

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING

SERIE C AVHANDLINGAR OCH UPPSATSER NR 590

PER H LUNDEGÅRDH

PROJEKTERING AV
RUM OCH TUNNLAR
I BERG

SUMMARY:

PLANNING OF ROOMS AND TUNNELS IN SOLID ROCKS

MED KARTA ÖVER SVERIGES BERGGRUND



STOCKHOLM 1963

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING

SER. C NR 590

ÅRSBOK 57 NR 1

PER H LUNDEGÅRDH

PROJEKTERING AV
RUM OCH TUNNLAR I BERG

SUMMARY:
PLANNING OF ROOMS AND TUNNELS IN SOLID ROCKS

MED EN KARTA

STOCKHOLM 1963

FÖRORD

Detta häfte har ställts samman till hjälp för dem, som önskar orientera sig inom en alltmera betydelsefull del av den praktiska geologin, nämligen *berggeotekniken*. Framställningen har avpassats så, att den skall kunna vara till nytta för så många intresserade som möjligt. Teknikern finner därför ur hans synpunkt onödiga förklaringar till en del termer, geologen gör likartade iakttagelser beträffande andra termer.

Bilder har i görligaste mån fått ersätta text. Bergen läser man sig inte till, dem skall man se. All avancerad laboratorieforskning till trots är geologin ännu i första hand en fältvetenskap.

En karta finns sist i häftet. Den grundar sig väsentligen på resultaten av förarbetena till Sveriges geologiska undersöknings berggrundskarta av år 1958 i skala 1:1 000 000 (SGU, ser Ba, nr 16). Dock har många bergartsgrupper slagits samman och konturdragningen förenklats. Ålderssynpunkter på bergartsindelningen har i väsentlig utsträckning fått vika för uppgifter om bergartsbeskaffenhet. Tyvärr har den av utrymmesskäl användas skalans, 1:2 500 000, ej medgett inritning av berggrundens många svaghetszoner. För detta ändamål skulle ha erfordrats en karta i minst tio gånger större skala.

Civilingenjör Hans Nordell, bergmästare Erik Knubb, fil lic Buster Sund, förste byråingenjör Bengt Fahlander och fil lic Thomas Lundqvist har gett uppslag till förbättringar av manuskriptet. Fru Elisabeth Björk har ritat originalen till textens fototypier och har tekniskt utarbetat bergartskartan efter mina anvisningar. Sakregistret har upprättats av stud Gunnar Lundegårdh. Till alla sju riktar jag ett varmt tack.

Danderyd i augusti 1963.

Per H Lundegårdh

INNEHÅLL

Summary: Planning of rooms and tunnels in solid rocks	3
Inledning	5
Bergarternas indelning, bildning och sammansättning	5
Bergarternas strukturella egenskaper	11
Bergarternas grad av homogenitet	25
Sveriges berggrund	34
Lokalisering och orientering av berganläggningar	40
A. Anläggningar med möjlighet till fritt val	40
B. Anläggningar utan möjlighet till fritt val	45
Bergbeskaffenhet och bergtäckning	55
Litteratur i urval	62
Tabell 1. Eruptiva bergarter i Sverige	63
Tabell 2. Sedimentära bergarter i Sverige	64
Tabell 3. Metamorfa bergarter i Sverige	65
Tabell 4. Mohs relativa hårdhetsskala för mineral	66
Tabell 5. Seismiska hastigheter i jord- och bergarter	66
Sakregister	67
Karta över Sveriges bergarter. Plansch innanför omslagets bakre del	

SUMMARY

Planning of Rooms and Tunnels in Solid Rocks

Most of the Swedish underground rooms and tunnels excavated in rock have been located in Archean gneisses and granites. These rock formations are generally characterized by regular jointing. Sets of longitudinal and cross joints with high dips have developed, and in the uppermost part of the crust these are frequently combined with low-dipping or horizontal joints. In addition, several cracks and irregular joints occur, as well as fissures of more regional extension. The gneisses are generally more suitable for underground work than the granites, and of the granites the coarse-grained are better suited than the fine-grained. The best gneisses are grey and characterized by winding pegmatite veins. In such gneisses tunnels up to 25 m width have been excavated. (Stenungsund to the north of Gothenburg, Stornorrfors near Umeå in northern Sweden.) In other rocks, such as Archean marble, very large rooms have resulted from mining operations, for example one measuring $30 \times 50 \times 16$ m at Sala northwest of Stockholm.

Where the Swedish rocks are suitable for underground works no other strengthening than grouted bolts are as a rule required. Shear and *sköl* zones, containing chlorite and graphite, as well as fissures filled with clay can, however, be found even in the best parts of the Swedish Archean bedrock, for instance in grey gneisses with veins of quartz and feldspar. In such cases strengthening more expensive than bolts is usually needed.

The Swedish Caledonides which contain a multitude of tectonic zones and strongly schistose rocks are from the safety point of view quite dangerous for underground works. The same holds true for the younger parts of the Swedish bedrock outside the Caledonides. Thus special care should be observed when planning underground rooms and tunnels in eruptive rocks, slates and limestones, particularly those belonging to the Cambro-Silurian period.



Bild 1. Tillmakat schakt, nu vattenfyllt. Grängsbo koppargruva. Ovanåkers socken, Gävleborgs län. Foto P H Lundegårdh 1958.

Fig. 1. Burnt shaft, now water-filled. Grängsbo copper mine north of Falun in central Sweden.

Inledning

I äldre tider skedde arbeten i fast berg med enkla och tidsödande metoder, dels *kilning* (indrivning av kilar med hammare längs svaghetsytor i berget), dels *mejsling* (bearbetning av berget med hammare och mejsel), dels *tillmakning* (upphettning av bergytan medelst eldar och i segt berg avkylning genom vattenbegjutning). I lösare berg kunde hacka (*kilhäcka*) användas.

Vanligen utfördes bergarbeten för utvinning av malm eller sten. Våra dagars omfattande tunneldrivningar och bergrumsutsprängningar ägde i äldre tider sin motsvarighet endast i mycket begränsad omfattning. Grottor för bostads- och försvarsändamål holkades visserligen ut, men mestadels blott i lösa bergarter

Redan har nämnts, att man vid kilning utnyttjar berggrundens svaghetsytor. Dessa består dels av sprickor, dels av osynliga eller blott av mineralkorn markerade plan, längs vilka berget lätt kan klyvas. De förra kallas *slag*, de senare *kläv*. (Se s 14.)

Kilning har sedan urminnes tid varit metoden för brytning av byggnads- och ornamentsten, som måste bilda regelbundet formade block, under det att tillmakning kommit till användning vid gruvdrift, där malmen och dess sidosten kunnat tagas ut i oregelbundet formade bitar. Tillmakade sänken och orter visar rundade tvärsnitt (bild 1), medan kilade bergspartier begränsas av plana ytor (bild 2). Även mejslade rum är merendels rundade.

Efter sprängämnenas tillkomst minskade de gamla brytmetoderna i betydelse, till en början blott sakta men i nyare tid allt snabbare. Tillmakning förekommer icke längre, och kilning bedrivs endast i mindre stenbrott. I större stenbrott har man nu kommit därhän, att man skär ut råblocken ur berget med blästerlåga (jetlåga), en metod som kallats *jetborrning*. Den färdiga stenen tillsågas sedan maskinellt. Kläven har därigenom förlorat sin betydelse för brytningen, och den oregelbundet formade spillstenen, *skrotet*, har minskat starkt i mängd.

De metoder, som kommer till användning, och de förstärkningar, som krävs vid arbeten inne i berg, beror i väsentlig utsträckning av det djup, på vilket arbetena utförs. På stora djup är bergtrycket en viktig hållfasthetsfaktor, medan på djup mindre än 100 m berggrundens strukturer nära nog ensamma bestämmer graden av hållfasthet. Eftersom i vårt land i regel endast gruvor når djupare än 100 m, kommer i föreliggande publikation bergtrycket icke att vidare beröras. Den intresserade hänvisas till Nils Hasts framställning i SGU, ser C, nr 560 (1958).

Bergarternas indelning, bildning och sammansättning

Bergarterna uppdelas på tre huvudgrupper: *eruptiva*, *sedimentära* och *metamorfa* (eller omvandlade). (Se tabellerna 1—3, s 63—65.)



Bild 2a. Regelbundna klåv i jämnkornig Bohusgranit. Hällers stenbrott, 2 km öster om Rixö, Brastads socken, Göteborgs och Bohus län. Foto P H Lundegårdh 1960. ©

Fig. 2a. Regular jointing in the even-grained granite of northern Bohuslän, western Sweden.

De eruptiva bergarterna har stelnat ur glödande smältor, som trängt upp ur jordens inre. Smältorna har på större djup fränt sig fram, medan de i grundare lägen oftast kunnat passera via sprickor och krosszoner. Där annan möjlighet till passage icke yppat sig, har smältorna brutit sönder berggrunden i större och mindre bitar, *breccierat* den. Nära jordytan har gaser frigjorts ur smältorna och genom sitt tryck ofta sprängt upp *vulkanrör* genom berggrunden. Gaserna har varit fyllda med bergartsstof (vulkanaska), som hopats till *tufflager*.

Smältorna kallas i sin helhet *magmor* men benämns *lavor*, när de flyter ut på jordytan. De kristalliserar på djupet tämligen sakta till korniga *intrusivbergarter* men stelnar på eller nära jordytan hastigt till täta *effusivbergarter*. Magmor bildas oftast genom smältning eller upplösning av äldre bergarter, som under skeden kännetecknade av omfattande rörelser i jordskorpan upphettats kraf-



Bild 2b. Pallbrytning av Bohusgranit längs regelbundna bottenlag. Hällers stenbrott, 2 km öster om Rixö, Brastads socken, Göteborgs och Bohus län. Foto P H Lundegårdh 1960. ©

Fig. 2b. Quarrying along flat-lying joints in sheetlike intrusion of granite. Observe also the regular longitudinal and cross joints. Northern Bohuslän, western Sweden.

tigt, främst genom nerpressning till stora djup. Magma som stiger uppåt i jordkorpan kan länge stanna kvar nära under jordytan i reservoarer, särskilt under vulkaner.

Genom frostsprängning och hastiga temperaturväxlingar men även under inverkan av sandstormar, regn, rinnande vatten och bränningar i hav luckras småningom de blottade bergspartierna på jordklotet upp, eller *vittrar*. Det vittrade bergartsmaterialet stannar ofta kvar ovanpå berghällarna eller i deras närhet under kortare eller längre tid men förs vanligen till sist ner i sjöar och hav, där det avsätts som sediment. Man skiljer mellan *mekaniska*, *kemiska* och *organiska* sediment. Ett mekaniskt sediment är exempelvis sand, ett kemiskt utgör den fällning av kalciumkarbonat som kallas bleke. Bland organiska sediment märker man avlagringar av snäckskal (skalgrus).



Bild 3. Grusvittring i syenitisk gnejs. Eklanda, Mölndal. Foto G Lundqvist 1951. ©
Fig. 3. Strong mechanical weathering in syenitic gneiss. Southern vicinity of Gothenburg.

Sediment som hopas på varandra hårdnar omsider, oftast genom att bindemedel kristalliserar ur lösningar.

Metomorfa bergarter bildas ur befintlig berggrund genom förändringar av en eller flera av egenskaperna kornstorlek, mineralsammansättning, kemisk sammansättning och struktur. Förändringarna, eller omvandlingarna, kan ske genom temperaturförhöjning, tryckpåverkan eller kemisk påverkan. Höjning av temperaturen kan vara en följd av nersänkning av bergarterna till stora djup, av värmealstring genom friktion eller genom värmeutveckling från uppträngande magma. Temperaturhöjningar orsakade av kemiska reaktioner och radioaktivt sönderfall kan även förekomma. Tryckpåverkan är vanligast vid bergskedjeveckning, friktionsvärme alstras främst genom överskjutningar (s 21).

Bland exempel på metamorfos kan nämnas bildning av amfibolit ur någon av bergarterna diorit, gabbro eller diabas genom omkristallisation under tillförelse av vatten (överföring av vattenfria mineral, främst pyroxen, till vattenhaltiga, främst hornblände¹). Andra exempel utgör bildning av gnejs ur granit eller lerrika sedimentbergarter under samtidig inverkan av starkt tryck från viss bestämd riktning och upphettning till relativt hög temperatur.

¹ Som hör till mineralgruppen amfiboler, därav bergartsnamnet amfibolit.



Bild 4. Pelarförklyftning (basaltförklyftning) i diabas. Billingen SV om Skövde.
Foto P H Lundegårdh 1961. ©

Fig. 4. Columnar jointing in dolerite. Mt. Billingen, southwestern Sweden.

Även eruptivliknande bergarter kan bildas genom metamorfos, utan smältning eller upplösning av de för omvandling utsatta bergarterna. Detta sker när en bergart fullständigt byggs om under tryck, som är lika stort från alla håll. En tät bergart som lerskiffer kan på detta sätt få en granits utseende och mineral-sammansättning, dels genom att lermineralen ersätts av kvarts, fältspat och glimmer, dels genom att de nybildade mineralkornen växer sig mycket större än den gamla bergartens korn. Är trycket olikformigt, får man en gnejs i stället för en granit, så som ovan beskrivits.



Bild 5. Regelbunden förklyftning och väl utbildade bottenslag i flack gång (lagergång) av diabas, 3 km NV om Överturingen, Haverö socken, Västernorrlands län. Foto P H Lundegårdh 1962. ©

Fig. 5. Regular jointing in sheetlike intrusion (sill) of dolerite. West of Ånge in central Sweden.

De vanligaste bergarterna i Sverige finns uppräknade i tabellerna 1, 2 och 3 på sidorna 63—65. Genom att granit kan bildas på både eruptiv och metamorf väg, förekommer denna bergart i två tabeller, nämligen 1 och 3. Den i tabell 1 nämnda grusvittringen av vissa bergarter åskådliggörs i bild 3.

Bergarternas mineralsammansättning bestämmer deras hårdhet. I tabell 4 (s 66) ges hårdheten hos ett antal olika mineral. Det rör sig om genomsnittsvärden; åtskilliga mineral visar nämligen olika hårdhet i olika riktningar beroende på hur dessa riktningar är orienterade i förhållande till mineralens kristallografiska byggnad. Mineral kan kristallisera på många olika sätt, men i huvudsak har man i naturen att göra med fyra huvudgrupper: klot (granat), lådor (fältspat), stavar (hornblände) och packar av tunna skivor (glimmer). Endast ibland framträder kristallformerna tydligt, och vissa mineral, t ex kvarts, bildar så

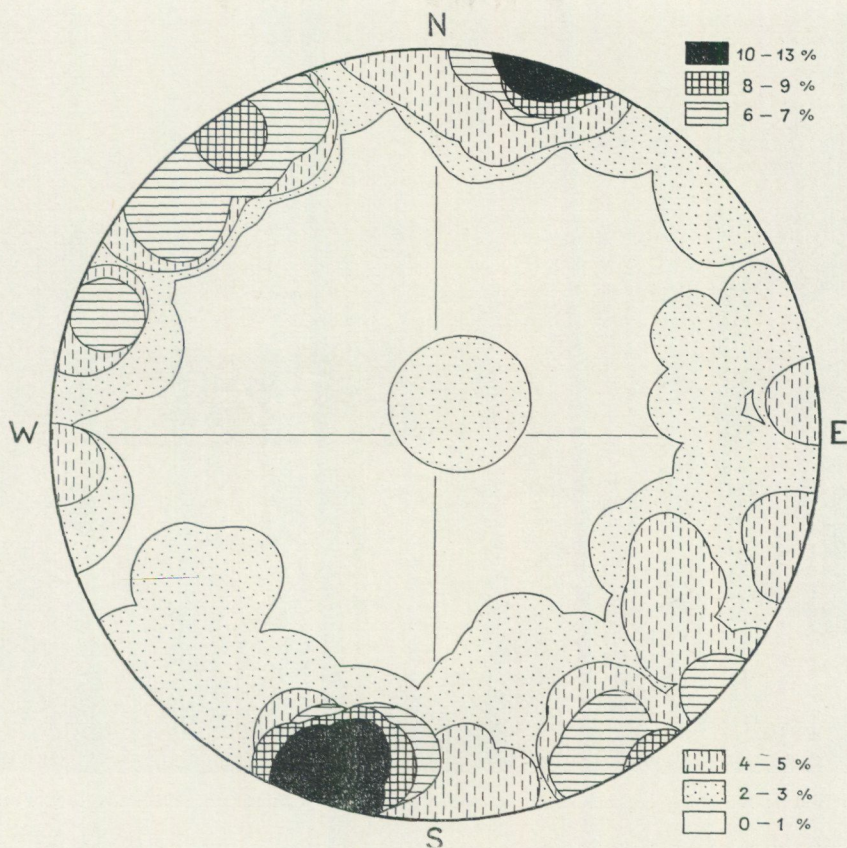


Bild 6. Sprickplan i granit från Sommaro i sydvästra delen av Uppsala. Diagrammet visar fördelningen av poler (normaler) till 100 godtyckligt valda sprickplan. Sprickplan och poler har lagts genom centrum av en sfär. Polernas skärningspunkter med den undre hemisfären har sedan projicerats i horisontalplanet.

Fig. 6. Stereographic projection (lower hemisphere) of 100 poles of joints in granite from Uppsala, eastern Sweden.

gott som alltid regellöst formade massor. De flesta mineral låter sig dock klyvas efter plana, kristallografiskt bestämda ytor, som kallas *genomgångar*. Bland undantagen märks återigen kvarts, som visar helt oregelbundna brottytor.

Bland vanliga bergarter är de kvartsrikaste formerna hårdast. Kvartsiter och kvartsrika porfyrier sliter därför borrstål snabbare än andra bergarter. Mjukast är bergarter rika på vattenhaltiga mineral, t ex lerskiffer.

Bergarternas strukturella egenskaper

Strukturellt skiljer man mellan *isotropa* och *anisotropa* bergarter. De förra har samma utseende och hållfasthet i alla riktningar. Exempel utgör granit samt de



Bild 7. Bankning i granitisk gnejs. Södra stenbrottet i Söndrum, Hallands län. Foto P H Lundegårdh 1951. ©

Fig. 7. Regular horizontal jointing in granitic gneiss. Söndrum near Halmstad, southwestern Sweden.

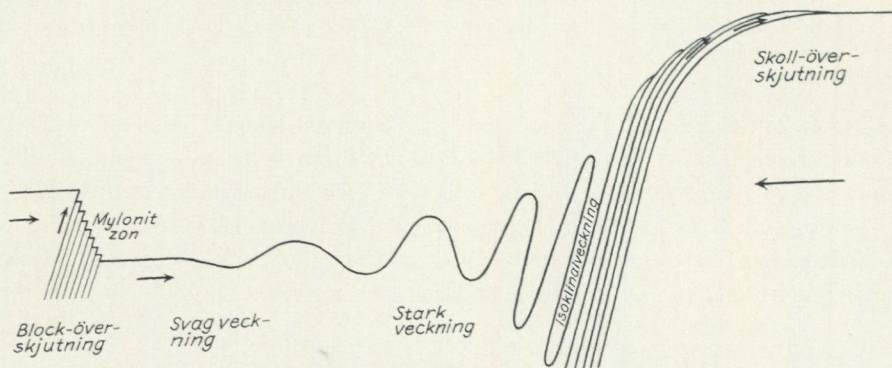


Bild 8a. Sammanpressning av berggrundsavsnitt genom sidotryck. P H Lundegårdh del, E Björk cop 1962.

Fig. 8a. Lateral compression of bedrock. From left to right: thrust zone with development of mylonite, weak folding, strong folding, isoclinal folding, and overthrusts.

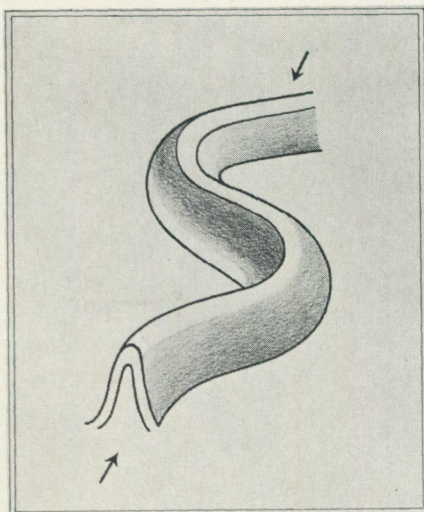


Bild 8b. Längsgående sammanpressning av ursprungligen rak veckbergskedja (ty Schlingenbau). P H Lundegårdh del, E Björk cop 1962.

Fig. 8b. Longitudinal compression of originally straight fault zone (German: Schlingenbau).



Bild 9. Veckning av lagrade bergarter. Kambrosilurisk kalksten vid järnvägen väster om Lappgrubban, Lockne socken, Jämtlands län. Foto P H Lundegårdh 1961.

Fig. 9. Folding of Cambro-Silurian limestone. Eastern margin of the Caledonian range in central Sweden.



Bild 10. Veck i svenska urbergets äldsta ytbergarter. Söder intill Eskilstuna. Foto P H Lundegårdh 1957.

Fig. 10. Folding of old Archean supracrustal rocks. Near Eskilstuna, WSW of Stockholm.

flesta grönstenar, bl a gabbro. De senare har olika hållfasthet och vanligen olika utseende i olika riktningar. Exempel är gnejs och skiffer, av vilka särskilt den senare låter sig spjälkas till skivor.

Mestadels är bergarter icke fullständigt isotropa. Även graniter har *klåv*, osynliga svaghetsytor längs vilka bergarten kan klyvas med större eller mindre grad av lätthet. Klåven är sinsemellan parallella men bildar två eller tre system av ytor, vilka vanligen korsar varandra under nära nog räta vinklar. Klåven har i flertalet fall bildats samtidigt med bergarterna de förekommer i, genom tryck som skivigheten vid lerans övergång till lerskiffer, genom avsvälning och kristallisation under tryck som spaltbarheten till lådformade block (bild 2) i stelnad magma, t ex granit, genom avsvälning enbart som pelarförklyftningen (bild 4) i stelnad lava, t ex basalt.

I många fall har dock latent svaghetsytor uppkommit långt efter bergarternas bildning på grund av att betydande tryck från viss bestämd riktning varit i verksamhet. Genom temperatur- och tryckförändringar har de latent klåven sedermera öppnats till synliga sprickor, *slag*. Tryckförändringarna kan bestå i antingen



Bild 11. Planförskifring av ögongranit. Norra Ledskär i Värö socken, Hallands län. Foto P H Lundegårdh 1950.

Fig. 11. Planar schistosity in augen granite. The skerries of southwestern Sweden.

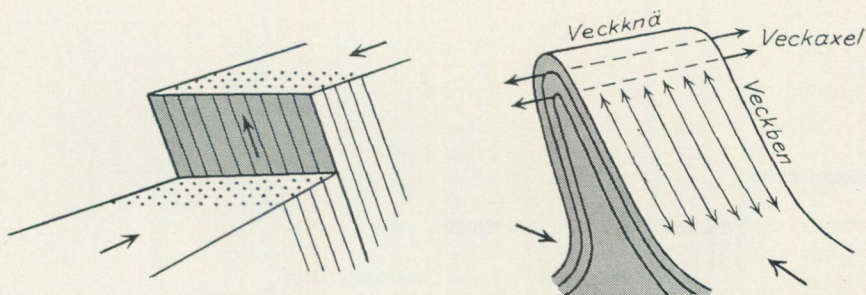


Bild 12. Olika sätt för bildning av linjärstruktur eller stänglighet, till vänster genom överskjutning, till höger genom veckning. I förra fallet uppstår stänglighet parallellt med överskjutningsriktningen, i senare fallet längs veckaxeln och längs veckbenen. I samtliga fall är orsaken en samtidig omkristallisation och sträckning av mineralkornen, till vänster längs pilen i gråa planet, till höger längs dubbelpilarna. P H Lundegårdh del, E Björk cop 1962.

Fig. 12. Development of linear structure, or lineation: to the left parallel to the direction of a thrust, to the right parallel to the axis of a fold and along the direction of material transport in a leg of a fold (along the arrows marked with the word 'Veckben').

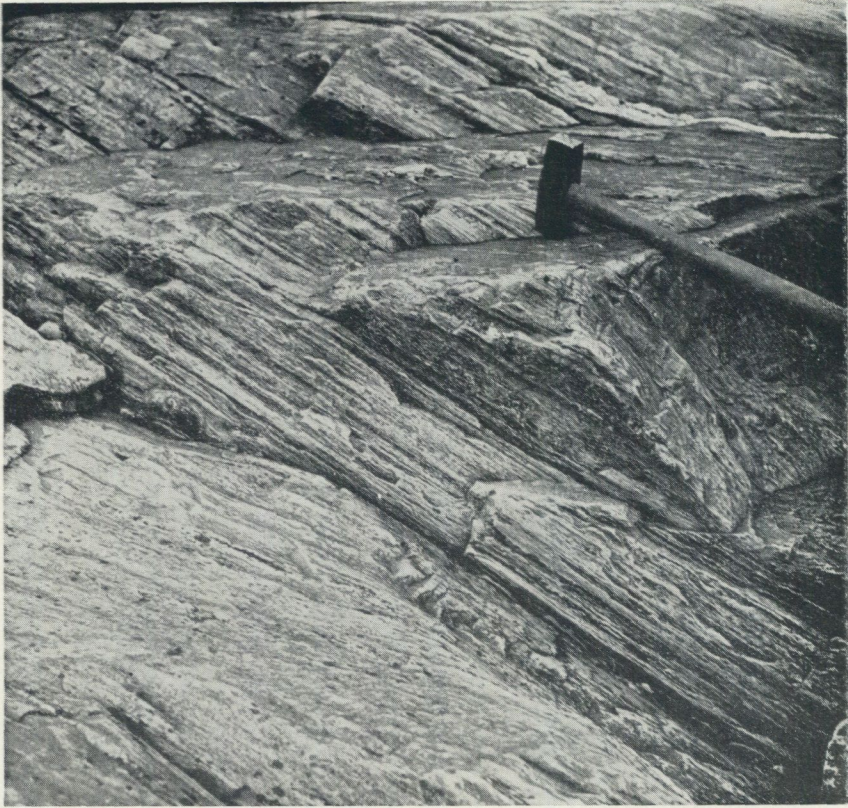


Bild 13. Stänglighet i tättkornig gnejs ur det äldsta svenska urberget. Norrsundet, Hamrånge socken, Gävleborgs län. Foto P H Lundegårdh 1955.

Fig. 13. Lineation in very fine-grained old Archean supra-crustal gneiss. Eastern central Sweden.

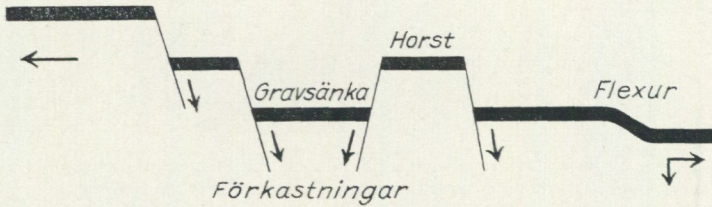


Bild 14. Tjänjnings- eller sträckningseffekter i berggrunden. Från vänster till höger förkastning, insänkning av ribba i berggrunden (gravsänka), sänkning av berggrundspartier kring kvarstående rygg (horst) samt ensidigt (monoklint) veck, s k flexur. P H Lundegårdh del, E Björk cop 1962.

Fig. 14. Faulting and, to the right, monoclinical folding resulting from tension.

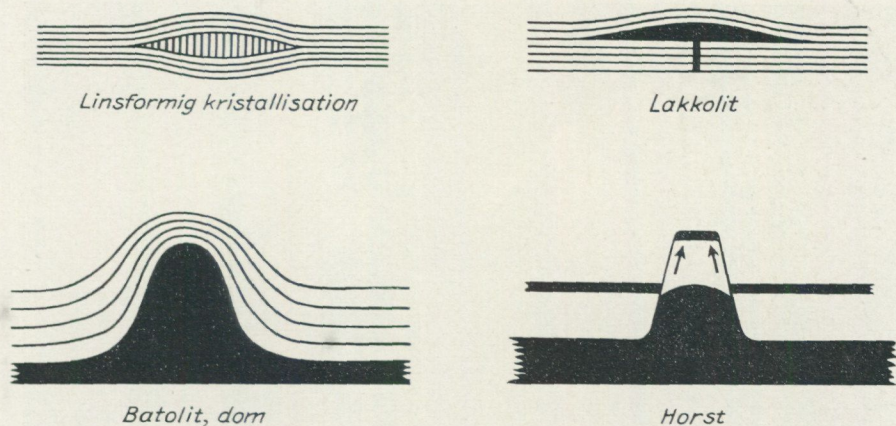


Bild 15. Isärpressning eller lyftning av jordskorpan genom tillförsel från sidan eller underifrån av lösningar eller smältor. P H Lundegårdh del, E Björk cop 1962.

Fig. 15. Uplifts in the crust caused by crystallizing solutions or magmas laterally or vertically intruded.

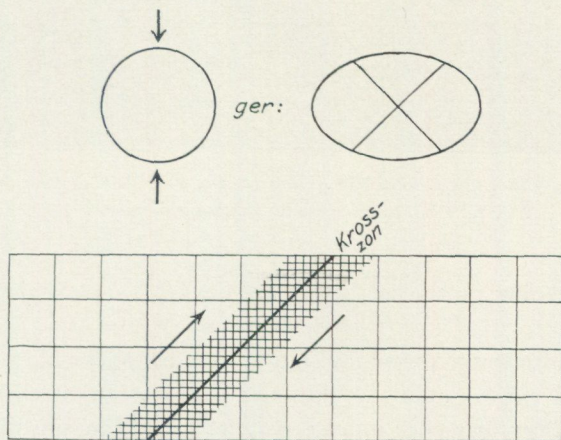


Bild 16. Upp till visas bildning av sprickor genom tryck och mottryck, som strävar att platta ut en tänkt cirkulär sektion i ett berggrundsavsnitt till en elliptisk. Detta är den vanligaste formen av sprickbildningar, även exemplifierad av diagrammet i bild 6.

Nertill ser man vad som inträffar, när ett spänningstillstånd uppkommer, som strävar att utlösa en i förhållande till befintliga klåv snett överskärande rörelse. Spänningen söker vrida klåven, så att de kan tjäna som glidplan vid rörelsen. Genom denna rotationstendens öppnas klåv till slag i så stor omfattning, att bergarten blir tättsprickig och småningom krossas till småbitar. Härigenom minskar friktionskoefficienten hos bergartsmaterialet så mycket, att en överskärande rörelse kan äga rum (längs den tjocka diagonallinjen i bilden). Småbitarna krossas under rörelsen delvis till grus, sand och pulver (jfr bild 20). P H Lundegårdh del, E Björk cop 1962.

Fig. 16. Upper part: joints resulting from flattening. Lower part: development of shear zone.



Bild 17. Förkastningsytor i gnejs. Gamleby, Kalmar län. Foto P H Lundegårdh 1961. ©

Fig. 17. Fault planes in gneiss. Southeastern Sweden.

ökning eller minskning av tryckets styrka men också i omställning av dess riktning.

De vanligaste sprickorna korsar icke blott varandra under nära nog räta vinklar (bilderna 2, 5 och 6) utan står dessutom antingen brant eller ligger flackt. En del sprickor löper mer eller mindre parallellt med längsutsträckningarna av flertalet mineralkorn i bergarten och kallas fördenskull *längsslag*. I stenbrott används termen *stående slag*. Andra branta sprickor övertvårar längsslagen och kallas följaktligen *tvärs slag*. De kan kännas borstigt sträva, när man tar på dem, därför att många långsträckta mineralkristaller i bergarten ligger orienterade nära nog vinkelrätt mot dem och bildar små upphöjningar. Särskilt i stenbrott benämns de av detta skäl även *borstslag*.

Mot de stående slagen och tvärslagen svarar de latenta klyvbarhetsplanen *ståklyv* och *tvär- eller borstkläv*.



Bild 18. Tättförlklyftning i kvartssit orsakad av tendens till vridning av klåven. Gamleby
Foto P H Lundegårdh 1961. ©

Fig. 18. Strong jointing in quartzite resulting from rotation. Southeastern Sweden.

De sprickor, som ligger flackt, kallas *bottenslag*. De motsvarande osynliga klyvytorna benämns *bottenklåv* eller *svall*. När ovanpåliggande berg undanskaffats, t ex i stenbrott, bildar dessa ytor *pallar* (bilderna 2 och 7). Har man en hel serie av regelbundet återkommande bottenslag från ytan av ett berg och nedåt, talar man om *bankning* (bild 7). Bankningen i den svenska berggrunden anses delvis bero på inlandsisens tryck och på spänningsutlösningar orsakade av den efter smältningen inträffade tryckavlastningen.

Utöver de sprickor, som nu nämnts, finns *snedslag*, som är någorlunda regelbundna, och *vildslag*, som är helt oregelbundna.

I bergarter, som kännetecknas av att flertalet mineral Korn ligger utbredda i sinsemellan parallella plan, dvs skiffrar och gnejser, har sprickorna utbildats

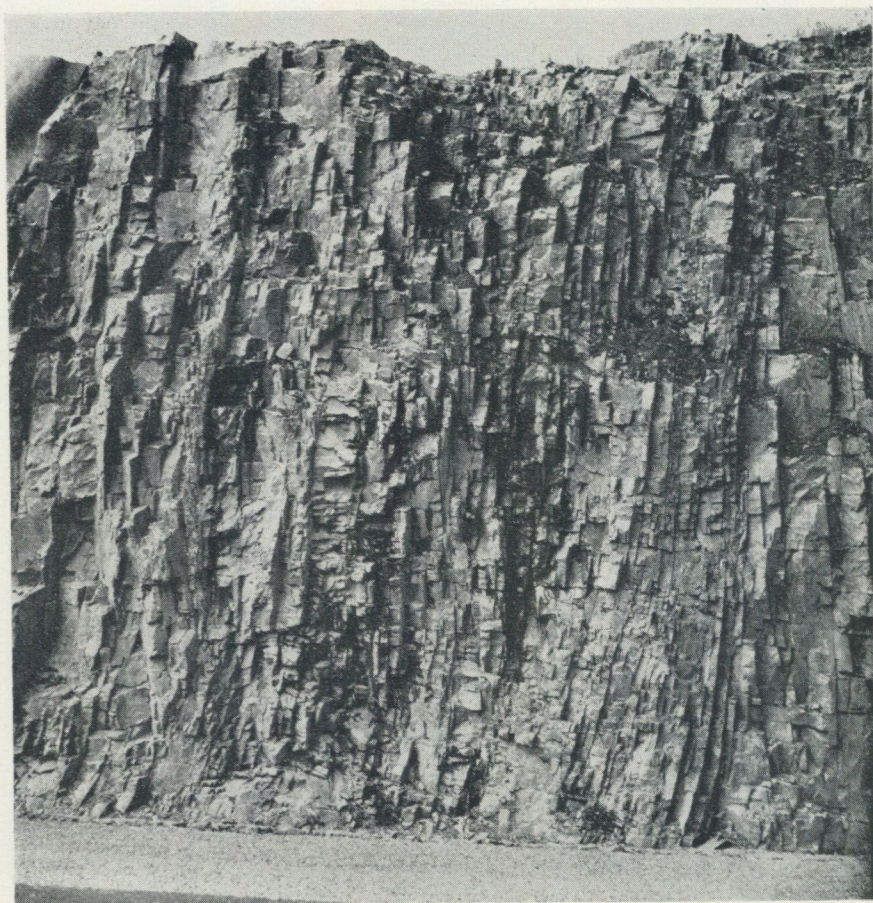


Bild 19. Glidplan längs stående slag genom tättförklyftad kvartsit. Gamleby. Foto P H Lundegårdh 1961. ©

Fig. 19. Longitudinal fault planes through quartzite broken up into small pieces by rotation. Southeastern Sweden.

bäst och förekommer talrikast längs dessa plan. Rikedom på skiv- och bladformigt kristalliserade mineral, t ex glimmer och lermineral, ger den tydligaste skiffrigheten, tätare ju finkornigare bergarten är. Därför spjälkas lerskiffer tunnare och bättre än glimmerskiffer, och glimmerskiffer tunnare och bättre än glimmergnejs.

Delar av jordskorpan trycks tid efter annan samman i sidled. Närmast jordytan uppstår då till en början vad man kallar *komprensionsprickor* (bild 16, övre delen), men längre ned, där temperaturen är hög och bergarterna mjuka av hettan, kan sprickor icke bildas.

Vid fortsatt tryck sker en starkare förkortning i sidled av det drabbade om-

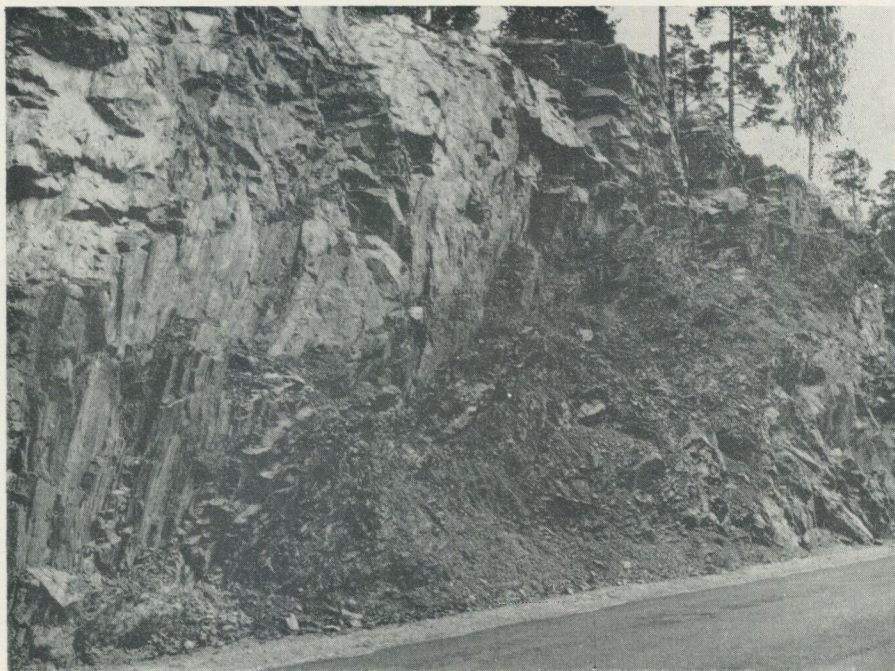


Bild 20. Krosszon genom gnejs. 2 km SSÖ om Ärla kyrka, vid landsvägen Eskilstuna—Malmköping. Foto P H Lundegårdh 1955.

Fig. 20. Shear zone through gneiss. SSE of Eskilstuna, WSW of Stockholm.

rådet, dels genom *veckning* (bilderna 8, 9, 10 och 12), dels genom *överskjutningar* (bilderna 8 och 12). Veckningen medför att bergarterna bryts sönder i den mån de icke kan anpassa sig plastiskt till de nya förhållandena. Ju djupare i jordskorpan en veckning sträcker sig, desto mjukare och plastiskt mera formbara blir bergarterna. Som redan nämnts, beror detta på den höga temperaturen. Därför får man på mera betydande djup ingen storveckning utan i stället en småveckning, som oftast är förbunden med partiell upplösning eller uppsmältning av de veckade bergarterna (bild 34, s 34).

Starkt sammanveckade bergarter får vanligen ett skiffrigt eller gnejsigt utseende längs med vecken. När veckens båda skänklar blivit sinsemellan parallella (bild 8), kan veckningen inte fortsätta längre. Ytterligare sammanpressning medför då att det ena vecket skjuts över det andra, det sker en överskjutning. Det överskjutna vecket benämns *skolla* (skålla).

Överskjutningar kan också äga rum utan föregående veckning genom att en skiva eller ett block i berggrunden längs svaghetsytor drivs upp över angränsande bergmassor (bilderna 8 och 12).

I båda fallen sker en kraftig gnuggning invid rörelseplanen. Mestadels består överskjutningar av rörelser längs en hel packe av sinsemellan parallella svaghetsytor (bild 8), och gnuggningen får därigenom stor omfattning även i sid-



Bild 21. Kloritsköl genom gnejs. 2 1/2 km SSÖ om Årila kyrka, vid landsvägen Eskilstuna—Malmköping. Foto P H Lundegårdh 1957.

Fig. 21. Chlorite sköl in gneiss. SSE of Eskilstuna, WSW of Stockholm.

led. Vid lättare gnuggning uppstår *deformationsgnejser* (bild 11), vid kraftigare *myloniter*. Genom gnuggningen alstras friktionsvärme och höjs följaktligen temperaturen så avsevärt, att zoner av krossade men icke söndermalda mineral kristalliserar till gnejser med nybildade, väl sammanfogade korn, liksom zoner av pulvermalda mineral kittas eller växer ihop till hårda, flintliknande myloniter. De senare har samma hårdhet som porfyr och kvartsit.

Lösningar kan också tränga fram genom zoner av krossade bergarter och delvis eller helt förändra dessa. Fältspat kan t ex ersättas med kvarts, och ur en gnejs kan på så sätt en kvartsit bildas.

Verkningarna av överskjutningarna har ofta sträckt sig långt på sidorna om rörelseplanen. Genom det kraftiga riktade trycket i förening med uppvärmningen av berggrunden har där skett en omkristallisation till gnejsiga bergarter. En mycket stor del av de svenska gnejserna utgörs av på detta sätt förskiffrade graniter, som kallas *gnejsgraniter* (bild 31, s 31). I gnejsgraniterna kan överskjutningsriktningarna fortfarande bestämmas genom att de gett upphov till en lineär



Bild 22. Gång av omvandlad diabas (amfibolit) genom granit. NÖ om Tomta, Vaddö socken, Stockholms län. Foto P H Lundegårdh 1953.

Fig. 22. Dike of diabase (amphibolite) in granite. Eastern Uppland, eastern Sweden.

sträckning av mineralkornen som kallas *stänglighet* (bilderna 12 och 13). Sträckningen kan iaktas långt utanför de egentliga överskjutningsplanen och framträder bäst hos stavformigt kristalliserade mineral, i vanliga bergarter huvudsakligen hornblände (bild 13).

Sträckning sker också längs med axlarna i veck, dvs längs med veckens omböjningar eller *knän* (bild 12). I veck kan dessutom iaktas en stänglighet, som uppkommer genom att bergartsmaterial glider från veckens flata delar, deras *ben*, till knäna (bild 12). I de senare blir härigenom berglagren så småningom tjockare.

När jordskorpan tänjs eller sträcks, uppstår först så k *tensionssprickor*. Sedermera inträffar *förkastningar* (bild 14). Medan överskjutningar i allmänhet löses ut längs packar av sinsemellan parallella plan med varierande lutning, sker förkastningar vanligen längs ett eller några få, vertikala eller brant lutande plan.



Bild 23. Gång av granit genom gnejs. Väster om Uddevalla. Foto P H Lundegårdh 1954.
 Fig. 23. Gneiss cut by dike of granite. Near Uddevalla at the Swedish West Coast.

I plastiska bergarter utlöses sällan mindre förkastningar som rörelser längs plan utan böjs i stället berglagren till *flexurer* (bild 14). På grund av tänjning i samband med böjningen uttunnas dock lagren; de minskar med andra ord i tjocklek i de böjda partierna.

Böjningar av plastiska berglager inträffar även, när lokala volymutvidgningar äger rum under lagren, så som visas i bild 15. Utvidgningen kan betingas antingen av kristallisationer mellan skikt, som härigenom pressas isär, eller genom att smältor (magma) eller lösningar tränger upp ur djupet. Stöter det stigande materialet på oböjliga bergarter, utlöses rörelser längs svaghetsytor på samma sätt som sker vid överskjutningar och förkastningar (bild 15).

Rörelser i berggrunden sker icke alltid längs förefintliga bottenklåvs-, ståklåvs- eller borstklåvsytor. Spänningstillstånd kan uppkomma, som leder till bildning av diagonala svaghetsytor eller svaghetszoner. Längs dessa kan rörelser sedermera utlösas (bilderna 16 och 20).

I varje bergart med någorlunda kornsammanhållning skapar ett i förhållande till klåvytorna snett anbragt tryck en tendens till rotation av varje enskild klåvyta. Bergarten utsätts för *skjuvning* och klåvytor öppnas härigenom i onormalt stor omfattning till slag; bergarten blir tättförklyftad¹ (bilderna 16, nederst, och 18). Ändras tryckets riktning, kan normala glidrörelser sedermera

¹ Utsätts en bergart med dålig kornsammanhållning för sådan påverkan, som nu beskrivits, faller den snabbt sönder till jord.



Bild 24. Bandgnejs (gnejs med tunna, sinsemellan parallella skivor av mörk kiselsyrafattig bergart). Öppna sprickor finns ofta mellan de ljusa och mörka lagren. Furuvik, Valbo socken, Gävleborgs län. Foto P H Lundegårdh 1957. ©

Fig. 24. Banded gneiss (gneiss with thin conformable sheets of dark basic rock). The gneiss shows longitudinal jointing. Eastern central Sweden.

utlösas längs något av sprickplanen, t ex de stående slagen (bild 19). Fortfar trycket att verka snett i förhållande till slagens orientering, krossas bergarten däremot mer eller mindre kraftigt, varvid en *krosszon* bildas (bild 20). Krossningsgraden beror bl a på storleken av vinkeln mellan tryckriktningen och de förefintliga sprickplanen.

Bergarternas grad av homogenitet

Bergarternas strukturella växlingar har behandlats i det föregående. Variationer i mineralfördelning, färg och kornstorlek är många gånger väl så iögon-



Bild 25. Diabasgång, som vid vägbreddning sprängts sönder i småskut till följd av tät förklyftning. Grindstugan, Husby-Rekarne socken, Södermanlands län. Foto P H Lundegårdh 1957.

Fig. 25. Strongly jointed diabase (dolerite) dike blasted into small pieces. SW of Eskilstuna, WSW of Stockholm.

fallande men har långt mindre betydelse för tunneldrivningar och bergbrumsut-sprängningar. Allmänt gäller den regeln, att blott lagerformigt utbredda inhomogeniteter i mera betydande grad nedsätter hållfastheten. Dessa inhomogeniteter utgörs dels av liggande, lutande eller brantstående skivor av en bergart i en annan, dels av regelbundet omväxlande, sinsemellan parallella lager av olika färg och sammansättning inom en och samma bergart.

Skivorna kan bestå av magma, som trängt upp längs sprickor i berggrunden och stelnat. Sådana skivor kallas *eruptivgångar* (bilderna 22, 23, 31, 40 och 42). Skivorna kan också utgöras av mineral, som kristalliserat ur lösningar, t ex kalkspat. Man talar då om *mineralgångar*. I vissa fall kan vittringsprodukter ha rasat eller av vatten förts ner i sprickor i berggrunden och där hårdnat till berg-art. Ett exempel på detta är *sandstensgångar*.



Bild 26. Inneslutning av tättsprickig kvartsit i sprickfattig granit. Den sprickrika bergarten är här armerad genom den omgivande, sprickfattiga, graniten. Lysingsbadet, Västervik. Foto P H Lundegårdh 1959.

Fig. 26. Cracked quartzite enclosed in granite poor in joints. Southeastern Sweden.

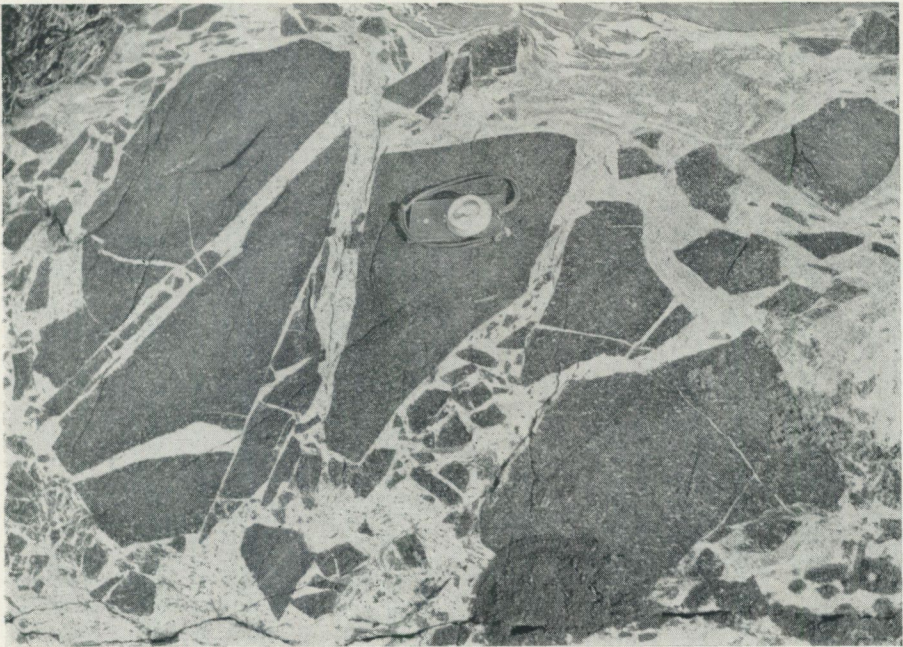


Bild 27. Bitar av sönderbruten grönsten (gabbro) i surt silikatmaterial. Det synnerligen inhomogena berget, som kallas breccia, har helt läkts vid det sura silikatmaterialens kristallisation och är därför påfallande sprickfattigt. Trakten av Särö, Släps socken, Hallands län, Foto P H Lundegårdh 1951.

Fig. 27. Breccia of gabbro in mobilized gneiss. The latter rock has penetrated the former along its joints and acts as a natural cement. Therefore the whole rock is now very poor in joints. South of Gothenburg.



Bild 28. Veckad bandgnejs (jfr bild 24). De öppna sprickorna följer de ljusa och mörka skikten och vrider därför så att de blir ganska ofarliga ur bergsäkerhetssynpunkt. Furuvik, Valbo socken, Gävleborgs län. Foto P H Lundegårdh 1957. ©

Fig. 28. Folded banded gneiss. (Compare Fig. 24.) The joints run parallel to the winding gneiss structure and are therefore not dangerous. Eastern central Sweden.

Oftast torde dock skivor i berggrunden ha uppstått genom att ett bergartsbildande material, vulkaniskt eller sedimentärt, lagrats på ett annat och därefter i sin tur överlagrats, antingen av samma slags material som i underlaget eller av något annat. Detta skeende har i de flesta fall upprepats så att man fått en *växellagring*, vilken kunnat bevaras som en svaghet även sedan materialet hårdnat till bergart och kristalliserat om till gnejs (bild 24).

Sprickor bildas lätt på båda sidor om skivor i berggrunden (bilderna 22—24). Hållfastheten i berget nedsätts därvid starkt genom att sprickorna vanligen är *uthålliga*, dvs har minst samma längs- och breddutsträckning som skivorna. Dessutom kan bergarten i skivorna vara så tätt genomkorsad av klåv eller slag,



Bild 29. Svart kambrosilurskiffer med överskärande spricksystem, som armerats av kvarts kristalliserad ur lösningar. Järpströmmens kraftstation, Undersåkers socken, Jämtlands län. Foto P H Lundegårdh 1953. ©

Fig. 29. Black Early Palaeozoic slate with shearing joints cemented by late quartz. Eastern margin of the Caledonian range in central Scandinavia.

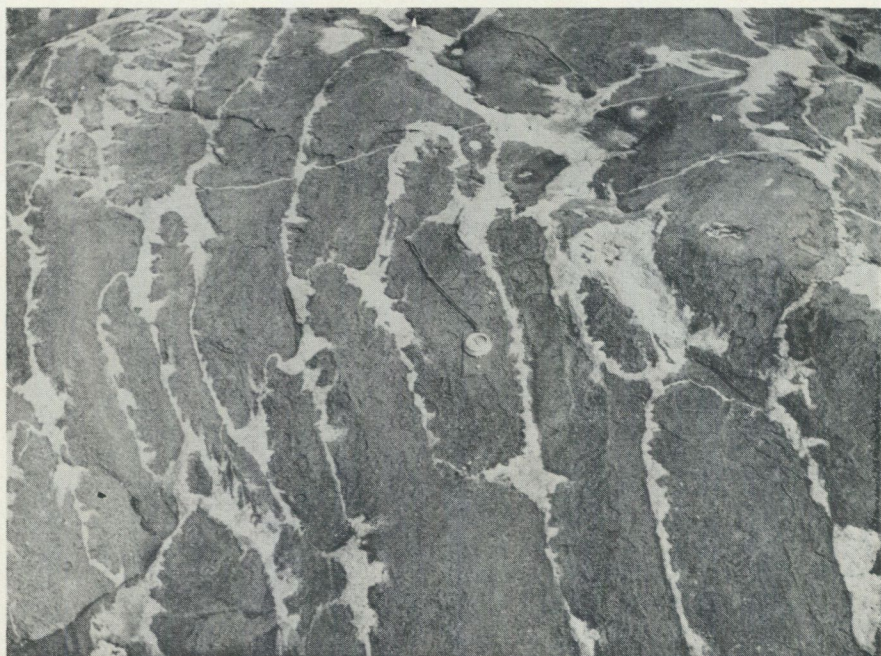


Bild 30. Svart kiselsyrafattig bergart (amfibolit) med oregelbundna sprickor, som armerats av surt silikatmaterial. Trakten av Särö, Släps socken, Hallands län. Foto P H Lundegårdh 1951.

Fig. 30. Amphibolite with irregular joints cemented by feldspar and quartz. South of Gothenburg.

att den faller sönder i småbitar vid stötpåverkan (bild 25). Man känner också fall, där hela materialet i skivan omvandlats till lera (Alnögångarna i östligaste Medelpad, se s 60) eller lösts ut och förts bort (kalkspatgångar som undergått bikarbonatbildning).

Längs en del skivformade inhomogeniteter i berggrunden har rörelser ägt rum. Dessa svaghetszoner kallas *skölar*. Bergarten i dem har mestadels omvandlats till mineral, som kristalliserat bladformigt utmed rörelseplanen. Det vanligaste skölmineralet är klorit, men bl a *grafit* förekommer också. De grafitförande skölarne visar den lägsta friktionskoefficienten. Kommer vatten in i sådana skölar, kan de rinna som gröt.

Skölar finns i vårt land rikligast kring järnmalmer, som gränsar mot urkalksten eller dolomit och kemiskt reagerat med dessa karbonatbergarter under bildning av vad man kallar *skarn* (en mörk massa av järn-, kalcium- och magnesiumrika silikatmineral). Dessutom förekommer ofta skölar i glimmerrika ådernejser och i grönstenar. I många fall har skölar bildats ur krosszoner (se ovan), särskilt skjuvade diabasgångar, genom omvandling av den krossade bergarten.

När skivformade inhomogeniteter i berggrunden, t ex skölar, krosszoner och vissa mineralgångar, spolats bort eller löses ut av rinnande vatten, uppstår öpp-



Bild 31. Pegmatitgång (kvartsfältspatfylld tvärspricka) genom förskifrad granit, längs vars skiffrihetsplan sedermera en till granit stelnad magma trängt fram (under kapsylöppnaren). Ullna, Täby socken, Stockholms län. Foto P H Lundegårdh 1958. ©

Fig. 31. Gneiss-granite with cross joint filled with pegmatite and intruded by granite along longitudinal joint. NE of Stockholm.

na sprickor i berget. I den svenska berggrundens ytligare delar har de äldre av dessa sprickor efter hand fyllts med enstaka mineral, t ex kalkspat, eller med sediment, som hårdnat till bergarter, t ex sandsten. (Se ovan.) De sprickor, som öppnats i sen tid, har också täppts igen på nytt, men här har fyllnadsgodset vanligen ännu inte hunnit hårdna till bergart utan finns kvar som jordart, oftast lera, sand eller grus. Sådana *ler-*, *sand-* eller *grusslag* kallas ofta, ehuru oegentligt, skölarna och är ur bergbyggnadssynpunkt minst lika farliga som de riktiga skölarna. Leran i lerslagen kan, när den tillförs mer vatten än den normalt innehåller, faktiskt tjäna som smörjmedel i lika hög grad som grafiten i grafitkloritskölarna.

Utöver de nu nämnda finns ännu en sorts skivformade inhomogeniteter, som särskilt bör uppmärksammas av bergbyggare. Det är de *gipsfyllda slagen*. Dessa finns i vårt land huvudsakligen i fjällkedjan. De kan i ogynnsamma fall ha samma dåliga egenskaper som grafitförande skölarna och lerslag.



Bild 32. Ådergnejs (sedimentgnejs med pegmatitådror längs gnejsigheten), upptill avklippt av intrusiv granit. 2.5 km VNV om Hammarby kyrka, Södermanlands län. Foto P H Lundegårdh 1957.

Fig. 32. Veined gneiss (sedimentary gneiss with conformable pegmatite veins) cut by granite. NNE of Eskilstuna, WSW of Stockholm.

I dåligt berg, särskilt sådant som innehåller skölar, lerslag etc, bör man utföra kontinuerliga *knäppmätningar*. Detta förfarande grundar sig på den omständigheten, att varje rörelse i berggrunden utlöser ett knäppande ljud, som kan registreras instrumentellt. Ju fler knäppningar som registreras på tidsenheten, desto större är rasrisken och desto snabbare måste åtgärder vidtas.

Skivor kan likaväl som större partier av en bergart brytas sönder genom rörelser men sedan fixeras på nytt genom att mineral eller bergarter kristalliserar mellan bitarna. På detta sätt kan sprickrika bergarter delas upp i många små bitar, *breccieras*, och därefter bindas av uppträngande och kristalliserande silikatsmälta, så att de icke längre blir farliga vid bergarbeten (bilderna 26 och 27). Skivor kan också veckas och sprickplanen kring dem därigenom böjas så starkt, att de blir mindre farliga (bild 28). Slutligen kan lösningar av bergartsbildande material längs tvär-, sned- eller vildslag tränga in i en skiva eller annat parti av fast bergart och efter kristallisation armera den försvagade bergarten på samma sätt som artificiellt sker vid injektering med lösningar av kalkcement eller plastemulsion jämte härdare (bilderna 29 och 30).



Bild 33. Kambrosilurisk lerskiffer (tunnelns väggar) täckt av diabas (lagergång = tunnelns tak). Billingen SV om Skövde. Foto P H Lundegårdh 1962. ©

Fig. 33. Early Palaeozoic shale (tunnel walls) covered with dolerite sill (tunnel roof). Mt. Billingen, southwestern Sweden.

Strukturellt anisotropa bergarter av typerna gnejsgranit och skiffer kan armeras av gångar eller breccierande intrusioner av magma eller lösningar (bilderna 29 och 31), likaväl som inhomogena bergarter av typen ådergnejs kan bindas på samma sätt (bild 32).

Ursprungligen plant skiktade eller skiffriga och utmed skikt- eller skiffrighetsplanen tättsprickiga, lösa bergarter, t ex lerskiffer (bild 33), kan genom partiell upplösning och fullständig omkristallisation förvandlas till sprickfattiga, fasta gnejser. Genom plastisk deformation har strukturplanen i dessa gnejser ofta kommit att vindla, särskilt i ådergnejserna (bild 34), vilka därför trots sin inhomogenitet är våra bästa bergrumsbergarter (bilderna 35 och 36). Vad som nu



Bild 34. Ådergnejs (pegmatitådrad sedimentgnejs). Oslofjorden. Foto P H Lundegårdh 1958. ©

Fig. 34. Veined gneiss (sedimentary gneiss with conformable pegmatite veins). Oslo fjord, Norway.

sagts är ett bevis så gott som något för att inhomogeniteter i och för sig icke utgör hinder för en bergarts lämplighet för underjordssprängningar. Tvärtom gör inhomogeniteter i många fall berget starkare, binder samman det. Man skall därför vid bergrums- och tunnelprojekteringar icke i första hand låta sig vägledas av bergarternas utseende utan av frekvensen och orienteringen av deras strukturer.

Sveriges berggrund

Berggrunden i Sverige (plansch 1) hör till största delen till *urberget* i jord-skorpan. Urberget är mer än 900 miljoner år gammalt, och dess äldsta bergarter räknar åldrar något högre än $3\frac{1}{2}$ miljarder år. I Sverige ligger ålderssiffrorna mellan 900 och 2000 miljoner år. De har bestämts på radioaktiv väg, genom mätningar av sönderfallet av vissa i mineralen inneslutna grundämnen (kalium, rubidium, thorium, uran).

Äldst i urberget är en del vulkaniska och sedimentära bergarter, vilka blivit mer eller mindre starkt omvandlade, oftast till gnejser, samt graniter. De senare har liksom gnejserna en mycket stor utbredning. Vulkaniterna utgörs av sura hälleflintor och leptiter samt basiska porfyriter och amfiboliter, sedimentbergar-



Bild 35. Förskärningen till avloppstunnelns nerströmsände (berggrund: ådergnejs och grå granit) Stornorrfors kraftstation mellan Vännäs och Umeå. Foto P H Lundegårdh 1958. ©

Fig. 35. Lower entrance of outlet tunnel (solid rocks: veined gneiss and gray granite) from E. Stornorrfor's power plant W of Umeå in northern Sweden.

terna av leptiter, kalksten, dolomit, kvartsiter, konglomerat, gråvackor och skifferar. Bland de genom omvandling bildade gnejserna dominerar rödlätta och grå varianter, flertalet sliriga eller ådrade av grov fältspat och kvarts. Mest lämpade för bergrum är vid lika typ och grad av tektonisering de grå ådergnejserna. Här har spännvidder på upp till 25 m kunnat uttas med bultning som enda form av förstärkning (exempel: Stenungsunds ångkraftverk). Man får dock räkna med att skölar kan uppträda.

Även andra av de nämnda bergarterna kan lämpa sig väl för bergrumsutspärning. Sålunda finns i kalkstenen vid Strå intill Sala ett brytrum, som mäter 30×50 m i horisontalplanet och är maximalt 16 m högt. Täckningen är ung 75 m. Kalkstenen utgör en grovkristallin marmor.

Graniterna är dels förskiffrade: gnejsgraniter, dels massformiga: egentliga gra-



Bild 36. Avloppstufnelns nerströmsände sedd inifrån. (Jfr bild 35.) Stornorrfors kraftstation.
Foto P H Lundegårdh 1958. ©

Fig. 36. Lower entrance of outlet tunnel from W. (Compare Fig. 35.) Stornorrfors power plant.

niter. I gnejsgraniterna är stänglighet (s 15) den vanliga sorten av skiffrighet, men planförskiffring iakttas också allmänt, även om den mestadels är svagare utbildad. Grova kalifältspatögon har stor utbredning i graniterna, som då ofta ger smällberg (s 58) efter skjutning. Fältspatrika ögongraniter grusvittrar lokalt, t ex Jämtlands Rätangranit, men i allmänhet är ögongraniterna bra ur berggrums-synpunkt.

Allmänt gäller för de äldre gnejserna och graniterna i det svenska urberget, att kraftigt röda typer lämpar sig sämre för berggrumsändamål än rödgrå och grå. De är ofta sprickrikare och innehåller lösa rösig partier i större utsträckning än de grå typerna.

De bergarter som nu i korthet behandlats har vid radioaktivitetsmätningar givit åldrar mellan 1600 och 2000 miljoner år. De sträcker sig från östra Värm-



Bild 37. Sprickfattig glacialslipad hällyta av granit. Lunsen nära Bergsbrunna, Danmarks socken, Uppsala län. Foto P H Lundegårdh 1954.

Fig. 37. Granite poor in joints and polished by glacial erosion. S of Uppsala.

land, södra Närke och södra Östergötland till nordligaste delen av vårt land. I öster dyker de ner under Bottenhavet och Bottniska viken, i väster gränsar de mot yngre urberg och mot fjällkedjan med dess randbildningar. (Se plansch 1.)

Gnejser och graniter av yngre ålder bygger tillsammans med olika slag av ytligt bildade bergarter upp det allra mesta av södra och västra Sverige från Blekinge och mellersta Skåne till norra Härjedalen. Bland ytbergarterna, som i vissa områden har stor utbredning (främst östra Småland, norra Dalarna samt Härjedalen), märks porfyryter och porfyriter, diabas, kvartsiter, sandsten och skifferar. Två åldersgrupper kan särskiljas, en äldre som omfattar huvuddelen av de uppräknade bergarterna och sträcker sig från 1200 till drygt 1500 miljoner år bakåt i tiden, samt en yngre som består av Bohusläns granit (Bohusgraniten) och ytbergarterna i ett stråk från mellersta Dalsland till sydvästra Värm-



a

Bild 38. Brant av granit med kapp av frostsprängda och nedrasade block (talus). Mellan Storuman och Stensele, Stensele socken, Västerbottens län. Foto P H Lundegårdh 1953.
Båda bilderna (a och b) ©

Fig. 38. Granite with talus. Eastern central Lappland, northern Sweden.

land (kvartsit, skiffer, omvandlad basalt) och täcker perioden mellan 900 och 1100 miljoner år. Genom påverkan av den hetta, som stigit ur jordinret i samband med Bohusgranitens bildning, har en stor del av gnejserna i Sydväst-sverige föryngrats. De visar nu åldrar kring 1 miljard år utan att därför ha bildats så sent.

För berggrum lämpar sig ögongraniterna och en stor del av gnejserna bäst. De finkorniga graniterna är ofta sämre än de grövre.

Fjällkedjan härstammar från tiden mellan 350 och 620 miljoner år tillbaka och omfattar ett stort antal yt- och djupbergarter. Dessa har icke blott blivit starkt tektoniserade utan även i stora kakor skjutits över varandra från väster till nordväst mot öster till sydöst. Kakorna kallas skällor (skällor; jfr s 21), och bergarterna i skällornas bottnar har mestadels krossats helt, dvs mylonitomvandlats. Genom att tektoniseringen varit så stark dominerar nu skifferar av olika slag bland fjällkedjans bergarter. Fjällkedjan vittrade ner starkt efter sin bildning men höj-



b

des på nytt för blott ett femtiotal miljoner år sedan. Härigenom försvagades en del av dess bergarter ytterligare.

Bergsrumarbeten i fjällkedjan ställer stora krav på både planering och utförande. Förstärkningskostnaderna blir vanligen betydande.

Inom och vid östra kanten av fjällkedjan, särskilt i Jämtland, finns liksom i stora delar av södra Sverige unga sedimentbergarter, mest kalksten och skiffrar men även sandsten. Öland och Gotland byggs helt upp av sådana bergarter, och i Skåne har de mycket stor utbredning. De förekommer dessutom i Öster- och Västergötland samt i Närke och Dalarna. Huvudparten är vad man kallar kambrosilurisk och har en bildningstid, som ligger mellan 400 och 600 miljoner år tillbaka.

Dessa sedimentbergarter är ganska lösa, men bergrum har dock kunnat anläggas i dem, t ex vid Ranstad i kanten av Billingen (bild 50, s 55).

Det finns även unga magma- och lavabergarter i Sverige. Mest känd är Väs-

tergötlands platådiabas, som lagerformigt täcker kambrosiluriska sedimentbergarter på bl a Halle- och Hunneberg samt Billingen och Mösseberg (bild 4, s 9).

Lokalisering och orientering av berganläggningar

A. ANLÄGGNINGAR MED MÖJLIGHET TILL FRITT VAL

När man har möjlighet att välja plats för ett bergrum eller sträckning av en tunnel, undviker man om möjligt bruten terräng. Regelbunden brutenhet av typen långa dalstråk gränsande mot bergribbor betingas av ihållande sprick- eller krosszoner med skivor av bättre berg emellan. Oregelbunden brutenhet återspeglar snabba strukturväxlingar, ofta i förening med variationer i berggrundens sammansättning och med utpräglad småsprickighet i någon eller några bergarterna. I Bohuslän, t ex, skiljer man lätt de mjukt rundade granitbergen med deras regelbundna, långa dalstråk från det taggigt oregelbundna, trasiga gnejslandskapet, som är genombrutet både av längre raka och smärre vindlande dalar.

De bästa bergrums- och tunnelbergen kännetecknas vanligen av jämna, lugna ytor med ringa sprickfrekvens (bild 37) Sämre är sådana berg, där bergarten genom sin rikedom på sprickor i branterna spjälkats ut och rasat ner i väldiga massor (*talus*; bild 38), sämst de berg vilka helt sprängts sönder genom utlösning av tektoniska spänningar (bild 39).

I flera fall kan tätt men oregelbundet sönderspruckna berg, även sådana med gångar av en bergart i en annan, äga en pusselartad sammanhållning (bilderna 40 och 41 b), som gör dem fullt användbara för anläggning av bergrum och tunnlar. Man får dock vara på sin vakt, eftersom även regelbundna slag kan uppträda i sådana berg (bild 41 a). Å andra sidan kan berg under jämna hjässor visa hög frekvens av bottenslag, vilka redan i kombination med ganska få vertikala eller brant lutande slag kan skapa rasrisker.

Längsutsträckningen av bergrum och tunnlar bestäms av sprickornas orientering. Har man två tämligen brant stående eller vertikala spricksystem som korsar varandra, väljer man till längsutsträckning en av bissektoriserna till korsningsvinkeln. Finns bara ett system av sådana sprickor, kan det vara lämpligast att gå fram vinkelrätt mot sprickorna. Man måste emellertid dessförinnan ha förvärvat sig om, att icke latent tvär- eller borstkläv finns, som kan komma att löpa parallellt med längsutsträckningen av den projekterade anläggningen. Vid sprängning öppnas nämligen latent klyvytor lätt till sprickor.

Även i berg, som ser bra ut på ytan, kan man på djupet stöta på svagheter, t ex krosszoner och främmande bergarter, som bildar skivor eller gångar avgränsande från sin omgivning genom öppna sprickor (bild 42). Vill man gardera sig mot sådana överraskningar, företar man lämpligen en eller flera diamantbergborringar. Härvid bör beaktas, att ett medelbrant lutande sk *gradhål* ger upplysning om beskaffenheten inom ett större parti av berget än ett



Bild 39. Sprickrik zon genom gnejsgranit. Ursviken, Skelleftehamn, Västerbottens län. Foto P H Lundegårdh 1953. ©

Fig. 39. Shear zone in gneiss-granite. Near Skellefteå, northeastern Sweden.

vertikalt hål. Numera kan kärnor upptagna ur gradhål orienteras, så att man vet vilken längshalva som pekar uppåt. Härigenom har man möjlighet att åtminstone tillnärmelsevis bestämma lutningsvinkeln av raka svaghetszoner och sprickytor med hjälp av en enda borrhning. Däremot räcker en sådan undersökning oftast icke till för bestämning av läge och omfång av oregelbundna svagheter, t ex sprickrika inneslutningar av en bergart i en annan (bild 26, s 27) eller lokala sprickrika partier inom en och samma bergart (*kalvar*; bild 43).

Har man att göra med jordtäckt berggrund, undersöker man först bergytans läge medelst provborrningar eller seismiskt med utnyttjande av detonationsstöt-vågors olika hastigheter i olika material, lägst i torvjord, svallgrus och isälvsgrus ovanför grundvattenytan (< 700 m/sek), högst i sprickfattiga silikatbergarter av magmatiskt ursprung (>5 000 m/sek; se tabell 5, s 66). De seismiska undersökningarna ger även besked om bergets beskaffenhet — ju högre grad av homogenitet desto snabbare stöt-vågshastighet. Påträffade svagheter uppborras med diamantbergborrmaskin enligt ovan. Viktiga upplysningar ger även ett systematiskt studium av moränblockens storlek i isrörelseriktningen bort från det aktuella området. Ju större moränblock, desto lägre sprickfrekvens i berggrunden.

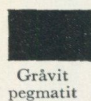
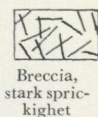
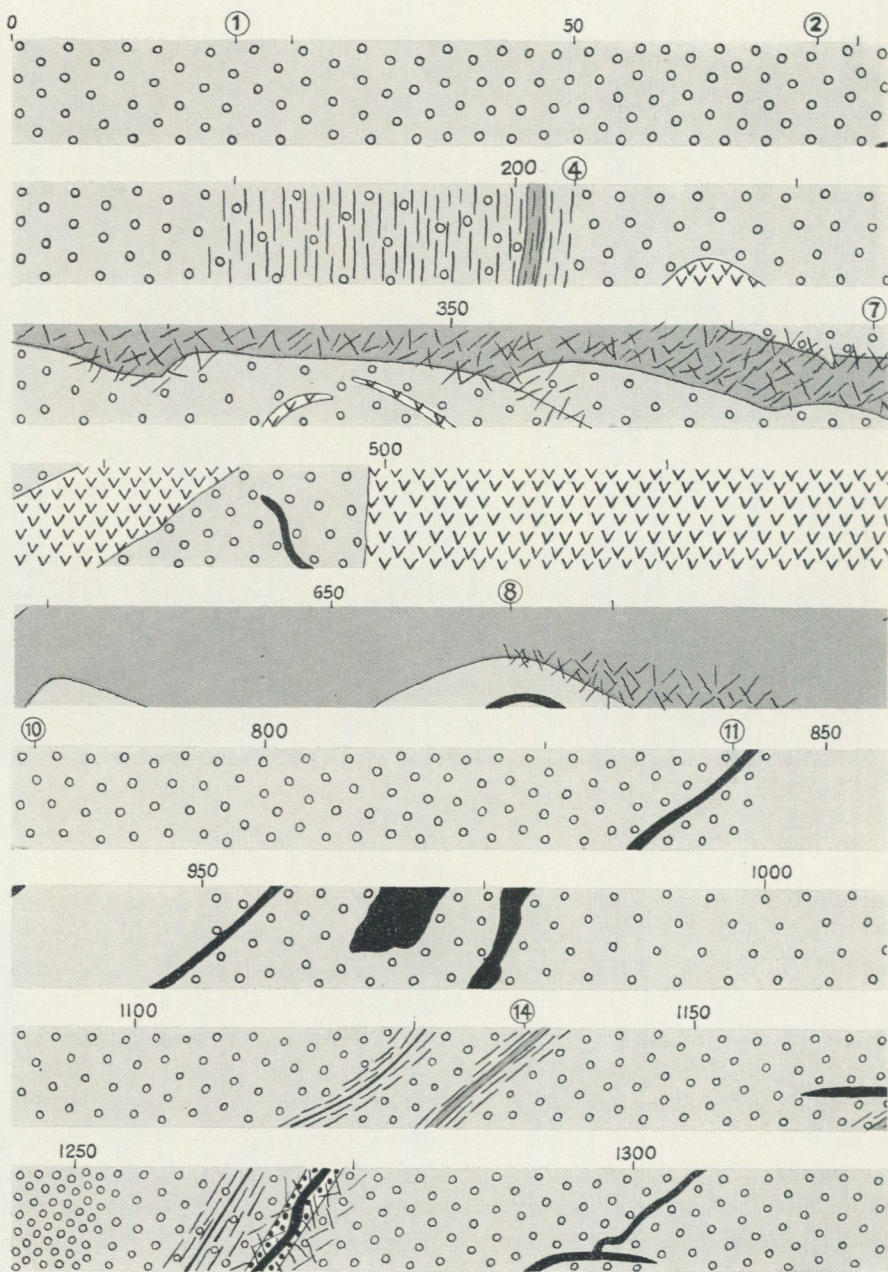
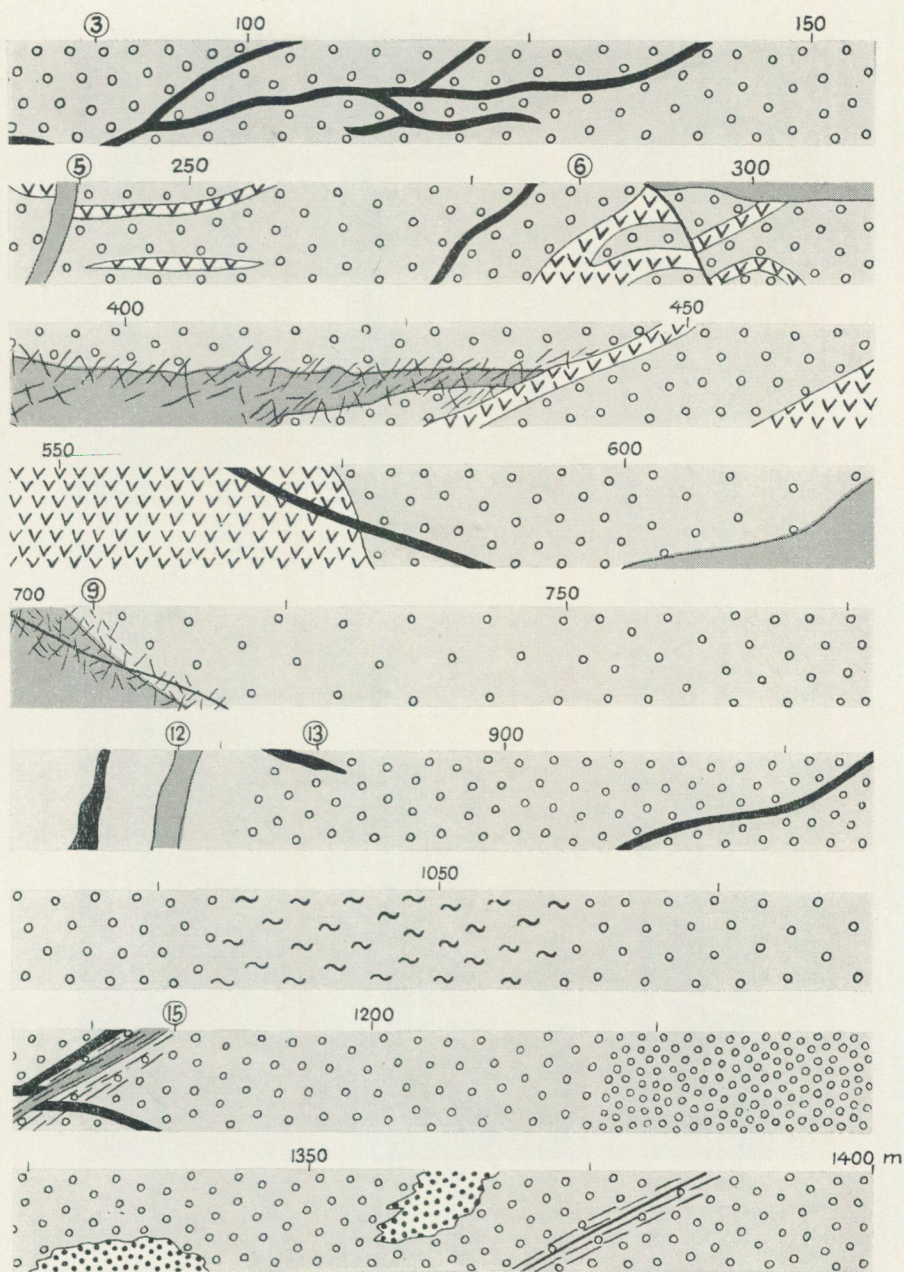



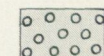
Bild 40. Profil längs sydöstra väggen av avloppstunneln (bild 52) från Parteboda kraftstation öster intill Änge, Västernorrlands län. Kartering av ERIK ÅHMAN. (Från P H Lundegårdh, SGU, ser C, nr 582, 1962.) Den flackt liggande, lätt veckade diabasen har trots sin delvis starka småsprickighet icke nödvändiggjort några gjutningar.



Erik Åhman 1960


Grå granit


Grå ådergnejs


Grå gnejsgranit med kalifältspatögon


Amfibolit


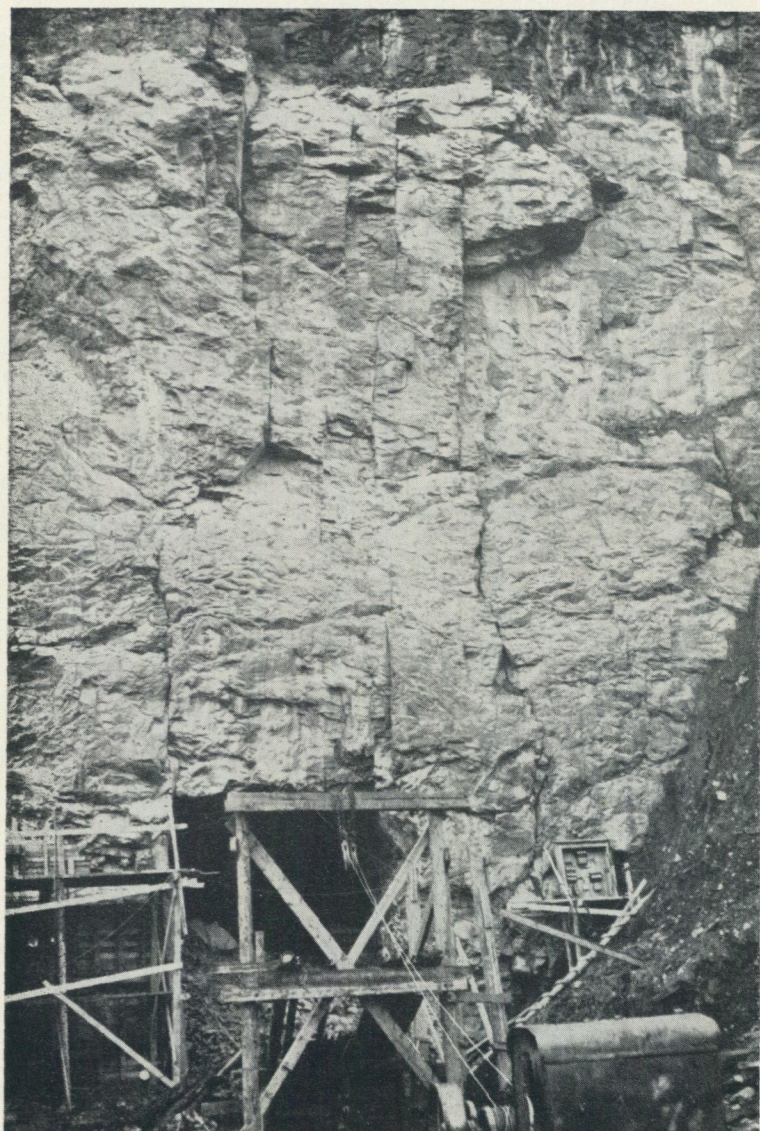

Grå gnejsgranit och gnejs

Fig. 40. Profile along the SE wall of the outlet tunnel (Fig. 52) of the Parteboda power plant near Ånge in central Sweden. Mapping by E. ÅHMAN. (From P. H. Lundegårdh, Geol. Survey publ. ser. C, no 582, 1962.) Even the strongly jointed parts (= 'stark sprickighet' in the legend) of the dolerite (= 'diabas' in the legend) have not required other strengthening than bolts.



a

Bild 41. Förskarning i porfyr tektoniskt överskjuten från väster, Östbergets östbrant, Frösön, Jämtlands län. Ruta a visar genomgående vertikalslag, ruta b porfyrens pusselartade småförklyftning. Foto P H Lundegårdh 1954. ©

Fig. 41. Cutting through overthrust porphyry at Östersund in western central Sweden. Photo a shows vertical fissures, photo b detail of the intense puzzle jointing.



b

Ingångsorter till bergrum bör liksom tunnelmynningar om möjligt påbörjas på sådana ställen, att man snabbt får en tjocklek av taket, en *täckning*, som gör förstärkningar i form av betongbågar onödiga i de fall, då bergarten har god sammanhållning (jfr bild 43). Man räknar i normal gnejs och granit med, att täckningen skall vara 50 % större än ortens eller tunnelns bredd, vilken senare vanligen kallas dess *spännvidd*. Önskas *skydd* mot detonationer från moderna stridsbomber, måste dock kraven på täckning sättas flera gånger högre än vad som ovan angetts. (Se vidare s 60—61.)

B. ANLÄGGNINGAR UTAN MÖJLIGHET TILL FRITT VAL

De flesta berg har sämre beskaffenhet i ytan än mot djupet, och många berg sluttar sakta ner mot omgivningarna. Oftast kan man därför icke spränga en ort eller tunnel direkt in i ett berg. Man måste skjuta bort en del ytberg först och på så vis åstadkomma antingen en ny, konstgjord, brant bergvägg (bilderna 41 och 45) eller en passage med väggar av berg men utan tak (bilderna 35, 36 och 44). Man får anläggva vad som kallas en *förskränning*.

Längst in i denna förskränning gör man ett *påslag*. Av kostnadshänsyn och av praktiska skäl (öppna passager kan bl a lätt snöa igen) driver man mestadels icke förskränningen så långt, att man vid påslaget genast får en ur säkerhetssynpunkt tillräcklig bergtäckning. Man får vanligen ej heller så sprickfattigt berg i påslaget, att taket håller utan förstärkningar. Särskilt gäller detta, när man går in

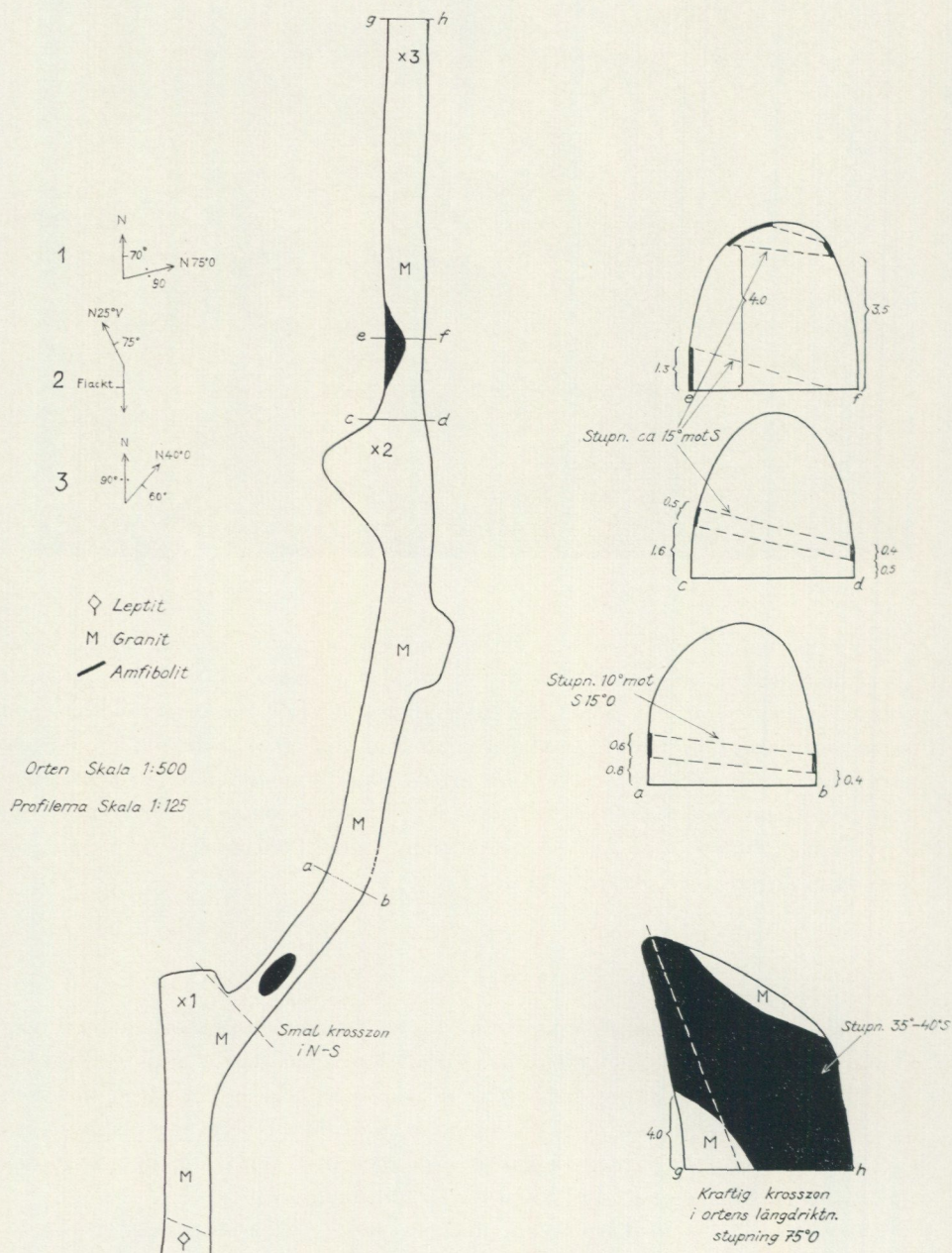


Bild 42. Tunnel genom granit (och något leptit) med gångar av amfibolit (omvandlad diabas).
Mätningar av sprickplan redovisas i bildens vänstra del. Nordvästra delen av Örebro län.
Kartering av JAN LUNDQVIST.

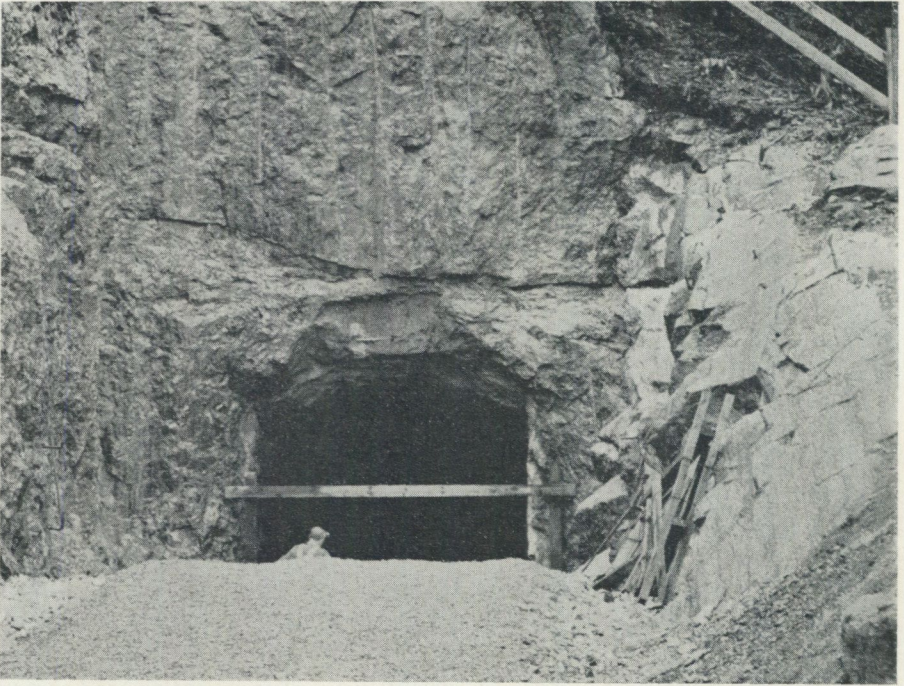
Fig. 42. Tunnel in granite (and some leptite) with amphibolite dikes. NW of Örebro, southern central Sweden.
Mapping by J. LUNDQVIST.

i berg med bottenslag (bilderna 46 och 47) eller mycket sprickrika zoner (bild 48). Ofta blir man i sådana fall tvungen att snarast möjligt förstärka provisoriskt medelst *stämpling* (stämpling). Grundtanken i detta förfarande är, att man med relativt enkla och billiga träkonstruktioner förhindrar det svaga berget att sätta sig i rörelse (bild 49), innan man hinner borra hål och bergförankra¹ ('bulta') eller gjuta stödvalv.

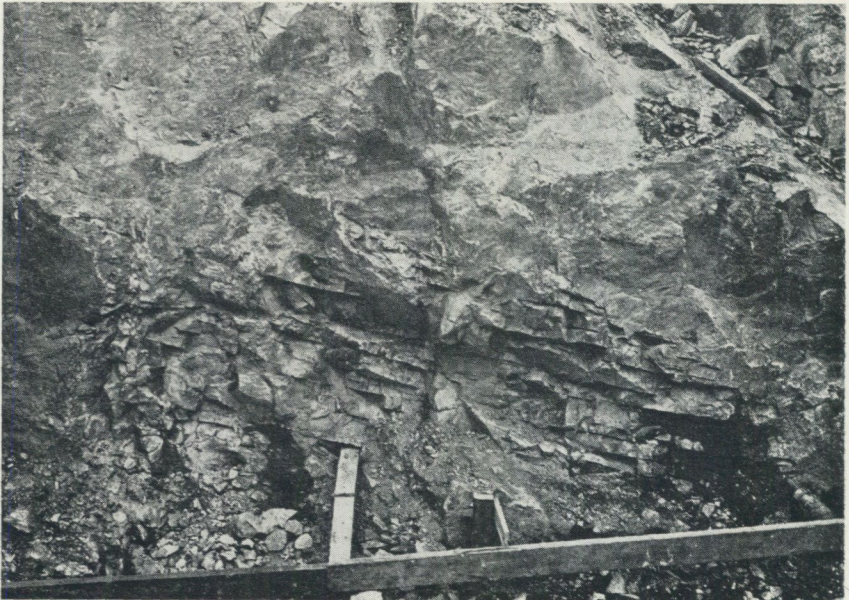
Är ett berg dåligt ur hållfasthetssynpunkt, bör man eftersträva runda tvärprofiler, särskilt när det gäller rum och tunnlar med stora areor. De vertikalställda cylinderformade bergrummen för oljelagring utgår från denna erfarenhet, i likhet med de många tunnlar med uppåt halvcirkelformiga tvärprofiler, som drivits och alltjämt drivs (bild 53). Det ideala bergrummet är sfären. Sådana rum utförs av praktiska skäl dock icke annat än ibland vid malm- och mineralbrytning. Nära sfären i hållfasthet kommer dubbelkoner samt cylindrar, som i båda ändarna är konformigt avgränsade. Stående sådana cylindrar utsprängs i vårt land för frostfri lagring av vägsand och väggrus.

Bottenslag brukar avta i frekvens ju djupare in och ner i ett berg man kommer, men många undantag finns. Framförallt gäller detta i fråga om lagrade bergarter, främst skiffer (bild 33, s. 33) och kalksten (bild 50). Dessa innehåller alltid tätt liggande bottenslag utom i de fall, då deras ursprungliga horisontella lägen ändrats genom veckning (jfr bild 9, s. 13). Även graniter hör ofta till undantagen (bild 51), liksom lagergångar av olika slags magmabergarter (bild 33). Lagergångarnas gränssytor, eller *kontakter*, mot omgivande berg kännetecknas vanligen av öppna sprickor. Mestadels får man i fall som dessa icke de välvda tak, som ur hållfasthetssynpunkt normalt eftersträvas (bilderna 52 och 53). Vanligen kompenseras man av säkerhetsskäl den uteblivna välvningen genom bultning vinkelrätt mot ett tänkt valv omedelbart ovanför det horisontella taket. Genomgående sker detta i lösa bergarter (bild 50), och i regel gängas här bultarnas ändrar, varefter taket täcks med galvaniserat nät. Detta fästes vid bultarna medelst brickor och muttrar. Sådan *nätning* företas icke blott i lösa bergarter utan varhelst risk finns för att bitar (mindre = *skärv*, större = *skut*) genom sena spänningsutlösningar skall lossna och ramla ner från taket efter det att sprängningarna avslutats. Rasrisk föreligger alltid, om berget vid slag med hammare, slägga eller spett icke klingar, icke är *klingfast*, utan hörs dovt, klanglöst, dvs är *bomt*. Men ett bergtak, som omedelbart efter utsprängningen är klingfast, kan sedermera, vanligen genom uttorkning (s. 57), bli bomt eller *bomma upp* (s. 57). Man måste därför då och då kontrollera taket och utföra *skrotning*, dvs bända loss uppblommade partier med spett.

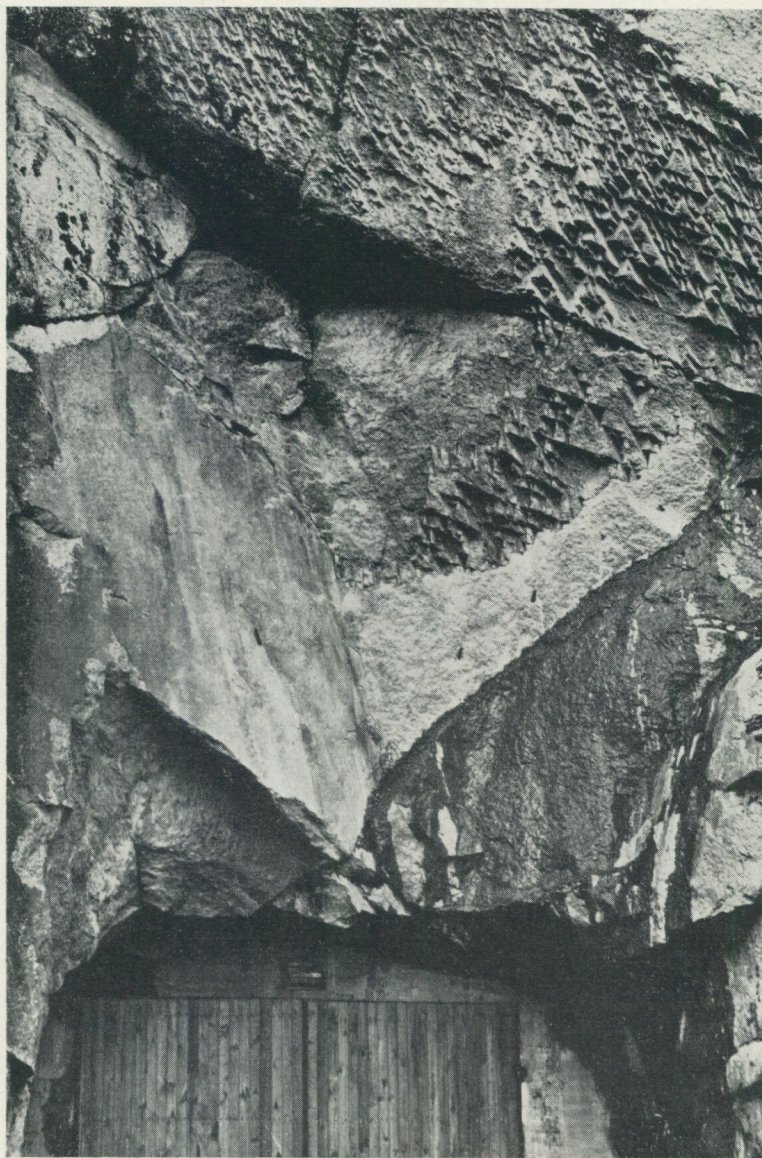
¹ *Bergförankringar* utförs i allmänhet enligt två förfaranden, antingen med på något sätt fastkilade bultar eller med cementingjutna bultar. Bultarna, som är av stål, kan i enklare fall fästas i berget medelst kil eller bättre med något slag av expanderhylsa. Bultarnas fria ände gängas, och mot bergytan ansätts en bricka med mutter. De ingjutna bultarna utgörs merendels av armeringsjärn av kamstål, och ingjutningen kan ske enligt flera olika metoder. De cementingjutna bultarna torde i permanenta bergrum ge den ur säkerhetssynpunkt bästa förankringen.



a



b



c

Bild 43. Kalvar (sprickrika partier) av småkornig granit. Ruta a visar sprickrik granit till höger i påslag till tunnel genom pegmatit, Bjurfors, Norbergs socken, Västmanlands län, foto P H Lundegårdh 1962. I ruta b ses sprickrik granit under gnejsgranit i Danderyd, Stockholms län, foto PH Lundegårdh 1962. Ruta c visar tättförklyftad aplit i syenitisk granit, 5 km NV om Ragunda kyrka, Jämtlands län, foto P H Lundegårdh 1962. ©

Fig. 43. Fine-grained granite with very strong jointing, a: situated to the right of tunnel entrance in pegmatite, b: under gneiss-granite in open cut, c: above tunnel entrance in syenite granite. Central Sweden.

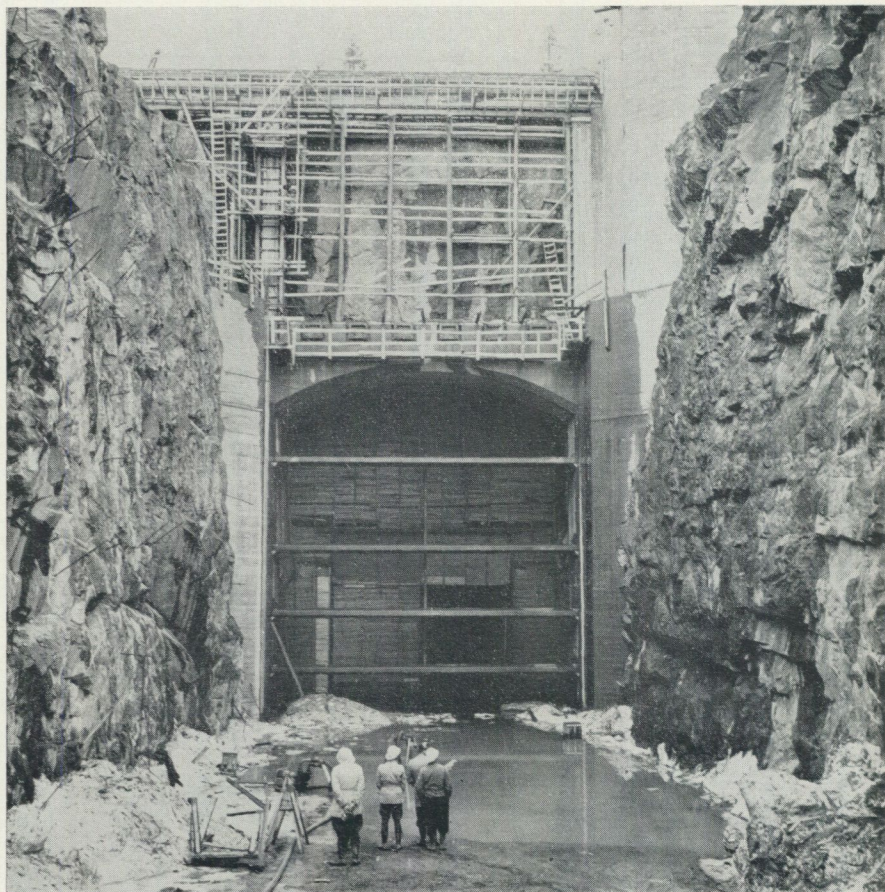


Bild 44. Förskarning till turbinintag i delvis granitomblandad grå gnejs av sedimentärt ursprung, Stornorrfors kraftstation mellan Vännäs och Umeå, Västerbottens län. Foto P H Lundegårdh 1958. ©

Fig. 44. Entrance of inlet tunnel in gray gneiss of sedimentary origin and in part granitized. Stornorrfors power plant W of Umeå in northern Sweden.

Där berget genomdras av sprickor och slag i sådan omfattning, att större ras kan komma att inträffa, kan man använda nätet som del av en förstärkning genom att bädda in det i sprutbetong. Sprutas ett nätat tak, får man ett *sprut-valv*. Detta bör vila antingen på längsgående inskärningar eller *anfang* i väggarnas överändar eller på stöd intill väggarna, lämpligen nät som dragits ner till golvet eller *sulan* och sedan sprutputsats.

Icke sällan är berget i sin helhet opålitligt. I en del fall kan täckningen vara dålig eller lokalt rent av saknas, t ex ifråga om tunnlar som korsar jordfyllda sänkor i berg. I andra fall kan lösa partier uppträda inne i berg, antingen kalvar av söndersprucken och vittrad bergart (s 41) eller helt jordfyllda svaghets-



Bild 45. Förskränning till bergrum i sprickfattig gnejs med spridda smala skivor av amfibolit. Össebygarn, Stockholms län. Foto P H Lundegårdh 1958.

Fig. 45. Tunnel entrance in massive gneiss with sparse joints and a few inlayers of amphibolite. NE of Stockholm.

zoner. Till skydd mot dålig täckning gjuter man stödande, armerade betongkonstruktioner (bilderna 54 och 55), dvs valv som vilar på vägganfang strax under taket eller på betongstöd (*pelare*) längs väggarna ner till golvet. Finns morän i vad som skall bli tak, får man före drivningen pressa in plastemulsion med härdare eller kalkcementlösning, som binder samman jordpartiklarna till en fast massa. Sedan får man i regel föra in och sammanfoga valvelement ställda



Bild 46. Bankning i gnejs med påslag. Väster om Uddevalla. Foto P H Lundegårdh 1954.
 Fig. 46. Horizontal jointing in gneiss with tunnel entrance. Near Uddevalla at the Swedish West Coast.

på pelare samtidigt som drivningen går fram genom svaghetszonen. Detta förfarande kan även användas i grus och sand, medan däremot mjäla och lera i vårt land vanligen avlägsnas före drivningen.

Kalvar och jordfyllda svagheter inne i berg kan antingen bindas genom injektering (oftast av kalkcementlösning) eller rensas ut för att därefter fyllas med betong, dvs *plomberas*. Injektering lyckas i allmänhet väl, om man före utsprängningen kunnat lokalisera svagheten och redan på detta tidiga stadium kunnat pressa in en lösning av kalkcement (*förinjektering*). Påträffar man svagheten först i samband med drivningen, rasar emellertid dess berg- eller jordartsinnehåll oftast ut helt eller delvis innan bindning medelst lösning kunnat ske. Rasmassorna måste ersättas av betong, om man icke accepterar en kvarstående lokal utbuktning från anläggningens förutbestämda profil. (I tunnel- och bergrumstak benämns sådana utbuktningar vanligen *kyrkor*.)



Bild 47. Bankning i granit med påslag. (Jfr bild 46.) Örnsköldsvik. Foto P H Lundegårdh 1954.
 Fig. 47. Horizontal jointing in granite with tunnel entrance. (Compare Fig. 46.) Örnsköldsvik, north-eastern central Sweden.

Ofta föreligger risk för att stenar skall falla ner från öppna bergväggar, i vilka påslag gjorts. Risken är särskilt stor om de jordlager, som täcker berget, icke kunnat avlägsnas. Man skyddar sig i sådana fall genom att under byggnadstiden förfoga över en skyddstunnel av trästockar, en s k *bockort* (bild 56). Denna bör dock sedermera ersättas med en betongkulvert för permanent bruk. Såväl bockorten som betongkulverten måste täckas av ett stötdämpande jordlager, vars tjocklek beror av bergväggens höjd och storleken av de skut, som kan kalva ut ur bergväggens krön. Hyllor i bergväggen bör beaktas, enär skuten där kan studsas utåt under fallet och hamna ganska långt bort från bergväggens fot. Ett mått på rasriskerna och på den minsta längd, som erfordras för yttre skyddstunnlar av nu nämnt slag, ger omfånget och djupet utifrån och inåt av rassmassorna, *talusen* (bild 38 a, s 38), vid bergbrantens fot. I många fall görs yttre



Bild 48. Granit och leptit med genomgående snedslag (t v) och dålig täckning i tunnelpåslag. Nordvästra delen av Örebro län. Foto P H Lundegårdh 1951.

Fig. 48. Granite and leptite with diagonal fissure (to the left) and thin weak tunnel roof (only entrance visible) rich in joints. NW of Örebro, southern central Sweden.

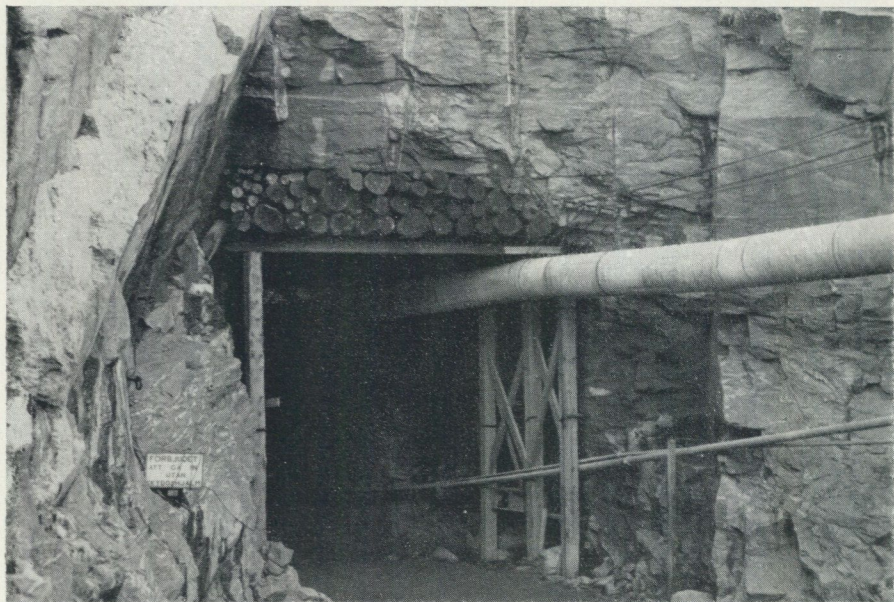


Bild 49. Ådergnejs med genomgående stående slag och snedslag, vilka i förening med sprickor längs bankning påfordrat provisoriskt ingångsskydd före gjutning av betongvalv. Från sydvästra Sveriges äldre gnejsurberg. Foto P H Lundegårdh 1954.

Fig. 49. Veined gneiss with longitudinal and diagonal fissures as well as horizontal jointing parallel to surface of bedrock. Obvious risk of roof fall. Southwestern Sweden.



Bild 50. Tättbultat horisontellt tak av kambrosilurkalksten skjuten parallellt med lagringen. Ranstad, Häggums socken, Skaraborgs län. Foto P H Lundegårdh 1962. ©

Fig. 50. Bolted roof of Cambro-Silurian limestone blasted parallel to the horizontal stratification of the rock. Southwestern end of Mt. Billingen, southwestern Sweden.

skyddstunnlar alltför korta eller slopas helt, därför att man förlitar sig på en kontinuerlig efterkontroll och skrotning av bergväggen eller icke tillräckligt beaktar de rådande vittringsgeologiska förhållandena.

Bergbeskaffenhet och bergtäckning

Allmänt har ansetts, att rum i dåligt berg kräver större bergtäckning än rum i gott berg. Detta är dock en sanning, som gäller med betydande modifikationer. Skälen härtill är följande.

Dåligt berg ger bättre vibrationsdämpning än gott. Låter man en sprängladdning detonera i en sprickfattig granit, fortplantas stötvågen 5 000 m/s eller ännu snabbare. Fyrar man av laddningen i ett trasigt och vittrat berg, leds skakningen kanske icke fortare än 2 000 m/s. Vid önskemål om viss bestämd grad av stötvägsdämpning i ett bergrum borde därför mindre täckning erfordras i dåligt berg än i gott, dock under förutsättning att taket förstärkts så att det verkligen

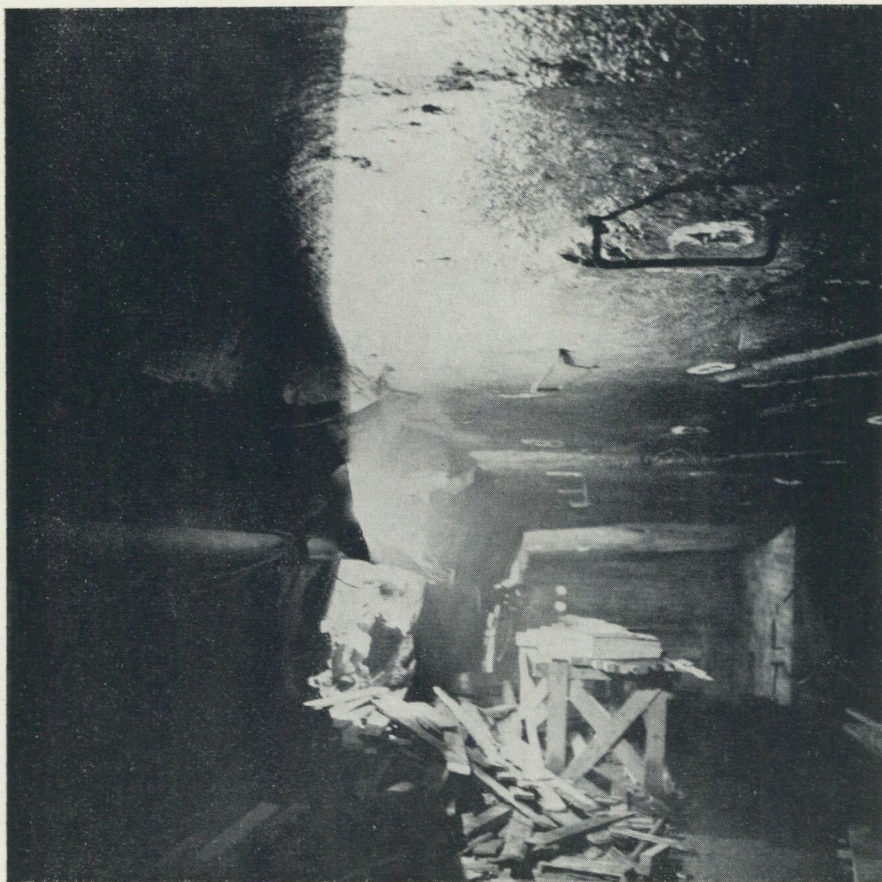


Bild 51. Horisontellt tunneltak längs bottenslag i regelbundet förklyftad granit (jfr bild 2). Den höga frekvensen av bottenslag, i flera fall t. o. m. lerfyllda, har omöjliggjort utsprängning av välvat tak. Örnsköldsvik. Foto P H Lundegårdh 1961.

Fig. 51. Tunnel roof following one of the numerous horizontal fissures of a granite characterized by regular jointing of the same type as shown in Fig. 2. Örnsköldsvik, northeastern central Sweden.

håller mot vibrationer. Exempelvis i oljelagringsrum, underjordiska telefoncentraler och vissa slag av bergverksstäder, där man vill undvika skakningar utifrån, kan berg med låg stötvågsledningshastighet med hänsyn till graden av dämpning vara att föredra framför berg med hög sådan hastighet. Detta gäller dock blott i de fall, då svårighet föreligger att få stor bergtäckning. Kostnaderna för förstärkningar av det dåliga berget blir nämligen som regel stora. I gott berg med måttlig bergrumstäckning kan för övrigt vibrationsrisken minskas genom betäckning av bergytan med stötvågsdämpande jordmassor till lämplig tjocklek. Härvid får man dock beakta, att våt jord fortplantar stötvågor långt snabbare än torr. (Se tabell 5, s 66.)

En från början god bergtäckning kan småningom reduceras icke blott genom



Bild 52. Avloppstunneln från NÖ, Parteboda kraftstation (jfr bild 40), Borgsjö socken, Väster-norrlands län. Tunnelns bredd är c:a 10 m, dess största höjd omkring 9 m och dess area vid pass 85 m². Huvudbergarter är granit och diabas. Foto P H Lundegårdh 1960. ©

Fig. 52. Interior of the outlet tunnel of the Parteboda power plant near Ånge in central Sweden. (Compare Fig. 40.) Tunnel width about 10 m, maximum height c. 9 m, area of cross section about 85 m². Main rocks are granite and dolerite. Photo from NE.

uppbomning orsakad av vibrationer utan även genom förändringar av de fysikaliska och kemiska förhållandena i berget. I de flesta berggrum sker en uttorkning från den tidpunkt då rummen tas i bruk. Särskilt om man håller normal inomhustemperatur och har luftkonditionering, blir uttorkningen av oskyddade bergspartier mycket stark och kan nå långt in i berget. Sprickor öppnas, uppbomning sker och ras kan bli följden.

Starka lufttrycksväxlingar har en effekt liknande den, som åstadkoms genom uttorkning. Vid praktiska försök, vilka inneburit evakueringar av berggrum till några få mm kvicksilvertryck, har kraftiga uppbomningar kunnat konstateras.



Bild 53. Tunnel med halvcirkulär tvärprofil genom gnejs. Från utsprängningen av garaget i Katarinaberget, Södermalm, Stockholm. Foto IC Stockholm.

Fig. 53. Tunnel with semicircular cross section in gneiss. Södermalm, Stockholm.

Om *fastskrotning* (skrotning till klingfast berg) skett efter en evakuering, har nya partier bommat upp efter nästa bortpumpning av luften i rummet.

Spänningsutlösning efter oförsiktig skjutning förekommer också, främst i graniter. Effekten blir även här en fortskridande uppbomning kombinerad med avlossning av flata tunna skut och skärv. Uppbomningarna och avlossningarna ger upphov till knäppar och smällar i berget, varav termerna *knäppberg* och *smällberg*.

En säregen form av spänningsutlösning är *grusvittringen*. Främst kännetecknar denna process den kvartsfria kalifältpatrika bergarten syenit (bild 3, s 8), men den kan även drabba grova kalifältpatrika ögongraniter. Grusvittring kan sätta in i färdigutsprängda bergrum och på några få år ge betydande uppbom-



Bild 54. Stöd gjutning mot snedslag i gnejs, där kyrka fallit ut. Väster om Uddevalla. Foto P Järnekull 1954.

Fig. 54. Support in gneiss rich in regular and diagonal joints and fissures. Near Uddevalla, western Sweden.

ningar. Processen kan i regel hejdas genom att lufttillträdet till berget förhindras. Lämplig åtgärd är påsprutning med puts eller plastemulsion.

Grusvittring är en mekanisk företeelse, som bara drabbar förbandet mellan kornen i bergarten men lämnar själva mineralen orörda. Av kemisk karaktär är däremot *levittringen*. Detta är vanligen en långsam process, som kräver närvaro av kolsyrehaltigt vatten och hög arbetstemperatur. Mest känd är den form, som kallas *kaolinisering* efter det vita lermineralet kaolin. Man kan i Sveriges berggrund iaktta kaolinisering på flera ställen, främst i nordöstra Skåne, där kaolinomvandlad granit på Ivön bryts för tillverkning av keramiska artiklar. Men även så långt norrut som i Västerbotten och Norrbotten har kaolinisering kunnat spåras, bl a i den granit och gnejs mellan Umeå och Vännäs, som inrymmer Stornorrfors kraftstation. Kaoliniseringen i Sverige ägde rum för länge sedan, när klimatet var mycket mildare än nu, och dess existens behöver därför icke inge våra bergbyggare några större farhågor. En farlig form av leromvandling är

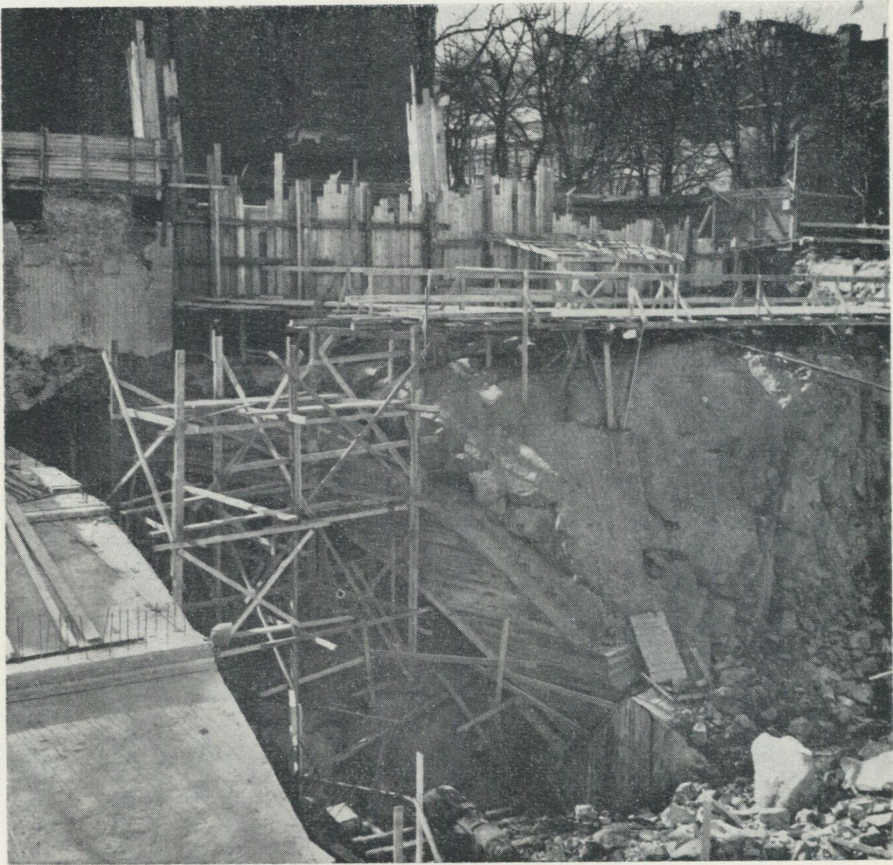


Bild 55. Valvbågar för tunnelbanan norr intill Klara kyrka i Stockholm. Bergtak saknas här delvis. Foto P H Lundegårdh 1954. ©

Fig. 55. Tunnel arches for the underground railway, Norrmalm, Stockholm.

däremot den, som vid närvaro av luft och vatten hastigt förstör vissa mörka vulkaniska gångbergarter i östligaste Medelpad, de s k *Alnögångarna*.

En annan form av kemisk vittring är *rostbildning*. Sådan sker, när föreningar mellan metaller och svavel finns närvarande. I Sveriges berggrund representeras detta slag av kemiska föreningar oftast av mineralen svavelkis och magnetkis. Särskilt i gnejser med någon halt av mineraliskt kol (grafit) rostvittrar magnetkis och svavelkis kraftigt. Risk för allvarlig försvagning av bergspartier enbart genom detta slags vittring finns dock blott i och intill sulfidmalmsfyndigheter. En låg kishalt i vanliga bergarter är oläglig endast om man önskar använda bergarterna i krossat skick vid betonggjutningar.

För bestämning av bergtäckningars tjocklek har, som redan nämnts, mycket enkla formler kommit till användning: $1\frac{1}{2} \times$ spännvidden i gott berg (normalt dock minst 5 m) och $2-3 \times$ spännvidden i sämre berg. Den höga stötvågs-



Bild 56. Bockort till skydd mot ras framför påslag till tunnel i lerskiffer under diabas. Billingen SV om Skövde. Foto P H Lundegårdh 1962. ©

Fig. 56. Top heading outside tunnel entrance erected as a protection against talus. Mt. Billingen, southwestern Sweden.

ledningshastigheten i bra berg i förening med detonationskraften hos moderna sprängprojektiler har dock lett till krav på väsentligt större bergtäckningar, t ex minst 70 m vid 12 m spännvidd. Då dessa krav i praktiken många gånger visat sig medföra avsevärda förlängningar av tillfartsorterna, har man alternativt arbetat med rum i berggrund täckt av dämpande jordlager av betydande tjocklek. 5 m morän ersätter mellan 12 och 20 m bergart av god beskaffenhet. Hänsyn har härvid tagits till moränens kornstorleksväxlingar och varierande grad av kompaktering — bottenmorän leder stötvågor avsevärt bättre än högre upp liggande morän — liksom även till variationer i vattenhalt.

Projektering av bergtrum i helt jordtäckt terräng är dock relativt tidsödande och kostnadskrävande. Där erfordras nämligen icke blott seismiska bestämningar av jorddjup och allmän bergbeskaffenhet utan även diamantbergborringar för undersökning av bergarternas sammansättning och eventuella skiktning eller skiffrihet.

LITTERATUR I URVAL

BERTHELSEN, A, se RASMUSSEN

ESPERSEN, J, se RASMUSSEN.

GRIP, E, och WIRSTAM, Å, 1949: Hållfasthet, spricksystem och ras i nordsvenska sulfidmalmsgruvor. Jernkontorets Annaler, vol 133.

HAGERMAN, TOR H, 1949: Några för sprängningsarbeten väsentliga egenskaper hos berget. Tidn för Byggnadskonst 1949, nr 8.

— och CARL-OLOF MORFELDT, 1953: Tätning av bergrum mot vatten och luft. Hagermans konsultationsbyrå, Stockholm. Medd nr 7.

— och BUSTER SUND, 1957: Oljelagringsanläggningar i berg. Hagermans konsultationsbyrå, medd nr 15.

HAST, NILS, 1958: The measurement of rock pressure in mines. Sver geol unders, ser C, nr 560.

HILLS, E S, 1953: Outlines of structural geology. Methuen & Co, Ltd, London.

KOARK, H. J. 1960: Nyare geologisk-tektoniska undersökningsmetoder vid byggnadsföretag i fast berg. Geol Fören:s i Stockholm Förhandl, bd 81, 1959.

LAHEE, FREDERIC H, 1961: Field geology. Sixth ed. Mc Graw-Hill Book Company, Inc. New York, Toronto and London.

LUNDEGÅRDH, PER H, 1961: Stenar i färg. Andra upplagan. Almqvist & Wiksell.

MAGNUSSON, NILS H, m fl, 1958—1962: Karta över Sveriges berggrund i tre blad, skala 1:1 000 000, med beskrivning. Sver geol unders, ser Ba, nr 16.

MORFELDT, C-O, 1953, se HAGERMAN.

— 1962: Berggrundens diskontinuiteter. Byggmästaren, årg 41, nr 6.

RAMBERG, HANS, 1963: Strain distribution and geometry of folds. Bull Geol Inst Uppsala, vol 42.

RASMUSSEN, H W, SØRENSEN, H, BERTHELSEN, A, ESPERSEN, J, 1961: Geologi. Andra upplagan. Gjellerups förlag, Köpenhamn.

SUND, B, se HAGERMAN.

SØRENSEN, HENNING, 1957, se RASMUSSEN.

— 1963: Vor jordklode. Munksgaards förlag, Köpenhamn.

WIRSTAM, Å, se GRIP.

ÅHMAN, ERIK, 1961: An example of deep weathering in the outlet tunnel of the Stornorrfors power plant in the river Umeälven. Bull Geol Inst Uppsala, vol 40.

Omslag: Charles Sjöblom

Text och tab. 1—3, s 5—65, © P H Lundegårdh 1963

Tabell 1. Eruptiva bergarter i Sverige
Med kursiv stil har utmärkts de namn, som vanligen används i vårt land

Genomsnittlig halt av kiselsyra, %	Djupt bildad bergart (djupbergart)	Tämligen grunt bildad bergart (hypabyssisk bergart)	Ytligt bildad bergart (ytbergart: lava eller tufflager)	Huvudmineral	Genomsnittlig spec. vikt	Färg	
						Frisk bergart	Vittrad yta
65—80	<i>Granit, pegmatit</i> ¹	<i>Granitporfyr</i> , ² <i>aplit</i>	Rhyolit, <i>kvartsporfyr</i> , <i>porfyr</i>	Kvarts, fältspat, ³ mörk och ljus glimmer	2.6—2.7	Röd, rödgrå eller grå ⁴	Röd, rödgrå, rödgråvit, gråvit eller grå
55—65	<i>Syenit</i> ⁵	<i>Syenitporfyr</i> ²	Trakyt, <i>syenitporfyr</i> , <i>porfyr</i>	Fältspat, ³ hornblände, mörk glimmer, pyroxen	2.6—2.75	Röd, rödgrå, grå eller mörkgrå till gråsvart ⁴	Röd, rödgråvit, vit eller grå, Syenit grusvittrar mycket ofta
60—65	Tonalit eller <i>kvartsdiorit</i> ⁵	<i>Porfyr</i> ⁶	Dacit, <i>porfyr</i> ⁶	Natronkalkfältspat, kvarts, mörk glimmer, hornblände	2.7—2.8	Mörkgrå eller gråsvart	Grå
55—60	<i>Diorit</i> ⁶	<i>Porfyr</i> ⁶	Andesit, <i>porfyr</i> ⁶	Natronkalkfältspat, hornblände, mörk glimmer	2.75—2.85	Gråsvart eller gröngråsvart	Grön-gråsvart
40—55	<i>Gabbro</i> ⁶	<i>Diabas</i> ⁶	<i>Basalt</i> ⁶	Kalknatronfältspat, pyroxen, hornblände, olivin, (magnetisk järnoxidmalm)	2.8—3.1	Gråsvart, svart, gröngråsvart eller grönsvart	Grönsvart eller mörkt rostbrun. Diabas och gabbro grusvittrar ibland

¹ En mycket grov granit

⁴ Porfyr kan bli gråsvart till svart

² Även kallad porfyr enbart

⁵ Kallas också granit eller, riktigare, *basisk granit*

³ Till större delen kalifältspat

⁶ Sammanfattas under namnet *grönsten*, som dock främst används för diorit, gabbro och porfyr. Diorit, gabbro och diabas benämns även *svartgranit*

Tabell 2. Sedimentära bergarter i Sverige

Bergart	Huvudmineral	Genomsnittlig spec. vikt	Färg
Sandsten	Kvarts, fältspat	2.5—2.65	Vit, grå, rödgrå, röd, rödviolett, brun, gul
Lerskiffer	Lermineral	2.1—2.3	Grå, grågrön, gråsvart
Alunskiffer	Lermineral, bitumen	2.0—2.1	Svart
Kalksten, krita	Kalkspat	2.6—2.8	Vit, grå, gröngrå, rödgrå, rödbrun

Tabell 3. Metamorfa bergarter i Sverige

Bergartsbenämning		Bergarten vanligen bildad ur	Huvudmineral	Struktur	Färg
Praktisk	Vetenskaplig				
Gnejs	Gnejsgranit	Granit, tonalit	Kvarts, fältspat, glimmer, hornblände	Plan- och/eller linjärskiffrig ¹	Röd till grå eller mörkgrå
	Amfibolitgnejs	Porfyrit	Natronkalkfältspat, hornblände, mörk glimmer, kvarts	Do	Mörkgrå eller svartgrå
Grönsten	Amfibolit	Diorit, porfyrit, gabbro, diabas, basalt	Natronkalkfältspat, hornblände	Do eller massformig	Svartgrå till svart
Leptit	Leptit, leptitgnejs	Porfyr, porfyrit, mylonit	Kvarts, fältspat, glimmer, hornblände	Do eller massformig	Röd till grå eller svartgrå
Gnejs	Röd till rödgrå gnejs och ådergnejs	Sandsten, porfyr, mylonit	Kvarts, fältspat, glimmer	Planskiffrig, ofta vindlande och slirig	Röd till rödgrå
	Granitgnejs	Sandsten, porfyr, mylonit, lerskiffer	Do	Planskiffrig, ofta vindlande	Röd till grå
Granit	Granit	Do	Do	Massformig	Do
Kvartsit	Kvartsit	Sandsten	Kvarts, fältspat	Planskiffrig eller massformig	Vit, grå, röd, rödgrå eller blå
Skiffer	Glimmerskiffer	Lersandsten, lerskiffer	Kvarts, glimmer, (fältspat)	Planskiffrig	Gråvit till gråsvart
	Grönskiffer	Diorit, porfyrit, gabbro, diabas, basalt	Klorit, epidot, natronfältspat, (kvarts)	Planskiffrig, ofta vindlande	Grön
	Fyllit	Ler- eller alunskiffer	Kvarts, glimmer, klorit, natronfältspat	Planskiffrig och småveckad	Gröngrå, grå till svart
Gnejs	Grå gnejs och ådergnejs	Ler- eller alunskiffer, mylonit	Kvarts, fältspat, glimmer, (granat)	Planskiffrig, ofta vindlande och slirig	Grå
Flinta, kvartsit	Mylonit	Granit, gnejsbergarter	Kvarts, fältspat, glimmer, klorit, epidot	Utpräglat planskiffrig	Gråröd till grå eller svartgrå
Kalksten	Marmor, urkalksten	Kalksten	Kalkspat	Lätt planskiffrig eller massformig	Vit, grå, röd, brunröd, grön

¹ Linjärskiffrig är detsamma som stänglig

Tabell 4. Mohs relativa hårdhetsskala för mineral

1	Talk (krossas av naglarna)
2	Gips (repas av naglarna)
3	Kalkspat (repas av järnspik)
4	Flusspat (repas av fönsterglas)
5	Apatit (repas av pennkniv = vanligt stål)
6	Fältspat (eg 5.5—6.5; repas av kvartsbit)
7	Kvarts (repas av fil = specialstål)
8	Topas och beryll (repas av smärgel)
9	Korund (smärgel, safir, rubin; repas endast av diamanter)
10	Diamant

Hårdheten hos några vanliga mineral, som icke nämnts i skalan, skall också ges:

1	— 2 1/2	Klorit
2	— 2 1/2	Ljus glimmer (muskovit)
2 1/2— 3		Mörk glimmer (biotit)
5	— 6	Hornblände
5	— 6 1/2	Pyroxen
6	— 7	Epidot
6 1/2— 7		Olivin

Tabell 5. Seismiska hastigheter i jord- och bergarter


EXTREMVÄRDEN EJ MEDTAGNA, EXEMPELVIS HASTIGHETER I ONORMALT
SPRICKIGA BERGARTER

Enligt AB Elektrisk Malmletning 18 feb 1963

	m/s
Sediment (grus, sand, mo, mjåla, lera) ovan grundvattenytan	300—1 100
Morån ovan grundvattenytan	400—1 300
Sand och grus under grundvattenytan	1 000—1 700
Lera under grundvattenytan	1 300—1 500
Morån under grundvattenytan	2 000—2 500
Mesozoisk skiffer (Öresund)	2 000—2 500
Mesozoisk kalksten (krita; Öresund).	2 300—2 500
Kambrosilurisk kalksten	4 200—5 000
Eokambrisk och kambrisk sandsten	3 100—3 500
Kvartsit i fjällkedjan	4 500—5 100
Dalasansten (kvartsitisk sandsten i det yngre urberget)	4 500—5 200
Gnejs	4 800—5 500
Granit	4 700—5 800
Diabas	5 500—6 500

SAKREGISTER

- Alnögång s 30, s 60
 Alunskiffer tab 2 (sid 64)
 Amfibolit bild 22 (sid 23), bild 30 (s 30), bild 40(s 43), bild 42(s 46), bild 45 (s 51),
 tab 3 (s 65)
 Amfibolitgnejs tab 3 (s 65)
 Anfang s 50
 Anisotrop bergart s 11
 Aplit bild 43 (s 49), tab 1 (s 63)
 Armering, naturlig bild 29 (s 29), bild 30 (s 30)
- Bandgnejs bild 24 (s 25), bild 28 (s 28)
 Bankning bild 7 (s 12), s 19, bild 46 (s 52), bild 47 (s 53), bild 49 (s 54)
 Basalt tab 1 (s 63)
 Basisk granit tab 1 (s 63)
 Batolit bild 15 (s 17)
 Ben (i veck) s 23
 Berg, bomt s 47
 Berg, klingfast s 47
 Bergförankring s 47
 Bergtäckning s 55
 Blocköverskjutning bild 8 a (s 12)
 Bomma upp s 47
 Bockort s 53, bild 56 (s 61)
 Bomt berg s 47
 Borstkläv s 18
 Borstslag s 18
 Bottenkläv s 19
 Bottenslag bild 2 b (s 7), bild 5 (s 10), s 19, bild 51 (s 56)
 Breccia bild 27 (s 27), bild 40 (s 42)
 Brecciera s 6, s 32
 Bult (i berg) s 47
- Deformationsgnejs s 22
 Detonationsstövåg s 41, s 55
 Diabas bild 4 (s 9), bild 5 (s 10), bild 22 (s 23), bild 25 (s 26), bild 33 (s 33),
 bild 40 (s 42), bild 42 (s 46), bild 52 (s 57), bild 56 (s 61), tab 1 (s 63)
 Diabasgång bild 25 (s 26)
 Diorit tab 1 (s 63)
 Dom (i berg) bild 15 (s 17)
- Effusiv bergart s 6
 Eruptiv bergart s 5
 Eruptivgång s 26
- Fastsprotning s 58
 Flexur bild 14 (s 16), s 24
 Flinta tab 3 (s 65)
 Fyllit tab 3 (s 65)
 Förinjektering s 52
 Förkastning bild 14 (s 16), s 23, bild 40 (s 42)
 Förkastningsyta bild 17 (s 18)
 Förklyftning bild 5 (s 10), bild 18 (s 19)
 Förskifring bild 40 (s 42)
 Förskärning bild 35 (s 35), bild 41 (s 44), s 45, bild 44 (s 50), bild 45 (s 51)
- Gabbro bild 27 (s 27), tab 1 (s 63)
 Genomgång s 11
 Gipsfyllt slag s 31
 Glidplan bild 19 (s 20)
 Glimmerskiffer tab 3 (s 65)

- Gnejs bild 7 (s 12), bild 13 (s 16), bild 17 (s 18), bild 20 (s 21), bild 21 (s 22)*
bild 23 (s 24), bild 24 (s 25), bild 40 (s 43), bild 44 (s 50), bild 45 (s 51),
bild 46 (s 52), bild 53 (s 58), bild 54 (s 59), tab 3 (s 65) 
- Gnejs, syenitisk bild 3 (s 8)
- Gnejsgranit s 22, bild 39 (s 41), bild 40 (s 43), bild 43 (s 49), tab 3 (s 65)
- Gradhål s 40
- Grafit s 30, s 60
- Granit bild 2 (s 6—7), bild 11 (s 15), bild 26 (s 27), bild 32 (s 32), bild 35 (s 35),
bild 37 (s 37), bild 38 (s 38—39), bild 40 (s 43), bild 42 (s 46),
bild 43 (s 49), bild 47 (s 53), bild 48 (s 54), bild 51 (s 56), bild 52 (s 57),
tab 1 (s 63), tab 3 (s 65)
- Granit, basisk tab 1 (s 63)
- Granit, förskiffrad bild 31 (s 31)
- Granitgång bild 23 (s 24)
- Granitporfyr tab 1 (s 63)
- Gravsänka bild 14 (s 16)
- Grusslag s 31
- Grusvittring bild 3 (s 8), s 58
- Grönskiffer tab 3 (s 65)
- Grönsten bild 27 (s 27), tab 1 (s 63), tab 3 (s 65)
- Gång (i berg) bild 22 (s 23), bild 23 (s 24), bild 25 (s 26), bild 31 (s 31), bild 40 (s 42—43),
bild 42 (s 46)
- Horst bild 14 (s 16), bild 15 (s 17)
- Hårdhet tab 4 (s 66)
- Hårdhetsskala tab 4 (s 66)
- Injektering s 51—52
- Intrusiv bergart s 6
- Isoklinalveckning bild 8 a (s 12)
- Isotrop bergart s 11
- Jetborrning s 5
- Kalksten bild 9 (s 13), bild 50 (s 55), tab 2 (s 64), tab 3 (s 65)
- Kalv (i berg) s 41, bild 43 (s 48—49)
- Kaolinisering s 59
- Kemiskt sediment s 7
- Kilhacka s 5
- Kilning s 5
- Kis s 60
- Klingfast berg s 47
- Kloritsköl bild 21 (s 22)
- Klåv s 5, bild 2 a (s 6), s 14
- Knä (i veck) s 23
- Knäppberg s 58
- Knäppmätning s 32
- Kompressionsspricka s 20
- Kontakt (i berg) s 47
- Kristallisation, lins-
formig bild 15 (s 17)
- Krita tab 2 (s 64)
- Krosszon bild 16 (s 17), bild 20 (s 21), s 25
- Kvartsdiorit tab 1 (s 63)
- Kvartsit bild 18 (s 19), bild 19 (s 20), bild 26 (s 27), tab 3 (s 65)
- Kvartsporfyr tab 1 (s 63)
- Kyrka (i bergrum) s 52, bild 54 (s 59)
- Lagergång bild 5 (s 10), bild 33 (s 33)
- Lakkolit bild 15 (s 17)
- Lava s 6, s 63
- Leptit bild 42 (s 46), bild 48 (s 54), tab 3 (s 65)
- Leptitgnejs tab 3 (s 65)
- Lerskiffer bild 33 (s 33), bild 56 (s 61), tab 2 (s 64)

Lerslag	s 31
Lervittring	s 59
Linjärstruktur	bild 12 (s 15)
Längsslag	s 18
Magma	s 6
Marmor	tab 3 (s 65)
Mejsling	s 5
Mekaniskt sediment	s 7
Metamorf bergart	s 5
Mineralgång	s 26
Mylonit	s 22, tab 3 (s 65)
Mylonitzon	bild 8 a (s 12)
Nätning	s 47
Organiskt sediment	s 7
Pall	s 19
Pallbrytning	bild 2 b (s 7)
Pegmatit	bild 40 (s 42), bild 43 (s 49), tab 1 (s 63)
Pegmatitgång	bild 31 (s 31)
Pelare (i berg)	s 51
Pelarförklyftning	bild 4 (s 9)
Planförskiffring	bild 11 (s 15)
Plombera	s 52
Pol (till sprickplan)	bild 6 (s 11)
Porfyr	bild 41 (s 44—45), tab 1 (s 63)
Porfyrnit	tab 1 (s 63)
Påslag	s 45, bild 46 (s 52), bild 47 (s 53)
Rasbrant	bild 38 (s 38—39)
Rostbildning	s 60
Sandslag	s 31
Sandsten	tab 2 (s 64)
Sandstensgång	s 26
Schakt, tillmakat	bild 1 (s 4)
<i>Schlingenbau</i>	bild 8 b (s 13)
Sedimentär bergart	s 5
Sedimentär bergart	s 5
Seismisk hastighet	s 41, s 55, tab 5 (s 66)
Skarn	s 30
Skiffer	bild 29 (s 29), bild 33 (s 33), tab 2 (s 64), tab 3 (s 65)
Skjuvning	s 24
Skolla	s 21, s 38
Skollöverskjutning	bild 8 a (s 12)
Skrot	s 5
Skrotning	s 47
Skut	s 47
Skålla, se skolla	
Skärv	s 47
Sköl	bild 21 (s 22), s 30
Slag	s 5, s 14
Slag, stående	s 18, bild 49 (s 54)
Småförklyftning	bild 41 (s 44—45)
Småskut	bild 25 (s 26)
Smällberg	s 58
Snedslag	s 19, bild 48 (s 54), bild 49 (s 54)
Sprickbildning	bild 16 (s 17)
Sprickplan, poler till	bild 6 (s 11)
Sprickzon	bild 39 (s 41)
Sprutvalv	s 50
Spännvidd	s 45
Stående slag	s 18, bild 49 (s 54)

Ståklöv	s 18
Stämpling	s 47
Stämpning	s 47
Stänglighet	bild 12 (s 15), bild 13 (s 16), s 23
Stödjutning	bild 54 (s 59)
Sula (i bergrum)	s 50
Svall (i berg)	s 19
Svartgranit	tab 1 (s 63)
Syenit	tab 1 (s 63)
Syenitisk gnejs	bild 3 (s 8)
Syenitporfyr	tab 1 (s 63)
Talus	bild 38 (s 38—39), s 40, s 53
Tensionsspricka	s 23
Tillmakat schakt	bild 1 (s 4)
Tillmakning	s 5
Tufflager	s 6, s 63
Tvärkläv	s 18
Tvärslag	s 18
Täckning	s 45, s 55
Uppbomning	s 47, s 57—58
Urberg	s 34
Urkalksten	tab 3 (s 65)
Uthållig spricka	s 28
Valvbåge	bild 55 (s 60)
Veck (i berg)	bild 10 (s 14)
Veckning	bild 8 a (s 12), bild 9 (s 13), s 21
Veckbergskedja	bild 8 b (s 13)
Vertikalslag	bild 41 (s 44—45)
Vildslag	s 19
Vittra	s 7
Vulkanrör	s 6
Växellagring	s 28
Ådergnejs	bild 32 (s 32), bild 34 (s 34), bild 35 (s 35), bild 40 (s 43), bild 49 (s 54), tab 3 (s 65)
Överskjutning	s 21, bild 8 a (s 12), bild 12 (s 15)

Map of Solid Rocks in Sweden

Legend

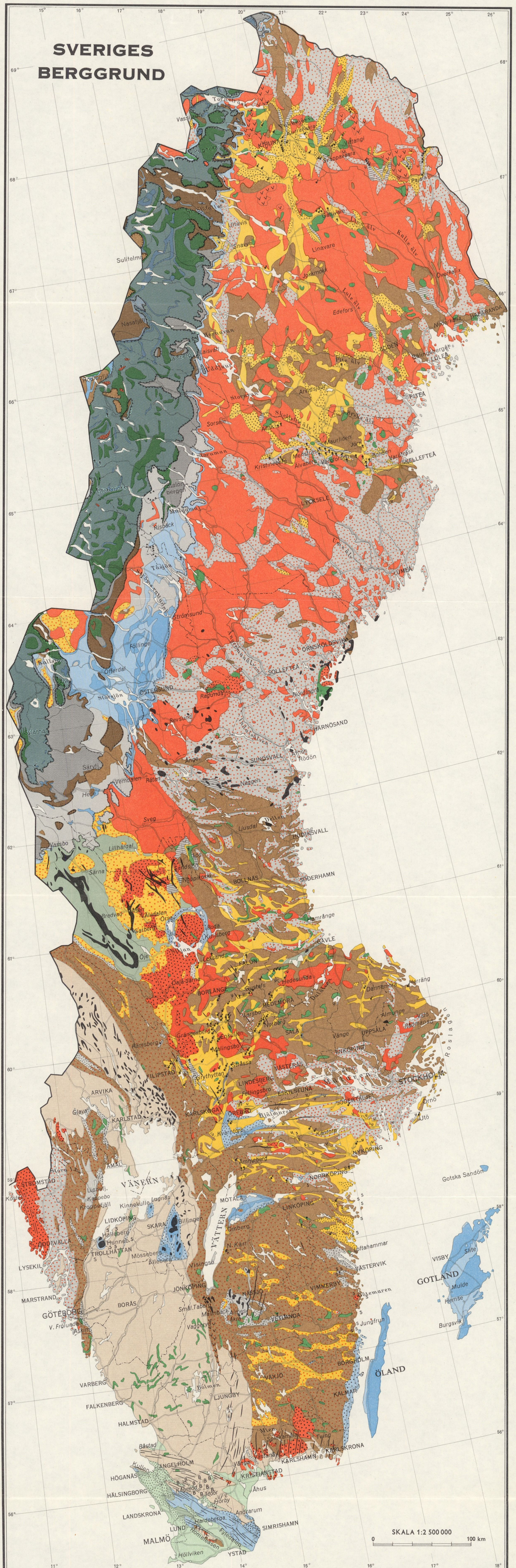
ROCKS EAST OF THE CALEDONIAN RANGE

- | | |
|---|---|
| <p>1 Cretaceous, mainly chalk</p> <p>2 Rhaetic-Liassic, chiefly sandstones and clays</p> <p>3 Keuper (sandstones and pelites)</p> <p>4 Cambro-Silurian limestones
» » pelites, mainly shales</p> <p>5 Cambrian and Silurian sandstones (joints filled with Cambrian sandstone = S)</p> <p>6 Jotnian sandstone</p> <p>7 Other sedimentary rocks in the youngest Archaean, mainly sandstones, quartzites, and slates</p> <p>8 Sedimentary rocks in the middle Archaean, mainly quartzites, in part intermingled with volcanics</p> <p>9 Sedimentary rocks in the older Archaean, mainly sandstones (quartzites, graywackes) and slates moderately metamorphosed</p> <p>10 Archaean sandstones (chiefly graywackes) and slates changed to gneisses</p> <p>11 Archaean limestone and dolomite (marble)</p> | <p>12 Post-Archaean volcanics (basalt = B, andesite = D, alkaline rocks = A)</p> <p>13 Volcanics (chiefly rhyolite, dacite, trachyte, and andesite) in the younger Archaean</p> <p>14 Rhyolitic volcanics, in part altered to gneisses, in the older Archaean</p> <p>15 Dacitic and andesitic volcanics, in part changed to gneisses, in the older Archaean</p> <p>16 Structurally isotropic granites (and syenites) in the younger Archaean (ser- and post-orogenic rocks)</p> <p>17 Ditto (and syenites = V) in the older Archaean (ditto)</p> <p>18 Dolerite, diabase, hyperite, basaltic dolerite</p> <p>19 Granites (and syenites = V), in part schistose, in the younger Archaean (primorogenic rocks)</p> <p>20 Granites, most frequently schistose, in the older Archaean (primorogenic rocks, mainly gneiss-granites)</p> <p>21 Gabbro, diorite, amphibolite (in part metabasalt)</p> <p>22 Old Archaean gneisses, mainly of unknown origin, frequently banded</p> |
|---|---|

ROCKS IN THE CALEDONIAN RANGE

- | | |
|--|---|
| <p>23 Rödingfjäll nappe: schists more or less strongly metamorphosed</p> <p>24 Seve-Köli nappe: chiefly phyllites, schists, and quartzites</p> <p>25 Middle nappe: quartzites, arkoses, and mica schists</p> <p>26 Middle nappe: schistose and in part mylonitized granites (incl. syenites)</p> <p>27 Lower nappe: Cambro-Silurian rocks, mainly quartzites, slates, and schists</p> <p>28 Lower nappe: older quartzites, sparagmites, and tillites (▲)</p> <p>29 Lower nappe: porphyries (mainly rhyolitic volcanics)</p> <p>30 Lower nappe: granites</p> <p>31 Caledonian granites</p> <p>32 Greenstones, chiefly gabbro and amphibolite</p> <p>33 Limestone and dolomite</p> | <p>34 Seve-Köli nappe</p> <p>35 Middle nappe</p> <p>36 Lower nappe</p> <p>37 Iron ore deposit</p> <p>38 Sulfide ore deposit</p> |
|--|---|

SVERIGES BERGGRUND



SKALA 1:2 500 000
0 100 km

BERGARTER UTANFÖR FJÄLLKEDJAN

- Kritbergarter, övervägande krita
- Rättiliasbergarter, övervägande sandstenar och leror
- Kågerödsbergarter, övervägande sand- och lerstenar
- Kambrasiluriska kalkstenar
- Kambrasiluriska lerstenar och skiffer
- Kambrisk och silurisk sandsten (sprickfyllnader av kambrisk sandsten S)
- Övriga sandstenarter
- Övriga delandesandstenar i det yngsta urberget, främst sandstenar, kvartssiter och skiffer
- Sedimentbergarter i det mellersta urberget, övervägande kvartssiter, delvis upplandade med vulkaniska bergarter
- Sedimentbergarter i det äldre urberget, främst sandstenar (kvartssiter, gråvackor) och skiffer av måttlig omvandlingsgrad
- Gnejsomvandlade sandstenar (mest gråvackor) och skiffer
- Kalksten och dolomit i urberget

- Vulkaniska bergarter yngre än urberget (basalt=B, dellandesit=D, alkalibergarter=A)
- Yngre vulkaniska bergarter (porfyror och porfyriter) i urberget
- Äldre kiselsyrorika vulkaniska bergarter i urberget, delvis gnejsomvandlade
- Äldre tämligen kiselsyrafattiga vulkaniska bergarter i urberget, delvis gnejsomvandlade
- Yngre, helt massformiga graniter (och syeniter) i urberget
- Äldre, helt massformiga graniter (och syeniter) i urberget
- Diabas, hyperit, basaltisk diabas
- Yngre, ställvis förskifrade graniter (och syeniter) i urberget
- Äldre, oftast förskifrade och delvis gnejsomvandlade graniter i urberget (övervägande gnejsgraniter)
- Gabbro, diorit, amfibolit (delvis omvandlad basalt)
- Gnejsjer, ofta bandade, till större delen av ovisst ursprung

BERGARTER INOM FJÄLLKEDJAN

- Rödning-fjällskollan: skiffer av växlande omvandlingsgrad
- Seve-kölskollan: huvudsakl. fylliter, skiffer och kvartssiter
- Mellersta skolberggrunden: kvartssiter, arkoser och glimmerskiffer
- Mellersta skolberggrunden: förskifrade och delvis mylonitiserade graniter (delvis även syeniter)
- Undre skolberggrunden: kambrasiluriska bergarter, övervägande kvartssiter och skiffer
- Undre skolberggrunden: äldre kvartssiter, sparagmiter samt tilliter (Δ)
- Undre skolberggrunden: porfyror
- Undre skolberggrunden: graniter
- Kaledoniska graniter
- Gröndstenar, huvudsakl. amfibolit och gabbro
- Kalksten och dolomit
- Seve-kölskollan
- Mellersta skolberggrunden
- Undre skolberggrunden
- Järnmalmgruva
- Sulfidmalmsgruva

REPRODUCERAD VID AB KARTOGRAFISKA INSTITUTET
ESSELTE AB, STOCKHOLM 1963

PRIS 10 KRONOR

Distribueras genom

GENERALSTABENS LITOGRAFISKA ANSTALTS FÖRLAG

STOCKHOLM 16

STOCKHOLM 1963. KUNGL. BOKTRYCKERIET P. A. NORSTEDT & SÖNER
PRINTED IN SWEDEN