

Intern rapport nr. 927

**Geologisk prosjektering av
vegtunneler
NIF-kurs Vegtunneler:
Planlegging - bygging -
vedlikehold Mai 1979**

Januar 1980

Veglaboratoriet

GEOLOGISK PROSJEKTERING AV VEGTUNNELER

NIF-kurs Vegtunneler: Planlegging -
bygging - vedlikehold Mai 1979

Vegdirektoratet
Veglaboratoriet

Gaustadalleen 25, Postboks 8109 Dep., Oslo 1. Tlf. (02) 46 69 60



Veglaboratoriets Interne rapporter omfatter utredninger, forskningsresultater, studiebesøk, forslag til retningslinjer, foredrag og kurskompendier.

Rapportene er delt i to grupper:

- B: For bruk innen Statens Vegvesen
- C: For fri distribusjon

Innholdet eller deler av det må ikke publiseres videre uten tillatelse fra Veglaboratoriet.

prosjekt/oppdrag:

seksjon: 46 - Geologisk

saksbehandler: A. Grønhaug /RDa

dato: Januar 1980



VEGLABORATORIET

rapportsammendrag

INTERN RAPP. NR./OPDR. NR.

111	A	Rapportstatus*) N	Seksjon Geologisk	Prosjekt	Gruppe: C	927
-----	---	----------------------	----------------------	----------	--------------	-----

1 2 3 4 5 21 31 41 51 61 71

TITTEL	212	A	GEOLOGISK PROSJEKTERING AV VEGTUNNELER NIF-kurs Vegtunneler: Planlegging - bygging - vedlikehold mai 1979			
SAKS- BEHANDLER	221	A	Navn Arne Grønhaug		Institusjon Veglab.	
		B				
		C				
RAPPORT DATA	421	A	Rapporttype**) K	Dato Januar 1980		
		B	Totalt sidetall 32		Språk Norsk	
		C	Antall fotos 9	Ant. figurer 11	Ant. tabeller	Ant. litt.henv.
		D	Sammendrag i andre språk		UTM ref.	
SAMMENDRAG	511	A	<p>Erfaring synes å antyde at risikoen for å møte uforutsett dårlig berg under tunneldrift i Norge reduseres fra ca. 17 % for tunneler av midlere lengde uten geologiske forundersøkelser, til ca. 8 % med. Samtidig anslåes risikoen for å støte på spesielt alvorlige uforutsette vanskeligheter å bli redusert fra 4 % til langt mindre enn 2 % pr. tunnel, eller 1 pr. 33 km tunnel. Geologiske undersøkelser er rimelige i forhold til konsekvensene ved å støte på uforutsette berggrunnsforhold. Det er beskrevet et tilfelle der berggrunnsforhold forårsaket økning i anleggskostnadene med mer enn det geologiske undersøkelser av over 100 tunneler ville ha kostet. Bruddsoner, manglende bergoverdekning, vannlekkasjer og høye bergtrykk er fordyrende faktorer ved bygging av vegtunneler. Den geologiske undersøkelser må ta sikte på å klarlegge disse faktorene. Først må grundig geologisk kartlegging utføres, så om nødvendig detaljundersøkelser som geofysiske målinger (akustikk, seismikk mv.), borer, observasjoner av borhullsvegg og vanntapsmålinger.</p> <p>Det er beskrevet hvilke opplysninger en geologisk rapport bør inneholde, og omkostningene ved de ulike undersøkelsesmetodene er anslått.</p>			
FAG- OMR.	611	A	Prosjektering av tunneler			IRR kode 25
		B	Geologi			
		C				
NØKKELOD	621	A	Geologi			4053
		B	Tunnel			3371
		C	Kart			4074
		D	Boring			3871
		E	Borkjerne			5700
		F	Seismikk			5731
		H	Stabiliteter			5930

INNHOLD

- 1.0 BAKGRUNN
- 1.1 Behov for geologiske undersøkelser
- 1.2 Vurderinger på statistisk grunnlag
- 1.3 Vurdering av sikkerhetsnivå
- 1.4 Fordyrende grunnforhold

- 2.0 GEOLOGISK KARTLEGGING
- 2.1 Opplegg og forutsetninger
- 2.2 Grunnlagsmateriale
- 2.3 Markarbeidet

- 3.0 SPESIELLE UNDERSØKELSER
- 3.1 Hammerboringer
- 3.2 Kjerneboringer
- 3.3 Vanntapsmålinger (Konduktivitetmålinger)
- 3.4 Metoder for undersøkelse av borhullsveggen
- 3.5 Geofysiske undersøkelser
- 4
- 4.0 GEOLOGISKE RAPPORTER
- 4.1 Lettleste eller fyldige rapporter
- 4.2 Bedømmelse av kvalitet

- 5.0 KOSTNADSOVERSLAG FOR GEOLOGISKE UNDERSØKELSER

GEOLOGISK PROSJEKTERING

1.0 Bakgrunn

Hvordan bygger man en vegtunnel med tilfredsstillende trafikkforhold på den mest økonomiske måte? Det er åpenbart at dette i første omgang er et spørsmål om god planlegging.

En grunnleggende prinsipp for planleggingen må være at alle arbeidsoperasjoner må sees samlet. Bare på den måten kan forholdene legges til rette for de mest ressurskrevende arbeider. For eksempel må en, dersom det kreves av en tunnel at den skal stå råsprengt med et minimum av sikring, finne frem til en totalløsning som sikrer en slik utførelse. Og dersom tunnelen forutsettes vannrett må arbeidet legges til rette for dette. Løsninger der en faktor holdes isolert, vil enten bli mislykkede eller i beste fall meget kostbare delløsninger.

Det er således mange faktorer som krever en god planlegging ved vegtunnelbygging, de viktigste er sprengningsmetode, opplegg for beredsskapssikring og, dersom arbeidet er satt bort, en god og klar kontrakt. De geologiske forhold kommer vanligvis inn på dette nivå i betydning, men for enkelte prosjekter vil de geologiske forhold være en avgjørende faktor for prosjektet.

1.1 Behov for geologiske undersøkelser

Meningene om behovet for geologiske undersøkelser av vegtunnelprosjekter har vært delte. Ytterst på den ene siden er det de som hevder at driftsvanskeligheter vil en få i alle fall, og de må takles på stedet enten den geologiske rapporten foreligger eller ikke.

På den andre siden hevdes det at bare ved å få et detaljert kjennskap til grunnforholdene kan det legges opp en økonomisk driftsplan og sikringsplan for tunnelen.

Innen anleggsbransjen synes det idag å være en vanlig oppfatning som heller i retning av den første holdning. Følgende sitat fra et fagtidsskrift ifjor belyser dette: "Forundersøkelsene, de ingeniørgeologiske, må være gode, men dog ikke overdrives. De koster også penger og uansett må det gjøres antagelser om hvor tunnelen helst bør ligge, og hvilke problemer vi møter underveis". Altså ikke så optimistisk med hensyn til sikkerhet i den geologiske rapport. Byggherrer, og spesielt konsulenter synes etterhvert å gli over til den motsatte holdning, og da ut fra den betraktning at jo mere kunnskaper en skaffer seg om en oppgave, jo bedre vil resultatet bli.

1.2 Vurderinger på statistisk grunnlag

Det synes å råde stor usikkerhet med hensyn til påliteligheten av geologiske undersøkelser. Det er ikke utført noen systematisk innsamling av data for å belyse dette spørsmålet og oppfatningene om dette er følgelig subjektive, men la oss gjøre et grovt overslag. Vi har ca. 300 tunneler med en samlet lengde på ca. 150 km på vårt riksvegnett. La oss anta at det er oppstått alvorlige vanskeligheter ved 50 steder på denne vegtunnelstrekningen. Sannsynligheten for å drive tunnel inn i en sone med dårlig berggrunn kan derfor anslås til 1 pr. sjette tunnel (eller 1 pr. 3 km.). Ved gjennomgang av vår liste over våre sist drevne riksveg tunneler finner en at det er oppstått mindre uforutsette ugunstige berggrunnsforhold i fem av et utvalg på 62 tunneler. Dette gir en sannsynlighet på en på 12 (eller 8%) for ugunstigere forhold enn forutsagt ved vanlige geologiske markundersøkelser.

Derimot er alle (2-3 dvs. 1:25) større vanskelige partier forutsagt i det utvalg som er vurdert, men riktignok i noe varierende grad. Sannsynligheten for å støte på slike uforutsette partier anslås mindre enn 1 på 50 eller 2 % for en vegtunnel av gjennomsnittlig lengde. I utgangspunktet kan en ifølge det ovenstående anslå sannsynligheten for å få dårlig berg i et ikke geologisk undersøkt prosjekt for å være 1/6 eller 1 pr. 3 km. tunnel.

Denne sannsynlighet synes liten. Konsekvensene ved å komme opp i en slik uforutsett situasjon er imidlertid så store at det er ingen tvil om at det lønner seg å investere i nødvendige geologiske undersøkelser for å oppnå den grad av øket sikkerhet som dette medfører. (Fig. 1 - 8).

Som et eksempel kan anføres at sikringen av et eneste rasparti i en vegtunnel har kostet mere enn geologiske undersøkelser av 100 tunnelprosjekter. Vanligvis vil en geologisk undersøkelse koste mindre enn 1-2 meter utstøpning. Det er derfor vanskelig å være med på den siterte hentydning om at tunneler blir kostbare på grunn av overdrevne geologiske undersøkelser, - i alle fall ikke her i landet.

1.3 Vurdering av sikkerhetsnivå

Imidlertid er det relevant å stille spørsmålet om hvor omfattende den geologiske undersøkelsen bør være. I det foregående er det vist at et vanlig opplegg av geologiske undersøkelser også byr på usikkerheter, men at denne usikkerheten er redusert til mindre enn 1:50 (2 %) for at et gjennomsnittlig tunnelprosjekt skal få et uventet parti med meget dårlig berggrunn. Og sett på basis av lengde blir usikkerheten redusert fra 1 pr 3 km til under 1 pr 50 km tunnel. Det kan neppe herske tvil om at den type vanlige undersøkelser som er utført i utvalget beskrevet foran står i et gunstig forhold til økonomien. Det finnes imidlertid prosjekter der konsekvensene kan bli så store at den beskrevne risiko er for stor til å kunne aksepteres. Det er da mulig å videreføre undersøkelsene, og å øke sikkerheten til den grad en måtte ønske.

I ytterste konsekvens kan en bli nødt til å drive pilotstoll, en undersøkelsesmetode som det bør være enighet om vil gi en meget høy grad av sikkerhet. Dette vil anslagsvis øke sikkerheten noe i forhold til boring av et kjerneborhull langs tracéen, men koste 5-10 ganger så meget. Grovt

anslått antas kostnadene å øke eksponensielt med graden av usikkerhet.

Tunneler under havbunn eller bebyggelse fundamentert på løsmasser er eksempler på prosjekter der konsekvensene er så store at sikkerhetsnivået må økes betydelig utover det vanlige. Dersom uhellet er ute kan utgiftene til sikring og erstatninger lett komme opp i åttensifrede beløp. Investeringene i geologiske undersøkelser må derfor stå i forhold til den risiko som prosjektet innebærer.

1.4 Fordyrende grunnforhold

Generelt kan vanskeligheter ved tunnelbygging oppstå i form av høye temperaturer, gassinnstrømning, høye bergtrykk, vanninnbrudd, manglende bergoverdekning og dårlig bergkvalitet. Problemer med gassinnstrømning og høye temperaturer er lite kjent i Skandinavia. Vanligvis er berggrunnen så tett at vanninnbrudd av betydningsfull størrelse sjelden har stoppet tunneldrift selv om driving på synk ofte har vært hemmet av vannlekkasjer. Ved drift under sjøbunn, grunnvannsmagasiner eller bebyggelse må det tas spesielt hensyn til denne faktoren. Bergtrykksytringer oppstår der berggrunnen står i en spenningstilstand som overstiger bergartens styrke. Avhengig av bergtrykk og bergartens egenskaper oppstår det bergtrykksytringer som lyder (spraking), avskalling av steinflak, bergslag eller langsom deformasjon (flytning) av berget omkring tunnelen. Bergtrykksytringer vil oppstå på større dyp, 500 til 1000 m, avhengig av bergarter, strukturer og belastningsforhold. (Fig. 9)

Det forekommer imidlertid bergtrykksytringer også på langt grunnere dyp. Således er det påvist at berggrunnen i Norge er utsatt for langt større horisontale spenninger enn de som forårsakes av overdekningen. I de senere år er det drevet flere vegtunneler der det er oppstått driftsproblemer på grunn av intens avskalling.

Bergtrykksytringer er vanskelig å forutsi. Foreløpig finnes det ikke metoder for å måle spenninger på dypet uten at det drives sjakter ned til det område som skal undersøkes. Berggrunnen i Norge består hovedsaklig av krystallinske og for tunneldrift faste bergarter. Driftsforsterkning av tunnelhvelv er vanligvis ikke nødvendig, unntatt på lokale partier der fjellets styrke brått reduseres. (Fig. 10)

De overveiende gode tunneldriftsforhold har gjort det mulig å anvende enkleste og billigste form for tunneldrift: Sprengning av fullt tverrsnitt og utlastning. En overgang til dårlig berg som krever driftsforsterkning kommer ofte brått, selv om dårligere berg er ventet. Da driftsmetoder i dårlig berg vanligvis ikke er forberedt, oppstår det i første omgang driftsstans, dernest mer eller mindre improviserte sikrings tiltak. Årsaken til overskridelser av tidsplaner og omkostningsoverslag kan derfor ofte i hovedsaken tilskrives dårligere grunnforhold enn forutsatt og manglende beredskap for drift i dårlig berg. Etterhvert som mer mekaniserte og kostbare driftsmetoder tas i bruk, blir det stadig mer nødvendig å utarbeide detaljplaner for drift og sikring av de enkelte deler av tunneltracéen.

Prosjektering av vegtunneler krever i første omgang en geologisk overflatekartlegging for undersøkelse av berggrunnen. Overflatekartleggingen er i mange tilfelle ikke tilstrekkelig til å gi et tilfredsstillende grunnlag for prosjekteringen. Dette har flere grunner. Tunnelene ligger ofte på flere hundre meters dyp, der berget er utilgjengelig for direkte undersøkelser. Bergforholdene i terrengoverflaten kan raskt forandre seg mot dypet. Dessuten er sjelden berget sammenhengende tilgjengelig for undersøkelser i overflaten, og de overdekkede partier er ofte av største betydning å få kartlagt. Videre undersøkelser er derfor som regel nødvendige for å klarlegge usikre grunnforhold.

Enhver rapport om grunnforhold må søke å avgrense de gjenstående usikre forhold, og legge fram en plan for å undersøke disse.

Grunnundersøkelsene bør av hensyn til økonomiseringen foretas trinnvis, på en slik måte at resultatene av en delundersøkelse utnyttes for planleggingen av neste trinn.

2.0 GEOLOGISK KARTLEGGING

2.1 Opplegg og forutsetninger

For å få en oversikt over grunnforholdene der en tunnel er prosjektert er det nødvendig å foreta en geologisk oversiktskartlegging. Av prosjekteringstekniske grunner kan det være hensiktsmessig å dele kartleggingen i to etapper, en mindre grundig kartlegging på hovedplanstadiet og en nøyaktig kartlegging på detaljplanstadiet.

På hovedplanstadiet forsøker en å skaffe en så god oversikt over grunnforholdene som mulig med et minimum av innsats. De partier der bygningstekniske vanskeligheter kan ventes, må fremheves. Dernest skal det på grunnlag av undersøkelsen utarbeides plan for de videre undersøkelser. Resultatet av hovedplanundersøkelsen avgjør om prosjektet skal omarbeides eller om planleggingen skal fortsette etter hovedplanen. Hovedplanundersøkelsen benyttes således ofte som grunnlag for vidtrekkende avgjørelser. Undersøkelsen er som regel ikke detaljert nok til å trekke slutninger om utgiftene anlegget vil kreve. Hovedplanundersøkelsen går derfor lett over i en detaljplanundersøkelse.

Overflatekartleggingen krever at fjellet i prosjektområdet er bart eller avdekket. Kartlegging av delvis overdekket berggrunn medfører så mange usikkerhetsmomenter at det er stor fare for feilaktige slutninger. Overdekkede partier må derfor undersøkes mer detaljert ved å utvide kartleggingsområdet, foreta geofysiske målinger, avdekning eller boringer.

2.2 Grunnlagsmateriale

Som grunnlagsmateriale for hovedplanskartleggingen må det foreligge stereoskopiske flyfotos i $M = 1:15\ 000$ eller bedre. Det bør også foreligge topgrafiske kart i $M = 1:5\ 000$ eller helst bedre.

Kart og flyfotos må dekke et område som gjør det mulig å tegne inn de geologiske hovedtrekk av betydning for prosjektet. Helst bør kartet dekke et område som gjør det mulig å følge planstrukturer i to fjellsider med motsatt hellingsretning. Ellers bør kartet ha en bredde på $3/10$ av tunnellengden. Som grunnlagsmateriale for detaljkartleggingen må det foreligge topografiske karter i $M = 1:5\ 000$ eller bedre, helst $M = 1:1\ 000$.

Det er videre verdifullt å skaffe frem eventuelt eksisterende geologiske karter og beskrivelser.

2.3 Markarbeidet

For å spare tid bør kartleggingsarbeidet forberedes grundig ved studium av grunnlagsmaterialet. Områder der grunnen kan bestå av dårlig berg avmerkes. Dette forekommer oftest i kløfter, skar eller forsenkninger i bergoverflaten. Kart og flyfotos sammenlignes. Det undersøkes om observasjoner som kan ha betydning for grunnforholdene viser samsvar eller uoverensstemmelser på kart og flyfotos. Opplysninger fra geologisk litteratur og oversiktskart trekkes inn i vurderingen. De fremkomne opplysninger sammenfattes så for utarbeidelse av en plan for markarbeidet.

Den strukturgeologiske kartleggingen går ut på en hensiktsmessig utskillelse av bergartstyper og fastlegging av grensene mellom dem. En oversikt over de geologiske forhold fås lettest ved å kartlegge et mest mulig sammenhengende profil tvers på strøkretningen og merke av bergartsgrensene. Dernest

følges grensene mest mulig sammenhengende, og tilslutt gås det opp kontrollprofil.

Bruddstrukturene noteres og de mest markerte merkes av på kartet. Disse følges i terrenget for å finne steder der det forekommer sammenhengende snitt i berget i hele bruddets bredde, slik at bergkvaliteten i bruddet kan bedømmes. Bruddstrukturene beskrives, og retning og tetthet måles. Resultatene plottes på stereografiske nett for oversikt og tolkning. (Fig. 11 - 12)

Resultatet av oppteeningen i stereografisk nett vil som regel vise at bruddstrukturene ikke har tilfeldige retninger, men er gruppert i enkelte dominerende retninger, dvs bruddsystemer. For hvert bruddsystem kan en av nettet lett finne den gjennomsnittlige retning samt spredningen fra denne. Dersom tunnel- eller skjæringsretning legges inn på nettet, vil det fremgå om bruddmønsteret danner blokker eller partier som lett kan falle ut fra prosjektert profil. En får således et bilde av bergets bruddmønster som resultat av den strukturgeologiske kartleggingen, og dette blir benyttet som grunnlag for konklusjon av de resultater som undersøkelsen har gitt.

På grunnlag av undersøkelsen avgrenses fjellet i ensartede partier som klassifiseres etter bygningstekniske egenskaper. Disse partiene må dernest projiseres ned i tunnelnivå for å finne bergkvaliteten i de ulike tunnelpartier og klarlegge om bedre bergforhold kan oppnås ved justering eller omlegging av tunneltracéen. Det tegnes profiler som viser bergforholdene i tracéen.

3.0 SPESIELLE UNDERSØKELSER

3.1 Hammerboringer

Anleggsarbeidere er velkjente med at bergets kvalitet kan registreres under boring. Bløtt berg registreres ved høy

borsynk, solid berg ved lav borsynk og hardt fjell ved stor borslitasje. Dessuten merker en lett åpne sprekker, leirspjepper, ganger og råttent, forvitret berg. Forutsatt at slagboring blir utført nøyaktig og samvittighetsfullt, kan den gi verdifulle opplysninger om berget. Plasseringen av borhullene er viktig. Plan for borsetting kan utarbeides på grunnlag av kart over den ønskede plassering av anlegget, og helst et strukturgeologisk kart over området. Boringene må settes slik at en får størst muligheter til å avsløre intrikate grunnforhold.

Boring av skråttstilte hull vil ofte være fordelaktig dersom en fra den geologiske kartleggingen kan vite noe om bruddstrukturens retning.

Med lett håndholdt utstyr vil en lettere kunne registrere mindre brudd i berget enn ved borvogn. Der det er tilstrekkelig med hull-lengder under 6 - 8 m, vil det derfor være en fordel å anvende lett utstyr. Der det er nødvendig å bore lange hull, må boringene fortrinnsvis utføres med hydraulisk borvogn. Dette medfører imidlertid at en taper en del med hensyn til følsomhet.

Ved boring av lengre hull krever forskriftene at det brukes vannspyling for å unngå fastkiling av borutstyret. Dette medfører ulemper med hensyn til registrering av borstøvets farge, og påvisning av vannførende brudd. På den annen side kan åpne, drenerende brudd registreres ved at spylevannet forsvinner. Ved boring av lange hull bør det også brukes toveis (retrack) borkrone med langt skjørt for toveis boring. Lange hull bør settes an i godt berg for å unngå fastboring. Ved plassering av løsmasser og dårlig berg bør det foretas støping før videre boring.

Under boringen må følgende forhold observeres og noteres:

1. Borsynk. Innsynkningen av boret, f.eks. i cm/minutt.
2. Borstøvet eller borslammets farge. Prøver bør tas, særlig av forskjellige typer og grovkornet borstøv.

3. Vanninnhold. Vann i borstøvet, forandringer i utstrømning av spylevannet, artesisk vann.
4. Rykkede borbevegelser som varsler brudd i berget. Dybde og innsynkning registreres.
5. Forkiling. Forkiling kan skyldes brudd som danner en liten vinkel med boret, eventuelt steinfliser fra sammenrast borhullsvegg.
6. Borslitasje. Borkronen ettersees for påvisning av særlig borslitende berg. Dybde for skifte av borkrone noteres.

Ved tolkning av borresultatene er det viktig å være klar over at det bare er brudd over en bestemt bredde som registreres. Derfor kan det forekomme skadelige brudd som vil få konsekvenser for anlegget uten at det blir registrert. Hammerboringene gir et omtrentlig oversiktsbilde av bergkvaliteten. Spesielle forhold må undersøkes nærmere med andre metoder og midler.

Ofte er det like viktig å registrere bruddenes retning som å registrere dem. Dette kan gjøres ved å utføre minst to boringer like ved det borhull der bruddet er registrert. De supplerende borhull kan plasseres slik at ansettene til de tre hullene omtrentlig danner en likesidet trekant i horisontalplanet. Hullavstanden kan ligge i området 0,5 til 5 m avhengig av bruddenes retning, samt avstand og størrelsen av bergpartiet som skal undersøkes.

3.2 Kjerneboringer

Kjerneboringer er undersøkelser som i godt berg gir et bortimot sammenhengende snitt av berget. For å oppnå dette benyttes rotasjonsboring, en hul diamantbesatt borkrone og et hult kjernerør for omslutning av den mer eller mindre hele borkjerne. Vanligvis spyles slammet ut med vann, og

kjernen beskyttes mot vann og påkjenninger av et kjernerør. Kjerneboringer er kostbare. Følgelig må kjerneborhull være motivert av å få opplysninger om lokaliteter påvist ved en grundig kartlegging av grunnforholdene. Som regel anvendes kjerneboringer når det er et bestemt spørsmål en ønsker svar på, og rimeligere utveier for løsning av spørsmålet ikke kan finnes.

Ved kjerneboringer registreres lett brudd eller soner med svakt fjell. Tolkningen av kjerneprøvene byr imidlertid ofte på vanskeligheter av to grunner.

For det første er det sjelden at en oppnår å få sammenhengende kjerner av det svakeste berget i profilet, dvs nettopp på de steder der det er mest viktig å bedømme bergets styrke. Her får en svært ofte kjernetap eller i beste fall kjernebiter. (Fig. 4 - 5)

Den andre vanskeligheten for tolkningen av kjerneprøver ligger i selve boremetodikken.

Under boring og uttak blir den utborede kjerne utsatt for påkjenninger forårsaket av utstyret, matningen og den nøyaktighet som arbeidet utføres med. Dette fører til at kjernene sprekker opp i varierende grad, og fortrinnsvis langs bruddplan. Som eksempel på dette er det påvist at antall brudd i ensartet berg øker proporsjonalt med matningstrykket. Det er derfor umulig å bedømme hvor stor kohesjon det er i berget på grunnlag av observasjon av slike kjernebiter. Dersom kjernene er hele og tilnærmet uforstyrret, vil dette bli mye enklere. Boring med lite matningstrykk, lite spylevann og delbart kjernerør forbedrer resultatene betydelig.

For å få en generell, standardisert klassifisering av fjell på grunnlag av kjerneprøver kreves det at de forskjellige faktorer som spiller inn på borresultatet holdes innen snevre, mest mulig konstante grenser.

Veglaboratoriet har utarbeidet forskrifter for utførelse av

kjerneboringer som skal benyttes til vurdering av bergkvalitet. Ifølge forskriftene skal det legges størst vekt på å få opp en så hel og sammenhengende kjerne som mulig. For å oppnå dette må mating, vannspyling, rotasjonshastighet og kjerneopptak tilpasses bergkvaliteten. Ved plutselig borsynk må det øyeblikkelig iverksettes tiltak for å få opp så hel kjerne som mulig av eventuelle bruddsonematerialer.

Ved opptak noteres nøyaktig hulldyp og kjernelengde, og det legges inn et avstandsstykke påskrevet dybden på riktig sted i kjernekasen. Uregelmessigheter under boringen som kan skrive seg fra forandringer av bergkvaliteten må noteres. Det føres en løpende journal for matningstrykk, spylevannstrykk, rotasjonshastighet, borsynk og borkronebytte.

Ved støping i hullet for stabilisering av dårlig fjell må nivåene avmerkes og forbruk av mørtel angis. Kjernetap angis ved innlagte avstandsstykker med påskrift. Kjernekasene må være så tette at tap av finmateriale unngås. Det fineste materialet fylles i plastposer og legges på riktig sted. For å unngå forskyvning av kjernene fylles rommet mellom kjerneendene og endeveggen ut med tvist eller lignende. Ombytting eller tap av kjernebiter må ikke forekomme. Avviksmålinger og kjerneorienteringer foretas etter avtale.

Det kjerneborutstyr som vanligvis benyttes idag tillater boring av over 1000 m dype hull, og det kan bores i alle retninger. På lange borhull vil avviket bety mye, slik at det er nødvendig å holde rutinemessig kontroll med boringsretningen. Avviket er forårsaket av borretning, utstyr, boringsteknikk og berggrunn. I mange tilfelle kan avviket til en viss grad bringes under kontroll ved å få disse faktorene til å virke mot hverandre. En annen måte å løse avviksproblemet på, er å kartlegge avviket ved boring av prøvehull, og dernest sette an borhullet i den gunstigste retning. Dersom hullet begynner å skjene ut, har en til ganske nylig vært henvist til å rette opp hullet ved plassering av kiler.

Denne teknikk er effektiv, men mulighetene for oppretting er begrenset til noen få grader.

En ny teknikk for kontinuerlig styring av borhullene er nå under utvikling. Den er basert på prinsipper som benyttes ved oljeboring. Bormaskinene er plassert nede i hullet, og drives av spylevannstrykket og styres ved et vektarmprinsipp. Bormaskinen kalles mud-turbin og gir ikke kjerne. En slik type er nå under utprøving i Svea-gruven på Svalbard, der en kan vise til gode resultater. Samme firma som har levert denne maskinen er også igang med utvikling av mud-turbindrevet kjernebor med akseptabel diameter.

3.3 Vanntapsmålinger (Konduktivitetmålinger)

Veganlegg vil ofte påvirke drenerings- og grunnvannsforhold i et område. Dette kan føre til uttørring, utrasninger og setninger som kan skade byggverk og annen eiendom. Erstatningssaker i forbindelse med slike skader er tidkrevende og kostbare. For å unngå slike vanskeligheter er det nødvendig å kartlegge grunnvannsforholdene.

Når berget inneholder mye vann, vil det merkes ved boring at borstøvet blir fuktig eller ved at det blåses opp vann. Ved pumping lar det seg gjøre å måle lekkasjer på enkeltsprekker ved å sette inn pakning og pumpe ut vannet mellom pakning og hullbunnen. I tillegg til å gi et overslag over vannmengder som kan ventes å lekke gjennom partiet ved drenasje gir også en pumpeprøve en antydning om hvilken grad fjellet er oppsprukket.

Da forholdene ofte kan variere med hensyn til grunnvannsmagasinenes størrelse, og forbindelsen mellom pumpestedet og magasinet, vil det ved bedømmelsen av fjellets oppsprekningsgrad være fordelaktigere og måle hvor mye vann som ved et be-

stemt vanntrykk lar seg pumpe inn i fjellet. Måleenheten for vanninntrengning kalles Lugeon (L), og enheten defineres som liter inntrengt vann pr minutt og meter borhull-lengde ved injeksjonstrykk på 10 kp/cm^2 .

Undersøkelsen anvendes ofte for å bedømme lekkasje fra dammer gjennom berg. Dersom lekkasjonene overstiger visse L-verdier, forsøkes berget tettet ved injeksjon av tette stoffer som sementmørtel eller kjemikalier. Vanntapet gir antydning om mengden av injeksjonsmiddel som trengs for å oppnå en bestemt grad av tetthet i det injiserte fjell.

En rekke forskrifter må følges for at pålitelige målinger skal oppnås. Til vanntapsmålinger kreves det gode, tette pakninger. Det er fordelaktig å bruke diamantborede hull, da støv fra hammerboring lett kan tette til sprekker nær borhullet. Dersom det brukes hammerborede hull, bør boringen utføres med vannspyling, hullveggen avslipes ved gjentatte opp- og nedbevegelser av borkronen og hullet spyles grundig rent. Måleavstand og pakningsplassering må bestemmes spesielt for hver undersøkelse. De sikreste resultater oppnås ved måling under boring. Ved bruk av doble pakninger er det også mulig å måle vanngjennomgang seksjonsvis på ferdig borede hull.

3.4 Metoder for undersøkelse av borhullsveggen

Ved større prosjekter er fjellet på dypet blitt undersøkt ved at det er drevet ned stoller spesielt for undersøkelsen. Dette er en så kostbar undersøkelsesmetode at den bare vil være aktuell ved spesielle prosjekter. Et skritt i retning av forbedret økonomi er å foreta boring med så grove borkroner at det er mulig for geologen å klatre nedover og foreta undersøkelser i borhullet. Således er det utført boringer med diameter på inntil 900 mm i utlandet. Selv om det i det senere er utviklet borutstyr for langt større diameter enn dette, vil en undersøkelse basert på direkte betraktning av borhullveggen fremdeles bli for kostbar for de fleste for-

mål.

Det er derfor interessant at det i det senere er utviklet utstyr for indirekte betraktning av borhullveggen, borhullperiskopet og TV-sonden. (Fig. 14)

Borhullperiskopet består av en lyskilde og skråttstilt speil montert i et rør med gjennomsiktig glassvindu. Lyskilden belyser borhullsveggen, og lyset reflekteres til speilet og derfra videre opp gjennom røret til et okular øverst. Periskopet kan forlenges ved at det settes inn skjøterør mellom speil og okular. Rørene må være vanntette og ha en anordning for sentrering i borhullet. Det fins et par typer på markedet, og den beste tillater undersøkelser ned til et dyp på 34 m.

For dyp under 34 m er en henvist til TV-sonder, som tillater undersøkelser på flere hundre meters dyp. En annen fordel er at bildene fra TV-sonden kan spilles inn på bånd og arkiveres. Derimot fås bildene foreløpig ikke i farger som ved periskopundersøkelser. Farger forbedrer ofte detaljrikdommen på bildenes betydelig.

Disse undersøkelsesmetoder er nå så utviklet at det er mulig å foreta målinger av sprekkens retning og helling (strøk og fall). Undersøkelsene gir derfor et i flere henseender bedre grunnlag for bedømmelse av fjellet enn kjerneboringer.

3.5 Geofysiske undersøkelser

Geofysiske undersøkelser er undersøkelser som tar sikte på å måle en eller annen fysisk egenskap til materialene i grunnen. Målbare materialegenskaper er egenvekt, magnetiske egenskaper, ledningsevne for elektrisk strøm og forplantningshastighet av skjelv. Med kjennskap til de geologiske forhold og materialenes fysikalske egenskaper kan slike målinger benyttes til bedømmelse av grunnens sammensetning og oppbygning.

Forskjeller i egenvekt registreres med et gravimeter. Når forskjellen i egenvekt mellom to materialer er kjent, er det mulig å beregne forløpet av grenseflaten for egenvektforskjellen mot dypet. På samme måte kan målinger av avvikelser i jordmagnetismen utnyttes til bedømmelse av grenseflater mot dypet. Områder i grunnen med avvikende ledningsevne for elektrisk strøm kan kartlegges ved å legge ut elektroder og måle spenningsforskjellen mellom disse.

Ved undersøkelser for tunnelprosjekter benyttes vanligvis bare seismiske og akustiske målinger. Det finnes en rekke metoder både for generering av skjelvne og for oppfangning og registrering av dem.

Akustiske målinger benyttes ved undersøkelser av sjøbunn, og baseres vesentlig på registrering av refleksjoner fra grenseflatene i grunnen. Til tunnelprosjektering benyttes vanligvis lettere utstyr med begrenset penetrasjon for å finne dybden til berggrunnen. Ved planlegging av målingene bør en ha gjort seg opp en mening om dybden til berggrunnen, slik at egnet utstyr blir benyttet. Der større dybder kan ventes, bør utstyr med bedre penetrasjon medtas, slik at måleprogrammet kan gjennomføres uten unødige omkostninger.

Ved seismiske målinger benyttes vanligvis refraksjonsmetoden. En ladning detoneres i enden av et kabelprofil, og det først ankomne skjelv oppfanges av geofoner som ligger med 2,5 til 5 m avstand langs kabelen.

Siden det synes å eksistere overdrevne forestillinger om påliteligheten av de seismiske registreringene, skal noen av feilkildene behandles. (Fig. 15 - 19)

For det første forutsetter refraksjonsmetoden at lagene har økende egenvekt med dybden. Dersom dette ikke er tilfelle får en såkalte blindhorisonter, som fører til gale resultater. For det andre er det meget begrenset hva metoden kan oppfange av kompliserte og intrikate geometriske utforminger av grenseflater. Og for det tredje vil en ikke ha

noen sikker oppfatning av hvilken vei de først ankomne skjelv har tatt gjennom grunnen. Dette betyr blant annet at det er vanskelig å påvise bratte skrenser og trange kløfter i berggrunnen ved seismikk. Bruddsoner parallelt med profilet vil ikke gi noe utslag i målingene, og siden fastheten i bruddsoner kan variere betydelig over små avstander, er det ikke mulig å påvise nøyaktig beliggenhet av den grunn som er registrert. Ved kritisk bruk er imidlertid akustikk og seismikk nyttige ledd i kartleggingen av grunnforholdene.

4. GEOLOGISKE RAPPORTER

4.1 Lettlest eller fyldige rapporter ?

Det er mange oppfatninger om geologiske rapporter, både blant oppdragsgivere og konsulenter. Følgelig forekommer det også en uendelighet av geologiske rapporter, fra noen linjers befaringsnotater til grundige, nesten vitenskapelige utredninger.

Et befaringsnotat er som regel av liten verdi dersom det ønskes en seriøs vurdering av et tunnelprosjekt. Skal bygningstekniske konsekvenser utredes er det nødvendig med en fyldig vurdering av grunnforholdene. En vanlig klage en hører om slike rapporter er at de er for spesialistbetonte og delvis uforståelige for oppdragsgiverne. I ytterste konsekvens kan dette føre til at mange vil foretrekke befaringsnotatet fremfor en utførlig rapport.

Det er derfor nødvendig at rapporten utarbeides i en form som gjør det enkelt å finne frem til de emner som er behandlet, og at den utstyres med et sammendrag som på en enkel og kort måte beskriver hva som er utført, vurderte alternativer og de konklusjoner som er trukket.

Dernest reiser spørsmålet seg om hvor langt i detalj beskrivelsene og bearbeidelsene skal gjengis i rapporten. For å avgjøre dette er det nødvendig å se på hvorledes rapportene behandles i det videre planarbeid. En stor del av rapportene

er utarbeidet med henblikk på prosjekter noe frem i tiden. I ytterligere endel av tilfellene utsettes prosjektet, og rapportene blir arkivert i påvente av at prosjektet skal bli realisert. Dersom nå ikke de beskrivelser og vurderinger som er lagt til grunn for konklusjonen er fyldig gjengitt i rapporten, er det stor fare for at arbeidet vil bli utført om igjen. En fyldig rapport har også stor nytteverdi under selve tunneldriften. Det er derfor viktig at rapporten inneholder det materiale som er benyttet under bearbeidelsen på en oversiktlig måte. Bruk av skjemaer og diagrammer kan være nyttige når det foreligger store datamengder.

4.2 Bedømmelse av kvalitet

Hvordan skal en så vurdere kvaliteten til en geologisk rapport. Det synes som om den vanligste fremgangsmåten i dagens situasjon er å vente med å bedømme dette inntil anlegget er ferdig. Rapporten bedømmes da å være god dersom vurderingene stemmer med erfaringene i hovedtrekkene, og det uansett om rapportene består av befaringsnotat eller en grundig utredning. På denne måte er det oppstått en utbredt følelse av at geologisk prosjektering har noe med synshet hos konsulenten å gjøre.

Dette er derfor en for tilfeldig måte å bedømme rapportene på, og en blir fraskåret mulighetene for å velge konsulent og foreta korrektiver på prosjekteringsstadiet. Det er derfor nødvendig å stille krav til rapporten selv, dens innhold og omfang.

Et minstekrav til rapporten bør være at den inneholder følgende avsnitt:

Sammendrag av rapporten

Bakgrunn for oppdraget

Utførte undersøkelser

Beskrivelse av de geologiske forhold

Kart og profiler som viser bergartsgrenser og bruddstrukturer i forhold til tunneltracéer

Beskrivelse av bruddstrukturene, retning, tetthet, karakter, helst presentert også i stereografiske nettdiagrammer

Klassifisering av berggrunnens kvalitet for tunneldrift

Vurdering av berggrunnens driftstekniske egenskaper

Vurdering av nødvendige sikringsarbeider

Vurdering av ulike tunneltracéer, samt mulighetene for

å legge tracéen i berggrunn av bedre kvalitet

Vurdering av brukbarheten til tunnelmassene.

Sammendraget bør inneholde en setning om formålet med undersøkelsen. Dernest bør det følge en opplisting av de utførte undersøkelser. Hovedproblemstillingene bør refereres på enkleste måte, mens hovedkonklusjonene må fremgå ganske klart. For det videre planarbeid skulle således sammendrag og tegningsbilag være et tilstrekkelig grunnlag i de fleste tilfelle.

Omfanget av arbeidet bør gå klart frem av avsnittet om de utførte undersøkelser, og metodene må beskrives. Den viktigste delen av rapporten er selvsagt beskrivelsen av de geologiske forholdene. Her er det spesielt viktig å sørge for en godt disponert utredning, oppstykket ved overskrifter i kortest mulige avsnitt. Det må videre legges vekt på å finne enklest mulige faguttrykk.

Et godt kvalitetstegn ved en geologisk rapport er observasjonsmengden. Tettheten av observasjoner, bevitnet av observasjoner inntegnet på kart, samt beskrivelser i teksten, vil gi et inntrykk av grunnlaget for den beskrivelse som er gitt. Normalt bør det være påført minst en strukturmåling pr 100 m, i spesielle kompliserte områder langt tettere. Det bør videre fremgå av rapporten hvor de beste snitt tversover viktige profiler befinner seg, samt en beskrivelse av forholdene på stedet.

Geologiske strukturer må projiseres i tunnelnivå, og det bør presenteres en vurdering av om kvalitet og retning vil endre seg mot dypet.

Under vurderingen av berggrunnens driftstekniske egenskaper må forholdet til sprengningsmetode klarlegges. Er uttalelsen gitt under forutsetning av at det sprenges forsiktig, eller

har en forutsatt vanlig hard sprengning. Ved vurderingen av nødvendig sikring av tunnelen er det nødvendig å frem-skaffe opplysninger om frostmengden på stedet, slik at frost-sikringen kan tas med i bedømmelsen.

5. KOSTNADSOVERSLAG FOR GEOLOGISKE UNDERSØKELSER

Det vises til tabell over kostnadsnivået for geologiske undersøkelser. Forholdene varierer alltid, slik at det er sjelden en direkte sammeligning av undersøkelseskostnader er mulig. Tabellen skulle imidlertid, brukt med forsiktighet kunne være en hjelp ved planlegging av undersøkelser. Noen spesielle kommentarer skal gjøres til enkelte av metodene. Den geologiske kartlegging er spesielt avhengig av terrengforhold og vanskelighetsgrad. Dessuten påvirker størrelsen på prosjektet også kostnadene tilsvarende. Geologisk kartlegging av et tunnelprosjekt på en km vil derfor meget sjelden kunne komme opp i 100 000,- kr.

Når det gjelder boringer, kommer transport, rigging og flytting til å få en avgjørende innflytelse på utgiftene. Andre viktige og i enkelte tilfelle avgjørende faktorer er vanskelig borbar grunn og borlengde. Kjerneboringer med lengder på omkring 1000 m er vanskelig å kostnadsberegne, men kan få forholdsvis lave enhetspriser dersom boringen går godt uten spesielle vanskeligheter.

Viktigere enn vurderingene foran er det imidlertid å bruke tabellen ved planlegging av hvilke undersøkelser som bør utføres. Dette krever imidlertid også en kvalitetsvurdering av de opplysninger som fremkommer av undersøkelsene.

Som grunnlag bør det alltid utføres en geologisk undersøkelse, selv om berggrunnen ikke kan observeres i prosjektområdet. Geologisk kartlegging av berggrunn i tilstøtende områder vil gi et godt grunnlag for planlegging av de videre undersøkelser. Således får en utnyttet seismiske undersøkelser best dersom profilene er lagt ut etter

geologiske indikasjoner.

Boringer vil straks øke omkostningsnivået betydelig. Det kan vanligvis utføres betydelig geologisk kartlegging for det en boring koster. Imidlertid er boringer ofte nødvendige for å klargjøre enkelte problemstillinger som er avdekket under forundersøkelsene. Kjerneboringer kan gi prøver av grunnen i tunnelnivå og metoden gir derfor meget sikre resultater. Dessuten kan borhullet gi opplysninger om oppsprekningsgrad og vannlekkasjer.

Seismikk (på land) er forholdsvis rimelig og gir gode opplysninger om de gjennomsnittlige grunnforhold i tracéen. Vanligvis vil det være fordelaktig å planlegge boringer også med seismiske undersøkelser som grunnlag.

Der forholdene ligger til rette, kan horisontale kjerneboringer i hvelvet over tunnelprosjekter bli fordelaktige, dersom hele undersøkelsen sees i sammenheng. (Fig. 20)

KOSTNADSOVERSLAG FOR GEOLOGISKE UNDERSØKELSER

FLYFOTOGRAFERING (M = 1:1000)	150 kr/km
KARTKONSTRUKSJON (M = 1:1000)	200 kr/da
GEOLOGISK KARTLEGGING	30-100 kr/lm
HAMMERBORING	50-300 kr/m
KJERNEBORING	250-1000 kr/m
KJERNEORIENTERING	50-300 kr/stk
VANNTAPSMÅLING	100-200 kr/stk
AVVIKSMÅLING	500 kr/stk
BORHULLS-TV	100 kr/m
SEISMIKK	30 kr/m
UNDERVANNS-SEISMIKK	120 kr/m
UNDERVANNS-AKUSTIKK	5 kr/m

VEGTUNNELER - PLANLEGGING,
BYGGING OG VEDLIKEHOLD

(3)

Geologisk prosjektering.

Foreleser:

Geolog Arne Grønhaug
Veglaboratoriet



Fig. 1. Berggrunnen i Norge mangler materialer på overgangen mellom berg og løsmasser. Lokale brudd- eller omvandlingssoner kan imidlertid finnes. Krateret på bildet er forårsaket av ras i en tunnel som er drevet inn i en slik sone i grunnfjellgneis.

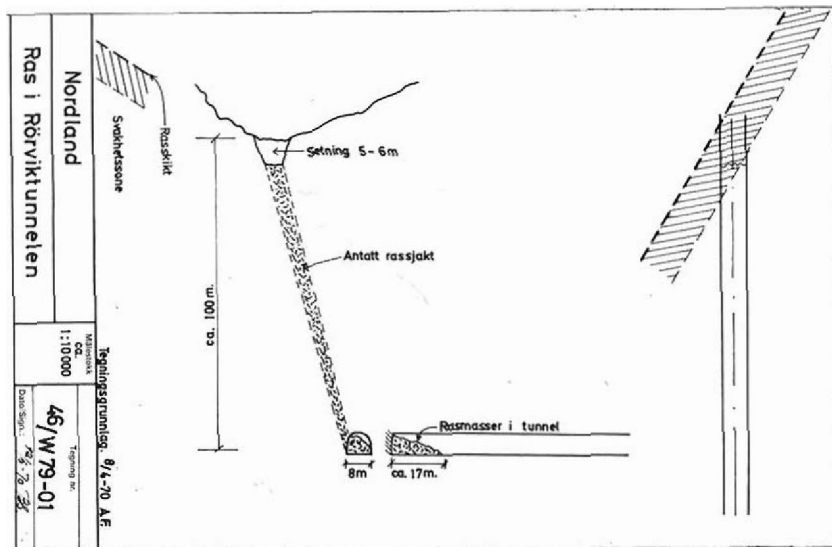


Fig. 0. Skisse som viser dimensjonene på tunnel, bergoverdekning og krater på foregående bilde.

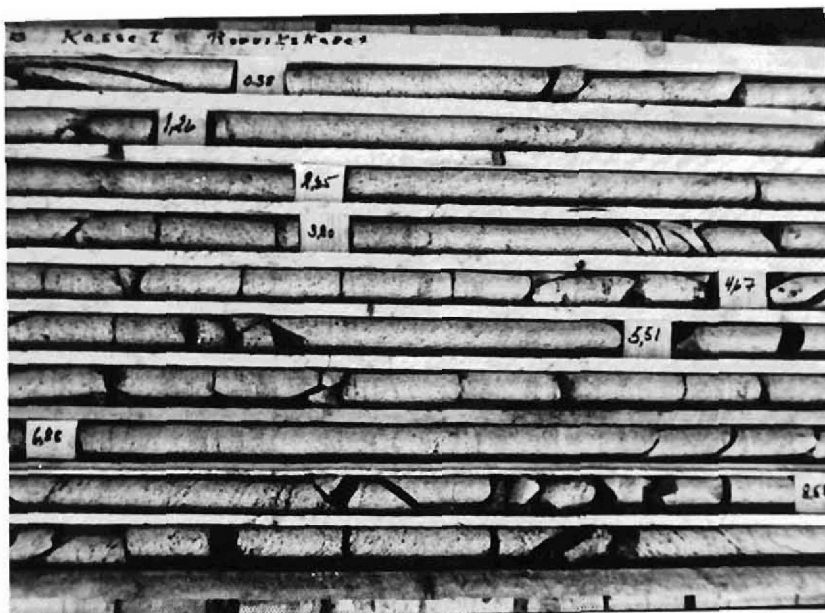


Fig. 3. Borkjerne av frisk gneis fra område utenfor bruddsonen på foregående bilde.

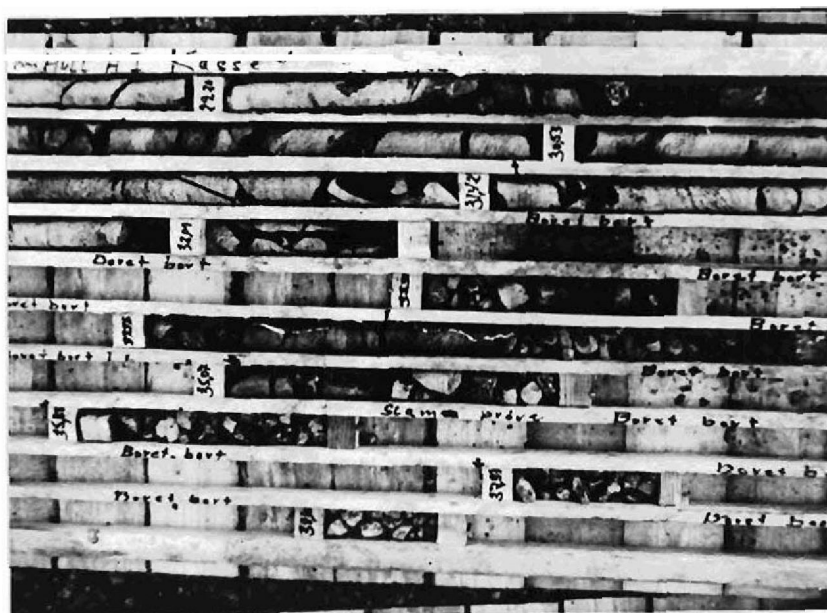


Fig. 4. Borkjerne sou mangler oppknust og omvandlet materiale i bruddsonen fordi det er fjernet med spylevannet.



Fig. 5. Ved forsiktig boring er det mulig å få opp kjerner av finknuste, leirlignede materialer. For å bevare den naturlige konsistens best mulig er materialet pakket inn i folie.

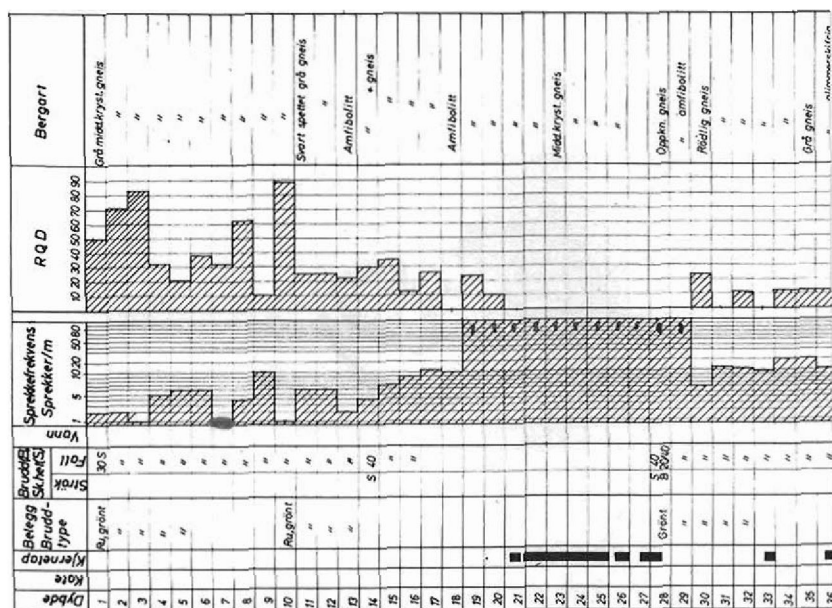


Fig. 6. Borlogg utfylt for best mulig systematisk beskrivelse av den gjennomborete berggrunn.

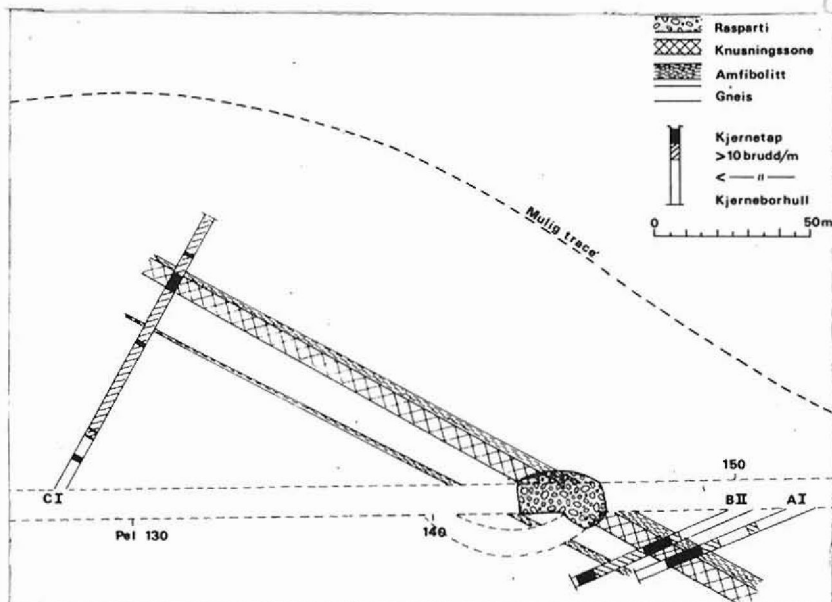


Fig. 7. Resultatene fra boringene sammentegnet på skisse over tunneltrace.



Fig. 8. Rasmassenes karakter vist på dette bilde av tippen for rasmassene.



Fig. 9. Bergtrykk som overgrunnen fasthet kan også forårsake problemer ved tunneldrift. Bildet viser hvorledes bergtrykket er øket etter at den er kavlastet i overflaten. (Kahler, fra Norge)

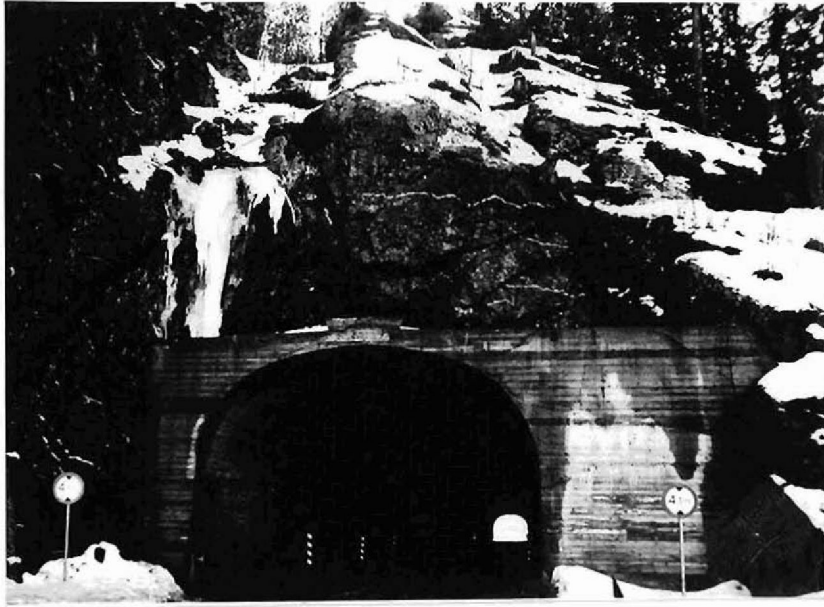


Fig. 10. Bruddstrukturer er den langt vanligste årsak til vanskeligheter ved vegtunnelbygging. Her er det skapt unødige problemer fordi tunnelen i hele sin lengde er lagt langssetter en smal bruddsone.

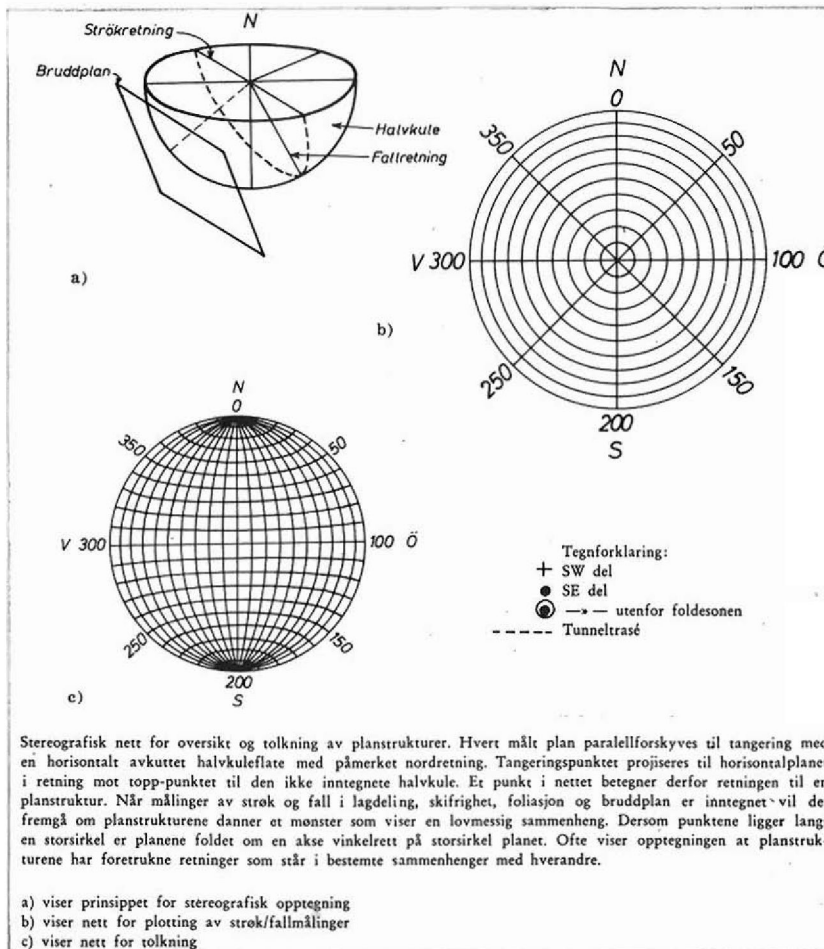


Fig. 11. Et stereonett gir en oversikt over retningene til planstrukturer i berggrunnen. For bedre oversikt kan bergoverflate og tunneltrace plottes inn.

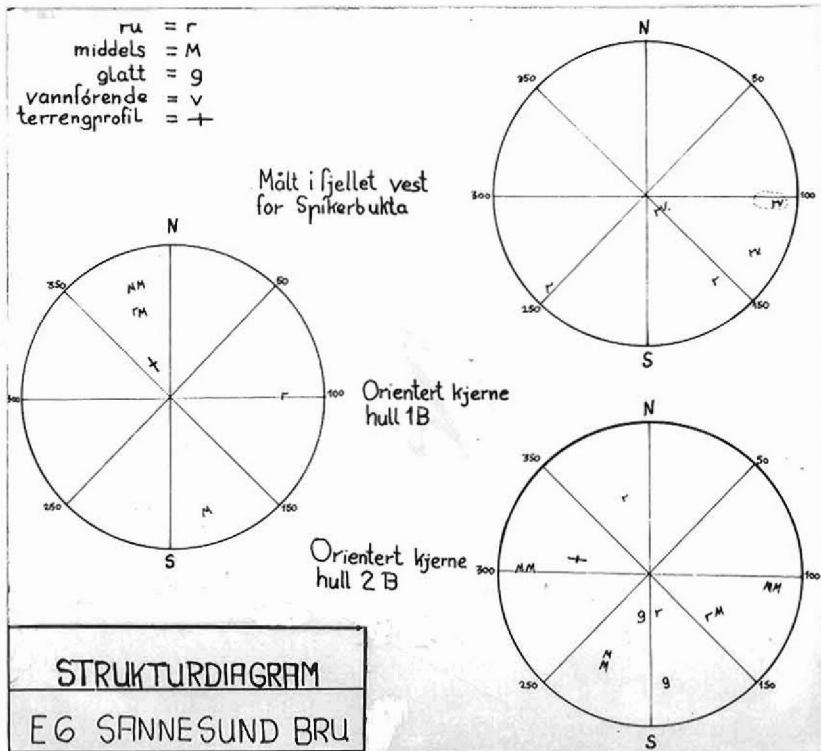


Fig. 12. Oversikt over brudd i berggrunn under brufundament vi ser hvorledes enkelte brudd kan underkutte fundamentet når plotningspunktet kommer nærmere diagrammets sentrum enn plottet for bergoverflaten.

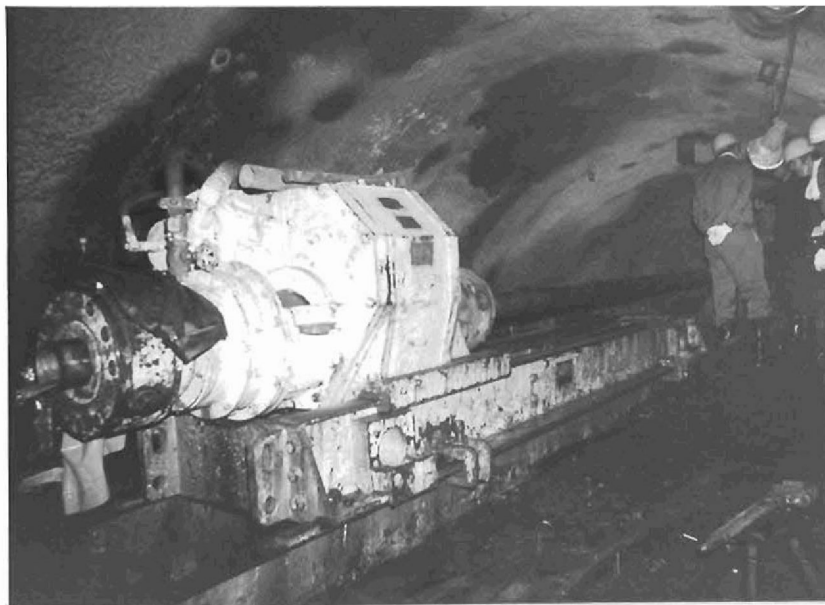


Fig. 13. Borteknikken er under stadig utvikling. Fotografiet viser Elektrodrill bormaskin under boring foran stoff i Seikantunnelen, der den har boret opptil 1700 mlange hull.

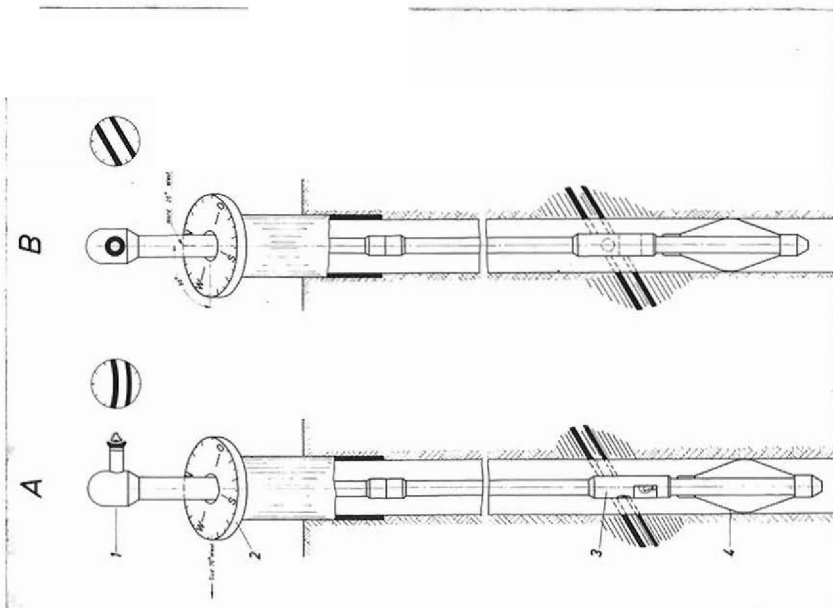


Fig. 14. For undersøkelse av berggrunnen i korte hull, er borhullsperoskopet et godt instrument. Ved siden av H fastlegges berggrunnsundersøkningsmåling av planstrukturers retninger.

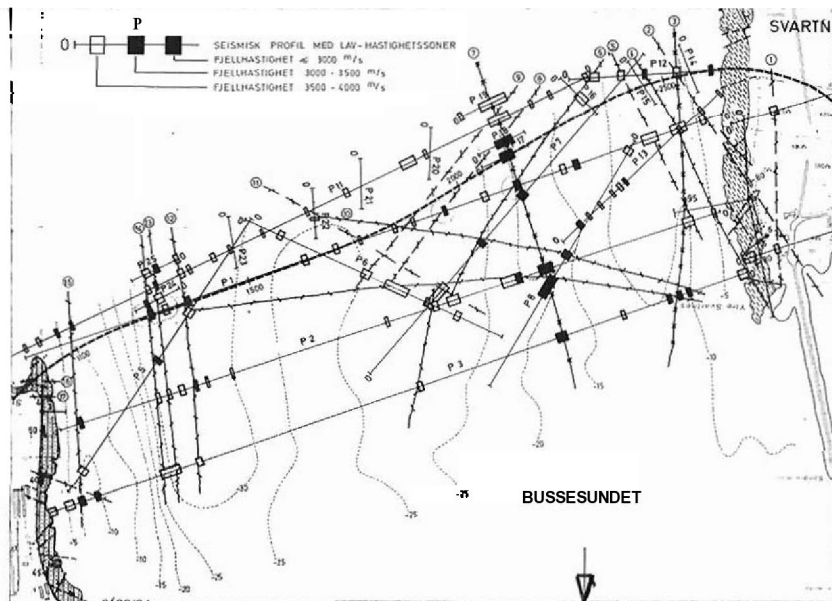


Fig. 15. Oversikt over seismiske profiler utført i Busseundet ved Vardø. De utfylte kolonner viser beliggenhet av lavhastighetssoner.

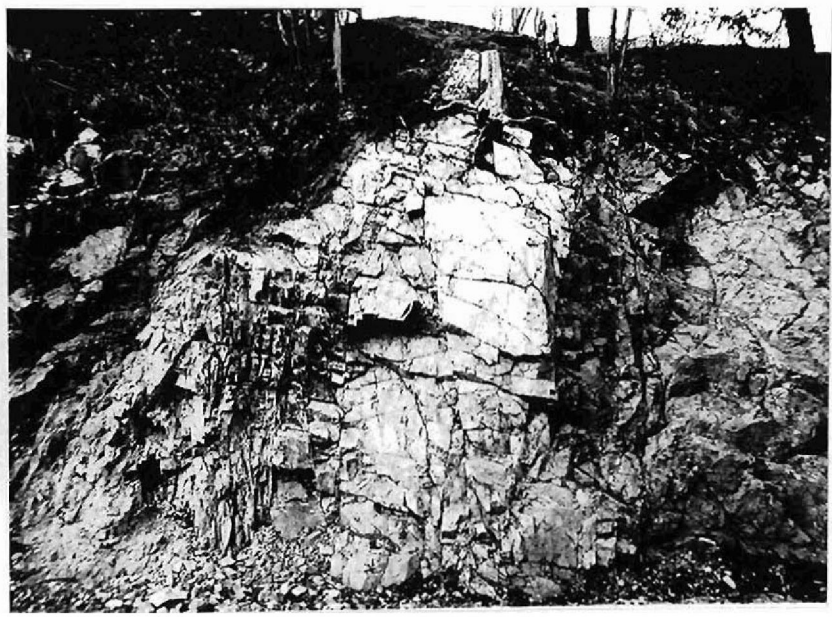


Fig. 16. Selv om bruddsoner ofte kan virke regelmessige, vi ser dette bilde fra en skjæring hvorledes denne søner øker i bredde og intensitet nedover i grunnen. De seismiske pulser vil lett finne frem til det raskeste passeringsted i et område som dette.

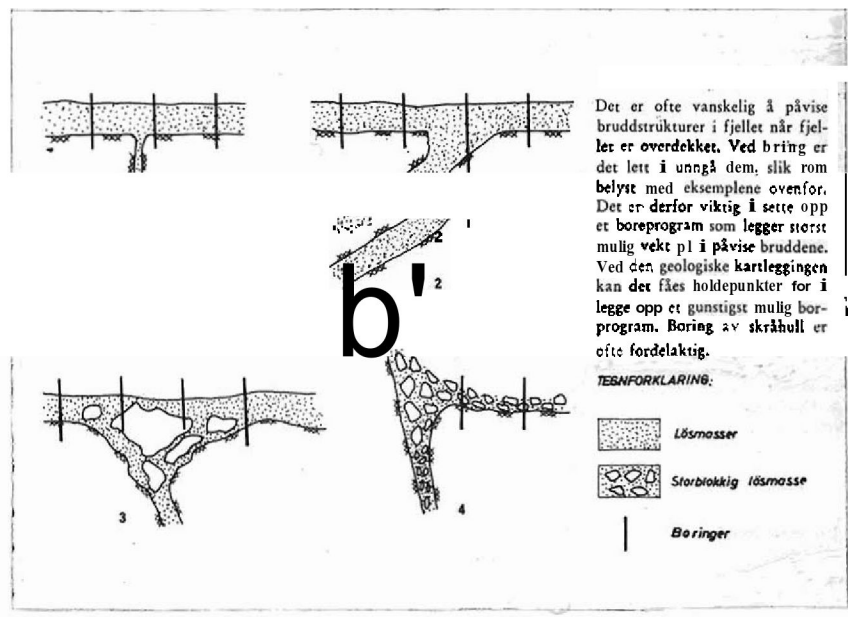


Fig. 17. Bruddsoner vil ofte være overdekket og vanskelige å påvise både ved seismikk og boringer. Forhold som vist på bildet registreres sikrest og best ved horisontale boringer.

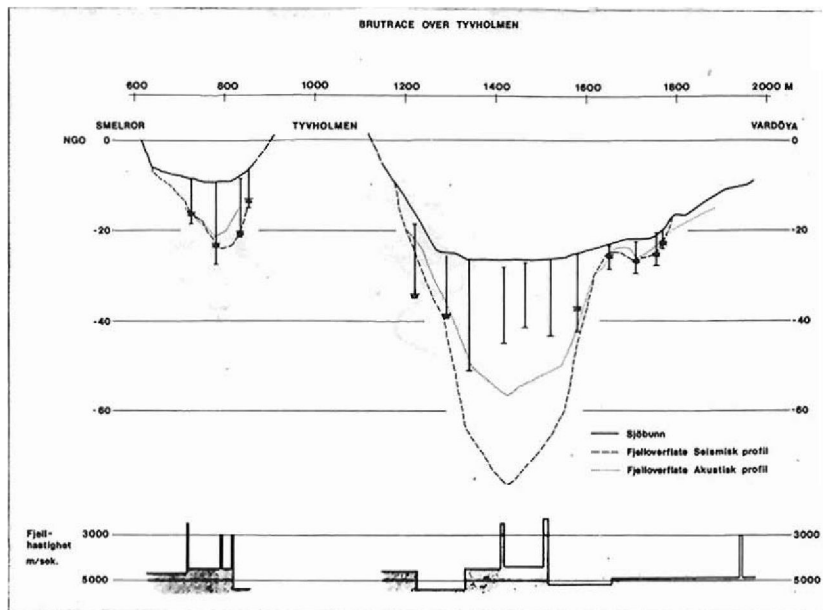


Fig. 18. Sammenligning mellom boringer, akustiske og seismiske profiler ved Bussesund.

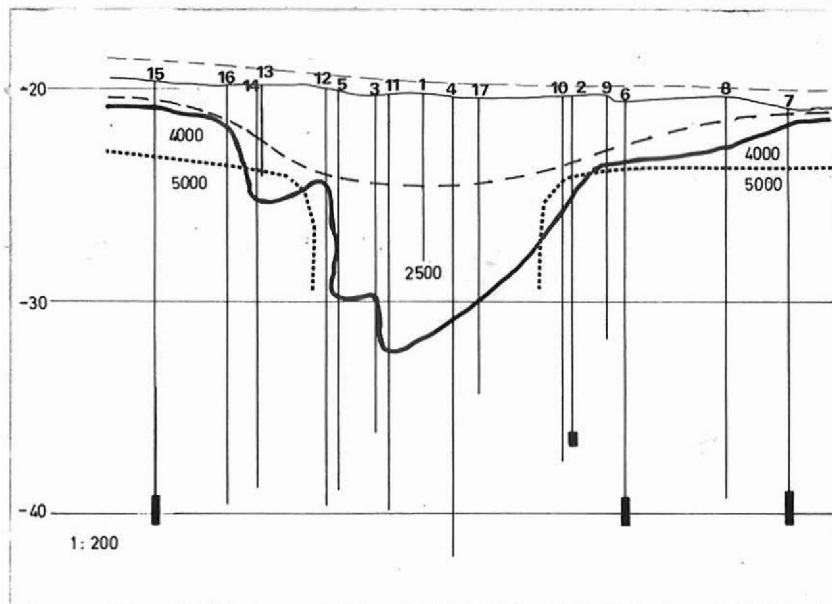


Fig. 19. Sammenligning mellom boringer, akustikk og seismikk ved en lavhastighetszone i Bussesund.

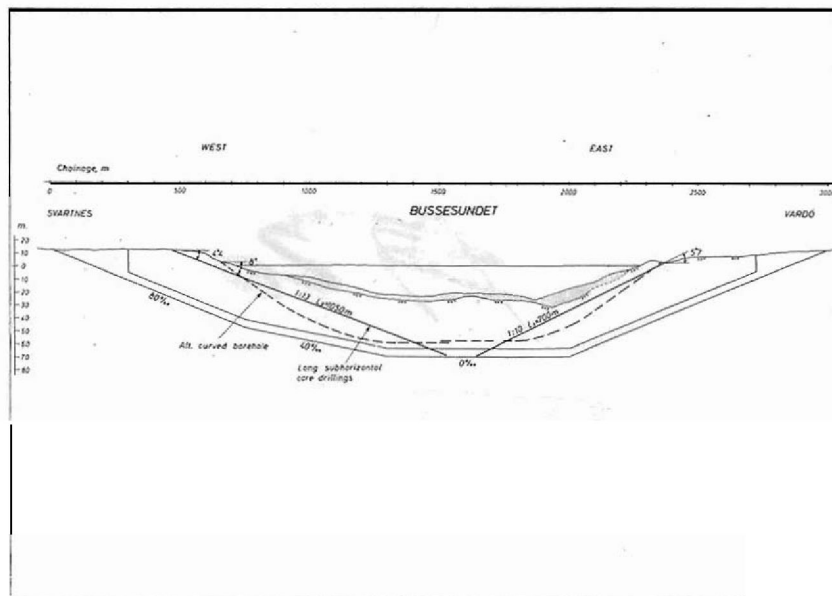


Fig. 20. Det finnes nå utstyr som gjør det mulig å styre kjerneboring langs nær horisontale tracéer som vist på dette profilet over Bussesund.