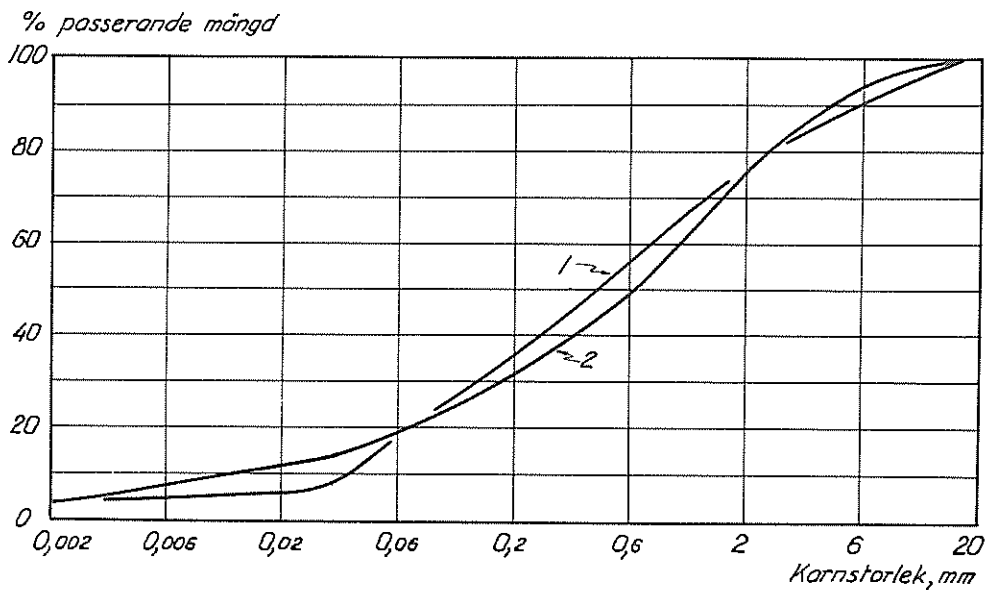


Fig. 6. Kornstorleksfördelning av material under 16 mm från två krosszoner i tunneln Suorva-Vietas.
 1: tunnelsektion 3 + 970 m (Se fig. 18), överskjutningszon bestående väsentligen av krossad skiffer.
 2: tunnelsektion 1 + 335, överskjutningszon bestående väsentligen av krossad mylonit.

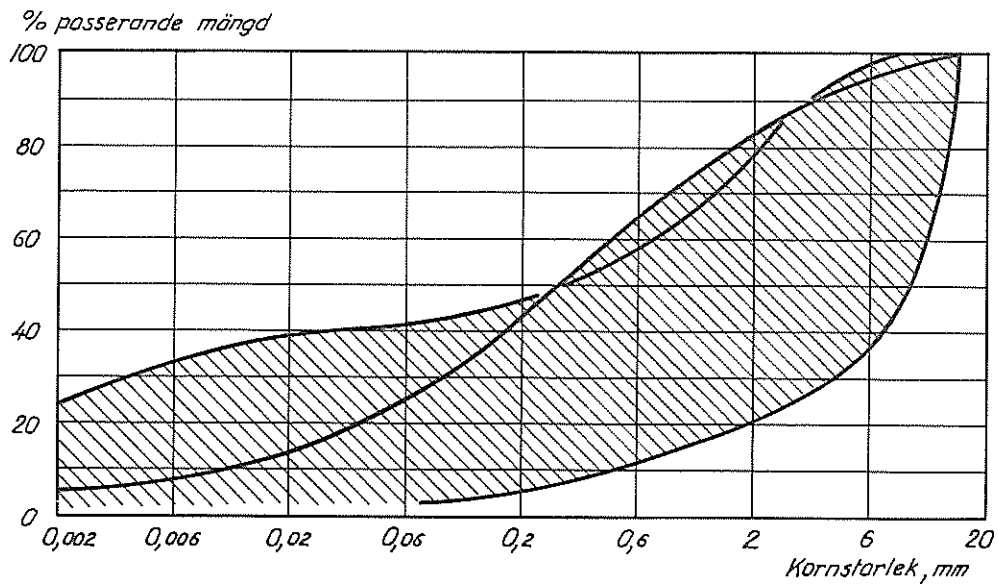


Fig. 7. Kornstorleksfördelning av material under 16 mm från vittrade alnögångar, Bergeforsen. Några extrema kurvor och spridningsområdet. Enl. Bernell (ej publ.).



Fig. 8. Kaolinvittrade sprickor i gnejs ca 90 m under bergsytan. Stornorrfors kraftstation (Ume älv). Foto förf.

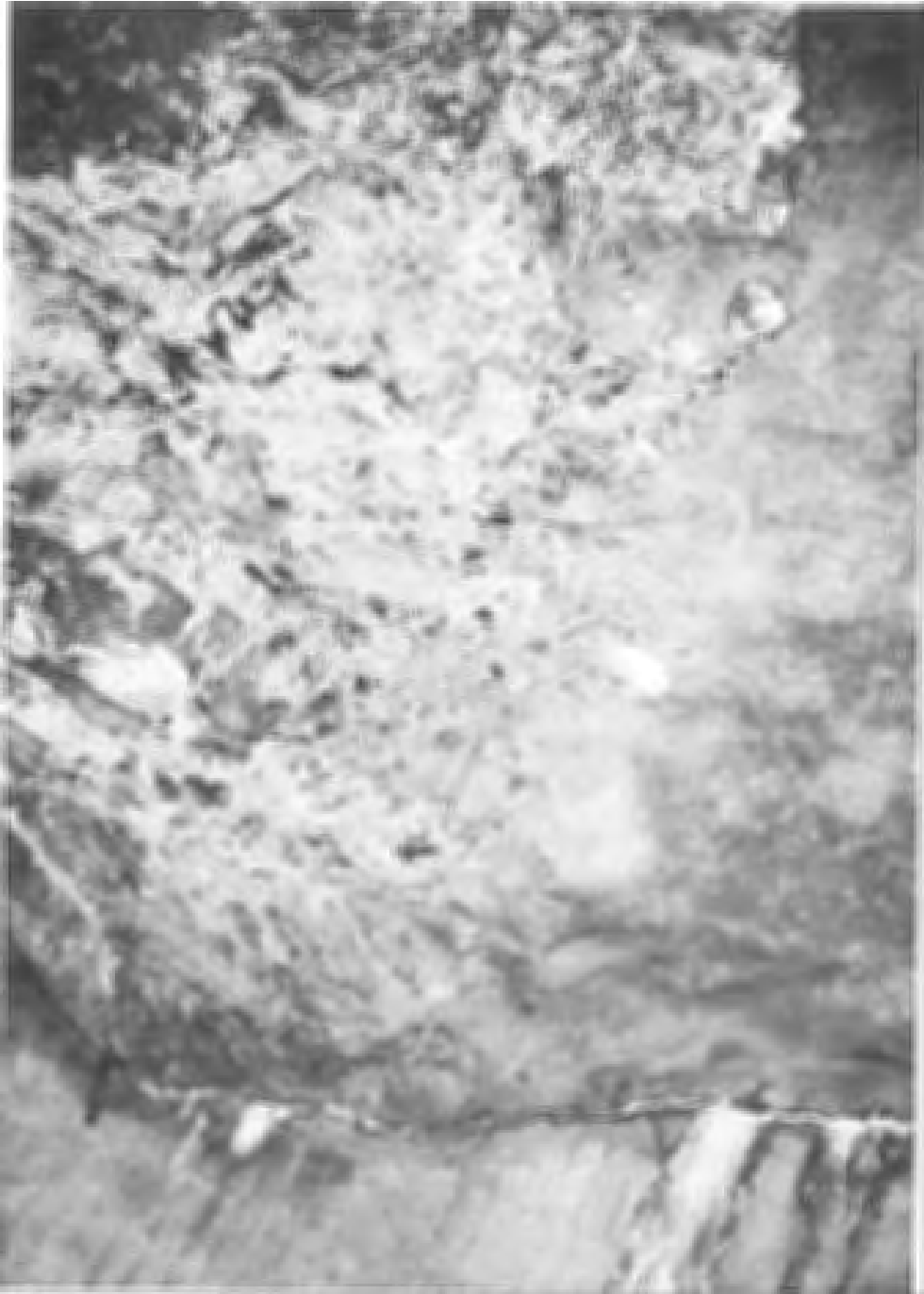


Fig. 9. Tak bildat av vittrad krosszon i gnejs ca 90 m under bergytan. Sprutbetong t. h. Kalkutfällningar på betongväggen nederst i bilden. Stornorr-fors kraftstation (Ume älv). Foto förf.

lermineral förekommer vid en vattenhalt som kräver tillgång till fritt, flytande, vatten för att skadlig hållfasthetsreduktion och svällning skall ske.

Någon enstaka gång har man kunnat sätta en minimiålder för omvandlingen. Så är exempelvis kaolinfyndigheten på Ivö äldre än krittidens avlagringar där (Byström-Asklund, 1969), och Billingen och de andra västgötabergen vilar på vittrat urberg, där vittringen är äldre än kambrium (Lundqvist, Högbom & Westergård, 1931). Åldern av Alnö-intrusionen har bestämts till högst 562 milj. år (v. Eckermann & Wickman, 1956). I de flesta fall känner man dock inte till tiden och betingelserna för leromvandlingen. Det bör speciellt noteras, att man inte vet hur djupt under bergytan dylika omvandlingsfenomen kan påträffas. I Nyängsgruvan t ex har oxidering av järnmalm observerats ca 500 m under bergytan (Magnusson, 1953). S k mullmalmer och andra omvandlingsfenomen har påträffats flerstädes på flera hundra meters djup (Geijer & Magnusson, 1926; Geijer, 1930; Magnusson, 1953 p. 231 - 234; Frietsch, 1960).

Krosszoner med någon lerhalt och s k lerslag är vanliga över hela Sverige. Mera genomgripande omvandling av mäktiga krosszoner och större bergpartier är mindre allmän. I norra Skåne och södra Blekinge (Röstånga, Hässleholm, Ivö m fl) finns ett flertal vid olika tidpunkter industriellt utnyttjade kaolinförekomster i urberget. (Grönwall, 1915; Byström-Asklund, 1969). Större leromvandlade bergpartier har observerats även i andra delar av Sverige (Fromm, 1951; Högbom & Lundqvist, 1930; Larsson & Sandegren, 1956). I Stornorrfors vid Umeå förekommer påtagligt kaoliniserad gnejs till minst 100 m under bergytan (fig. 8 och 9; Åhman, 1961). Mäktiga leromvandlade krosszoner har bl a påträffats vid kraftstationsbyggen vid Klarälven (Ljunggren, 1955), Luleälven (fig. 2; Gavelin, 1914; Bernell, 1964) och Skellefteälven.

Beträffande många av dessa förekomster är det inte klarlagt huruvida de är resultatet av vittring eller hydrotermala processer. I några fall synes vittring vara orsaken (Frietsch, 1960) i andra är en hydrotermal uppkomst sannolik (Ljunggren, 1955; Byström, 1956). Bäst undersökt beträffande orsakssammanhangen torde leromvandlingen omkring Alnö, norr om Sundsvall, vara (v. Eckermann, 1954, 1958 och 1961). Dessa undersökningar har till en väsentlig del bedrivits i samband med utbyggnad av Bergforsens kraftstation. Uppkomsten av de s k alnögångarna och omvandlingsfenomenen i samband med dessa kan hänföras till en vulkan i Klingerfjärden norr om Alnön, där det åtmins-



Fig. 10. Bergskärning i Kvarntorp (Närke). Den vertikala väggen nederst i skärningen bildas av underkambrisk sandsten med en del leriga skiktytor. Sluttningen ovanför väggen består av lätt sönderfallande mellankambrisk lerskiffer. Överst en lägre, vertikal, vägg av alunskiffer. I bakgrunden fyllningsmassor av alunskiffer. Foto förf.



Fig. 11. Ortocerkalk med vittrande tunna skikt av mörkel (kalkrik lera) Hällabrottet (Närke). Foto förf.

tone vid tre olika tillfällen inträffade explosioner flera kilometer under bergytan. Därvid splittrades berggrunden och gaser, vatten och alkaliskt magma trängde in.

Inom en radie av flera mil från Klingerfjärden förekommer det flera olika ur teknisk synpunkt riskabla fenomen:

- 1) montmorillonitbildning i gnejsgranit längs sprickor
- 2) montmorillonitbildning i vissa alnögångar
- 3) förekomst av kalkspat, ibland jämte flytande kolsyra i montmorillonithaltiga gångar.

Montmorilloniten förekommer vid lägsta möjliga vattenhalt, och sväller när berget spräcks vid sprängningsarbeten.

Det vittrade berget har alltid varit utsatt för erosion, och det eroderade materialet har avsatts i form av sediment. De äldsta av dessa ingår normalt såsom metamorfa bergarter (glimmerskiffer, gnejs m m) i urberget. Ibland kan dock även prekambrisk sedimentära leror vara förvånansvärt väl bibehållna (Lindqvist, 1961). I yngre bergarter däremot är det ganska gott om mer eller mindre konsoliderad lera (lera, skifferlera, lerskiffer, märgel) i olika lagerföljder (fig. 10 och 11).

Det förekommer i Sveriges kambrosilur även lager av bentonit, dvs till montmorillonitisk lera omvandlad vulkanisk aska. (Jaanusson & Martna, 1948; Thorslund, 1948; Byström, 1954 och 1957). Det är uteslutande på grund av att inga väsentligare byggnadsverk har kommit att stå intill dem, som man veterligen har sluppit problem med dessa. Bland de kvartära jordlagren finns märkliga leravlagringar.

Det förekommer även att kvartära avlagringar finns som sprickfyllnader i berget, någon gång flera tiotals meter under bergytan (fig. 12, 13 och 14; Morfeldt, 1962; Morfeldt, Nordin & Roosaar, 1967). Det är då, till skillnad mot "normala" sprickfyllnader, vanligen fråga om väl sorterat material. Sådana sprickfyllnader är ur stabilitetssynpunkt, och kanske främst ur erosions-synpunkt, ofta farligare än sprickfyllnader av krossat och vittrat berg.

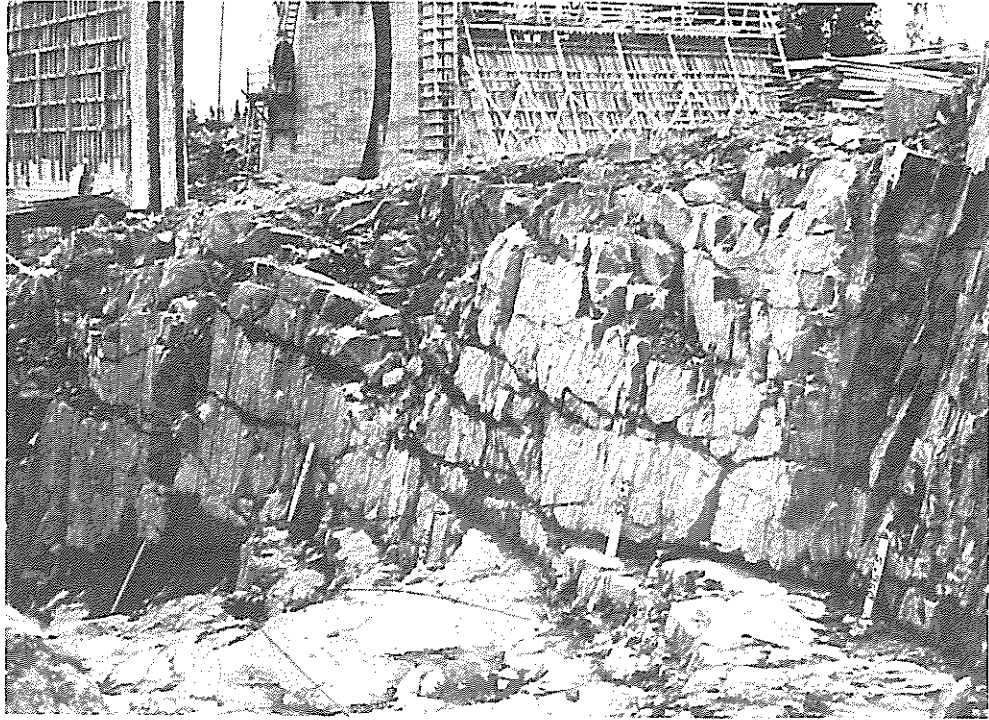


Fig. 12. Granit med flackt stupade sprickor, de flesta av dem fyllda med inspolat finkornigt sedimentmaterial. Parki kraftstation (Lilla Lule älv), intag. Foto förf.

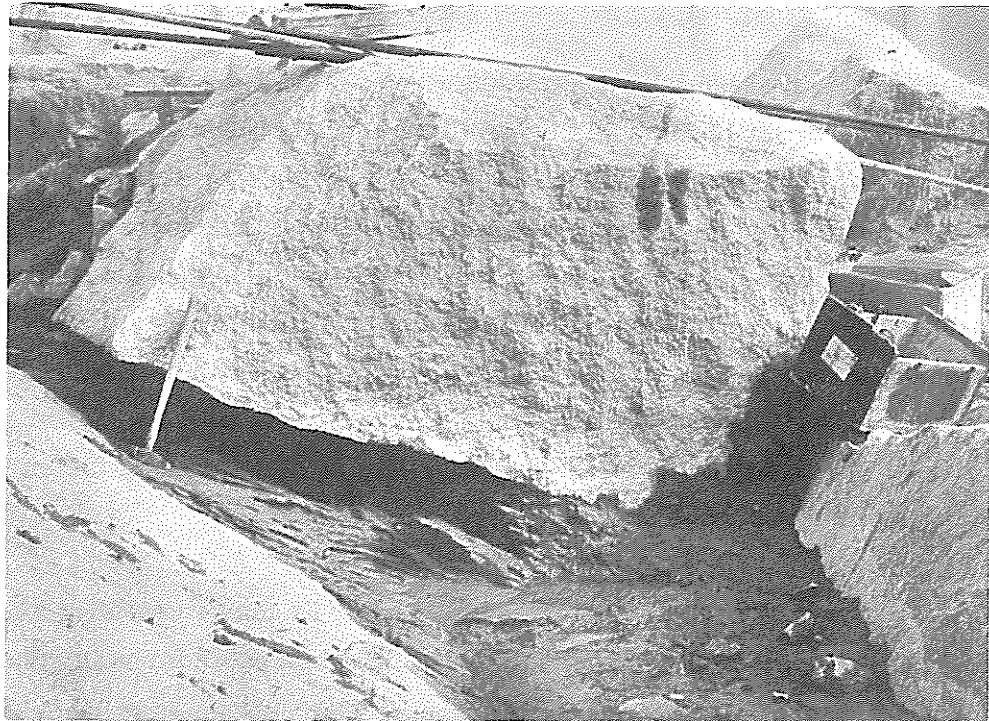


Fig. 13. Spricka i granit, fylld med lättroderad sedimentär mjällig mo. Bodens kraftstation (Lule älv), dammläge. Foto förf.

Geologisk-teknisk diagnos

Det hör till sakens natur att mjuka, trasiga och leriga bergpartier sällan är blottade, utan döljer sig under jordlager i dalgångar och sänkor. Exempelvis är några få blottningar, mest vägskärningar, allt man normalt kan se av många hundra alnögångar i Sundsvalls-området (fig. 15).

Även om en del problem ibland kan lösas med geologisk kartering och flygbildstolkning är man i väsentlig mån hänvisad till att arbeta med geofysikaliska metoder och borrhningar vid undersökning av sprickigt och vittrat berg. I Sverige har man vanligen använt seismiska undersökningar (Scherman, 1959; Hasselström, Rahm & Scherman, 1964). Utomlands har även t ex mätningar av elektriskt motstånd utförts i syfte att bedöma bergets vittringsgrad (Moura-Esteves, 1970). En helt ny metodik håller på att växa fram vad gäller fjärrbedömning eller -mätning av temperaturdifferenser, s k remote-sensing (Wobber, 1970).

De seismiska undersökningarna går ut ifrån, att man i gott urberg har en gånghastighet av omkring 5000 m/sek. eller något mera. Är berget krossat eller vittrat sjunker hastigheten. I urberget anses vanligen hastigheter under ca 4000 m/sek. tyda på väsentligt försämrade bergförhållanden och motivera en närmare undersökning. Seismiken i sig ger ingen upplysning om bergets vittringsgrad.

I den mån man vid seismiska undersökningar erhåller nedsatta hastigheter finns vissa möjligheter att bedöma vad dessa olika hastighetsnivåer innebär ifråga om bergets sprickighet (Cecil, 1971; Helfrich, 1971). En stor svårighet ligger emellertid i förhållandet, att seismikens upplösningsförmåga gentemot bergstrukturer är relativt begränsad (fig. 16). Seismiken lämpar sig således bäst för fastställande av mäktiga krosszoner och större områden med dåligt berg, medan mindre lerzoner, som dock kan vara nog så besvärliga, lätt passerar oförmärkt (Granström, 1965). Kännedom om den lokala geologin har vid skilda tillfällen (Niini & Manunen, 1970; Helfrich, 1971) framhållits som en väsentlig förutsättning för en framgångsrik tolkning av seismik.

Vid undersökning av mindre sprick- och lerzoner är man i väsentlig mån hänvisad till borrhål. En viss uppfattning av sprickzoners natur får man genom att observera vad som händer vid vatteninpressning i borrhål med ett successivt ökat och minskat tryck (fig. 17). Borrhål kan även inspekteras visuellt genom borrh-



Fig. 14. Varvig sedimentär lera i en spricka i Sjöfalls-sandstenen, ungefär 5 m under bergytan. Satisjaure regleringsdamm, utskov. Foto förf.



Fig. 15. Några alnögångar (pilarna) i gnejsgranit. Sidotag för vägbygge i Bergforsen. Foto förf.

hålskikare eller TV-kamera. Den viktigaste därigenom erhållna upplysningen torde vara huruvida det förekommer öppna sprickor eller hålrum, och riktningen hos dessa.

Vid hammarbörningar kan borrsjunkning registreras och ge upplysningar om bergets beskaffenhet, likaså vissa drag i borrkaxets kornstorlekssammansättning (Martna & Gustafson, 1962).

Det är mycket svårt att vid förundersökningar få prover av leromvandlat berg, då vid kärnbörningar leran tenderar att följa med spolvattnet. Om man nu lyckas med det, antingen genom att få en kärna, genom att ta vara på spolvattnet eller genom att ta vara på borrkaxet i ett hammarborrhål, blir identifieringsproblemen likartade med dem man har vid provtagning i bergytor före eller under byggnadstiden.

Lermineral identifieras vanligen medelst röntgendiffraktion eller differentialtermisk analys. Den förra metoden innebär, att man åstadkommer en brytning av röntgenstrålar i ett prov. Brytningsmönstret beror på kristallstrukturen hos de i provet ingående mineralerna som således kan identifieras. Den differentialtermiska metoden bygger på att en del mineral vid uppvärmning ändrar kristallstruktur vid vissa karakteristiska temperaturer. Härvid antingen förbrukas eller frigöres värme och det uppstår en temperaturdifferens till en jämförelsekropp.

En del färgningsmetoder för identifiering av lermineral finns beskrivna (Mielenz, King & Schieltz, 1950). Egentligen är det vid denna metodik inte fråga om färgning utan om kemisk reaktion mellan lermineral och färgämne, vars synliga resultat är en ändrad färg. Exempelvis, om man tillsätter malakitgrönt till en syrabehandlad lera, ger kaolinit blåfärgning och montmorillonit rödfärgning och de övriga lermineralen obetydliga färgutslag. Emellertid synes det då och då förekomma ämnen i lerorna, som förhindrar dessa färgreaktioner. Om ingen reaktion inträffar, kan man således inte vara säker på orsaken till detta.

Svällningstrycket i lerzoner är mycket svårt att mäta, bl a för att det i de flesta fall är nästan ogörligt att erhålla icke omrörda prov med naturlig vattenhalt.

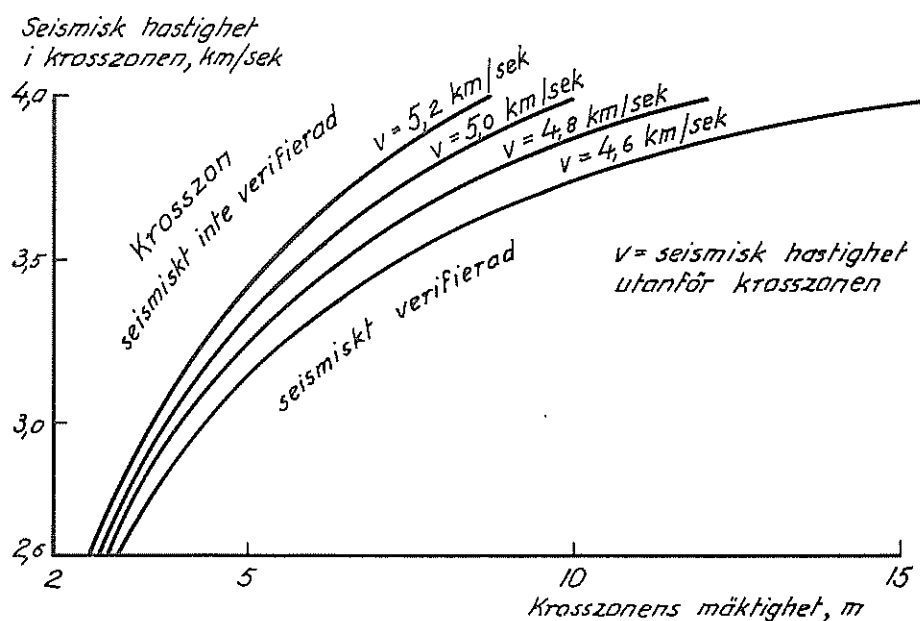


Fig. 16. Teoretiska minimala bredden av en krosszon i berggrunden som kan upptäckas med seismik när tidsangivelsens noggrannhet är $\pm 0,00025$ sek. Enl. Niini & Manunen (1970).

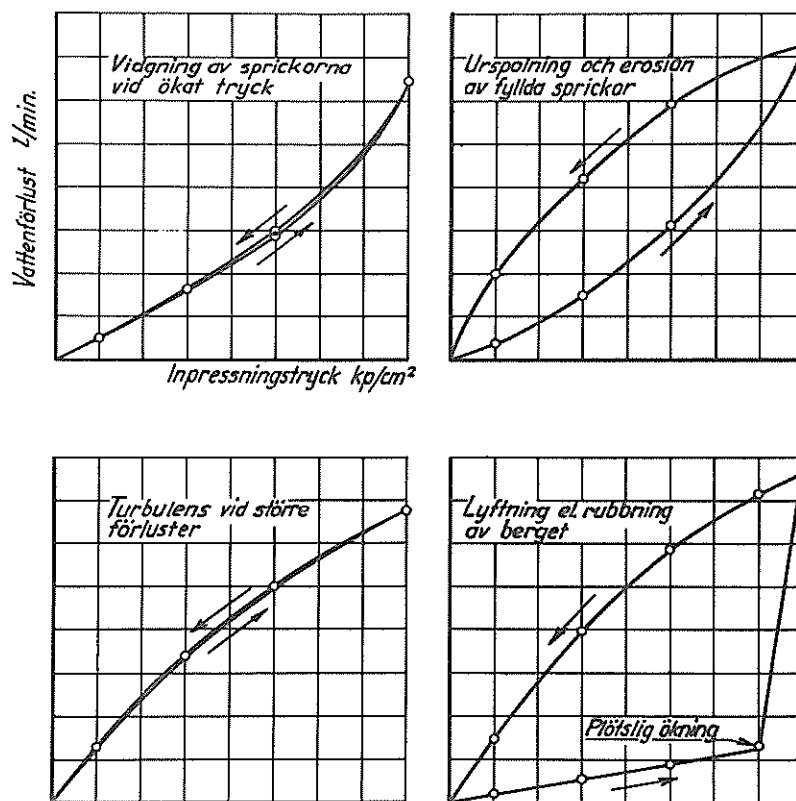


Fig. 17. Tolkning av resultat vid vattentärlustmätning under stegvis ökat respektive minskat tryck. Enligt Statens Vattenfallsverk (1968).

Genom beräkningar och experiment har man kunnat konstatera att exempelvis hos Na-montmorillonit utövar inbyggandet av ett lager vattenmolekyler ett tryck av 100 kp/cm^2 eller mera (Warkentin, Bolt & Miller, 1957). Vid ökad vatteninbyggnad minskar dock trycket väsentligt. Tryck upp till 50 kp/cm^2 har uppmätts hos ej omrörda bergartsprov i laboratoriet (Bjerrum et al., 1963) och enligt Wahlstrom (1948) har tryck upp till 20 kp/cm^2 förekommit vid amerikanska tunnelarbeten. I de flesta fall torde trycket i verkligheten ligga väsentligt mycket lägre, kanske vid ett eller några kp/cm^2 (Brekke & Selmer-Olsen, 1965). Lerzoners "relativa potentiella svällbarhet" kan undersökas med den av Brekke (1964, 1965a) utarbetade metodiken.

Enligt v. Eckermann (1961) är det inte alltid nödvändigt att det uppstår ett yttre svällningstryck när en montmorillonitiserad gång upptar vatten och förlorar sin stabilitet. Volymen av utlöst kalkspat kan vara större än volymökningen. För Bergeforsens gnejsgranit beräknades ett största svällningstryck av $1,6 \text{ kp/cm}^2$ och erhöles vid laboratorieprov $1,13 \text{ kp/cm}^2$ (v. Eckermann, 1958).

Större lerbeförekomster låter sig rätt bra undersökas beträffande läge och utbredning, och man vet av erfarenhet, att de helst bör undvikas. Det är å andra sidan mycket svårt, för att inte säga ogörligt, att vid förundersökningar med säkerhet bedöma existensen och farligheten av en enskild mindre lerzon.

Förstärkningsåtgärder

Vanligen associerar man lerzoner med ras i bergrum eller -schakt, eller svårigheter med att hitta fast berg för grundläggning. Det kan emellertid också hända att berget reser sig, vilket inträffade i Messaure (Bernell, 1964).

Messaure är Vattenfalls största damm och ligger vid Stora Luleälven någon kilometer norr om polcirkeln. Vid dess byggande bortschaktades 4 milj. m^3 (ca 60 m mäktiga älv sediment). Under byggnadstiden observerades en höjning av berggrunden, totala beloppet har beräknats till 28 cm. När dammfyllningen nådde höjden av de bortschaktade älv sedimenten avstannade höjningen av berget, och sedermera har en sänkning inträffat, dock endast ca 1/3 av höjningsbeloppet (numera ligger det i stort sett stilla). Dammläget korsas diagonalt av flera linsformiga krosszoner, delvis omvandlade till klorit och montmorillonit. Den största av dem når 30 m under bergytan en mäktighet av ca 15 m. Höjningen



Fig. 18. Överskjutningszon under mylonitskollan väsentligen bestående av krossad, delvis grafitisk, skiffer (sannolikt från Hyolithesonen). Jmf. fig. 6 och 19. Tunneln Suorva-Vietas, sekt. 3 + 970 m. Foto H. Olofsson.



Fig. 19. Förstärkning av den i fig. 18 visade zonen med armerad sprutbetong. Foto förf.

har troligen orsakats av lerans svällning genom avlastning av berget i kombination med uppluckring vid sprängning av inspektionstunnel under dammen.

Lyckligast är om man kan undvika leromvandlade zoner vid berganläggningar. Detta förutsätter dock dels, att man har kunnat fastställa deras utbredning och dels, att man har en möjlighet att flytta anläggningen. Om man befinner sig i ett område där lerzoner förekommer är det ofta svårt att undvika åtminstone mindre sådana i en berganläggning.

Även under byggnadstiden, då man har väsentligt bättre observationsmöjligheter, kan det vara svårt att avgöra när en insats utöver det normala är motiverad. Det är ju inte bara förekomsten av lera, eller ens svällande lera, som är väsentligt, utan dessutom lerzonens sammansättning i övrigt, dess läge i förhållande till anläggningen, bergets sprickighet, anläggningens art osv.

Vi kan betrakta förstärkningsbehovet ur några principiella synpunkter.

För det första, berganläggningar utföras för många olika ändamål och har mycket olika behov av förstärkning. I Statens Vattenfallsverk (1966) tillämpar man sedan några år tillbaka en indelning av bergrum i tre klasser, A, B och C, med avseende på konstruktion, utförande och underhåll.

A-utrymmen

Med A-utrymmen avses bergrum, som innehåller för driftens kontinuerliga upprätthållande vital utrustning och som är mer eller mindre otillgängliga för underhållsarbeten, eftersom avställning härför skulle bli alltför dyrbar. Utrymmena skall vara så beskaffade, att störningar i driften ej kan inträffa på grund av nedfallande sten eller läckande vatten.

Exempel: Maskinsalar, transformatorsalar, kabelschakt m fl.

B-utrymmen

Med B-utrymmen avses bergrum, som normalt är åtkomliga för ett planmässigt underhåll utan att egentliga avställningskostnader uppstår. De permanenta byggnadstekniska åtgärderna bör vägas mot underhållet, så att lägsta totalkostnad erhålles.

Exempel: Tillfarts- och förbindelsetunnlar, intags- och luckorter, förråds- och verkstadsutrymmen i berg.

C-utrymmen

Med C-utrymmen avses bergrum, som endast får beträdas under speciella förhållanden. De byggnadstekniska åtgärderna bör begränsas till vad som erfordras för personsäkerheten under byggnadstiden och av driftbetingade krav.

Exempel: Tillopps- och avloppstunnlar, svallgallerier m fl vattentunnlar, oljeskepp.

Uppenbarligen kan även i andra sammanhang liknande synpunkter läggas på förstärkningsbehovet.

För det andra står skadepotentialen av en lerzon inte i något bestämt förhållande till dess storlek. Det finns gott om exempel, jag vill påminna om norska erfarenheter (Bjerrum et al., 1963; Brekke & Selmer-Olsen, 1965; Selmer-Olsen 1963), där till synes blygsamma lerzoner har orsakat väsentliga skador. Ett av de mera drastiska exemplen i detta avseende är Kemano-tunneln i British Columbia, Canada, där ett 5 cm tjockt lerlager orsakade reparationer och produktionsbortfall för över 100 milj. kronor (Cooke, Libby & Maddill, 1962). Å andra sidan kan måttligt leromvandlat berg, om det inte är mekaniskt krossat och leran inte sväller, stå mycket bra under vissa förhållanden. Det finns således kvalitativa element, såsom lerzoners mineralogiska och granulometriska sammansättning, riktning i förhållande till anläggningen, bergets kvalitet utanför lerzoner m m, som är väsentliga i sammanhanget.

För det tredje har vi den miljö i vilken anläggningen finns och skall fungera, såsom bergtrycksförhållanden, lerzoners vattenhalt och möjligheter till ändringar därvidlag, eventuell vattenföring i tunnlar eller i berget med risk för utspolning osv.

Exempelvis har närvaro av kalkspat i lerzoner, som nämndes i samband med Bergeforsen, en skadlig effekt i vattenförande berg, enär den lätt löses ut och lämnar hålrum. Leran kan sålunda uppta vatten, expandera och förlora sin stabilitet även i områden där det eljest på grund av bergtrycket inte skulle vara möjligt.

Med tanke på de synnerligen varierande förutsättningarna är det inte förvånande att det finns ett flertal olika uppfattningar om hur och när lerzoner bör förstärkas.

Förstärkning av dessa zoner utföres normalt med sprutbetong eller motgjuten betong (Alberts, 1965; Cecil, 1970; Heltzen, Moxon & Schach, 1970; Kramers, 1967; Morfeldt, 1965; Selmer-Olsen, 1971). Även olika varianter av injektering har använts (Aastrup & Sällström, 1964; Alberts, 1965; Statens Vattenfallsverk, 1968). I samband med utbyggnad av Bergeforsens kraftstation vidtogs en del extraordinära åtgärder i berget under dammen, nämligen långvarig inpressning av asfalt (som fortfarande pågår) och av kalkvatten, som dock har avbrutits sedan några år tillbaka (Aastrup & Sällström, 1961 och 1964).

Relativt smala icke svällande och mindre erosionskänsliga zoner säkras vanligen med en ganska tunn, oarmerad eller nätarmerad, sprutbetong (fig. 18 och 19). Ifall skarpt avgränsade svällande eller erosionskänsliga högst någon decimeter breda lerzoner ligger i gott berg synes det i åtskilliga fall vara tillräckligt att, efter utkratsning till ett djup av minst 1 - 1,5 gånger bredden, fylla dem med oarmerad betong. Vid bredare zoner bör dessa plomberingar förankras i sidoberget, och om bredden överstiger ca en halv meter användes som regel någon form av armering, eventuellt i kombination med stödvalv. Lokala förhållanden avgör när det kan anses vara lämpligt att klä in hela tunneln eventuellt i kombination med bultning. Det finns även åsikten, att man snarast efter utsprängning bör täcka dåligt berg med tunn sprutbetong (Alberts, 1965; Kramers, 1967).

Det synes vara fördelaktigt att tillåta en viss rörelse i berget, då svällningstrycket snabbt minskar vid tillåten svällning. Ibland lägger man därför en mineralullsskiva mellan plomberingen och lerzonen (Selmer-Olsen, 1970).

Det är tyvärr mera sällan som den mineralogiska, geologiska och bergmekaniska bakgrunden är tillräckligt detaljerat undersökt för att erfarenheter med olika förstärkningsåtgärder skall kunna direkt tillämpas i andra sammanhang.

Referenser

- AASTRUP, Å. & SÄLLSTRÖM, S., 1961. Bergforsen - a Swedish power plant built on non-resistant rock. 7. Intern. Congr. on Large Dams, Transactions 2, Question 25, R. 69, p. 473-489. Roma.
- AASTRUP, Å. & SÄLLSTRÖM, S., 1964. Further treatment of problematic rock foundation at Bergforsen. 8. Intern. Congr. on Large Dams, Transactions 1, Question 28, R. 34, p. 627-636. Edinburgh.
- ALBERTS, C., 1965. Bergförstärkning genom betongsprutning och injektering. IVA:s Bergmekanikdagrar 1965, IVA-meddelande 142, p. 231-240. Stockholm.
- BERNELL, L., 1964. Measurements in the Messaure dam, a rockfill structure with wet-compacted moraine core. 8. Intern. Congr. on Large Dams, Transactions 2, Question 29, R. 18, p. 317-333. Edinburgh.
- BJERRUM, L., BREKKE, T.L., MOUM, J. & SELMER-OLSEN, R., 1963. Some Norwegian studies and experiences with swelling materials in rock gauges. Felsmekanik und Ingenieurgeologie 1:1, p. 23-31. Wien. Also: Norges Geotekniske Institutt 57. Oslo.
- BREKKE, T.L., 1964. Om årsaken til og måling av svelleevnen hos montmorillonittgruppens mineraler. Tidsskr. for kjemi, bergvesen og metallurgi 24:8-9, p. 141-146. Oslo.
- BREKKE, T.L., 1965a. On the measurement of the relative potential swellability of hydrothermal montmorillonite clay from joints and faults in Precambrian and Paleozoic rocks in Norway. Intern. Journ. Rock Mech. and Mining Sci. 2:2, p. 155-165. Oxford.
- BREKKE, T.L., 1965b. Diskussionsinlägg med anledning av C.-O. Morfeldts föredrag (se Morfeldt 1965). IVA:s bergmekanikdagrar 1965, IVA-meddelande 142, p. 101-102. Stockholm.
- BREKKE, T.L. & SELMER-OLSEN, R., 1965. Stability problems in underground constructions caused by montmorillonite-carrying joints and faults. Engineering Geology 1:1, p. 3-19. Amsterdam.

- BREKKE, T.L. & SELMER-OLSEN, R., 1966. A survey of the main factors influencing the stability of underground constructions in Norway. Proc. 1. Congr. Intern. Soc. Rock Mechanics, Vol. 2, p. 257-260. Lisboa.
- BYSTRÖM, A.M., 1954. Mineralogy of the Ordovician bentonite beds at Kinnekulle, Sweden. Sveriges Geol. Unders. Ser. C No. 540 (Årsbok 48), p. 1-62. Stockholm.
- BYSTRÖM, A.M., 1956. Harmotome penetration of a scapolite partly altered to argillic material in Ultevis, North Sweden. Geol. Fören. Förh. 78, p. 645-653. Stockholm.
- BYSTRÖM, A.M., 1957. The clay minerals in the Ordovician bentonite beds in Billingen, Southwest Sweden. Geol. Fören. Förh. 79, p. 52-56. Stockholm.
- BYSTRÖM-ASKLUND, A.M., 1969. Kaolin deposits of Sweden. 23. Intern. Geol. Congr. 1968, Vol. 15, p. 263-274. Praha.
- CECIL, O., 1968. Evaluation of visual rock classification systems for tunnel construction in Sweden. Bergmekaniskt diskussionsmöte 1968, IVA-rapport 4, p. 159-175. Stockholm.
- CECIL, O.S., 1970. Shotcrete support in rock tunnels in Scandinavia. Civil Engineering, Jan. 1970, p. 74-79.
- CECIL, O.S., 1971. Correlation of seismic refraction velocities and rock support requirements in Swedish tunnels. Statens Geotekn. Inst., Särtryck och prel. rapp. 40, p. 1-58. Stockholm.
- COOKE, J.B., LIBBY, J.W. & MADDILL, J.T., 1962. Kemano tunnel repairs: a final report. Eng. News-Record 169 (Oct. 4, 1962), p. 42-48.
- ECKERMANN, H.v., 1954. Montmorillonitbildning i Bergeforsens gnejsgranit. Geol. Fören. Förh. 76, p. 456-459. Stockholm.
- ECKERMANN, H.v., 1958. The alkaline and carbonatitic dikes of the Alnö formation on the mainland north-west of Alnö island. K. Svenska Vet.-Ak. Handl., 4. Ser., Bd. 7:2, p. 1-61. Stockholm.

- ECKERMANN, H. v. , 1961. The decomposition of Alnö alkaline dikes by percolating water. C.R. Soc. Géol. Finlande N:o 33, p. 243-254. Helsinki.
- ECKERMANN, H. v. & WICKMAN, F. E. , 1956. A preliminary determination of the maximum age of the Alnö rocks. Geol. Fören. Förh. 78, p. 122-124. Stockholm.
- FRIETSCH, R. , 1960. En zon av kaolinlera och vittrad blodsten vid Svappa-vaara, Norrbotten. Sveriges Geol. Unders. Ser. C, No. 572.
- FROMM, E. , 1951. Yttrande med anledning av A. Metzgers föredrag "Om Karelidernas kaolinitförekomster". Geol. Fören. Förh. 73, p. 714.
- GAVELIN, A. , 1914. Yttrande med anledning av K. A. Grönwalls föredrag "Öfver kaolinförekomster i nordöstra Skåne". Geol. Fören. Förh. 36, p. 182-183. Stockholm.
- GELJER, P. , 1930. Gällivare malmfält. Sveriges Geol. Unders. , Ser. Ca Nr 22. Stockholm.
- GELJER, P. & MAGNUSSON, N. H. , 1926. Mullmalmer i svenska järngruvor. Sveriges Geol. Unders. , Ser. C Nr 338. Årsbok 19 (1925).
- GRANSTRÖM, S. , 1965. Snabbt sönderfallande svenskt gråberg. Väg- och vattenbyggaren 11:1-2 , p. 37-38. Stockholm.
- GRIM, R. E. , 1953. Clay mineralogy. McGraw-Hill, New York.
- GRÖNWALL, K. A. , 1915. Nordöstra Skånes kaolin- och kritbildningar. Sveriges Geol. Unders. , Ser. C Nr 261, Årsbok 8 (1914), p. 1-185. Stockholm.
- HASSELSTRÖM, B. , RAHM, L. & SCHERMAN, K. A. , 1964. Methods for the determination of the physical and mechanical properties of rock. 8. Intern. Congr. on Large Dams, Transactions 1, Question 28, p. 611-626. Edinburgh.
- HELFRICH, H. , 1971. Kartering av berghållfastheten med refraktionsseismik. Bergmekaniskt diskussionsmöte 1971, IVA-rapport 38, p. 25-36. Stockholm.

- HELTZEN, A.M., MOXON, S. & SCHACH, R., 1970. Support considerations for a railway tunnel in Norway. Large Permanent Underground Openings, Proc. Intern. Symp. Oslo 1969, p. 233-237. Oslo.
- HÖGBOM, A. & LUNDQVIST, G., 1930. Beskrivning till kartbladet Malingsbo. Sveriges Geol. Unders., Ser. Aa Nr 168. Stockholm.
- JAANUSSON, V. & MARTNA, J., 1948. A section from the Upper Chasmops series to the Lower Tretaspis series at Fjäckå rivulet in the Siljan area, Dalarna. Bull. Geol. Inst. Uppsala 32, p. 183-193. Uppsala.
- KRAMERS, M. L. M., 1967. Erfarenheter från sprutbetongförstärkning. IVA, Bergmekanikkommittén, Diskussionsmöte 1967, p. 145-159. Stockholm.
- LARSSON, W. & SANDEGREN, R., 1956. Beskrivning till kartbladet Vårvik. Sveriges Geol. Unders., Ser. Aa Nr 187. Stockholm.
- LINDQVIST, B., 1961. A Pre-Cambrian metabentonite (?) of hydromuscovitic composition. Bull. Geol. Inst. Univ. Uppsala 60, p. 259-264. Uppsala.
- LJUNGGREN, P., 1955. Kaolinized fault zone in gneiss at Letafors, Northern Värmland. Geol. Fören. Förh. 77, p. 265-274. Stockholm.
- LJUNGGREN, P., 1956. Lerfyllda sprickor i den fasta berggrunden. Tekn. Tidskr. 86:39, p. 899-900. Stockholm.
- LUNDQVIST, G., HÖGBOM, A. & WESTERGÅRD, A.H., 1931. Beskrivning till kartbladet Lugnås. Sveriges Geol. Unders. Ser. Aa Nr 172. Stockholm.
- MAGNUSSON, N.H., 1953. Malmgeologi. Jernkontoret, Stockholm (p. 231-234, 275, 304).
- MARTNA, J. & GUSTAFSON, S.-Å., 1962. Numerical treatment of size frequency distributions with computer machine. Geol. Fören. Förh. 84, p. 372-389. Stockholm.
- MIELENZ, R.C., KING, M.E. & SCHIELTZ, N.C., 1950. Staining tests. Analytical data on reference clay materials. American Petroleum Institute, Res. Proj. 49, Prel. Rep. 7, sect. 6, p. 135-160. Columbia Univ., New York.

- MORFELDT, C.-O., 1962. Berggrundens diskontinuiteter. Byggmästaren 41:6, p. 121-130. Stockholm.
- MORFELDT, C.-O., 1965. Undersökningar, förstärkningar och tätningar föranledda av svällande vittringszoner i en svensk oljelagringsanläggning. IVA:s bergmekanikdagar 1965, IVA-meddelande 142, p. 91-99. Stockholm.
- MORFELDT, C.-O., NORDIN, P.O. & ROOSAAR, H., 1967. Byggnadsgeologi. Byggmästaren 46:6, p. 244-267. Stockholm.
- MOURA-ESTEVEZ, J., 1970. Application of apparent electrical resistivity maps to the study of dam sites. 1. Intern. Congr. Intern. Ass. Engineering Geology Paris 1970, vol. 2, p. 819-825. Paris.
- NINI, H. & MANUNEN, T., 1970. Seismic sounding as indicator of engineering-geologic properties of bedrock in Finland. 1. Intern. Congr. Intern. Ass. Engineering Geology Paris 1970, vol. 2, p. 753-761. Paris.
- PUSCH, R., 1970. Vittring och mineralomvandling i berg. Jacobson & Widmark, Tekn. sekretariat, p. 1-21. Stockholm.
- ROOSAAR, H., 1965. Leriga vittringszoner i svensk berggrund. IVA:s bergmekanikdagar 1965, IVA-meddelande 142, p. 84-90. Stockholm.
- SCHERMAN, K. A., 1959. Förundersökning av berg. Bergsprängning. IVA, FKO-meddelande 30, p. 9-20. Stockholm.
- SELMER-OLSEN, R., 1963. Om svelleleire i norske fjellanlegg. Konferanse i fjellsprengningsteknikk, p. 1-16. Oslo.
- SELMER-OLSEN, R., 1970. Experiences with using bolts and shotcrete in area with rock bursting phenomena. Large Permanent Underground Openings, Proc. Intern. Symp. Oslo 1969, p. 275-278. Oslo.
- SELMER-OLSEN, R., 1971. Problems with swelling clays in Norwegian underground construction in hard-rocks. Statens Geotekn. Inst., Särtryck och prel. rapp. 40, p. 1-22. Stockholm.

- STATENS VATTENFALLSVERK, 1966. Riktlinjer för vissa byggnadstekniska åtgärder avseende bergrums konstruktion, utförande och underhåll med beaktande av säkerheten för personal och utrustning. PM av den 22.4. 1966. DS-57, p. 1-7.
- STATENS VATTENFALLSVERK, 1968. Anvisningar för utförande av cementinjektering i berg. BTG, p. 1-18. Stockholm.
- THORSLUND, P., 1948. The Chasmops series of the Kullatorp core. Waern - Thorslund - Henningsmoen: Deep boring through Ordovician and Silurian strata at Kinnekulle, Vestergötland. Bull. Geol. Inst. Uppsala 32, p. 343. Uppsala.
- WAHLSTROM, E. E., 1948. Application of geology to tunneling problems. Am. Soc. Civil Engineers, Trans. 113, p. 1310-1321. New York.
- WARKENTIN, B. P., BOLT, G. H. & MILLER, R. D., 1957. Swelling pressures of montmorillonite. Soil Sci. Soc. Am., Proc. 21, p. 495-497.
- WOBBER, F. J., 1970. How to use thermal infrared imagery as an airborne exploration tool. World Mining 23:9, p. 49. San Francisco.
- ÅHMAN, E., 1961. An example of deep weathering in the outlet tunnel of the Stornorrfors power plant in the river Umeälven. Bull. Geol. Inst. Univ. Uppsala 60, p. 243-246. Uppsala.

EXEMPEL PÅ UTFÖRDA PROJEKT

("Case histories")

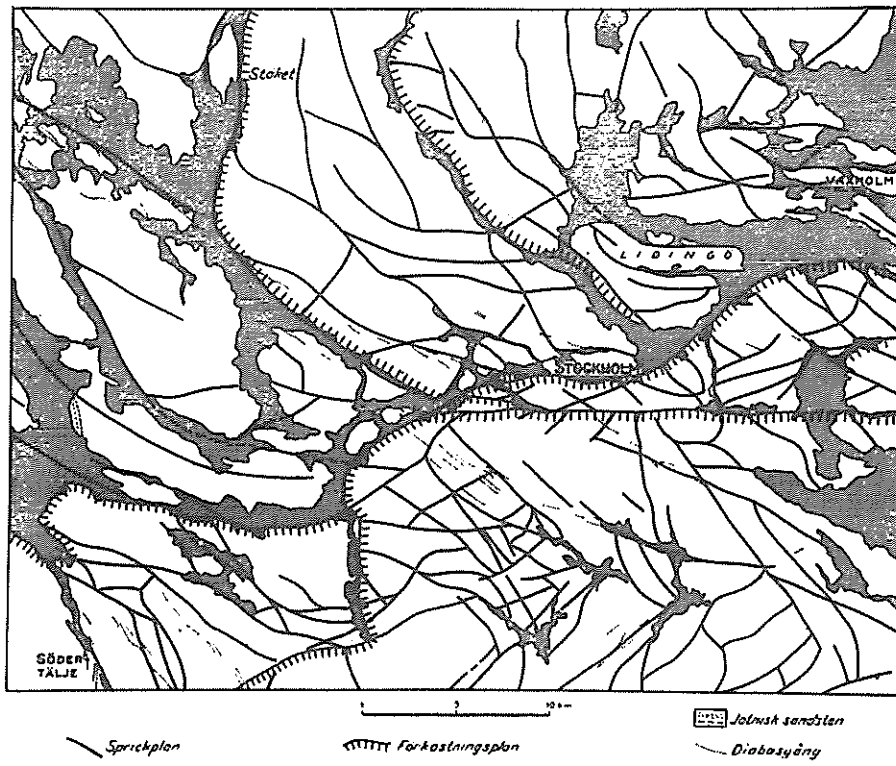
PRAKTISKA ERFARENHETER AV LERZONER I SVENSK BERGGRUND
Direktör Carl-Olof Morfeldt, Hagconsult AB, Stockholm

Vad innebär några strödda lerzoner praktiskt-ekonomiskt, sett mot bakgrunden av ett helt tunnelprojekt?

I samband med de djupa ingrepp som gjorts i Stockholms berggrund under 50- och 60-talen i form av tunnlar (spårtrafik, kablar och avlopp) och djupa grundschakt i berg har man fått rika tillfällen att i detalj studera vittringszoner (lerzoner) i berget. Dessa zoner, som man även kallar rörelsezoner, har mestadels en tektonisk bakgrund och redan Sundius (1948) har i sin beskrivning över Stockholmstraktens berggrund på en karta lagt in svaghetszoner och spricklinjer (fig. 1), vilka man sedan i samband med bergarbeten påträffat. Därmed har man klart kunnat fastlägga sambandet mellan de topografiska växlingarna och bergets svaghetszon. Sålunda kan man säga att praktiskt taget alla lågpunkter eller dalstråk i urberget i Stockholmstrakten har en rot av dåligt berg, en vittringszon eller en s k skölzon. Det är svårt att komma dessa vittringszoner in på livet och få tillfälle att studera dem bl a beroende på att man i samband med bergarbeten mycket kvickt täcker in dem med sprutbetong för att minska sönderfallet av berget i och intill vittringszonen. Några exempel skall dock ges.

Årstadalsförkastningen vid Blommensberg

En av Stockholmstraktens allra största förkastningszoner är den s k Årstadalsförkastningen, vilken går i Ö-V-lig riktning tvärs igenom hela Stockholm. Denna förkastning påträffades vid grundläggningen av Blommensbergsviadukten då ett av pelarfundamenten kom att hamna på ett till lera omvandlat berg. I en zon (fig. 2) av 4 m bredd var berget jämförbart med en styv lera. Protokoll (fig. 3) från geotekniska avdelningen vid Stockholms stads gatukontor visar också att utförda geotekniska rutinundersökningar bekräftar detta.



Topografiskt mest framträdande dalgångar av sprick- och förkastningstyp i stockholmstrakten.

Fig. 1. Sundius' karta.



Fig. 2. Blommensbergviadukten.

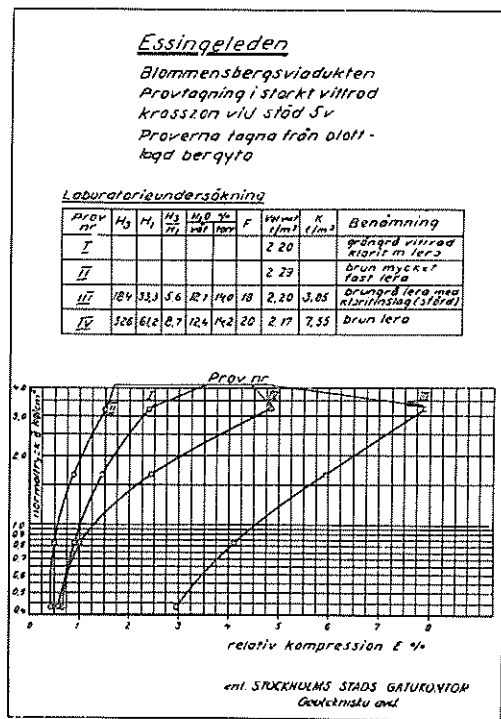


Fig. 3. Protokoll från Stockholms stads gatukontor.



Fig. 4. Käppalatumeln.

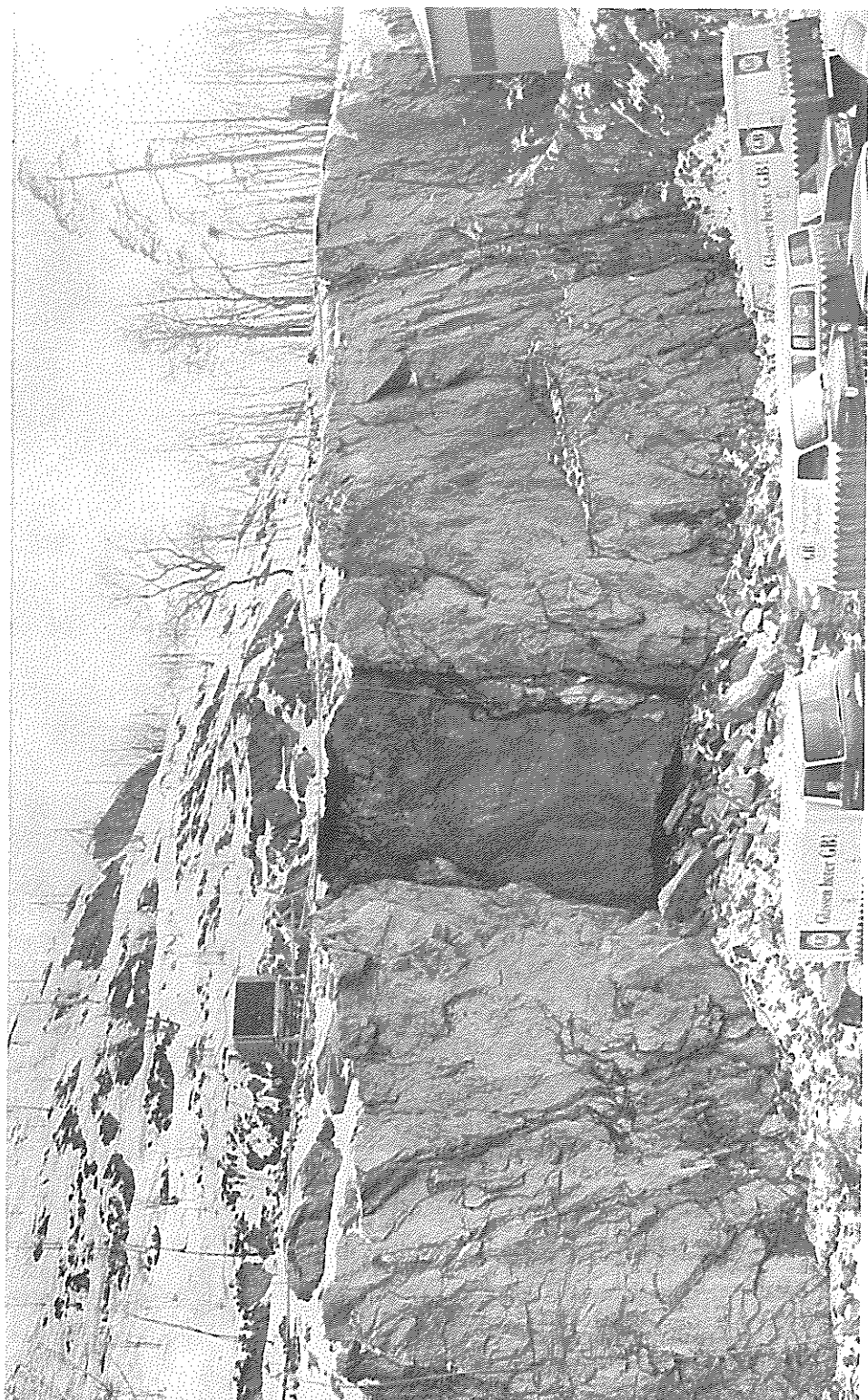


Fig. 5. Bergrum i Årstadal .

Käppala

Vid utförandet av Käppalatunnlarna (avlopp) på Lidingö påträffade man under dalstråken leromvandlade bergpartier, (fig. 4) vilka krävde förstärkningsåtgärder i form av ingjutning med betong och tätning mot inläckande vatten.

Femte höghuset i Stockholm

Vid byggandet av femte höghuset råkade man vid ett av de kvalificerade fundamenten träffa på en lerzon med kloritvittrat berg och till lera omvandlat berg av en bredd av ca 15 m (Morfeldt, 1962).

Bergrum Årstadal

Nyligen inträffade vid sprängningsarbeten vid Glassbolagets bergrum i Årstadal ett ras längs grafitklädda s k blankslag. Dessa förhållanden krävde omfattande förstärkningsarbeten (fig. 5).

Oljelagringsanläggning i berg

Vid utsprängandet av en oljelagringsanläggning i berg (Morfeldt, 1965) påträffades meterbredda vittringszoner där berget hade svällande egenskaper (fig. 6 och 7).

Vad innebär vittringszoner för ett bergarbete?

Det kan lämnas många exempel på när entreprenörer råkat ut för vatten- och jordgenombrott i vittringszoner och därför blivit tvungna att tillgripa olika typer av förstärkningsåtgärder med stopp och förseningar i arbetet som följd. Därvid har kostnaderna många gånger blivit mycket stora. Allmänt kan sägas att man icke någonstans i svensk berggrund helt kan utesluta risken att påträffa svaghetszoner i berget där bergutfall och vattengenombrott kan inträffa.

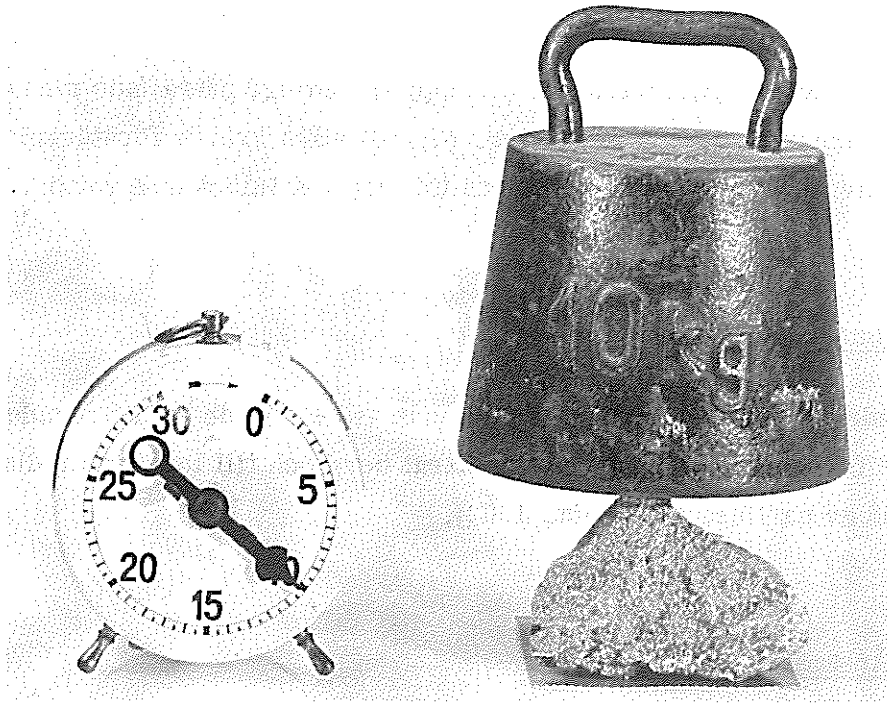


Fig. 6a.

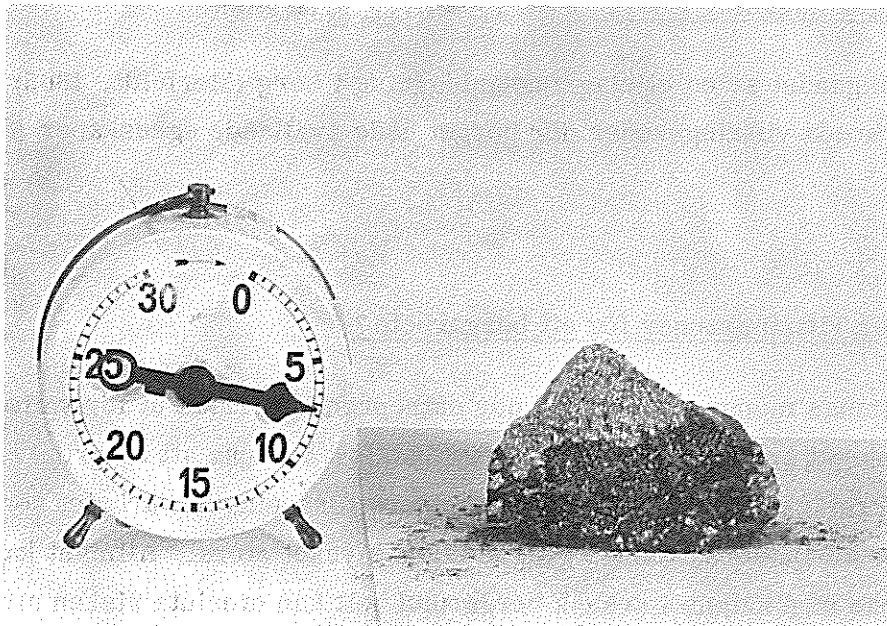


Fig. 6b.

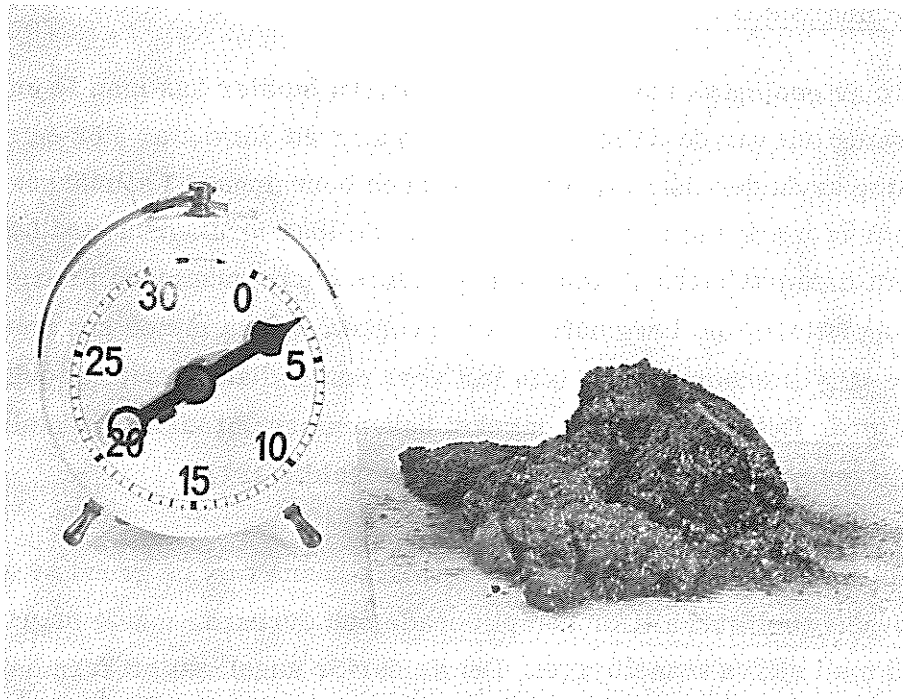


Fig. 6c.

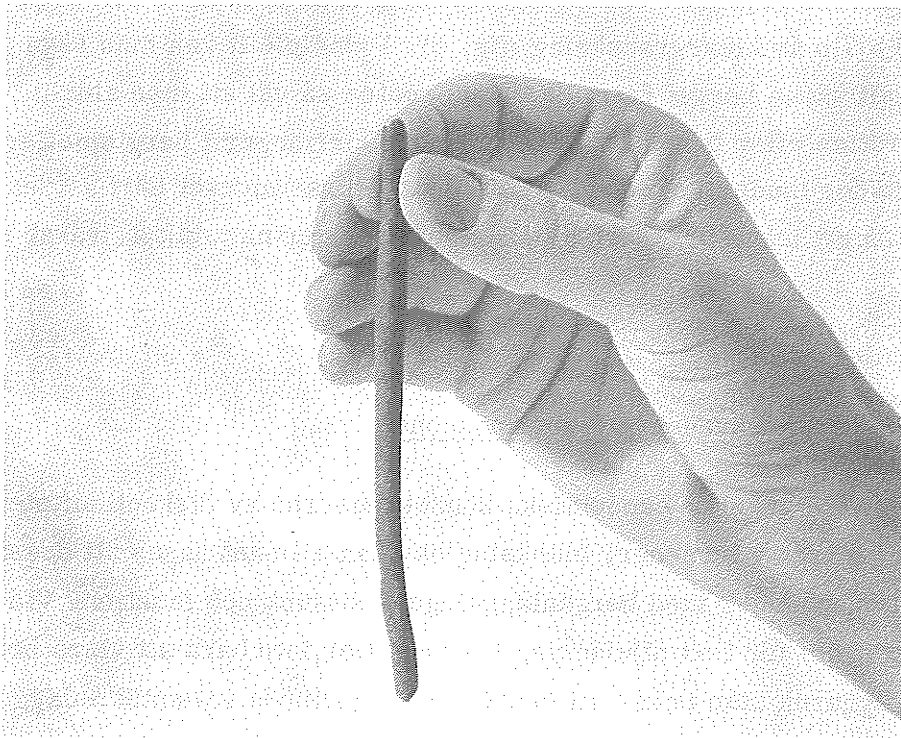


Fig. 6a-d. Bildserie som visar hur den fasta bergarten (amfibolit-gnejs) vid vattenupptagning från den våta svampduken på kort tid sväller och övergår i lerkonsistens.

Undersökningsmetoder

Med hjälp av geologisk kartering och tektoniska studier kan man få en ungefärlig anvisning om var de dåliga bergpartierna är att förvänta. För en mer exakt bestämning använder man sig av seismik och borrhningar. I allmänhet börjar man uppifrån markytan och tränger igenom de lösa jordlagren med hjälp av skarvbara hammarborrar. Genom att studera borrsjunkningen i berget erhålles en viss uppfattning om bergmaterialets kvalitet. Denna metod kan emellertid vara vanskelig eftersom berget ofta kan vara omvandlat och vittrat och förväxlas med jord. Det kan t ex vara mycket bekymmersamt att skilja mellan hård, packad bottenmorän och omvandlat berg (Morfeldt, 1971).

De vittringszoner, som man icke i detalj lärt känna t ex på grund av att borrhningar ovanifrån blivit alltför komplicerade och dyrbara, måste angripas i samband med själva tunnelbygget. Det är därför angeläget att framhålla att för ökad säkerhet måste bergarbeten i dag följas upp av bergsakkunnig, som under arbetets gång har möjlighet att med hjälp av bergstrukturerna och de allmänna geologiska förhållandena förvarna för besvärliga bergpartier. Dessa skall då undersökas med hjälp av sonderingsborrning inifrån tunneln och nogga kartläggas med hjälp av kikargranskning (fig. 8). Principiellt kan man säga att man alltid skall känna berget framför tunnelfronten så väl att man aldrig "spränger på sig" vatten eller berggras. Då sonderingsborrningar i berg emellertid oftast alltid betyder hinder i arbetet, måste detta styras mycket hårt av den bergsakkunnige så att icke sprängarlag, exempelvis under nattskiftet, råkar ut för en olycka.

Ekonomiska konsekvenser av vittringszoner

Beträffande de teknisk-ekonomiska konsekvenserna av diskontinuiteter i berggrunden i form av lerzoner, blankslag osv kan allmänt sägas att dessa i hög grad sammanhänger med berganläggningens storlek och funktion. Vid mycket stora bergrum för t ex oljelagring i berg gäller inte bara att klara bergstabiliteten i väggarna utan också att erhålla en någorlunda vattentät anläggning som fungerar med hänsyn till förvaring av olika oljelagringsprodukter i närbelägna bergrum. Det är alltså en fråga om tätheten mellan bergrummen. Av ekonomiska skäl kan alltför stora vatteninläckningar inte tolereras eftersom pumpningskostnaden kan bli ganska stor beroende på att man, i varje fall för råolje-



Fig. 7. I det fasta berget skarpt avgränsad zon med svällande egenskaper.

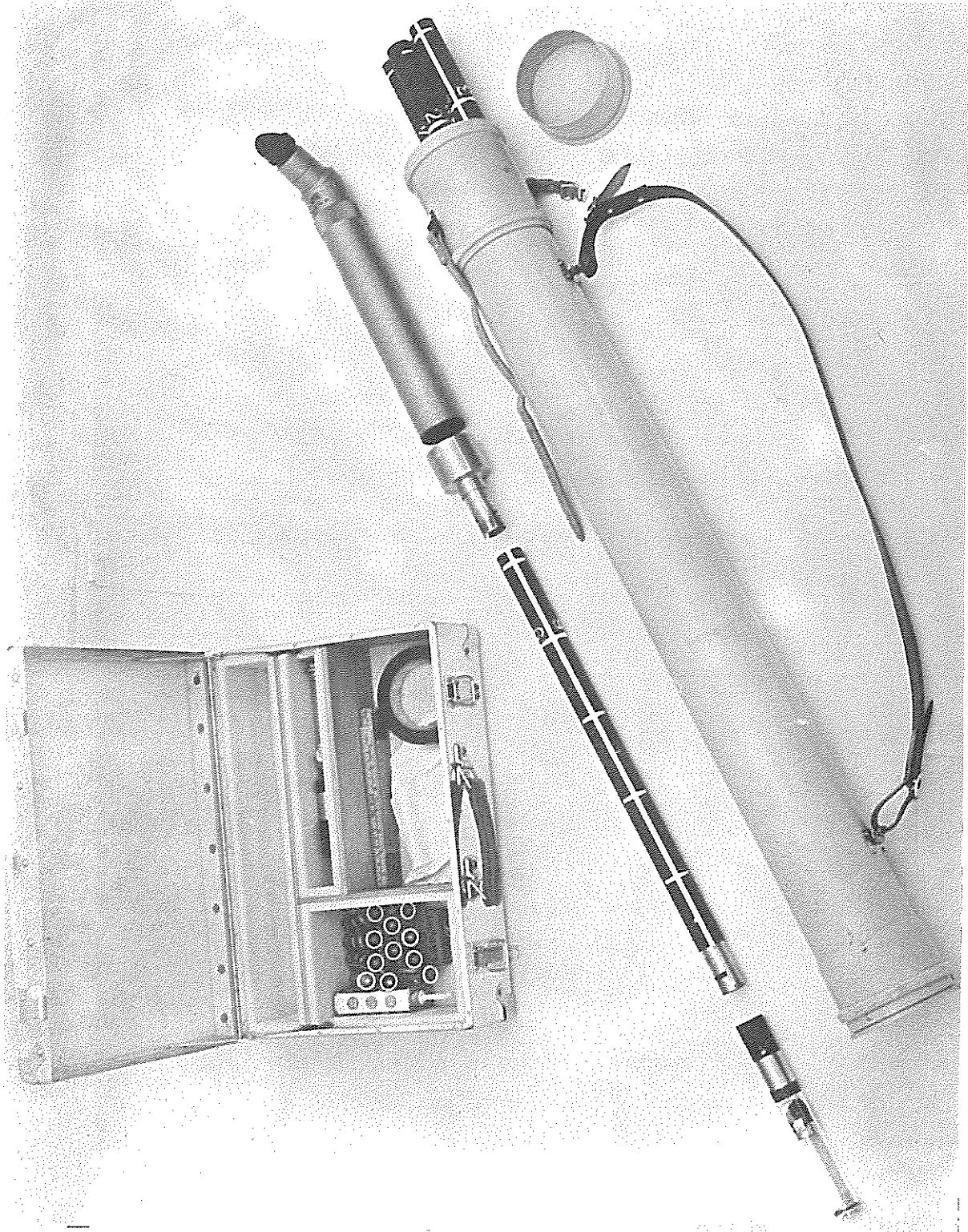


Fig. 8. Borrhålskikare, modell Hagconsult.

lager, pumpar bort vatten upphettat till bortemot 60-80°C. Driftskostnaden blir i sådant fall avsevärd. I anläggningar av detta slag samt anläggningar för produkter med låga temperaturer måste man lägga stor vikt vid bergmaterialets hållfasthet och täthet.

Rent allmänt kan sägas att enstaka, lerklädda och smala lerfyllda slag, s k skölar, alltid förekommer. Man kan också säga att det är helt omöjligt att, även om ambitionen finns, i detalj på förhand studera och analysera dessa. Min uppfattning är att dessa smärre diskontinuiteter i berggrunden i allmänhet kan passeras utan extra åtgärder. Ogynnsamma lägen, exempelvis horisontella bottenslag i taknivå, snett lutande slag i takanfang osv kan däremot innebära stabilitetsproblem medförande stora förstärkningskostnader.

Bergarbeten kommer alltid, för att citera Caldenius (1953), att vara ett vågspel. Det är dock min uppfattning att geologerna i samarbete med anläggningsingenjörerna kan minska osäkerhetsfaktorerna och även förbilliga konsekvenserna av ler- och vittringszoner genom att arbeta på rätt sätt. Det är min förhoppning att det forskningsarbete, som nu pågår och kring vilket vi i dag samlats, skall hjälpa oss att ytterligare minska olycksriskerna vid bergarbeten.

Referenser

- CALDENIUS, C., 1953. Geologiska synpunkter vid planering och utsprängning av berggrum. FKO-konferens: Sprängning av berggrum. IVA Medd. FKO No. 14, p. 9-17.
- MORFELDT, C.O., 1962. Berggrundens diskontinuiteter särskilt med hänsyn till moderna byggnadsverk. Byggmästaren, 41 (1962):6, p. 121-130.
- MORFELDT, C.O., 1965. Undersökningar, förstärkningar och tätningar föranledda av svällande vittringszoner i en svensk oljelagringsanläggning. IVA Medd. nr 142, p. 91-102.
- MORFELDT, C.O., 1971. Några exempel på tunneldrivning vid ringa bergtäckning, IVA Rapp. nr 38, p. 179-196.
- SUNDIUS, N., 1948. Beskrivning till berggrundskarta över Stockholms-trakten. Sv. geol. unders. Ser. Ba No. 13.

EN ZON AV VITTRAT URBERG I FJÄRRVÄRMETUNNEL UNDER LINNÉ- GATAN, STOCKHOLM

Geolog Heino Roosaar, Bergkonsult - Sven Tyrén AB, Stockholm

Vid sprängningsarbeten under våren 1968 påträffades i en 17 m² tunnel ett kraftigt vittrat gnejs-granitparti, där bergarten genom omvandling hade erhållit en porös struktur. Genom omfattande diamantborrning från markytan och i befintliga tunnelstuffer erhöles ett rikhaltigt provmaterial som kompletterades med provtagning i tunneln. I den mest omvandlade delen av berggrunden i hörnet av Linnégatan - Majorsgatan förekom längs en del sprickplan leromvandling och bergets hållfasthet i övrigt var icke högre än att lastfordon fastnade i tunnelsulan.

Av diamantborrkärnor och bergartsprov från tunneln tillverkades 14 st tunnslip för mikroskopiska undersökningar. Dessa undersökningar visade att såväl gnejsen som granitberggrunden, som icke visade någon tektonisk påverkan, hade i de porösa omvandlade zonerna nästan helt förlorat sin kvartshalt. Där emot var fältspat- och glimmerkornen relativt väl bevarade.

I de efter kvarts kvarvarande håligheter hade flerstädes bildats små listformiga albitkristaller, vanligen mindre än 0,05 mm. Dessa band ihop de kvarvarande mineralkornen till en sammanhängande bergart. Övergången mellan en kvartsfri porös vittringsrest och finkornig röd granit kunde studeras i en kontinuerlig slipprovserie av 20 cm längd. Provbitarna var tagna från ett nästan horisontellt diamantborrhål ca 20 m öster om Majorsgatan vid nivå ca -15 m.

Kvartsens omvandling, som börjar med fläckvis sericitisering av likartad beskaffenhet, är vanlig i många fältspatkorn i Stockholmstraktens bergarter. I slutfasen förekommer öppna håligheter efter kvartskornen. Ett typiskt prov av porös vittrad ursprunglig granitisk bergart som analyserades vid Sveriges geologiska undersökning hade följande sammansättning.

Diffraktogrammet av det analyserade provet visar övervägande reflexer från albit och mikroklin. Mindre halt klorit och glimmer samt ett par procent kvarts torde även förekomma i provet.

Den "leriga" delen av berggrunden som granskades vid SGU:s laboratorium efter att ha separerats i olika kornfraktioner (<2 μ , 2 - 20 μ och >20 μ) visar att lerfraktionen (< 2 μ) i röntgendiffraktometern huvudsakligen ger reflexer av klorit och glimmer. Dessutom finns en antydning till reflexer från kalifältspat och albit.

SiO ₂	59,4	%
TiO ₂	0,50	%
Al ₂ O ₃	19,3	%
Fe ₂ O ₃	3,2	%
FeO	1,4	%
MnO	0,03	%
CaO	0,3	%
MgO	1,7	%
Na ₂ O	4,5	%
K ₂ O	7,5	%
H ₂ O >105°C	1,5	%
H ₂ O <105°C	0,24	%
P ₂ O ₅	0,13	%
CO ₂	0,18	%
S	< 0,01	%
BaO	<u>0,22</u>	%
SUMMA	<u>99,86</u>	%

Den ur kemisk och mineralogisk synpunkt mycket intressanta omvandlingen försenade tunnelbygget ca 6 månader och fördyrade anläggningen med mellan 0,75 och 1,0 Mkr. Den omvandlade delen av berget är numera inklädd med 10 - 15 cm tjock armerad sprutbetong och har på ca 25 meters längd även golv av betong.

Referenser

ERNST, Th. & GEHLEN, K. von, 1962. Entkieslung durch bevorzugte Serizitisierung von Quarz in einem Oberpfälzer Granit. Chemie der Erde, Vol. 22.

SKARVBERGSTUNNELN PÅ NORDKAP-VÄGEN I NORGE
Civilingenjör Claes Alberts, Stabilator AB, Bromma

Betongsprutning med Robot för driftförstärkning och permanent förstärkning
vid zoner med svällande leror

Geologi

Tunneln byggdes 1965-1967. Det är en 2,8 km lång vägtunnel. Berget består av två huvudbergarter, kvartsitskiffer (ca 80%) och amfibolit (ca 20%).

Kvartsiten är utpräglad skiffrig med hög halt av glimmer. Kohesionen mellan skifferlagren är mycket liten. Amfiboliten som förekommer i gångar från ca 0,5 m upp till 10 m eller mer, är finkornig och tät, men innehåller en del glimmer. Mellan bergarterna uppträder ett 10-20 cm tjockt övergångsskikt bestående av fyllit, hydroglimmer, något grafit och enstaka granatkorn. Skiktet har mycket låg hållfasthet vilket gör berget extra oberäknligt och farligt.

Bergarten är genomskuren av lodräta förvittringssprickor (upp till 8-10 cm breda), som innehåller bl a kvarts, glimmer och montmorillonit. Tunneln skär flera stora krossningszoner av vilka en är 40 m bred. Berget är på detta ställe mycket finkrossat och kan grävas med fyllhammare. Leran är tidvis mycket mäktig och innehåller montmorillonit.

Driftförstärkning med Robot-sprutning

Det stod tidigt klart, att man skulle behöva göra en omfattande permanent förstärkning av tunneln.

Genom att satsa på sprutbetong och Robot-metoden erhöles en effektiv driftförstärkning, som sedan fick utgöra den permanenta förstärkningen eller ingå som en del av denna.

Den grundläggande tanken med Robot-metoden är att berget förstärks med ett relativt tunt lager snabbbindande sprutbetong omedelbart efter sprängningen. Härigenom förhindrar man att luft och vatten får luckra upp bergytan. Genom att också hindra små ytsprickor att vidga sig och enstaka låsstenar att falla ner kan man konservera bergytan och få berget att tjänstgöra som ett effektivt valv.

En viktig fördel med metoden är att sprutaren befinner sig i skydd under redan förstärkt berg. Man behöver inte heller utföra skrotning av berget med de risker denna alltid för med sig och inte heller utsätta arbetare för mer eller mindre osäkert berg vid förankringsborrning där vibrationerna från bormaskinen kan utlösa ras.

I Skarvbergstunneln varierade driftförstärkningens tjocklek mellan ca 5-8 cm från anfang till anfang.

I det skiktade berget uppstod skrevor med förhållandevis tjocka lag medan utskjutande gaddar kunde vara nästan bara (fig. 1).

Vid större ojämnheter försökte man fördela betongmängden så att man skulle erhålla valvbildning. I sämre bergpartier ökades betongtjockleken delvis som bågar med tunnare betong emellan. Vid jämn profil utfördes bågarna oftast oarmerade. Vid ojämn profil efter ras m m armerades bågarna med nät.

Väggarna var stundtals så dåliga att bågarna måste föras ner till sulan. Vid sådana tillfällen lastade man ut efter det att taket var säkrat med 5-6 cm sprutbetong.

Man lade stor vikt vid uppföljning och kartläggning även om denna inte utfördes så systematiskt som t ex Hongkong-arbetena eller i Asker-Lier-tunneln.

Det fördes noggranna rapporter över sprutad betongmängd för varje avsnitt. Samtidigt gavs en kort geologisk beskrivning av berget med en värdering av kompletterande åtgärder som senare skulle krävas för en permanent förstärkning.

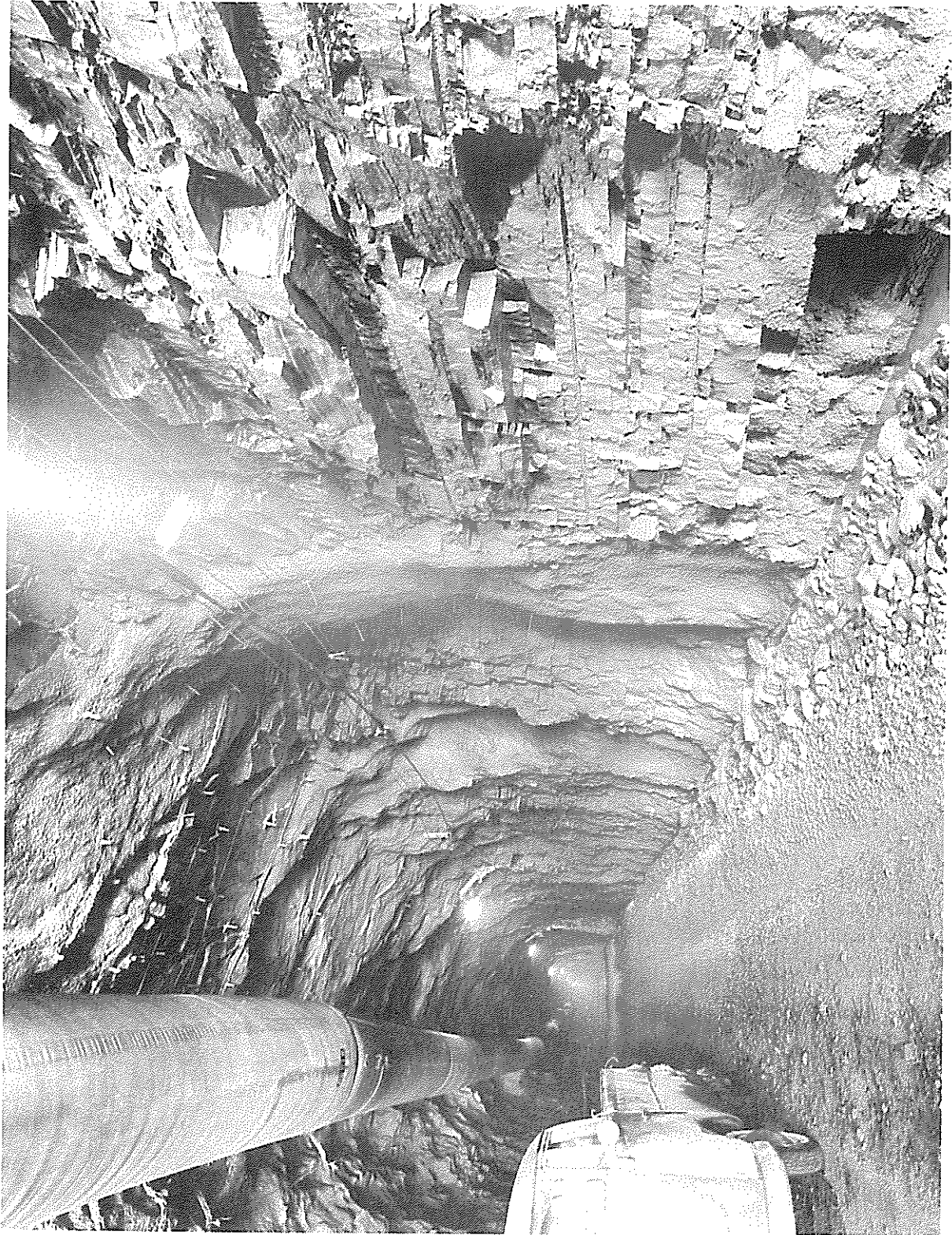


Fig. 1. Skarvbergstunneln.

Efter varje sprängning gick man över den sist sprutade ytan för att se om sprickor uppstått på grund av sprängchocken. Med jämna mellanrum kontrollerades hela det sprutade partiet för att konstatera om svällera eller upprepade skakningar skulle ha skadat betongen. Eventuella svagheter kunde då snabbt repareras och olyckor undgås.

I vissa partier med mycket dåligt berg med svällera bildades redan under första dygnet sprickor på upp till 5 cm på grund av svälltrycket. Dessa partier behandlades på nytt med armerad sprutbetong ca 20 cm. Vid inspektion i november 1969 då tunneln stått cirka 3 år fanns det ingen antydning till deformation i sprutbetongen. (bil. 1).

Referenser

ELLINGSEN, E., 1965. Sprøytebetong som driftsforsterkning i tunnel. Föredrag fr. konf. i fjellsprengningsteknikk. Oslo 18-19 nov. 1965.

HOFFMAN, W., 1967. Om sprøytebetong som driftsforsterkning og om bruk av injeksjonsarbeider som hjelp under tunneldrift og ved senere tetningsarbeider. Föredrag fr. konf. i fjellsprengningsteknikk. Oslo 16-17 nov. 1967.

RAPPORT FRA BEFARING I SKARVBERGSTUNNELEN

DEN 5. 11. 1969

Anton B. Vik, Asbjørn Bakken, Magne Skjånes

Følgende foretok den 5. 11. 1969 en befaring av Skarvbergstunnelen:

Ingeniør	Anton B. Vik	Ingeniør F. Selmer A/S
Ingeniør	Asbjørn Bakken	Entreprenørservice A/S
Avd. ing.	Magne Skjånes	Statens vegvesen, Finnmark

Tunnelen vil nå bli satt under trafikk og befaringen ble foretatt for å vurdere resultatet av sikringsarbeidene med sprøytebetong som var utført under byggingen av tunnelen i årene 1965-67. Tunnelen er sprøytet i hele sin lengde (2820 m) og med varierende tykkelse. Visse dårlige partier er armert og sprøytet ekstra tykt, (ca 20 cm i tillegg til driftsforsterkningene i knusningssonene). Tunnelen har siden gjennomslaget vært forsynt med porter, men kulden har allikevel trengt 300 m innover i vinterhalvåret. Den første sprøytingen fra påhugget ble utført i mars måned 1965 og har således stått i kuldesonen med nedfrysning hver vinter. Deler av tunnelen ble etterforsterket da gjennomslag var gjort, mens visse partier som var for tynt sprøytet under driften og rekomandert sprøytet ytterligere når tunnelen var ferdigsprengt, ble sløytet av økonomiske grunner.

Det kunne konstateres at sprøytebetongen hadde stått meget godt. Det forekom riss med kalkutfellinger her og der, det var vanskelig å fastslå om det var krympesprekker eller om årsaken kom fra rørelser i fjellet. Disse sprekke-ene var imidlertid helt tette og viste ingen synlige tegn til rørelse. Andre steder hvor betongen ikke hadde noen heft til underlaget (hele flater med glimmerholdig skifer) kunne det konstateres bom. Sikring på flate partier bør derfor kompletteres med injiserte bolter.

Av størst interesse var knusningssonene hvor det under drivingen var meget dårlig fjell med montmorillonitt (svelleleire) og hvor betongen i det første døgn sprakk på grunn av svelletrykket med sprekker på opp til 5 cm. Disse partier ble revet ned og sprøytet opp på nytt, og til slutt armert og sprøytet

med ca 20 cm betong. Det viste seg her at det i dag ikke var antydning til deformasjoner i betongen. Det skulle derfor antyde at sprøytebetongen har gitt tilfredsstillende sikring selv i dette meget dårlige fjellet.

Resultatet av befaringen må sies å være absolutt positiv, sikkerhetsmessig kan det ikke sees å være betenkelig å sette tunnelen under trafikk. Ved å holde tunnelen under oppsikt i årene som kommer vil en kunne få et enda bedre svar på om sprøytebetong som sikring av vegtunneler er tilfredsstillende.

GRUNDLÄGGNING AV KVINNOKLINIKEN, ÖSTRA SJUKHUSET I GÖTEBORG
Docent Ingemar Larsson, KTH

Göteborgs berggrund har beskrivits av Lundegårdh (1958, SGU Ser. C 553). Öster om Göta älv finns en serie gnejser dels sura (kvartsrika) dels basiska (med mörka mineral, kvartsfattiga).

Det aktuella områdets berggrund består av grå till medelsur basisk gnejs. Bergarten är starkt skiffrig med hög halt av mörk glimmer. Fältspaterna utgörs dels av kalifältspat, dels av kalk-natronfältspat.

Inhomogeniteter i berget förekommer. Amfibolit ligger som linser eller ban-
kar i gnejsmassan och pegmatit (stora kristaller eller körtlar av kvarts och
fältspat) utgör ofta sprickfyllnader.

Uppkrossning av berggrunden har uppkommit i samband med rörelser i den-
samma. Göteborgsområdets tektoniska bild karaktäriseras av en serie mer
eller mindre parallella överskjutningar, efter vilka nord-sydliga dalar
t ex Götaälvdalen har bildats. Vertikala skjuvspänningar har utlöst mindre
rörelser längs mer eller mindre vertikala skjuvsprickor, vilka hela tiden stått
under tryck. En spricka med rörelse kan dessutom ha sekundära sprick-
system.

Områdets tektoniska bild kan uttryckas genom nedanstående principmodell
(fig. 1).

Exempel på överskjutningsplan och skjuvsprickor finns i avloppstunneln till
Östra sjukhuset.

Kvinnokliniken, Östra sjukhuset är byggd med en långsida vilande på en ut-
sprängd bergyta och andra långsidan på pålar mot det lägre berget, vilket
framgår av fig. 2.

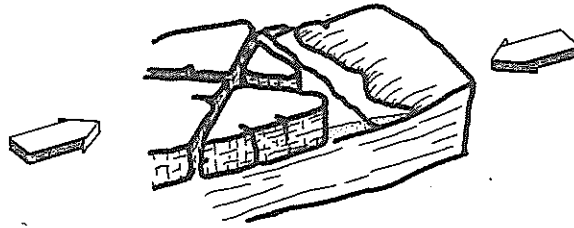


Fig. 1. Spricktekonisk modell över Göteborgsområdet.

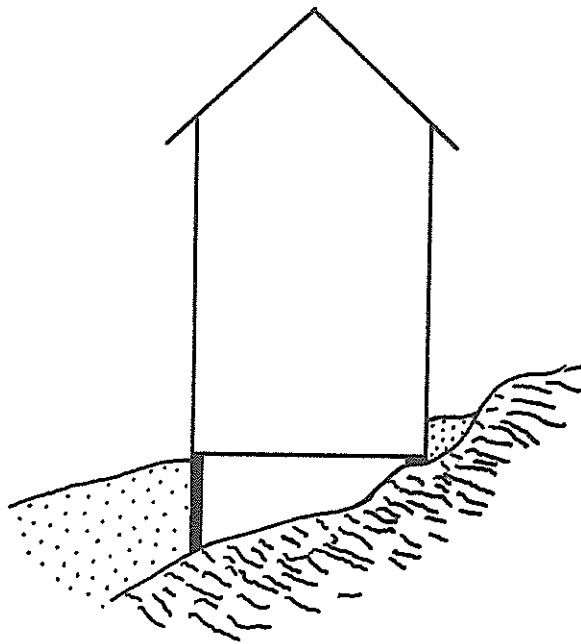


Fig. 2. Skiss över principen för Kvinnoklinikens grundläggning på urberget.

När Kvinnokliniken färdigställdes och tagits i bruk sedan ett par månader, upptäckte byggladaren, ingenjör Rolf Lundqvist, att den bergsockel, på vilken plintarna vilade, var starkt angripen av lervittring.

Detta hade icke upptäckts under byggnadstiden, varför sönderfallet måste ha skett, eller i varje fall starkt accentuerats, sedan grunden gjutits och berget övertäckts.

Sydsvenska Ingenjörbyrå (SIB) gjorde en geologisk kartering av det aktuella bergpartiet. Därvid konstaterades, att området över lag var starkt påverkat av skjuvrörelser. Befintliga krosszoner hade angripits starkt av leromvandling. För övrigt kunde allmänt konstateras att

- 1) bergarter med stort innehåll av kalk-natronfältspat, samt bergarter med basiskt innehåll, biotit och hornblände ofta var helt genomvittrade
- 2) bergarter med hög halt av kvarts- och kalifältspat visade däremot ringa omvandling.

Prov från leromvandlade partier röntgades varvid framgick att montmorillonithalten varierade mellan 20-70%.

För att bestämma leromvandlingens omfattning och läge i förhållande till befintliga konstruktioner utfördes ett antal horisontella kärnborrhål i rät vinkel mot skjuvplanen. Med ledning av kärnkarteringen kunde även den tektoniska detaljbilden konstrueras.

Resultatet redovisades i en modell av det mest utsatta partiet. Endast för en plint bedömdes leromvandlingen kunna förorsaka instabilitet. Den inåt berget lutande skiffriheten hos bergarten ansågs motverka utglidningstendenser.

Av byggladaren har hämtats följande information om den fortsatta behandlingen:

- a) Lasterna på plinten ovanför det dåliga berget avväxlades genom noggrann undergjutning under betongväggen i fasadlivet
- b) Det dåliga berget togs bort
- c) Gjutning av plint (betongförstärkning), armering, inläggning av stålplatta för domkraft till 30 cm under befintlig plint

- d) Gjutning med EMBECO-betong. Ingjutning av domkraft. Påförd last 160 kp/cm².

Konstruktionerna för såväl byggnaden som förstärkningarna har utförts av AB Jacobson & Widmark. Entreprenör har varit Svenska Vägaktiebolaget. Kontroll av berget före gjutning skedde genom inspektion av professor Hansbo och docent Pusch, som därefter fortlöpande kontrollerat bergväggen. Därvid har inga nämnvärda förändringar konstaterats.

På basis av gjorda erfarenheter skedde i samband med anläggandet av en ny klinik i närheten av Kvinnokliniken, en total avtäckning av berget. Därefter skedde flygfotografering, varigenom det aktuella sprickmönstret kunde kartläggas. Till detta sprickmönster och erfarenheter av dess betydelse för Kvinnoklinikens grund togs hänsyn vid konstruktion och bygge.

SPILLVATTENTUNNLARNA PÅ HISINGEN, GÖTEBORG

Fil. kand. Tom Lundgren, KTH

Sedan ett år har det vid Sydsvenska Ingenjörbyrån utförts en geologisk kartering av VA-verkets spillvatten- och gemensamhetstunnlar i Göteborg. Den leromvandling, som i stor utsträckning förekommer i dessa tunnlar, tycktes först sakna varje form av systematiskt uppträdande. Efter hand som karteringsmaterialet ökat har det framkommit några drag, som kan vara till nytta vid framtida förundersökningar inom området. Här kan nämnas två exempel.

Lerslag och lerzoner förekommer i spillvattentunneln på Hisingen både i vertikalläge och överskjutningsläge. Den absolut vanligaste typen är den, där leromvandlingen är helt begränsad till en spricka i berget (typ 1 enligt frågeformuläret). Sprickor i överskjutningsläge visar stor variation både i strykning och stupning (geografisk riktning och lutning). Liksom många överskjutningsplan i Göteborgsområdet är de styrda av lokala anisotropier i berget såsom skiffrighets- eller förgnejsningsriktningar och andra inhomogeniteter såsom amfibolitskölar m m. De vertikala slagens riktningsfördelning ger däremot ett säkrare deformationsmönster med vilket lerslagens läge kan jämföras.

Inom en kortare sträcka (0 - 200 m) av Hisingetunneln sammanfaller inte alltid de lerfyllda med de icke lerfyllda vertikalslagen i riktning. En frekvensundersökning av riktningsfördelningen hos sådana slag utförd på en större tunnelsträcka (ca 8 km) visas i fig. 1.

För detta mera omfattande material överensstämmer de vertikala lerslagen väl med vertikala icke lerförande slagen vad gäller de dominerande riktningarna. Den kraftigt dominerande sprickriktningen $N65^{\circ}-75^{\circ}W$ är vanlig inom Göteborgsområdet. En inmätning av diabasgångar från Lundegårdhs (1958) geologiska karta över Göteborgstraktens berggrund återges i fig. 2, där varje diabasgång representeras av en linje.

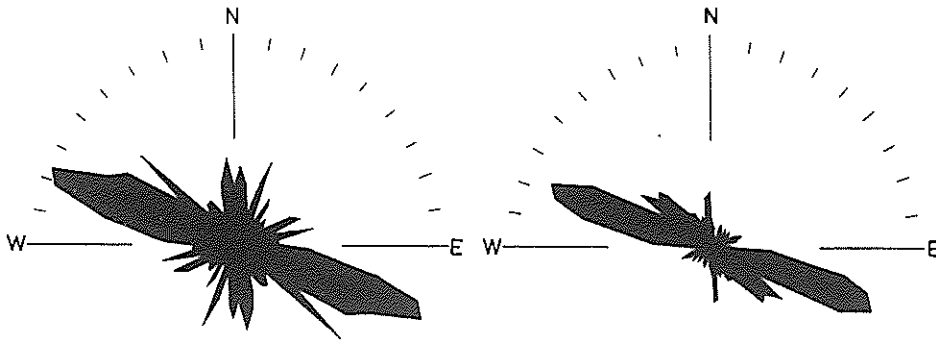


Fig. 1. Strykningsfördelningen av 400 vertikala, ej lerfyllda slag (t.v.) respektive 260 vertikala, lerfyllda slag (t.h.).

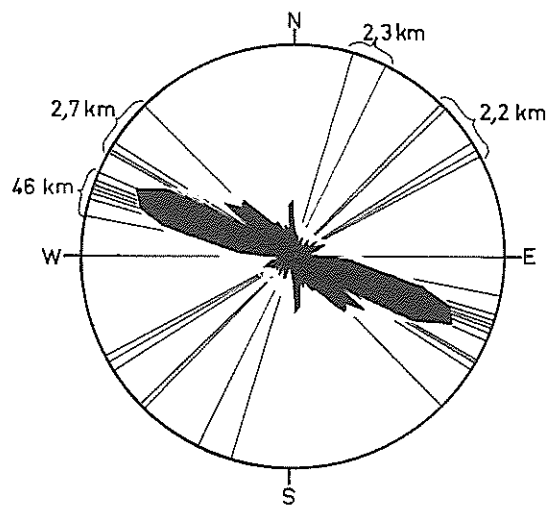


Fig. 2. Diabasgångarnas strykning på geologiska kartan över Göteborgstraktens berggrund.

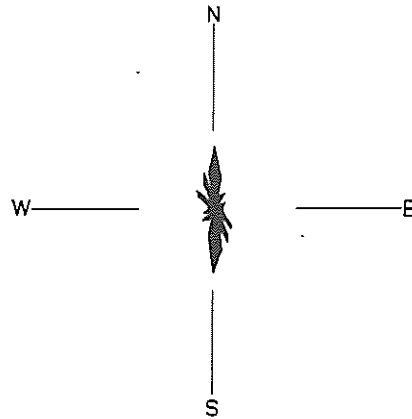


Fig. 3. Strykningsfördelningen av skiffrighetsmätningar från samma lokaler som slagen i fig. 1.

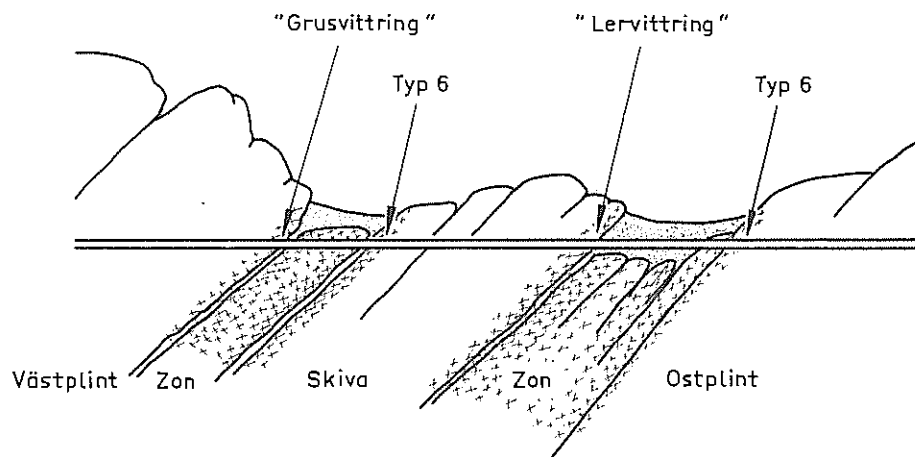


Fig. 4. Profilskiss genom spillvattentunnelns genomgång av Kvillebäckens dalgång, Hisingen, Göteborg.

Av sammanlagt 53,4 km diabasgångar ligger 46,0 km inom intervallet $N68^{\circ}W-N80^{\circ}W$. Den subdominanta N-S-liga riktningen i vertikalslagsdiagrammen är relativt kraftig och kan antagas vara styrda av den lokala anisotropin (förgnejsningsriktningen), som här liksom i Göteborgsområdet i stort löper i N-S-lig riktning. Detta visas i fig. 3 där mätningar av förgnejsningsriktningens strykning från samma lokaler som vertikaldiagrammen finns redovisade.

Ett exempel på hur leromvandling uppträder i en för Göteborgsområdet typisk överskjutningszon utgör spillvattentunnelns genomgång av Kvillebäckens dalgång på Hisingen. Tunneln går genom zonen, som är ca 700 m bred, via en lossbruten skiva i dalens mitt. Passagen av zonen är således uppdelad i två mindre delar med helt berg emellan (fig. 4). Den östra passagen är utförd som rörtryckt betongkulvert i jordlagret medan den västra går igenom själva zonen. Leromvandling förekommer förutom i själva zonen även i hängandet och liggandet för både bergplinten och skivan. Hängandet i västplinten uppvisar "grusvittring" medan hängandet i skivan uppvisar "lervittring". Omvandlingarna motsvarar typ 2 eller 3 i enkätformuläret. I ostplintens respektive skivans liggande förekommer zoner med kraftig uppkrossning i tändsticksask till tegelstens storlek med lerfilm i alla slag, motsvarande typ 6 i frågeformuläret.

Referenser

LUNDEGÅRDH, P.H., 1958. Göteborgstraktens berggrund.
SGU Ser. C, No. 553.

SVÄLLANDE LERZONER I OLJELAGRINGSANLÄGGNINGAR

Civilingenjör Sune Granström, Bergkonsult - Sven Tyrén AB, Stockholm

Den aktuella anläggningen är ett bergrum för lagring av bensin på vattenbädd belägen "någonstans i södra Sverige", om man använder lägesbeskrivning anpassad efter den fortifikatoriska objekttypen.

Förstärkningsprojektet finns beskrivet av Morfeldt (1965) och Granström (1965). Här nedan följer några kompletterande upplysningar om anläggningsarbetet.

Berggrunden beskrevs på entreprenörspråk som en mörk gnejs av hygglig kvalitet och arbetet igångsattes utan några som helst farhågor. Närmare hälften av volymen hade sprängts ut innan det klarnade att vi hade råkat ut för svårigheter. De rutinmässiga geologiska förundersökningarna och besiktningarna på platsen hade alltså inte gett några alarmerande indikationer. När arbetet kommit så långt sade däremot berget ifrån alldeles tydligt. Drivningen i en bergsal med drygt 10 m spännvidd hade passerat "ett brett slag med lera i" och där ramlade det ner berg i oroväckande mängd från taket.

Sedan arbetsledningen prövat vanliga skyddsmetoder med dålig framgång - bland annat hade några meter skyddsnät med tillhörande fästbult ramlat ned - blev förstärkt geologisk sakkunskap inkopplad varefter analys och stor rådgivning följde. Det konstaterades då att montmorillonit fanns med i bilden.

Ur byggnadsteknisk synpunkt gällde det sedan att snabbt hitta på några praktiskt rimliga åtgärder. Särskilt mycket vägledning i litteraturen kunde vi inte hitta. Montmorillonit är konstaterad bl a i Österrike, Norge och i Sverige vid Bergeforsen. Enligt uppgifterna varierade svällningstrycket mellan 2 och 20 at.

Tillsammans med geologerna och experter på bensinlagring diskuterade vi fram ett handlingsprogram som vi ansåg oss kunna stå till svars för i framtiden. Riskerna för "vandring" av bensin och vatten var något som vi måste beakta alldeles särskilt.

De åtgärder som beslutades var följande:

- a. Samtliga montmorillonitytor isoleras mot fuktangrepp med tätskikt av påsprutad plast täckt av skyddande sprutbetongskikt
- b. Dessa tätskikt hålls därefter på plats för att kunna motstå ett svällningstryck av storleksordningen 10 at. I vissa fall sänktes anspråken av ekonomiska skäl något, men trycket 5 atö skulle kvarstå som gräns nedåt.

Åtgärderna nyanserades med hänsyn till zonens bredd på följande sätt. Vid små upprepade sprickor med en bredd av max 200 mm ansågs enbart vidhäftning mot sidoväggarna vara tillfyllest. Vid bredder mellan 200 och 400 mm kompletterades vidhäftningen med bultförankringar. Vid zoner med mer än 400 mm bredd utfördes regelrätta valvförstärkningar. Dessa utfördes så långt som möjligt med gjutbetong men i taket utfördes "valvet" i den rensade sprickan med sprutbetong. Som mest var tjockleken ca 1 m vilket torde vara svenskt rekord i det materialet. Varje påslag begränsades till ca 5 cm tjocklek och utförandet av den grövsta takbågen tog över en månad i anspråk. Skälet att använda sprutbetong i taket var givetvis att uppnå en snabb plombering som också sedan successivt kunde byggas på i snabbare takt än vad alternativa utförandesätt kunde medge.

Anläggningen blev ordentligt färdigställd och funktionsduglig efter vissa förse- ningar och fördyringar. Om man i förväg hade vetat vad som väntade hade an- läggningen troligen blivit byggd på annan plats.

Det hade alltså varit önskvärt med en säkrare förundersökning vilket bl a dis- kuterades i de omnämnda uppsatserna. Men det intressanta då hade varit om man kunnat konstatera att det funnits just montmorillonit. Enligt min uppfatt- ning hade en förekomst av vanliga lerslag i motsvarande omfattning inte varit särskilt bekymmersam. Man bör nog i förekommande fall försöka klarlägga vad slags lertyp det är fråga om, eftersom vissa leror förorsakar större be- kymmer än andra.

Referenser

GRANSTRÖM, S., 1965. Snabbt sönderfallande svenskt gråberg. Väg- o. vattenb. 11 (1965):1-2, p. 37-38.

MORFELDT, C-O., 1965. Undersökningar, förstärkningar och tätningar föranledda av svällande vittringszoner i en svensk oljelagringsanläggning. IVA. Bergmekanik. p. 91-99.

SAMMANFATTNING AV AKTUELLA PROBLEMSTÄLLNINGAR

Civilingenjör Lars Olof Emmelin, AB Vattenbyggnadsbyrån, Stockholm

Erfarenheter från en del berganläggningar belyser flera av de problem som man kan möta när berget innehåller lerzoner.

Vad gäller byggnadsgrunder i allmänhet består problemen dels i att lerslagen har för låg skjuvhållfasthet med risk för utglidningar av fundament etc, dels i att det kan uppkomma skadliga deformationer under fundamenten, eventuellt därigenom att leran helt enkelt trycks ut ur slagen (Göteborg, Östra sjukhuset). Det senare fenomenet har man förutsett ut för också vid tunnlar.

Glidningsrisk kan också förefinnas där berggrunden under dammar innehåller mer eller mindre horisontella lerzoner. Som exempel kan nämnas Eufrat-dammen i Syrien där genomgående bentonitskikt förekom i den nära horisontallagrade berggrunden vilket ledde till en fördyring på flera tiotals miljoner kronor. Vid ett annat dammprojekt, Itzhi-Tezhi i Zambia, förekommer montmorillonit som en hållfasthetsnedsättande "förorening" av själva berget som består av mudstone. Andra exempel på lerzoner i berg under dammar utgör Bergeforsen där åtskilliga miljoner lagts ned på åtgärder för att förebygga att Alnö-gångarna urlakas av grundvattenströmningen. Leran i berggrunden under Messaure-dammen ledde till exceptionellt stora deformationer med de risker detta kan innebära för en damm.

När det gäller tunnlar och berggrum kan lerslag i berget ge risk för ras eller föranleda förstärkningar. Den "primära" hållfasthetsnedsättningen, alltså den genom lerfyllningen minskade skjuvhållfastheten i slagen, är då ofta en dominerande faktor. I detta sammanhang måste man också beakta tidsbundna faktorer såsom svällning eller uttorkning av leran eller risken för urspolning av slagfyllnad.

Owen Cecil har konstaterat att lera är en väsentlig faktor för stabiliteten hos tunnlar i Sverige. Vid ca 70 % av ca 100 undersökta fall av ras eller bergutfall

i tunnlar har enligt Cecil lera funnits med i bilden. Selmer-Olsen har bedömt att ungefär 75 % av inträffade tunnelras i Norge förorsakas av lera.

Lerslag i tunnlar är alltså en vanlig företeelse och de exempel som framförts har sannolikt varit särskilt besvärliga fall. Detta kan bero på att leran varit svällande (Sällsjö kraftverk vid Indalsälven och oljelagringsanläggning i Syd-sverige) eller att lerslagen haft en ogynnsam orientering. Exemplet med ledningstunneln på Linnégatan är ett ovanligt fall av vittring över en lång sträcka. Ytterligare några fall kan nämnas där lerslag i berget lett till höga förstärkningskostnader. Vid tunnelarna både för Gulsele kraftverk och Höljes kraftverk har lerslag förorsakat extrakostnader på flera miljoner kronor i form av förstärkningar.

Dagens sammankomst syftar till att belysa situationer som har föranletts av lera i berget, att försöka dra lärdom av erfarenheterna och att för framtiden reducera risker och kostnader. När man skall diskutera problemen kan man, alltefter den ordning de uppträder, gruppera dem i tre kategorier som avser:

- 1) Förundersökningar (innan bygget satts igång)
- 2) Uppföljning av bygget
- 3) Bedömning (under byggets gång) av förstärkningsbehov och val av förstärkningsmetod

Förundersökningar

Innan ett bergbygge igångsätts, gäller det att få en uppfattning om berggrundens kvalitet inom det aktuella området. Syftena härmed är

- a) att om möjligt undvika besvärliga bergpartier eller att orientera anläggningen så att man får minsta besvär av sådana partier
- b) att försöka bedöma de besvär och kostnader som kan förorsakas av dåligt berg
- c) att ge byggaren-entreprenören en uppfattning om det förväntade förstärkningsbehovet.

Erfarenheter visar att man ofta inte kan nå någon större säkerhet i sin förutbedömning och detta beror bl a på att det av ekonomiska skäl är nödvändigt att begränsa omfattningen av förundersökningarna. När det gäller lerzoner i tunnlar får man begränsa sig till uppenbara svaghetsstråk där man kan riskera väsentliga förstärkningsbehov. Resultatet av enkäten tyder på att lerzoner sällan indikeras på undersökningsstadiet.

Problemet gäller alltså hur förundersökningen lämpligen bör läggas upp och genomföras för att byggaren skall få en tillfredsställande uppfattning om vad som är att vänta ifråga om lerzoner - allt givetvis med beaktande av total-ekonomin, d v s summan av kostnader för undersökningar, förstärkningar och indirekta kostnader som kan förorsakas av lerzoner. En aktuell fråga i detta sammanhang är om man på basis av tidigare vunna erfarenheter kan förutse risker med lerzoner inom vissa geografiska eller geologiska regioner och därmed kan utesluta förundersökningar. Morfeldt nämnde exempelvis att man kanske kan spåra att lerslag företrädesvis förekommer i områden med tidigare vulkanism.

Uppföljning av bygget

När ett bygge väl kommit igång gäller det att i tid observera lerzoner som kräver förstärkningsåtgärder. Detta kan ibland vara svårt, särskilt när det gäller material som vid utsprängningen är av fast konsistens, men som efter en kortare eller längre tid efter exponeringen mjuknar och förlorar i hållfasthet. Exempel härpå har man från Östra sjukhuset i Göteborg och från Bergeforsen, där uppmjukningen gick relativt fort. En långsamt fortgående försvagning ägde rum i Sällsjö-tunneln och i Tåsan-tunneln, där ett stort ras inträffade 4 år efter det anläggningen tagits i drift.

När en lerzon påträffas i en tunnel kan det ibland vara väsentligt för val av förstärkning att veta om leran är svällande och i så fall graden av svällningsbenägenhet.

Under pågående bygge är det alltså viktigt, att snabbt upptäcka lerzoner, ibland också att klassificera lerans svällningsbenägenhet, detta både med hänsyn till arbetarnas säkerhet och till kostnaderna. Har ras en gång skett, stiger förstärkningskostnaderna väsentligt. Vilka metoder bör tillämpas för att

upptäcka och klassificera lera i berget? Hur gör man nu och hur borde man göra?

Bedömning av förstärkningsbehov och val av förstärkningsmetod

När en svaghetszon upptäcks i en tunnel uppstår frågan: Behöver man förstärka eller ej? Lerfyllnader i tunna sprickor kan under gynnsamma omständigheter vara tämligen ofarliga men kan i andra fall medföra rasrisk.

Vid förstärkning gäller det att välja lämplig metod och dimensionera förstärkningen ekonomiskt. Bedömningen grundar sig på flera faktorer och grovt kan en indelning ske i följande grupper:

- a) Lerzonens karaktär (ett eller flera närliggande slag, slagens tjocklek, ytbeskaffenhet och form, sidobergets beskaffenhet)
- b) Lerzonens orientering relativt tunneln
- c) Lerans beskaffenhet (hållfasthet, svällningsbenägenhet, etc)
- d) Vattenföring i slagen, miljöfaktorer (vattentunnel eller torr tunnel)
- e) Andra indikationer, t ex inträffade ras, sprickbildning i driftförstärkning av sprutbetong (tunneln i Skarvberget), provbelastning genom vattenfyllning.

Det finns alltså ett stort antal kombinationer av faktorer. Vilka faktorer eller kombinationer är väsentliga för förstärkningsbehovet?

När det gäller bergförstärkning skall en sådan bedömning kunna ge svar på följande frågor:

- 1) Finns det ett behov av förstärkningsåtgärder?
- 2) Är det tillfyllt med tunn sprutbetong eller bultning?
- 3) Måste man tillgripa bärande förstärkning (dvs vanlig betong eller tjock sprutbetong)? Skall man då dela upp arbetet i driftförstärkning och permanent förstärkning, och i så fall på vilket sätt?

Aktuella frågor för en byggnadsgrund eller en damm är:

- 4) Finns det risk för urspolning av leran och hur garderar man sig lämpligen mot detta? Räcker plombering av slagmynningar eller måste man också injektera?
- 5) Kan man idag skönja några realistiska metoder för att stabilisera själva leran så att den får större skjuvhållfasthet (eller mindre svällning)?

DISKUSSIONER

KLASSIFICERING AV SVÄLLANDE LEROR I BERGSPRICKOR

Civilingenjör Jan Eurenus, AB Vattenbyggnadsbyrån, Stockholm

Vid tunnel- och bergrumsarbeten påträffas ofta sprickor innehållande svällande lera. Sprickorna har varierande storlek från några millimeters bredd till flera meter. Uppgiften att avslöja förekomst av svällande lera kan vara besvärlig. Vid måttlig vattenhalt är den fast i konsistensen och har ibland samma färg som omgivande berg. Den ger därför inte alltid intryck av att innebära någon rasrisk.

Genom röntgenanalys eller differentialtermisk analys kan man undersöka om en lera innehåller svällande mineral och den ungefärliga halten av detta mineral men däremot inte graden av svällningsbenägenhet. För att fastställa denna måste man tillgripa andra metoder. Vanligen bestäms total svällning och svälltryck med ödometerförsök. Dessa försök är emellertid tidsödande.

Om man eftersträvar en snabb bedömning av svällningsbenägenheten kan detta göras genom bestämning av lerans plasticitet. Med hjälp av plasticitetsindex kan svällningspotentialen, definierad av Seed et al. (1962), bestämmas enligt följande närmeformel

$$s = k \cdot I_p^{2,44} \frac{C^{3,44}}{(C-n)^{2,44}}$$

där

s = svällningspotential, %

I_p = plasticitetsindex, %

k = $3,6 \cdot 10^{-5}$

C = lerhalt, %

n = 5 för ostört prov

n = 10 för inpackat prov

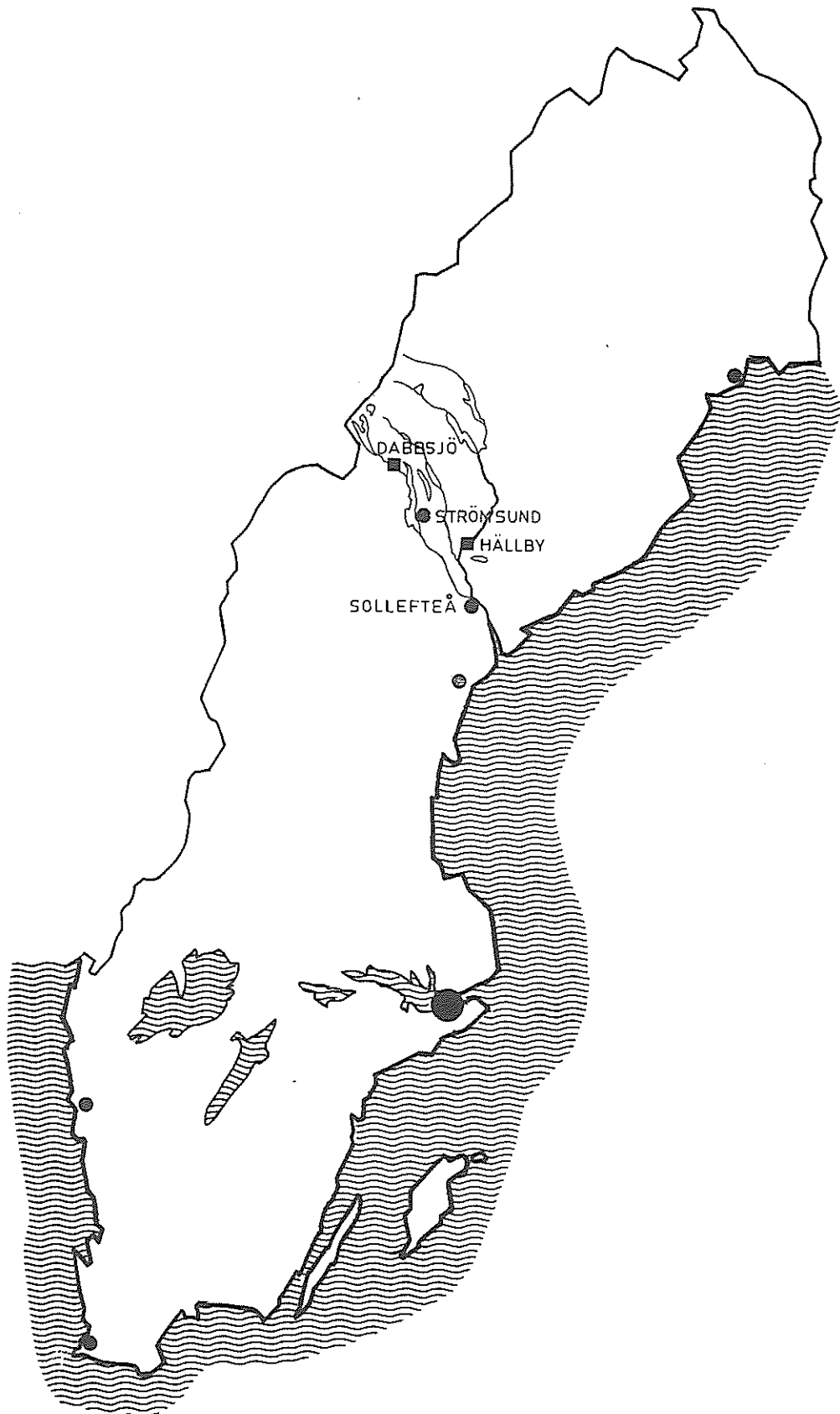


Fig. 1. Provtagningsplatser Hällby och Dabbsjö kraftverksbyggen.



Fig. 2. Bergras i avloppstunnel vid Hällby kraftverksbygge.
Raset orsakades av lerfyllda sprickor i berget.

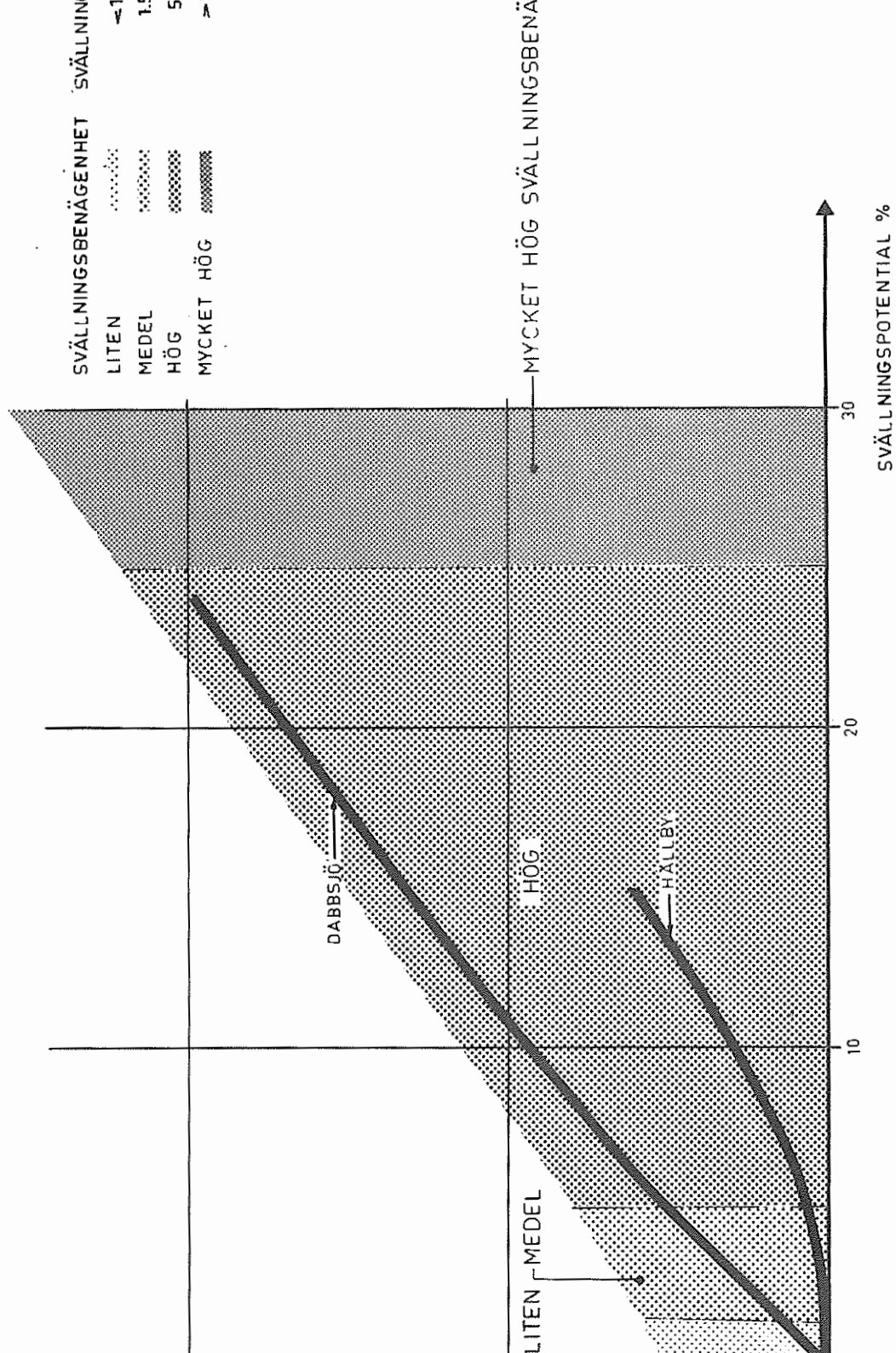


Fig. 3. Samband mellan svälltryck och svällningspotential .

För lerhalt mellan 15 och 70 % blir kvoten

$$\frac{C^{3,44}}{(C-n)^{2,44}}$$

ca 60 för ostört prov och 100 för inpackat prov. Insätts ovan angivna värden i formeln erhålls

$$s = 2,1 \cdot I_p^{2,44} \cdot 10^{-3} \text{ (ostört prov)}$$

$$s = 3,6 \cdot I_p^{2,44} \cdot 10^{-3} \text{ (inpackat prov)}$$

Med ledning av svällningspotentialen rekommenderas att svällande leror delas in i fyra kategorier enligt nedanstående tabell.

Svällningspotential, s	Svällningsbenägenhet
< 1,5 %	låg
1,5 - 5 %	medel
5 - 25 %	hög
> 25 %	mycket hög

I avsikt att se om dessa rekommendationer kan tillämpas för lera i bergsprickor bestämdes plasticitetsindex och lerhalt på material från jordfyllda sprickor från Dabbsjö och Hällby kraftverksbyggen. På samma material bestämdes även total svällning och svälltryck. Dabbsjö är beläget i Jämtland ca 10 mil norr Strömsund. Hällby ligger i Ångermanälvens dalgång 10 mil nordväst Sollefteå, se fig. 1 och 2.

På varje provtagningsplats togs generalprov. Ur vart och ett av dessa utsortades delprov med olika lerhalt. Denna varierade mellan 22 och 93 % hos Dabbsjöproverna och mellan 10 och 68 % hos Hällbyproverna.

Svällningsförsöken omfattade bestämning av svälltryck och total svällning. Försöken utfördes på prover som torkades i värmeugn och packades in i ödometer med 4-5 % vattenhalt. Proverna fick konsolidera under $18,8 \text{ kg/cm}^2$ last, som påfördes stegvis så att varje laststeg var dubbelt så stort som föregående. När sättningarna vid maximibelastningen avstannat, lastades proverna

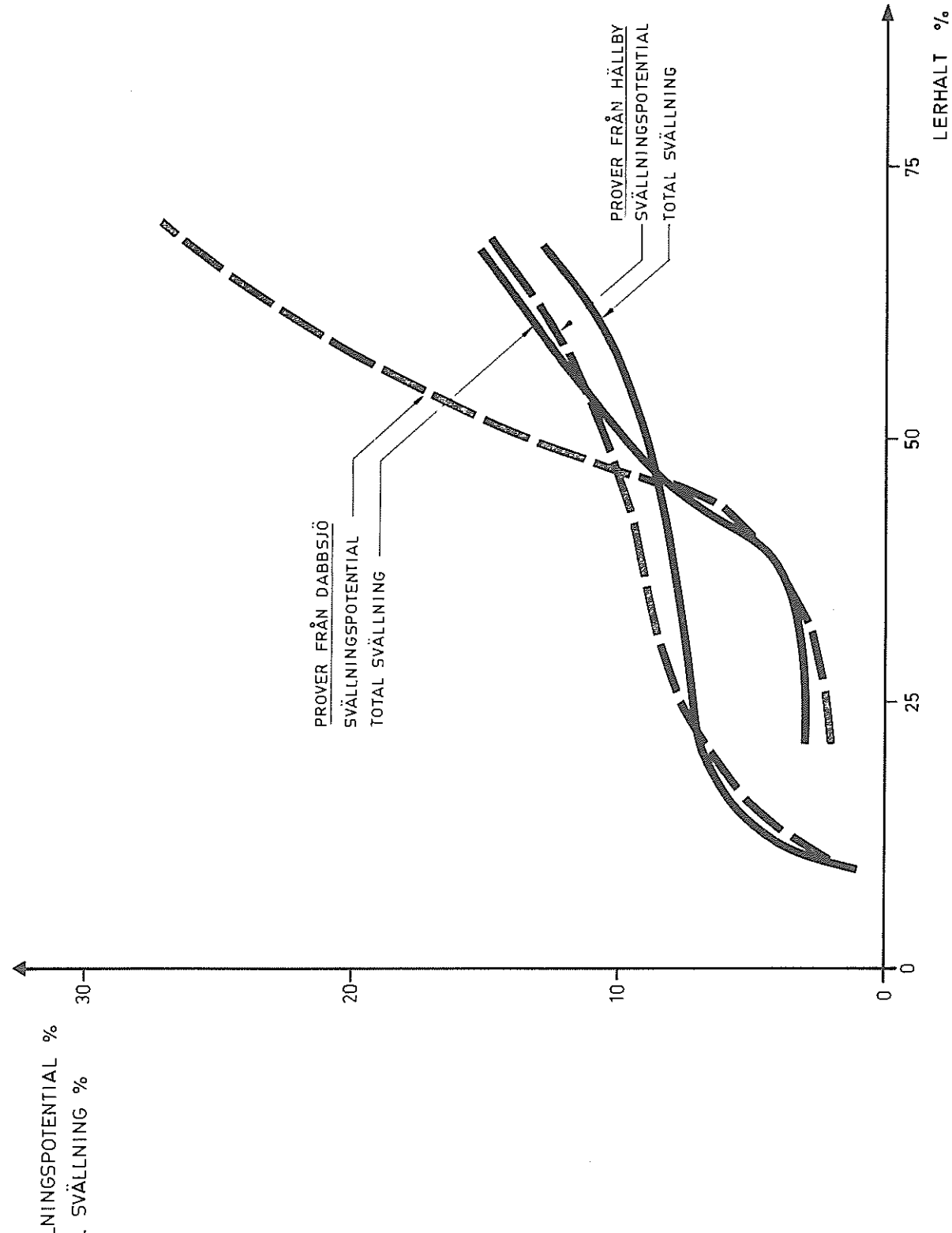


Fig. 4. Samband mellan svällningspotential och total svällning och lerhalt.

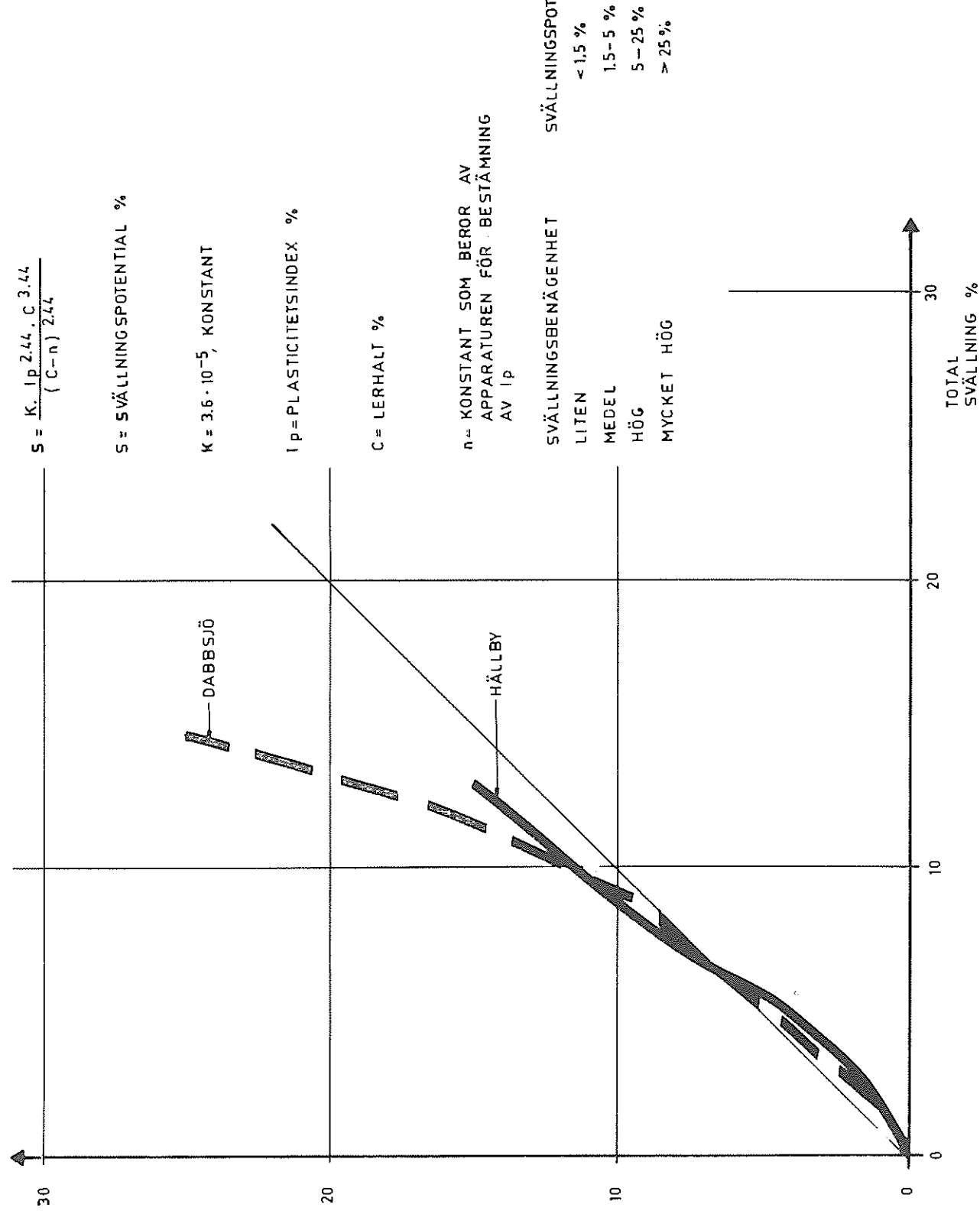


Fig. 5. Samband mellan svällningspotential och total svällning.

av stegvis varefter en behållare runt ödometern fylldes med destillerat vatten.

Svälltrycket bestämdes såsom den belastning som efter vattentillsatsen måste påföras för att provhöjden och därmed volymen skall bibehållas. Resultatet finns grafiskt sammanställt i fig. 3 och visar att svälltrycket ökar med svällningspotentialen.

Total svällning bestämdes genom att proverna tilläts svälla när tryckförsöket avslutats. Proverna var då belastade med stämpellasten $0,04 \text{ kg/cm}^2$. Resultaten redovisas i fig. 4 och 5.

Svällningspotentialen beräknades med hjälp av plasticitetsindex och lerhalt. Resultatet är redovisat i fig. 4 och 5.

Som framgår av fig. 4 och 5 sammanfaller svällningspotentialen hos de undersökta proverna väl med värdet på total svällning vid lerhalter upp till 50 å 60 %. Detta skulle kunna tolkas så att man kan klassificera svällningsbenägenheten för lerhaltiga sprickfyllnader med hjälp av svällningspotentialen.

Referenser

SEED, H.B. et al., 1962. Prediction of swelling potential for compacted clays. J. Soil Mech. a. Found. Div. Proc. ASCE Vol. 88 No. SM 3 p. 53-87.

METODER ATT I FÖRVÄG LOKALISERA LERZONER I BERGGRUNDEN

Grupp 1. Rapportör: Professor Hans Helfrich, Terratest AB, Bromma

Deltagare: H. Helfrich (ordf)
M. Alestam
K. Korpela
J. Larsson
A. Nordström
V. Svantesson

Som diskussionsunderlag hade gruppen ett skriftligt inlägg av A. Nordström till förfogande, vilket inlägg återges här nedan:

"Metoder att i förväg lokalisera lerzoner i berggrunden"

Ämnet är i och för sig en del av inom ISRM föreslaget problem för studium: "Teknik för avståndsmätning av berggenskaper och vattenförhållanden framför tunnelfront", se Bergmans meddelande vid Bergmekanikmötet 1970, sid. 10 i redogörelsen.

Ifråga om lerzoner är en något så när fullständig lösning av problemen besvärlig. Vid de flesta undersökningsmetoder är följande zonernas stupning av stor betydelse: Flack stupning medför extra besvär och är tyvärr förhållandevis vanlig. Därtill kommer att man gärna skulle vilja få fram om leran i zonerna är svällande eller inte. De fysikaliska egenskaperna hos montmorillonit, vermikulit, illit, kaolin etc borde utredas (ej endast svällningstrycket etc) och sammanställas. Samtliga lerzoner jag haft att göra med vid elektriska- och elektromagnetiska mätningar ha visat sig vara goda el-ledare. Jag har emellertid i de flesta fall icke reda på mineralsammansättningen. I ett fall var emellertid mineralet i lerorna kaolin och el-ledningsförmågan synnerligen hög. Ledningsförmågan är troligen beroende på att lerorna innehåller vatten med hög jonkoncentration. Frånsett dessa begränsningar synes el- och EM-mätningar bjuda

möjligheter till en åtminstone partiell lösning av problemen - den sannolikt bästa metoden fränsett de dyrbarare borrhningsförfarandena.

Metoderna för lokalisering av lerzoner kunna indelas i:

- a. Geologiska rekognosceringar, som alltid bör sättas in på ett tidigt stadium, genetisk precisering och hur lerzonerna ansluter sig till övriga geologiska förhållanden.
Fotogeologiskt arbete, respektive morfologiska studier av topografiska kartor.
Geologiskt markarbete, eventuellt kompletterat enligt b eller c.
- b. Geofysiska (mark)mätningar
Potentialmätningar, växelström
Självpotential (SP)-mätningar
Elektromagnetiska mätningar
Seismiska mätningar

Den vanligast förekommande geofysiska undersökningsmetoden vid tunnelprojektering etc är seismisk refraktionsmätning. Härigenom kan låghastighetszoner lokaliseras. Dessa kunna emellertid antingen vara krosszoner innehållande ovittrade mineralprodukter, såsom stycken av omgivande bergart, hos oss i regel kvarts och fältspatsaggregat ibland med klorit, glimmer, serpentin etc eller också till mer eller mindre stor del bestående av lermineral. Genom el- eller EM-mätningar kan sedan låghastighetszonens ledningsförmåga bestämmas och sannolikheter för förekomst av lermineral bedömas. Den seismiska metoden har emellertid den begränsningen att låghastighetszonerna måste ha minst någon meters mäktighet för att kunna indikeras. Lerzoner kunna med el- och EM-metoder ofta påvisas även vid mindre bredd. Där verkligt svåra lerproblem (ex. förekomst av montmorillonit) vid tunnelarbeten kunna väntas är det därför tillrådligt att icke begränsa el- och EM-undersökningarna enbart till seismiska låghastighetszoner.

c. Borrhålsundersökningar

Borringarna kunna utföras antingen som diamantkärnborring eller som hammarborring. Man har i båda fallen borrsjunkningsprotokoll (eller -diagram) som uttryck för det genomborrade materialets karaktär, i första fallet även kärnor och i det andra borrslammet, eventuellt fångat i centrifug. Prov innehållande lera kan bestämmas till sin natur genom röntgenografiska metoder.

I borrhålen kunna bl a följande observationer företagas:

El-motståndsmätningar

SP-mätningar

Borrhålsdiametermätningar

Borrhålskikargranskning ned till ca 10 m. Ett stort arbete med detta förfarande utfördes 1968 vid Ångermanälven för lokalisering av nära horisontellt liggande lerzoner i berggrunden.

TV-granskning av borrhål ned till ca 100 m djup. Metoden är under fortsatt utveckling med speciellt hänsynstagande till lerzoner och därav följande utfall från borrhålsväggar.

Radioaktiva mätningar med gamma- eller neutronstrålningskälla.

d. Exempel på lerzoner

Den mest bekanta lerzonen torde vara Stora Lerskölen i Klacka-Lerbergs gruvor. Skölen har givit namn åt gruvan. Skölen har därför varit känd i minst 400 år och var från 1900 till 1930 ett studieobjekt för alla den tidens bergsstuderande. I Stockholms berggrund finns flera kända lerzoner, t ex i Nedre Norrmalm.

Metodiken som här nämnts vid problemen under ämne 1 kan även tillämpas, men i modifierad form för ämne 2: "Metoder att under pågående arbete identifiera lerzoner". Enklast förefaller då att i borrhål från tunnelgaveln granska berget för nästa salva - och något längre in - i borrhålskikare.

Gruppdiskussion

Den därpå följande diskussionen kom till vissa synpunkter, som bör vara vägledande. Principiellt kan konstateras, att lokaliseringen av lerskölmar måste på grund av den geologiska miljöns mångfald uppfattas som ett komplext problem.

För en lokalisering av lerskölmar i förväg bör således följande huvudundersökningsmoment ingå där metodkombinationer väljes med ledning av objektets art, funktion och livslängd.

Funktion och livslängd:

1. Fotogeologi
2. Geologisk markkartering
3. Geofysik
4. Borrning

Fotogeologin kan ge en första indikation. Vilka möjligheter som metoden innefattar finns presenterat i den fotogeologiska utredningen, utarbetad inom arbetsgrupp I, bergteknisk geologi.

Den geologiska markkarteringen ger, förutsatt en acceptabel blottningsgrad, underlag för en tektonisk analys och tolkning. En effektiv och ändamålsenlig kartering måste dock baseras på data. Ett system utarbetas för närvarande mellan geologer från Boliden, SGU och Uppsala, som ger möjlighet till karteringsarbeten på jämförbar basis.

I detta sammanhang vidrördes ett problem, nämligen avsaknaden av tektoniska kartor över den svenska berggrunden. I den äldre litteraturen återfinns man endast sporadiskt tektoniska observationer, som med fördel skulle ha kunnat tillämpas vid tolkning av olika mätobjekt. Av diskussionen framgick klart och tydligt tektonikens betydelse för placeringen, storleken och sträckningen av berganläggningar och det är således önskvärt, att den tektoniska forskningsverksamheten starkt stimuleras. Anledningen till att det idag i Sverige endast finns ett fåtal geologer, som kan angripa avancerade tektoniska problem är bristen på en ändamålsenlig utbildning.

Vid diskussioner inom gruppen togs frågan upp om geofysikens möjligheter att kunna lokalisera lerzoner. Vi från Terratest har tidigare varit inkopplade i sådana problemställningar, närmare bestämt att med seismiska metoder kunna lokalisera lerzoner. Den seismiska metoden har dock sin begränsning, som oftast genom fukthalten visar vattens seismiska hastighet och därmed är svåra att lokalisera.

En ytterligare försvårande omständighet är problemet med lutningsbestämningen av sådana lerzoner.

Uppfattningen inom byggarkretsar om den seismiska metoden visar tyvärr en ganska negativ attityd. Orsaken till detta är i allmänhet bristen på geologiskt tektoniskt informationsmaterial. Man tror rent allmänt, att den seismiska metoden kan betraktas som någonting helt självständigt, en bedömning som har lett till tråkiga konsekvenser.

Vi kom fram till den slutsatsen, att man inte skall särskilja seismiken och geologin utan enbart kombinationerna mellan dessa båda arbetssätt kan leda till tillräckligt positiva resultat.

Däremot tycks ultraljudmetoden ej vara lämplig för lokalisering av sprickor eller bestämning av sprickfrekvens.

Mikroseismmetoden är endast användbar som övervakning av pågående sönder-sprickningsprocesser i berg.

Ytterligare ett problem diskuterades; nämligen helikopterburna geofysiska mätningar och deras betydelse i ingenjörsg-geologiskt sammanhang. Man har använt uppfattningen att flygburna mätningar, där man i första hand tänker på insatsen av ett flygplan, inte ger en tillräcklig noggrannhet jämfört med markmätningar. Våra helikoptermätningar har dock visat en så pass stor tillförlitlighet att man utan överdrift kan jämföra mätningarna med konventionella markmätningar. Dessutom har helikoptermätningar fördelen genom att man samtidigt kan mäta med olika metoder, bl a magnetiskt, elektromagnetiskt och radio-metriskt. För det här ändamålet kan man bara tänka sig de båda första metoderna, som i sin tur möjliggör en detaljerad strukturkartering av den övertäckta berggrunds-

ytan. Man kan således träffa ett urval vad beträffar anläggningens eller tunnelns position och sträckning.

Slutligen innehar borrningen en central position i undersökningsmetodiken. Samtliga borrdata såsom borrhärnor, borrhax, borrhålmätning, borrhålsbesiktning ger dels underlag för direkta undersökningar, här kan nämnas hållfasthetsundersökningar, bestämning av berghållfastheten, bergförbandsstrukturer, dels möjlighet till direkt observation och övervakning av rörelseprocesser.

Rekommendationer

Gruppen kom till den slutsatsen, att man vid detta tillfälle ej kunde arbeta fram en komplett checklista omfattande samtliga erforderliga detaljer beträffande undersökningsmetodiken utan rekommenderade arbetsgruppen att en grupp tillsättes. Den senare gruppens uppgift bör bestå i utarbetandet av denna checklista under ett arbetsmöte med målsättningen att arbeta fram och kunna enas om ett arbetsdugligt schema.

Denna form av grupparbete har visat sig på internationellt plan som mycket effektiv och är enda sättet att kunna undvika tungrovt kommittéarbete, som endast leder till utredningar, som sedan sällan verkställs.

METODER ATT UNDER PÅGÅENDE ARBETEN IDENTIFIERA LERZONER
Grupp 2. Rapportör: Laborator Ann Marie Askund, Sveriges Geologiska
Undersökning

Gruppen uppdelade uppgiften på två delar:

- 1) Metoder att under pågående arbete identifiera lerzoner
- 2) Metoder att ur insamlade prover identifiera lermineral.

Svårigheten att identifiera leromvandling är beroende på leromvandlingens typ. En redan befintlig omvandling till lera i form av lerslag eller lergång upptäcks troligen redan vid indriften. Då uppgifter om typ, bredd, frekvens och riktning är väsentliga för bedömning av leromvandlingens farlighet, bör dessa inmätas och registreras. Detta bör ske genom en geologisk-tektonisk kartering kombinerad med provtagning och analys.

Den mera förrädiska typen av leromvandling, som potentiellt finns i berget, i form av zoner, vilka först efter en tid visar tecken på omvandling, kräver, förutom god kännedom om dess uppträdande, kartering lämplig tid efter indrift, då omvandlingen är iakttagbar. Möjlighet finns att påskynda omvandlingseffekten genom vattenpåspritning under stort tryck. Denna metod rekommenderas dock inte, då den kan ge upphov till onödiga skador. Den geologisk-tektoniska karteringen bör, för att ge goda resultat, föregås av renspolning.

Ett enkelt sätt att kontrollera om berget är leromvandlat är att torka ett prov, som sedan nedsänkes i vatten. Omvandlingen ger sig då till känna som sönderfall. Vattenupptagningsförmågan är ett mått på omvandlingsgraden. Friskt urberg bör inte ta upp mer än ett par procent vatten. Processen torde kunna påskyndas genom att låta behandla provet i en autoklav under förhöjt tryck och temperatur, vilket borde kunna ske på arbetsplatsen. Härvid bör ett resultat kunna uppnås efter ett par timmar. En laboratoriestudie bör snarast genomföras för att undersöka de optimala betingelserna för en rutinmetod.

Identifiering av lermineral i ett prov utförs oftast med röntgendiffraktionsmetoden. För att ge en fullständig identifikation av lermineral och uppskattning eller beräkning av dess ingående mängder kräver metoden ofta speciella och individuella prepareringar och flera körningar, varför kostnaderna varierar starkt och är i allmänhet så dyra att man kanske måste begränsa provtagningen. Om man endast kräver att få veta om ett prov innehåller svällande lermineral eller inte, finns möjlighet att använda snabba, förenklade rutinmetoder med fasta priser.

Lerprov (ca 100 g) kan då sändas per post utan särskilda instruktioner till laboratoriet. SGU kan ta emot uppdrag av denna typ.

Inom arbetsgrupp 4 håller man på att utveckla en rutinanalys med röntgendiffraktion, som till en rimlig kostnad och med tillräckligt stor säkerhet skall kunna säga vilka lermineraltyper som ingår. Differentialtermisk analys (DTA) och jonbyteskapacitetsmätning är två metoder, som kan rekommenderas som komplettering till röntgendiffraktionsmetoden.

Andra metoder, som kan tänkas komma till användning mera kontinuerligt på arbetsplatsen är t ex

Färgreaktioner: Malakitgrönt
Benzidin
Smörgult

Svällningshastighetsbestämning enligt Enslingmetoden.

Gruppen fann det väsentligt om fortsatt arbete inom området kunde resultera i upplysningar till entreprenörer och byggherrar om vilka möjligheter man f n har att utnyttja ovannämnda metoder. Vidare ansåg man det viktigt att utveckla analysrutiner direkt tillämpade för labilt berg, som snabbt leromvandlas. En förutsättning för att ett kvalitativt beräkningsförfarande skall kunna bli normerande är att provtagningsförfarandet är standardiserat.

Grupp 2's diskussionsämne föranledde L O Emmelin att fråga hur identifiering av lerzoner går till i Norge.

R. Lien svarade, att undersökningsmetoderna där utgjordes i huvudsak av: färgtest, försök med fri svällning (i mätglas), samt mätning av svällningstryck med ödometer.

C Alberts påpekade, att även tidsfaktorn var viktig vid svällning. Endast en liten svällning erfordras för att svällningstrycket skall minska.

H. Helfrich menade, att en orsak till att inte kontinuerlig, geologisk kartering utförs i någon större utsträckning vid anläggningsarbeten i berg säkerligen är att den ekonomiska grunden därför är alltför osäker. Man måste påvisa hur stora besparingar, som kan göras genom kartering. I uppsatser, som behandlar geologiska karteringar av den här typen, är ekonomiska analyser ovanliga.

S Elfman ansåg, att man bör rekommendera geologisk kartering, särskilt vid sprutbetongsförstärkning.

N Bergqvist anmärkte, att det generellt sett är få tillfällen man har sådana problem, som kan belysas med geologisk kartering och undrade om det bör vara ett krav att sådan utföres av geolog.

T Lundgren svarade, att så länge man inte har tillräcklig överensstämmelse mellan förundersökningsresultat och verkliga förhållanden, kan endast kartering ge den kunskap om t ex leromvandlingens uppträdande, som behövs för att bättre kunna förutsäga den. När det sedan är fråga om att enbart identifiera lerzoner, kan vilket vant öga som helst eller annan lämplig metod (t ex fotografering) ersätta geologen.

I Larsson frågade Göteborgs VA-verks representant vad de hade för motiveringar till att låta utföra geologiska karteringar.

V Svantesson svarade, att man hade tre motiv. För det första ville man vinna erfarenheter för kommande tunnlar. Idag finns ca 50 km VA-tunnlar i Göteborg och man planerar inom den närmaste tiden bygga 20-30 km/år. Lägesvalet påverkas därvid av de erfarenheter man gör. För det andra vill man ha lägsta möjliga förstärkningskostnader. För det tredje vill man ha kontroll över underhållskostnaderna.

C-O Morfeldt omtalade, att han i 15 år förgäves försökt övertala byggherrar om värdet av kartering av tunnlar och bergrum. 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.

METODER FÖR BEDÖMNING AV LERZONERS FARLIGHET OCH KONSE-
KVENSER AV UTEBLIVNA FÖRSTÄRKNINGSÅTGÄRDER

Grupp 3. Rapportör: Direktör Carl-Olof Morfeldt, Hagconsult AB, Stockholm

Deltagare:

Civ.ing. Reidar Lien,	Geoteknisk Institutt, Forskningsveien 1, Oslo 3, Norge
Civ.ing. Eddy Ismael,	Göteborgs Stads Gatukontor, Fack 401 10 Göteborg 1
Civ.ing. Valter Svantesson,	Göteborgs Stads VA-verk, Fack 400 11 Göteborg 18
Ing. Nils Bergkvist,	Kjessler & Mannerstråle AB, Korsg. 7-9 411 16 Göteborg
Civ.ing. Lars Olof Emmelin,	AB Vattenbyggnadsbyrån, Box 5038 102 41 Stockholm 5
Övering. Karl-Erik Källero,	AB Armerad Betong, Box 246 201 22 Malmö 1
Övering. Lennart Gustafsson,	Svenska Industribyggen AB (SIAB) Box 53018 400 14 Göteborg 53
Civ.ing. Per-Olof Ekbohm,	Sydsvenska Kraft AB, Fack 200 70 Malmö 5

Gruppledare: Direktör C-O Morfeldt.

Inledningsvis togs vid gruppmötet upp frågan: Hur fungerar tunnelsprängning idag? Därvid framhölls med många exempel hur man tidigare hade tillgång till erfarna borrhare som med handhållna borrhmaskiner mycket noga kände bergkvaliteten i samband med borrhningen för salvorna. Detta förhållande har idag förändrats avsevärt. Sålunda känner man knappast idag någonting av bergkvaliteten när man borrar med stativburna borrhmaskiner. Vidare kan sägas att det börjar bli svårt att få tag i borrhare med lång erfarenhet och känsla för berg. Detta förhållande innebär, framhölls från flera av deltagarna, att man måste lägga större vikt vid kontrollanter och arbetsledningens kompetens i dessa frågor och man undrade hur man skulle kunna öka denna kompetens och

vad arbetsledare och kontrollanter skulle kunna erhålla undervisning i dylika frågor. Det framhölls att Teknologföreningens kurser framledes borde ta hänsyn till detta. Idag skall sägas att man också har gjort detta i och med att man lagt in en ganska omfattande kurs om byggnadsgeologi i kursprogrammen.

Vikten av att följa upp bergarbetena sedan sprängningarna slutförts framhölls även. Det påpekades att man genom kartering och dokumentation av bergkvaliteten får möjlighet att i efterhand göra bedömning av bergförhållandena i stort genom att jämföra tektoniken med de detaljerade bergstudier man kan göra i tunnelväggarna. Härvid framhölls även att man ofta berövas möjligheten till observation av berget p g a att man numera med förkärlek ofta mycket snabbt ur skyddssynpunkt sprutar tunnarna med ett tunt lager av sprutbetong, vilket innebär att man så att säga döljer svårigheterna varvid risken för större ras som ackumuleras under sprutbetongen kan inträffa. Vidare framhöll gruppen det omöjliga i att samordna en intensiv geologisk kartering inne i tunneln i direkt samband med sprängningsarbetena. Detta skulle ställa sig alltför dyrbart och det skulle också komplicera arbetsrutinen i tunneln.

Frågan om materialet i ett lerfyllt slag är svällande eller inte diskuterades slutligen. Alla var eniga om att de "svällande slagen" utgjorde en fara för bergarbetena såväl när det gäller säkerheten vid själva arbetet som bergrummets bestånd på längre sikt. Man efterlyste därför enkla metoder att snabbt avgöra om lerfyllnaden i slaget är svällande eller inte. Lämpligen borde en färgningsmetod vara enkel så att man direkt nere i rummet kunde ta ut lermaterial och i provrör bestämma huruvida svällande lermineral förekommer eller inte. Detta skulle i så fall direkt kunna påverka omfattningen av de provisoriska förstärkningarna som göres i samband med själva bergarbetets utförande.

Från flera av gruppdeltagarna framfördes synpunkten att det naturligtvis vore bra om forskningsgruppen i första hand kunde utreda bakgrunden till de svällande lermineralens bildning, så att man kanske p g a den geologiska bakgrunden kunde säga i vilka sammanhang man kan befara förekomsten av svällande material och upprätta en regional karta som visar utbredningen. Därmed kanske man kan konstatera att vissa områden är helt riskfria.

Sammanfattningsvis avslutar grupp 3 diskussionen på följande sätt:

Vi efterlyser; en geologisk uppföljning av bergarbetena,

rationella anordningar för sonderingsborrning inne
i tunnlarna för att i god tid indikera svaghetszonen,

metoder för snabbbestämning av huruvida en sprick-
fyllnad i berg har svällande egenskaper eller icke,

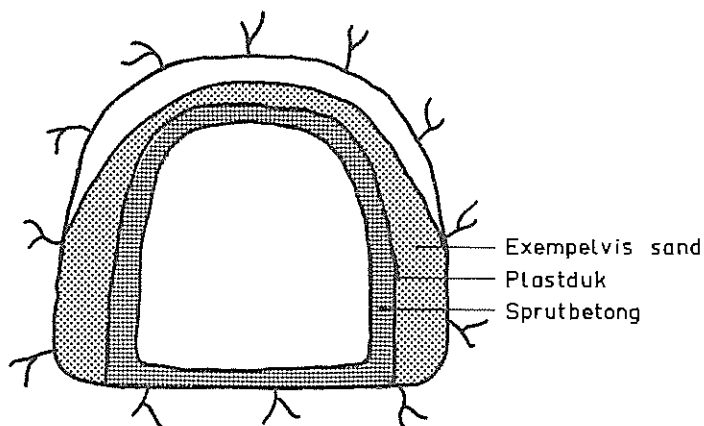
en undersökning som om möjligt gör klart i vilka
områden man kan ha att förvänta risk för svällande
lerfyllnader.

OLIKA FÖRSTÄRKNINGSMETODER

Grupp 4. Rapportör: Överdirektör Bengt Broms, Statens Geotekniska Institut

Gruppdiskussionen resulterade i en sammanställning över aktuella förstärkningsmöjligheter med kommentarer om när eller hur de bör användas.

1. Bultning. Storblockigt berg.
2. Bultning med nätning. Temporär metod, smällberg, liten sprickvidd.
3. Enbart sprutbetong. Förstärkning av väggar, lerslag.
4. Bultning och sprutbetong. Rösberg, plötslig belastning.
5. Armerad sprutbetong (ev. kombinerat med bultning). Trafik- och personanläggningar.
6. Gjutbetong. Stora spännvidder, eller i kombination med andra gjutningar.
7. Injektering. Förstärkning av fundament och dammbyggnader.
8. Frysning. Temporär metod.
9. Framtida metoder
 - a) Plast. För utjämning av svällningstryck
 - b) Plastduk med sprutbetong.



BILAGOR

BERGMEKANIKKOMMITTEN
Arbetsgrupp 4

INBJUDAN TILL DISKUSSIONSMÖTE
RÖRANDE LERZONER I BERGANLÄGGNINGAR

Arbetsgrupp 4 inom IVA:s Bergmekanikkommitté får härmed inbjuda till diskussionsmöte rörande lerzoner i berganläggningar. Mötet äger rum

onsdagen den 7 oktober 1970

i IVA:s lokaler, Grev Turegatan 14, Stockholm, enligt nedanstående program.

I en tidigare utsänd enkät föreslogs mötet äga rum under april eller maj månad. Det har emellertid visat sig lämpligt att skjuta mötet något framåt i tiden.

PROGRAM

- 09.50 Samling IVA
- 10.00 Inledning. Avsikten med mötet samt presentation av forskningsuppgiften (Bengt Broms)
- 10.15 Sammanfattning av enkäten (Per Ahlberg)
- 10.30 Allmän geologisk översikt samt redogörelse för Statens vattenfallsverks erfarenheter av allmän, teknisk och ekonomisk natur (J. Martna)
- 11.00 Presentation av ett antal case histories
- 11.45 Sammanfattning av aktuella problemställningar (L O Emmelin)
- 12.00 Arbetslunch med akademien som värd
- 13.00 Diskussion samt formulering av problem för diskussion i mindre grupper
- 13.30 Tre å fyra grupper diskuterar var för sig de formulerade delproblemen (ett problem per grupp)
- 14.30 Återsamling och kaffepaus
- 15.00 Redogörelse för och diskussion av gruppernas diskussionsresultat
- 16.30 Sammanfattning och slutord (Bengt Broms)

BERGMEKANIKKOMMITTEN
Arbetsgrupp 4

LERZONER I BERGANLÄGGNINGAR

DISKUSSIONSMÖTE I STOCKHOLM DEN 7 OKTOBER 1970

Deltagarförteckning

Per Ahlberg Överingenjör	Statens geotekniska institut Banérgatan 16, 115 26 Stockholm
Claes Alberts Civilingenjör	Stabilator AB Box 46, 161 26 Bromma 1
Mats Alestam Civilingenjör	AB Sydvatten Fack, 200 70 Malmö 5
Ann Marie Asklund Laborator	Sveriges geologiska undersökning 104 05 Stockholm 50
Nils Bergkvist Ingenjör	Kjessler & Mannerstråle AB Korsgatan 7-9, 411 16 Göteborg
Sten Bjurström Bergsingenjör	Kungl. Fortifikationsförvaltningen Box 16371, 103 27 Stockholm 16
Bengt Broms Överdirektör	Statens geotekniska institut Banérgatan 16, 115 26 Stockholm
Per-Olof Ekbohm Civilingenjör	Sydsvenska Kraft AB Fack, 200 70 Malmö 5
Sten Elfman Överingenjör	Statens vattenfallsverk 162 87 Vällingby
Lars Olof Emmelin Civilingenjör	AB Vattenbyggnadsbyrån Box 5038, 102 41 Stockholm 5
Jan Eurenus Civilingenjör	AB Vattenbyggnadsbyrån Box 5038, 102 41 Stockholm 5
Sune Granström Civilingenjör	Bergkonsult - Sven Tyrén AB Fack, 103 40 Stockholm 40
Lennart Gustafsson Överingenjör	Svenska Industribyggen AB (SIAB) Box 53018, 400 14 Göteborg 53
Yngve Gustavsson Professor	Kungl Tekniska Högskolan Inst. för Kulturteknik Fack, 100 44 Stockholm 70
Hans Helfrich Professor	Terratest AB Box 11068, 161 11 Bromma 11
R. Hiltcher Docent	Statens vattenfallsverk 162 87 Vällingby
Eddy Ismael Civilingenjör	Göteborgs stads gatukontor Fack, 401 10 Göteborg 1

Gunnar Jacks Bergsingenjör	Kungl Tekniska Högskolan Inst. för Kulturteknik Fack, 100 44 Stockholm 70
Kauko Korpela Fil.dr.	Imatran Voima OY P.O.Box 138, Helsingfors, Finland
Karl-Erik Källero Överingenjör	AB Armerad Betong Box 246, 201 22 Malmö 1
Ingemar Larsson Docent	Kungl Tekniska Högskolan Inst. för Kulturteknik Fack, 100 44 Stockholm 70
Reidar Lien Civilingenjör	Geoteknisk Institutt Forskningsveien 1, Oslo 3, Norge
Tom Lundgren Fil. kand.	Kungl Tekniska Högskolan Inst. för Kulturteknik Fack, 100 44 Stockholm 70
J. Martna Fil. lic.	Statens vattenfallsverk 162 87 Vällingby
Carl-Olof Morfeldt Direktör	Hagconsult AB Banérgatan 37, 115 22 Stockholm
Allan Nordström Bergsingenjör	Hagconsult AB Banérgatan 37, 115 22 Stockholm
Kai Palmqvist Geolog	Sydsvenska Ingenjörbyrå AB Lammevallsgatan 42, 431 43 Mölndal
Shanti Parekh Forskningsingenjör	Statens geotekniska institut Banérgatan 16, 115 26 Stockholm
John Rathsman Ingenjör	Käppalaförbundet Box 815, 181 08 Lidingö 8
Heino Roosaar Fil. kand.	Bergkonsult - Sven Tyrén AB Fack, 103 40 Stockholm 40
Valter Svantesson Civilingenjör	Göteborgs stads VA-verk Fack, 400 11 Göteborg 18

ENKÄT RÖRANDE PÅTRÄFFADE LERZONER I BERGANLÄGGNINGAR

- 100 ALLMÄNNA UPPGIFTER OM ANLÄGGNINGEN
- 110 Lägesuppgifter
- 111 Län: 112 Ort:
- 120 Typuppgifter
- 121 Bergrum 122 Tunnel 123 Annan typ:
- 130 Funktion:
- 141 Påbörjad år: 142 Färdig år:
- 150 Anläggningens orientering i anslutning till lerzonen
Geografisk(a) riktning(ar)
I komplicerade fall, om möjligt bifoga karta eller skiss.
- 160 Anläggningens dimensioner
- 161 Längd: 162 Spännvidd:
- 163 Höjd: 164 Pilhöjd:
- 165 Annan profil betingad av brytningsform (helst skiss):
- 166 Om flera parallella rum eller tunnlar, inbördes avstånd
(helst skiss):

-
- 200 FÖRUNDERSÖKNINGAR
- 210 Har förundersökningar av berggrunden utförts? /ja/nej/
- 220 Om ja, undersökningarnas omfattning
- 221 Bergartskartering
- 222 Kartering av kross- och sprickzoner ovan jord
- 223 Seismiska undersökningar
- 224 Jorddjupsbestämningar
- 225 Hammarborrning
- 226 Kärnborrning
- 227 Andra metoder:
- 228 Indikerade lerzoner

300 UPPGIFTER OM LERZONEN I ANLÄGGNINGEN

Kommentar: Med lerzon eller zon avses här antingen ett i berget begränsat parti med lervittring eller en samling sådana, som av praktiska skäl (nära avstånd, samma förstärkningsenhet, samma typ) kan sammanföras till en enhet.

Med slag avses här en tektonisk spricka i berggrunden. I ett lerslag är lervittringen begränsad av eller ansluten till ett sådant slag.

- 310 Läge i anläggningen (alternativ)
- 311 Sektion: Nollpunkt:
- 312 Avstånd från bestämd och angiven punkt:
- 320 Bergtäckning:
- 330 Riktningangivelser (alternativ)
- 331 Strykning och stupning (geografiska riktningar):
- 332 Riktning och lutning i förhållande till anläggningen:
- 333 Zonen tvärrar eller fältar
- 340 Mäktighet eller bredd (två uppgifter)
- 341 Zonbredd /<0,1 m/0,1-0,5 m/0,5-2 m/>2 m/
- 342 Antal slag /1 slag/2-5 slag/5-10 slag/>10 slag/
- 350 Karaktär
- 351 Har lerzonen undersökts /ja, hur/nej/
- 352 Svällande eller ej svällande lera
- 353 Hur har svällning konstaterats
- 354 Typ enligt figur i bilaga 1
- 355 Genomsättande eller ej, se fig. 2 i bilaga 2
- 356 Plan eller vindlande, se fig. 1 i bilaga 2
- 357 Konsolideringsgrad /lös/fast/
- 360 Sidoberg
- 361 Bergart(er)
Allmän(na) bergart(er), t.ex. gnejs, granit, amfibolit.
Gång- eller skölbergart(er), t.ex. kloritsköl, pegmatitgång, glimmersköl.
- 362 Förvittrat /ja/nej/
- 363 Helt eller uppsprucket
- 364 Andra parallella zoner /ja, antal/nej/
- 365 Hur många lerzoner /alla/somliga/inga/
- 366 Andra med lerzonen ej parallella zoner /ja, antal/nej/
- 367 Hur många lerzoner /alla/somliga/inga/

- 400 PROBLEM OCH FÖRSTÄRKNINGSARBETEN
- 410 När konstaterades lerzonen
- 411 Vid indriften 412 Samma dag som indriften
- 413 Dagen efter indrift 414 En vecka efter indrift
- 415 En månad efter indrift 416 Senare, när:
- 417 Vid själva ibruktagandet (t.ex. vid vattenpåsläpp)
- 418 Efter ibruktagandet, när:
- 420 Svårigheter vid indrift genom zonen
- 421 Borrningssvårigheter 422 Sprängningssvårigheter
- 423 Lastningssvårigheter (oläpligt styckefall)
- 424 Utfallsproblem 425 Svällning
- 430 Vattenläckage från berget i närheten eller i zonen
- 440 Svällningsprocess
- 441 Omedelbart eller senare 442 Utfallande material
- 450 Förstärkningsarbeten under anläggningstiden
- 451 Utförda när:
- 452 Typer /bultning/bultning och nät/sprutbetong/
/armerad sprutbetong/betongbåge/injektering/
- 453 Efterförstärkning erforderlig
- 460 Permanent förstärkning
- 461 Utförd när:
- 462 Typer: enligt 452 463 Kontrollerad senare
- 464 Eventuell ytterligare förstärkning

- 500 KOSTNADER
- 510 Normalkostnad för drivning (totalt eller per m)
- 520 Ökade kostnader vid drivning genom lerzonen (totalt eller per m)
- 521 För indriften 522 För driftförstärkning
- 523 För permanentförstärkning
- 530 Övriga erforderliga förstärkningskostnader

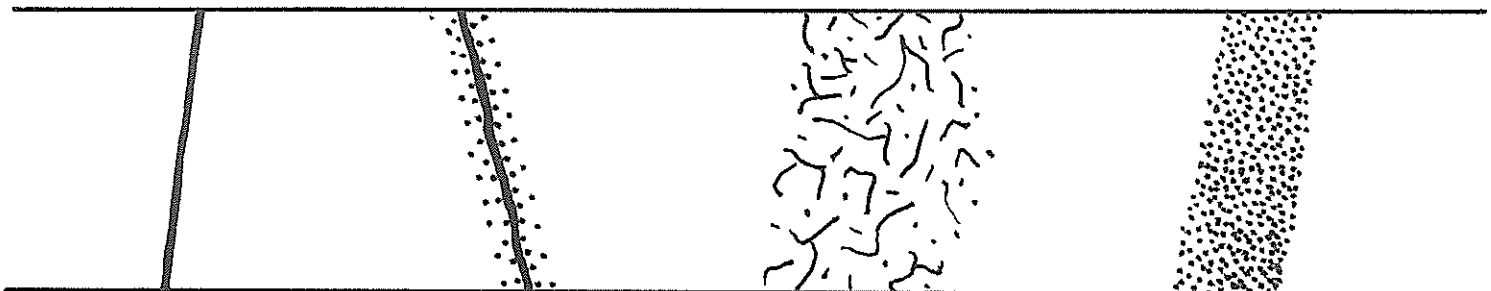


FIG. 1A
"Lerslag".
Leromvandling
begränsad helt
till sprickan.

FIG. 1B
"Lerslag" med
vittring i
omgivande berg.

FIG. 2
Oregelbunden
leromvandling
företrädesvis
i smala band.
Inga genom-
gående slag.

FIG. 3
Gångformig
lerförekomst.
Ofullständigt
leromvandlad.

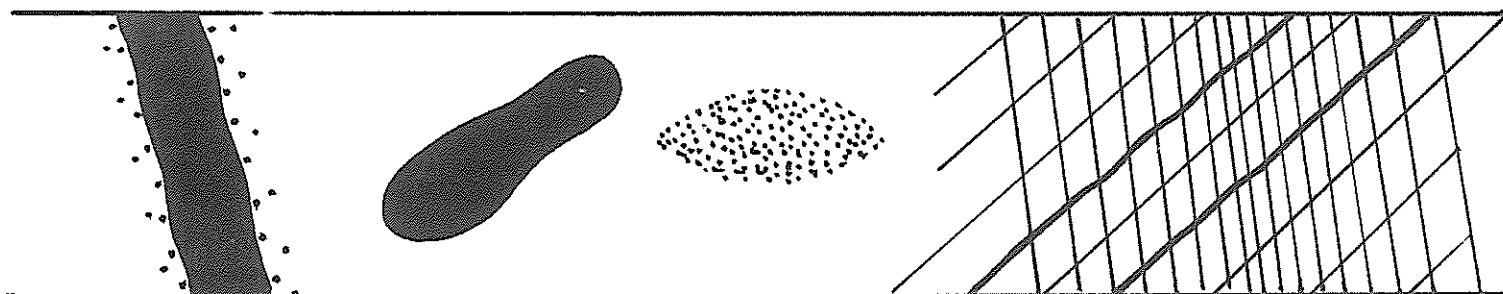


FIG. 4
"Lergång".
Fullständigt
leromvandlad.

FIG. 5A
Fullständigt resp. ofull-
ständigt leromvandlad
kropp. "Lerlins".

FIG. 5B

FIG. 6
Leromvandlad matrix
i breccia eller ler-
film i alla slag i
tektonisk zon.

Tillhör enkät angående
påträffade lerzoner.
April 1970. Rev. okt. 1970

IVA BERGMEKANIKKOMMITTE

Arbetsgrupp 4

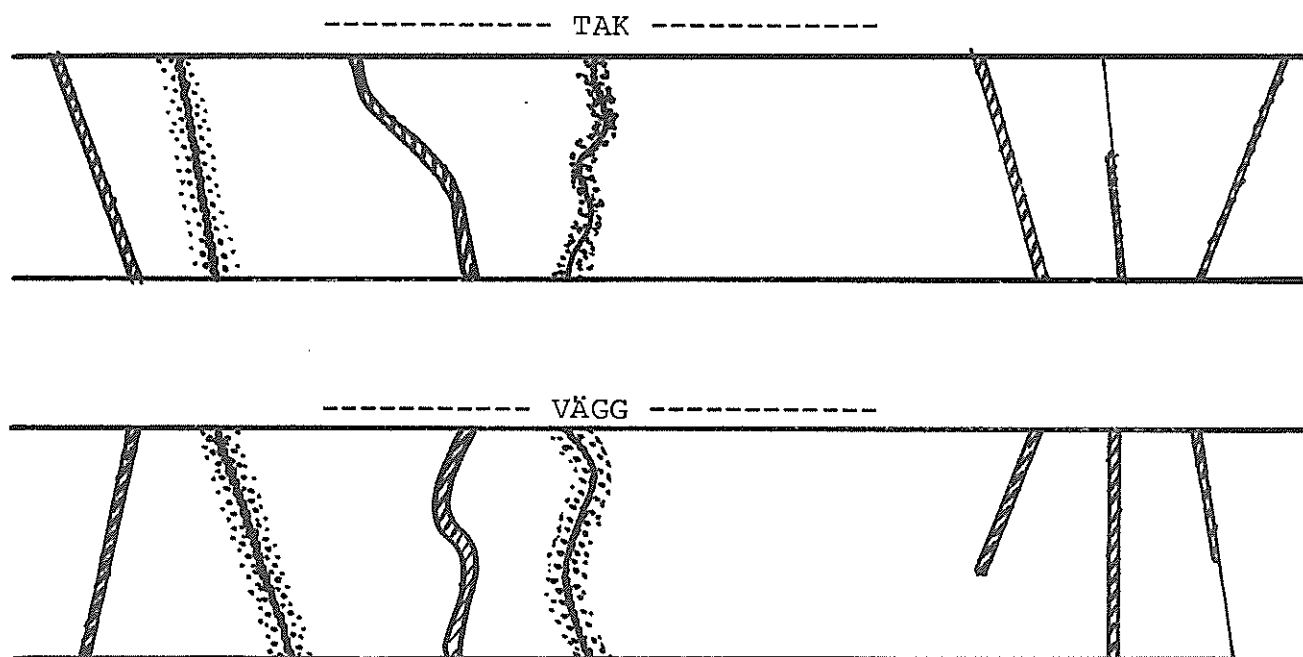


FIG. 1A
Genomsättande
plana slag.

FIG. 1B
Genomsättande
vindlande slag.

FIG. 2
Ej genomsättande
slag.

Tillhör enkät angående
påträffade lerzoner.
April 1970. P.A.

No.		1967	Pris kr. (Sw. crs.)
17.	Om påslagning och påbärighet.	1967	5:—
	1. Dragsprickor i armerade betongpålar. <i>S. Sahlin</i>		
	2. Sprickbildning och utmattning vid slagning av armerade modellpålar av betong. <i>B-G. Hellers</i>		
	3. Bärighet hos släntberg vid statisk belastning av bergspets. Resultat av modellförsök. <i>S-E. Rehnman</i>		
	4. Negativ mantelfriktion. <i>B. H. Fellenius</i>		
	5. Grundläggning på korta pålar. Redogörelse för en försöksserie på NABO-pålar. <i>G. Fjellkner</i>		
	6. Krokiga pålars bärförmåga. <i>B. Broms</i>		
18.	Pålgruppers bärförmåga. <i>B. Broms</i>	1967	10:—
19.	Om stoppslagning av stödpålar. <i>L. Hellman</i>	1967	5:—
20.	Contributions to the First Congress of the International Society of Rock Mechanics, Lisbon 1966.	1967	5:—
	1. A Note on Strength Properties of Rock. <i>B. Broms</i>		
	2. Tensile Strength of Rock Materials. <i>B. Broms</i>		
21.	Recent Quick-Clay Studies.	1967	10:—
	1. Recent Quick-Clay Studies, an Introduction. <i>R. Pusch</i>		
	2. Chemical Aspects of Quick-Clay Formation. <i>R. Söderblom</i>		
	3. Quick-Clay Microstructure. <i>R. Pusch</i>		
22.	Jordtryck vid friktionsmaterial.	1967	30:—
	1. Resultat från mätning av jordtryck mot brolandfäste. <i>B. Broms & I. Ingelson</i>		
	2. Jordtryck mot oeftergivliga konstruktioner. <i>B. Broms</i>		
	3. Metod för beräkning av sambandet mellan jordtryck och deformation hos främst stödmurar och förankringsplattor i friktionsmaterial. <i>B. Broms</i>		
	4. Beräkning av stolpfundament. <i>B. Broms</i>		
23.	Contributions to the Geotechnical Conference on Shear Strength Properties of Natural Soils and Rocks, Oslo 1967.	1968	10:—
	1. Effective Angle of Friction for a Normally Consolidated Clay. <i>R. Brink</i>		
	2. Shear Strength Parameters and Microstructure Characteristics of a Quick Clay of Extremely High Water Content. <i>R. Karlsson & R. Pusch</i>		
	3. Ratio c/p' in Relation to Liquid Limit and Plasticity Index, with Special Reference to Swedish Clays. <i>R. Karlsson & L. Viberg</i>		
24.	A Technique for Investigation of Clay Microstructure. <i>R. Pusch</i>	1968	22:—
25.	A New Settlement Gauge, Pile Driving Effects and Pile Resistance Measurements.	1968	10:—
	1. New Method of Measuring in-situ Settlements. <i>U. Bergdahl & B. Broms</i>		
	2. Effects of Pile Driving on Soil Properties. <i>O. Orrje & B. Broms</i>		
	3. End Bearing and Skin Friction Resistance of Piles. <i>B. Broms & L. Hellman</i>		
26.	Sättningar vid vägbyggnad.	1968	20:—
	Föredrag vid Nordiska Vägtekniska Förbundets konferens i Voksenåsen, Oslo 25–26 mars 1968.		
	1. Geotekniska undersökningar vid bedömning av sättningar. <i>B. Broms</i>		
	2. Teknisk-ekonomisk översikt över anläggningsmetoder för reducering av sättningar i vägar. <i>A. Ekström</i>		
	3. Sättning av verkstadsbyggnad i Stenungsund uppförd på normalkonsoliderad lera. <i>B. Broms & O. Orrje</i>		
27.	Bärförmåga hos släntberg vid statisk belastning av bergspets. Resultat från modellförsök. <i>S-E. Rehnman</i>	1968	15:—

No.			Pris kr. (Sw. crs.)
28.	Bidrag till Nordiska Geoteknikermötet i Göteborg den 5-7 september 1968.	1968	15:—
	1. Nordiskt geotekniskt samarbete och nordiska geoteknikermöten. <i>N. Flodin</i>		
	2. Några resultat av belastningsförsök på lerterräng speciellt med avseende på sekundär konsolidering. <i>G. Lindskog</i>		
	3. Sättningar vid grundläggning med plattor på moränlera i Lund. <i>S. Hansbo, H. Bennermark & U. Kihlblom</i>		
	4. Stabilitetsförbättrande spontkonstruktion för bankfyllningar. <i>O. Wager</i>		
	5. Grundvattenproblem i Stockholms city. <i>G. Lindskog & U. Bergdahl</i>		
	6. Aktuell svensk geoteknisk forskning. <i>B. Broms</i>		
29.	Classification of Soils with Reference to Compaction. <i>B. Broms & L. Forssblad</i>	1968	5:—
30.	Flygbildstolkning som hjälpmedel vid översiktliga grundundersökningar.	1969	10:—
	1. Flygbildstolkning för jordartsbestämning vid samhällsplanering 1-2. <i>U. Kihlblom, L. Viberg & A. Heiner</i>		
	2. Identifiering av berg och bedömning av jorddjup med hjälp av flygbilder. <i>U. Kihlblom</i>		
31.	Nordiskt sonderingsmöte i Stockholm den 5-6 oktober 1967. Föredrag och diskussioner.	1969	30:—
32.	Contributions to the 3rd Budapest Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Budapest 1968.	1969	10:—
	1. Swedish Tie-Back Systems for Sheet Pile Walls. <i>B. Broms</i>		
	2. Stability of Cohesive Soils behind Vertical Openings in Sheet Pile Walls. Analysis of a Recent Failure. <i>B. Broms & H. Bennermark</i>		
33.	Seismikdag 1969. Symposium anordnat av Svenska Geotekniska Föreningen den 22 april 1969.	1970	20:—
34.	Något om geotekniken i Sverige samt dess roll i planerings- och byggprocessen. Några debattinlägg och allmänna artiklar.	1970	15:—
	<i>T. Kallstenius</i>		
	1. Geoteknikern i det specialiserade samhället. <i>B. Broms</i>		
	2. Diskussionsinlägg vid konferens om geovetenskaperna, 7 mars 1969.		
	3. Geoteknik i Sverige — utveckling och utvecklingstendenser.		
	4. Geotekniska undersökningar och grundläggningsmetoder.		
	5. Grundläggning på plattor — en allmän översikt.		
35.	Piles — a New Force Gauge, and Bearing Capacity Calculations.	1970	10:—
	1. New Pile Force Gauge for Accurate Measurements of Pile Behavior during and Following Driving. <i>B. Fellenius & Th. Haagen</i>		
	2. Methods of Calculating the Ultimate Bearing Capacity of Piles. A Summary. <i>B. Broms</i>		
36.	Påslagning. Materialegenskaper hos berg och betong.	1970	10:—
	1. Bergets bärförmåga vid punktbelastning. <i>S.-E. Rehnman</i>		
	2. Deformationsegenskaper hos slagna betongpålar. <i>B. Fellenius & T. Eriksson</i>		
37.	Jordtryck mot grundmurar.	1970	10:—
	1. Jordtryck mot grundmurar av Lecablock. <i>S.-E. Rehnman & B. Broms</i>		
	2. Beräkning av jordtryck mot källarväggar. <i>B. Broms</i>		
38.	Provtagningsdag 1969. Symposium anordnat av Svenska Geotekniska Föreningen den 28 oktober 1969.	1970	25:—

No.			Pris kr. (Sw. crs.)
39.	Morändag 1969. Symposium anordnat av Svenska Geotekniska Föreningen den 3 december 1969.	1970	25:—
40.	Stability and Strengthening of Rock Tunnels in Scandinavia. 1. Correlation of Seismic Refraction Velocities and Rock Support Requirements in Swedish Tunnels. <i>O. S. Cecil</i> 2. Problems with Swelling Clays in Norwegian Underground Constructions in Hard-Rocks. <i>R. Selmer-Olsen</i>	1971	25:—
41.	Stålpålars bärförmåga. Resultat av fältförsök med lätta slagdon. <i>G. Fjellkner</i>	1971	30:—
42.	Contributions to the Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico 1969.	1971	15:—
43.	Centrally Loaded Infinite Strip on a Single-Layer Elastic Foundation — Solution in Closed Form According to the Boussinesq Theory. <i>B-G. Hellers & O. Orrje</i>	1972	20:—
44.	On the Bearing Capacity of Driven Piles. 1. Methods Used in Sweden to Evaluate the Bearing Capacity of End-Bearing Precast Concrete Piles. <i>B. Broms & L. Hellman</i> 2. Discussions at the Conference, Behaviour of Piles, London 1970. <i>B. Fellenius, B. Broms & G. Fjellkner</i> 3. Bearing Capacity of Piles Driven into Rock. With Discussion. <i>S-E. Rehnman & B. Broms</i> 4. Bearing Capacity of Cyclically Loaded Piles. <i>B. Broms</i> 5. Bearing Capacity of End-Bearing Piles Driven to Rock. <i>S-E. Rehnman & B. Broms</i>	1972	20:—
45.	Quality in Soil Sampling. 1. Secondary Mechanical Disturbance. Effects in Cohesive Soil Samples. <i>T. Kallstenius</i> 2. Sampling of Sand and Moraine with the Swedish Foil Sampler. <i>B. Broms & A. Hallén</i>	1972	10:—
46.	Geoteknisk flygbildstolkning. En undersökning av metodens tillförlitlighet. <i>L. Viberg</i>	1972	1) ¹⁾
47.	Some Experiments on Hollow Cylinder Clay Specimens. <i>A. K. Jamal</i>	1972	10:—
48.	Geobildtolkning vid vägprojektering. Rapport från försöksverksamhet 1969–71. <i>U. Kihlblom, L. Viberg, A. Heiner & K. Hellman-Lutti</i>	1972	20:—
49.	Lerzoner i berganläggningar. Diskussionsmöte anordnat av IVA den 7 oktober 1970	1972	30:—

¹⁾ Distribution: AB Svensk Byggtjänst