

# NGU



Norges geologiske  
undersøkelse

Nr. 352

Skrifter 30

Einar Broch

Ingeniørgeologiske undersøkelser  
for anlegg i fjell



Universitetsforlaget 1979

Trondheim · Oslo · Bergen · Tromsø

STORTINGS-  
27 MAR 1980  
BIBLIOTEKET



# NGU

## Norges geologiske undersøkelse

Geological Survey of Norway

---

*Norges geologiske undersøkelse*, Leiv Eirikssons vei 39, Trondheim. Telefon (075) 15860.  
Postadresse: Postboks 3006, 7001 Trondheim.

Administrerende direktør: dr. philos. *Knut S. Heier*

Geologisk avdeling: Direktør dr. philos. *Peter Padget*

Geofysisk avdeling: Direktør *Inge Aalstad*

Kjemisk avdeling: Direktør *Aslak Kvalheim*

Publikasjoner fra *Norges geologiske undersøkelse* utgis som bind med fortløpende hovednummerering, og deles inn i to serier, *Bulletin* og *Skrifter*.

*Bulletin* omfatter vitenskapelige arbeider over regionale, generelle eller spesialiserte emner av faglig interesse.

*Skrifter* omfatter beskrivende artikler og rapporter over regionale, tekniske, økonomiske, naturfaglige og andre geologiske emner av spesialisert eller allmenn interesse. *Skrifter* utgis på norsk, med resymé på engelsk (Abstract).

### REDAKTØR

Førstestatsgeolog dr. *David Roberts*, Norges geologiske undersøkelse, postboks 3006, 7001 Trondheim.

### UTGIVER

*Universitetsforlaget*, Postboks 7508, Skillebekk, Oslo 2.

### TIDLIGERE PUBLIKASJONER OG KART

Den fortegnelse over NGU's publikasjoner og kart «Publikasjoner og kart 1891—1977» ble utgitt i 1977 og kan bestilles fra *Universitetsforlaget*.

De nyeste kart fra NGU er oppført på tredje omslagsside.

### MANUSKRIPTER

En rettleiding for utarbeidning av manuskripter (Instructions to contributors to the NGU Series) kan finnes i NGU Nr. 273, s. 1—5.

# Ingeniørgeologiske undersøkelser for anlegg i fjell

EINAR BROCH

Broch, E. 1979: Engineering geological investigations for underground openings in rock. *Norges geol. Unders.* 352, 0-00.

The purpose of this paper is to provide geologists with an outline of the procedures and methods used by engineering geologists in the planning and construction of underground openings in rock. Examples of different types of permanent underground openings currently in use in Norway are given. Geological factors which may influence the construction and the safety of such openings are discussed. Field equipment and typical laboratory tests are briefly described. The investigations may be divided into four stages: I) the preliminary investigations, II) the detailed field investigations, III) the detailed underground investigations and IV) the final tunnel mapping. Characteristic features for each stage are discussed. The use of aerial photographs and the engineering geological mapping are described. The final chapter gives brief information on the use and interpretation of results from trenches, shafts, exploration tunnels, borings, seismic measurements and also modelling and the measurement of stresses in rock.

*E. Broch, Geologisk Institutt, Universitetet i Trondheim, Norges Tekniske Høgskole, N 7034 Trondheim — NTH*

## INNHold

Forord	1
Hva er ingeniørgeologi?	2
Hva forstås med anlegg i fjell?	2
Hvordan bygges anlegg i fjell?	4
Hvilke geologiske forhold kan påvirke byggingen av og sikkerheten i et fjellanlegg?	5
Hvilke hjelpemidler kan ingeniørgeologen benytte seg av?	7
Undersøkelser i felten	7
Undersøkelser i laboratoriet	8
Hvilke hovedstadier kan undersøkelsene deles inn i?	11
De preliminære undersøkelser	13
Detaljundersøkelser i felten	14
Bruk av flyfoto	15
Kartlegging i felten	18
Fremstilling av resultatene	20
Detaljundersøkelser i anlegget	22
Tunnelkartlegging	23
Spesialundersøkelser	24
Grøfter, sjakter, stoller	24
Boringer	25
Seismiske undersøkelser	27
Beregning og måling av spenninger	28
Litteratur	32



## FORORD

Dette er en bearbejdet og utvidet utgave av et foredrag med samme tittel som forfatteren ble invitert til å holde ved Norsk Geologisk Forenings Landsmøte i Trondheim 11. — 12. januar 1979. Stoffet er derfor spesielt tilrettelagt for at kolleger som arbeider innen mer tradisjonelle områder av geologien, skal få et

innblikk i ingeniørgeologens virkefelt og arbeidsmetoder. En har også hatt i tankene at potensielle brukere av ingeniørgeologiske tjenester skulle kunne ha nytte av dette lille heftet. Slike brukere kan være forskjellige byggherrer som f.eks. statlige og kommunale tekniske etater, kraftselskap og industriselskap samt bygningstekniske konsulenter som arbeider for disse.

Med to så forskjellige målgrupper er det selvsagt fare for at noen kan finne at en del kan synes som selvfølgeligheter, mens andre forhold kan synes å være utilfredsstillende omtalt. Undersøkelsesmetoder og -metodikk er omtalt i en rekke lærebøker i ingeniørgeologi hvor ytterligere informasjon kan finnes. Imidlertid vil disse lærebøkene ofte bære sterkt preg av fra hvilket land og hvilke geologiske forhold forfatteren har sin erfaring. Det samme gjelder selvsagt også for dette heftet, hvor forfatterens erfaringer i første rekke er vunnet gjennom arbeide med tunneler og haller i norsk fjellgrunn. Verdifulle erfaringer har forfatteren også blitt delaktig i gjennom mange samtaler med professor Rolf Selmer-Olsen. Han har også gitt verdifulle korrektiv under utarbeidelsen av dette manuskriptet.

### Hva er ingeniørgeologi?

Enkelt sagt er ingeniørgeologi anvendelse av geologiske kunnskaper på ingeniørmessige problemer, spesielt problemer innen bygnings- og anleggssektoren. Å være ingeniørgeolog krever derfor ikke bare geologiske kunnskaper, men også en klar forståelse av teknisk-økonomiske problemstillinger. Ingeniørgeologen er til nytte bare så lenge han svarer på ingeniørens spørsmål. Og, — det er like viktig! — svarer på en slik måte at ingeniøren forstår ham.

For øvrig kan det nevnes at faget ingeniørgeologi har vært undervist på Norges Tekniske Høgskole i ca. 20 år. Siden midten av 60-årene og frem til 1979 er det på en egen linje for teknisk geologi ved Bergavdelingen utdannet 51 sivilingeniører med ingeniørgeologi som hovedfag. Samtidig har 37 bygningsingeniører avsluttet sitt studium ved NTH ved å utføre sin hovedoppgave i ingeniørgeologi. En fersk undersøkelse viser at det innen fagområdet for tiden utføres ca. 50 årsverk, Bergh-Christensen (pers.medd.).

### Hva forstås med anlegg i fjell?

Gruver, tunneler for jernbaner og veger og for overføring av vann til kraftverkene er kanskje det en først tenker på når det blir tale om anlegg i fjell. Men utsprengte rom i fjell er tatt i bruk til mangt annet. Allerede i 1916 ble den første vannkraftturbin plassert i en fjellhall (Såheim kraftverk). I dag har vi snart 150 kraftstasjoner i fjellhaller med bredder varierende mellom 10 og 20 meter, lengder mellom 20 og 200 meter og med største høyder på 30-40 meter. Eksempel på en slik kraftstasjonshall i fjell er vist i figur 1.

I økende grad erstattes skjemmende oljetanker av lagerrom i fjellgrunnen, Mohrfelt (1975), Lien & Løset (1978). Nylig er bl.a. påbegynt et oljelager på flere 100 000 m<sup>3</sup> utenfor Namsos. Det vil i sin helhet bli liggende i fjell. I mange

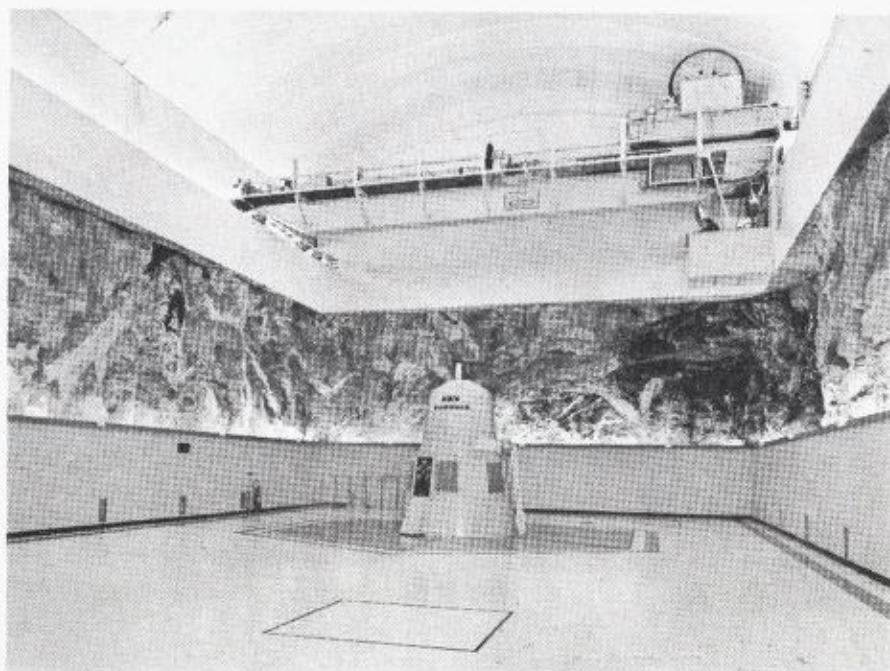


Fig. 1. Kraftstasjonshall i fjell. Taket er sikret med et betonghvelv. Veggene er ubehandlet. Indirekte belysning på de livfulle fjellflatene gir en fin arkitektonisk effekt. (Gresslifoss Kraftverk, Trondheim Elektrisitetsverk).



Fig. 2. Lagerhall for iskrem. Vegger og tak er bare sporadisk sikret med bolter. Lagringstemperaturen er ca.  $+ 25^{\circ}\text{C}$ . Fjellmassen rundt virker som kuldelager og hindrer store temperaturfall i hallen. (Diplom-Is, Oslo).

byer er vanntårnene blitt erstattet av bassenger inne i fjellet, Broch & Rygh (1976). Ellers kan en i den norske fjellgrunn i dag bl.a. finne anlegg for rensing av vann og kloakk, Sæther (1974), parkering av biler, lagring av molasse, Larsen & Meisingset (1978), frosne matvarer, Barbo & Bollingmo (1978), iskrem, se figur 2, etc., telekommunikasjonssentraler, en idrettshall med internasjonale mål for håndballspill (Odda) og flere svømmehaller, Broch & Rygh (1976).

For sivile formål, gruvedrift unntatt, sprengte vi her i landet ut nesten 5 millioner m<sup>3</sup> fjellrom og tunneler i 1977. Bare innen kraftverksbransjen ble det dette året sprengt ut 125 km med tunnel. Tar vi folketallet i betraktning, viser det seg at Norge sprenger ut 4 cm tunnel pr. innbygger pr. år. Dette gir oss en sikker førsteplass på verdens rankingliste over tunnelsprengere. Nr. 2 på listen, Sverige, greier ikke mer enn 1 cm og et fjelland som Sveits kun 0,5 cm.

Også når det gjelder produktivitet, er vi på topp, dvs. det er få eller ingen som kan produsere en meter tunnel så raskt og så billig som vi kan. Det er derfor all mulig grunn til å tro at vi i fremtiden vil se en enda mer variert bruk av anlegg i fjellgrunnen. Med de muligheter som etter hvert foreligger for behandling og kontroll av inneklima er det nesten vanskelig å forestille seg hvilke typer av anlegg som av tekniske grunner *ikke* kan plasseres i fjellgrunnen.

Det er derfor på høy tid at vi nå tar undergrunnen med i betraktning når utbyggingsplaner for byer og tettsteder utarbeides. Det er nødvendig at arealplanleggingen utvides med den tredje dimensjon.

Av forhold som taler til fordel for bruk av undergrunnen kan nevnes:

- verdifulle overflatearealer kan spares, f.eks. sentrale bytomter eller dyrket mark.
- gode muligheter for utvidelse vil vanligvis foreligge.
- konstant temperatur i fjellmassene reduserer driftsutgiftene for oppvarming eller avkjøling.
- lave vedlikeholdsutgifter i forhold til daganlegg.
- høy sikkerhet mot f.eks. krigshandlinger.
- sprengningsmasser som verdifullt «biprodukt».
- støyende eller skjemmende virksomhet «fjernes» fra lokalmiljøet.

Hvor det er behov for større volum for lagring av f.eks. olje eller vann, vil ofte prisen pr. volumenhet bli lavere for underjordsanlegg enn for daganlegg.

### Hvordan bygges anlegg i fjell?

Anlegg i fjell består vanligvis av én eller flere haller som forbindes med tunneler eller sjakter. Så vel hallene som tunnelene er karakterisert ved at de har rette vegger og et mer eller mindre buet tak. Spennviddene for disse takene er i dag som oftest mellom 10 og 20 meter. Ønskes store gulvareal, gjøres dette i første rekke ved å øke lengden på hallen. Behovet for stort volum kan etterkommes både ved å øke lengden og høyden på hallen.

Det er allerede nevnt at anlegg i fjell sprenges ut. Selv om tunnelboremaskinene også her i landet nå er i gang med å produsere ferdige tunneler uten bruk av sprengstoff, må vi nok regne med at det i lang tid fremover vil være mest

økonomisk å produsere fjellrom på tradisjonell måte ved boring og sprengning.

Å lage et fjellrom kan på en måte betraktes som en negativ byggeprosess. Det vanlige er jo at en bygger noe ved å føye ting, dvs. materialer, sammen. Fjellrommet bygges ved at en del av et materiale tas bort. Det er det gjenstående som utgjør selve konstruksjonen. Det er i dette materialet krefter og spenninger skal opptas slik at «bygningen» blir sikker. Dette kan synes selvfølgelig, men er likevel viktig å ha klart for seg. Det fører nemlig til at *når stedet for et anlegg i fjell er valgt, er faktisk også byggematerialet valgt.*

Nettopp i denne utvelgelsesprosessen er det derfor viktig at ingeniørgeologen kommer inn som rådgiver. Basert på undersøkelser han kan utføre i området, og med kunnskaper om hvordan fjellmassene oppfører seg i materialteknisk henseende, vil han kunne være byggherren behjelpelig med å treffe det rette valg. Senere under byggeprosessen er det naturlig at ingeniørgeologen bistår med råd når det gjelder å gjøre fjellrommet til et stabilt og sikkert anlegg.

Hvilke geologiske forhold kan påvirke byggingen av og sikkerheten i et fjellanlegg?

Forskjellige geologiske og topografiske forhold kan ha forskjellig innvirkning på så vel selve byggingen av et fjellanlegg som den fremtidige brukbarhet og sikkerhet av anlegget. Hvordan deres innvirkning kan være, er det nødvendig å ha en god forståelse av for at de riktige undersøkelser skal bli utført. I det etterfølgende vil de viktigste forhold og deres vanligste påvirkning av anlegg bli omtalt.

*Bergartene* kan, som alle geologer kjenner til, variere enormt i styrke og hardhet. Styrkeegenskapene hos et materiale er det selvsagt av stor betydning å kjenne når det skal inngå i et byggverk. Det skal dessuten bearbeides i form av boring, sprengning og opplasting. Kjennskap til hardhet og slitasjeevne er derfor også ønskelig. Ønsker en å anvende de utsprengte masser til f.eks. vegbygging, vil kjennskap til motstandsevnen mot nedknusning være av betydning.

*Oppsprekningen* gjør fjellmassene til et diskontinuerlig materiale. Graden av oppsprekning blir derfor av stor betydning for hvordan fjellmassen som materiale vil reagere på ulike påkjenninger som f.eks. fullprofilboring og sprengning. Videre vil sikkerheten mot løsning og nedfall av enkeltblokker i fjellrom og tunneler i høy grad være avhengig av mengden og karakteren av sprekken, samt deres orientering i forhold til rommets tak- og veggflater.

*Svakhetssonene* i fjellgrunnen, såsom skyvesoner, forkastningssoner, knusningssoner etc., er de geologiske element som kan ha den største innvirkning på drifts- og stabilitetsforholdene i et fjellanlegg. Det har hendt mer enn en gang, også her i landet, at en har måttet gi opp å fortsette en tunnel langs den planlagte trasé p.g.a. utrasninger fra svakhetssoner. Figur 3 viser eksempel på rasmasser i en tunnel som var under utsprengning. Slike svakhetssoner består av mer eller



Fig. 3. Ras i tunnel forårsaket av svakhetssone med innhold av svelleleire. (Vannforsyningstunnel, Skogn).

mindre knuste eller dekomponerte bergarter samt en lang rekke utfelte eller tilførte mineraler. Svellende leirmineraler av montmorillonittgruppen er ikke uvanlig. I så tilfelle blir stabilitetsproblemene spesielt vanskelige.

Det har således hendt flere ganger at selve utsprenningen av tunnelen har gått uten problemer, og at utrasningene først har kommet etter at tunnelen er tatt i bruk. Dette gjelder særlig for vanntunneler hvor svakhetssonene inneholder svelleleire, Brekke & Selmer-Olsen (1965). Ved et nylig inntruffet ras av denne type ble det i en 55 m<sup>2</sup> stor avløpstunnel anslått rasmasser på ca. 10 000 m<sup>3</sup>. Disse kom fra en ca. 20 m bred sone som sto steilt og nær vinkelrett tunnelen. Sonen var sikret med sprøytebetong, Selmer-Olsen (pers. medd.).

*Vannforholdene* i fjellgrunnen gir normalt ikke grunn til store bekymringer her i landet. For anlegg som ligger nær overflaten hvor sprekkene følgelig vil være forholdsvis åpne i den såkalte dagfjellssonen, kan det imidlertid bli nødvendig enten å utføre tettingstiltak eller gjøre en systematisk drenering i anlegget. Den senkning av grunnvannet som tunneler kan føre til, vil imidlertid kunne forårsake setninger i overliggende løsmasser og dermed kunne påføre bygninger betydelige skader, Knutson & Eggestad (1976). I åpne tunneler som veg- og





Fig. 4. Utknekkning av helleskifer p.g.a. høye spenninger. (Driva Kraftverk, Sør-Trøndelag Kraftselskap).

jernbanetunneler, vil den isdannelse og frostsprengning som lekkasjevannet forårsaker være et stadig tilbakevendende sikkerhetsproblem.

*Spenningsforholdene* i periferien av et fjellrom er et resultat av fjellrommets geometriske form og de spenninger som fjellmassen på stedet sto under før rommet ble utsprengt. Ved uheldige kombinasjoner kan spenninger i enkelte deler av anlegget bli så store at fjellmassen ikke lenger kan motstå dem, se figur 4. Brudd inntreffer, til dels med smell og utkastning av fjellflak, såkalt bergslag eller sprakefjell.

Normalt vil spennings situasjonen i en fjellmasse være en funksjon av den omgivende topografi. Forstyrrende forhold kan være høye tektoniske spenninger eller unormale residualspenninger i bergartene fra deres størkning eller metamorfose. Bergartene her i landet er imidlertid så gamle og har gjennomlevd så meget at de spenninger vi finner i dem i dag, som oftest ikke har sammenheng med de spenninger som de var utsatt for ved sin dannelse.

Hvilke hjelpemidler kan ingeniørgeologen benytte seg av?

#### UNDERSØKELSER I FELTEN

Ingeniørgeologens utrustning i felten er svært lik den vanlige berggrunnsgeologs. Hammer, kompass med klinometer og notisbok er «basisutstyret» sammen med kart, flyfoto og stereobriller. Kanskje er flyfotoene enda viktigere for ingeniørgeologen enn for den vanlige geolog. Grunnen til dette er at svakhets-

sonene trer så tydelig frem på stereobildet med fortrukket vertikalmålestokk. Det er i dag sjelden at det utføres ingeniørgeologiske undersøkelser uten at flyfoto foreligger. Etter som undersøkelsene normalt er knyttet til veldefinerte prosjekt, vil det vanligvis foreligge kart i tilfredsstillende målestokk. (Kvaliteten er vi imidlertid ikke alltid like fornøyd med. En tendens til å utjevne og avrunde kotene vanskeliggjør arbeidet for ingeniørgeologen).

Enklere landmålingsinstrumenter som nivellérkikkert, stigningsmålere og høydebarometre kan ofte være til nytte under feltarbeidet. De minste høydebarometrene, de såkalte altimetrene som er på størrelse med et kompass, kan gi en nøyaktighet på  $\pm 5 - 10$  meter, og er svært nyttige under orientering i jevne dalsider.

Kameraet er et godt hjelpemiddel, særlig for den som ikke er spesielt begavet ved skisseblokken. Brukes polaroidkamera, kan en benytte bildene på stedet for inntegning av viktige observasjoner. Ved fotografering i tunneler har en benyttet en enkel teknikk for opptak av stereobilder. Et vidvinkelkamera er montert på en sleide som glir på en horisontal skinne som igjen er festet til et vanlig kamerastativ. Ved først å fotografere med kamera i en posisjon og dernest skyve det horisontalt for opptak i ny posisjon, oppnås bilder som gir god stereoeffekt. Det er nødvendig med ekstremt godt lys ved fotografering i tunneler. Ved undersøkelser i tunneler eller fjellrom har for øvrig lommediktafonen vist seg spesielt nyttig. Dårlig lys, vanddrypp og følelsen av å ha minst én hånd for lite gjør det vanskelig å bruke notisboken.

Det har i de senere år vært økende interesse for å utføre en større del av testingen av bergarter i felten fremfor i laboratoriet. Bakgrunnen for dette har vært ønsket om å teste bergartene under betingelser som er mest mulig like de betingelser bergartene vil befinne seg under i fjellanlegget. Testing i felten vil også muliggjøre et større antall parallellforsøk, noe som vil øke troverdigheten av sluttresultatene.

Punktlasttesteren er et godt eksempel på et bærbart apparat for måling av bergarters styrke, se figur 5. Representative stykker av bergartene klemmes mellom to punktformede lasthoder til brudd oppnås. Ved å avlese bruddlasten og avstanden mellom lasthodene i bruddøyeblikket kan en styrkeindeks beregnes. Prøvestykker av en hvilken som helst form, også vanlige håndstykker, kan brukes, Broch (1971), Broch & Franklin (1972).

#### UNDERSØKELSER I LABORATORIET

I laboratoriet kan en selvsagt utføre mer raffinerte og bedre kontrollerte forsøk enn i felten. Foruten ved punktlasttesten kan styrke f.eks. måles som enaksial eller triaksial trykkstyrke. I begge tilfelle trykkes sylindriske prøvestykker av bergarten til brudd mellom to parallelle lasthoder. Ved triaksialtasten gir prøvestykket også et omslutningstrykk. Derved kan bergartens indre friksjon beregnes. Så vel testene som beregningsmetodene er vel beskrevet i en rekke bøker om ingeniørgeologi og bergmekanikk, f.eks. Jaeger & Cook, (1969), Zaruba & Mencl (1976).

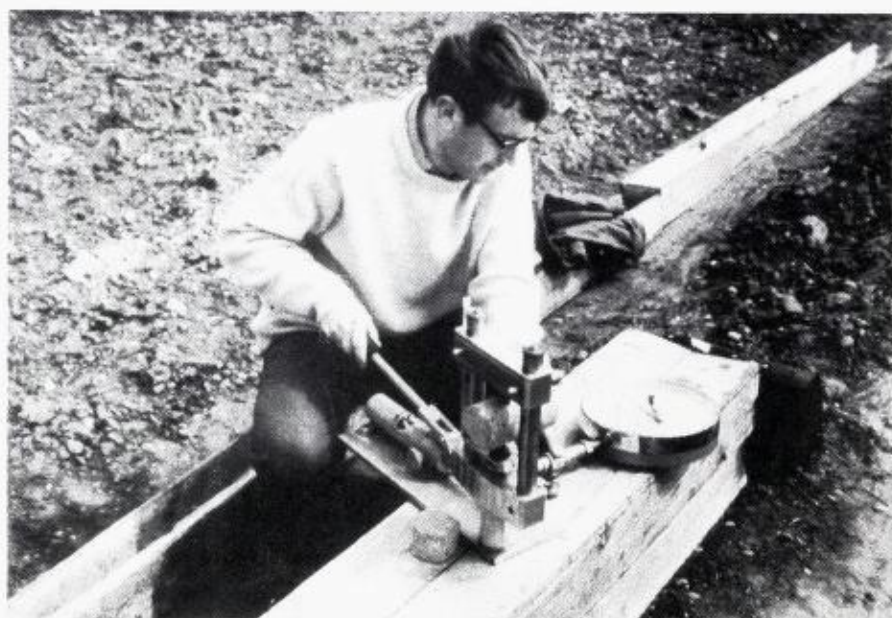


Fig. 5. Punktlastestereen i bruk i felten. Oljetrykket i en liten hydraulisk sylinder økes jevnt med en håndpumpe, og det inneklemt bergartsstykke belastes til brudd. Punktlaststyrken er definert som bruddlasten dividert på kvadratet av avstanden mellom lasthodene (= diameteren på bergartskjernen).

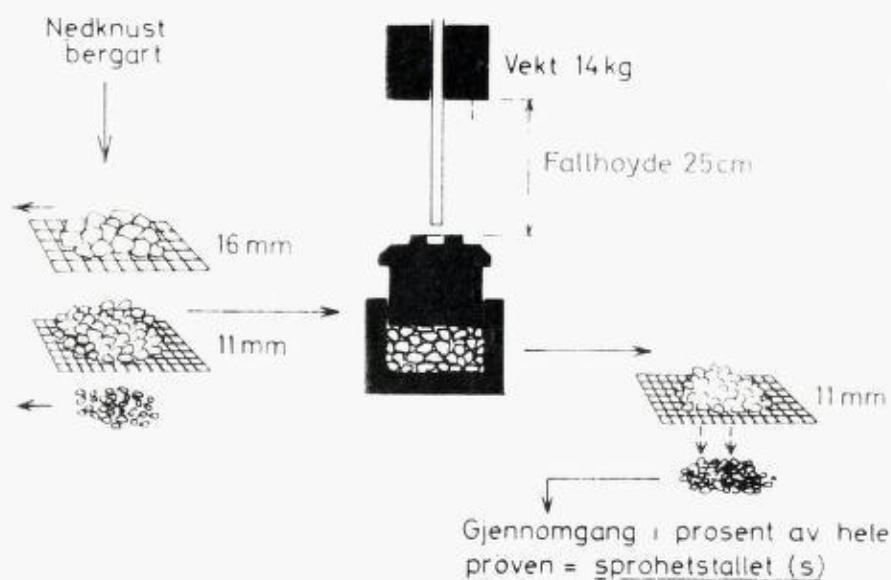


Fig. 6. Definisjon av sprøhetstallet målt med fallapparat.

En annen styrketest som er mye brukt her i landet er fallprøven, se figur 6. Et på forhånd nedknust og utsiktet aggregat av den aktuelle bergart legges i en stålkopp hvor det utsettes for støt fra et fallende lodd. Graden av nedknusning etter en definert påkjenning, det såkalte sprøhetstallet, forteller om bergartens evne til å motstå dynamiske påkjenninger. Fallprøven er bl.a. beskrevet av Selmer-Olsen (1976).

Bergartenes evne til å slite på stål og hardmetall, og dermed boreutstyr, kan måles med spesielt utviklet laboratoriestyr. Likeledes bergartenes motstands-evne mot selv å slites, mot forvitring og frost og mot andre mer eller mindre veldefinerte mekaniske og/eller kjemiske påkjenninger. Ved å kombinere flere laboratoriemålte parametere kan en også finne frem til indekser for bergartenes borbart, Selmer-Olsen & Blindheim (1970) og deres sprengbarhet, Bergh-Christensen & Selmer-Olsen (1970).

Sprekkeplans friksjonsegenskaper kan måles i skjærbokser hvor så vel skjærkraft og normalkraft på sprekkplanen som skjærbevegelsen kan kontrolleres. Problemet er at for å teste sprekkplan av noen størrelse, dvs. sprekkplan som virkelig kan sies å representere naturen, trengs meget store krefter, mange hundre tonn. Dette gjør snart skjærboksene til altfor store og kompliserte innretninger. En liten skjærboks, beregnet for middelsstore kjerner, er beskrevet av Hoek & Bray (1974).

Bergartenes mineralogiske sammensetning kan undersøkes på flere måter som er velkjente for alle geologer. Ingeniørgeologen vil i sine mineralogiske undersøkelser som oftest være særlig interessert i spesielle mineraler som f.eks. kvarts fordi dette mineral er sterkt slitende på boreverktøy, glimmer fordi det gir bergartene sterkt anisotrope egenskaper eller kisminaler fordi disse kan være aggressive overfor stål og betong.

Andre materialer som ofte undersøkes i forbindelse med anlegg i fjell er det vi kaller sleppmaterialer. Det er materiale som befinner seg som fylling i sprekker, slepper og knusningssoner og som er så løst at det kan graves ut. Sammensetningen av dette sleppmaterialet er det av interesse å kjenne når stabilitetsforholdene i anlegget skal vurderes. Spesielt viktig er det å få opplysninger om materialet inneholder svellende leire idet slik leire kan ha en katastrofal innvirkning på stabiliteten. Differensialtermiske analyser (DTA) har vist seg svært hensiktsmessige idet disse gir et kvalitativt så vel som et semikvantitativt svar. For vurdering av svellegenskapene er det utviklet metoder og apparater, Brekke (1965) og Selmer-Olsen & Rokoengen (1974).

For alle laboratorieundersøkelser kommer selvsagt det forhold inn i bildet at undersøkelsene utføres på prøver som er brakt inn til laboratoriet, enten av den ansvarlige ingeniørgeolog, eller de kan komme sendende fra anlegget. Under alle omstendigheter er representativiteten av prøvene av avgjørende betydning når resultatene senere skal benyttes ved teknisk/økonomiske vurderinger. I så vanskelige materialer som fjellmasser er, må derfor selve prøvetakingen tillegges stor vekt.

I tillegg til de hjelpemidler for felt- og laboratorieundersøkelser som allerede er nevnt, vil det være naturlig for ingeniørgeologen også å benytte seg av andre

spesialisters tjenester. Gode eksempler på dette er kjerneboringer, refraksjons-seismisk profilering og målinger av spenningene i fjellmassene. Selv om slike oppdrag normalt utføres av andre, bør de foretas etter anvisning fra ingeniørgeologen, og resultatene bør samarbeides med de øvrige observasjoner. Slike spesialundersøkelser vil derfor bli oversiktsmessig beskrevet i et senere kapittel.

Hvilke hovedstadier kan ingeniørgeologiske undersøkelser deles inn i?

I forbindelse med undersøkelser for anlegg i fjell vil ingeniørgeologen befinne seg i en av de to hovedsituasjoner:

- I. Fjellet er *ikke åpnet*. Alle forhold må vurderes ut fra observasjoner og målinger «i dagen», dvs. på og fra overflaten. De forskjellige undersøkelser kan sammenfattes under begrepet *forundersøkelser*.
- II. Fjellet er *åpnet*. Gjennom tunneler og andre rom er fjellmassene tilgjengelige for inspeksjon bokstavelig talt innenfra. Undersøkelser i denne situasjonen kan sammenfattes som *etterundersøkelser*.

Begge typer av undersøkelser utføres med varierende grad av detaljerhet og nøyaktighet, avhengig av på hvilket stadium i planleggings- eller utføringsfasen anlegget befinner seg.

Som vist i tabell 1, kan forundersøkelsene ofte naturlig deles opp i to atskilte stadier:

- *De preliminære undersøkelser* hvor siktemålet er å vurdere mulighetene for å gjennomføre en skissert plan, eller hvor det er ønskelig på geologiske premisser å få redusert antallet alternative løsninger. Slike undersøkelser bør avsluttes med en rapport som foruten oversiktsmessig å beskrive relevante geologiske forhold, også gir anvisninger for hvilke videre undersøkelser som bør gjennomføres. Omfang og prisoverslag bør inngå.
- *De detaljerte undersøkelser i felten* har som siktemål å få frem best mulige kunnskaper om fjellgrunnens beskaffenhet i det eller de aktuelle områder. Resultatene sammenstilles i en rapport som vanligvis vedlegges de dokumenter som entreprenørene mottar fra byggherrene når de inviteres til å gi tilbud på byggingen av et anlegg.

Etterundersøkelsene kan på lignende måte ofte deles i to stadier:

- *De detaljerte undersøkelser i anlegget* som utføres delvis for å supplere og delvis for å revidere undersøkelsene i felten. Det vil normalt være økonomisk gunstig og også ofte teknisk forsvarlig å utsette enkelte forundersøkelser til fjellet er åpnet. De prognoser som er oppsatt på grunnlag av observasjoner i dagen kan forbedres i vesentlig grad ved kontinuerlig revisjon. Det er derfor svært viktig at ingeniørgeologen ikke stoppes i sitt arbeide når

Tabell 1. Hovedstadier i en ingeniørgologisk undersøkelse av et middeis til stort fjellanlegg

FORUNDERSØKELSER (Fjellet er ikke åpnet)		ETTERUNDERSØKELSER (Fjellet er åpnet)	
PRELIMINÆRE UNDERSØKELSER	DETALJUNDERSØKELSER I FELTEN	DETALJUNDERSØKELSER I ANLEGGET	SLUTTKARTLEGGING
Planleggingen på skissestadiet	Planleggingen fullføres. Anbudsdokumenter klargjøres.	Byggingen påbegynnes og gjennomføres	Byggingen avsluttes. Anlegget klart til bruk.
Studier av eksisterende litteratur, kart og flybilder.	Ingeniørgologisk kart- legging basert på flyfoto- studier og feltbefaringer	Supplerende unders. som spenningsmålinger, boringer fra tunnel etc.	Registrering av de geologiske forhold i anlegget.
Fremskaffing av evt. ingeniørgologiske og/ eller geotekniske rapporter fra området.	Utførelse av spesialunders. som boringer, seismikk, spenningsberegninger etc.	Prøvetaking og analyse av sleppemateriale (og evt. bergarter) i lab.	Beskrivelse av alle utførte sikringsarbeider, inkl. tidspunkt og evt. vanskeligheter med utførelsen.
Befaring av nøkkel- punkter (påhugg, liten overdekning, utslag i vann etc.).	Laboratorieanalyser bergartenes borbartnet, sprengbarhet og anvendbarhet.	Kontroll og revisjon av rapporten fra forundersøkelsene.	Vurdering av drifts- resultatene.
Foreløpig rapport: — Oversikt over geologiske og fjelltekniske forhold. — Vurdering av mulighetene for å gjennomføre de for- skjellige alternativ. — Plan og kostnadsoverslag for detaljundersøkelser. — Behov for kart og flybilder	Rapport som beskriver de forskjellige geologiske og topografiske forholdes inn- virkning på byggingen og bruken av anlegget. (Bergartene, oppsprekningen, svakhetszonene, vann- og spenningsforholdene). Bruk av massene vurderes.	Revisjonsrapporter. Fastlegging av midler- tidige sikringstiltak etter hvert som anleggs- arbeidene skrider frem. Utarbeidelse av plan for de permanente sikringstiltak.	Sluttrapport med tunnelkart og oversikt over sikringsarbeider.  Vurdering av de utførte ingeniørgologiske undersøkelser.

sluttrapporten for forundersøkelsene foreligger, men at han så tidlig som mulig i anleggets utførelsesfase får anledning til å delta i kontroll og revisjon. Dette er nødvendig for å kunne utarbeide planer for sikring av anlegget.

- *Sluttkartlegging* inkluderer både en detaljert registrering av de geologiske forhold slik som de viste seg å være, og en beskrivelse av alle sikringstiltak som er kommet til utførelse. Dette er et viktig dokument for det fremtidige vedlikehold av anlegget, og er hva sikringstiltak angår av myndighetene i dag pålagt utarbeidet for kraftverkstunneler. For ingeniørgeologen selv er det både spennende og utviklende å sammenligne det endelige kartet med de prognoser som ble utarbeidet under forundersøkelsene.

En slik inndeling i hovedstadier for de ingeniørgeologiske undersøkelser vil ikke passe like godt for f.eks. en enkelt, kort vegg-tunnel, som for et mer omfattende kraftverksprosjekt. Likevel kan det være hensiktsmessig, ikke minst for ingeniørgeologen selv, til enhver tid å holde klart for seg hvor i utviklingen av prosjektet en befinner seg slik at innsatsen får det rette omfang. Eksempelvis kan for detaljerte svar på enkle spørsmål i innledningsfasen virke mot sin hensikt.

#### De preliminære undersøkelser

De preliminære undersøkelser utføres gjerne mens planene for anlegget fremdeles er på skissestadiet. Ennå er lite fastlagt, og mange forhold skal vurderes før planleggerne begynner å redusere på antall alternativ og varianter. Dette er på mange måter et sterkt utfordrende stadium i et prosjekts liv. Viktige avgjørelser skal fattes, ofte på et spinkelt grunnlag. I allfall basert på undersøkelser som inntil da ikke har krevd store økonomiske utlegg. Her er således erfaringer spesielt verdifulle.

En viktig del av de preliminære undersøkelser foregår ved skrivebordet, i biblioteket og i kartsamlinger. Som et første skritt på veien gjelder det å få samlet alle relevante topografiske og geologiske informasjoner om det nye anleggsområdet.

Informasjon om topografi kan en i første rekke skaffe seg fra Norges Geografiske oppmålings kartverk. Særlig er det grunn til å fremheve den nye 1:50 000 kartserien som meget nyttig og av høy kvalitet. Karter i større målestokk (1:20 000 — 5 000) er utarbeidet av de enkelte fylker over de økonomisk interessante områder, det såkalte økonomiske kartverk. Utover dette finnes en rekke lokale, kommunale kartverk, til dels i enda større målestokk.

Viktigste kilde for geologiske informasjoner er selvsagt Norges Geologiske Undersøkelses karter og publikasjoner. Dessuten finnes det en rekke spesialbeskrivelser og kart av avgrensede områder i andre publikasjonsserier som f.eks. Norsk Geologisk Tidsskrift. I bygdebøker og diverse regionbeskrivelser kan det også finnes geologiske oversikter. Den enkleste måte å skaffe seg oversikt over

hva som måtte finnes av kart og litteratur som dekker det aktuelle området på, er ved å bruke NGU's «Katalog over datamateriale for Norges berggrunn».

Ved innledningen av en forundersøkelse bør en alltid skaffe seg opplysninger om bygge- eller anleggsvirksomhet i eller nær det aktuelle området har funnet sted tidligere. I så tilfelle er det muligheter for at geotekniske eller ingeniørgeologiske rapporter kan foreligge. De lokale tekniske etater vil som regel kunne gi opplysninger om slikt.

Studier av kart, fortrinnsvis supplert med flyfoto, gjøres for å:

- danne seg et bilde av fordelingen mellom løsmasser og fjell,
- vurdere den spenningssituasjon fjellmassene befinner seg i,
- få oversikt over de svakhetssoner som gjennomsetter fjellmassene.

Som regel vil det være nødvendig at slike forhåndsstudier følges opp med en befaring i felten. En konsentrerer seg da om viktige nøkkelpunkter for anlegget som forhåndsstudiene bare har gitt uklare svar om. Slike punkter kan bl.a. være påhuggssteder for tunneler, inntak i vann, steder med tvilsom overdekning og avspente områder. Videre forsøker en under befaringen å vurdere detaljopp-  
sprekningen og bergartenes fordeling og mekaniske egenskaper. Om nødvendig tas det prøver for orienterende analyser i laboratoriet. Dagfjellets mektighet og vannforholdene, evt. frostforholdene, tas også med i vurderingene i den grad overflatebefaringer gjør dette mulig.

De preliminære undersøkelsene avsluttes med en foreløpig rapport som gir byggherren og planleggerne en oversikt over de geologiske og fjelltekniske forhold, vurderer mulighetene for å gjennomføre prosjektet og er til støtte ved valg blant de alternativ som måtte foreligge. Videre bør rapporten inneholde en kostnadsplan for nødvendige detaljundersøkelser og gi en oversikt over hvilket kart- og flyfotogrunnlag som trenges for at slike kan gjennomføres.

### Detaljundersøkelser i felten

På grunnlag av den foreløpige rapport fra de preliminære undersøkelser vil byggherren, evt. sammen med sine andre konsulenter, avgjøre hvorvidt planlegging og prosjektering av anlegget skal igangsettes og hvilke alternativ som detaljert skal undersøkes. Den nødvendige flyfotografering og karttegning vil på dette grunnlag bli utført. Det er viktig at en i den forbindelse får foto og kart som er utført i en målestokk som er hensiktsmessig også for ingeniørgeologen, for kart vanligvis mellom 1:1 000 og 1:10 000 avhengig av anleggstype og geologiske forhold.

Videre bør en sørge for at foto- og kartdekningen er stor nok til at den tillater visse endringer av traséer og plasseringer uten at dette fører til at den ingeniørgeologiske kartlegging av anlegget vanskelig gjøres. En må her ha for øyet at beregning av svakhetssoners strøk og fall ofte krever oppfølging av sonene utenfor det avgrensede anleggsområdet. Romslig flyfotodekning er også ofte av betydning for å forstå andre geologiske forhold.





Fig. 7. I bart fjellterreng slik som her i Sjona i Nordland, kan forskjellige bergartstyper lett tas ut på flyfoto. Variasjoner i farge, foliasjon, oppsprekning og styrke (motstandskraft mot isbreerosjon), er viktige faktorer ved kartlegging på flyfoto.

Ingeniørgeologens viktigste oppgave på detaljundersøkellesstadiet er å fremstille et detaljert ingeniørgeologisk kart med profiler som dekker de forskjellige deler av anlegget. I den forbindelse er innhenting og analysering av representative prøver av de ulike materialer — bergarter, løsmasser og sleppematerialer — nødvendig. Det kan også være nødvendig å supplere en ren overflatebasert kartlegging med spesialundersøkelser som boringer, driving av prøvestoller og sjakter, geofysiske målinger og andre målinger som spenningsmålinger og vanntapsmålinger, for at en skal få frem et godt nok bilde av de ingeniørgeologiske forhold.

#### BRUK AV FLYFOTO

For å få en samlet oversikt over de områder som skal undersøkes er det en fordel før selve kartleggingen i felten å foreta et flyfotostudium. På grunnlag av dette planlegges så selve kartleggingsarbeidet i felten. Et grundig flyfotostudium vil vanligvis kunne redusere feltarbeidet ganske betraktelig. Under gunstige forhold kan feltarbeidet, som sammenlignet med flyfotostudiet er meget kostbart, reduseres til en prøvetaking og kontroll av viktige punkter i anleggsområdet.

Det er karakteristisk for fjellmasser at de inneholder sprekker og svakhetssoner i mer eller mindre velutviklede mønstre. På flyfoto kan *fjellmasser* derfor relativt lett skilles fra *løsmasser* som ikke har slike utpregete mønstre. Fjellmasser vil også normalt være stabile ved steilere skråningsvinkler enn løsmasser. I områder med tynt løsmassedecke, opptil et par meter, som f.eks. i en del

skogkleddede fjellområder, vil fjelltopografien og grovere oppsprekningsmønstre skinne gjennom. Bli r mektighetene større, er det løsmassenes egen geomorfologi som preger bildet.

*Bergartfordelingen* kan på flyfoto skilles ut på flere måter. Av figur 7 vil en se at varierende farge (mørkhet og lyshet) kan tas direkte. Likeledes at forskjellige bergarter i samme formasjon ofte vil ha forskjellig grad av foliasjon eller oppsprekning og kan således skilles ut. For ingeniørgeologen er det nyttig at bergartsstyrken ofte avspeiles i terrenget ved at sterkere bergarter står igjen som høydetrug, mens svakere bergarter vil danne forsenkninger i terrenget. Kalksteiner og marmor kan ha karstfenomener som skiller disse fra andre bergarter. Varierende kjemisk sammensetning og motstand mot forvitring hos bergartene fører til forskjellige vekstforhold for planter og trær. I noen grad vil derfor vegetasjonsgrensene følge bergartsgrensene.

*Foliasjon og markerte detaljsprekkeretninger* vil, iallfall på flyfoto med stor målestokk, kunne registreres. Som regel er det imidlertid nødvendig med feltobservasjoner for å få målt strøk og fall nøyaktig. Flattliggende og mindre tydelige sprekker kan oftest ikke ses.

*Svakhetssoner* vil vanligvis tre tydelig frem på flyfotoene som kløfter, skar og søkk i terrenget, p.g.a. den overdrevne vertikalmålestokk ved stereoskopisk betraktning. Det er fremfor alt ved kartlegging av disse stabilitetsforstyrrende elementer for fjellanlegg at flyfotostudier er av så stor betydning. På flyfotoene kan sonenes utgående i dagen følges over lange strekninger. Disse observasjoner overføres så til kartet. Under forutsetning av at sonene er plane, hvilket som oftest er tilfelle for de tektoniske bruddsoner, iallfall over rimelig lange strekninger, kan så sonenes strøk og fall konstrueres eller beregnes. Dermed har en muligheter for å finne hvor i anleggsnivået sonene vil gå, og anlegget kan forsøkes plassert slik at krysning med sonene blir kortest mulig eller i beste fall unngått. Ved å studere hvordan sonenes utgående er eksponert i terrenget og sammenholde dette med fjellmassenes egenskaper og isbreens bevegelsesretning, kan en dessuten som regel uttale seg en del om sonenes karakter i stabilitetsmessig sammenheng. Se eksempel på meget markert kløft i figur 8.

*Vannforholdene* på overflaten kan studeres på flyfoto. Dreneringsmønstre vil ofte avspeile det grovere oppsprekningsmønstre i fjellmasser. Dybden på bekkedaler kan gi indikasjoner på løsmasseoverdekningens mektighet. Å kartlegge grunnvannsspeilets beliggenhet ut fra vanlig flyfoto er ikke mulig. Ved bruk av spesiell film som er følsom for infrarød stråling kan en under gunstige forhold få en viss oversikt over grunnvannsforholdene.

*Høye spenninger* i fjellmassen avsløres ofte av en utpreget konkav, nær overflateparallel oppsprekning, en type eksfoliering, se figur 9. Denne kan ofte være synlig på flyfoto. Det er særlig i områder med massive dyperuptiver en vil



*Fig. 8.* Markert svakhetssone tvers på dalsiden i Sirdalen. I en tunnel som krysset svakhetssonen ca. 300 meter under dens utgående i dagen fikk en meget store utrasninger.



*Fig. 9.* Overflateparallel oppsprekning i massive bergarter slik som her i Nordfolda, indikerer gjerne unormale spenningsforhold.

finne dette. Hvor det topografiske relieff er moderat, kan dette tyde på at fjellmassen inneholder spenninger fra sin tidligere historie som bare delvis er utløst, såkalte residualspenninger.

#### KARTLEGGING I FELTEN

Her i landet hvor topografien og massene er sterkt preget av isbrevirksomhet i en nær fortid, byr det ikke på store problemer i overflaten å *skille løsmasser fra fjellmasser*. Annerledes kan dette være i områder hvor dypforvitring av fjellmasser forekommer. Å anslå tykkelsene av løsmassene over fjellgrunnen er ofte en nødvendig, men ikke alltid lett oppgave. Viktige observasjonssteder for oppletting av fjell i dagen i et overdekket område er bekker og raviner. En kan danne seg et bilde av løsmassemektighetene i et område ved å se hvor og hvor dypt bekkene har gravd for å komme ned til fast fjell.

For å anslå mektigheten av *løsmasser i kløfter* kan en i tilfeller hvor det er grunn til å anta at kløften er forårsaket av en enkelt svakhetszone, legge tangentplan til fjelloverflaten der disse skjærer ned under løsmassene. Profilet avrundes med en buet linje over tangentene. Dyppunktet må legges der svakhetssonen kan ventes å skjære profilet. Overfordypninger i selve knusningssonen forekommer relativt ofte, særlig når denne har strøk nær parallelt med isbevegelsesretningen. Er det flere knusningssoner i kløften, blir forholdene som regel for kompliserte selv for en skjønnsmessig vurdering.

Et spørsmål som ofte melder seg under kartlegging i felten er om det er fjellgrunnen eller en *stor løsblokk* som stikker opp av løsmassene. For å avgjøre dette undersøker en bergartstype og orienteringen av bergartsstruktur, detaljsprekker og isskuringsstriper i den eventuelle blotningen og så sammenholder dette med tilsvarende observasjoner i nærliggende, sikre fjellblotninger. Faller ikke observasjonene sammen, må en anta at det er en løs blokk. Får en sammenfallende observasjoner, er det sannsynlig, om enn ikke helt sikkert, at det er fjellgrunnen som stikker frem.

Ved kartlegging av *bergartsfordelingen* er det for ingeniørgeologen viktigere å foreta en inndeling etter materialtekniske egenskaper enn etter petrografisk sammensetning. Prøvetaking blir derfor en viktig del av arbeidet. I første omgang tas håndstykker for å få oversikt over fordelingen av de ulike bergarter og variasjonene innen hver type. Etter å ha studert håndstykkene kan programmet for uttaking av større prøver (10—20 kg) for analyser av bergartenes materialtekniske egenskaper settes opp. Det må legges stor vekt på å finne frem til representative prøver. Jo færre prøver som skal analyseres, desto viktigere er det at de virkelig er representative for de kartlagte bergartstyper i materialteknisk henseende. For å unngå innvirkning av overflateforvitring, er det ofte nødvendig å sprengte ut prøver. I den forbindelse må en være oppmerksom på at nydannelse av sprengningsriss i prøvene kan finne sted.

Måling av *detaljsprekkers* (herunder foliasjonens) orientering og innbyrdes

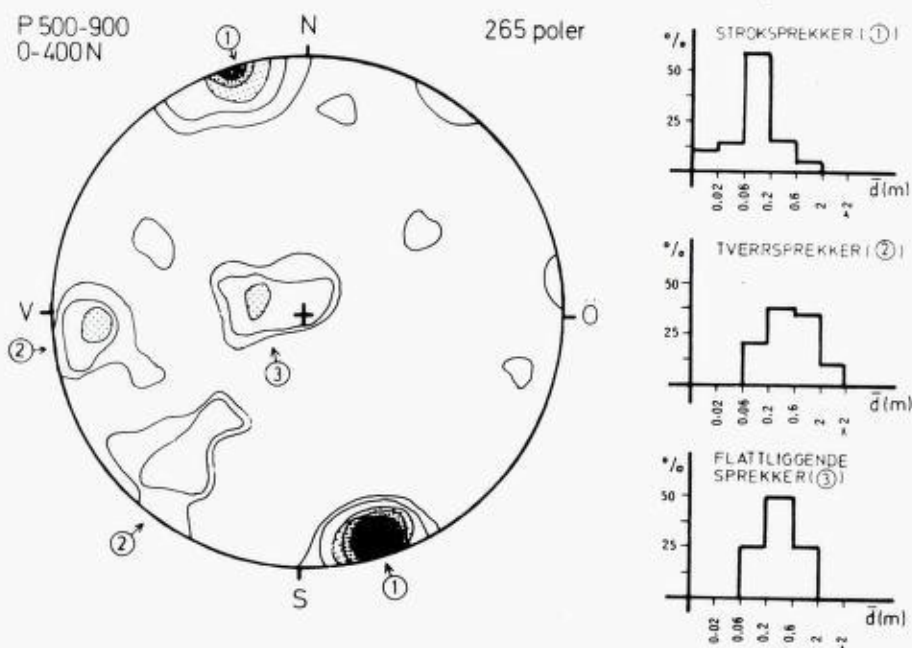


Fig. 10. Sprekkeobservasjoner plottet som poler i et stereografisk diagram. Histogrammene angir avstandene mellom sprekkene for de tre viktigste retningene. Fra Nilsen & Broch (1977).

avstand samt beskrivelse av deres karakter hører med til feltarbeidet. Dersom observasjonene skal presenteres i form av sprekkeroser eller behandles ved hjelp av stereografiske projeksjonsdiagram, må en sørge for at antall observasjoner gir et statistisk riktig bilde av de enkelte sprekkesystemer slik de forekommer i naturen. I uoverdekkede områder kan det være hensiktsmessig å kartlegge langs definerte linjer for å oppnå dette.

I figur 10 er vist hvordan resultatene fra en omfattende detaljsprekkekartlegging kan presenteres. Sprekkenes orientering er plottet i et stereografisk projeksjonsdiagram (Lamberts flatetro). Intensiteten av punktene er angitt med skravrur. Ved siden av dette er det vist histogrammer for sprekkeavstander for de tre viktigste sprekkesystemene.

*Svakhetssonenes* orientering beregnes best fra flyfoto- og kartstudier. Det kan imidlertid være nødvendig med supplerende observasjoner i felten. Problemet i felten vil som regel være å finne representative flater å måle på eller langs fordi det i og nær tektoniske bruddsoner alltid vil finnes en rekke sprekke- og sletteplan som ikke er parallelle med hovedsonens orientering. Studier i felten av en svakhetssones sidefjell samt av mineralisering og utvasking i og nær selve sonen, vil ofte kunne gi verdifulle informasjon om sonens karakter. Fastlegging av sikre punkter på en svakhetssones utgående gjøres ofte best i felten. Spørsmålet om hvorvidt en svakhetssone inneholder leirmineraler, vil derimot ikke kunne besvares under feltarbeidet. Heller ikke spørsmål om lekkasjeforholdene langs sonen.

*Grunnvannsførholdene* i et område søkes beskrevet under feltarbeidet på grunnlag av observasjoner av beliggenheten av vann, elver, bekker og myrer,

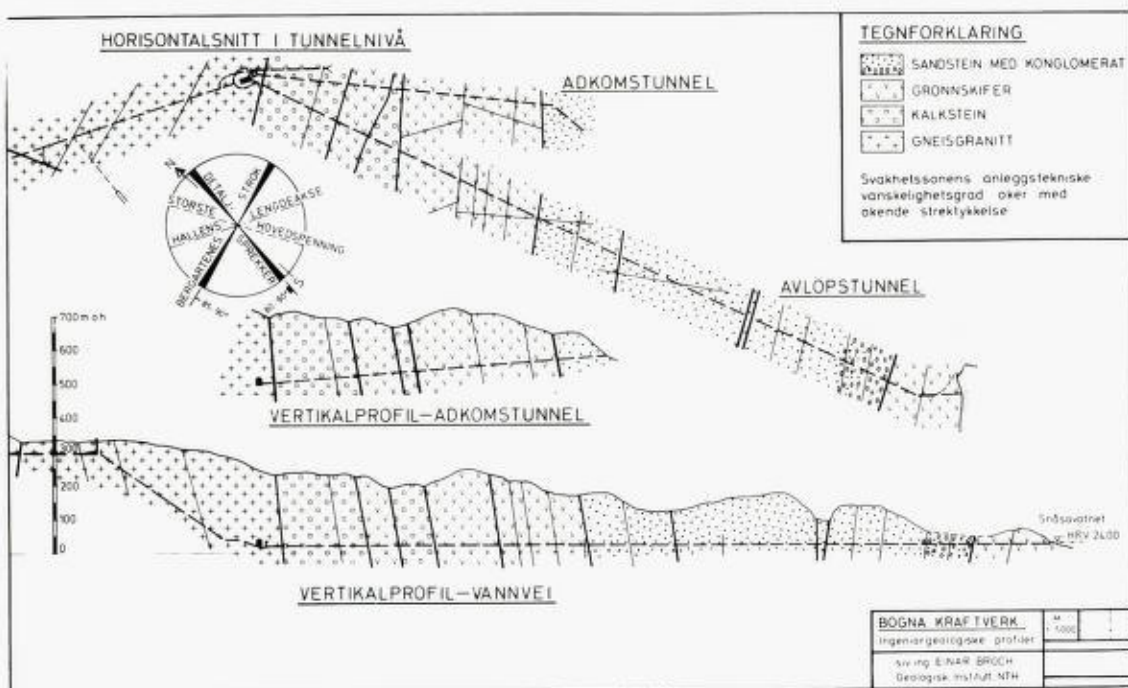


Fig. 11. Ingeniørgеologiske profiler for en del av tunnelsystemet ved Bogna Kraftverk, Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk.

samt vurderinger av løsmassenes og fjellmassenes permeabilitet. Særlig viktig er registreringer av eventuelle kildehorisonter. Fare for sjenerende isdannelse i et fjellanlegg eller i en fremtidig fjellskjæring må vurderes ut fra observasjoner av grunnvanns- og overflatevannsforholdene under feltarbeidet.

*Spenningsforholdene* vurderes som før nevnt i første rekke på grunnlag av de topografiske forhold, dernest på grunnlag av observasjoner av eksfoliasjon eller annen «unormal» oppsprekning. Det er et velkjent faktum at stabilitetsproblemer i form av såkalt bergslag og sprakefjell har forekommet i en rekke tunnelanlegg i steile fjord- og dalsider her i landet. Det er mulig å måle spenningene i fjellmassene, men foreløpig er det en forutsetning at borhull for innsetting av måleinstrumenter bores fra en underjordisk adkomst. En viss forutsigelse av mulighetene for bergtrykkproblemer kan en få ved å sammenholde bergartenes styrke med teoretisk beregnede spenningsverdier, f.eks. ved hjelp av såkalt endelig elementmodeller, Broch & Nilsen (1978).

#### FREMSTILLING AV RESULTATENE

De observasjoner og målinger som er skaffet til veie under feltarbeidet inntegnes på vanlige topografiske kart i hensiktsmessig målestokk, enten direkte eller i bearbeidet form som f.eks. sprekkeroser. Det er viktig at de symboler og karttegn som brukes for dette formål er klare og entydige. Fortrinnsvis bør

standardiserte tegn brukes, som f.eks. foreslått av Norsk Bergmekanikkgruppe (1974) eller Geological Society Engineering Group (1972).

Som regel vil det være nødvendig å supplere de ingeniørgeologiske kart med profiler gjennom anlegget slik som vist i figur 11. Disse skal i prinsippet vise de geologiske og fjelltekniske forhold slik de vil bli i det fremtidige anlegg. Det er imidlertid klart at disse profilene nødvendigvis må baseres på ekstrapolasjoner av mer eller mindre entydige og sikre observasjoner. De vil derfor ofte ha varierende grad av både nøyaktighet og sikkerhet. Dette må klart fremgå av den ledsagende rapport, og bør om mulig også angis både på kart og profiler.

Detaljundersøkelsene i felten avsluttes med en omfattende rapport som vanligvis vedlegges anbudsdokumentene. Den skal inneholde ingeniørgeologiske beskrivelser og stabilitets- og driftsmessige vurderinger av de enkelte deler av anlegget, bearbejdede resultater fra prøvetaking og laboratorieundersøkelser og sammenfattende tolkninger eller vurderinger av de spesialundersøkelser som er utført. Det skal klart fremgå av rapporten på hvilket grunnlag konstruksjoner, målinger, beskrivelser, vurderinger og tolkninger er foretatt. Feilgrenser må om mulig oppgis og usikkerheter ikke skjules.

. En hensiktsmessig kapitteinndeling for en slik rapport kan f.eks. være:

1. *Innledning.* Beskrivelse av bl.a. bakgrunnsmateriale, tidspunkt for de forskjellige undersøkelser, spesielle forhold ved anlegget, evt. om løsmassene dersom ikke eget kapittel er nødvendig.
2. *Bergarter og bergartsfordeling.* Om bergartenes alder og petrografiske sammensetning, spesielt deres innhold av teknisk interessante mineral. Deres fordeling innen anleggsområdet, kommentarer til kartene.
3. *Bergartenes mekaniske egenskaper.* Om prøvetakingen og de utførte laboratorieanalyser. Vurdering av bergartenes styrke og anvendbarhet og de beregnede indekser for borbarehet og sprengbarhet.
4. *Fjellmassens oppsprekning.* Beskrivelse av de forskjellige sprekkesystemers karakter som avstander, utholdenhet, planhet, ruhet, innhold av sprekkebelegg etc.
5. *Svakhetssonene.* Generell beskrivelse av de tektoniske forhold i området. Detaljert beskrivelse av hver enkelt svakhetssone som berører anlegget. Vurdering av beregningsnøyaktigheten for strøk og fall.
6. *Bergtrykk.* Beskrivelse av spenningsforholdene basert hovedsakelig på analyse av de topografiske forhold. Vurdering av evt. spenningsavløsende svakhetssoner.
7. *Vannforholdene.* Lekkasjefaren, samt faren for isdannelse i påhuggsområder omtales.
8. *Sikringsarbeider.* Oversikt over typer og mengder av sikringsmidler som antas nødvendig.

9. *Undersøkelser i anlegget.* Beskrivelse av de undersøkelser som må utføres når fjellet er åpnet.

### Detaljundersøkelser i anlegget

Når anleggsdriften er satt i gang og fjellet åpnet, øker ingeniørgeologens muligheter for informasjoner betraktelig. Etterundersøkelsene bør settes i gang så snart som mulig idet de fleste forhold omkring fjellmassenes egenskaper og svakhetssonenes karakter kan undersøkes lettere og sikrere nede i anlegget enn oppe i dagen. I undersøkelsesprosessen for et anlegg vil en således alltid måtte foreta en avveining mellom ønsket om informasjon før igangsettelsen av anleggsdriften og mulighetene for å kunne greie seg uten denne inntil fjellet er åpnet.

En høy grad av fleksibilitet og relativt sparsomme forundersøkelser har ofte preget anleggsdriften her i landet. I slike tilfeller er det særlig viktig at etterundersøkelsene kommer i gang tidlig i anleggstiden. En kan nærmest betrakte det som om en del av forundersøkelsene er utsatt til fjellet er åpnet. Som eksempel kan nevnes at kostbare forundersøkelser som dype kjerneboringer fra dagen før anleggsdriften igangsettes, ofte med fordel kan erstattes av enkle sonderboringer fra stoffen i tunnelen.

Viktigst for anleggsdriften er det utvilsomt snarest mulig å få dannet seg et mer komplett bilde av svakhetssonenes karakter enn det undersøkelser i dagen tillater. Som regel vil sprekker og svakhetssoner med samme orientering ha den samme utvikling. Finner en derfor f.eks. svelleleire på knusningssoner med en bestemt orientering, er det grunn til å anta at parallelle soner som måtte krysse anlegget senere, vil ha svelleleire av samme type. Etter at noen få svakhetssoner er passert, vil en derfor ha et vesentlig sikrere grunnlag for å beregne fremdriften av anleggsarbeidene enn en hadde etter forundersøkelsene. Likeledes kan de nødvendige sikringsarbeider nå meget bedre planlegges.

Spenningsforholdene i fjellmassene kan som tidligere nevnt bare måles fra en underjordisk adkomst. Slike målinger er derfor et godt eksempel på en type detaljundersøkelser som nødvendigvis må utsettes til fjellet er åpnet. Ellers vil observasjoner av nydannelse og åpning av sprekker i anlegget, av såkalte «bomfjeldannelser» og av sprakefjell kunne fortelle noe om både hovedretninger og størrelse av spenningene i anlegget.

Analyse av sleppematerialer fra de svakhetssoner som anlegget kommer i berøring med, er nødvendig for å kunne fastlegge hvilke sikringstiltak som skal tas i bruk. Slike analyser utføres gjerne i sentrale laboratorier. Det er imidlertid mulig å utføre enkelte av analysene i mindre velutstyrte, lokale anleggslaboratorier. Dette burde nok gjøres i større grad enn i dag etter som kontroll med alle svakhetssoner, og ikke bare enkelte utvalgte, er en sentral del av etterundersøkelsene i et fjellanlegg.

Detaljundersøkelsene i anlegget skal imidlertid ikke bare være mer eller mindre frivillig utsatte forundersøkelser. Minst like viktig er det at de legges opp slik at det blir en grundig kontroll av forundersøkelsene. Det må nødvendigvis



## SKJEMA FOR INGENIØRGEOLOGISK KARTLEGGING AV TUNNEL

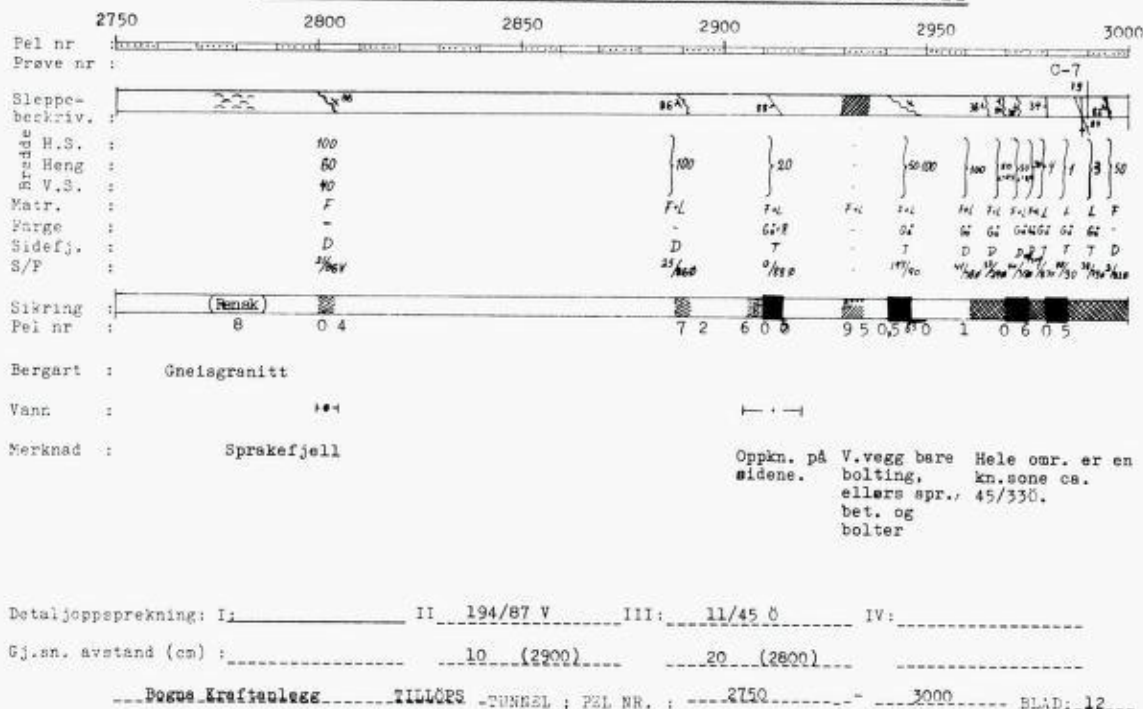


Fig. 12. Urfylt skjema for ingeniørgeologisk kartlegging av tunnel. Detaljert beskrivelse av skjemaet og de anvendte tegn og symboler er gitt i Broch (1973).

inngå en del antakelser i rapporten fra forundersøkelsene. Jo snarere disse blir kontrollert, desto bedre for den gjenværende del av anlegget. Rapporten bør under hele anleggsperioden være under kontinuerlig revisjon.

### Tunnelkartlegging

En del fjellanlegg vil, etter at de er tatt i bruk, bli vanskelig tilgjengelig for senere inspeksjon, f.eks. tunneler som settes under vann. For byggherren er det da hensiktsmessig å ha arkivert kart og tegninger som nøye beskriver anlegget — også hva angår de ingeniørgeologiske forhold og de utførte sikringsarbeider.

Foruten å kartlegge geologiske elementer som bergartsfordeling, strukturer og detaljoppsprekning, må det ved tunnelkartlegging legges særlig vekt på å få registrert de stabilitetsforstyrrende forhold såsom slepper, tektoniske bruddsoner, vannlekkasjer og partier med bergtrykkproblemer. Det må imidlertid medgis at dårlig lys og tilsmussede tunneloverflater er faktorer som ofte vanskeliggjør dette arbeidet.

Den grafiske måte å presentere observasjonsresultatene på vil variere med kravet til målestokk på profilene. Et eksempel på fremstilling av tunnelkart i relativt liten målestokk er vist i figur 12. Under kompliserte forhold kan det være nødvendig at det kommer frem nøyaktig hvor i veggene og taket sprekker,

slepper og bruddsoner etc. Målestokken må da økes, og observasjonene inntegnes på et utbrett av tak og vegger. Også for tunnelkartlegging er det viktig at karttegnene og symbolene velges med omhu slik at en får frem mest mulig observasjoner uten at kartet blir vanskelig å lese. Se forslag fra Norsk Bergmekanikkgruppe (1974) m.h.t. standardiserte symbol og karttegn.

Stereografisk fotografering av tunnelen etter hvert som stoffen går fremover kan være en hensiktsmessig form for kartlegging hvor en har vanskelig fjell. Dersom siste salve fotograferes umiddelbart etter at den er utlastet, vil fjellflatene fremdeles være rene. Det kreves et godt kamera og meget godt lys. Positiv fargefilm har gitt de beste resultater.

Etterundersøkelsene er et viktig ledd i prosessen med å samle ingeniørgeologisk erfaringsmateriale. Forundersøkelsesmetodikken kan bare forbedres ved at de fremlagte prognoser blir nøye kontrollert gjennom etterundersøkelser. Spesielt der hvor prognosene har slått feil, er det av betydning at en søker å finne grunnen til dette slik at lignende feil i fremtiden kan unngås. Når et anlegg er avsluttet og etterundersøkelsene gjennomført, bør det derfor lages en sluttrapport. I denne samles og vurderes de erfaringer som er gjort. Det er naturlig at den bilegges med kart og tegninger som beskrevet ovenfor.

## Spesialundersøkelser

### GRØFTER, SJKTER OG STOLLER

Ikke sjelden hender det at kombinasjon av flyfotostudier og kartlegging i felten ikke gir tilstrekkelig sikre svar på de spørsmål om fjellgrunnens beliggenhet og karakter som må stilles før et anlegg kan bygges i fjell. Det blir da nødvendig å bruke andre metoder, vanligvis basert på bruk av kostbart teknisk utstyr.

I områder med utbredt løsmasseoverdekning kan det kastes opp *grøfter* slik at en får blottlagt striper av fjellgrunnen. Dette blir imidlertid snart for kostbart dersom ikke løsmasselaget er lett gravbart og har gjennomsnittlig tykkelse mindre enn et par meter. Til noe større dyp kan en gå med *sjaktning*. Men istedenfor informasjonen om fjellgrunnen langs en linje får en da punktvis informasjon. Det er kun på steder hvor det er av vital betydning for anlegget å få detaljert kjennskap til fjellgrunnen at bruken av slike metoder kan forsvares.

Utsprengning av *undersøkelsesstoller*, som oftest tunneler med minimumstverrsnitt, er også en meget kostbar metode for å skaffe seg opplysninger om fjellmassens egenskaper. Det gjøres derfor vanligvis bare dersom stollen også på annen måte kan utnyttes under anleggsdriften eller i det ferdige anlegg. Ved bygging av store dammer kan en eksempelvis foreta de senere injiseringsarbeider fra undersøkelsesstollene og på den måten redusere omkostningene for disse arbeidene. Likeledes kan det være aktuelt å gå frem med en undersøkelsesstoll i et område for en stor fjellhall før den definitive plassering og orientering av hallen fastlegges. Stollen bør senere kunne inngå i anlegget eller kunne redusere utsprengningskostandene ved at det strosses mot den. Dersom det er nødvendig for anlegget at spenningene i fjellgrunnen måles før selve anlegget påbegynnes, er en undersøkelsesstoll ikke til å unngå.

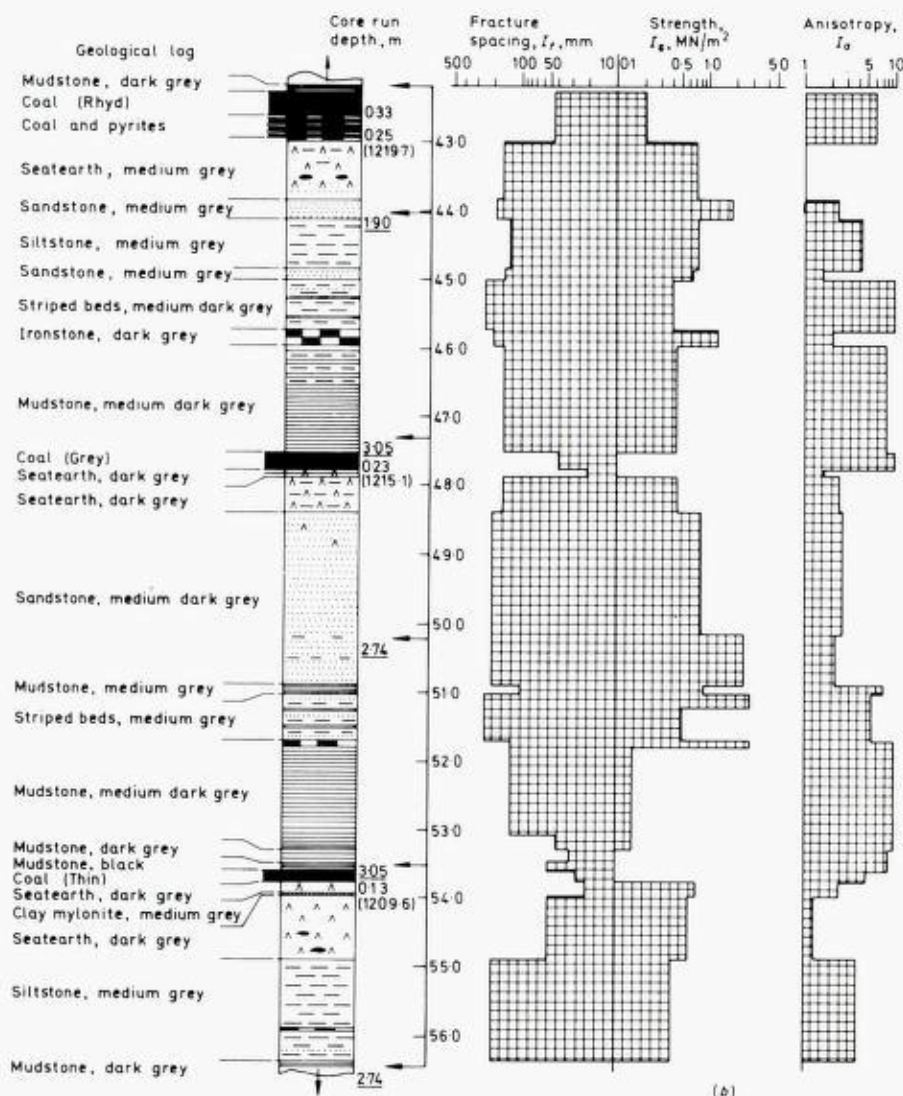


Fig. 13. Eksempel på ingeniørgeologisk beskrivelse av bergartskjerner, Franklin & al. (1971). Se for øvrig teksten.

#### BORINGER

De enkleste og billigste former for undersøkelsesboringer er de såkalte sonderboringer. De vil normalt kunne gi rimelig sikre opplysninger om dybden til fast fjell. Vanligvis utføres de som ramsondering ved hjelp av en slagbormaskin. Feiltolkning kan gjøres dersom boret treffer en stor blokk. En vil da kunne få «fjellklang» når en slår på boret før fast fjell er nådd. Ved å følge med i borets nedtrengningshastighet i løsmassene kan en også få visse informasjonen om disse. Bedre informasjonen om løsmassene fås ved dreiesondering for hånd. Sonderboringer utføres normalt kun til begrenset dyp, et par timetre.

Dersom det er behov for å skaffe til veie prøver av fjellmassene — og for så

vidt også av overliggende løsmasser — er det kjerneboring med diamantkrone og dobbelt kjernerør som benyttes. Med denne metode kan en nå dyp på flere hundre meter. Metoden er imidlertid kostbar og bør bare anvendes etter nøye overveing. Før dybde og retning for et påtenkt hull fastlegges, bør det foreligge en begrunnet hypotese for anvendelse av de informasjonen som søkes oppnådd. En må være sikker på at tilsvarende informasjonen ikke kan oppnås på annen og billigere måte, eller at en utsettelse med informasjonen til fjellet er åpnet ikke kan tåles.

Det kjernemateriale som bringes opp til overflaten er kostbart, og det er derfor nødvendig at en får mest mulig opplysninger ut av det. En omhyggelig logging av materialet bør foretas, fortrinnsvis umiddelbart etter at det er kommet opp idet uttørring, frysing og lagring kan endre materialets egenskaper. Et eksempel på en kjernelogg er vist i figur 13. Den har:

- dybdeskala med angivelse av bunnen av hver enkelt kerne (pil og understreket tall),
- petrografisk beskrivelse av kjernen både med tekst og symboler,
- grafisk fremstilling av midlere sprekkeavstand,  $I_f$ , innen hovedtypene av bergarter,
- grafisk fremstilling av punktlaststyrken,  $I_s$ , for bergartene,
- grafisk fremstilling av styrkeanisotropiindeksen,  $I_a$ , for bergartene (basert på diametral og aksial punktlasttesting av kjernene).

Avhengig av formålet med kjerneboringen kan loggen suppleres med grafisk fremstilling av andre data (borsynk, lyd hastighet, vannlekkasjer, forvittringsbestandighet osv.). Selve borhullet brukes ofte til vanninnpresningsforsøk, og resultatene føres inn på kjerneloggen. Det er også utviklet så vel vanlige kamera som TV-kameraer for avbildning av borhullsveggen, Mohrfeldt (1975).

Prøvetaking fra svakhetssoner er ofte vanskelig. Vannspylingen fører som oftest til at leire og andre sleppematerialer føres bort med spylevannet. Det kan derfor være hensiktsmessig å analysere spylevannet. Eventuelt innhold av montmorillonitt i spylevannet kan avsløres ved hjelp av fargetester (malachittgrønt). Ellers vil som oftest sentrale deler av svakhetssoner bli registrert i form av kjernetap. Kjernetap kan imidlertid skyldes maskin eller operatør og er ikke noe entydig bevis for svakhetszone. En bør ellers forsøke å rette inn boret så normalt på en svakhetszone som mulig for å få pålitelig registrering.

Lengre diamantborhull får ofte avvik fra den påsatte boreretning. For måling av avviket er utviklet spesielle instrumenter som føres ned i hullet. Avgjørende for avviket er variasjonene i fjellmassens egenskaper, vinkelen mellom boreretningen og retningene for foliasjon og detaljsprekker, samt rotasjonshastighet og matertrykk.

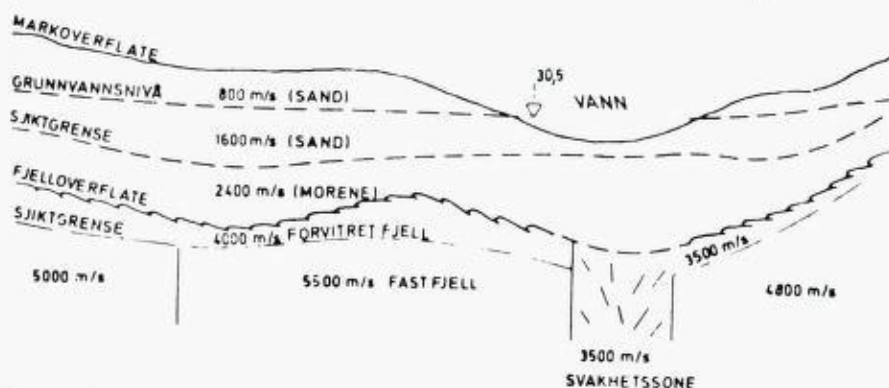


Fig. 14. Eksempel på geologisk profil fremstilt på grunnlag av refraksjonsseismiske undersøkelser.

#### SEISMISKE UNDERSØKELSER

De seismiske målemetoder er detaljert omtalt i en rekke lærebøker i anvendt geofysikk, som f.eks. Griffiths and King (1969) og Parasnis (1972). Kortere omtaler av den refraksjonsseismiske metode er gitt i flere lærebøker i ingeniørgeologi. Dette er nemlig den av de geofysiske målemetoder som er mest anvendt innen ingeniørgeologi. Kort fortalt går den ut på at når sjokkbølger forplantes gjennom ulike media, som f.eks. morene og fjell, vil de for det første gå med ulik hastighet. Dessuten vil utbredelsesretningen, «lydstrålen», bli refraktert (brutt) ved overgangen mellom to medier med ulik forplantningshastighet.

Ved ingeniørgeologiske undersøkelser brukes metoden i første rekke for å bestemme dybden til fast fjell. En kan imidlertid også få opplysninger om grunnvannspeilets beliggenhet og om overgangssoner mellom vesensforskjellige jordarter, f.eks. marin leire over hardpakket bunnmorene. Steiltstående svakhetssoner vil kunne avsløres som partier i fjellgrunnen med lav hastighet, se eksempel på profil i figur 14. For øvrig vil ganghastighetene for de forskjellige lag fortelle noe om deres egenskaper, f.eks. om hvor hardpakket et morenelag er eller hvor oppsprukket fjellmassene er.

Det har således vært gjort flere forsøk på å korrelere både løsmassers og fjellmassers seismiske hastigheter med noen av deres materialtekniske egenskaper som f.eks. gravbarhet eller stabilitetsforhold i tunneler, Cecil (1971).

Ved vurdering av resultater fra seismiske målinger er det viktig at en har klart for seg at det som er målt er tidsforløp for sjokkbølger i enkelte punkter langs profilet. Hva som for øvrig presenteres er basert på beregninger og interpolasjoner mellom enkeltpunktene utført på grunnlag av mer eller mindre velbegrunnede antakelser. Seismiske profil vil derfor vanligvis vise et utjevnet bilde av en fjelloverflate. Trange kløfter og skarpe avtrappinger i fjellgrunnen er det ofte vanskelig å få frem på profilene, spesielt hvis disse er på store dyp. Dette er nettopp fenomen som er av stor interesse ved ingeniørgeologiske undersøkelser.

Av feilkilder ved seismiske refraksjonsmålinger kan nevnes at hvis lydstrålen på sin veg nedover i jordskorpen treffer et sjikt med lavere hastighet enn det overliggende, vil det aldri fra denne sjiktgrense komme refrakterte bølger opp

igjen til overflaten. Lavhastighetssjiktet vil derfor ikke kunne erkjennes av måledataene. De virkelige dyp vil være mindre enn de beregnede. Generelt må det derfor sies at usikkerheten i de beregnede dyp øker med antall sjikt. Videre kan det forekomme at en sjiktgrense ikke avspeiler seg i de opptegnede diagrammer, fordi de refrakterte bølger fra denne grense når overflaten senere enn fra en dypere grense. Det foreligger da en såkalt «blind sone», og de virkelige dybder kan være vesentlig større enn de begrensede.

Dersom det ved en måling oppnås seismogrammer av gjennomsnittlig god kvalitet, kan en regne med en nøyaktighet i dybdebestemmelsene på 1 meter for dybder ned til 10 meter. For dyp under 10 meter er nøyaktigheten ca. 10 %. Usikkerheten i bestemmelsene reduseres ofte betraktelig dersom en kan revidere de seismiske profil ved hjelp av noen boringer.

#### BEREGNING OG MÅLING AV SPENNINGER

Spenningsfordelingen i fjell og rundt fjellrom kan en skaffe seg et bilde av ved å benytte fysiske eller matematiske modeller. Da fjell er et materiale som er vanskelig å modellere, har fysiske modeller etter hvert blitt mindre brukt. For spesielle formål som f.eks. vurderinger av spenningsfordelingen rundt åpninger, vil imidlertid en metode som den fotoelastiske fremdeles ha visse fortrinn.

Ellers er i stor grad de fysiske modeller erstattet av de matematiske modeller i de senere år, spesielt etter som den såkalte «endelig element-metoden» har utviklet seg og etter som regnemaskinenes kapasitet har økt. Ved hjelp av denne metode kan en relativt enkelt modellere selv kompliserte geometriske modeller. Likeså kan en enkelt foreta endringer av utgangsbetingelsene omkring fjellets mekaniske egenskaper. En må imidlertid holde klart for seg at uansett hvor riktig modellen er geometrisk sett og uansett hvor omfattende regnemaskinprogrammet er, så vil verdien av resultatet være avhengig av riktigheten av de materialeegenskaper en velger å basere beregningene på. Det er den kvantitative beskrivelse av det ofte meget kompliserte materiale som heter fjellmasse som i dag i første rekke setter grenser for hvor godt spenningsfordeling kan beregnes. Figur 15 viser et eksempel på hvordan resultatene fra en endelig element-analyse kan presenteres.

De instrumenter som er utviklet for måling av spenninger i fjell kan deles i to kategorier:

- 1) Instrumenter som måler spenninger.
- 2) Instrumenter som måler tøyninger eller deformasjoner.

Felles for samtlige instrumenter er at de må føres inn i fjellet, enten i en sliss eller i et borhull. Dermed forstyrres den opprinnelige spenningstilstand, noe som også kan endre fjellets mekaniske egenskaper i borhullsveggen. Når instrumenter som måler tøyninger eller deformasjoner benyttes, beregnes spenningene v.h.j.a. laboratoriemålte elastisitetparametere og ved å bruke elastisitetsteorien.

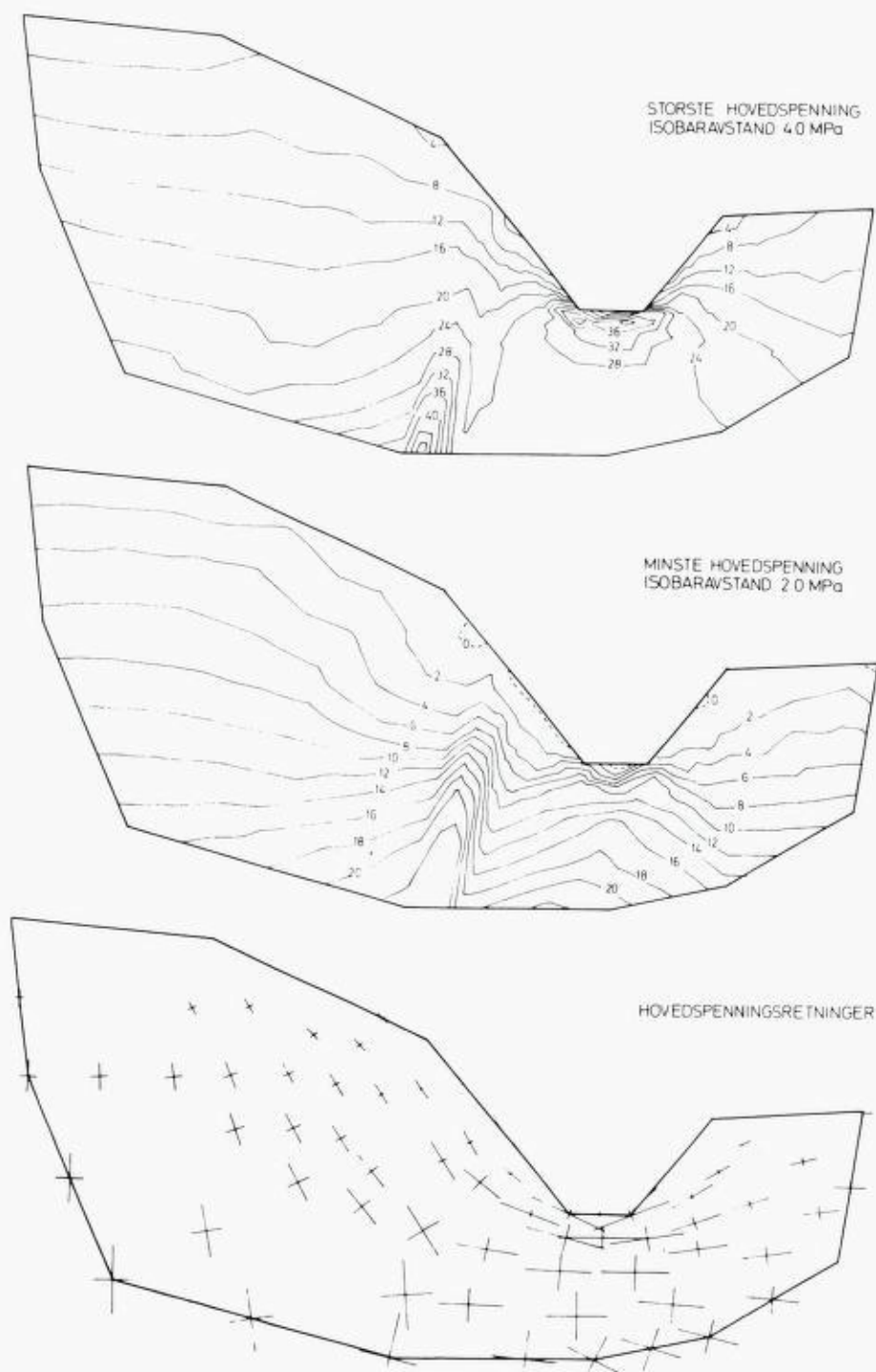
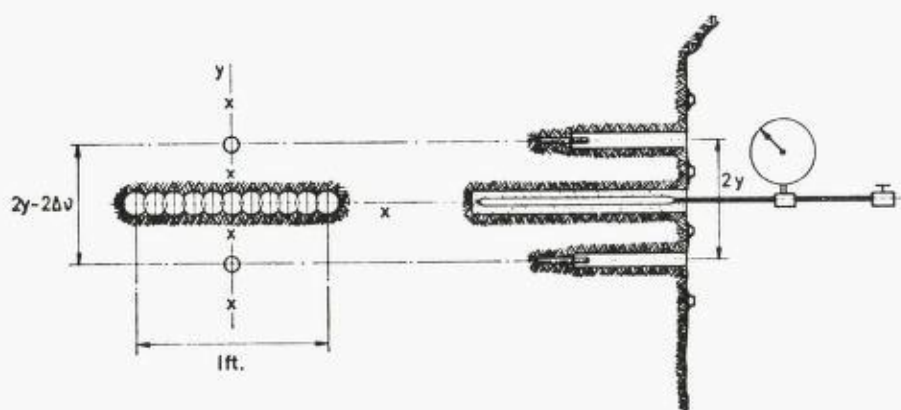
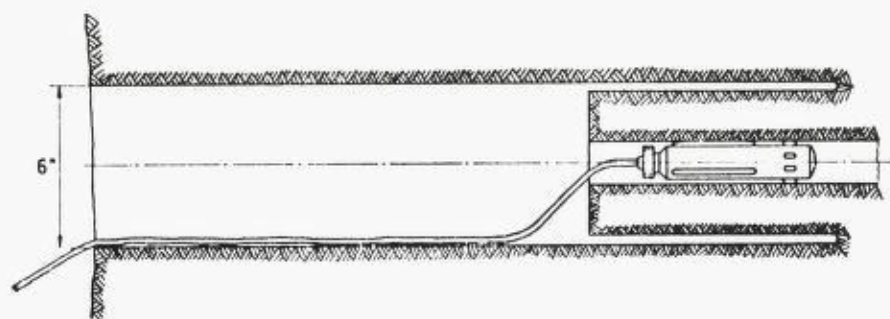


Fig. 15. Resultater fra en endelig element-analyse for Ørtfjell dagbrudd i Rana. Størrelsen av største og minste hovedspenning er vist i form av isobarkart (øverst og i midten), hovedspenningsretningene i form av spenningskors (nederst). Fra Nilsen & Broch (1977).



A



B



C

Fig. 16. Instrumenter for måling av spenninger i fjell. A) Flat-jekk. B) og C) Tøynings- eller deformasjonsmålere for henholdsvis periferien og bunnen av et bor hull.



*Flat-jekk*-metoden er i prinsippet en enkel og direkte metode for måling av spenninger. Ved å bore en serie overlappende hull lages en sliss i fjell, og i denne innstøpes en flat, sirkulær jekk, se figur 16 A. På forhånd er satt opp målebolter over og under slissen, og avstand mellom disse er målt. Når slissen er laget, vil fjellet ekspandere inn mot denne, og avstanden mellom måleboltene reduseres. Ved å pumpe opp jekken presses fjellet tilbake igjen slik at deformasjonen mellom måleboltene blir null. Det trykk en da har i jekken antas å være likt det trykk en hadde i fjellet før slissen ble kuttet. De viktigste innvendinger mot metoden er for det første at den bare kan måle spenninger nær overflaten. For det andre kan målingene påvirkes av ukontrollerbare, ikke-elastiske deformasjoner i fjellet under og etter oppboringen av slissen før mottrykket kommer på.

*Borhullsdeformasjon* måles ut fra den erkjennelse at enhver åpning i et medium deformeres i henhold til de spenningsendringer som mediet utsettes for. Flere typer av instrumenter som måler deformasjonene langs én eller flere diametere i borhullet er utviklet. Tøyningssendringer i selve borhullsveggen kan også måles ved at såkalte strekkklapper limes på denne. Dersom målehullet overbores med et kjernebor med større diameter, vil materialet mellom målehullet og kjerneborslissen bli spenningsfritt, se figur 16 B. Deformasjonsendringene i borhullet eller tøyningssendringene i borhullsveggen registreres, og de absolutte spenninger i fjellet på dette sted kan beregnes — forutsatt at fjellets elastiske egenskaper er kjent. Metoden gjør det mulig å beregne spenningene på en rekke punkter innover langs et borhull. Målinger kan også foretas relativt langt fra overflaten. Metoden bør ikke brukes dersom spenningsnivået rundt borhullet nærmer seg bergartens styrke idet brudd da kan inntreffe. Materialet vil da ikke lenger oppføre seg elastisk, noe som er en forutsetning for spenningsberegningene.

*Målinger på borhullsbunnen* gjøres ved at bunnen flates av og deformasjonsmålere eller tøyningsgivere limes til denne. Fotoelastiske glassplater og strekkklapper har vært brukt («door stopers»). Sammenlignet med borhullsdeformasjonsmålinger har metoden den fordel at overboring kan foretas med bor med samme utvendige diameter som målehullets, se figur 16 C. Det vil derfor også være mulig å foreta målinger lenger fra overflaten med denne metode enn med den andre idet kravet til konsentrering av to borhull bortfaller. Innvendingene og forbeholdene vil imidlertid være de samme. I tillegg kommer de usikkerheter en har med spenningskonsentrasjoner ved enden av et borhull.

*Borhullsspenningsmålere* skiller seg fra deformasjonsmålerne ved at de er stive måleinstrumenter med en elastisitetmodul som er større enn fjellets. De brukes for å måle spenninger direkte. Dersom en slik spenningsmåler støpes inn i et borhull slik at spenninger og forskyvninger langs grensen mellom instrumentet og det omgivende fjell alltid er kontinuerlig, vil enhver endring av spenningene i fjellet forårsake en endring av spenningene i instrumentet. Flere metoder for registrering av disse spenningsendringene har vært brukt, bl.a. en magnetisert nikkelblokk, Hast (1952). Ved overboring av spenningsmåleren kan absolutte spenninger finnes.

## LITTERATUR

- Foruten de nedenstående refererte forfattere, kan det nevnes at det ved den årlige, norske bergmekanikkdag (i Oslo i november) er gitt en rekke interessante beskrivelser av så vel undersøkelsesmetoder og utførte undersøkelser som av forskjellige typer av anlegg i fjell. Disse foredragene foreligger i bokform, for 1971—72 utgitt av Ingeniørforlaget, Oslo og f.o.m. 1973 utgitt av Tapir forlag, Trondheim.
- Barbo, T. F. & Bollingmo, P. 1978: Experience from cold storage plant in rock cavern. In Bergman, M. (ed.): *Storage in Excavated Rock Caverns*. Pergamon Press, Oxford, 163 — 166.
- Berg-Christensen, J. & Selmer-Olsen, R. 1970: On the resistance to blasting in tunnelling. *Proc. 2nd Inter. Congr. Rock Mechanics, Belgrade*, paper 5-7, 6 pp.
- Brekke, T. L. 1965: On the measurement of the relative potential swellability of hydrothermal montmorillonite clay from joints and faults in Pre-Cambrian and Paleozoic rocks in Norway. *Inter. J. of Rock Mech. Min. Sci.* 2, 155-165.
- Brekke, T. L. & Selmer-Olsen, R. 1965: Stability problems in underground constructions caused by montmorillonite-carrying joints and faults. *Engrg. Geology* 1, 3-19.
- Broch, E. 1971: Klassifisering av fjellets mekaniske egenskaper ved punktlastmetoden. *Tekn. Ukeblad* 118, 21-24.
- Broch, E. 1973: Ingeniørgeologiske undersøkelser ved Bogna Kraftverk. I *Bergmekanikk 1972*, Ingeniørforlaget, Oslo, p. 167-179.
- Broch, E. & Franklin, J.A. 1972: The point load strength test. *Inter. J. Rock Mech. Min. Sci.* 9, 669-697.
- Broch, E. & Nilsen, B. 1978: Beregninger, målinger og observasjoner av spenninger ved Ørtfjell dagbrudd. I *Fjellspr.tekn. — Bergmek. — Geotekn.* 1977. Tapir, Trondheim, p. 24.1-24.10.
- Broch, E. & Rygh, J.A. 1976: Permanent Underground openings in Norway — design approach and some examples. *Underground Space* 1, 87-100.
- Cecil, O.S. 1971: Correlation of seismic refraction velocities and rock support requirements in Swedish tunnels. *Statens Geotekn. Inst., särtrykk no. 40*, 1-58, Stockholm.
- Franklin, J. A., Broch, E. & Walton, G. 1971: Logging the mechanical character of rock. *Trans. Instn. Min. Metall.* 80, A1-9.
- Geological Society 1972: The preparation of maps and plans in terms of engineering geology. *Q. Jl. Engrg. Geology* 5, 293-382.
- Griffiths, D. H. & King, R. F. 1969: *Applied geophysics for engineers and geologists*, 223 pp. Pergamon Press, Oxford.
- Hast, N. 1958: The measurements of rock pressure in mines. *S.G.U. Årsbok* 52, no. 3, Stockholm.
- Hoek, E. & Bray, J. W. 1974: *Rock slope engineering*, 309 pp. Inst. Min. Metall., London.
- Jaeger, J. C. & Cook, N.G.W. 1969: *Fundamentals of rock mechanics*, 513 pp. Methuen & Co., London.
- Knutson, Å. & Eggestad, Å. 1976: Utbredelse av grunnvannsenking og resulterende setninger ved tunneldrift i tettbygdde områder. I *Fjellspr.tekn. — Bergmek. — Geotekn.* 1977. Tapir, Trondheim, p. 17.1-17.8.
- Larsen, T. M. & Meisingset, H. 1978: Silos for molasses at Stavanger. In Bergman, M. (ed.): *Storage in Excavated Rock Caverns*. Pergamon Press, Oxford, 669-674.
- Lien, R. & Løset, F. 1978: A review of Norwegian rock caverns storing oil products or gas under high pressure or low temperature. In Bergman, M.: *Storage in Excavated Rock Caverns*. Pergamon Press, Oxford, 199-201.
- Mohrfeldt, C. O. 1975: Lagring av olja och gas i oinklädda berggrum. I *Fjellspr.tekn. — Bergmek.* 1974. Tapir, Trondheim, p. 18.1-18.18.
- Nilsen, B. & Broch, E. 1977: Undersøkelser av stabilitetsforholdene for Ørtfjell dagbrudd i Rana. I *Fjellspr.tekn. — Bergmek. — Geotekn.* 1976. Tapir, Trondheim, p. 21.1-21.29.
- Norsk Bergmekanikkgruppe, 1974: *Forslag til terminologi, definisjoner og karttegn innen bergmekanikk og ingeniørgeologi*, 70 pp. Eget forlag.
- Parasnis, D.S. 1972: *Principles of applied geophysics*, 214 pp. Chapman & Hall, London.
- Selmer-Olsen, R. 1976: *Ingeniørgeologi del 1, generell geologi*, 2. utg., 281 pp. Tapir, Trondheim.
- Selmer-Olsen, R. & Blindheim, O. T.: On the drillability of rock by percussive drilling. *Proc. 2nd Inter. Congr. Rock Mech., Belgrade*, paper 5-8, 6 pp.
- Selmer-Olsen, R. & Rokoengen, K. 1974: About swelling tests and stability of clay zones in hard rock. In *Advances in Rock Mechanics, Vol. II*, Nat. Acad. Sciences, Washington D.C. 1061-68.
- Sæther, L. K. 1974: Oset rense- og pumpeanlegg. Fjell-kontra daganlegg. I *Fjellspr.tekn. — Bergmek.* 1973. Tapir, Trondheim, 12.1-12.10.
- Zaruba, Q. & Mencl, V. 1976: *Engineering Geology*, 504 pp. Elsevier, Amsterdam.

# NYERE KART FRA NGU

(En liste over tidligere kart er trykket på 3. omslagsside i alle Bulletins og Skrifter fra og med Bulletin 20, NGU nr. 300)

FARGETRYKTE KART (Selges fra Universitetsforlaget, kr. 30,-)

1:250000	Sauda	Berggrunnsgeologi
	Trondheim	— » —
	Østersund (under trykking)	— » —
1:100000	H 17 Flovær	Berggrunnsgeologi
	N 10 Skjomen	— » —
1: 50000	1917 II Rena	Berggrunnsgeologi
	2018 II Engeren	— » —
	2017 I Jordet	— » —
	2017 IV Nordre Osen	— » —
	1521 II Hølonda (under trykking)	— » —
	1321 I Smøla	— » —
	1733 II Cier'te	— » —
	1934 IV Gargia (under trykking)	— » —
	1621 IV Trondheim	Kvartærgeologi
	1916 III Toten	— » —
	2018 III Elvdal	— » —
	B30 Aust. Førde	— » —
	1115 I Bergen	Hydrogeologi
1: 20000	Øvre Romerike	Hydrogeologi
	Gardermoen (CQR 051052-20)	Kvartærgeologi

KART I SVART/KVITT (Selges direkte fra NGU i form av lyskopier. Pris kr. 12,- for papirkopi og kr. 60,- for folietransparent)

1:250000	Enontekio	Berggrunnsgeologi	(Preliminær utgave)
	Nordreisa	— » —	— » —
	Svolvær	— » —	— » —
1.100000	Y 1 Nordkyn	Berggrunnsgeologi	(Preliminær utgave)
	Y 3 Vestertana	— » —	— » —
	Z 3 Tana	— » —	— » —
	J 15 Svartisen	— » —	— » —
	K 14 Beiardalen	— » —	— » —
	K 15 Dunderlandsdalen	— » —	— » —
1: 50000	1734 IV Nordreisa	Berggrunnsgeologi	(Preliminær utgave)
	1314 I Røldal	— » —	— » —

1: 50000	1212 I Høle	Aeromagnetisk	1: 50000	1314 IV Fjæra	Aeromagnetisk
	1212 IV Stavanger	»		1414 I Sognevatnet	»
	1312 I Øvre Sirdal	»		1414 IV Haukelisæter	»
	1312 IV Frafjord	»		1315 I Ullensvang	»
	1412 I Austad	»		1315 II Ringedalsvatnet	»
	1412 IV Kvifjorden	»		1315 III Odda	»
	1113 I Haugesund	»		1415 I Bjøreio	»
	1113 II Skudeneshavn	»		1415 II Nordmannslågen	»
	1113 IV Utsira	»		1415 III Härteigen	»
	1213 I Vindafjord	»		1415 IV Eidfjord	»
	1213 II Strand	»		1515 I Skurdalen	»
	1213 III Rennesøy	»		1515 II Kalhovd	»
	1213 IV Nedstrand	»		1515 III Lågaros	»
	1313 I Blåfjell	»		1515 IV Hein	»
	1313 II Lysekammen	»		1615 I Skjønne	»
	1313 III Lyngsvatnet	»		1615 II Nore	»
	1313 IV Sand	»		1615 III Austbygdi	»
	1413 I Urdenosi	»		1615 IV Uvdal	»
	1413 II Valle	»		1715 I Strømsåttbygda	»
	1413 III Rjuven	»		1715 II Sigdal	»
	1413 IV Botsvatn	»		1715 III Rollag	»
	1513 I Bandak	»		1715 IV Flå	»
	1513 III Grøssæ	»		1815 III Hønefoss	»
	1513 IV Dalen	»		1815 IV Sperillen	»
	1114 I Fitjar	»		1624 I Vikna	»
	1114 II Bømlo	»		1624 II Nord-Flatanger	»
	1214 I Kvinnherad	»		1724 I Foldereid	»
	1214 II Etne	»		1724 II Salsvatnet	»
	1214 III Ølen	»		1724 III Vemundvik	»
	1214 IV Onarheim	»		1724 IV Kolvereid	»
	1314 I Røldal	»		1824 I Brekkvasselv	»
	1314 II Suldalsvatnet	»		1824 III Harran	»
	1314 III Sauda	»		1824 IV Kongsmoen	»