

**Intern rapport
nr. 1411**

**SK-kurs: Geologisk prosjektering
av undersjøiske vegtunneler
Kristiansand 25. - 26. april 1989**

Juni 1989

Veglaboratoriet

Intern rapport

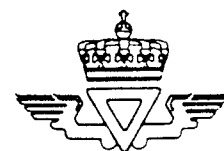
nr. 1411

Gruppe: C

SK - KURS: GEOLOGISK PROSJEKTERING AV
UNDERSJØISKE VEGTUNNELER
KRISTIANSAND 25. - 26. APRIL 1989

Vegdirektoratet
Veglaboratoriet

Gaustadalleen 25, Postboks 6390 Etterstad, Oslo 6 Tlf. (02) 63 99 00



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: Jon Krokeborg

/ RDA

dato: Juni 1989

111	A	Rapportstatus*) N	seksjon/fylke 46	Prosjekt	Gruppe: C	nr. 1411
-----	---	----------------------	---------------------	----------	--------------	----------

1 2 3 4 5 21 31 41 51 61 71

TITTEL	212	A	SK-kurs: Geologisk prosjektering av undersjøiske vegtunneler Kristiansand 25. - 26. april 1989			
--------	-----	---	---	--	--	--

SAKS-BEHANDLER	221	A	Navn Jon Krokeborg	Institusjon Veglaboratoriet
		B		
		C		

RAPPORT DATA	421	A	Rapporttype**) A	Dato Juni 1989	Erstatter rapport nr:		
		B	Totalt sidetall 161		Språk Norsk		
		C	Antall fotos	Ant. figurer 62	Ant. tabeller	Ant. litt.henv.	
		D	Sammendrag i andre språk			UTM ref.	

SAMMENDRAG	511	A	<p>Rapporten er en samling av alle innlegg fra konferansen som ble holdt i Kristiansand 25. - 26. april 1989.</p>			
------------	-----	---	---	--	--	--

FAG-OMR.	611	A	Prosjektering av tunneler	IRRD kode 25
		B		
		C		

NØKKELOD	621	A	Tunnel	3374
		B		
		C		
		D		
		E		
		F		
		G		
		H		

*) 111A: N = ny O = oppdatert
 **) 421A: FoU = forskning og utvikling K = konferansebidrag O = oppdrag A = artikkel F = forskrifter/normaler

11-86

INNHold

Innledning	Arne Grønhaug
Akustisk profilering	Ole Chr. Pedersen
Geologisk prosjektering av undersjøiske tunneler	Arne Grønhaug
Seismisk profilering	Ole Chr. Pedersen
Diskusjon	
Akustisk og refraksjonsseismisk profilering	Tor Erik Frydenlund
Sonderboringer	Marit Liv Larsen
Diamantboringer	Tor Erik Lynneberg
Forundersøkelser og driftserfaringer fra norsk vegtunneler	Bjørn Nilsen
Diskusjon	
Fjellinjen	Knut Sætre
Diskusjon	
Vardø vegtunnel	Arne Grønhaug
Flekkerøytunnelen	Jon Krokeborg

VEDLEGG

- VEDLEGG 1. Gruppeoppgave og besvarelser
- VEDLEGG 2. Kursplan
- VEDLEGG 3. Deltagerliste
- VEDLEGG 4; Forfatterliste



**KONFERANSE OM
GEOLOGISK PROSJEKTERING AV
UNDERSJØISKE VEGTUNNELER
25. - 26. APRIL 1989
I N N L E D N I N G**

Arne Grønhaug
Veglaboratoriet

BEHOV FOR FJORDKRYSSINGER

I et foredrag på Geomechanik-konferansen i Salzburg 1977 skisserte jeg hvilke krav som bør stilles til den geologiske prosjektering av undersjøiske tunneler. Det var Vardø-tunnelen som da var under undersøkelse, men jeg avsluttet med antagelsen om at dersom dette prosjektet ble vellykket, ville det initiere en ny epoke i utbyggingen av vegtunneler i Norge. Siden løsningen blant en del av offentligheten utvilsomt ble oppfattet som dristig, og siden den inneholdt risiki i tillegg til dem som allerede eksisterer ved vegtunnelbygging, var det nødvendig å innføre spesielle opplegg for planlegging og forundersøkelser.

Utviklingen i de 12 årene som har gått, har overtruffet selv de dristigste spådommer, både med hensyn til de gjennomførte prosjekter, men spesielt med hensyn til det overveldende antall prosjekter som er blitt fremmet. Men ikke bare det, selve lanseringen av tunnel som alternativ til bru, satte i gang en nytenkning som har ført til utvikling av flytebru- og rørbrukonsepter.

Det meget høye antall av prosjekter som er fremmet, viser at behovet føles meget sterkt i kystområdene. En liste utarbeidet av Vegdirektoratet i 1987 inneholder 38 prosjekter, en liste fra Møre og Romsdal inneholder 22 prosjekter bare i dette fylket.

Aktiviteten har økt fra et første prosjekt under bygging i 1979 til 3-4 under bygging ti år etter.

MULIGHETER FOR FJORDKRYSSINGER

Norsk fjordlandskap har en meget spesiell morfologi, som bare finnes på de få steder i verden som har vært utsatt for en i geologisk målestokk meget ung og sterk glasial erosjon. Karakteristisk er de bratte, U-formete fjellsider som fortsetter under havnivået til store dybder.

Norske fjorder er gjennomgående meget dype, og dette forhold skaper store problemer for kryssing. Imidlertid forekommer det også et annet karakteristisk trekk i morfologien, nemlig terskelformer i fjordenes lengderetning. Disse formene gjør kryssinger mulig, både ved bruer eller undersjøiske tunneler.

Lokalisering av krysningssteder går derfor ofte ut på å finne tersklene i fjordene. Dette kan gjøres på grunnlag av geologiske oversiktsstudier, og/eller ved hjelp av eventuelle dybdeloddinger avmerket på sjøkart. Nå kommer det imidlertid etter hvert et meget detaljert sjøkartverk som vil lette dette arbeidet vesentlig.

Imidlertid gjenstår vurderingen av om terskelen består av løsmasser eller berggrunn. De viktigste endemorene-trinn kan bestå av meget tykke bre-avleiringer med stor utbredelse som kan gi inntrykk av at overdekningen er

tynn. Oftest forekommer endemorenene der det allerede forekommer en bergterskel, men tykkelsen kan være variabel.

VEGVESENETS OPPDRAGSRUTINER - KONSULENTERS OPPFATNING

Planleggingen av de undersjøiske tunnelprosjekter har for en stor grad vært tildelt eksterne konsulenter, spesielt hva angår utarbeidelse av anbudsdokumenter. Konkurransen har imidlertid vært stor om oppdragene, noe som har ført til at enkeltstående konsulenter har benyttet seg av spesielle former for markedsføring som vi gjerne hadde vært foruten.

Et annet forhold er at Vegvesenet selv i liten grad har vært medvirkende til å klargjøre prinsipper og rutiner for arbeidet, i alle tilfelle ikke slik at konsulentene har tatt slike med det alvor saken fortjener.

Et godt eksempel på dette er en artikkel en av våre mest benyttede konsulenter presenterte i Våre Veger for et par år siden. Artikkelen inneholder en blanding av direkte feilaktige opplysninger og udokumenterte påstander med ikke angitt adresse.

Påstand 1.

Når det påstås at Statens vegvesen ikke har retningslinjer for utførelse av grunnundersøkelser for tunnelprosjekter, er dette direkte feilaktig. Det er underlig at en konsulent med mange års omfattende virksomhet for Vegvesenet ikke er kjent med retningslinjene i Håndbok 018, Vegbygging. For kontrakter benytter Veglaboratoriet i tillegg et lite, men likevel klargjørende vedlegg.

Selvfølgelig kunne en ønske seg en normal på linje med den 150 siders BS5930:1981 Site Investigations, som har vært gjenstad for omfattende diskusjoner og bearbeidelser. En like grundig forskrift for Vegvesenet hadde selvfølgelig kunnet være et godt hjelpemiddel, men vi har hittil ikke funnet tid til å igangsette et så omfattende arbeid.

Påstand 2.

Det kastes ofte bort mye penger på langt mer detaljerte grunnundersøkelser på utrednings- og hovedplanstadiet enn nødvendig. Det påstås at det ofte utføres detaljert kjerneboring og refraksjonsseismikk ikke bare for prosjekter på hovedplanstadiet, men endog på utredningsstadiet.

Dette er en påstand som mangler dokumentasjon, og det er vanskelig å forestille seg hvilke prosjekter konsulentene sikter til. Kjerneboring utføres dessverre sjelden, og er ikke utført på noen prosjekter jeg har kjennskap til, på de stadier som er nevnt.

På den annen side kan jeg ikke se noe galt i at slike undersøkelser blir utført, selv på et utredningsstadium, dersom hensikten er å klargjøre gjennomførbarehet, avgjørende kostnader, eller andre relevante forhold.

Påstand 3.

Skadevirkningene oppstår ved at traseen "låses", flyttes eller at prosjektet ikke realiseres. Igjen mangler dokumentasjon, slik at det er vanskelig å ta stilling til påstanden. En ting er vel sikkert, konsulenten har liten forretningssans på bransjens vegne.

Påstand 4.

Usikkerhet og faglig mer "nysgjerrige motiver" synes i mange tilfelle å være bakgrunnen for at grunnundersøkelser har fått et større omfang enn nødvendig, både totalt og under de ulike planleggingsfaser. Det det muligens siktes til her, kan være kartlegging i samarbeid med geologiske forskningsinstitutter, eller at geologer detaljerer unødvendig ut fra rene forskningsinteresser.

Til dette er å si at en grundig geologisk kartlegging alltid skaffer frem materiale relevant for prosjektet. Men det er selvfølgelig riktig at en økning av observasjonspunktene med en tierpotens neppe tidobler relevant kunnskap.

På den annen side er geologisk feltkartlegging og bearbeidelse en meget rimelig undersøkelsesmetode sett i forhold til den mengde av kunnskap den bringer til veie. Det bør derfor foreligge et grundig kartleggingsarbeid og godt gjennomtenkte planer forut for utførelse av mer detaljerte og mer kostbare undersøkelsesmetoder.

Påstand 5.

Store beløp kan spares (på grunnundersøkelser) for undersjøiske tunneler. Det eneste eksempel som nevnes under dette punktet, er at mobilisering for seismiske undersøkelser kan innspares ved at seismikken utføres i en omgang.

Til dette skal sies at Veglaboratoriet har vært meget opptatt av en rasjonell gjennomførelse av grunnundersøkelsene. Ikke bare av at de seismiske undersøkelsene skal utføres rasjonelt, men at rutinene for grunnundersøkelser generelt skal være bygd opp i en logisk og økonomisk rekkefølge, der hvert neste trinn planlegges på grunnlag av nøye vurdering av den kunnskap som er fremskaffet. For en rasjonell gjennomførelse kreves det imidlertid tid. Se Veglaboratoriet, Intern rapporter 1169, 1264 og 1296.

TRASEVALG OG OMFANG FORUNDERSØKELSER

Allerede fra planleggingen av det første undersjøiske tunnelprosjektet foregikk det en omfattende diskusjon om hvilken bergoverdekning en burde velge, og i hvilken grad traseen bør legges langs de antatt beste berggrunnsforhold. Denne diskusjonen har fortsatt kontinuerlig siden den gang, og nye utspill er stadig fremme.

Gjennomføringen av prosjektene har til nå gått uten de store uhell, selv om det i enkelte tilfelle har vært nære på, og det virkelig store vanninnbrudd har latt vente på seg. Det er naturlig at dette gir grobunn for optimisme og radikale forslag med hensyn til overdekning og omfang av forundersøkelser. Det må dessverre slås fast at disse forslag bygger mer på antagelser enn på konkrete undersøkelser eller statistisk materiale.

INNKORTING OG ØKONOMI

Hvilken økonomi ligger det så i innkortinger som oppnås ved å redusere bergoverdekningen? Det bør være enighet om at skal økonomibegrepet ha noen mening, bør det dreie seg om totaløkonomi, og ikke den øyeblikkelige gevinst som kan regnes ut ved innsparing av tunnel-lengde. Totalkostnader omfatter ikke bare tunnellengde, men også sikringskostnader og vedlikeholdskostnader. En meget tung post her er vannsikringen, som kan koste like meget som tunneldriften.

Det burde være velkjent at lekkasjene minker med økende bergoverdekning, noe det er lett å observere i vanlige vegtunneler. Mot dypet konsentreres lekkasjene langs færre og færre bruddstrukturer inntil den såkalte grunnvannssåle nås.

EKSEMPEL

Hva betyr så en økning av bergoverdekningen på 10 m for økonomien av et prosjekt? Vi tar utgangspunkt i et prosjekt som er 4 km langt, og som er vannsikret i halve lengden til en pris av 20 mill. NOK. I første omgang betyr dette en økning av lengden med 250 m til en pris av ca. 8 000 000 NOK. Dette tilsvarer vannsikring i ca. 800 m lengde. Altså, dersom en økning av bergoverdekningen med 10 m medfører en reduksjon i vannsikringen på 40 %, balanserer økonomien i prosjektene. I gunstig retning må en ta med effekten reduserte lekkasjer har på vannpumping og korrosjon og at det oppnås bedre stabilitet og sikkerhet ved kryssing av svakhetssoner.

Hva er sannsynligheten for å oppnå denne effekten ved en slik endring i vertikalkurvaturen? Erfaring, spesielt fra utslag under vann, viser at der berggrunnsforholdene er meget gode, kan vanntett berggrunn finnes like under dagoverflaten. I berggrunn med dypforvitret oppsprekning kan lekkasjene gå dypt, men det finner sted en gradvis reduksjon med dybden.

Ved mer vanlige berggrunnsforhold anses det ikke for usannsynlig at en vil kunne oppnå 40 % reduksjon i vannsikring ved å øke bergoverdekningen med 30 %. Dette er imidlertid en så viktig faktor i kostnads- og sikkerhetsvurderingene at det bør gjøres til gjenstand for spesielle undersøkelser på det aktuelle prosjekt.

UNDERSØKELSESMETODENES SIGNIFIKANS OG FEILKILDER

Alle de undersøkelsesmetoder som benyttes, er beheftet med feilkilder. Selv ikke når tunnelen er ferdig, har en full oversikt over stabilitetsforhold og lekkasjeomfang i fremtiden. Det har hendt selv ved utstrossing av vegtunneler at overraskende forhold har blitt avdekket. Sannsynligheten for å avdekke vanskelige grunnforhold øker med økende kunnskap, og det blir et vurderingsspørsmål å avveie omfang av undersøkelser mot kostnader.

Utviklingen i den senere tid har gått i retning av færre og enklere undersøkelser enn tidligere, ofte begrenset til geologisk oversiktskartlegging og akustisk registrering supplert med spredte seismiske profiler. Avgjørende grunnforhold for et undersjøisk tunnelprosjekt kan være vanskelig å registrere med de metoder som vanligvis benyttes. Der grunnen inneholder kropper med lave seismiske hastigheter, synes metoden sikker. Metoden har imidlertid klare begrensninger hva angår svakhetspartienes størrelse, geometrisk form og materialtype.

Nærmere beskrivelse av begrensningene i de akustiske og seismiske registreringene vil forhåpentlig bli grundigere behandlet senere. Her skal det bare listes opp noen geologiske dannelser som er vanskelig påvisbare:

- 1) Trange og steile, løsmassefylte kløfter i berggrunnen
- 2) Løsmassefylte kløfter med liten vinkel til profilet
- 3) Svakhetssoner smalere enn geofonavstanden
- 4) Svakhetssoner som stryker med liten vinkel til profilet
- 5) Svakhetssoner som ligger flatt eller med svakt fall
- 6) Bruddsoner som inneholder store blokker med god kontakt
- 7) Svakhetssoner beliggende under lag med høyere hastighet
- 8) Geometriske forhold som ikke registreres, blindsonelag.

Seismisk registrering gir ofte en pålitlig registrering av bergoverflatens gjennomsnittlige beliggenhet. Der overflaten er jevn, kan tilfredsstillende oversikt over dybden til bergoverflaten oppnås, men detaljering av ujevn topografi vil bli mer usikker. Det er slike detaljer som har den mest avgjørende innflytelse på prosjektet, og alene vil seismiske registreringer ikke gi et tilstrekkelig grunnlag for påvisning av problemområder som listet opp foran.



KONFERANSE OM
GEOLOGISK PROSJEKTERING AV
UNDERSJØISKE VEGTUNNELER
25. - 26. APRIL 1989
HOTEL NORGE, KRISTIANSAND

A K U S T I S K P R O F I L E R I N G

Ole Chr. Pedersen
GEO MAP

INNHold

1. INNLEDNING
2. PRINSIPPER
- 2.1 POSISJONERING
3. UTSTYRSTYPER
4. TIDSBEHOV
5. TOLKNING
6. BEGRENSNINGER, FEILKILDER

VELEGG

- A. Eksempler på hjelpemidler ombord, utskrifter og bilder fra dataskjermer.
- B. Dataeksempler med kommentarer.
- C. Eksempler på presentasjon.

1. INNLEDNING

Akustisk profilering er en fellesbetegnelse for metoder som bygger på måling av gangtider for lydbølger som utsendes i vann, og som går vertikalt ned i sjøbunnen og videre ned i underliggende lag, og reflekteres tilbake.

Vanligvis benyttes ekkolodding og en annen akustisk kilde samtidig.

2. PRINSIPPER

Et lydsignal som sendes ned i bakken vil bli delvis reflektert tilbake ved overgangen mellom forskjellige massetyper i grunnen. Metoden er helt analog til ekkolodding, men benytter andre frekvenser og energimengder for å "se" ned i underliggende materiale. Figur 1 illustrerer måleprinsippet.

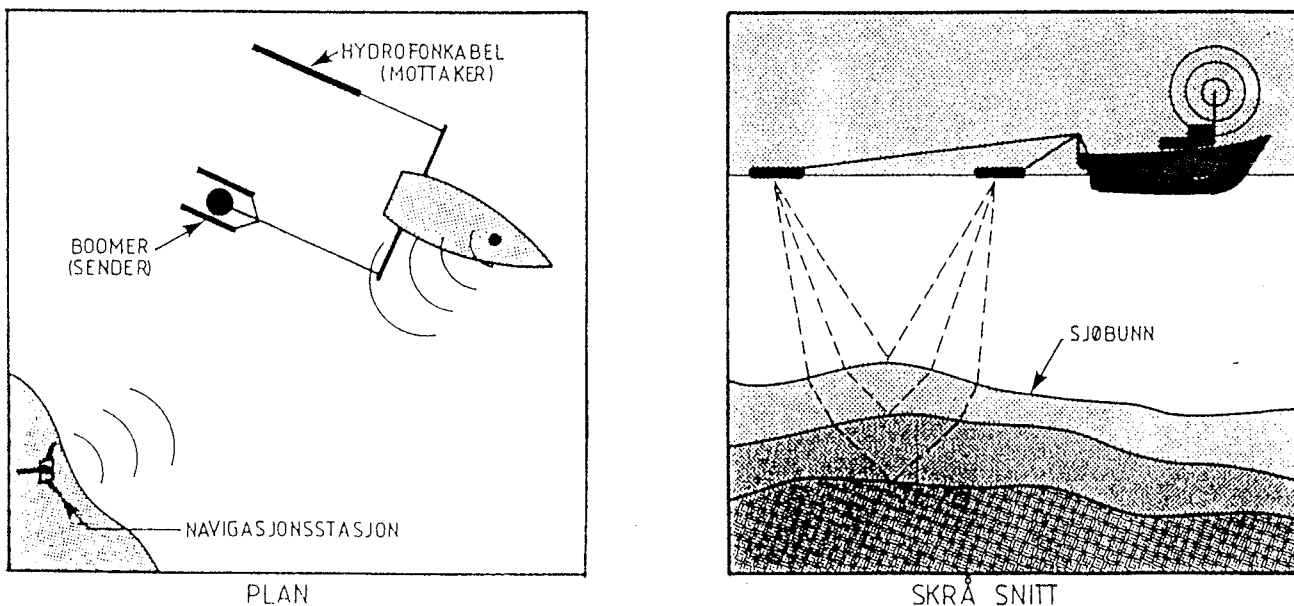
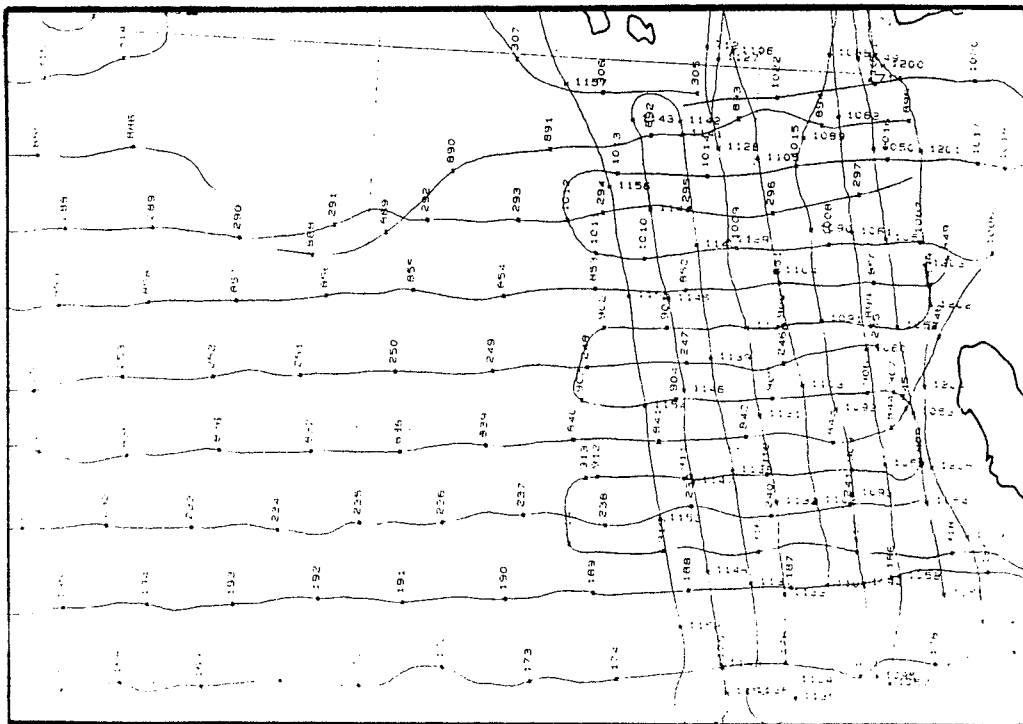


Fig. 1

For engineering formål benyttes i kystnære farvann stort sett bare overflatetauet utstyr, mens dyptauet utstyr benyttes i større grad offshore, der man har store områder uten vesentlige dybdevariasjoner.

Målingene utføres ved å kjøre systematiske linjenett i undersøkelsesområdet. Fig. 2 viser et utsnitt av et kurslinjekart.



Kurslinjekart utsnitt

Fig. 2

Linjetettheten bestemmes ut fra kravet til detaljeringsgrad, dvs. ønsket kartmålestokk. Normal linjetetthet relatert til kartmålestokken er:

Avstand mellom linje $\times 100 =$ det inverse av kartmålestokk.

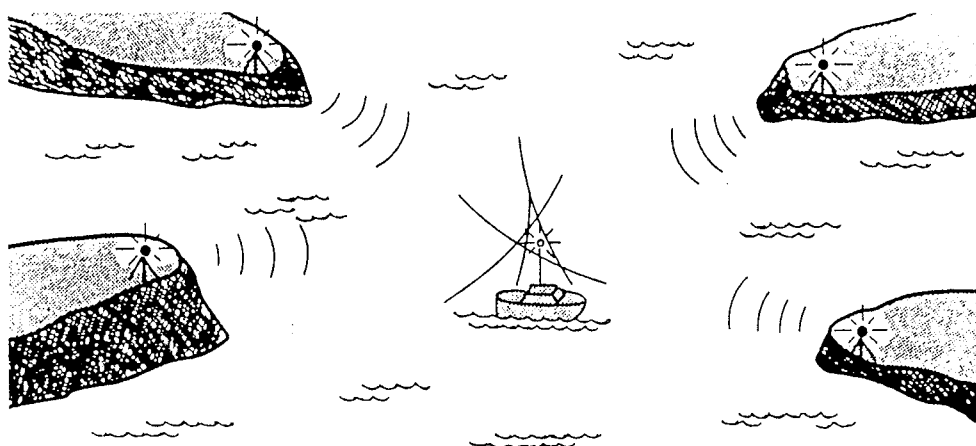
Dvs. for kart i målestokk 1:5000 benyttes linjeavstanden 50 m. For prosjekter hvor det går ut på å finne visse særtrekk innenfor et stort område, kan et sveip gjennom området gi svar på hvor hovedundersøkelsen bør konsentreres.

For undersjøiske tunnelprosjekter er det vanlig å foreta målinger med forholdsvis stor linjeavstand, og noen kryssende profiler for å finne terskelområder hvor undersøkelsen konsentreres.

2.1 POSISJONERING

Posisjonering av fartøyet foretas normalt med radionavigasjon. Prinsippskisse er vist i fig. 3.

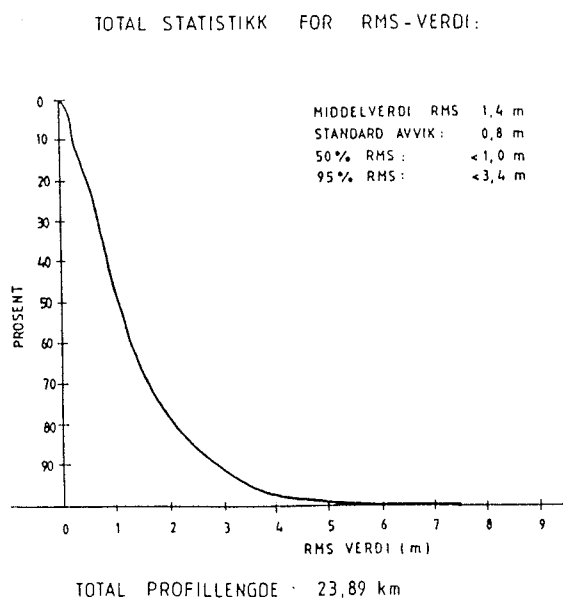
For å få et mål på godheten i navigasjonen benyttes 3 - 4 stasjoner plassert på land. Ved å beregne posisjonen med flere stasjonskonfigurasjoner kan nøyaktigheten statistisk beregnes.



Prinsippskisse, radionavigasjon

Fig. 3

Figur 4 viser en RMS-kurve (minste kvadraters metode). 50 % av posisjonsverdiene har nøyaktighet bedre enn 1 m, mens 95 % ligger innenfor en nøyaktighet på 3,4 m.



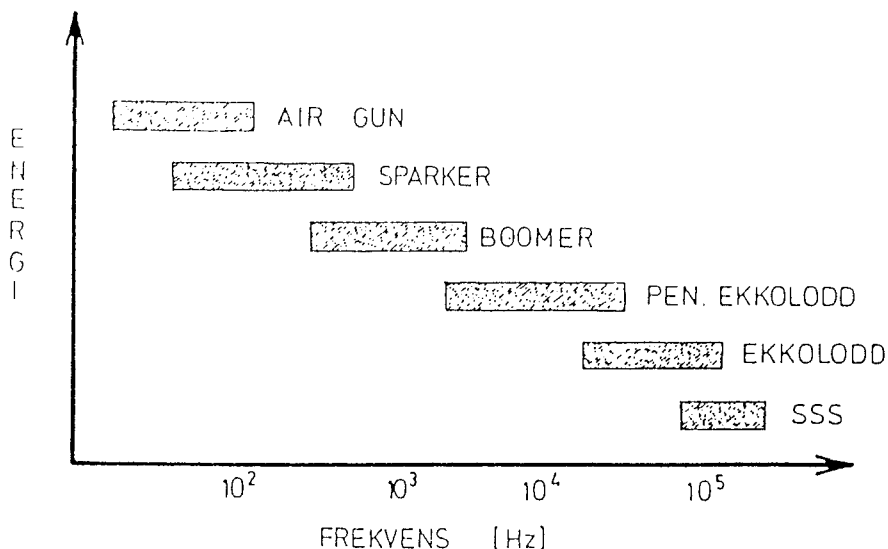
Statistisk vurdering av posisjonsdata (RMS-kurve)

Fig. 4

3. UTSTYRSTYPER

Ved valg av utstyr er det nødvendig å vurdere forhold som vandyp, antatte løsmassetyper, krav til nedtrengning og oppløsningsnøyaktighet.

Fig. 5 viser oversikt utstyrstyper (lydgivere) med typiske frekvensområder og innbyrdes energinivå.



Oversikt over marine refleksjonsseismiske metoder (lydgivere).

Fig. 5

Geofysikkens dilemma er ofte knyttet til ønsket om samtidig god nedtrengning og høy oppløselighet i dataene.

For å oppnå best mulig penetrasjon (nedtrengning) i materialet ønskes lavfrekvente energikilder, dvs. lange bølger. Slike bølger gir imidlertid dårligere oppløsning i dataene.

For ingeniørgeofysiske problemstillinger er penetrasjonsekkolodd, boomer og sparker de kildene som vanligvis benyttes. Tabellen under viser typiske frekvensområder, oppløsning og dybdenedtrengning.

System	Frekvens	Vertikal oppløsning	Dybdenedtrengning
penetrasjons- ekkolodd	1. - 10 kHz	ca. 1 m	5 - 25 m
Boomer	400 - 2000 Hz	ca. 2 - 4 m	200 m
Sparker	100 - 1000 Hz	ca. 5 - 10 m	1000 m

Penetrasjonsekkoloddet kan være bra i grunne områder og løse sedimenter, og egner seg særlig for undersøkelser av forholdsvis tynne topplag av leire, silt, sand, f.eks. ved planlegging av rør- og kabeltrasèer.

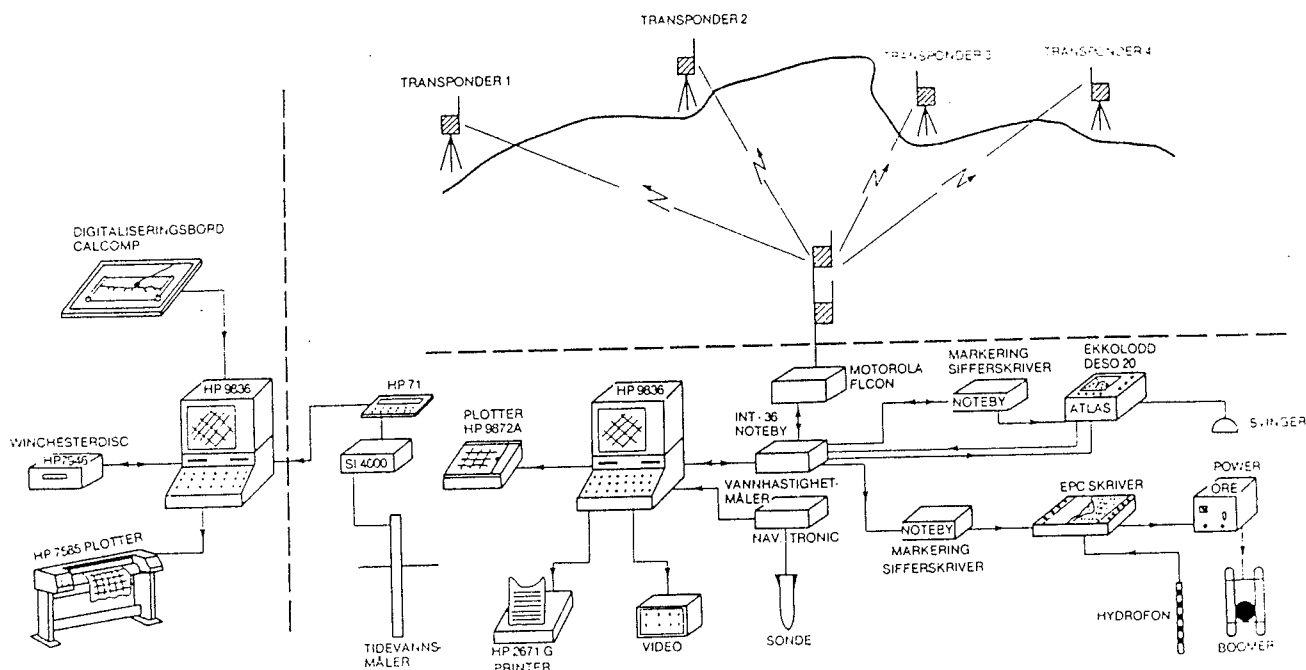
Penetrasjonsekkoloddet er som regel fast montert til båten, og er følgelig enklere å operere i trangt farvann og nær land enn tauet utstyr.

Boomer er den energikilden som er mest benyttet. Den gir rimelig god oppløsning i dataene og samtidig god penetrasjon. I hard morene kan det være vanskelig å oppnå god nok signalstyrke til å registrere refleksjon mellom morene og fjell.

Sparkeren har i prinsippet bedre mulighet for å trenge ned i faste masser, men for mange formål er oppløsningen i sparkerdataene for dårlig.

En kombinasjon av boomer- og sparker målinger kan være et hensiktsmessig opplegg for å sikre både penetrasjon og oppløsning.

De reflekterte signalene fanges opp av en hydrofonkabel som slepes ved siden av lyd giveren (se fig. 1), og dataene skrives ut som et ekkogram, der også tidsmarkeringer påføres som referanse for posisjonering. I vedlegg B er det vist noen dataeksempler. Alle data for posisjonering etc, registreres og lagres i computeren ombord. Et komplett utstyrsoppsett er vist i figur 6.



Komplett utstyrsoppsett

Fig. 6

Større bruk av datakraft og mikroprosessorer har vært hovedingrediensen i utviklingen innen akustisk profilering i de siste årene.

På datainnsamlings siden har mere sensitive hydrofonkabler blitt utviklet, samtidig som egenstøy i systemet er redusert ved å skille høyenergi systemet fra lavenergi systemet ved hjelp av fiberoptikk.

Kraftigere aggregater tillater kontinuerlig kjøring med høyere energinivå som gir sterkere signal og mulighet for bedre penetrasjon.

Utviklingen på software-siden har også ført til at dataene i større grad kan prosesseres i felten, hvilket muliggjør raskere stillingtagen til måleopplegg og fremdrift i prosjektene.

Koordinering av de forskjellige systemene foregår automatisk ved hjelp av datasystemer og mikroprosessorer. Data loggingen er også forbedret, og oppdateringstid på 1 - 2 sekund er i dag vanlig. Dvs. at lagring av alle innkomne data fra navigasjon, ekkolodd, båtens hastighet, gyro, tidsangivelse osv. foreligger på diskett for hvert 1 - 2 sekund.

Større bruk av datakraft har også bedret den operative delen, idet videoskjerm som viser ønsket kurslinje og båtens posisjon gir større manøvreringsnøyaktighet.

I vedlegg A er det vist eksempler på utskrifter og bilder fra dataskjermene ombord.

4. TIDSBEHOV, KOSTNADER

Gjennomføringen av en typisk akustisk profileringsjobb består av følgende:

1. Innhente kartgrunnlag fra området.
(Som regel økonomisk kartverk i 1:5000).
2. Utvelgelse av steder for radionavigasjons stasjoner. (Dersom fastmerker ikke finnes må punktene innmåles av landmåler).
3. Vurdering av instrumentering (energikilde) på bakgrunn av antatte geologiske forhold.
4. Mobilisering, målebåt og personell.
5. Oppsetting av vannstandsmålere.
6. Kalibrering av navigasjonssystemet.
7. Kalibrering av ekkolodd.
(Måling av lydshastighet i vann).
8. Profileringsarbeid.
(Oppdragsgiver ønsker ofte foreløpige resultater. Dagens teknikker gir god mulighet for kontinuerlig oppfølging.)
9. Vurdering (av bruk) av alternativ energikilde.
(Eventuelle tilleggsmålinger).
10. Nedrigging av navigasjonsstasjoner.
11. Demobilisering.
12. Dataprosessering, tolking, rapportering.

Planleggingsarbeidet varierer mye i tid avhengig av oppdragstype, krav til klareringsarbeid, hva som finnes av fastmerker etc.

Mobilisering på stedet inklusive rigging av navigasjonsstasjoner og kalibrering tar vanligvis fra en halv til en dag. I tillegg kommer tid for forsendelse av utstyret.

Vanlig profileringshastighet er 3 - 6 knop og forholdsvis store datamengder innsamles i løpet av en dags måling. I områder uten hinder for profileringsarbeidet og rimelig lange seilingslinjer, måles 40 - 60 km profil pr. dag.

Pris pr. profil km er svært avhengig av området.

Trangt og grunt farvann er langt mer tidkrevende enn åpent farvann med lange seilingslinjer.

Skipstrafikk som hindrer profileringen bidrar til lavere produksjon og høyere pris, samt ofte støy på registreringene.

Dersom navigasjonsstasjonene på land kan plasseres slik at de dekker hele området, er det fordelaktig. Avbrudd for å flytte navigasjonsstasjoner tar tid. Det er derfor god økonomi i å vurdere et enklest mulig navigasjonsopplegg.

Små jobber kommer ut med høy pris pr. km i forhold til store jobber. Nedenfor er vist hvordan kostnadene relativt varierer etter mengden som profileres.

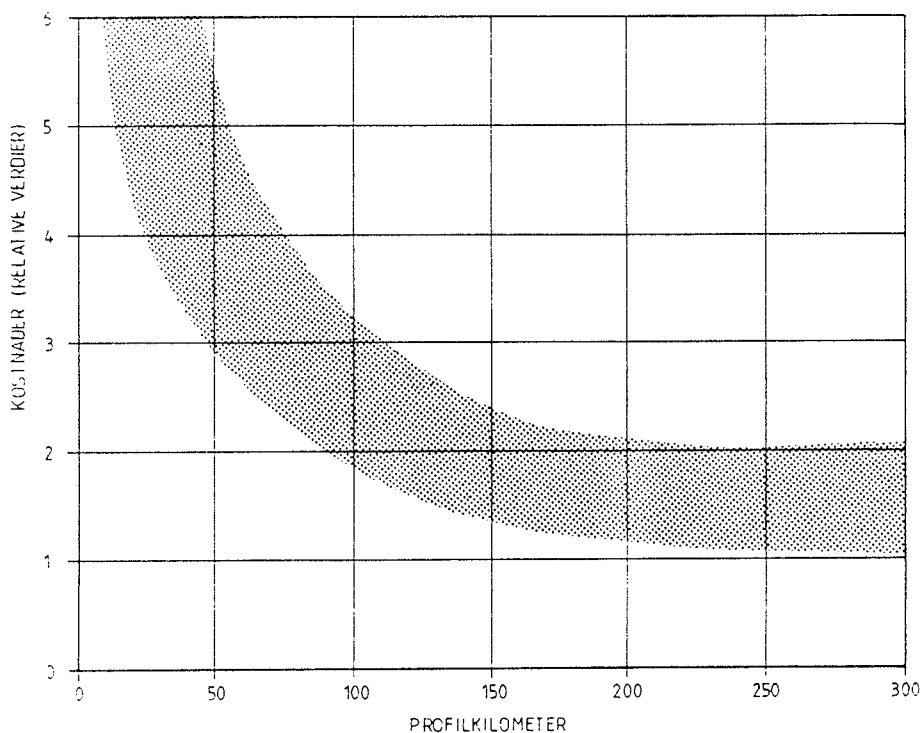


Fig. 7

5. TOLKNING

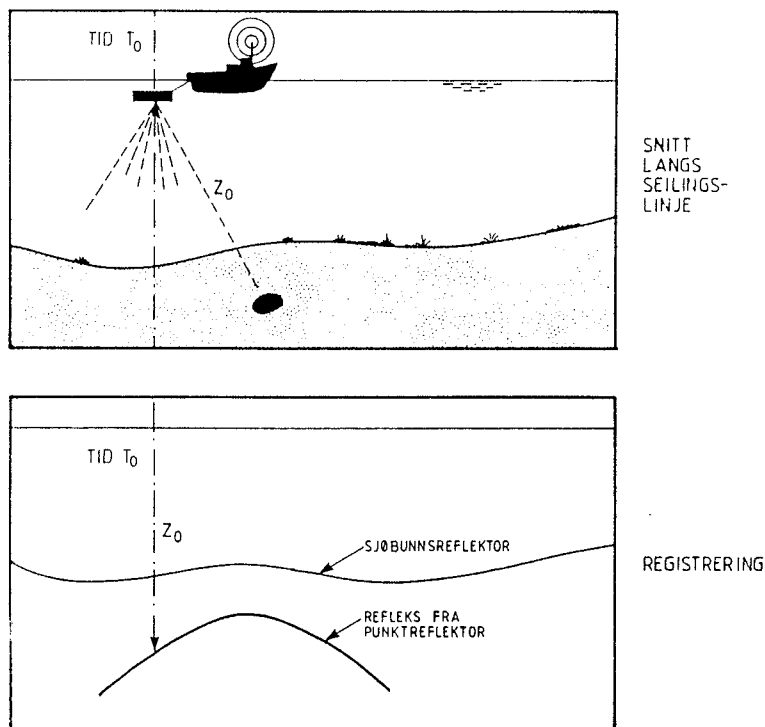
Tolkning av akustiske data foretas manuelt ved å studere de analoge utskriftene. I vedlegg B er det vist noen typiske dataeksempler med kommentarer.

I mange tilfeller kommer de forskjellige lag tydelig fram på registreringene, og lagtykkelsen leses greit ut. I mere kompliserte tilfeller hvor reflektoren vises dårligere, kommer erfaring i å studere signaturen i dataene til nytte, og det kan være nødvendig å arbeide seg gjennom dataene flere ganger fra linje til linje og sjekke med eventuelle kryssprofiler.

De forskjellige reflektorer måles så ut ved digitalisering på et digitaliseringsbord. I datamaskinen lagres gangtider til de forskjellige reflektorene. Sjøbunnsprofilen foreligger digitalt fra ekkoloddingen i de samme linjene. Ved å bruke antatte hastigheter for lyd-gjennomgangen i de forskjellige materialer kan dybden til de forskjellige reflektorer beregnes. Dersom informasjon som innhentes på et senere stadium, (vanligvis fra refraksjonsseismiske målinger) viser at de antatte hastigheter avviker fra virkeligheten, muliggjør dagens digitale datalagring at nye dybdeberegninger enkelt kan foretas ved å legge inn de nye hastighetsverdiene.

Alle korreksjoner for etterslep i forhold til navigasjonsantenne, tidevannskorreksjon, eventuelle endringer i lydhastigheten i vann etc. foretas automatisk ved data-prosesseringen.

Boomeren og sparkeren har forholdsvis stor åpningsvinkel og "ser" således et godt stykke foran, bak og tilside for båten. Figur 8 under viser hvordan en punktrefleksor vil se ut på registreringen. På grunn av åpningsvinkelen ("synsfeltet") vil skarpe kanter, topper etc. bli avrundet (parabelform). Dette er illustrert i figur 8.



Refleksjon fra en punktrefleksor

Fig. 8

I dataeksempel vedlegg B1 vises hvordan en kløft kommer til syne på henholdsvis boomer og ekkolodding. På grunn av boomerens åpningsvinkel "ser" den ikke ned i trange kløfter. Legg merke til at bunner på kløfta kommer til syne som en parabellignende refleksjon. Eksemplet viser

nødvendigheten av å benytte ekkolodding for utplotting av sjøbunnen. Ved digitaliseringen er det enkelt å sjekke sjøbunnsformen fremkommet ved boomer og ekkolodd mot hverandre, og derved unngå feiltolkninger.

Særlig ved tolkninger som foretas hurtig i felt, er det viktig å være klar over innvirkninger fra forskjellig lydshastighet i ulike løsmasser.

Dataeksempel B2 illustrerer dette. Ved første øyekast er det fort gjort å konkludere med at fjelloverflaten ligger høyest i høyre del av registreringen. Ved å benytte hastigheter som angitt i tolkningen under, viser resultatet at fjellflaten ligger så og si jevnt i hele området.

6. BEGRENSNINGER, FEILKILDER

Ved akustisk profilering kan det være ønskelig å avgjøre hva slags materiale en reflektor representerer. Det er rimelig greit å skille mellom løse, sorterte masser som leire, silt, sand og andre masser, se vedlegg B3. Faste masser, morene, kan være vanskelig gjennomtrengbare for akustiske pulser, og det kan derfor være vanskelig å vite om en reflektor tilsvarende fjelloverflaten eller overflaten av en morene. Det må derfor ofte foretas tilleggsundersøkelser dersom problemstillingen krever kjennskap til overgangen morene - fjell.

Dybdeberegninger foretas ut fra antatte ganghastigheter for lydimpulsene. Feil antatt hastighet vil føre til feil angitt reflektornivå.

Boomerens (sparkerens) åpningsvinkel er diskutert foran, 5. Tolkning). På grunn av åpningsvinkelen kan formasjoner på siden av seilingslinja forstyrre registreringen (siderefleksjon). Eksempel er gitt i vedlegg B4.

På grunt vann vil multipler (signal som reflekteres flere ganger mellom sjøoverflaten og sjøbunnen) maskere dataene, slik at underliggende refleksjoner er vanskelig å se. Vanddyp under ca. 5 m er lite egnet for boomer målinger, (se vedlegg B5).

VEDLEGG A

EKSEMPLER PÅ HJELPEMIDLER OMBORD,
UTSKRIFTER OG BILDER FRA DATASKJERMER

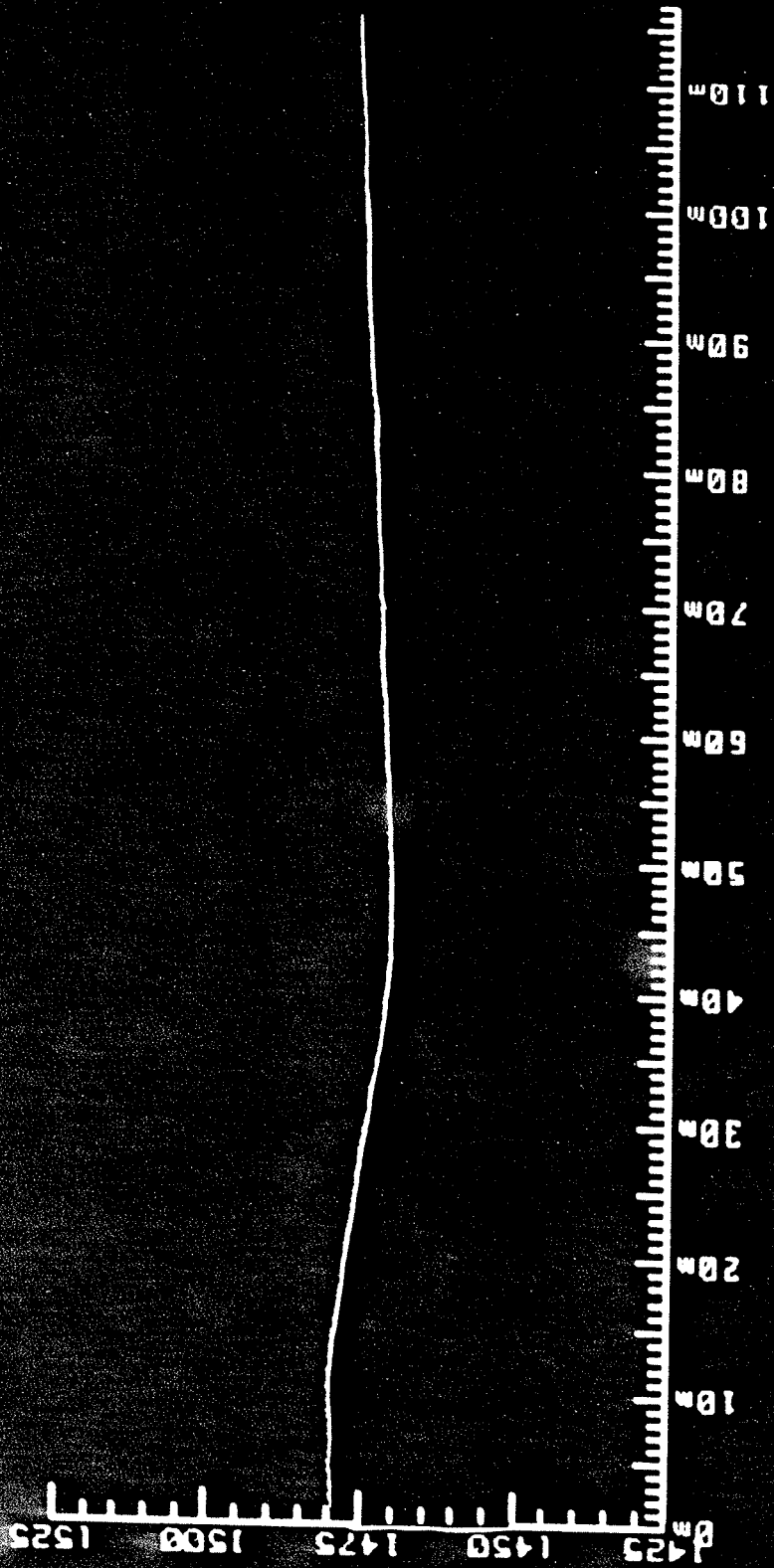
.....

Valgnr	Funksjon	Listenr	Type
1	Hovednavigasjon	2	Motorola Falcon 488
2	Binavigasjon	0	Ingen !
3	Undervannsnavigasjon	0	Ingen !
4	Gyro	10	Silva 2200/5000
5	Log	0	Ingen !
6	Rull/Heave/Pitch	0	Ingen !
7	Ekkolodd	13	Atlas Deso 20
8	Siffrskriver	16	Noteby siffrskriver
9	Crt	22	HP-intern crt
10	Printer	18	HP-printer
11	Display	23	HP-intern display
12	Plotter	19	HP-plotter
13	Logmedia	21	HP-disc
14	Video	17	Videomonitor

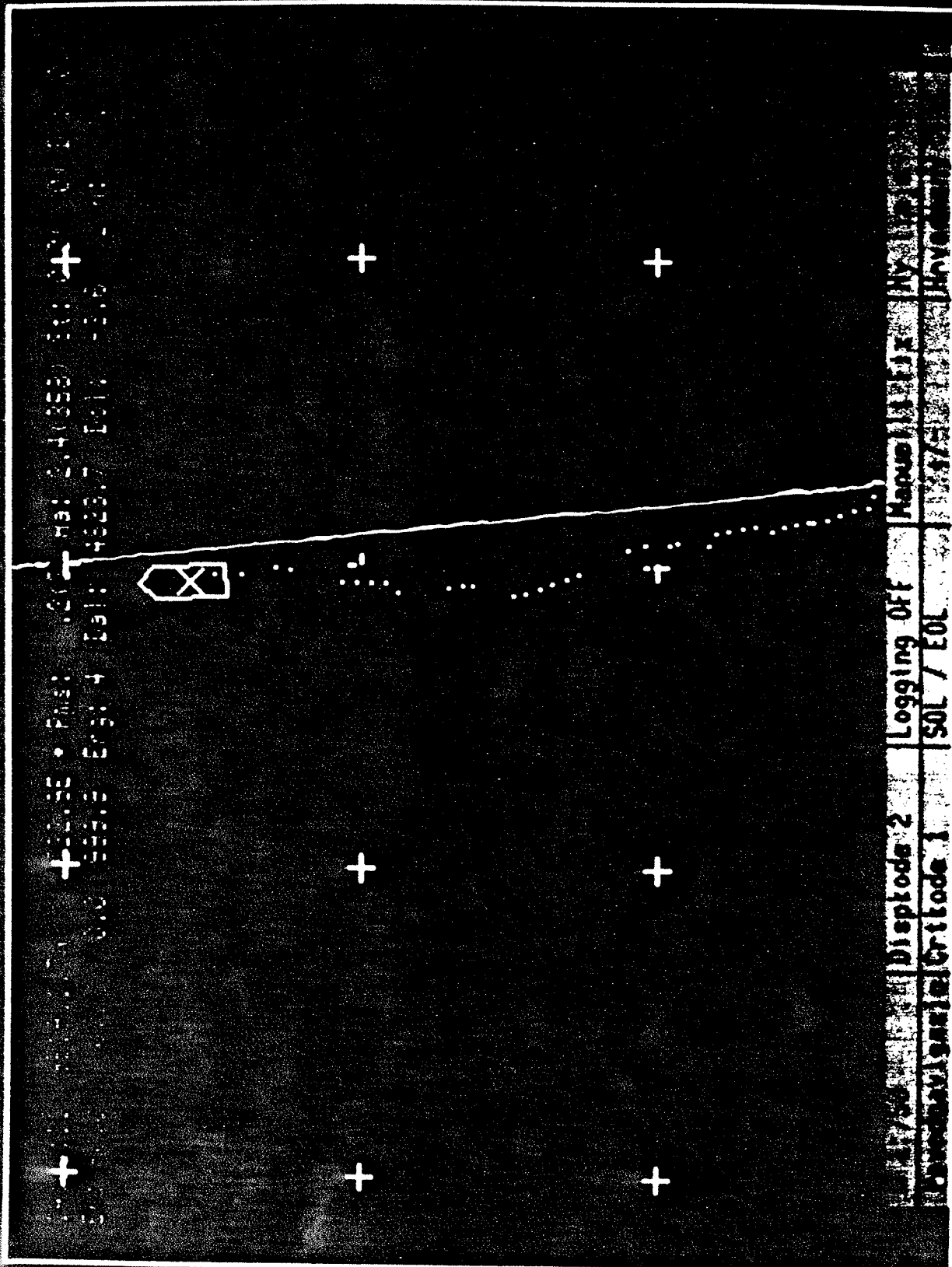
Hovednavigasjon	Ingen !		Shift-disc
Pett utstyr	Pett valg (0)		Hovedmeny

LYDHASTIGHETSKURVE

SHITILYDHASTIGHET 1474.4 m/s TID: 2.701 1987 14:30
 STØPSTE MÅLEOPP 117 m STED:



Station data	Print data	Plott data	Legre data	Header data



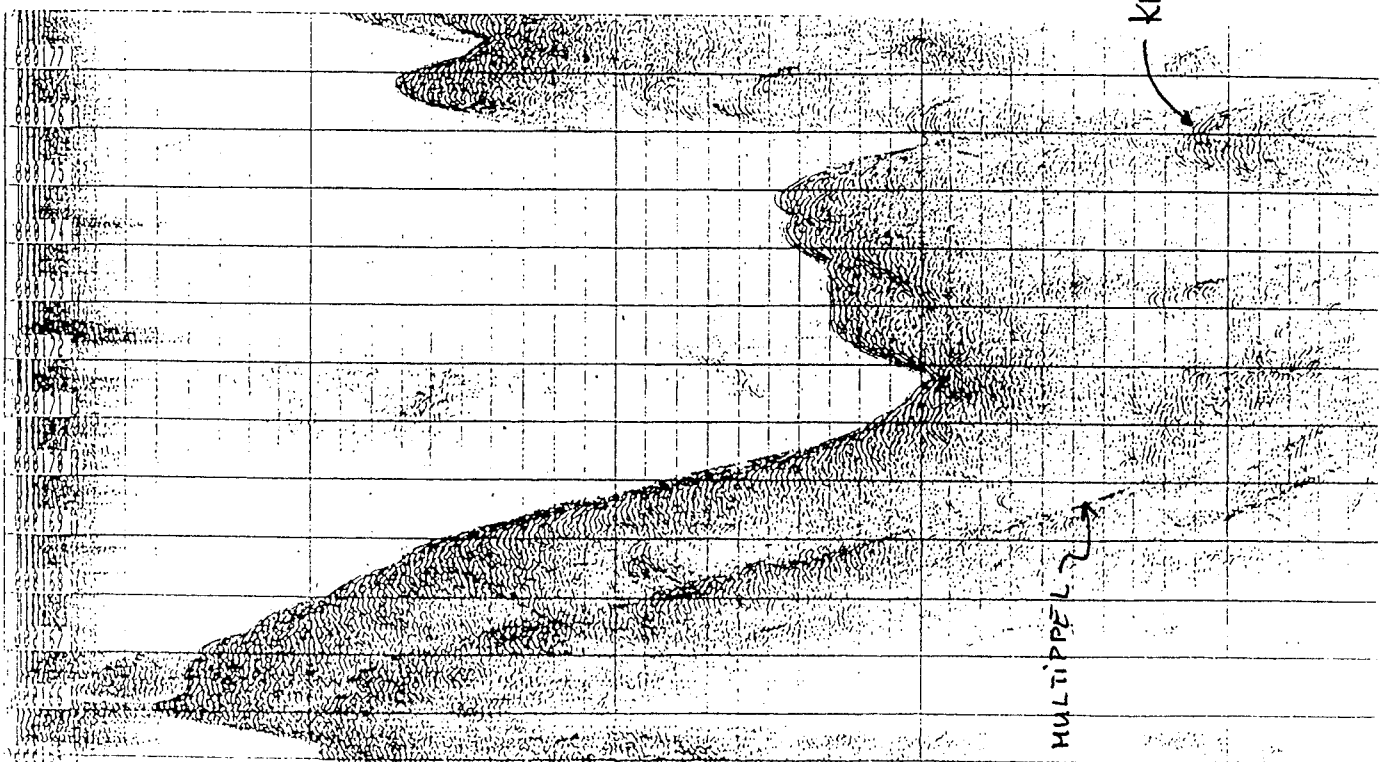
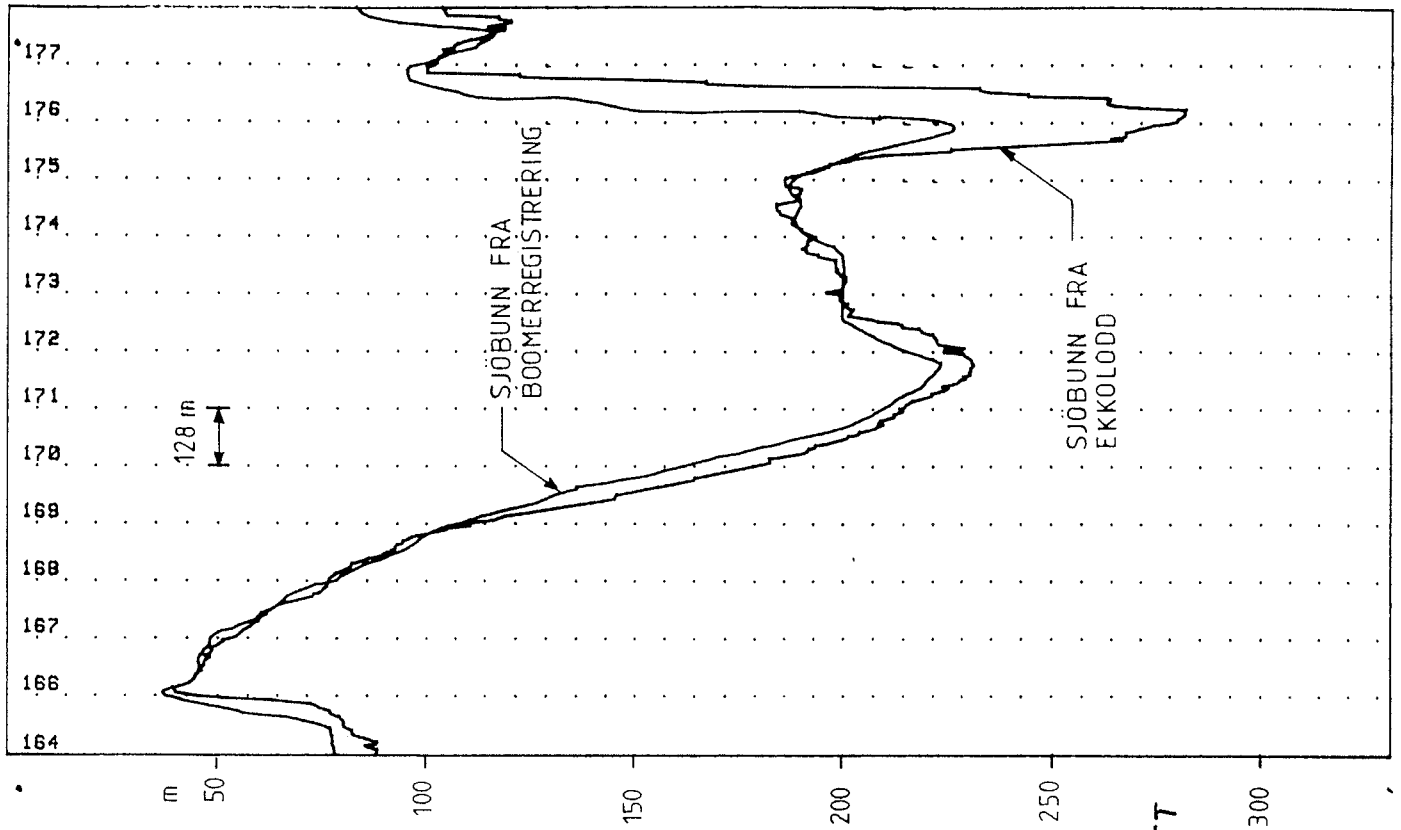
50n 100n 150n 200n 250n 300n 350n 400n

2050	2101
2049	2041
2048	1981
2047	1921
2046	1861
2045	1801
2044	1741
2043	1681
2042	1625
2041	1581
2040	1501
2039	1441
2038	1381
2037	1321
2036	1265
2034	1141
2033	1081
2032	1021
2031	961
2030	901
2029	841
2028	781
2027	721
2025	661
2024	601
2023	541
2022	481
2021	421
2020	361
2019	301
2018	241
2017	181
2016	121
2015	61

VEDLEGG B

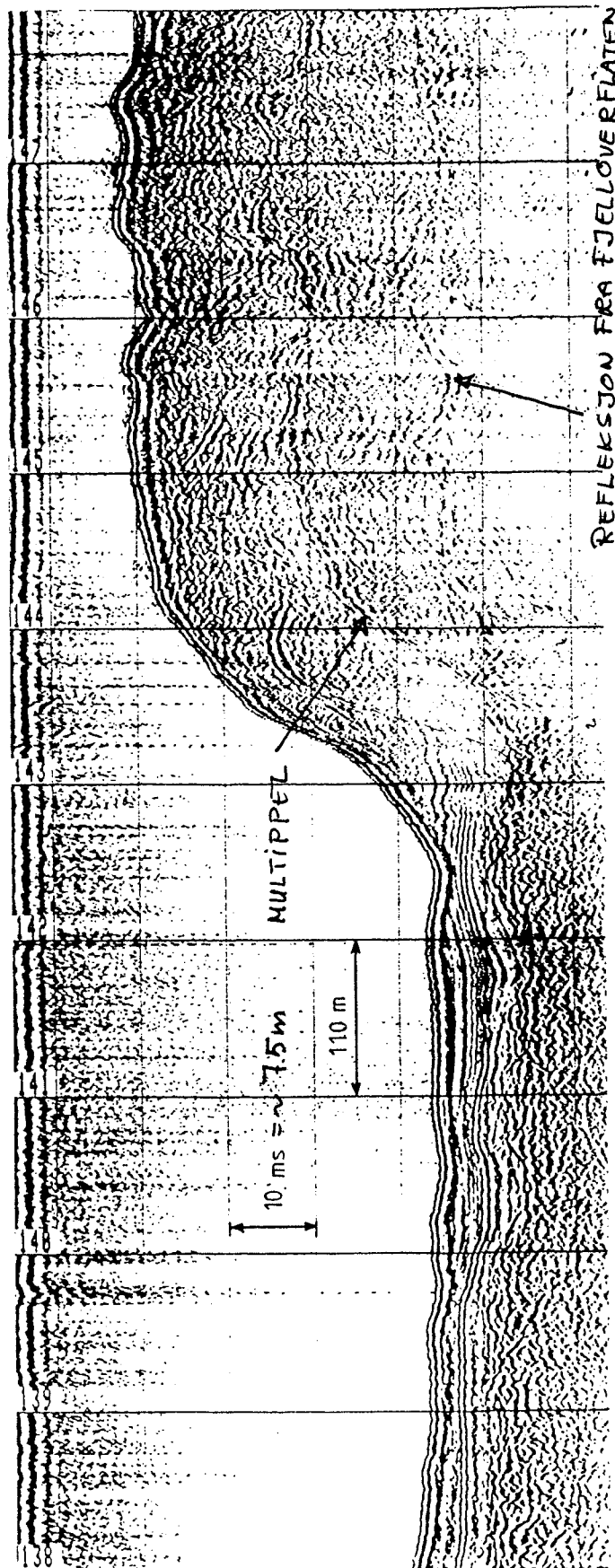
DATAEKSEMPLER MED KOMMENTARER

COMPUTERTEGNET SNITT MED BUNNPROFILET FRA EKKOLODD
OG BOOMERREGISTRERING

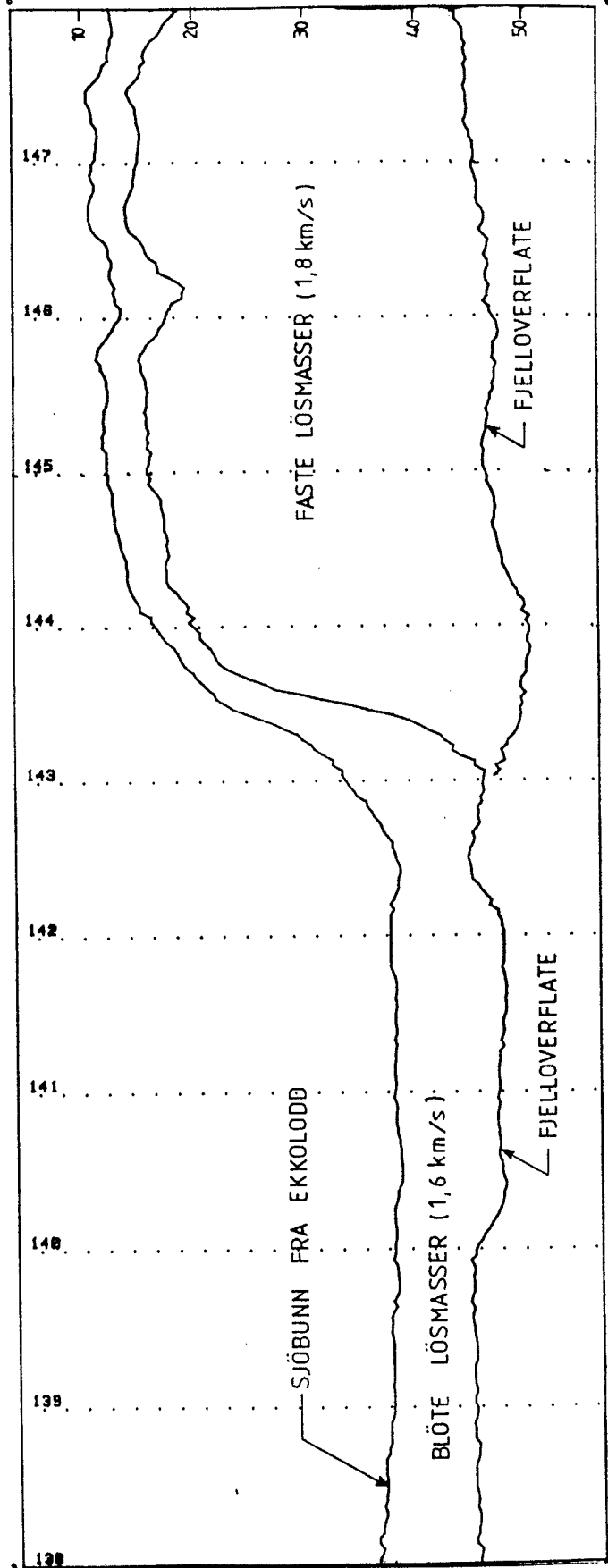


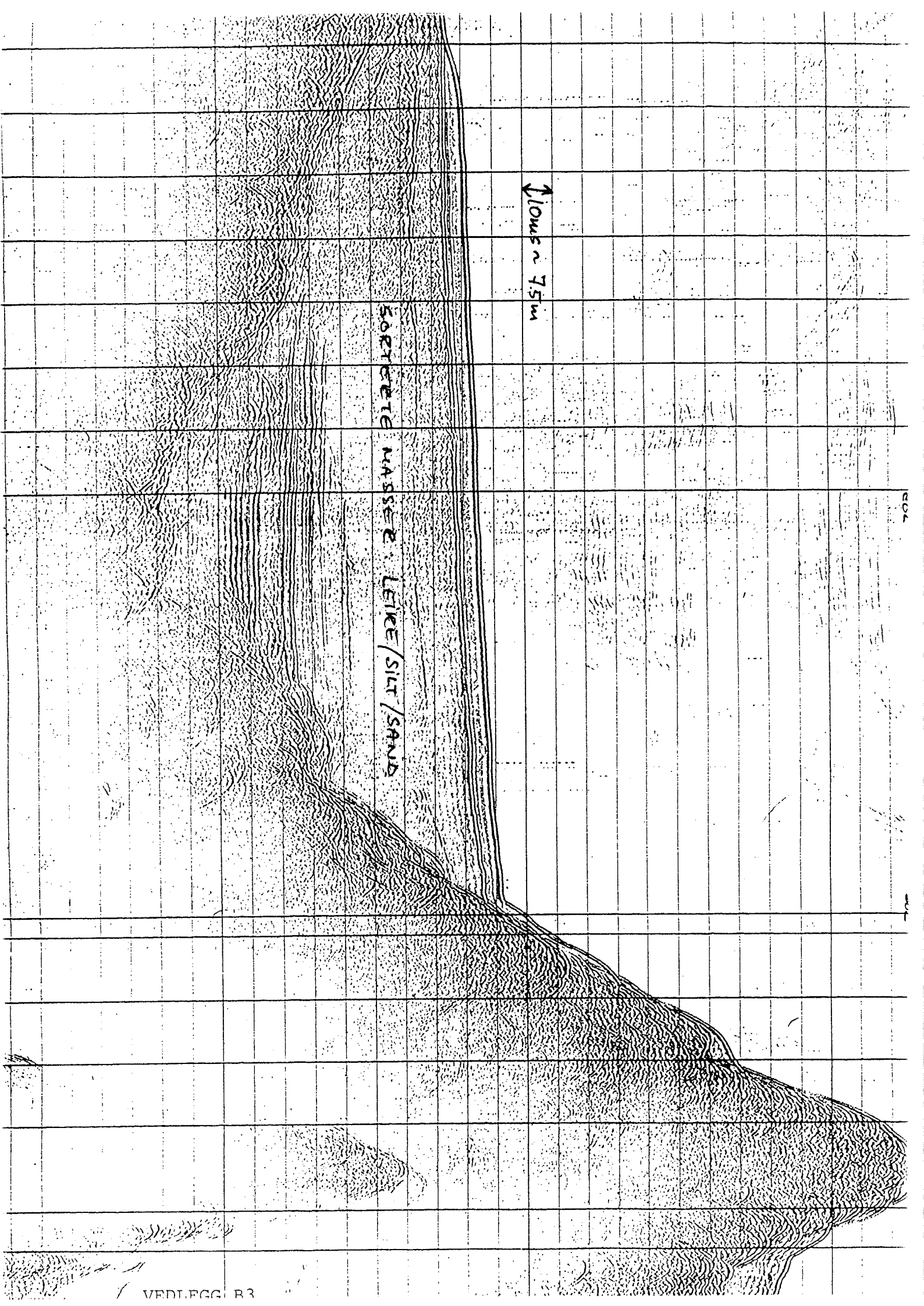
UTSNITT AV REGISTRERINGEN

UTSNITT AV REGISTRERINGEN



COMPUTERTEGNET SNITT PÅ GRUNNLAG AV DIGITALISERT TOLKNING

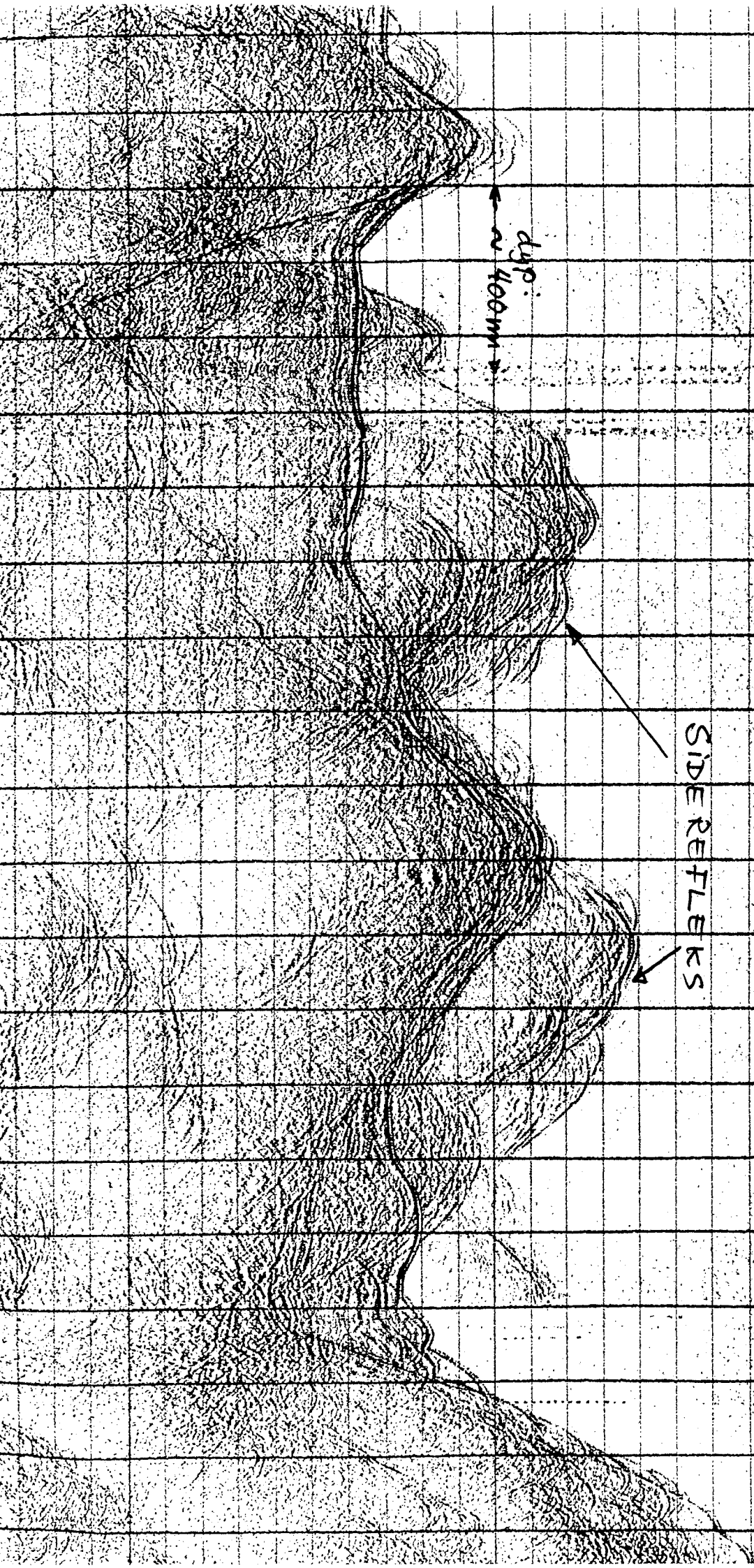




↓ 10m ~ 75m

SOFT CLAY MASSIVE
LEIKE/SILT/SANDS

TOP



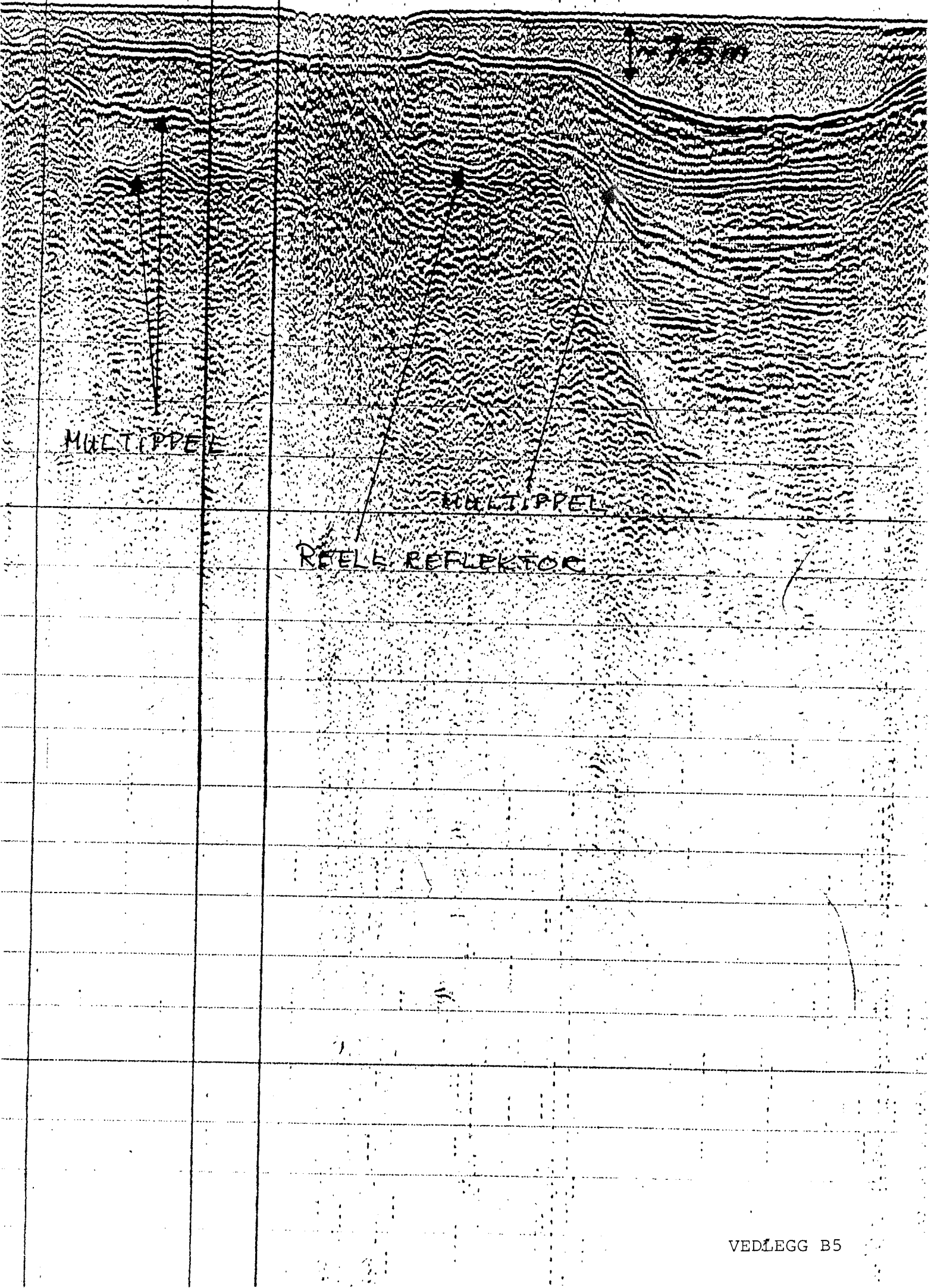
dyp:
~ 100mm

SIDE REFLECTORS

6

7

E700



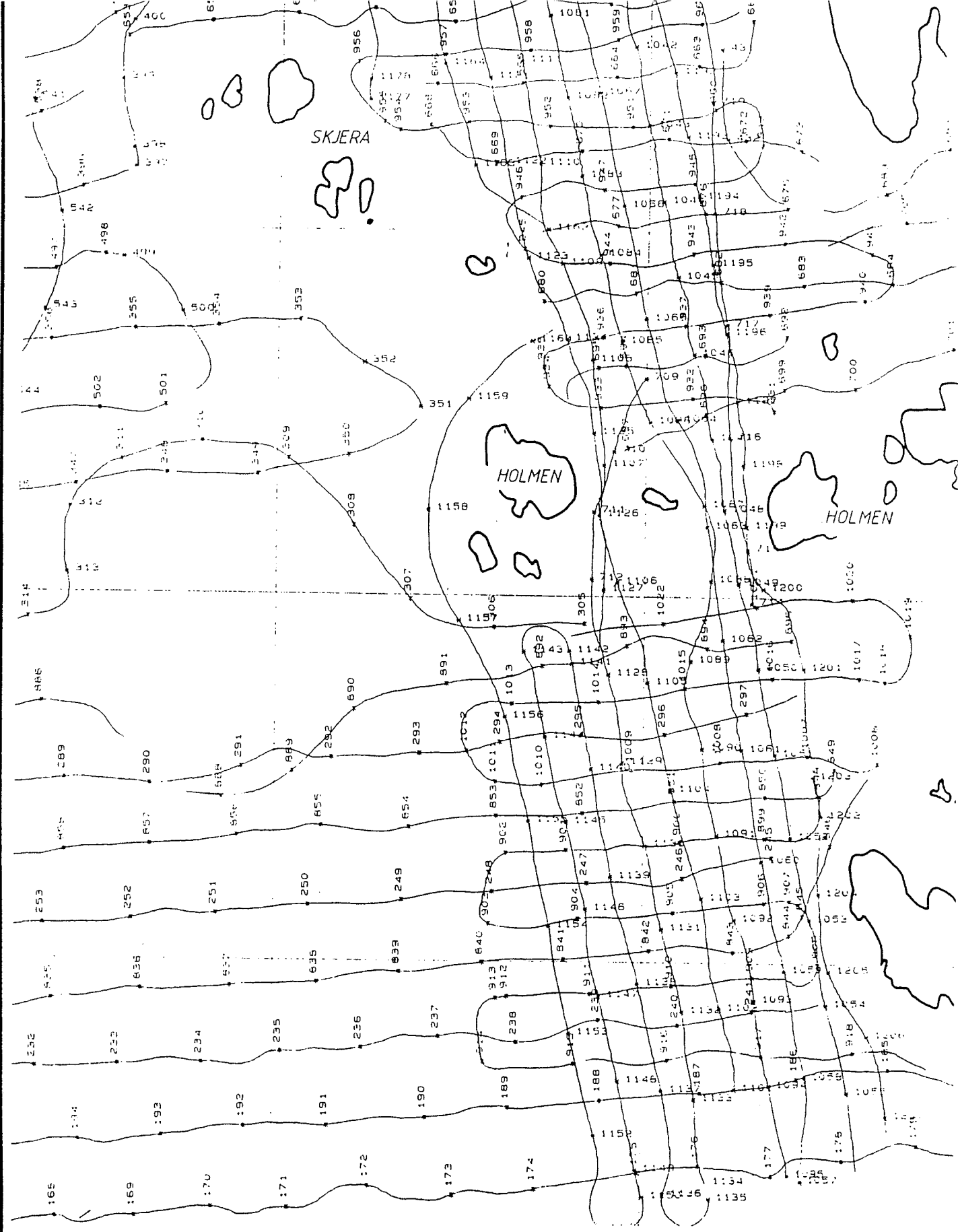
MULTIPPEL

MULTIPPEL

REELLE REFLEKTOR

VEDLEGG C

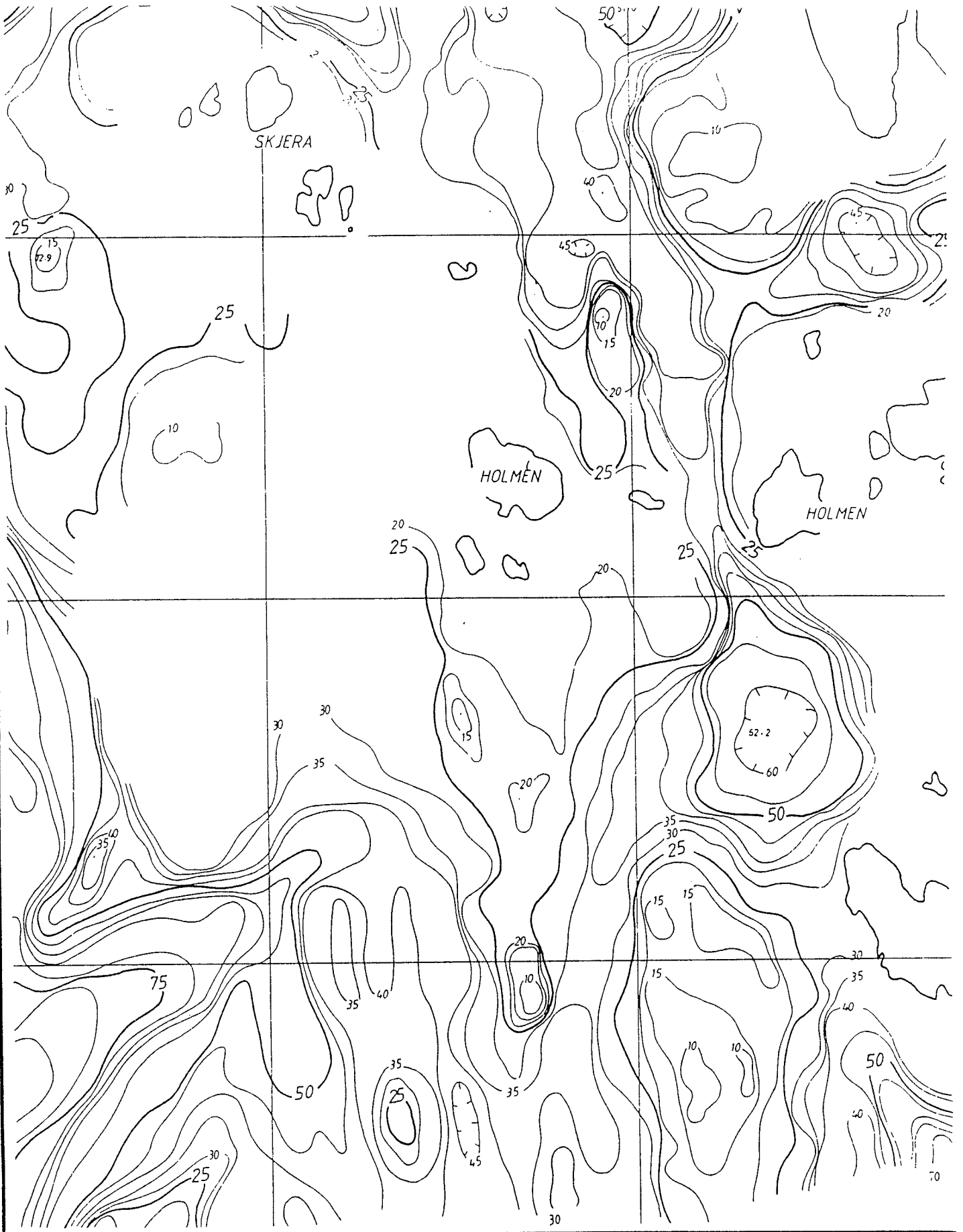
EKSEMPLER PÅ PRESENTASJONER



KURSLINJEKART

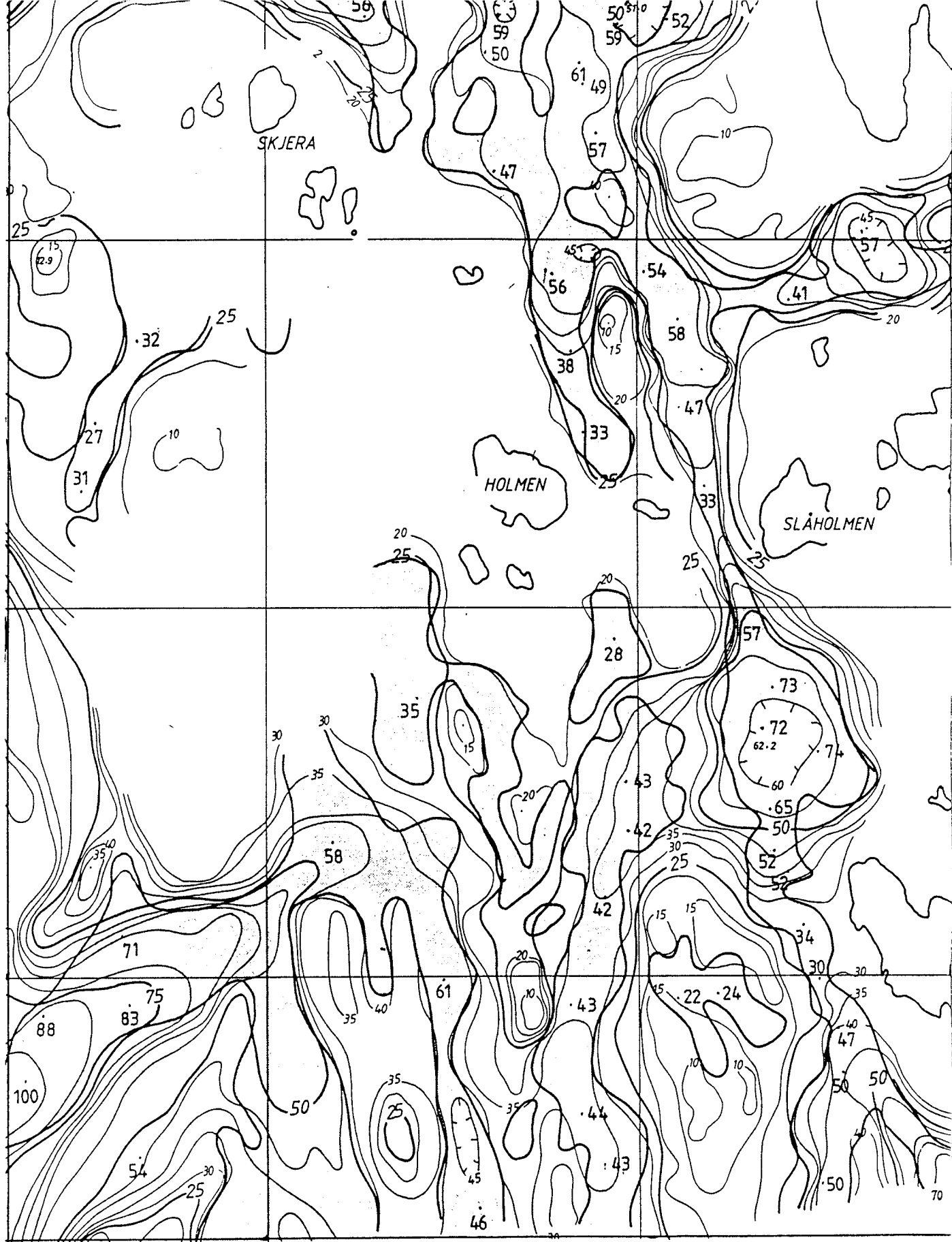
MÅLESTOKK	TEGNET	REV.	
	KONTR.	KONTR.	
	DATO	DATO	
OPPDRAG NR.	TEGN. NR.	REV.	SIDE
			VEDLEGG





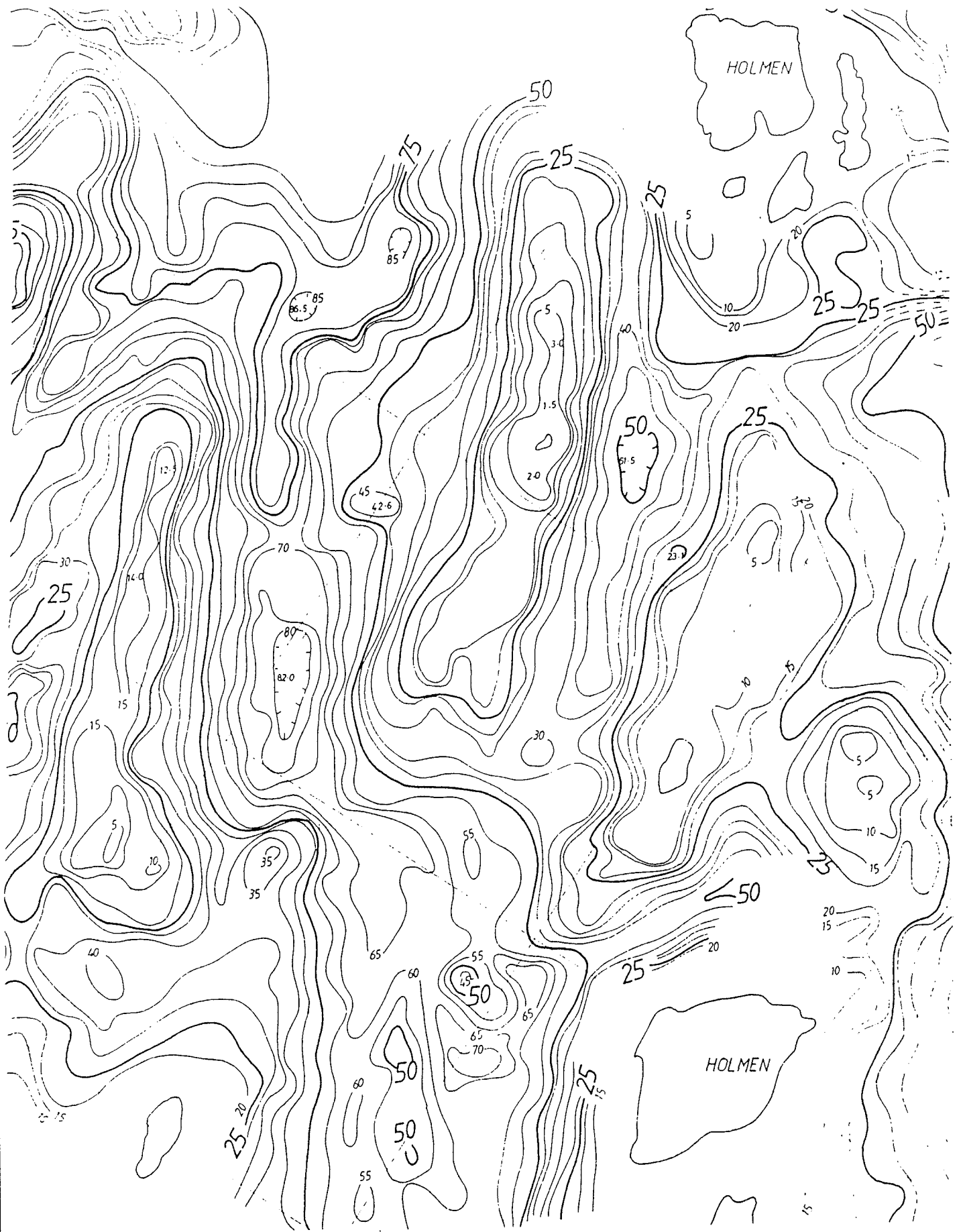
BUNNKOTEKART	SCALE	DRAWN	RVD.
		CHECKED	CHECKED
		DATE	DATE
	JOB NO	DWG NO	RVD.
			PAGE
			VEDLEGG





SEDIMENTKART

SCALE	DRAWN	RVD.	
	CHECKED	CHECKED	
	DATE	DATE	
JOB NO	DWG NO	RVD	PAGE
		VEDLEGG	



FJELLKOTEKART

MÅLESTOKK	TEGNET	REV.	
	KONTR.	KONTR.	
	DATO	DATO	
OPPDRAG NR.	TEGN. NR.	REV.	SIDE
			VEDLEGG



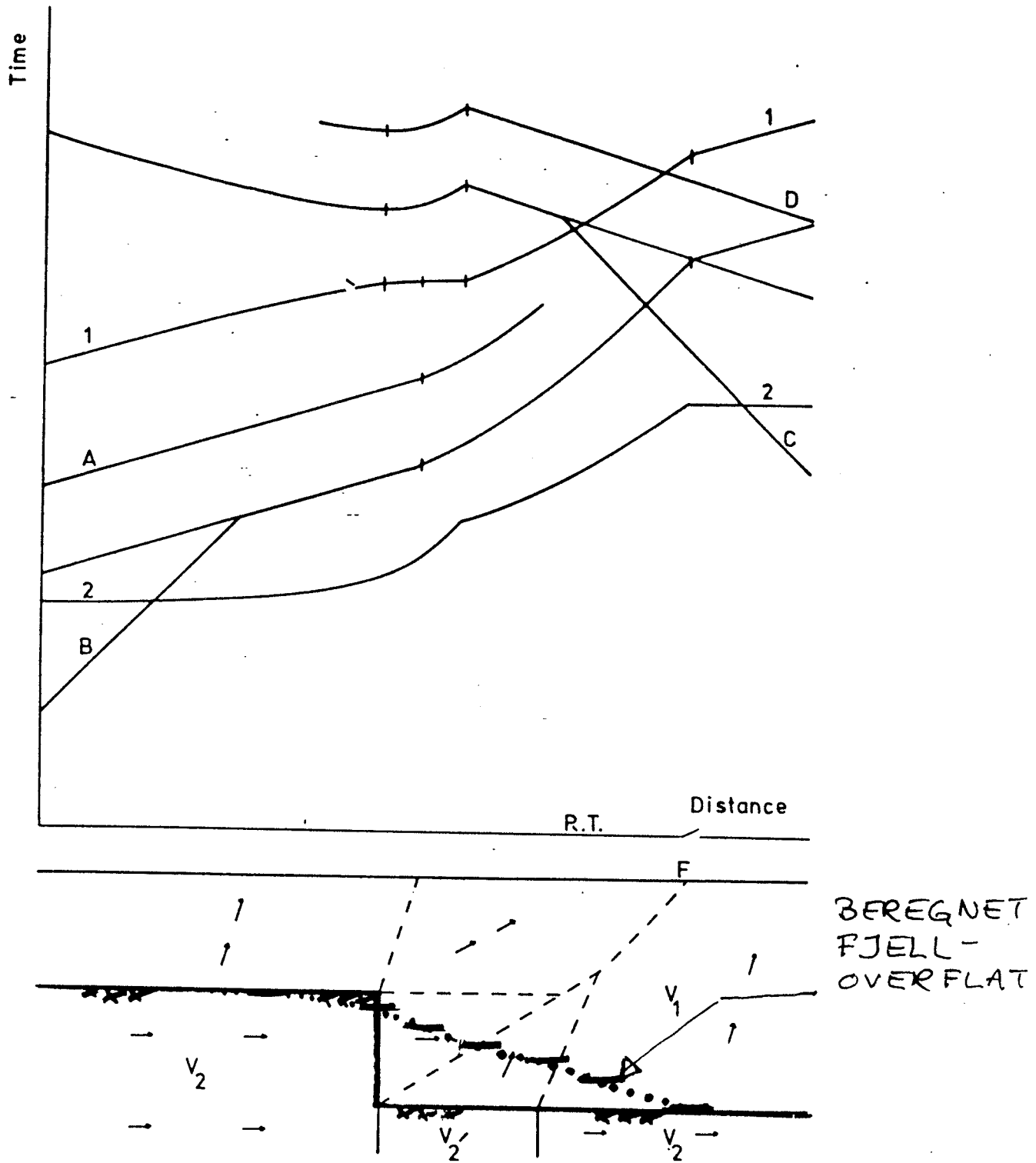


Fig. 4.53 Typical travel time curves in the case of large scale faulting.

(etter: Sjøgren)

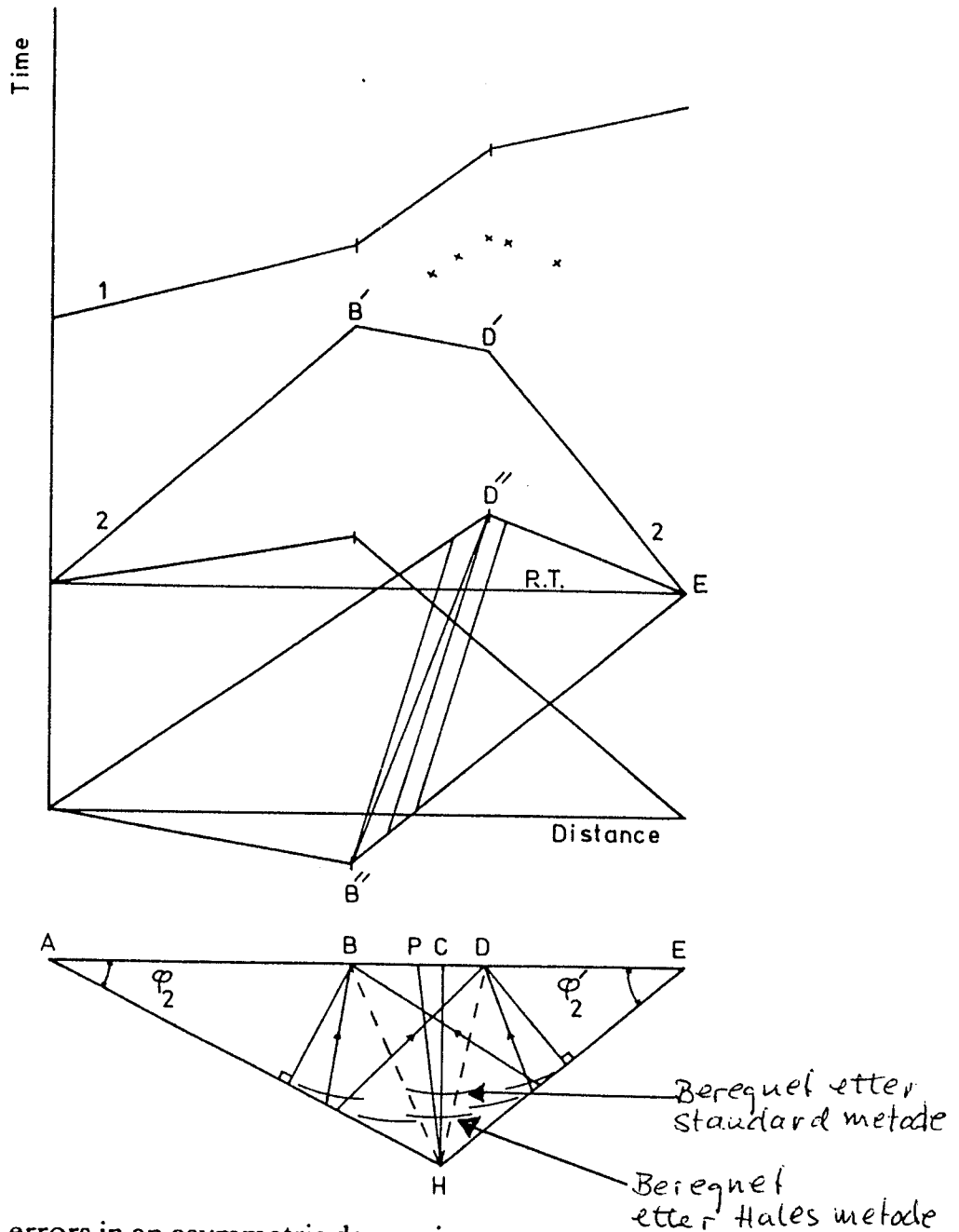
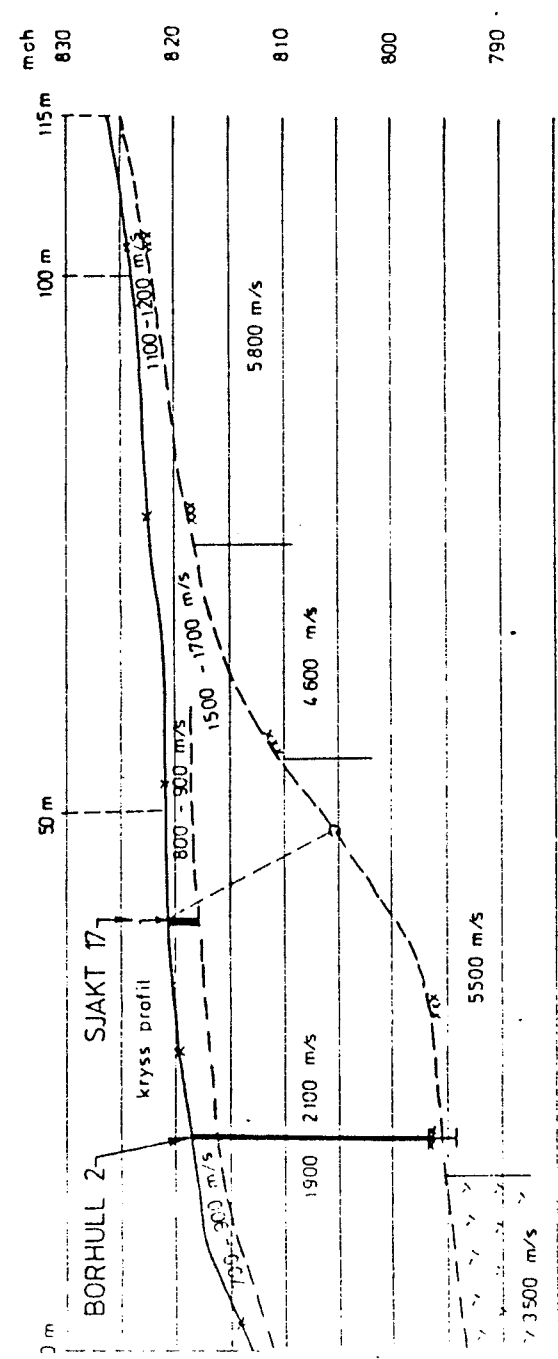
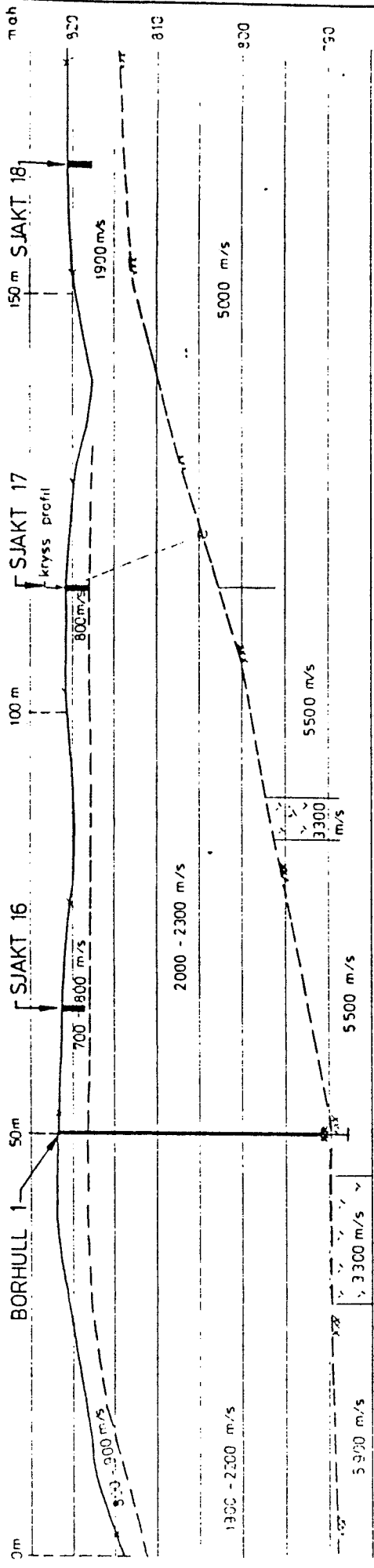


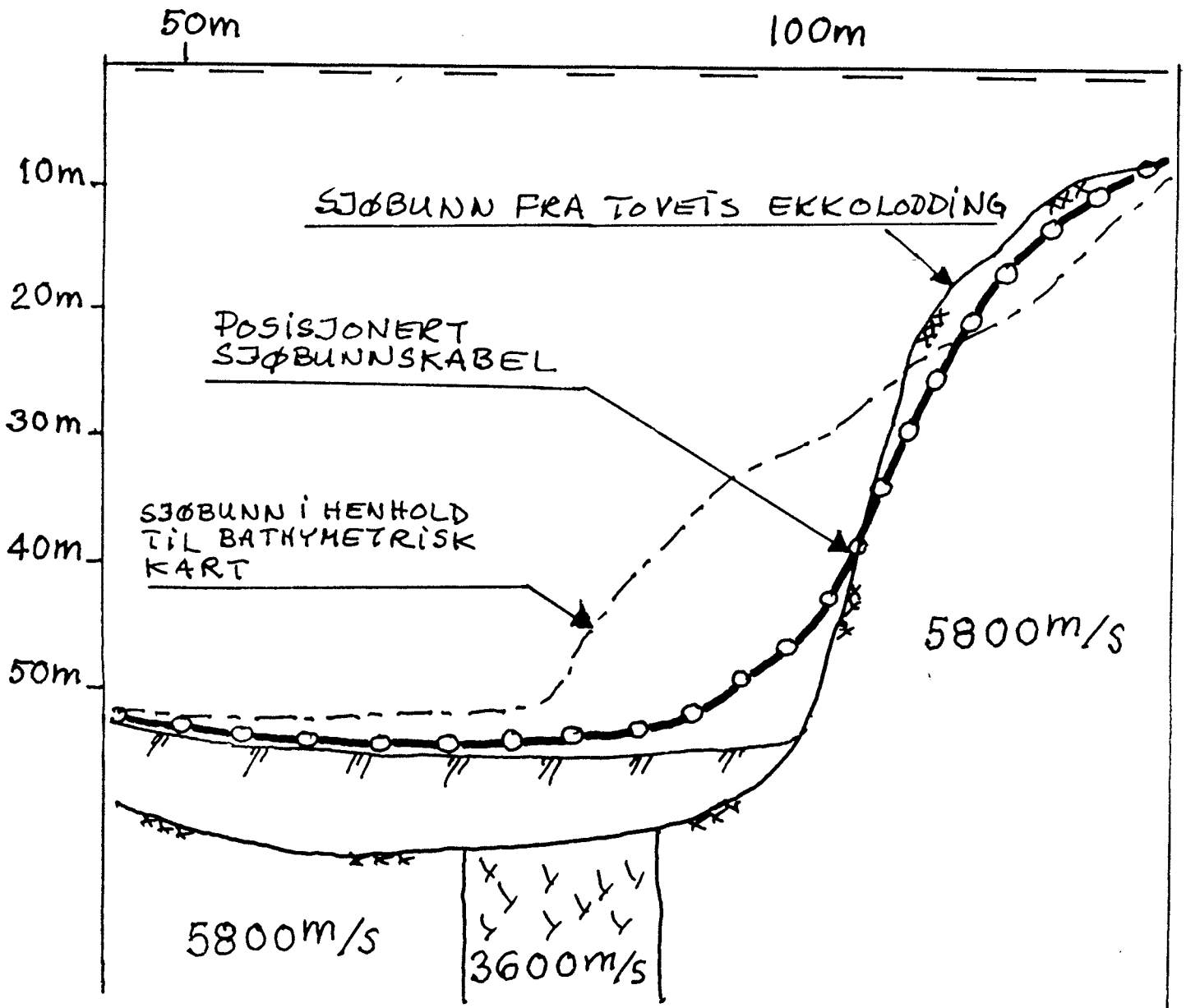
Fig. 4.50 Depth errors in an asymmetric depression.

Etter : Sjøgren "Shallow Refraction Seismics"

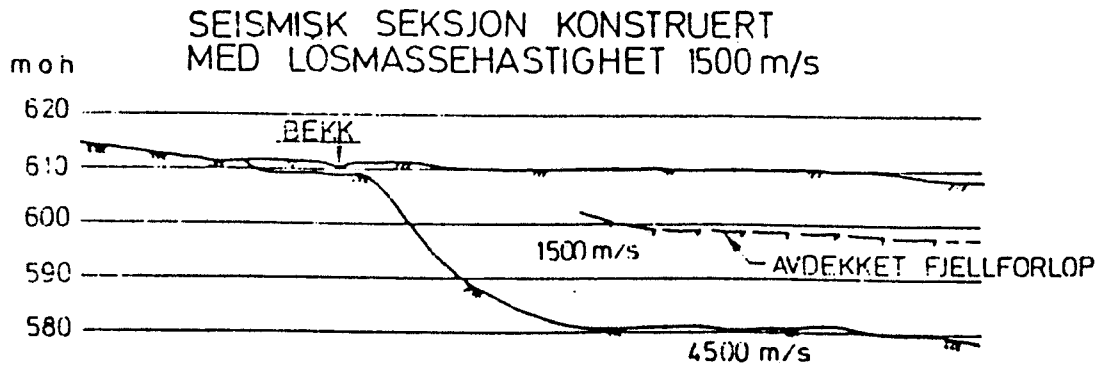
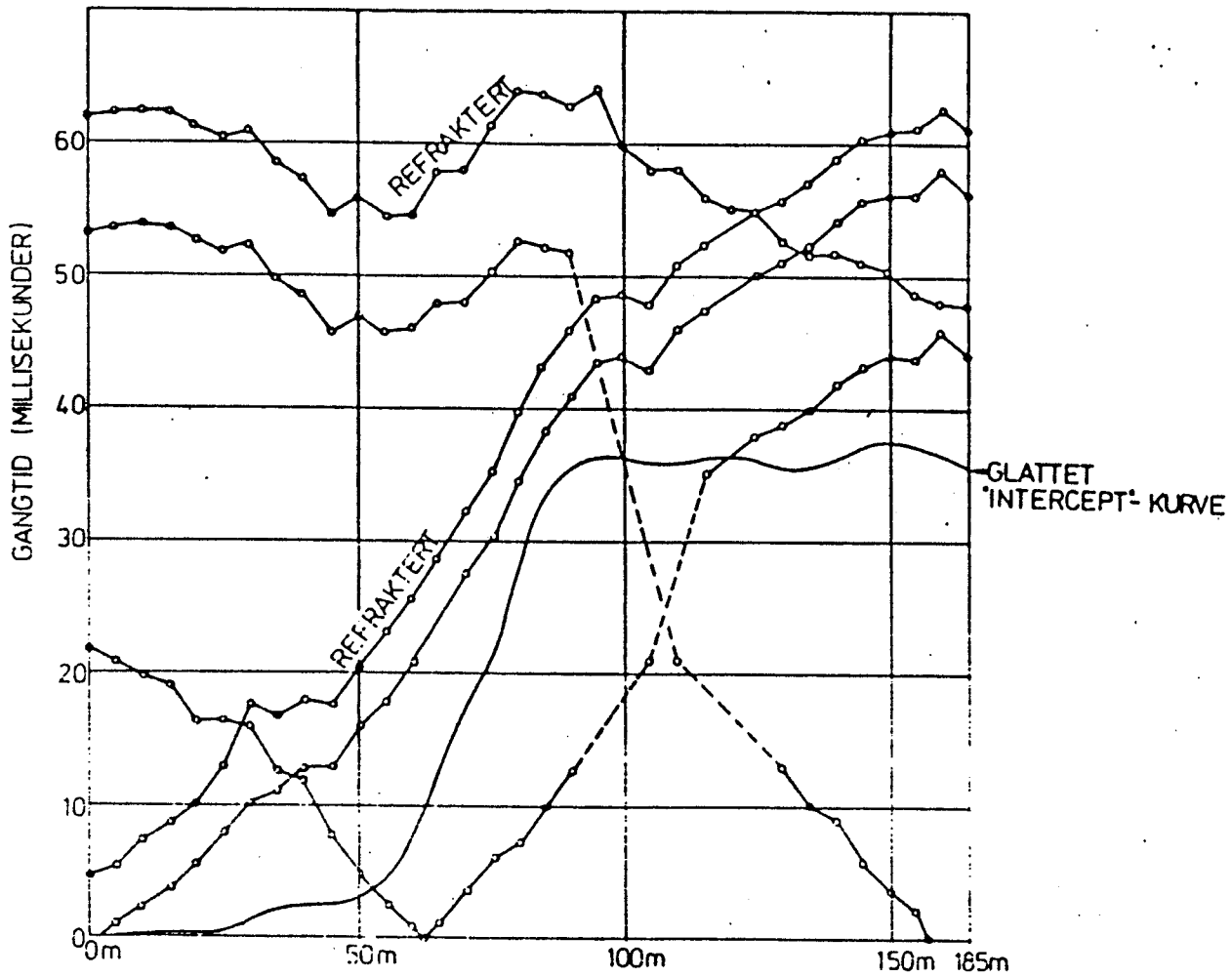


EKSEMPEL PÅ EN ORDINÆR
REFRAKSJONSSEISMISK UNDERSØKELSE.
PROSJEKT: MORENELETING
BORINGER OG SJAKTINGER ER UTFØRT
FOR DOBBELKONTROLL AV VOLUM
OG MASSETYPE.

EKSEMPEL D



EKSEMPEL PÅ HASTIGHETINVERSJON
FORÅRSAKET AV TELE.





KONFERANSE OM
GEOLOGISK PROSJEKTERING AV
UNDERSJØISKE VEGTUNNELER
25. - 26. APRIL 1989

G E O L O G I S K P R O S J E K T E R I N G
A V
U N D E R S J Ø I S K E V E G T U N N E L E R

Arne Grønhaug
Veglaboratoriet

BAKGRUNN

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

Et 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 vanntett, må arbeidet legges til rette for dette. Løsninger der en faktor holdes isolert, vil enten bli mislykkede eller i best fall meget kostbare delløsninger.

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

BEHOV FOR GEOLOGISKE UNDERSØKELSER

Meningene om behovet for geologiske undersøkelser av vegtunnelprosjekter har vært delte. Ytterst på den ene siden er 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 i dag å være en vanlig oppfatning som heller i retning av den første holdning. Følgende sitat fra et fagtidsskrift 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 optimistiske med hensyn til sikkerhet i den geologiske rapport.

Byggherrer, og spesielt konsulenter, synes etter hvert å gli over til den motsatte holdning, og da ut fra den betraktning at jo mer kunnskaper en skaffer seg om en oppgave, desto bedre vil resultatet bli.

For undersjøiske tunneler gjelder i større grad at geologiske undersøkelser er uunnværlige. Det gjelder først og fremst påvisning av berggrunn i en dybde som er interessant for prosjektet.

VURDERINGER PÅ STATISTISK GRUNNLAG

Det synes å råde stor usikkerhet med hensyn til pålitligheten 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 basert på erfaring.

Et utvalg på 300 tunneler drevet i tiden 1960-1980 har en samlet lengde på ca. 150 km på vårt riksvegnett. Det antas at det er oppstått alvorlige vanskeligheter ved ca. 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 riksveg tunneler finner vi at det er oppstått mindre uforutsette og ugunstige berggrunnsforhold i 5 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 ikke er tvil om at det lønner seg å investere i nødvendige geologiske undersøkelser for å oppnå den grad av økt sikkerhet som dette medfører.

Som et eksempel kan anføres at sikringen av et eneste rasparti i en vegtunnel har kostet mer enn geologiske undersøkelser av 100 tunnelprosjekter. Vanligvis vil en geologisk undersøkelse koste mindre enn 1-2 m 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 for tunneler her i landet.

På grunn av et økt risikonivå ved undersjøiske tunnelprosjekter, samtidig som berggrunnen ikke er tilgjengelig for observasjon, er det nødvendig å legge undersøkelsene på et betydelig høyere nivå teknisk og økonomisk enn for tunneler på land.

VURDERING AV SIKKERHETSNIVA

Det er imidlertid relevant å stille spørsmål 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 vil gi en 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 mye. Grovt anslått antas kostnadene å øke eksponensielt med graden av sikkerhet som ønskes oppnådd.

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 ved et uhell lett komme opp i åttesifrede beløp. Investeringene i geologiske undersøkelser må derfor stå i forhold til den risiko som prosjektet innebærer.

FORDYRENDE GRUNNFORHOLD

OVERSIKT

Generelt kan vanskeligheter ved tunnelbygging oppstå i form av høye temperaturer, gassinnstrømning, høye bergtrykk, vanninnbrudd, manglende bergoverdekning og dårlig bergkvalitet.

PROBLEMER INTERNATIONALT

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

Bergtrykksytringer oppstår der berggrunnen står i en spenningstilstand som overstiger bergartens styrke. Avhengig av bergtrykk og bergartens egenskaper oppstår 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.

Det forekommer imidlertid bergtrykksytringer også på langt grunnere dyp. Således er det påvist at berggrunnen i Norge stedvis 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 (eksempel: Høyanger-tunnelen).

Bergtrykksytringer er vanskelige 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.

DÅRLIG GRUNN

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.

Når driftsmetoder i dårlig berg ikke er forberedt, oppstår det i første omgang driftsstans, dernest mer eller mindre improviserte sikringstiltak. Årsaken til overskridelser av tidsplaner og omkostningsoverslag kan derfor ofte i hovedsak tilskrives dårligere grunnforhold enn forutsatt og manglende beredskap for drift i dårlig berg. Etter hvert som mer mekaniserte og kostbare driftsmetoder er tatt i bruk, blir det stadig mer nødvendig å utarbeide detaljplaner for drift og sikring av de enkelte deler av tunneltracéen.

I norsk berggrunn er dårlig berg vanligvis ensbetydende med berggrunn som er oppbrutt i forbindelse med bevegelser i berggrunnen. Det ytrer seg vanligvis enten som oppsprekning, sprekkesoner, slepper (sprekker med glideskikt, evt. leirfylling), leirslepper og knusningssoner (bredsjer med innhold av bløte, sekundærmaterialer).

Forvitret berggrunn nær bergoverflaten, såkalt dagfjell, må også karakteriseres som dårlig berggrunn i denne sammenheng. I denne berggrunnen er det både fare for vanninnbrudd og innrasning. Den største fare forbundet med undersjøisk tunneldrift, er imidlertid punktering av løsmassefylte kløfter, som kan være vanskelig påvisbare.

GEOLOGISK KARTLEGGING

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 er det hensiktsmessig å dele kartleggingen i to etapper, en mindre grundig kartlegging på hovedplanstadiet og en mer 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 berggrunnen i prosjektområdet er bart eller avdekket. Partier med dårlig berggrunn finnes nettopp i de overdekkede områdene. Kartlegging av delvis overdekket berggrunn medfører derfor så mange usikkerhetsmomenter at det er stor fare for feilaktige slutninger. Overdekkede partier må derfor undersøkes mer detaljert ved å utvide kartleggingsområdet, supplert med geofysiske målinger, avdekning eller boringer.

GRUNNLAGSMATERIALE

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

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

MARKARBEIDET

Forberedelser

For å spare tid bør kartleggingsarbeidet forberedes grundig ved studium av grunnlagsmaterialet. Områder der grunnen kan bestå av dårlig berg, registreres. Dette forekommer oftest i kløfter, skar eller forsenkninger i bergoverflaten. Kart og flyfotos studeres i sammenheng. Det undersøkes om observasjoner som kan ha betydning for grunnforholdene viser samsvar eller uoverstemsstemmelser 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.

Kartlegging

Ved undersøkelse av undersjøiske tunnelprosjekter er den viktigste del av prosjektet ikke tilgjengelig for vanlig observasjon. I noen tilfeller er berggrunnen avdekket slik at den kan kartlegges av "geologfrosker" eller undervannsfarkoster. For øvrig må en legge grundig arbeid i regional kartleggingen av tilgrensende landområder.

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 til slutt går det opp kontrollprofiler.

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.

Presentasjon

Resultatene fra strukturmålinger plottes på stereografiske nett for oversikt og tolkning.

Resultatet av opptegningen 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.

GEOLOGISKE RAPPORTER

LETTLESTE 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 å høre 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 en del 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.

BEDØMMELSE AV KVALITET

Befaringsnotat?

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 synskhet hos konsulenten å gjøre.

Det 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.

Rapportens innhold

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.

Sammendrag

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 klart. For det videre planarbeid skulle således sammendrag og tegningsbilag være et tilstrekkelig grunnlag i de fleste tilfelle.

Observasjonsmengden kvalitetskriterium

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 tvers-over 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 vurdering 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 fremskaffe opplysninger om frostmengden på stedet, slik at frostsikringen kan tas med i bedømmelsen.

KOSTNADSOVERSLAG FOR GEOLOGISKE UNDERSØKELSER

Det vises til tabell over kostnadsnivået for geologiske undersøkelser. Forholdene varierer alltid, slik at det er sjelden en direkte sammenligning av undersøkelses-kostnader 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.

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.

Tilleggsundersøkelser som måling av vanntap, kjerneorientering og styring av borretning gir meget verdifulle bidrag, men medfører ekstra kostnader.

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.

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 gi meget verdifulle opplysninger om bergkvalitet og lekkasjeforhold.

KOSTNADSOVERSLAG FOR GEOLOGISKE UNDERSØKELSER

Geologisk kartlegging på land	50-200 kr/lm
Hammerboring på land	50-300 kr/m
Hammerboring fra lekter	30000 kr/stk
Kjerneboring på land	250-1000 kr/m
Kjerneorientering	50-400 kr/stk
Vanntapsmåling	100-300 kr/stk
Avviksmåling	10000 kr/stk
Borhulls-TV	100 kr/m
Seismikk på land	30 kr/lm profil
Undervanns-seismikk	100-200 kr/lm profil
Undervanns-akustikk	2-5 kr/lm profil



KONFERANSE OM
GEOLOGISK PROSJEKTERING AV
UNDERSJØISKE VEGTUNNELER
25. - 26. APRIL 1989
HOTEL NORGE, KRISTIANSAND

S E I S M I S K P R O F I L E R I N G
(REFRAKSJONSEISMIKK)

Ole Chr. Pedersen
GEO MAP

INNHold

INNLEDNING

PRINSIPPER

MULIGHETER/UTSTYR

BEGRENSNINGER/FEILKILDER

FORBEDRINGER AV REGISTRERINGER/TOLKNING

EKSEMPLER

INNLEDNING

Refraksjonsseismikk har vært benyttet i stor utstrekning her i landet i ca. 40 år. Datainnsamlingsteknikken har gjennomgått en standardisering, og tolkningsmetodene er også forbedret og standardisert. Denne utviklingen kom i stor grad av vannkraftutbyggingens store behov for denne type grunnundersøkelser.

Utviklingen de siste 10-15 årene har rettet seg mot utnyttelse av metoden til sjøs, som følge av behovet for seismiske undersøkelser i forbindelse med fjordkryssningsprosjektene langs kysten vår. Det er særlig datainnsamlingssiden som har blitt forbedret ved at digital registrering av data er tatt i bruk, og at konseptet med sjøbunnskabler og hydroakustisk posisjonering har gjennomgått en nærmest revolusjonerende utvikling de siste 6-7 årene. Geofysikere og ingeniørgeologer har også blitt klar over muligheten til å foreta nærmere analyse av dataene og spesialtolkninger på spesielle problemstillinger.

Det ligger fortsatt mye informasjon i de innsamlede data som ikke blir benyttet. Dataene benyttes stort sett kun til å avlese første ankommende bølge til hver sensor, mens dagens digitalteknikk gir mulighet til analyser av hele bølgetoget. Det bør være mulig å se på andre bølgeankomster for å finne eventuelle skjulte lag (blindsone-lag), samt å analysere dataene med hensyn på frekvens, amplitude, demping osv. for om mulig kunne få fram informasjon om materialegenskapene i løsmasser og fjell.

PRINSIPPER

Refraksjonsseismiske målinger går ut på å bestemme gangtider for elastiske bølger fra detonasjoner (fallodd, mekanisk hammer eller lignende) til sensorer som utplasseres langs rette linjer. Metoden er basert på at underliggende lag transporterer lydbølgene fortere enn overliggende lag. Lydbølgene fra en sprengladning i mark-/sjøbunnsverflaten forplanter seg nedover og utover i grunnen. Når bølgen når et lag med egenskaper som gjør at bølgen forplanter seg raskere enn i laget over, vil bølgen i det nedre laget gå fortere enn i laget over, og i en avstand avhengig av lagtykkelsen vil bølgen i det underste laget ta igjen og så passere bølgen i det øverste laget. Registrering av første ankomne bølge gir således grunnlag for å beregne lagtykkelser og seismisk hastighet i hvert lag.

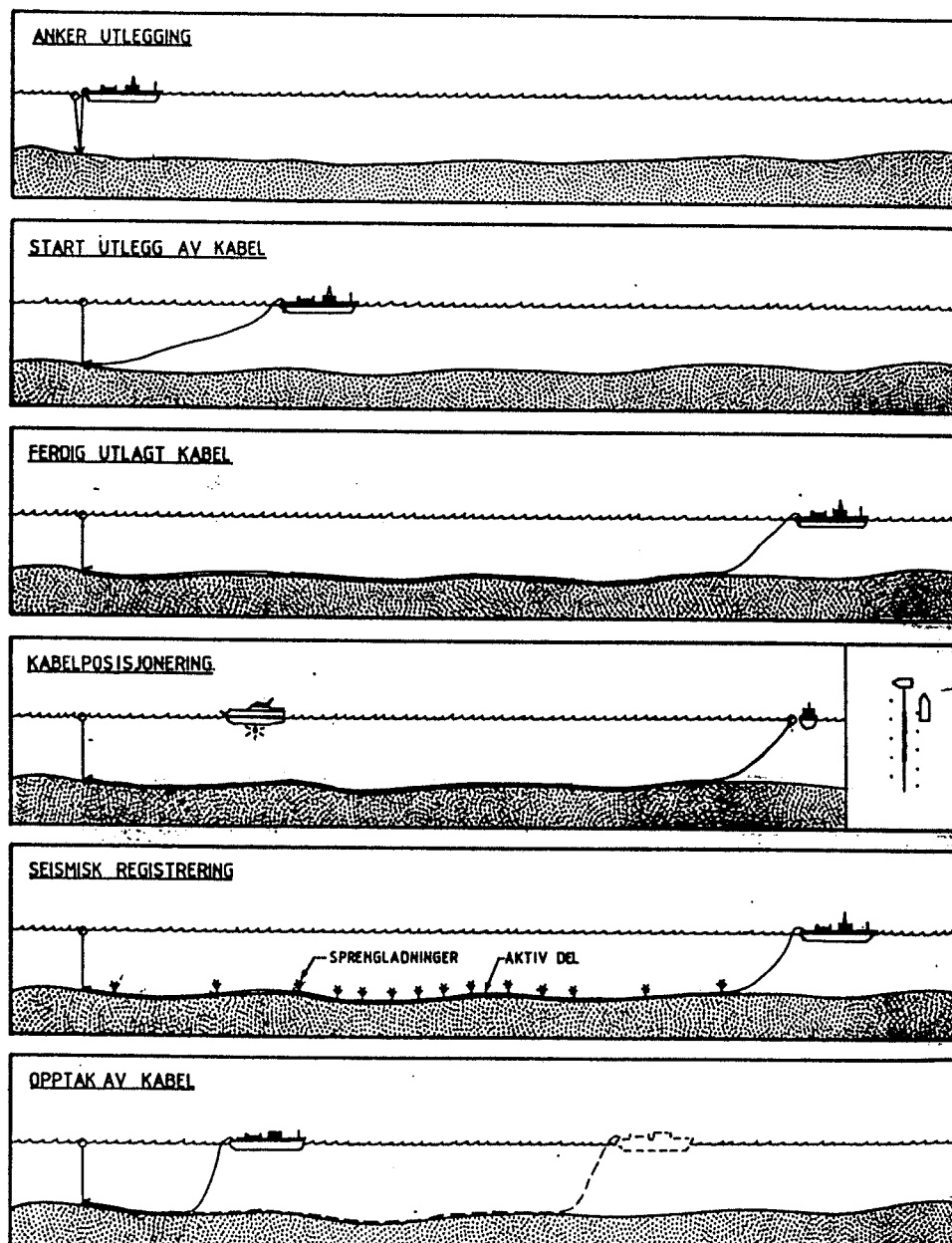
Ved å benytte skudd som går i begge retninger langs et profil (utlegg), er det på grunn av at vi registrerer den horisontale bølgegangen også mulig å beregne eventuelle variasjoner i hastigheten. Det er derfor mulig å få fram seismisk hastighet i fjellgrunnen, og således påvise soner med lav seismisk hastighet. Det er viktig å være klar over at det er forholdene langs fjellover-

flaten som registreres, og at metoden ikke sier noe om eventuelle lavhastighetssoners fall mot dypet.

MULIGHETER/UTSTYR

Vi snakker om undersjøiske tunneler, og utviklingen har gått veldig raskt når det gjelder å utfordre stadig større vandyp og vær-/strøm utsatte fjorder og sund. Det har vært gjort målinger på store vandyp for mange år siden, men da med wireoppenn på overflaten, og hydrofonene som ble senket ned en og en og festet til flotører. Det sier seg selv at det var en meget væravhengig operasjon.

I dag benyttes sjøbunnskabler med preladede skudd, og kablen posisjoneres hydroakustisk ved hjelp av skudd i posisjonerte punkter på overflaten. Figuren under illustrerer prosedyren for datainnsamling ved bruk av sjøbunnskabel.



Figuren illustrerer refraksjonsseismiske målinger ved hjelp av posisjonert sjøbunnskabel.

I tillegg til bestemmelse av posisjon og dybde av hydrofonelementene langs kabelen, foretas det ekkolodding langs beregnet posisjon av kablene. Beregning av kabelens virkelige beliggenhet samt kjennskap til dybdene fra ekkoloddregistreringen forhindrer feiltolkning, som ellers kunne vært forårsaket av heng på kabelen.

Vi benytter også vanligvis ytterskudd i flere avstander utenfor enden av den aktive delen av kabelen. I visse tilfeller er det da mulig å vurdere om en svakhetsone avtar i bredde mot dypet og f.eks. antyde at det er snakk om en kløft med en smalere svakhetsone i bunnen. Videre er det viktig at ytterskuddene ligger så langt ut at den første bølgen som når kabelen har vært nede i fjellet (refraktert). Dette er enkelt å kontrollere i felt ved å sammenligne to ytterskudd mot hverandre.

For sjømålinger på små vanddyp og løsmassemektigheter under ca. 25 m benyttes det kabel med 24 kanaler og 5 m hydrofonavstand, dvs. 115 m aktiv lengde (= profillengde = utlegg).

For større dyp og løsmassemektigheter opp til ca. 70 m benyttes kabel med 48 kanaler og 5 m hydrofonavstand, dvs. 235 m aktiv lengde.

Dersom løsmassemektigheten er større enn ca. 70 m, benyttes lengre kabel. Med 48 kanalers system og 10 m hydrofonavstand er aktiv lengde 470 m.

For ca. 10 år siden var 50 m vanddyp (f.eks. Drøbak-sundet) en grense for posisjonerte målinger med sjøbunnskabel. Det var da vanlig å benytte droppstein langs utleggene og kabelen ble målt inn i forhold til droppsteinene av dykker.

For standard hydrofonelementer er 70 m en grense på grunn av trykket. Det er benyttet standard hydrofoner ned på ca. 120 m dyp (f.eks. ved Sandnessjøen), men hydrofonene blir fort ødelagt på grunn av det statiske trykket, pluss trykket fra skuddene.

Gjennom prøving og feiling er det utviklet operasjonsprosedyrer og utstyr slik at målinger på 450 m vanddyp er gjennomført. Et av de største problemene er å designe kabelen, inklusive kontakter og skjøter, slik at den tåler påkjenningen spesielt ved opptrekkingen. Det er også stor risiko forbundet ved eventuell hekking på bunnen. Forøvrig fungerer leggesprosedyrer, skuddavfiring (spesialsprengstoff) og posisjonering bra.

For gjennomføring av datainnsamlingen er det viktig å tenke gjennom alle rutiner og få ned tidsforbruket på hver enkelt deloperasjon. Særlig viktig er dette i strømrikt farvann, slik at strømstillene kan benyttes effektivt.

Gjennom de siste årene har vi utviklet styringssystemer for instilling av registreringsinstrumenter, og system som gir styreinformasjon under legging og posisjoneringsstyring.

Ved arbeider på Færøyene var dette helt nødvendig for å kunne gjennomføre målingene. Strømhastigheter på godt over 5 knop er farlig, og ødelegger kabel og utstyr. Strømstillere på ca. en time måtte derfor utnyttes maksimalt.

Konklusjonen er at det i dag kan gjennomføres refraksjonsseismiske målinger på vandyp ned til ca. 450 m, og at det finnes teknikk til å mestre strømrikt farvann (tidevannsstrøm).

BEGRENSNINGER / FEILKILDER

Tolkning av refraksjonsseismiske data er basert på matematiske modelltilpasninger. Gangtidene fra skuddpunkt(ene) til sensorene gir grunnlag for å beregne løsmasse-/fjellhastigheter samt tykkelser av løsmasselag. Registrering av gangtider kan med dagens teknikker forbedres nær sagt ubegrenset. Usikkerheten ligger i selve modelltilpasningen dvs. hvor godt de matematiske forutsetningene tilsvarer de naturlige forhold.

Avvik fra modelltilpasningen kan være:

(systematiske feil)

- *Blindsonelag - tynt lag relativt til overliggende lag, slik at gangtider fra laget ikke kommer til syne i gangtidsdiagrammet.
- *Hastighetsinversjon - lag med lavere seismisk hastighet enn overliggende lag.

Andre systematiske feil som ikke er forårsaket av den matematiske modelltilpasningen er:

- *Identifikasjon av fase (cycleskip ved avlesning av gangtider).
- *Geometri (siderefraksjon)

Tilfeldige feil:

*Måleusikkerhet/avlesningsunøyaktighet

*Beregningstilnærming

*Små tilfeldige hastighetsvariasjoner

Erfaringstall for usikkerheter forårsaket av tilfeldige feil er:

10 % av beregnet dyp for dyp større enn 10 m
 1 m av beregnet dyp for dyp mindre eller lik 10 m
 (Basert på 5 m hydrofon-/geofonavstand)

FORBEDRING AV REGISTRERINGER/TOLKNING

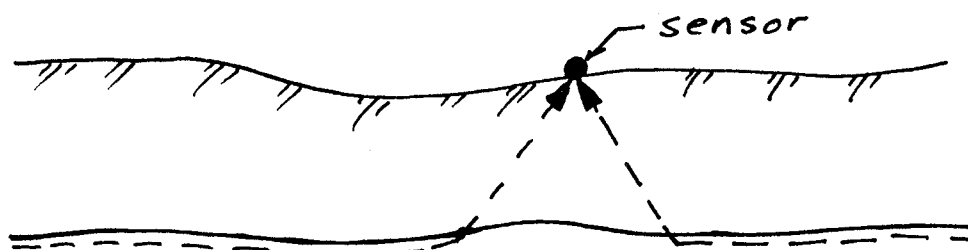
Energien fra 50 - 200 g sprengstoff er normalt tilstrekkelig til å gi gode data for målinger i vann. Vanligvis er det enkelt å avlese data både fra inner-skudd til ytterskudd. På store løsmassemektheter og hvor berggrunnen er gjennomskåret av markerte lavhastighetssoner, kan det oppstå problemer med energigjennomgangen. Det er også vanskelig å oppnå gode signaler i områder dekket med humusholdig materiale, f.eks. utenfor elvemunninger som har ført med seg flis og bark fra sagbruk.

Det hadde i slike tilfeller vært ønskelig å kunne utnytte digitalteknikken som er tilgjengelig på instrumetsiden. Stikkord i denne sammenheng er "stacking". Stacking vil si å summere data fra repeterte skudd/-hammerslag. Til sjøs er ikke denne teknikken benyttet fordi dette vanskelig lar seg gjøre med preladede skudd på kabelen. Det har vært tenkt på å benytte luftkanon eller vannkanon som er vanlige energikilder ved refleksjonsseismisk profilering i oljeindustrien. Dette er repeterbare kilder som i og for seg kan styres fra overflaten. I realiteten er dette kjent teknologi, og grunnen til at stacking med luftkanon/vannkanon ikke er tatt i bruk, har sammenheng med at kostnaden ved innkjøp av så mange kanoner som trengs på en kabel er stor, og at de operasjonelle konsekvensene ikke er testet.

Ved å tenke seg mulighet for å benytte repeterbare energikilder, vil det også være mulig å studere signalene på en mer kompleks måte enn det som gjøre i dag. F.eks. vil studie av andre-ankomster bli vesentlig enklere. Andre-ankomster kan være viktig å benytte der det er mistanke om blindsonelag.

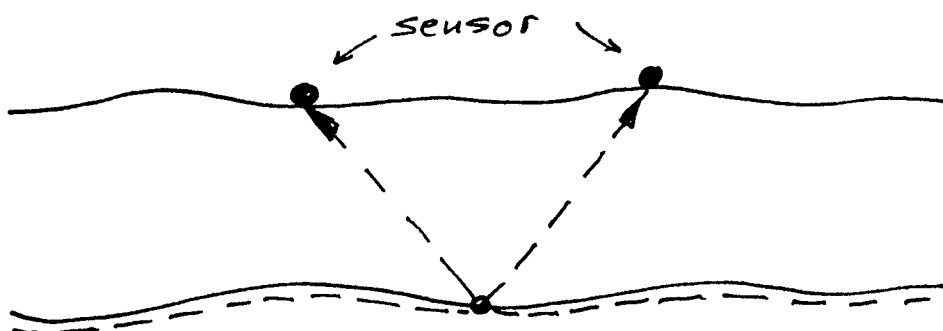
Hva angår tolkning har de samme metoder og prinsipper vært benyttet i en årrekke. Jeg har tidligere nevnt at mer kompleks analyse av dataene i dag er mulig ved hjelp av digitalteknikken, så som dempningsforhold, amplitydespekter, frekvensspekter etc., samt at analyse på andre ankomster kan gi verdifull tilleggsinformasjon.

Tolkning basert på førsteankomster og plotting av gangtidskurver kan også foretas etter forskjellige metoder. Standardmetoden som har vært så og si enerådende, er basert på å se på gangtider for bølger som kommer fra skudd på hver side av profilet og registreres på samme sensor. Se illustrasjon.



Prinsippskisse som viser gangvei for bølger som benyttes ved tolkningsmetoder basert på "felles ankomst" prinsippet.

I de siste årene har spesielle tolkninger etter "Hales" metode blitt benyttet i enkelte tilfeller. Den prinsipielle forskjellen mellom metodene er at Hales ser på felles refraktorpunkter, mens metoden skissert over ser på felles ankomstpunkter. Prinsippskisse for felles refraktor metoden er vist under.



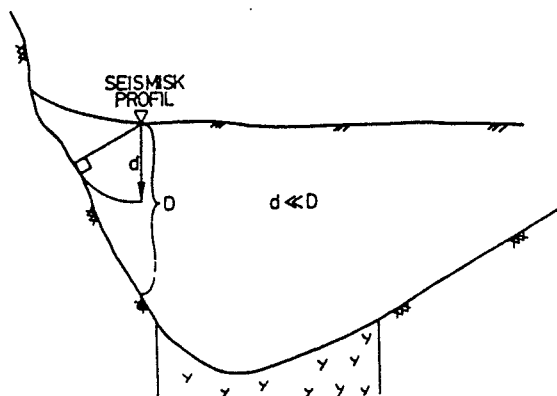
Hales metode har sin styrke i de tilfeller hvor fjelloverflaten er særlig kupert. Ved denne tolkningsmetoden ser vi dypere ned i kløfter, og svakhetssoner i bunnen av en kløft fremkommer med riktigere beliggenhet og bredde.

En av de viktigste faktorene ved bruk av seismikk, er imidlertid ikke knyttet til selve datatolkningen og registreringene som sådan. Samspillet mellom oppdragsgiver, geolog og geofysiker spiller en vesentlig rolle. Det er av avgjørende betydning at problemstillinger og antatte geologiske modeller gjennomdrøftes. På den bakgrunn kan måleopplegg vurderes ut fra geometriske og

geologiske forhold. Underveis bør måleopplegg og profilplassering vurderes ut fra de fremkomne resultater.

Det er viktig å være klar over at tolkningene gir dybden til grunnest liggende fjell, såkalt normaldyp. Se illustrasjon.

SIDEREFRAKSJON VED SEISMISKE MÅLINGER
FORÅRSAKET AV EKSTREM MODELL / MÅLE - GEOMETRI



Illustrasjon av siderefraksjon. Målingene angir korteste avstand til fjell, normaldyp.

Profiler langs en trase vil ved siderefraksjon gi for små løsmassemektheter i traselinja. Det er derfor viktig å legge tverrprofiler. Med tanke på svakhetssoner i fjellet er det også viktig med tverrprofiler for å fange opp evt. langsgående soner.

Det har vist seg at en form for lukkede nett eller profiler i stigeform har tatt vare på både siderefraksjon og fanget opp og gitt god retningsstyring på svakhetssoner. Krysspunkter mellom profiler gir også en god kontroll på tolkningsnøyaktigheten.

EKSEMPLER

Vedlagt finnes noen eksempler som viser:

- Eks. A : Feiltolkning ved hastighetsinversjon (tele).
- Eks. B : Utjevning av trappeformet terreng.
- Eks. C : Dybdefeil i en depresjon.
- Eks. D : Eksempel på tolkning kontrollert med sjakting/boring
- Eks. E : Eksempel på hvor viktig det er å foreta kabelposisjonering og ekkolodding

DISKUSJON TIL INNLEGG FRA O.C. PEDERSEN: "AKUSTISK PROFILERING" OG "SEISMISK PROFILERING"

Etter foredraget til O. C. Pedersen ble det stilt en del spørsmål.

Spm.: Hva kan oppnås ved forbedringer i metodene for akustisk profilering?

Svar: Man kan oppnå bedre signal/støyforhold som fører til sikrere og bedre registreringer.

Spm.: Hvordan foretas en kvalitetssikring på arbeidet?

Svar: Kvaliteten sikres først og fremst gjennom operatørens dyktighet, dernest ved at to personer ser på dataene og tolker resultatene.

Kommentar: Begrepet kvalitetssikring er i denne sammenheng på en måte irrelevant, fordi kvaliteten av arbeidet i stor grad gjenspeiler hva metoden klarer og ikke klarer. Med eksisterende teknikk er det f.eks. ikke mulig å registrere bestemte geometriske forhold i geologiske strukturer.

Spm.: Hva koster en akustisk undersøkelse?

Svar: Kostnadene avhenger av mange faktorer og forhold, bl.a. vanddyb. I en typisk norsk fjord koster akustikk ca. kr. 1.500 pr. profilkm., og dette betyr ca. kr. 100-200.000 pr. prosjekt.

Spm.: Er det utarbeidet noen statistikk for over de feiltolkninger som er gjort, og hvilke feiltolkninger er de vanligste?

Svar: Det er ikke utarbeidet noen slik statistikk, og dette er vanskelig fordi man ofte mangler referanser. Med hensyn til rene tolkningsfeil henvises til foredragene. En annen vanskelighet er at mediens hastighet er ukjent og må anslås. På dette området trengs det grunnforskning som kan gi bedre kunnskap om hastighetene i ulike media.

Som konklusjon kan man si at man må leve med usikkerhet i metoden, og ta de nødvendige konsekvenser av dette.



**KONFERANSE OM
GEOLOGISK PROSJEKTERING AV
UNDERSJØISKE VEGTUNNELER
25. - 26. APRIL 1989**

**AKUSTISK OG REFRAKSJONSSEIMISK PROFILERING
VANSKELIGE GRUNNFORHOLD
EKSEMPLER FRA HVALER OG HØGSFJORD**

Tor Erik Frydenlund
Veglaboratoriet

1989-04-20
TEF

1. AKUSTISK PROFILERING

De informasjonen en kan få ut av akustiske målinger, er i en del tilfeller begrenset av de fysiske forhold på målestedet bl. a. ved at faste topplag kan maskere underliggende bløte lag, eller at faste bunnmorener kan maskere fjell. Dette skyldes at det meste av energien reflekteres fra det faste lag, og de signaler som kommer fra underliggende horisonter blir for svake til å kunne registreres på ekkogrammene. Videre avhenger beregnet lagtykkelse av hvor nøyaktig målesignalenes hastighet i løsmassene er bestemt.

For å illustrere disse forhold kan vi se på to eksempler fra utførte undersøkelser.

1.1 Fast topplag

I 1973 ble det utført akustiske målinger for prosjektert bro til Engeløya i Steigen kommune i Nordland. Veglaboratoriet hadde på forhånd utført seismiske refraksjonsmålinger for en aktuell brutrace, og løsmassehastighet i området var således kjent.

Det ble kjørt akustiske profiler i et område på ca 1.500 x 300 m og rapporten konkluderte med at målingene hadde gitt meget god penetrasjon. Dette var helt i begynnelsen av den periode man tok akustiske målinger i bruk, og resultatet i form av løsmassekart ble fargelagt i nydelige farger for å anskueliggjøre metodens muligheter. I dette tilfelle hadde sentrale deler av løsmassekartet en lys gul farge som tilkjennega løsmassemektheter på mindre enn 2 m over fjell. I ytterkantene av det undersøkte området økte løsmassetykkelsene noe.

Denne informasjon ga planleggerne helt nye spillerom, og brutraceen ble raskt lagt om slik at den totale veg og brulengde kunne kortes inn vesentlig.

Ved kontrollboring og refraksjonsseismiske målinger viste det seg imidlertid at fjellet lå inntil 10 m under sjøbunnen på enkelte av de "grunne" områdene hvor akustikken viste 0 - 2 m. Dette forhold er senere blitt forklart med fast lagrede løsmasser og et "korall-lag" på sjøbunnen som har maskert underliggende lag. Selv når de virkelige forhold var kjent, var det ikke mulig å tolke ekkogrammene fra de akustiske målingene annerledes enn ved første gangs tolkning.

I et annet tilfelle i Trondhjemsfjorden ble det i utkanten av et område hvor akustikken viste løsmasse-tykkelser på 0 - 2 m overfjell, boret til 11 m under sjøbunnen uten å registrere fjell. Prøver fra samme sted viser et 2 - 3 m sandlag over leirig silt og siltig leire.

1.2 Fast bunnlag

I forbindelse med undersøkelse av mulige kryssnings-traceer for fast vegforbindelse over sundet Løpern mellom Asmaløy og Kirkeøy på Hvaler, ble det i 1985 utført akustiske undersøkelser. Som pulskilde ble benyttet boomer. Resulterende løsmassekart viste blottlagt fjell i store deler av det undersøkte området og løsmassetykkelser på i hovedsak 5 - 10 m i det øvrige området, men forsenkninger med inntil 70 m tykke løsmasser er også registrert, se fig. 1. Ved omregning av tidsdyp til reelle dybder er det benyttet en hastighet i løsmassene på 1600 m/sek.

Ut fra foreliggende data syntes mulighetene til å legge en fjell tunnel under Løpern å være relativt gode. Som en del av den videre planlegging ble det derfor i 1986 utført refraksjonsseismiske målinger i flere etapper.

Ut fra topografien i registrert fjelloverflate og geologisk kartlegging var det klart at foreslått tunneltrace kom til å krysse svakhetssoner ute i sundet. Beliggenheten av antatte svakhetssoner ble i hovedsak bekreftet ved de refraksjonsseismiske målingene, men den store overaskelsen var omfanget av en sone øst i sundet nær inn mot strandkanten ved Kirkeøy. Her viste akustikken mindre enn 5 m med løsmasser og ingen spesiell forsenkning i fjelloverflaten. Refraksjonsseismikken derimot viste en markert forsenkning i fjelloverflaten, ca 100 m bred og fylt med ca 45 m løsmasser (Profil 3/86). Hastigheten i disse massene var i hovedsak 2100 m/sek noe som indikerer morene. I deler av profilet var det øverst et ca. 10 m tykt lag med hastighet 1700 m/sek, muligens sand, se fig. 2.

Også i hovedforsenkningen i skipsleia nær Asmaløy har morene med hastighet 2100 m/sek under et topplag med hastighet 1700 m/sek maskert for fjell, men morenelaget er her bare ca. 10 m tykt.

Også i soner som er markert som bart fjell ut fra akustikken, viser refraksjonsseismikken noe løsmasser i enkelte områder, men da med beskjedne løsmasse-tykkelser.

Etter at resultatet fra de refraksjonsseismiske målingene forelå ble det forsøkt med en retolkning av ekkogrammene fra de akustiske målingene. Selv om "svaret" nå var gitt, var det ikke mulig å gi noen bedre tolkning av ekkogrammene.

Konklusjonen en kan trekke ut fra dette, er at en ikke har kunnet "se" gjennom morenemassene på ekkogrammene. For forsenkningen nær Kirkeøy vil et forklarende element være at vanddybdene her er beskjedne (ca 10 m) i forhold til løsmassetykkelsen (ca 45 m) slik at multipler fra sjøbunnen kan ha forstyrret tolkningsmulighetene. For dyprenna ved Asmaløy er imidlertid vanddybden stor (ca 40 m) i forhold til løsmassetykkelsene (ca 5 m + 10 m), og slike effekter har ikke hatt betydning her.

1.3 Oppfølging av akustiske målinger

I mange tilfeller får en frem den reelle lagdeling og dybder til fjell ved akustiske målinger. De viste eksempler illustrerer imidlertid at metoden kommer til kort under visse forhold. Da en på forhånd ikke alltid kan forutse om slike forhold foreligger, er det innlysende at resultatet fra akustiske undersøkelser må følges opp og kontrolleres med andre metoder. En naturlig oppfølging er å utføre refraksjonsseismiske målinger, men det er selvsagt også mulig å bore. Med refraksjonsseismikk vil en imidlertid foruten lagdeling også få informasjon om forplantningshastighet i løsmasser og fjell. Det første er viktig for å kunne kontrollere og eventuelt justere beregnede løsmassetykkelser ut fra akustikken. Hastighet i fjell gir indikasjon på fjellkvalitet (svakhetssoner etc.).

1.4 Alternative signalgivere og registrering

I 1975 ble det utført akustiske målinger i Høgsfjorden i Rogaland ved utløpet av Lysefjorden. Hensikten var å kartlegge bunnforholdene (dybde og jevnhet) samt type og tykkelse av sedimenter med tanke på prosjektering av rørbru mellom Lauvvik og Oanes. Man antok at løsmassene kunne ha stor mektighet, og det ble benyttet både boomer og sparker som pulskilde.

På de resulterende ekkogram fikk en fram forskjellige horisonter i løsmassene. På land ved Lauvvik er det fjell i dagen og fjelloverflaten faller steilt ned mot fjordbunnen på ca - 160 m. Herfra og videre nordøstover klarte akustikken å følge fjelloverflaten gjennom løsmasser på inntil ca. 200 m. Fra største vanddyp stiger bunnen jevnt med ca. 1 : 4 opp mot Oaneset, og i områder med små vanddyp i forhold til løsmassetykkelse utgjorde multipler fra sjøbunnen et

forstyrrende element i tolkningen av ekkogrammene. Løsmassetykkelsen ble således bedømt til å være større enn 200 m, men hvor mye større kunne ikke bestemmes.

Både boomer og sparkerdata ga et bilde av horisonter i løsmassene, men med sparker klarte en å oppnå noe bedre penetrasjon gjennom løsmassene til fjell enn med boomer.

Arbeidet med rørbruprosjektet i Høgsfjorden lå så stille i noen år inntil man i 1986 tok fatt på ny. For om mulig å finne ut noe mer om løsmassenes sammensetning og lagdeling ble det igjen kjørt akustiske målinger med boomer som kilde. Oppnådd penetrasjon gjennom løsmassene var ikke noe større enn ved første gangs målinger, men noe mer informasjon om sedimentene ble oppnådd.

Som en del av hovedplanutredningen for vegsystemet i området, var det også aktuelt å vurdere mulig kryssning i fjelltunnel under Høgsfjorden. Det ble derfor sommeren 1986 igangsatt et søk etter mulig(e) fjell terskel(ler) ved hjelp av akustiske målinger. Igjen ble området ved munningen av Lysefjorden undersøkt med boomer for å kartlegge fjelloverflaten. Heller ikke denne gang klarte en å trenge gjennom løsmasseryggen mot Oaneset på grunn av forstyrrende multipler der vanddybdene er vesentlig mindre enn løsmassetykkelsen. Mulig dyprenne i fjelloverflaten ble imidlertid lokalisert til å ligge langs en akse omtrent midtfjords.

Avgjørende for mulig tunneltrace var imidlertid hvorledes fjellet stiger opp østover mot blottleggingene på Oanes og Forsand, samt største dyp i dyprenna midtfjords.

Ved oljerelaterte undersøkelser i Nordsjøen benyttes bl. a. målinger med airgun som kilde og digital registrering av data. Det ble på denne bakgrunn besluttet å forsøke tilsvarende opplegg i Høgsfjorden selv om slike målinger ikke var utført i trange fjordområder tidligere (mauvreringsmulighet, siderefleksjoner etc.). Geoteam ble engasjert med målefartøyet M/S Geo Scanner og feltregistreringen ble gjennomført i løpet av 7 timer i desember 1987.

Det ble anvendt en Bolt 600 B luftkanon og en 300 m lang hydrofonkabel med 6,25 m mellom hydrofonene. Måleopplegget vil fremgå av tegning fig. 3. Resultatene ble registrert både digitalt og på analog skriver slik at datafangsten kunne vurderes visuelt etter hvert.

På samme tokt ble også sidesøkende sonar og dyptauet sparker benyttet. Hensikten med sonaren var å kartlegge ujevnheter (blokker etc.) på fjordbunnen, mens sparkeren var ment å skulle penetrere løsmassene. Det siste lykkes ikke og måleprogrammet med dette utstyret ble derfor vesentlig redusert.

De analoge ekkogrammene fra airgun registreringene viste at en fikk ekko tilbake fra fjelloverflaten. Endringer i toktopplegget med justering av målelinjer ble gjort på denne bakgrunn. Ved senere bearbeiding og filtrering av de digitale registreringene har en både kunnet følge fjelloverflaten på alle profilene samt skille ut inntil fem markerte horisonter i løsmassene i de øvre 60 - 100 m under sjøbunnen, se fig. 4.

Anvendte analysemetoder gir også mulighet til å bestemme hastigheten i løsmassene innenfor en nøyaktighet på 5 %. Beregnede hastigheter viser et variasjonsområde på fra 1700 - 2100 m/sek. De høyeste hastighetene finnes i selve randavsetningen (mellom Oanes og Forsand) og ned mot fjell, men også store deler av skråningen ut mot Høgsfjorden kan ha intervallhastigheter rundt 2100 m/sek. Umiddelbart over fjellreflektoren er det registrert et lag som viser svært høy intervallhastighet (2500 - 3300 m/sek).

Ut fra registrert fjellreflektor og informasjon om hastighet i løsmassene er det utarbeidet et fjellkotekart. Dette viser til dels vesentlig større fjellldybder enn data fra tidligere undersøkelser har kunnet frembringe, ca 30 m dypere i dyprennen i selve Høgsfjorden og 50 - 140 m dypere i munningen av Lysefjorden. Fallretning på fjelloverflaten er også noe annerledes spesielt inn mot Forsand. Største registrerte løsmassetykkelse er i størrelsesorden 300 m.

Det er ikke gått videre for å verifisere nevnte data med andre metoder, så som refraksjonsseismikk, idet tunnelalternativet under fjorden ikke lenger er aktuelt. Oppnådde resultater ved bruk av airgun og digital registrering og bearbeiding av data gir grunn til optimisme når det gjelder å anvende metoden under tilsvarende forhold som i Høgsfjorden. Dette går både på penetrasjonsevne i løsmasser og bruk i trange farvann. Imidlertid vil tolkning av data fra sparker og boomer registreringer også kunne forbedres noe ved digital registrering og bearbeiding. Dette vil fortsatt kreve en del mer registreringsutstyr enn ved analog registrering, men det skulle likevel være mulig å få plass til dette på fartøy av mindre størrelse enn slike som opererer i Norsjøen (Geo Scanner og tilsvarende), noe som igjen vil reflektere på prisnivå.

2. REFRAKSJONS-SEISMIKK

De informasjonen en kan få fra refraksjonsmålinger er også begrenset i noen tilfeller ut fra de fysiske forhold langs måleprofilen. Dette går i første rekke på at hastigheten i lagene må øke med dybden under terreng og at blindsoner (som ikke oppdages på

tolkningsdiagrammene) kan forekomme avhengig av lagtykkelse og hastighetsfordeling i lagene selv om hastigheten øker med dybden. Et annet problem er at detaljinformasjon om variasjoner i kontaktflaten mellom lagene avtar med avstand fra måleprofilen. Det siste betyr at det er vanskelig å følge fjell-overflaten i en bratt kløft fylt med løsmasser i noe dybde under terreng. Hvis kløften utgjør en knusningssone, noe som ofte er tilfelle, vil det også være vanskelig å trekke opp overgangen mellom løsmasser og fjell i knusningssonen.

For å illustrere dette kan vi se på nok et eksempel fra Løpern på Hvaler. I dyprennen under skipsleia mellom Asmaløy og Kvernskjær ble det ved de innledende refraksjonsmålingene for den først foreslåtte tunneltrace registrert en ca 50 m bred knusningssone. Løsmassene ble registrert med et topplag på ca 5 m med hastighet 1600 m/sek og et morenelag under dette med hastighet 2000 m/sek. Hastigheten under dette laget ble registrert til 2200 - 2400 m/sek og antas å gjenspeile overgang mellom løsmasser og oppsprukket fjell. Kontaktflaten har en bare kunnet antyde innefor et variasjonsområde på 5 - 8 m. Hastigheter på 2200 -2400 m/sek gir ikke noe sikkert budskap om at dette er oppsprukket fjell idet morene også kan komme opp i slike hastigheter.

For å kontrollere løsmassetyper og overgang til fjell ble det utført fjellkontrollboring fra lekter med Roc 601 kjedematet borvogn. Det ble boret til ca 50 m under sjøbunnen, dvs at borstrengens lengde var ca 90 m med 38 mm stenger og 64 mm borkrone. Observasjoner av borsynk antyder sand/løsmasser ned til overgang mellom 2000 og 2400 m/sek i seismisk hastighet. Videre ned er det registret varierende innhold av stein fra litt til mye. I den nedre del er det antatt sleppesone og en hadde jevn synk på boret. Synken var imidlertid usedvanlig stor, spesielt med såvidt lang borstreng, og en antok derfor at det neppe var fast fjell. Det ble også forsøkt boret med Odex-utstyr for opptak av prøver, men dette måtte oppgis. Totalt sett ble det en relativt kostbar operasjon og det var også tydelig at en opererte på grensen av det som var mulig fra en enkel lekter, vanddybder og strøm tatt i betraktning.

Etter supplerende seismiske undersøkelser ble tunneltraceen lagt om slik at en krysset knusningssonen nær Asmaløy lenger nord i sundet. Her viste refraksjonsmålinger at knusningssonen var noe smalere ca 25 m. Problemet var også her overgangen fra løsmasser til oppsprukket fjell i knusningssonen. Ut fra tidligere erfaringer med vertikale boringer i sundet og usikkerheten både resultatmessig (mulighet for å komme gjennom sonen) og kostnadmessig (behov for flere hull ?) ved skrå kjerneboring fra land gjennom sonen, ble det besluttet å leie borskipet Bucentaur. Dette er et borskip som anvendes ved grunn-undersøkelser for innstallasjoner i Nordsjøen.

Boringene ble utført i løpet av en uke fra mandag 4 mai til fredag 8 mai 1987. Det ble i alt boret 5 hull, men bare to av disse ga nyttige resultater for prosjektet. I de tre øvrige hullene ble boring avbrutt relativt grunt under sjøbunnen av forskjellige grunner. Det ble både boret med såkalt API streng med 7 3/4" - 8 1/2" borkroner og med Diamant Boart kjerneboringsutstyr. Sistnevnte utstyr ble benyttet gjennom API strengen (som hadde 4" klaring innvendig) når denne stoppet opp. Det ble boret til en fikk opp sammenhengene kjerner og ut fra dette kunne en dokumentere at det var boret minst 6 m i fjell. Avviket av borhullene fra loddlinjen ble også registrert, men dette var ubetydelig. Resultatet av boringene fremgår av fig nr 5.

Tunneltraceens plassering i vertikalplanet ved passering av svakhetssonen ble bestemt ut fra dette grunnlag. Under driving av tunnelen, hvor det forøvrig var gjennomslag lørdag 15 april i år, ble NGI engasjert til å foreta tomografiske målinger fra borhull foran stuff. Resultatet av disse målingene er også gjengitt på fig nr 5. Som en ser er det godt samsvar mellom de tomografiske målingene og borresultatene.

Det fremgår videre av samme figur at knusningssonen smalner av noe mot dypet, i alle fall den mest oppsprukne delen. Refraksjonsseismikken har her små muligheter til å skille mellom løsmasser og oppsprukket fjell og dette må kartlegges på annen måte.

Totalt kostet boringene med Bucentaur 1,5 mill kr. Fordelt på antall bordøgn (drift 24 t i døgnet) blir det 300.000 kr pr. døgn og en løpemeterpris på kr 23.000 for nyttige bormeter (kr 17.000 pr m for total borlengde).

Referanser.

Internrapport fra Veglaboratoriet nr. 1296, november 1986.

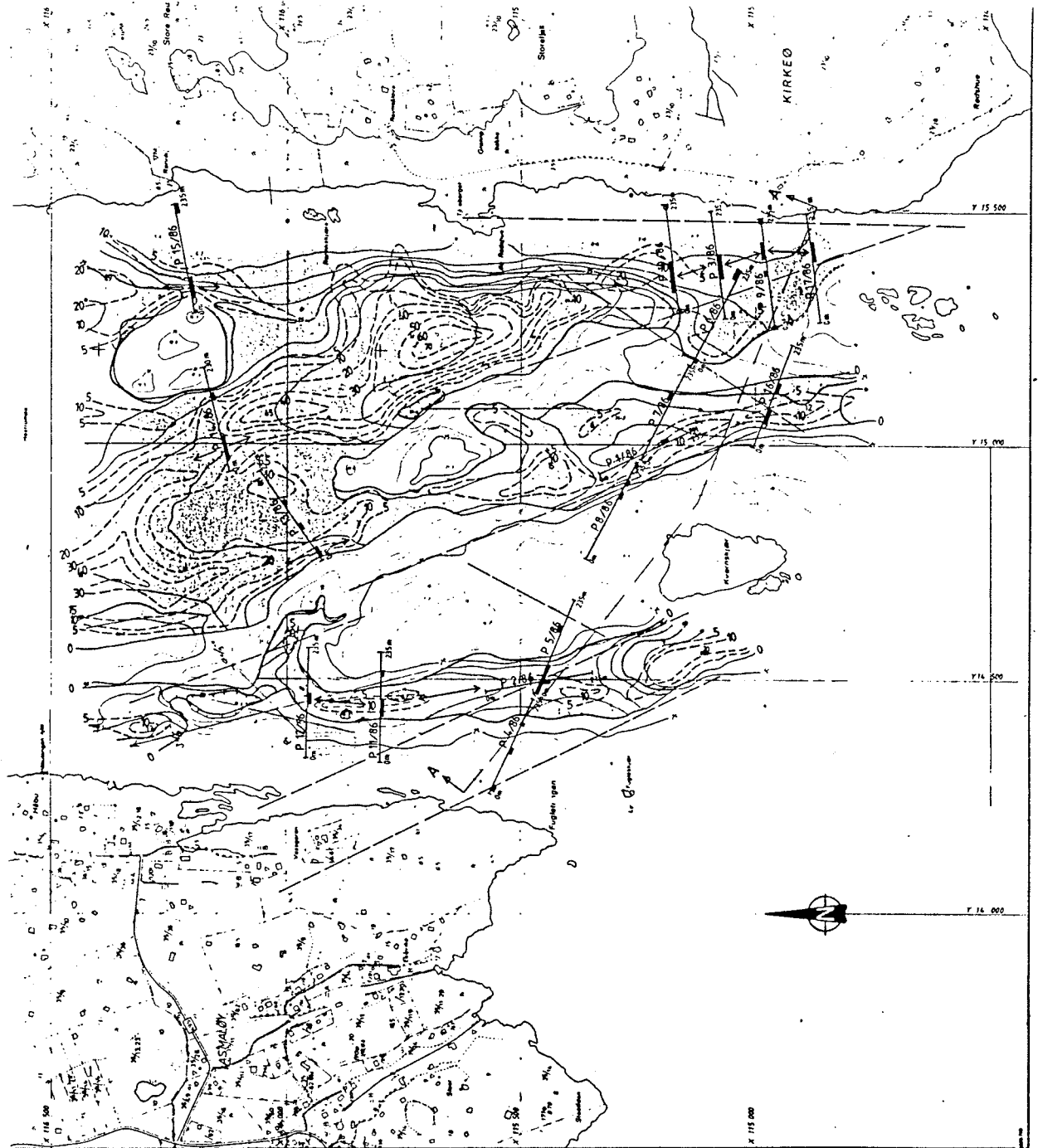


Fig. 1 *Løsmassedybder og posisjon refraksjonsseismiske profiler i Løpern, Hvaler.*

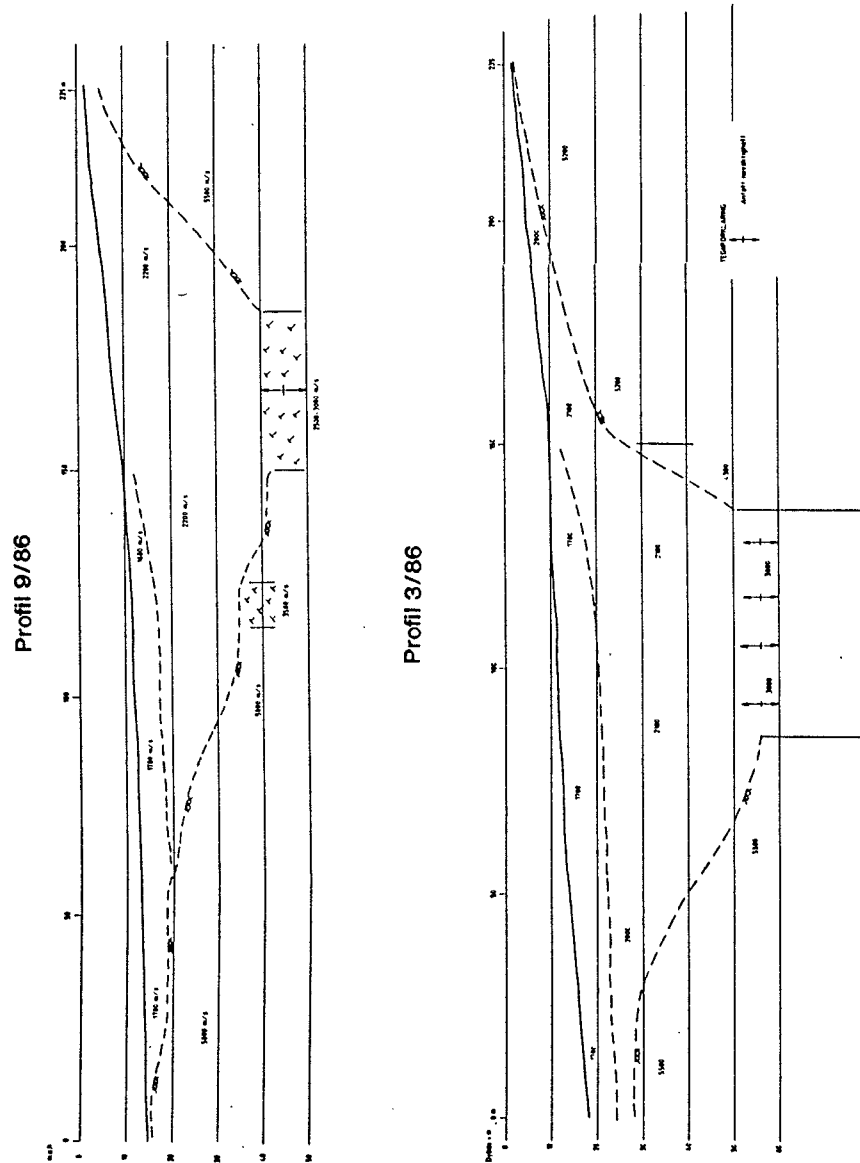
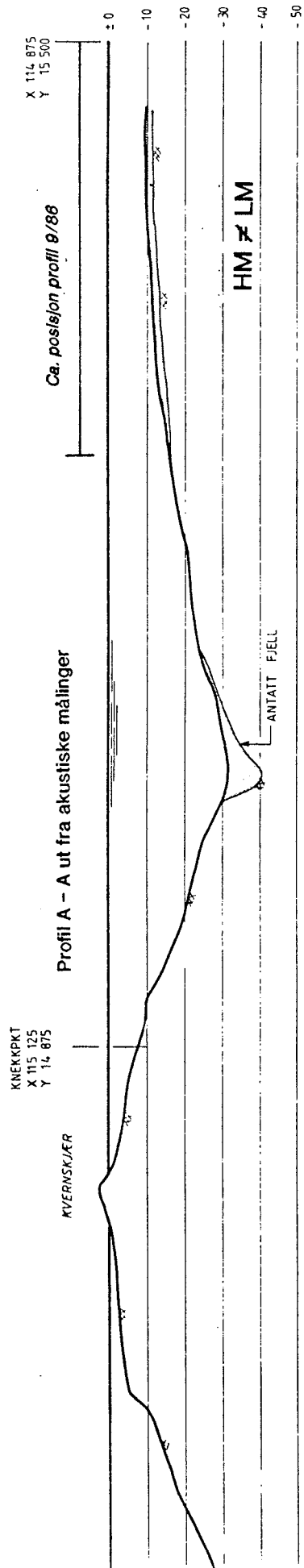
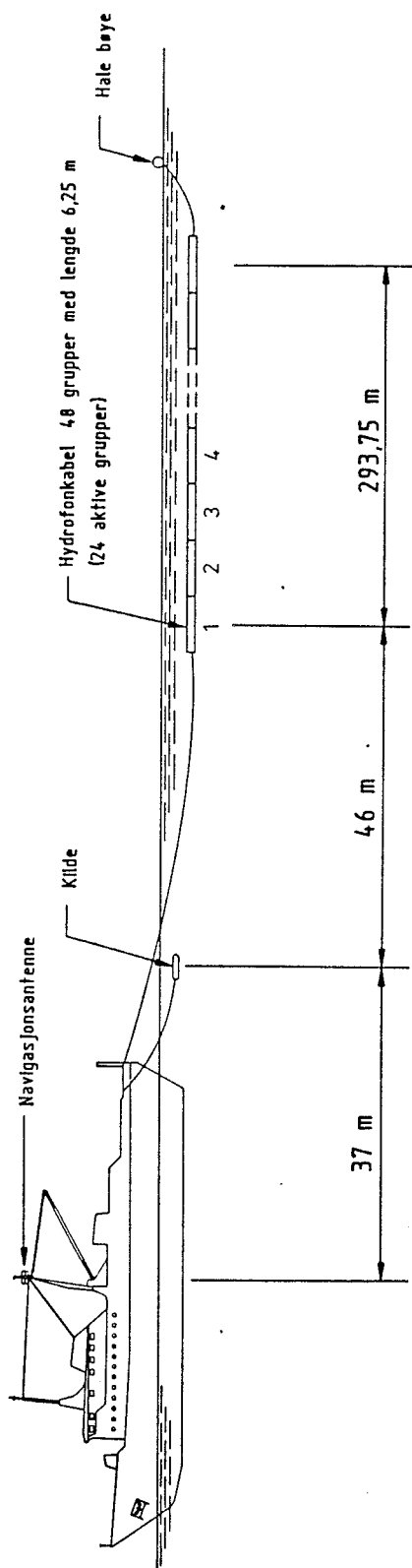


Fig. 2 Akustiske og refraksjonsseismiske profiler i Løpern, Hvaler

INSTRUMENTUTLEGG, DIGITALT UTSTYR



<u>Taue</u>	<u>Dyp</u>
Kilde :	1,0 m
Hydrofonkabel:	2,0 m

Fig. 3 Måleopplegg for akustiske målinger med airgun

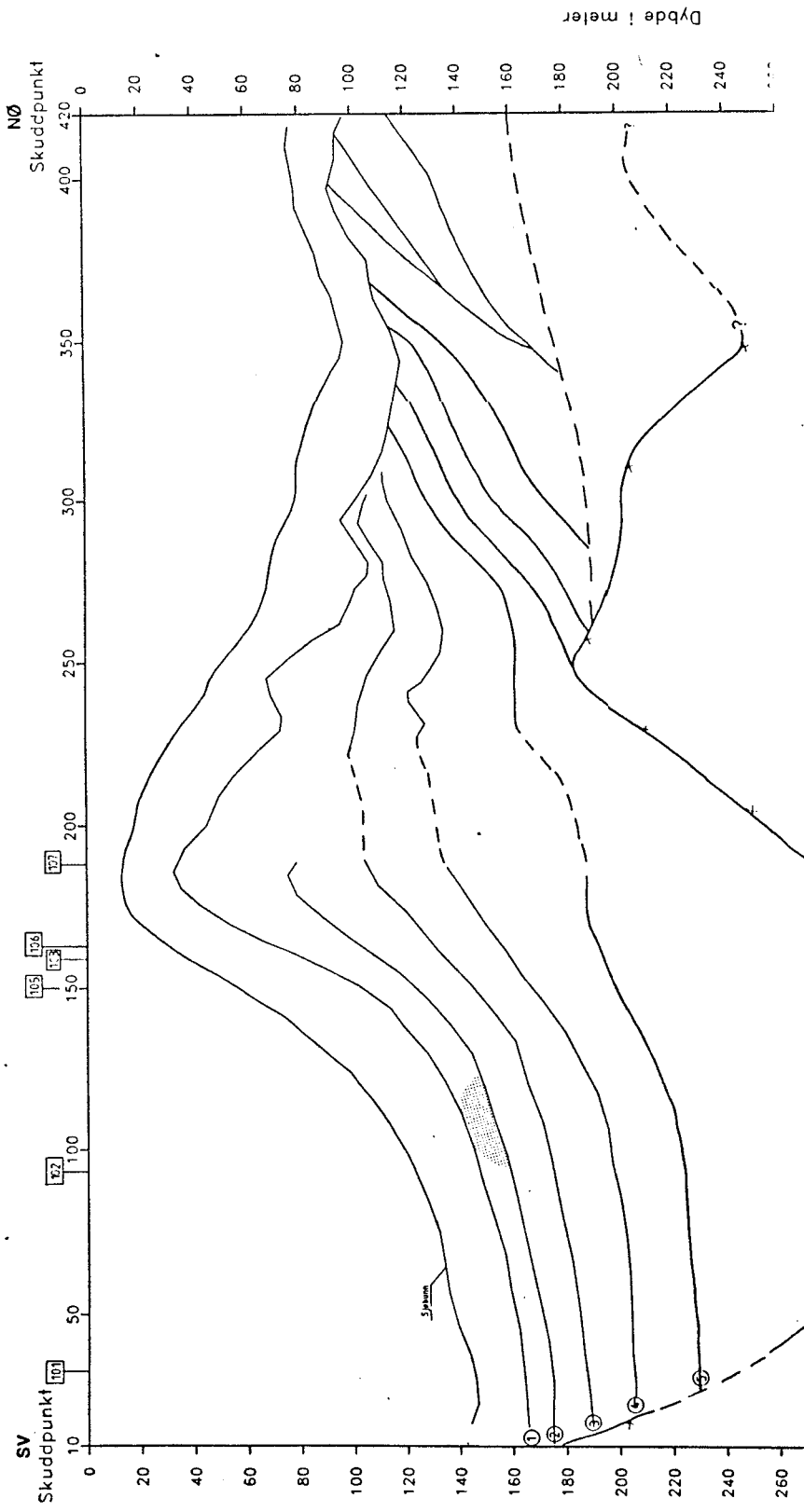
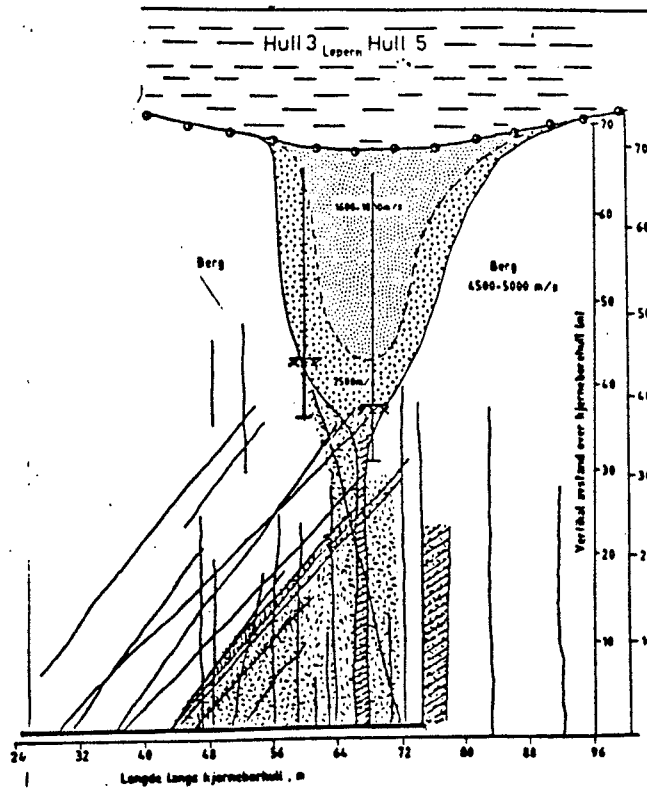
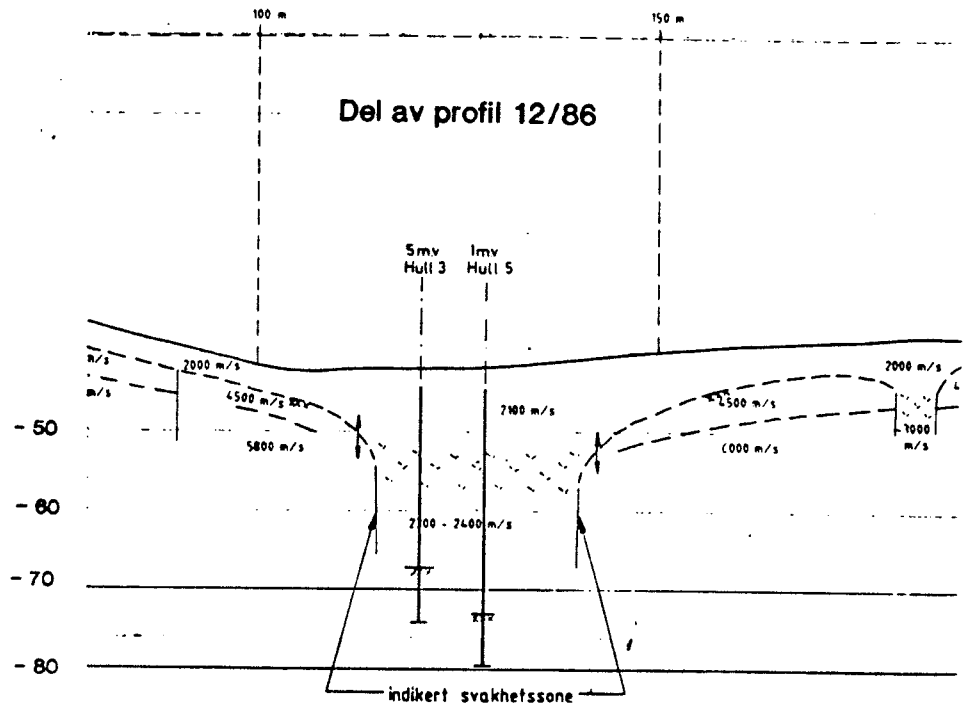


Fig. 4 Profil som viser stratigrafi i løsmasser og dybde til fjell i Høgsfjorden ved Lysefjorden



Tomografisk profil

Fig. 5

Seismisk profil 12/86 med inntegnede borresultater samt tolket tomografisk profil (v/NGI)



KONFERANSE OM
GEOLOGISK PROSJEKTERING AV
UNDERSJØISKE VEGTUNNELER
25. - 26. APRIL 1989
HOTEL NORGE, KRISTIANSAND

S O N D E R B O R I N G E R

Marit Liv Larsen
Statens vegvesen
Østfold

INNLEDNING

Innlegget tar for seg sonderboring som hjelpemiddel i ingeniørgeologisk oppfølging av undersjøiske veg-tunneler.

Det vil bli en generell del om sonderboring, som tar for seg en oversikt over hvor man har brukt metoden på undersjøiske vegtunneler i Norge, resultater fra sonderboringen, og en vurdering av sikkerhet/gyldighet for reistreringer av vanninnbrudd og rasfarlig berggrunn.

Det blir også en spesiell del om Hvalertunnelen. Denne tar for seg en kort beskrivelse av anlegget, opplegg for sonderboring, registrering av data, tolkning, forholdsregler som tas ut fra resultatene av sonderboringen, og en oppsummering av hvordan registreringene stemmer med de faktiske forhold som ble observert under driving.

Konklusjonen til slutt sammenfatter muligheter, begrensninger og supplement med hensyn på sonderboring som "forundersøkelse" under tunneldriving.

HVA ER SONDERING?

Det vi her kaller sonderboring er systematisk boring av hull på stoff som rekker 20 - 30 m fremover, dvs. går flere salvelengder frem.

Boringen kan gi informasjon om fjellforholdene foran stoff, og om eventuelle vannlekkasjer.

På de undersjøiske vegtunnelene hvor det er drevet sonderboring, har boringen vært utført som slagboring med tunnelborrigg.

Oversikt over hvor sonderboring har vært utført på undersjøiske vegtunneler:

- Ålesund - Ellingsøy
- Ellingsøy - Valderøy
- Kvalsundforbindelsen
- Giske - Godøy
- Hvalertunnelen
- Flekkerøytunnelen
- (- Nappstraumen)

RESULTATER:

Ved samtlige anlegg har man ved sonderboringen funnet antatte svakhetssoner og de fleste større vannlekkasjer.

Flekkerøytunnelen rapporterer om et par større vannlekkasjer som ikke ble funnet på sonderboringen. Det samme gjelder for Hvalertunnelen.

"Rassonen" på 20 m i Ålesund-Ellingsøytunnelen var allerede funnet på sonderboring, og man visste at fjellet var dårlig. At raset ikke ble stoppet tidligere, skyldtes at man ikke fikk inn støpeskjoldet tidsnok. Anleggets ingeniørgeolog mener i ettertid at tett forbolting og mange dreneringshull kunne ha hindret raset i å utvikle seg så mye som det gjorde.

På Giske-Godøy - tunnelen fant man både svakhetssonene og vannlekkasjene på sonderboringen. Kvalsundforbindelsen har også gode resultater å vise til.

SIKKERHET AV REGISTRERINGER

Vannførende slepper kan være vanskelig å oppdage til tross for sonderboring med flere hull. Det skyldes at vann beveger seg mer langs kanaler på sprekkeplan enn i hele sprekkeplanet.

Sonderboring med et par hull kan godt skjære sprekke på "tørre steder" og gi inntrykk av tørt fjell forut, mens litervis av vann flommer friskt få desimeter fra borhullene.

Her gjelder regelen med jo flere forsøk, desto større sjanse for å treffe. Flere borhull gir økt sannsynlighet for å treffe vannførende sprekkeplan.

Det må vurderes ut fra krav til innlekket vannmengde i tunnelen og hittil oppdagede lekkasjer, om man bør øke antall sonderhull eller endre hullmønsteret for bedre å ta rede på vannlekkasjer forut. Det kan også være aktuelt å stille kostnadene ved økt sonderboring/injeksjon/hefttid opp mot kostnadene med å lede vannlekkasjer i ellers godt fjell ned i sidene og pumpe vannet ut.

Tynne leirslepper og sprekker uten belegg vil merkes på sonderboringen avhengig av hvilken vinkel borhullet treffer sprekke med.

Om borhullet skjærer sprekken normalt på eller med stor vinkel, kan man bore tett igjennom uten å merke noe, selv gjennom slepper med flere cm tykt leirbelegg.

Om borhullet derimot skjærer sprekken i svært spiss vinkel, kan stengene kile seg fast og løse ut fastboringsautomatikken på bormaskinen. Dette kan skje i svært "ufarlige" sprekker, såvel som i leirslepper. Spylevannet kan gi en indikator på evt. sleppemateriale.

Tykke leirslepper og mektige leirsoner vil vise seg på sonderboringen ved at krona går tett og fastboringsautomatikken slår ut. Det er minimal sannsynlighet for å overse disse på sonderboringen.

En oversikt laget ut fra erfaringer fra Hvalertunnelen viser hva man kan registrere under sonderboring, og med hvilken grad av sikkerhet:

- ***** Mektige leirsoner
- **** Tykke leirslepper
- *** Svakhetssoner blokk m. leirbelegg
- ** Tynne leirslepper
- * Vannførende slepper

HVALERTUNNELEN - KORT PRESENTASJON

Beliggenhet : Fra Asmaløy til Kirkeøy i Østfold fylke
 Lengde : 3,7 km
 Stigning : $100 \text{ }^{\circ}/_{00}$; $14 \text{ }^{\circ}/_{00}$ på flatsålen
 Laveste punkt: Kote - 120
 Minste fjell-
 overdekning : 35 m

Forundersøkelser : - flyfotostudier
 - akustikk
 - refraksjonsseismikk
 - kjerneboring fra skip i svakhetszone
 - slagsonderhull fra hver side ut mot svakhetssoner under havnivå, med etterfølgende vanntapsmåling

Resultat av tolking av forundersøk.: - 3 større svakhetssoner, antatt bredde 25 - 50 m, lydshastighet 2200 - 2900 m/s
 - 9 mindre svakhetssoner, større og mindre bredde, lydshastighet 3000 - 3700 m/s

SONDERBORING VED HVALERTUNNELEN

Fra stoff Asmaløy er det boret 6741 m sonderhull og 1733 m injeksjon-/kontrollhull, tilsammen 8474 m, på 1986 m tunnallengde. Det er injisert 50 tonn. Største registrerte vannlekkasje var på 170 l/min.

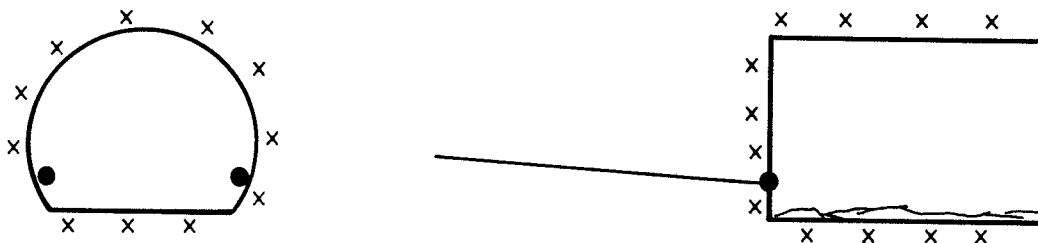
Fra stoff Kirkeøy er det boret 5237 m sonderhull på 1765 m tunnallengde. Det er ikke påtruffet store vannlekkasjer.

Totalt på Hvalertunnelen, lengde 3751 m, er det boret 11.978 m sonderhull og 1733 m injeksjons-/kontrollhull og injisert 50 tonn (vesentlig Rapid).

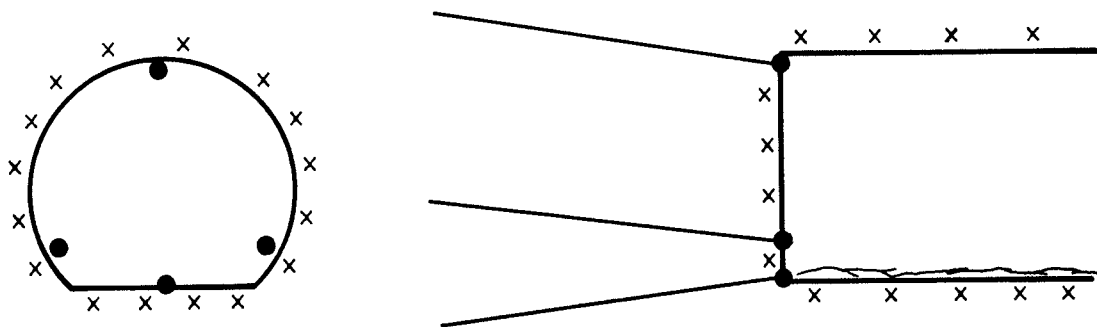
I anbudet var det regnet med 10 000 m sonderhull, 7500 m injeksjon-/kontrollhull og 100 tonn sementinjeksjon.

Metode:

Nivå I: 2 hull å 30 m, vinklet noe opp og ut.
8 m (2 salver) overlapp.



Nivå II: 3-4 hull å 30 m
12 m (3 salver) overlapp



Ett hull i hver side sikrer registrering av soner som skjærer tunnelen på skrå.

Henghullet og sålehullet gir i tillegg informasjon om soner som kan ha fall med/mot tunnelaksen samt om evt. vannlekkasjer i heng/såle.

Metoden med 3-4 hull har vi brukt der vi ventet svakhetssoner ut fra seismikken (hullet i sålen er av og til sløyfet).

REGISTRERING AV DATA

Under boringen stiller vi med skjema og stoppeklokke. Det bores vanligvis med skjøtestenger på 10 og 12 fot (3 og 3,7 m). For hvert borhull noteres observasjoner gjort på hver enkelt skjøtestang:

- farge på spylevann under boring
- evt. krancling/reduisert mating under boring
- evt. fastboring
- evt. endring i mengde spylevann
- bortid pr. skjøtestang
- evt. vannlekkasje ved skjøting av stenger
- evt. leirpartikler i spylevannet

Ved å holde rede på antall innborede stenger merker man seg dybden til evt. endring i fjellforhold.

Er vi i tvil om hvorvidt vannet fra borhullet er spylevann eller en vannlekkasje, holder vi an boringen til hullet har tømt seg. Dette for å unngå å bore lenger inn enn vannlekkasjen er, slik at en injeksjon har bedre evne til å lykkes.

Sonderhullene bør bores på stigning (med unntak av hull i sålen). Da renner spylevann med borkaks raskt ut igjen, boringen går greit, og man får bedre informasjon om hva man til enhver tid borer gjennom.

Tolking av observasjoner: - lekkasje ved stangskifte eller under boring

Tynne leirslepper: - kan gi krancling under boring
- leirfarget spylevann (grønt/rødt/grått/hvitt) evt. m leirpartikler

Svakhetssoner; blokk med leirbelegg: - sleppene kan gi krancling under boring
- leirfarget spylevann, evt. m. leirpartikler

Tykke leirslepper: - borer tett, men kan komme gjennom og fortsette boringen
(•0,5 m og større)
- leirfarget spylevann, evt. m. leirpartikler
- kan miste spylevannet

Mektige leirsoner: - borer tett → full stopp
- leirfarget spylevann med leirpartikler
-fare for å miste borstenger-
- kan miste spylevannet

FORHOLDSREGLER

Tiltak som vurderes dersom sonderboringen viser dårlig fjell/vannlekkasje foran stoff:

- injeksjon
- forbolting
- driving med redusert salvelengde

Injeksjon

Lekkasje < 5 l/min:	Injeksjon bortfaller.
> 5 l/min, 20-30 m unna:	Ser lekkasjen an. Vurderer å støpe igjen hullet
> 5 l/min, nærmere enn 15-20 m:	Ser lekkasjen an. Hvis mye vann: borer hel/delvis injeksjonsskjerm og injiserer.

Det har ofte vist seg at lekkasjene har avtatt etterhvert.

FORBOLTING

Vurderes ved mektige leirslepper og -soner. Starter forbolting 1(-2) salver før sonens begynnelse, med 20 mm innstøpt kamstål c-c 500 mm.

DRIVING MED REDUSERT SALVELENGDE

Vurderes ved mektige leirsoner.

Hvis tørt, forboltet: tar hel salve (4 m)

Hvis vann : tar redusert salve (2-3 m).

STEMMER REGISTRERINGENE MED DE FAKTISKE FORHOLD?

Stort sett har registreringene stemt godt med de observerte forhold i tunnelen. Alle større vannlekkasjer så nær som én ble oppdaget på forhånd. To av de tre store svakhetssonene ble funnet på sonderboringen, og de fleste mindre sonene. Et par av de mindre sonene, tolket ut fra flyfoto, ble ikke funnet igjen i tunnelen i det hele tatt.

Små vannlekkasjer som bare har gått forbi er ikke blitt større, men har snarere avtatt.

Store vannlekkasjer er funnet på sonderboring og injisert, alle så nær som én. Fjellet er blitt brukbart tett. Enkelte boltehull har punktert de vannførende sleppene, men her er det satt inn rørbolt med mulighet for gysing eller bortledning av vannet.

Leirslepper av 20 - 30 cm tykkelse og mer er funnet på sonderboring og i tunnelen. Tynnere leirslepper har ofte ikke vært oppdaget på sonderboringen.

Leirsoner av flere meters tykkelse er alltid blitt funnet på sonderboring. Det har sjelden lyktes å bore gjennom dem for å finne utstrekningen på sonene, og det er lite poeng i å sette fast borstenger og krone når man vet hva slags sone man har forut.

En 3 m bred leirsoner, svært dårlig stabilitetsmessig, ble funnet på sonderboring. Den var ikke kartlagt ut fra forundersøkelsene. Seismikken har muligens ikke funnet den fordi den "lå i skyggen av" en atskillig bredere svakhetssone 150 m unna.

En svakhetssone av 20 m bredde, den som med sine 35 m fjelloverdekning bestemte hvor dypt tunnelen måtte legges, ble ikke oppdaget på sonderboring! Knusningssonen besto av dårlig gneis sammenkittet av tynne leirslepper, og så ut som en steinrøys.

Kjerneboring gjennom sonen hadde vist svært oppsprukket fjell, men på sonderboringen virket fjellet atskillig bedre. Hvilket det altså ikke var. At man ikke boret fast skyldes trolig at leirselppene var såpass tynne (opp til et par cm). Sonen var skikkelig dårlig, stoffen kalvet selv etter påføring av sprøytebetong.

Det ble drevet med redusert salvelengde, forboltet for hver 4. meter og støpt ut 21 m.

KONKLUSJON

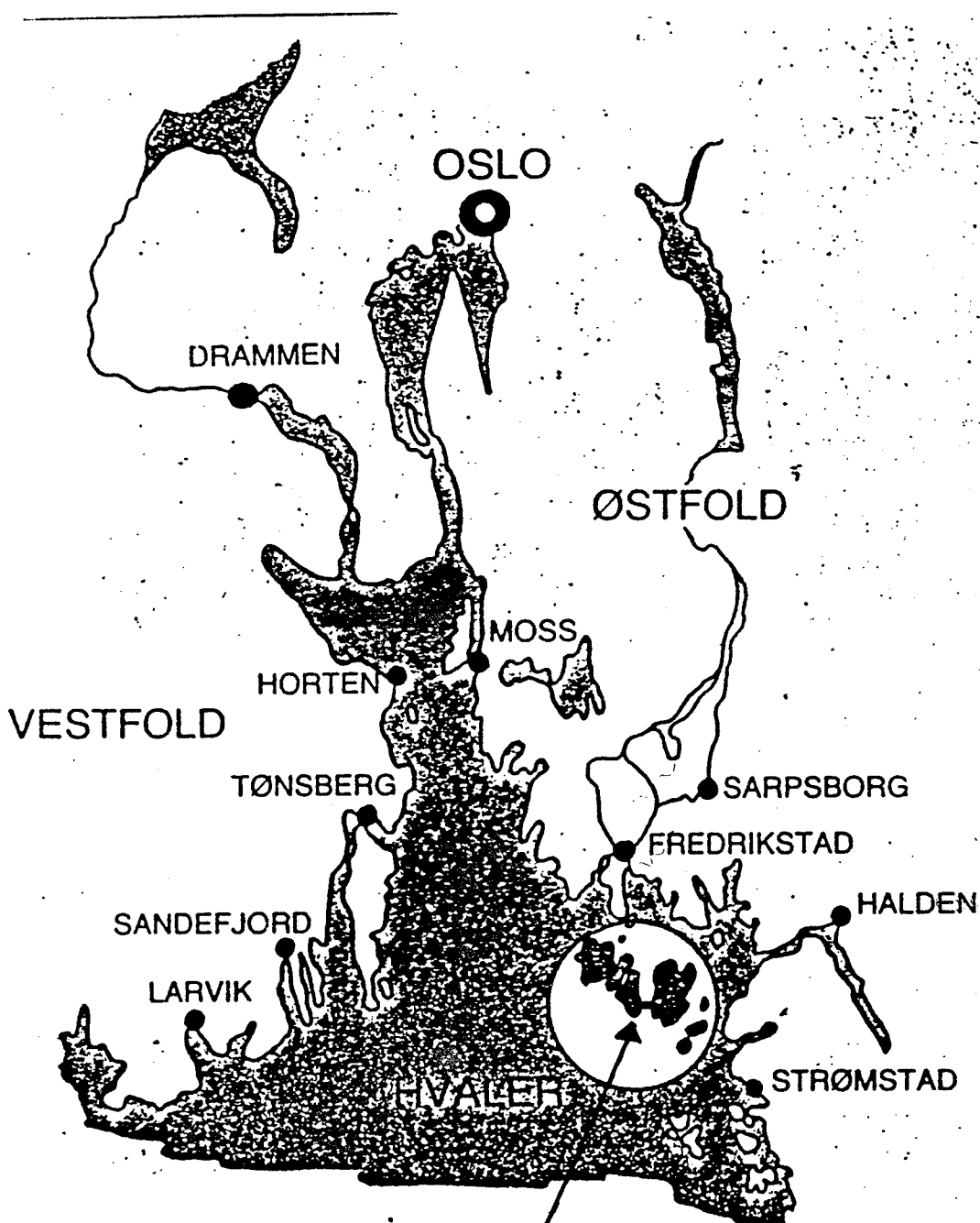
Muligheter: Et godt gjennomtenkt opplegg for sonderboring kombinert med god oppfølging når nødvendig, vil gi informasjon om de fleste endringer i fjellforhold og evt. vannlekkasjer foran stoff.

Begrensninger: Med et begrenset antall sonderhull kan man ikke garantere å oppdage samtlige vannlekkasjer foran stuff. Med såpass grov redskap som en tunnelborrigg er, kan mindre slepper o.l. overses under boringen.

Sonderboring gir ikke informasjon om oppsprekkingsgrad og bergartstype/grad av forvitret bergart i en dårlig sone. Sonderboring er ikke egnet til å bore gjennom og finne utstrekning av mektige leirsoner.

Supplement: Kjerneboring bør tas i bruk der man er interessert i en grundigere kartlegging av fjellkvaliteten foran stuff. Kjerneboring er også bedre egnet enn sonderboring til å finne leirsoners utstrekning.

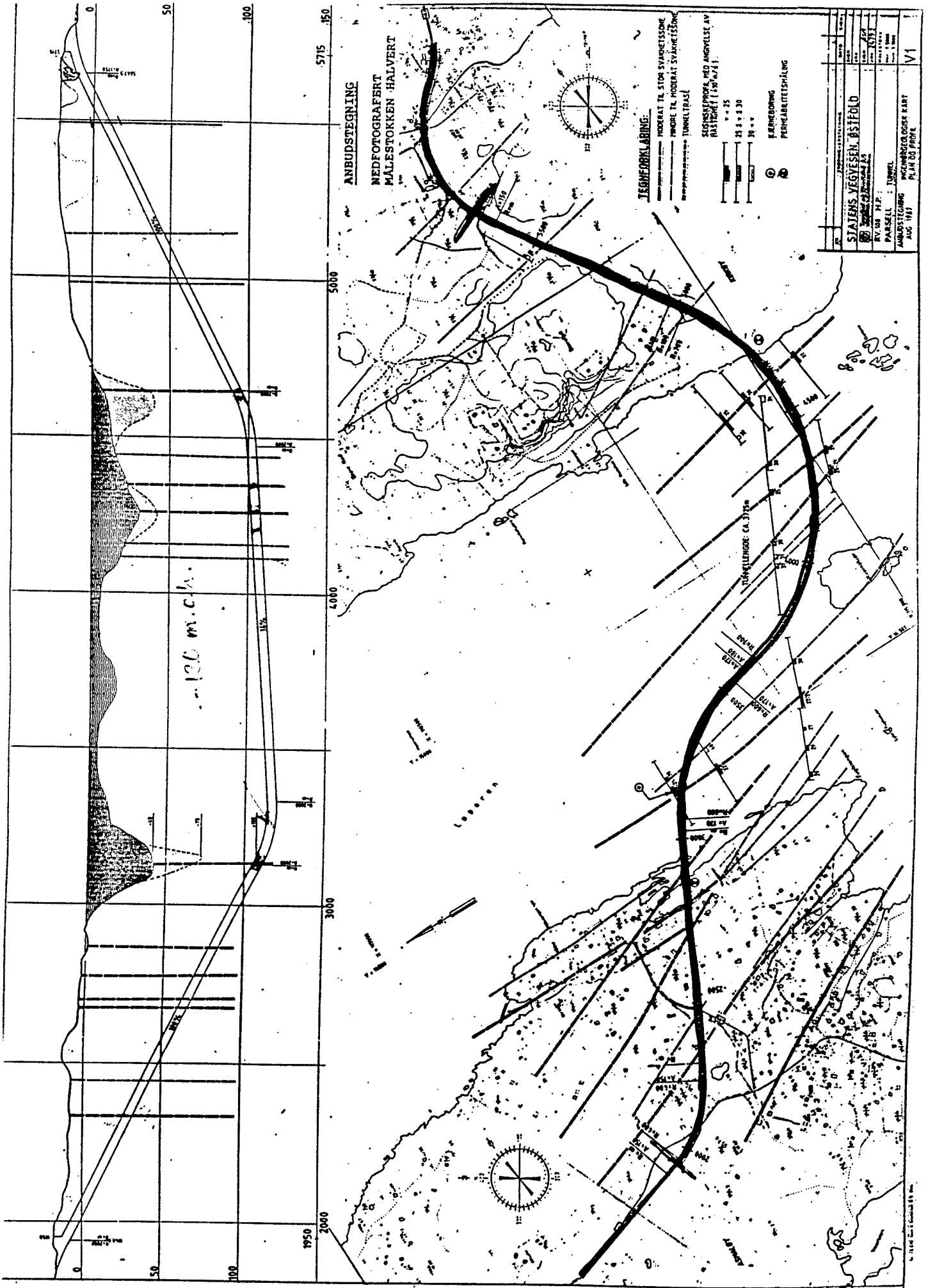
HVALERTUNNELEN

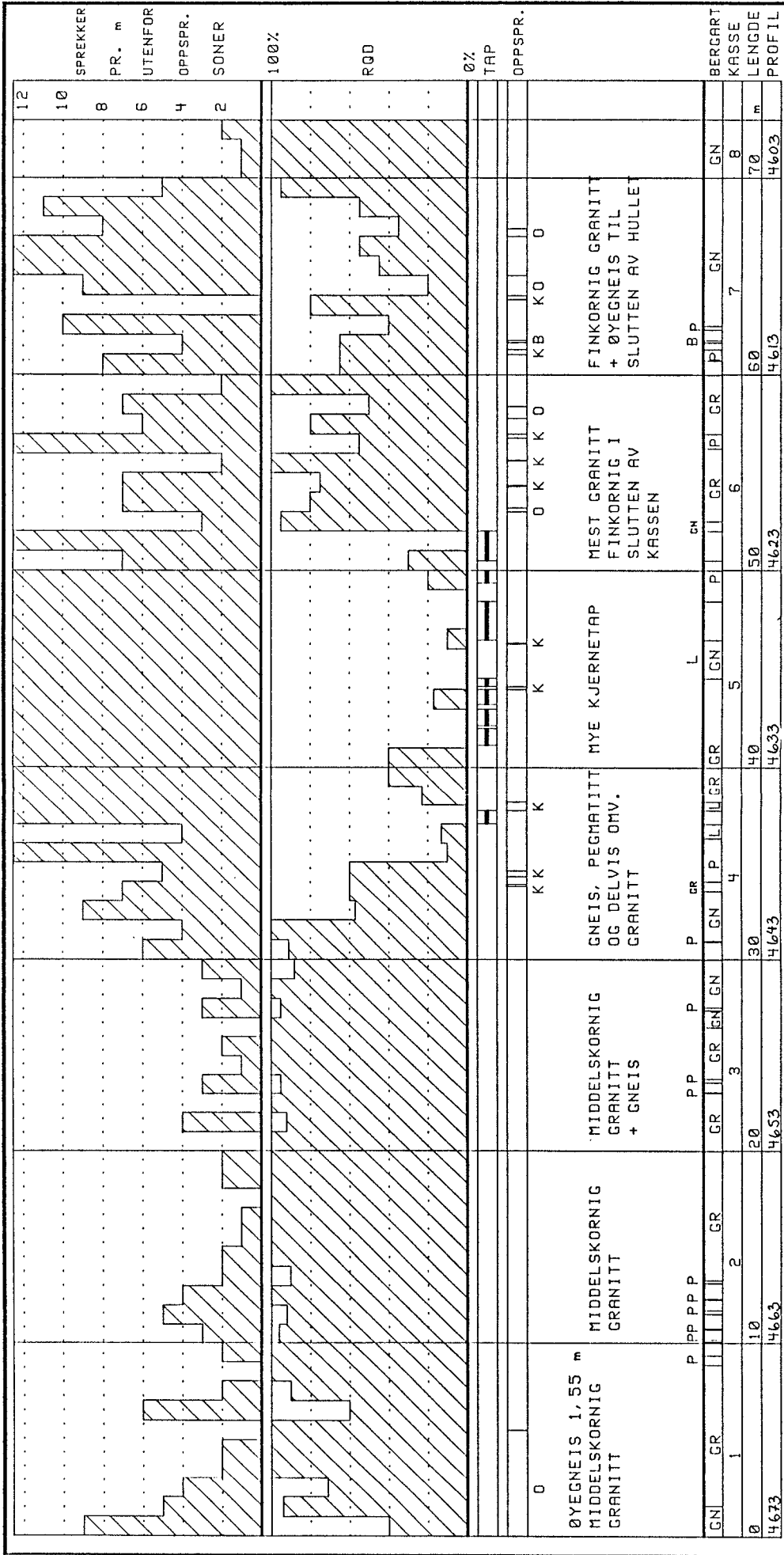


Hvalertunnelen
forbinder øyene Asmaløy og Kirkeøy
og gir Kirkeøy fastlandsforbindelse

KIKKEDY

πωπιπλγ1





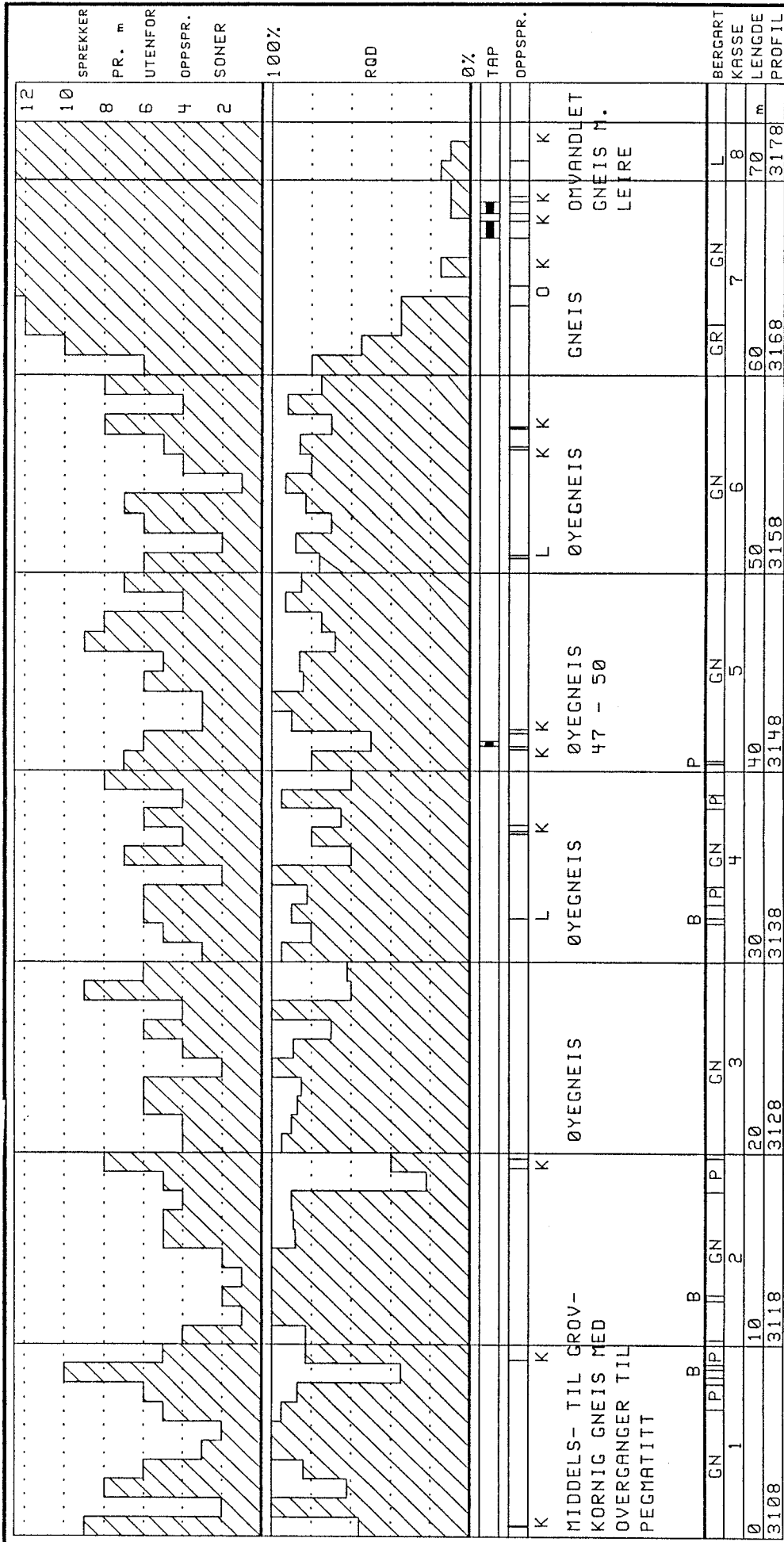
73 m

- K = KNUST
- L = LEIRE
- O = OPPSPRUKKET
- P = PEGMATITT
- GN = GNEIS
- GR = GRANITT
- B = BIOTITT-GANG

BORET MED 2 GRADER FALL
PARALLELT SENTERLINJEN

DATO	TEGNET	GODKJENT	MALESTOKK	TUNNØL UNDER LØPEREN
15.11.88	KG	<i>[Signature]</i>	1:200	RIKSVEG 108, HVALER
KJERNEBORING FORAN STUFF			TEGN.NR 2091.02	
BORLOGG KIRKØY				

DR. ING. O. T. BLINDHEIM, POSTB. 95. 1408 VEVELSTAD. TLF. 09-867565



73 m

K = KNUST
 L = LEIRE
 O = OPSPRUKKET
 P = PEGMATITT
 GN = GNEIS
 GR = GRANITT
 B = BIOTITT-GANG

BORET MED 2 GRADER FALL
 LANGS MIDLERE TUNNELRETNING
 I KURVEN

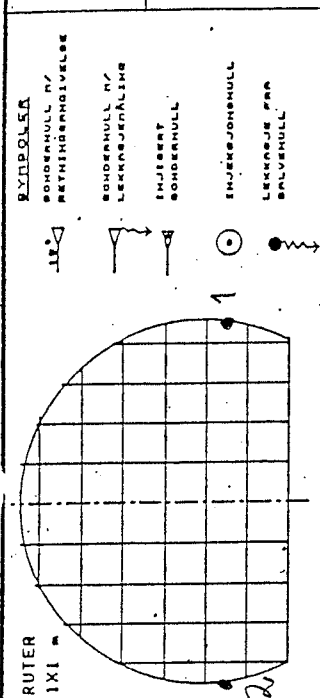
DATO	TEGNET	GODKJENT	MALESTOKK	TUNNEL UNDER LØPEREN
11.11.88	KG	<i>γ</i>	1:200	RIKSVEG 108, HVALER
KJERNEBORING FORAN STUFF				TEGN.NR 2091.01
BORLOGG ASMALØY				

DR. ING. O. T. BLINDHEIM, POSTB. 95, 1408 VEVELSTAD. TLF. 09-867565

- sykegraver på veggen
1 red pagmatitt

SONDERINGSNIVÅ I: 2 HULL
SONDERINGSNIVÅ II: 4 HULL
SONDERINGSNIVÅ III: 6 HULL

INJEKSJON AV SONDERHULL
OG EVT. TILLEGGSHULL
FØRES PÅ INJEKSJONSSKJEMA
(9111U)



RUTER
1x1 m

SKJEMATA
SONDERHULL N°
RETNINGSBETJENING

SONDERHULL N°
LEKKASJEBÅLING

INJEKERT
SONDERHULL

INJEKSJONSHULL
LEKKASJE PÅ
BALVEHULL

PEL NR.: 3015

OPDRAG 2091
9150HD.2.

RIKSVEG 108.

TUNNEL UNDER LØPEREN

SONDERING OG LEKKASJE

UKE: 42

DATE: 19/10-88 KL: 2245

STUFF: A

SIGN. BYGGERE: MLL

SIGN. ENTREPRENØR: SIGN. ING.GEOLOG

HULL NR.	STANG NR. 3 m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	LEKKASJE VED STANGSKIFT	0	≈0	≈0	≈0	≈0	grøtt	≈0	≈0	0	
	FARGE SPYLEVANN	grøtt	grøtt	lysgrøtt-grøtt	grøtt	grøtt	grøtt-lyst	grøtt	grøtt	grøtt	
33M	BORTID	3 min -	1 min 39s	2 min 52s	3 min -	2 min 54s	2 min 50s	2 min 52s	3 min 40s	2 min 57s	
33M	LEKKASJE VED STANGSKIFT	0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	0	
2	FARGE SPYLEVANN	grøtt	grøtt	grøtt	grøtt	lyst-brunt-lyst	grøtt	grøtt	grøtt	grøtt-brunt	
	BORTID	2 min 29s	1 min 33s	2 min 56s	2 min 53s	2 min 44s	3 min 18s	3 min 21s	3 min 35s	3 min 13s	
3	LEKKASJE VED STANGSKIFT										
	FARGE SPYLEVANN										
4	BORTID										
	LEKKASJE VED STANGSKIFT										
	FARGE SPYLEVANN										
5	BORTID										
	LEKKASJE VED STANGSKIFT										
	FARGE SPYLEVANN										
6	BORTID										
	LEKKASJE VED STANGSKIFT										
	FARGE SPYLEVANN										
	BORTID										

EKSEMPLER PÅ SONDERBORING I GODT BERG



O. T. BLINDHEIM



KONFERANSE OM
GEOLOGISK PROSJEKTERING AV
UNDERSJØISKE VEGTUNNELER
25. - 26. APRIL 1989
HOTEL NORGE, KRISTIANSAND

D I A M A N T B O R I N G E R

Tor Erik Lynneberg
Veglaboratoriet

DIAMANTBORINGER

De tidligste boringer

Driften av Mont Cenis-tunnelen i Sveits som ble påbegynt i 1859, utsatte både mannskaper og utstyr for enorme påkjenninger. Utstyret som ble brukt var trykkluftsdrevne bormaskiner som nettopp var introdusert som noe nytt, men materialforbruket viste seg å bli enormt. For hver bormaskin som var i arbeid måtte 8 - 10 andre maskiner holdes i reserve forat arbeidet skulle kunne gå kontinuerlig.

En sveitsisk ingeniør Rudolf Leschot hadde anledning til å følge arbeidet i tunnelen og kom på tanken å konstruere en hånddrevet maskin for boring av sprenghullene. Maskinen skulle ha en rørdel, eller borkrone som det var hull i og som kunne rotere. Kronen ble satt med sorte diamanter.

I 1863 var den første maskinen ferdig bygget. Den var utformet for lett å kunne stilles opp i en tunnel eller gruveort. Maskinen var ca. 2,3 m høy, montert på en kollonne av platt- og vinkeljern som ble spent fast mellom tunnelens tak og såle. De delene som skulle rotere, hvilte på en slede som kunne forskyves opp og ned ved hjelp av to tannstenger på kolonnen. Ved håndkraft ble fremmatningen av borrøret overført gjennom en veivanordning. To mann kunne betjene utstyret om gangen.

Borkronen som var hul, hadde dimensjonen 43/30 mm. Den var festet med bajonettlås direkte på et 1,5 m langt borrør. Borslammet ble spylt vekk ved hjelp av en hånddrevet trykkpumpe.

Maskinen kunne oppnå en rotasjonshastighet på 30 σ /min som gav en inndrift (synk) på inntil 30 cm/time i hard granitt. Ca. 5 ganger bedre enn tidligere og med langt mindre borslitasje.

Den første diamantboring i Norge ble utført på Røros i 1885. Dette var en ren undersøkelsesboring; oppfaring av svovelkismalm, ved undersøkelse av borkjerner. Utrustningen kjenner man imidlertid lite til, men har trolig i prinsippet vært mye likt Lesehot's maskin, dog med visse forbedringer.

Diamantboringer for Vegvesenet

Vegvesenet har aldri vært noen stor "forbruker" av kjerneboring i undersøkelsesøyemed. Det er da også først

i de siste 25 år at behovet for slike boringer fra tid til annen har meldt seg. Bygging av veg i vanskelig terreng har medført lange tunneler over eller under havet, samt store bruanlegg. Her har i mange tilfelle kjerneboring vært en av flere viktige undersøkelsesmetoder.

Til nå har de aller fleste hull som er boret vært korte (50 - 300 m). De har som regel vært boret fra lett tilgjengelige steder og i begrenset omfang. Berettiget eller ikke, har det alminnelige inntrykk blant vegplanleggerne vært overveiende negativ. Dette kan skyldes mange faktorer:

1. Kjerneboring oppfattes som kostbar
2. Midlene til undersøkelsene er begrensede
3. Tidsnød under planlegging
4. Utilstrekkelig dokumentasjon av behovet
5. Mangelfull kunnskap om nytten av boringene

På den annen side skal heller ikke negative faktorer underslås, så som:

1. Begrenset tilgjengelighet
 2. Kostbare tilleggsytelser
 3. Tidkrevende bearbeidelse av resultatene
- Kjerneboring oppfattes som kostbar fordi mannskap og materiell må innleies til hvert enkelt oppdrag. Dessuten må alt tilleggsarbeidet betales ekstra, og her kan prisene variere endel mellom enkelte firma. Anbud fra flere er derfor ønskelig, men tar tid.
 - Tidligere ble det gitt meget knappe midler til grunnundersøkelser i planleggingsfasen. Dessuten var holdningen ofte den at forundersøkelsene skulle utføres med enklest mulige midler, på kortest mulig tid, til en billigst mulig penge. Holdningen til dette har heldigvis endret seg en god del, spesielt for større anlegg, og i og med de nye finansieringsformene som er kommet de senere år.
 - Tidsnød kan ofte oppstå når planer som har vært lagt på is en tid, plutselig og ofte av politiske grunner, blir tatt opp igjen for å drive fram en forsert anleggsstart.
 - Utilstrekkelig dokumentasjon vedrørende nytten eller nødvendigheten av kjerneboring kan svært ofte skyldes dårlig kommunikasjon. Vegkontorene og for såvidt også Vegdirektoratet står fritt til å velge konsulentfirma til å planlegge i detalj. Selvom konsulentfirmaet eller byggherren kontakter Veglaboratoriet vedrørende detaljer i en undersøkelse, vil ofte en såvidt tidkrevende undersøkelse som kjerneboring bortfalle på grunn av at det kommer for seint inn i planleggingsfasen.

Bormaskiner og utstyr

Dagens utstyr har i sin mangfoldighet av maskintyper og varianter av teknikker gitt muligheter til å utføre diamentboringer under nesten alle forhold. Utviklingen innen olje- og gruveindustrien har vært drivkraften til de forbedringer og nyutvikling av utstyr som er skjedd de seinere år.

Forbedringer av utstyret ved "konvensjonell" diamentboring er kommet på det mekaniske, såvel som det operative. Dette har medført betydelig raskere boring, mindre slit for mannskapene og sist, men ikke minst, langt bedre kjernevinning.

Mekaniske forbedringer:	Har ført til:
Kraftigere, hydrauliske helautomatiske maskiner	Bedre styring av mating, rotasjonshastighet, skjøting og heving/senking av borstreng. Automatisk opptak. Mindre støy. Lettere regulering av spylevæske.
Kjernerør og borstreng	Aluminiumsrør - lettere og tynnere. Kjernefanger og inner-rør er forbedret.
Borkroner	Lengre holdbarhet. Tynnere dimensjonerte. Gir raskere borsynk. Mindre boravvik.
Adskilt styre- og borenhet	Mulighet for boring under vann, med styring fra fartøy eller flåte.

Av andre tekniske og operative hjelpemidler kan nevnes en lang rekke:

Type, metode	Bruksområde
Borhullstyring (Sulitjelma-metoden) (Devibor-metoden) (Devico's Vic Drill Head)	Styring av helst 56 mm borhull, helt eller delvis under konvensjonell boring. Avansert instrumentering, kostbart utstyr, leies med operatør. Foreløpig begrenset omfang. Lovende resultater.
Posisjonering Avviksmåling	Multishot, filmbasert kompassinklinometer. 0-360°. $\Phi < 38$ mm.
	Singleshot, filmbasert kompassinklinometer også for enkeltbilder. 0-360°. $\Phi < 38$ mm.
	Gyro Multishot, filmbasert gyroinklinometer. 0-60°. $\Phi < 50$ mm.
	Rate Gyro, elektrisk gyroinstrument. 0-90°. $\Phi > 50$ mm.
	Fotobor, filmbasert forskyvningsinstrument. Måler krumningen fra punkt til punkt. Krever glatt hullvegg. Magnetisk uavhengig. 0-90°. $\Phi > 46$ mm.
	VIC instrument, elektronisk forskyvningsinstrument. $\Phi > 46$ mm.
	VIC elektronisk inklinometer. Presisjonsinstrument for hellningsmålinger. 0-90°. $\Phi > 50$ mm.
	Driftindikator. Mekanisk hellningsmåler 0-12° for hull nær lodd. $\Phi > 40$ mm.
TV-sondering	VIC borehullslaser, for geometisk innmåling av utgangsretning og til kontroll av rett hullbane. $\Phi > 40$ mm.
Borhulls-/Mellomhullseismikk	Kostbart elektronisk utstyr, lite benyttet ved kjerneborhull.
	Seismisk instrumentpakke til bruk i ett eller flere hull til undersøkelse av omkringliggende eller mellomliggende berg. Leies med operatør.

Hva slags boring utfører dagens maskinpark? Diagrammet nedenfor viser hva slags utstyr endel brukere benytter og kapasiteten grovt anslått.

Maskintype, størrelse	Brukere			Ca. meter hullengde	mm kjernediameter
	Olje	Gruve	Vegvesen		
Fastmontert, tungt på plattform/ fartøy	x			> 1000	
Wireline	(x)	x		300->1000	27-42
Tunge hydrauliske		x	(x)	200-1000	45-96
Lette hydrauliske "(konvensjonelt)"		x	x	30-300	17-45
Elektriske		x	(x)	30-?	32-96

"Konvensjonelt" utstyr er for Vegvesenets del lette, hydrauliske maskiner med begrenset kapasitet i borlengde. Større kjernedimensjon enn 45 mm er lite aktuelt ved geologisk undersøkelse. 96 mm kjerner er f.eks. standard dimensjon ved prøvetaking av betong i byggverk.

Hva kan en diamantboring fortelle?

Det er ikke tilstrekkelig å se på utstyrets kapasitet for å bedømme eller anslå resultatet av en boring. Som all annen boring har undersøkelsen sin romlige begrensning. Videre, jo dårligere berget er, desto dårligere vil kjernen bli. Og, jo lengre hullet bores, desto lang-sommere borsynk og større avdrift.

Hvor mange hull bør man bore? Ett enkelt hull gir opplysninger om alle bruddstrukturer i berget som danner en vinkel i rommet i forhold til borhullets retning. Flater eller linjer parallelt borhullet vil dermed ikke kunne identifiseres. For med sikkerhet å få med alle strukturer (flater, kurver, linjer) i bergrommet, må det bores minst 3 hull i forskjellig retning. Dette vil imidlertid bli både kostbart og upraktisk i de fleste tilfelle, så istedet bores helst ett hull, satt slik at kjernen fanger opp flest mulig av de strukturer som kan være "farlige" under tunneldriften.

De viktigste kriterier bør da være:

1. Hullet viser forholdene langs lengst mulig del av traséen når det bores mest mulig parallelt med og nær denne.

2. Hullet krysser bruddsoner som også krysser traséen (helst også flattliggende brudd), når det bores med en viss inklinasjon.
3. Man kjenner hullets og bruddenes gang i berget ved at det utføres kjerneorientering og avviksmåling. Dette kan om ønskelig meget vel begrenses til den mest interessante delen av hullet.

Et slikt hull fanger altså ikke opp brudd som går parallelt borhullets retning. Men samtidig vil av disse bare de vertikale brudd løpe parallelt tunnelen. Alle andre bruddretninger (parallelt strengen) vil skjære traséen og følgelig ha begrenset betydning under en eventuell tunneldrift.

Både enkeltbrudd og bruddsoner (svakhetssoner) kan innebære dårlig og vanskelig borbart berg, i den forstand at kjernen lett kan forsvinne innen man rekker å trekke den opp. Oppknusning, forskifring og omdanning f.eks. til leire, er dårlig berg i denne forbindelse.

Viktig er derfor håndteringen av kjernestringen. Moderne utstyr vil, ved riktig håndtering, ta vare på så å si alt materiale i kjernerøret. Tap av en del av borkjernen er ikke lenger akseptabelt. Rene hulrom i berget kan riktig nok forekomme, men er sjeldne.

Forkiling i kjernerøret fører til stans i borsynk og til rotasjon av kjernestringen. Dersom ikke boringen øyeblikkelig stanses, vil kjernematerialet lett males opp og kjernen gå tapt i denne delen. Forøvrig den viktigste årsak til kjernetap.

Blir kjernen systematisk orientert, er det spesielt viktig at kjernen snarest reorienteres fra der rotasjon har inntruffet. Dette blir det ofte syndet mot, spesielt når borhullet har nådd langt, og ethvert opptak blir ansett som heft.

Ved seinere logging av kjernen skal denne tas ut av emballasjekassen. "Opp"-merket på kjernebiten der orienteringsmålingen er utført skal være klart synlig. Det skal ikke være bormannskapetets oppgave å reorientere kjernen. Jo mer denne forstyrres, desto vanskeligere kan en sterkt oppsprukket kjerne bli å reorientere seinere. Dette arbeidet krever tid nok likevel.

Det er grunn til å understreke ekstra den aktpågivenhet som må vises ved behandlingen av kjernestringen. Å være tilstede under oppstart, forklare om berggrunnsforhold og egne ønsker, vise og gjerne starte reorienteringen etter første opptak av kjerne, for å forsikre seg om at alt fungerer slik det er avtale om, er helt avgjørende for resultatet.

Avviksmålinger skal utføres som avtalt på forhånd. Eppersom hullavviket gjerne øker med hullets lengde og med økende bruddtetthet, kan antallet målinger variere, men hull kortere enn 50 m behøves sjelden avviksmåles.

Blir vanntapsmålinger utført, er dette for å gi et mulig uttrykk for bergets permeabilitet. Disse utføres etter endt boring. Viktigere enn gjennom et enkelt diamantborhull, er det å utføre slike målinger i forbindelse med injeksjon av berget, der dette blir systematisk oppboret f.eks. foran tunnelstuff for å forebygge vannlekkasjer.

Logging av borkjerne

Ved oppbevaring og frakt av borkjerner er spesialbygde trekasser langt å foretrekke framfor kasser av plast. Plastkasser bør avvises fordi de er bøyelige, tåler mindre, er vanskelige å skrive på og er glatte slik at kjernematerialet lett kommer i bevegelse i kassen.

For å lette loggingen skal boremannskapet merke kassen med:

1. Prosjektets navn
2. Hullnummer
3. Boremeter for hver 1 m's kjernelengde
4. Sted for opptak av kjerne
5. Sted og lengde for kjernetap som eventuelt fylles i med egnet materiale (tre, papir, twist)
6. Sted for kjerneorienteringsmåling med opp/nedmerke på kjernen
7. Sted for avviksmåling
8. Sted for vanntapsmåling og i egen loggbok

I borlederens egen loggbok, som man bør kreve utskrift fra, skal det også foreligge data om:

Maskintype, effektivitet (også på pumpe), og uregelmessigheter under boring som skyldes bergforhold, fastboring, tap av spylevann, m.v.

Loggingen av borkjernen er gjerne det mest tidkrevende arbeidet. Er kjernen punktvis orientert i kassene, er målet å få kjernebitene satt riktig sammen og tilbakeorientert til borhullet, slik at alle brudd kan bli riktig orientert i rommet før videre bearbeiding.

Presentasjon av resultatet

Hvorledes resultatet av en boring blir presentert i en endelig rapport, er vel den viktigste del av arbeidet. Her er gode tegninger langt viktigere enn ord. Fordi kjerneboring mer enn noen annen type boring er ment å skulle gi uttrykk for forholdene i et bergrom omkring hullet, bør presentasjonen inneholde mer enn bare enkle profiltegninger. Samtidig bør tegninger, diagrammer, perspektiver osv. være lett forståelige for de fleste, uten nevneverdige forkunnskaper.

Relevant er en (eller flere) tegning(er) av sammenhengende borestreng, der tunneltrasé og bergoverflate er med (fig. 1). På en annen tegning bør de viktigste bergdata

være med (fig. 2). En tredje tegning kan vise eventuelle konsekvenser av bruddsoner, f.eks. sammenhengen mellom dårlig berg og tunneldrift, evt. med sikringsaspekt (fig. 3).

Er det spesielt store mengder data å behandle og å presentere, kan dette ofte best illustreres diagrammatisk som på fig. 4 ved å la alle enkeltbruddplan bli plottet på en halvkuleflate for å finne eventuelle hovedbruddplan, for deretter å vise perspektivisk hvorledes disse skjærer tunnelen.

For mange data på samme tegning kan imidlertid fort virke forvirrende og mot sin hensikt. På fig. 5 ville det vært ønskelig først å styre hullet parallelt traséen. Dette ville lettet seinere tegnearbeide. På denne tegningen er profilet lagt parallelt hullet, som danner 22° vinkel med traséen, som igjen løper 35° vest for nord-retningen. De fleste større bruddsoner løper følgelig N-S eller NØ-SV, mens agglomerat-(breksje-) og tufflagene faller ca. 15° mot SV - ikke umiddelbart lett å se av tegningen. En oppdeling av relevante data på flere tegninger hadde ikke vært av veien her.

En måte å sile ut data på er som på fig. 6 å tegne inn strøketretningen for samtlige brudd i et histogram (her med 10° nøyaktighet), hvor de uønskede retninger blir markert særskilt. Har noen av disse brudd også uønsket fallretning, kan dette vises i et eget diagram. "Glatte" brudd antas å ha lav friksjon.

Som konklusjon på dette kan man si at allerede ved valg av borpunkt og - retning, eventuelt - styring har man også valgt, eller kanskje begrenset, mulighetene for gode illustrasjoner til den rapporten man tilslutt skal avlevere.

Kvalitetskrav og ansvar

Man kommer neppe utenom diskusjoner om krav til kvalitet fra såvel oppdragsgiver som operatør. De fleste vil muligens mene at oppdragsgiveren har alle rettigheter til å forlange kvalitet på borearbeidet etterat oppdraget er gitt og kontrakten inngått.

Som ved alle kontraktinngåelser kan heller ikke her alle hensyn og eventualiteter bli anbudspressig fullt ut ivaretatt. Det kan henvises til vedlagte retningslinjer, men slike kan aldri dekke spesielle forhold på hvert enkelt sted.

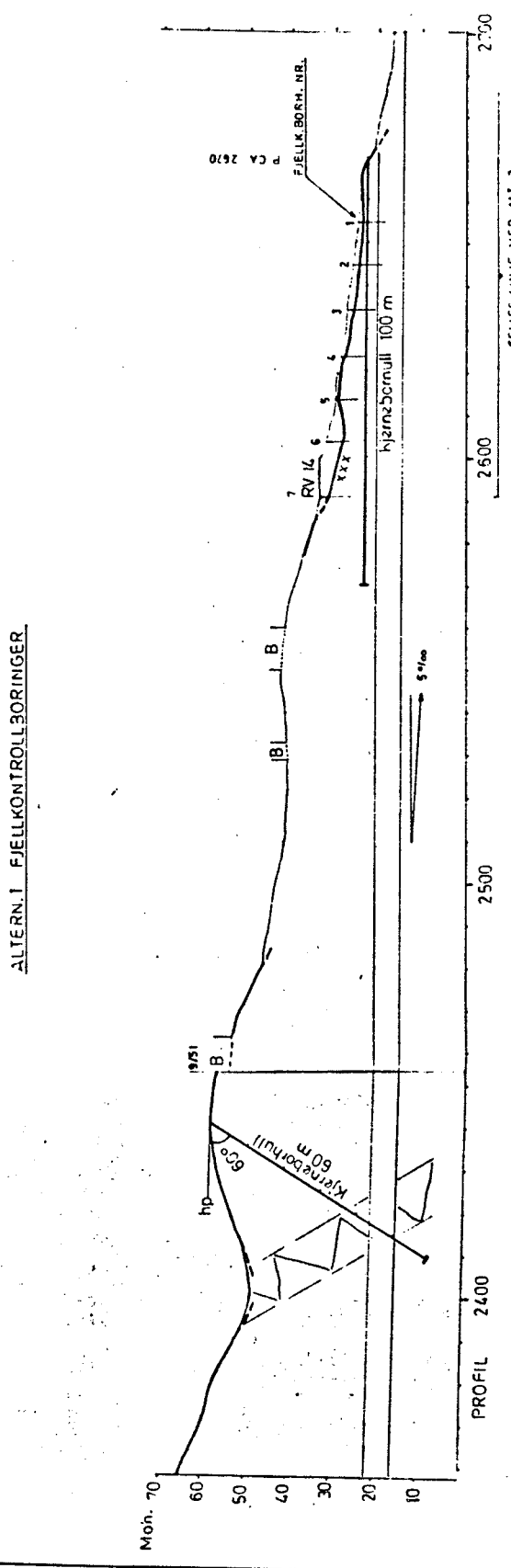
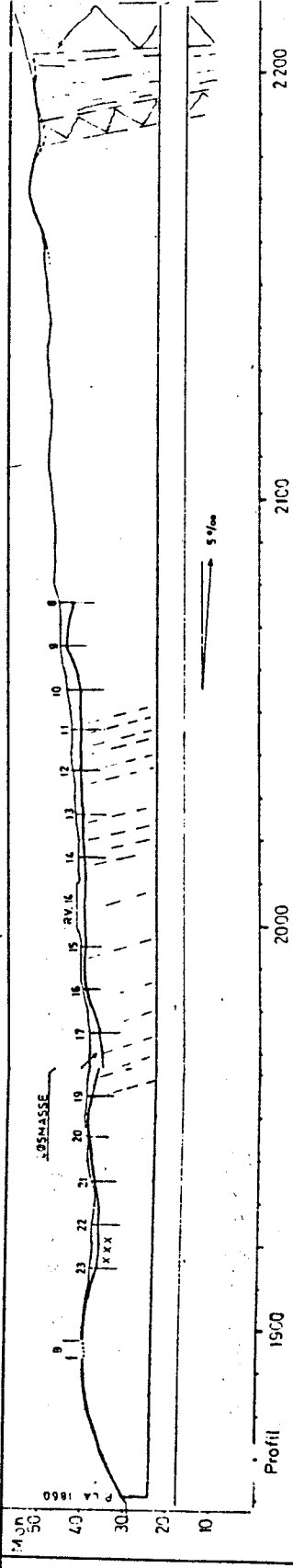
Vanskeligheter som kan oppstå for operatøren vedr. maskin, utstyr eller mannskaper som kan føre til heft, er av generell karakter, og skal ikke berøres her. Viktigere i denne sammenheng er operatørens krav til kvalitet vedrørende planlegging, stedsanvisning, ytelser eller bistand før og under boring som det på forhånd skal være gjort avtale om med oppdragsgiver. Kontaktpersoner skal være tilgjengelige så lenge oppdraget varer. Alle opplys-

ninger skal dessuten være 1. hånds gitt.

For å gjenta: Jo flere opplysninger som blir meddelt operatøren, desto bedre blir resultatet.

Vi har mange erfaringer for at et lite tilfredsstillende resultat like mye kan tilskrives oppdragsgiver som operatør. Ansvar for et kvalitetsprodukt er like stort hos begge parter.

Fig. 1.

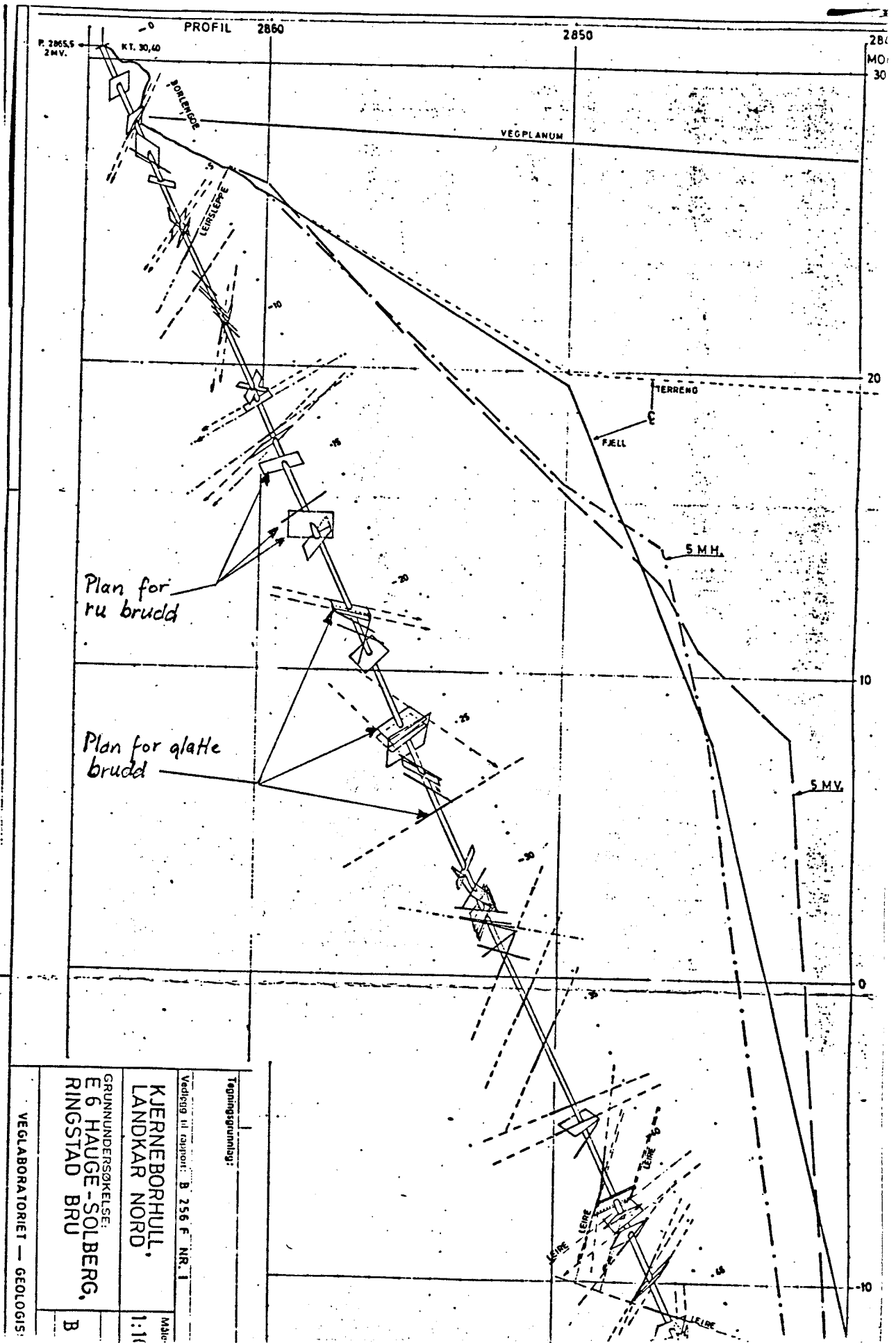


- LT116
- N275/A505
- LT914
- LT934 med påtegn.
- LT934 med påtegn.

100

30

Fig. 2.



Tegningsnummer: B 256 F NR. I

Vedlegg til rapport: B 256 F NR. I

KJERNEBORHULL,
LANDKAR NORD

GRUNNUNDRSØKELSE:
E 6 HAUGE-SOLBERG,
RINGSTAD BRU

VEGLABORATORIET — GEOLOGIS

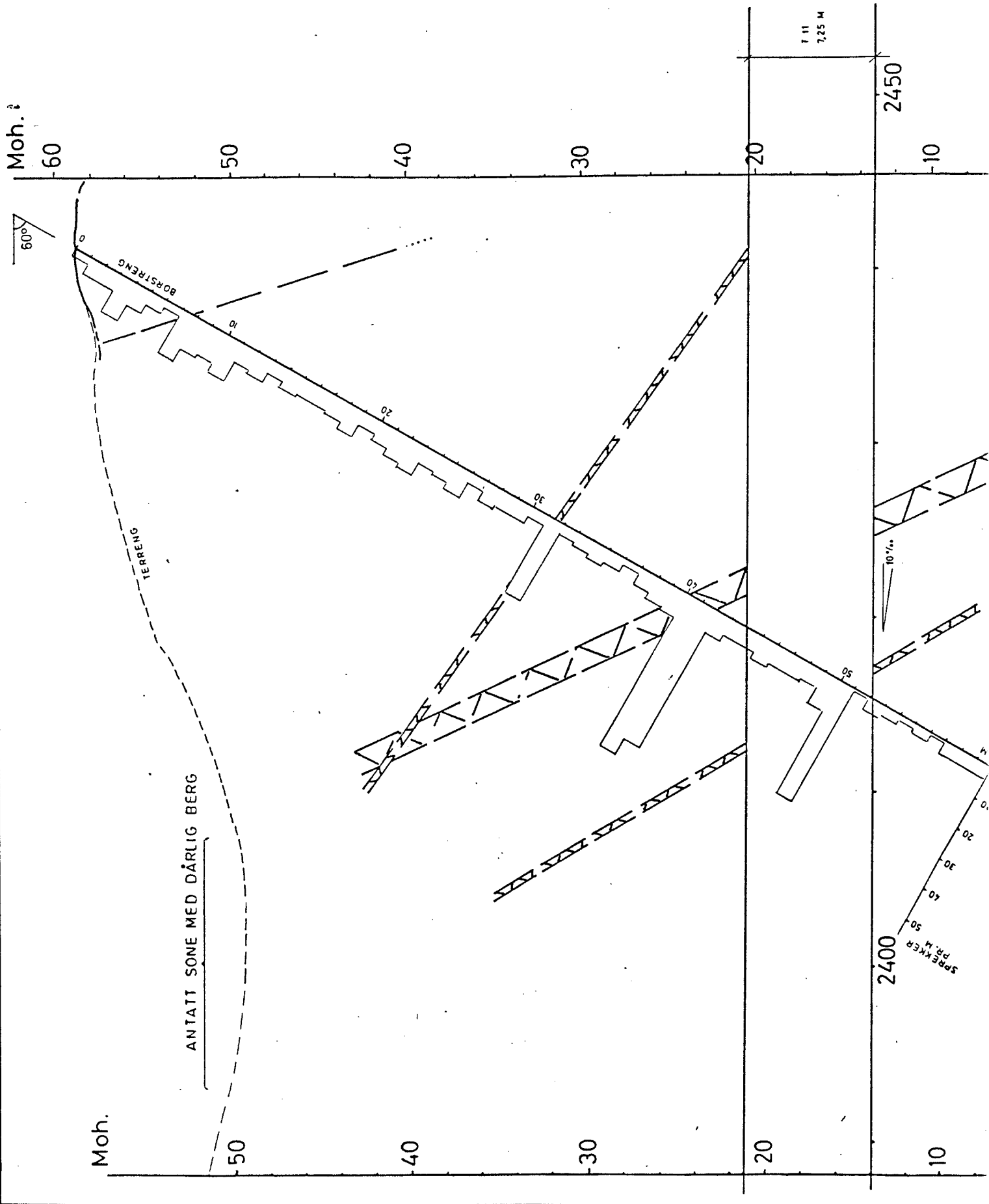
Maale: 1:10

B

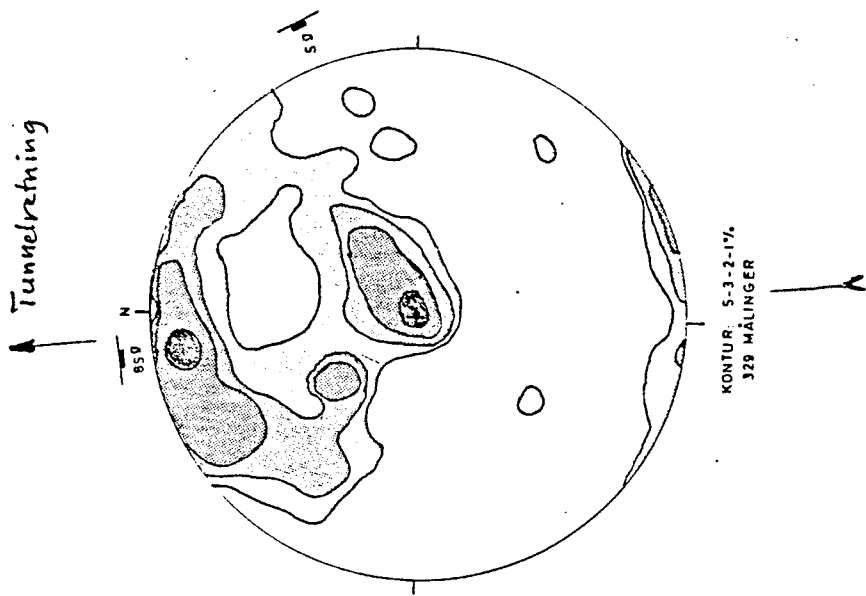
Fig. 3.

BILAG-06 OG -07:

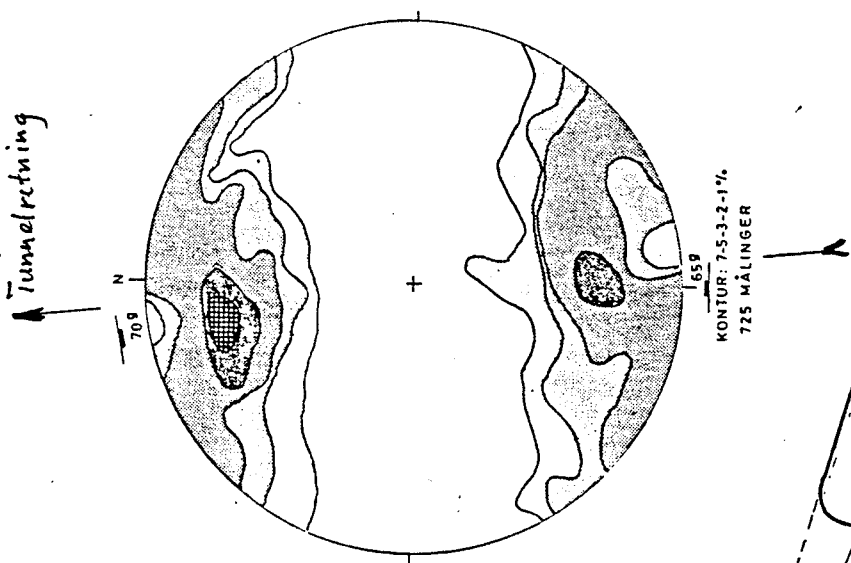
VISER:
SVAKHEITSSONER BRU
FOREKOMMENDE BRU
SKJÆRINGSPUNKT I



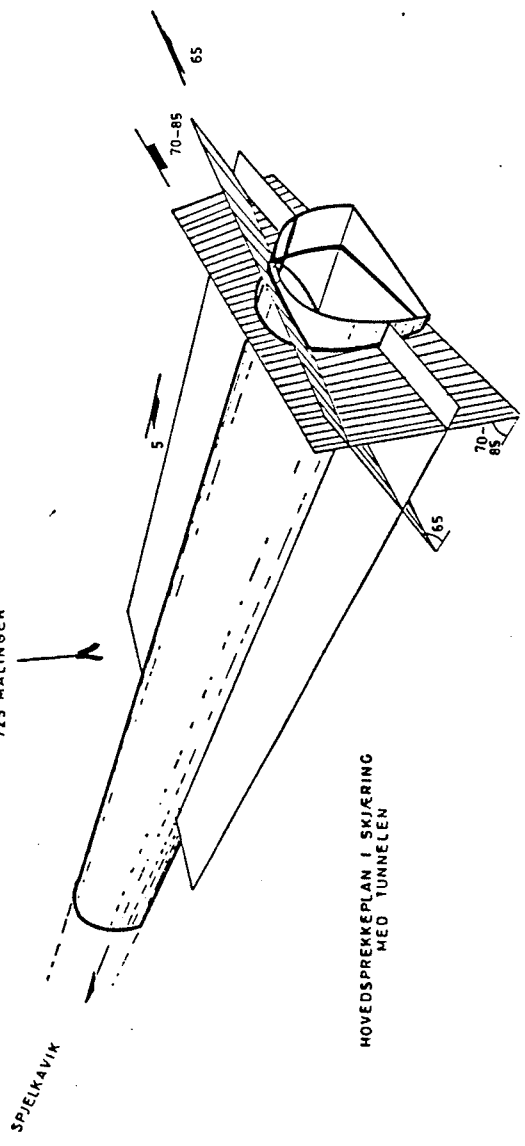
Hull 1.



Hull 2.



UNDRE HALVKULE



HOVEDSPREKKEPLAN I SKJERING MED TUNNELN

Fig. 6.

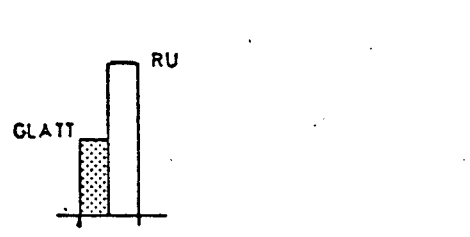
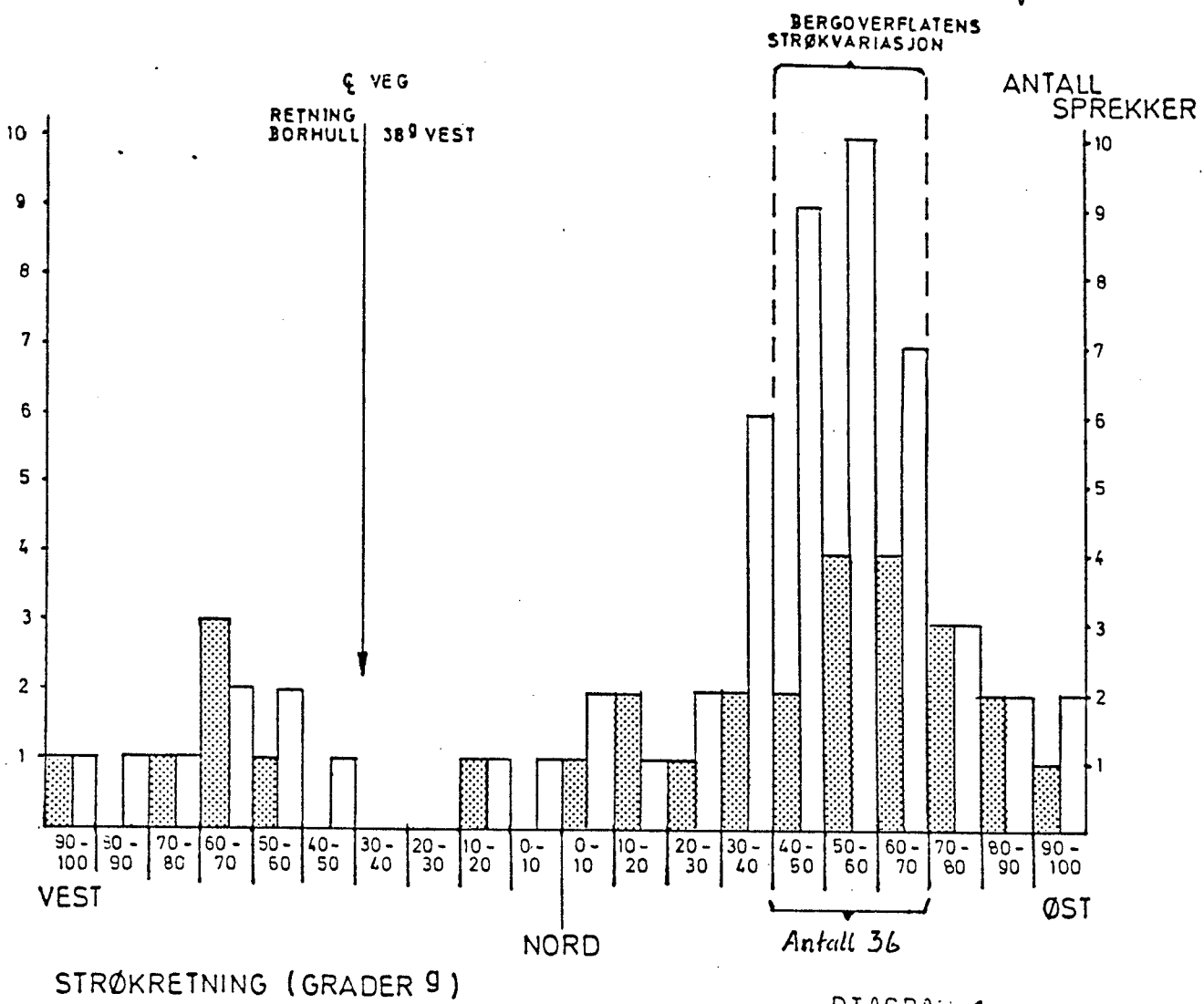
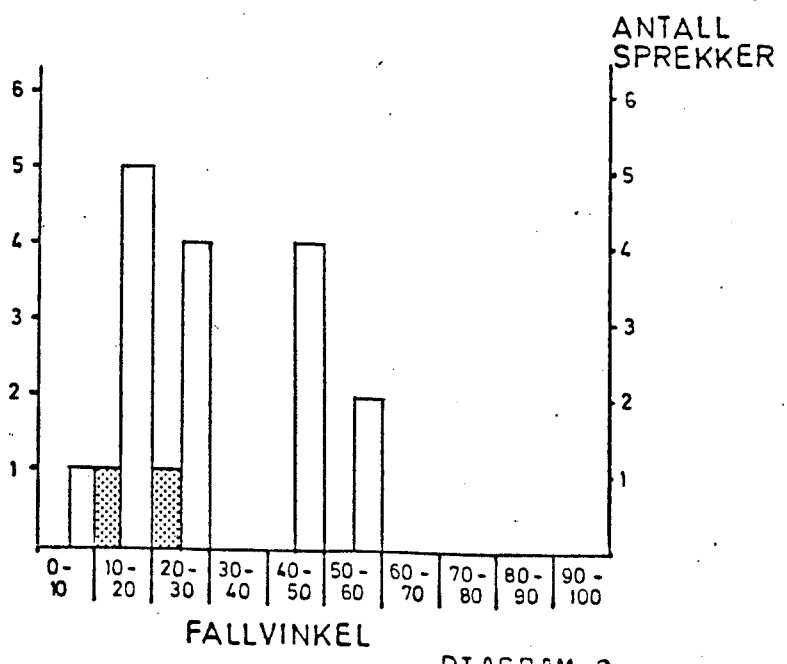


Diagram 1:
Strøkkretning for 83 av ialt 84 gjen-nomborete sprekker.

Diagram 2:
Sprekker med strøk parallelt fjellover-flaten og med fall mot sørøst. (50% av alle.)



KONFERANSE OM
GEOLOGISK PROSJEKTERING AV
UNDERSJØISKE VEGTUNNELER
25. - 26. APRIL 1989
HOTEL NORGE, KRISTIANSAND

FORUNDERSØKELSER OG DRIFTS-
ERFARINGER FRA NORSKE UNDER-
SJØISKE TUNNELER

Bjørn Nilsen
NTH

INNLEDNING

Norge har gjennom de siste 5 - 10 år markert seg som en av verdens ledende nasjoner innenfor bygging av undersjøiske tunneler. siden 1974 er det bygget et titalls undersjøiske tunneler i Norge. Av de ti største prosjektene er 3 vegtunneler, 4 gassrørledningstunneler, 1 oljerørledning, 1 vannforsyningstunnel og 1 kloakk-tunnel. I dette bildet skiller vegtunnelene seg fra de andre p.g.a. betydelig større tverrsnitt, i størrelsesorden 2 - 3 ganger større (50 - 70 m²).

I dette foredraget skal vi se på 3 hovedpunkter.

- 1) Omfang av forundersøkelser
- 2) Konsekvenser for drivemetode/sikring
- 3) Overenstemmelse mellom antatte grunnforhold og forhold ved tunneldrivingen.

Data til ovennevnte hovedpunkter er samlet inn gjennom et forskningsprosjekt på SINTEF. Prosjektet er støttet av 9 institusjoner med representasjon fra byggherresiden, entreprenørsiden og konsulentsiden. Prosjektets formål har vært å sammenstille og analysere de viktigste erfaringene fra fullførte norske undersjøiske tunnelanlegg.

OMFANG AV UNDERSØKELSER

Forundersøkelser for undersjøiske tunneler kan deles inn i 5 punkter:

- 1) Gjennomgang av eksisterende grunnlagsmateriale (topografiske og geologiske kart, flybilder, sjøkart, rapporter m.v.)
- 2) Ingeniørgeologisk feltkartlegging på land
- 3) Akustisk profilering
- 4) Refraksjonsseismiske undersøkelser
- 5) Boringer (fjellkontrollboringer og kjerneboring)

For de to første punktene skiller disse seg lite ut i forhold til undersøkelsen for konvensjonelle tunneler på land, og vi vil her se litt nærmere på pkt 3-5.

Den totale lengde akustisk profilering for de aktuelle tunnelene varierer stort sett mellom 25 - 40 ganger den undersjøiske tunnellengden. Et prosjekt skiller seg ut med svært mye akustikk, nemlig Vardø, men her ligger det inne undersøkelser for flere brualternativer.

For refraksjonsseismikken ligger forholdet i de fleste tilfeller på 3 -4 ganger den undersjøiske tunnallengden. Av samme årsak som for akustikken ligger Vardø høyt også her. De siste prosjekter (Ålesundstunnelene) kan tyde på at omfanget av seismiske undersøkelser er synkende.

Kjerneboringer er utført på alle prosjektene bortsett fra Frierfjorden og Ålesundstunnelene. For Voldsfjordtunnelen var antall kjernebormeter svært høyt, mens det for de andre tunnelen ligger mellom 0.2 og 0.4 bormeter pr. tunnelmeter under sjøen.

Også for kjerneboringer synes det som om omfanget viser en synkende tendens.

Sonderboring utføres systematisk, og det bores 3 - 4 ganger undersjøisk tunnallengde. Sonderboring kan karakteriseres som forundersøkelse som foretas under driften. Gjennom disse undersøkelsene vil man kunne avdekke forhold som andre forundersøkelser ikke har vist. Drift uten sonderboringer må betegnes som hasard.

I figur 2 er det vist en oppstilling som angir kostnader for forundersøkelsene relatert til antall tunnelmeter under vann.

KONSEKVENSER FOR DRIVEMETODE/SIKRING

Forundersøkelser gir grunnlag for:

- prosjektering
- beskrivelse
- anbud

Sonderboringer gir grunnlag for:

- drift/sikring

Figurene 4-7 gir oversikt over seismisk hastighet, antatte svakhetssoner, reelle slepper/svakhetssoner, vannlekkasjer, stabilitetssikring, vannsikring, sonderboring og inndrift pr. uke.

For Førdesfjordtunnelen ble det på bakgrunn av forundersøkelsene lagt opp til en spesiell beredskap fordi man visste at berget var dårlig. Dette gjorde at man fikk en relativt jevn inndrift.

I Voldsfjordtunnelen fikk man ras etterat vannet ble satt på. Raset oppstod på et sted der man hadde dekning fra bl.a. kjerneboringer. Man hadde mye gode undersøkelser, men på tross av dette fikk man altså et uventet ras.

I Ellingsøytunnelen forelå det gode forundersøkelser og sonderboringer, men på tross av dette fikk man også her ras som i første fase var ute av kontroll. Årsakene til dette kan være flere, men en årsak kan være at man hadde

lenge hatt drift i godt berg, og beredskapen kan ha blitt svekket av denne grunn. problemet ble løst ved at man støpte en plugg som senere ble drevet gjennom. Resultatet var at man i en måned hadde negativ inndrift. Som en konsekvens av dette raset ble det senere foretatt kjerneboringer foran stuff.

OVERENSSTEMMELSE MELLOM ANTATTE GRUNNFORHOLD OG FORHOLD VED TUNNELDRIVINGEN

Det er foretatt analyser basert på sammenligning mellom anbudsmengder og det man har gjort eller funnet i tunnelen.

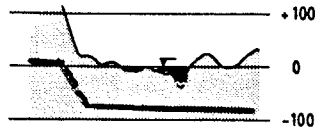
Man kan konstatere at det i de fleste tilfeller er utført mer sikring enn antatt, men at avvikene har blitt stadig mindre. Man har sett spesielt på forholdet mellom antatt andel utstøping og antatte svakhetssoner, og sammenlignet dette med de reelle forhold. Entreprenørtaktikk ligger imidlertid inne i disse tallene, og de gir ikke noe enkelt grunnlag å sammenligne på.

De helt ekstreme avvik kan alle forklares ut fra geologiske forhold og feil under forundersøkelsene.

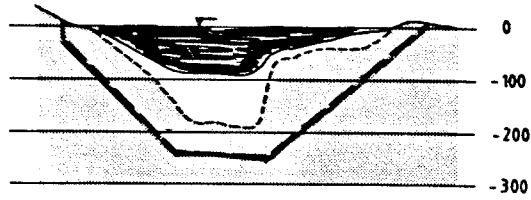
For Ellingsøytunnelen er det støpt mindre enn forutsatt, her har man valgt sprøytebetong og bolter som alternativ til støp.

Som konklusjon kan man på tross av skjæmmende enkelttilfeller, si at det er rimelig bra forhold mellom forundersøkelsene og det man har påtruffet under driving.

1. VOLLSFJORDEN



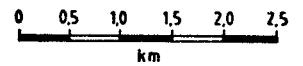
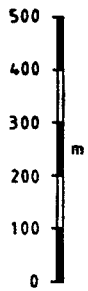
2. FRIERFJORDEN



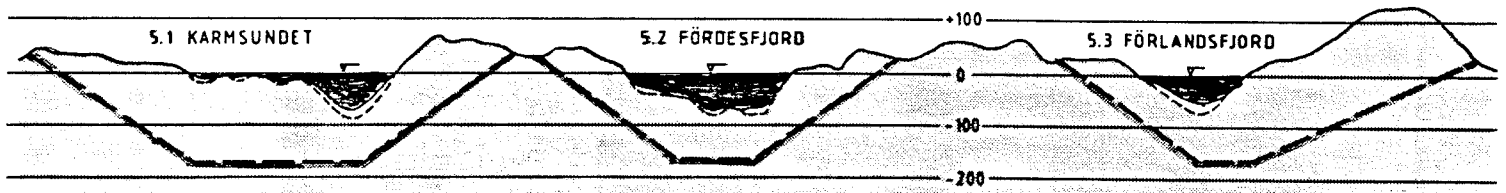
3. VARDÖ



4. SRV-SLEMMESTAD



5. KARMÖY - KÅRSTÖ



6. HJARTÖY



7. ÅLESUND - VIGRA

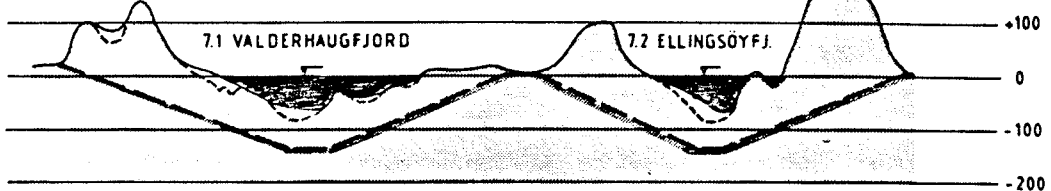


Fig. 1

TUNNELANLEGG	AKUSTISK PROFILERING profil-m	REFRAKJONSSSEISMIKK		KJERNEBORING		FORUNDERS- KOSTNAD ²⁾ kr./tunnel-m under sjø
		profil-m	tunnel-m under sjø	profil-m	tunnel-m under sjø	
1. Vollsfjorden	1)	2.750	3,6	1.130	1,8	1)
2. Friervfjorden	1)	5.300	1,7	0	-	1)
3. Vardø	77.000	12.715	7,7	662	0,4	5280
4. SRV - Sløttestad	1)	> 805	> 1,1	150	0,2	1)
5.1. Karmsundet	87.000	5.575	2,7	597	0,3	4600
5.2. Førdesfjorden	39.000	5.535	3,5	409	0,3	
5.3. Førlandsfjorden	27.000	3.445	3,4	384	0,4	
6. Hjærtøy	0	6.250	3,6	748	0,4	5430
7.1. E11 fngsøyfjorden	3)	1.840	1,6	0	-	2390
7.2. Valderhaugfjorden	3)	6.260	2,9	0	-	

1) Data mangler.

2) Omregnet til kostnadsnivå 15.11.87 etter Institutt for Anleggsdrifts "MEF-indeks".

3) Ikke utført separat for tunnelene.

Fig. 2 Oversikt over omfang og kostnader av forundersøkelser.

TUNNELANLEGG	ANDEL AV TUNNELLENGDEN	SONDERBORING		
		BORMETER PR. TUNNELMETER		
		SLAGHAMMER	KJERNEBOR	TOTALT
1. Vollsfjorden	1)	1)	1)	1)
2. Frierfjorden	1)	2,93	1)	1)
3. Vardø	94%	1)	0,59	1)
4. SRV - Slemmestad	1)	1)	1)	1)
5.1. Karmsundet	100"	3,80	0,04	3,84
5.2. Førdesfjorden	100"	4,49	0,07	4,56
5.3. Førlandsfjorden	100"	3,90	0,08	3,98
6. Hjartøy	94"	4,66	0,13	4,79
7.1. Ellingsøyfjorden	66"	3,60	0,03	3,63
7.2. Valderhaugfj.	65"	3,62	0,01	3,63

1) Data mangler.

Fig. 3 Omfang av sonderboring fra stoff.

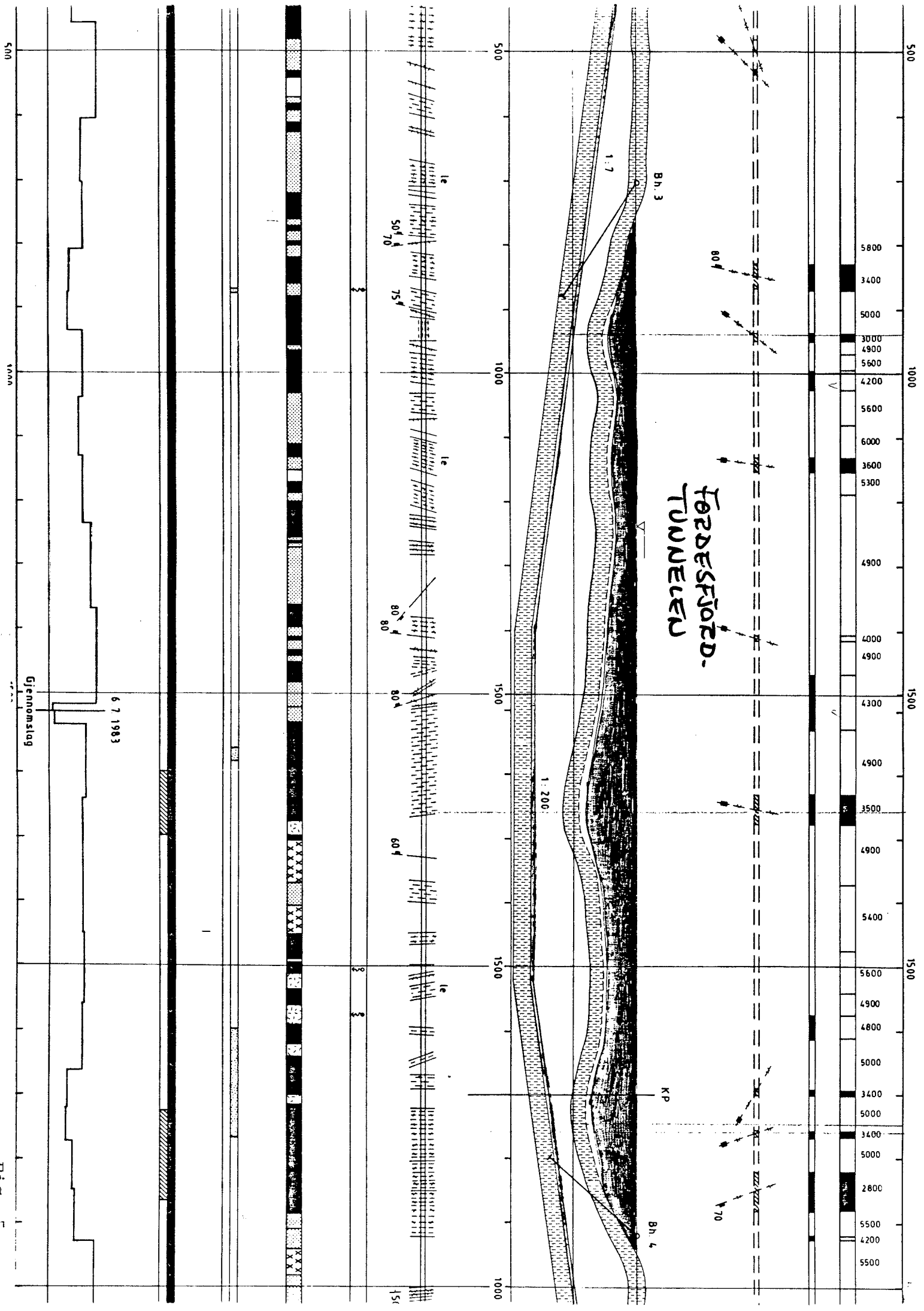


Fig. 5

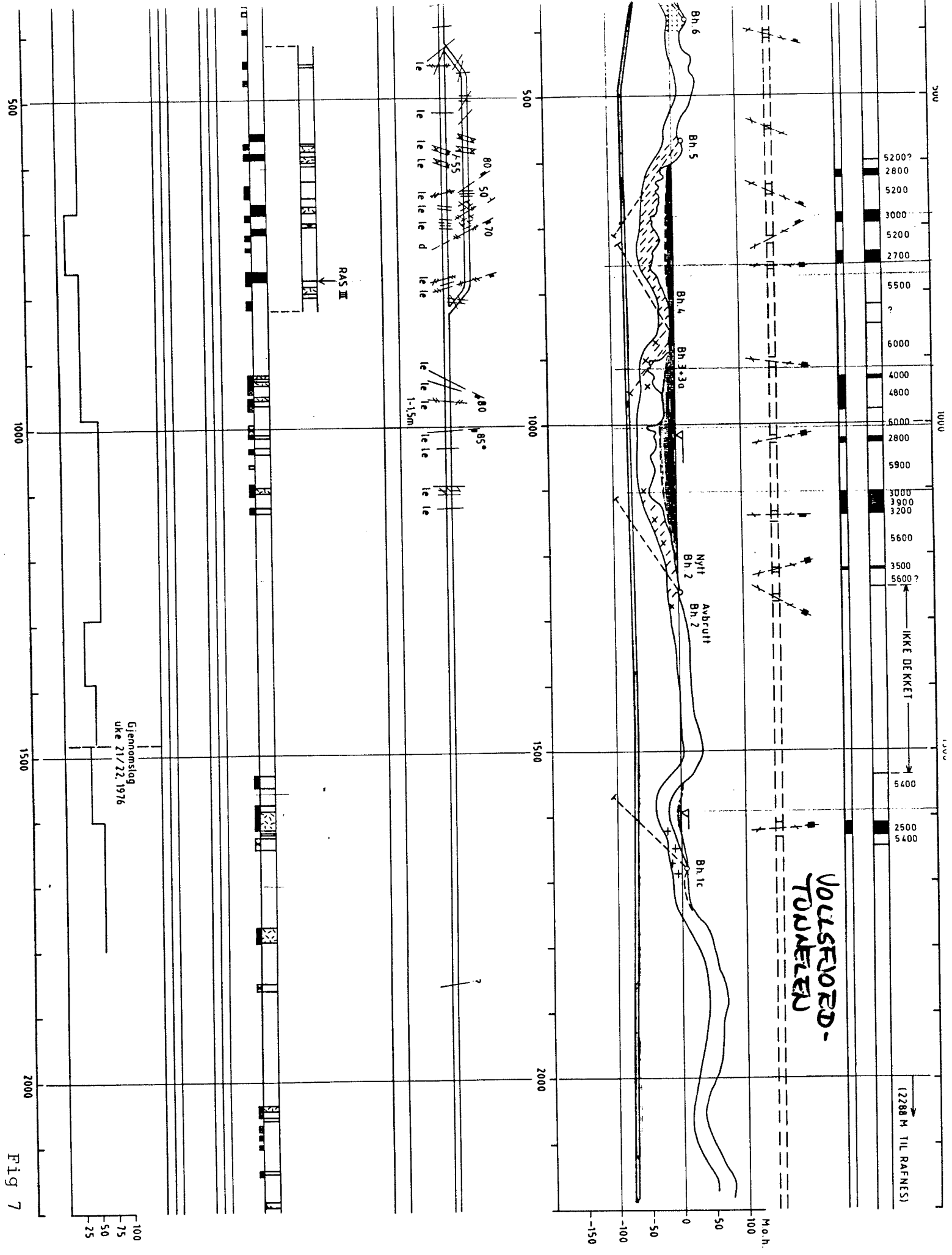
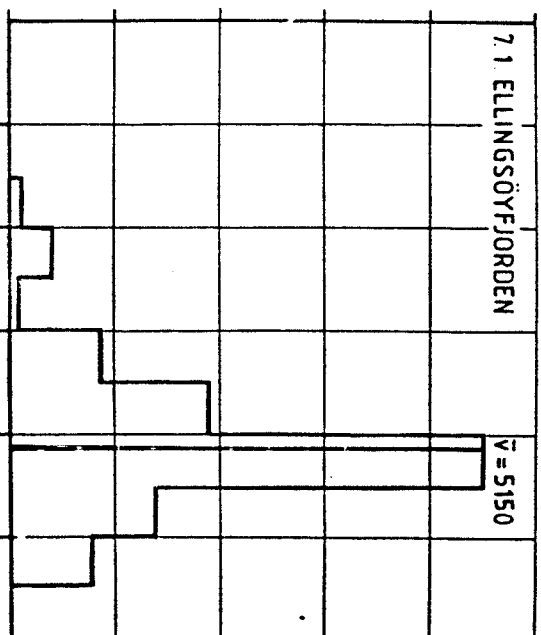
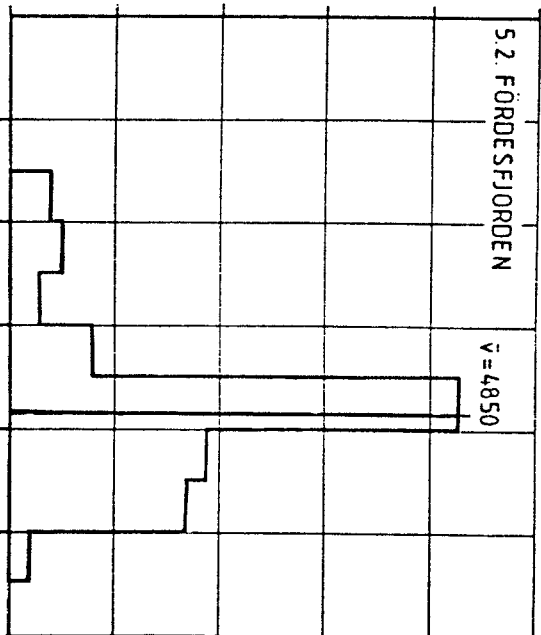
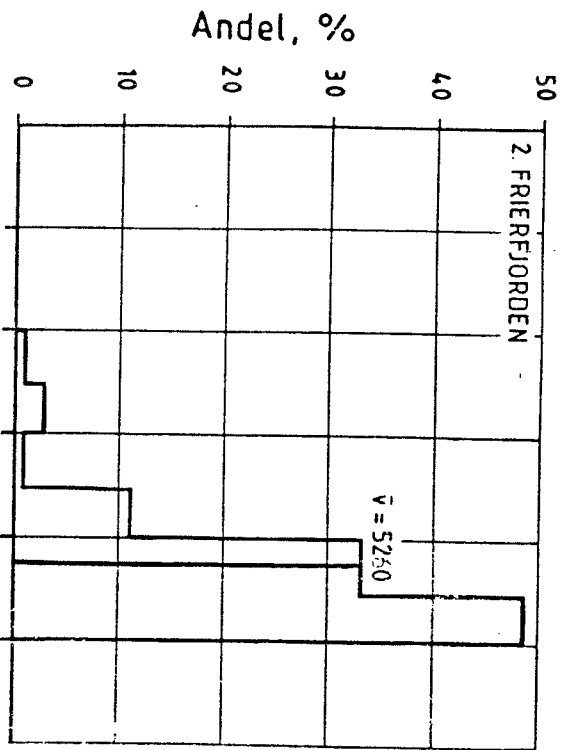
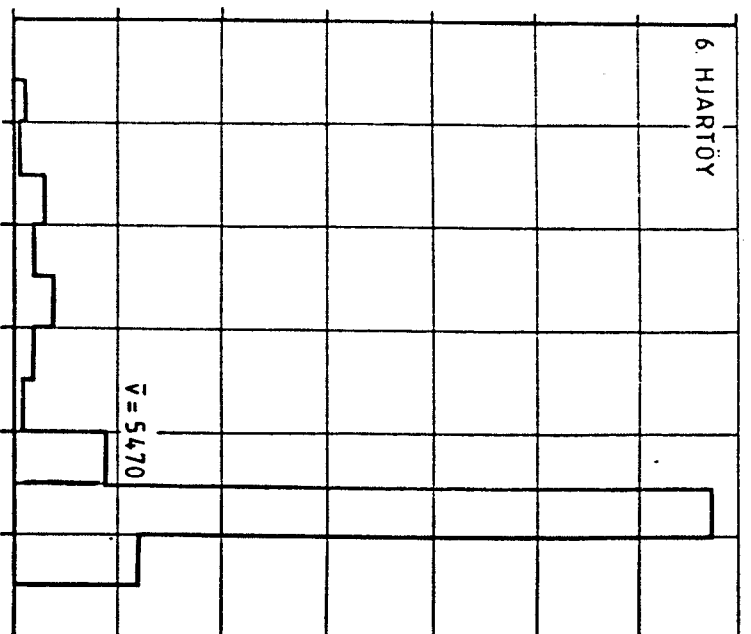
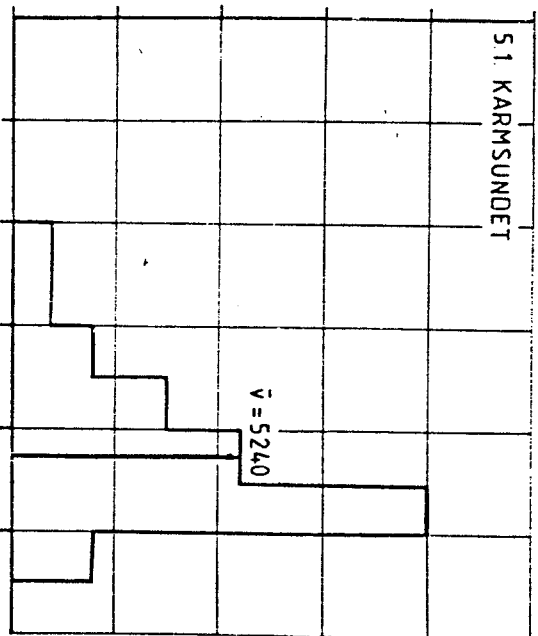
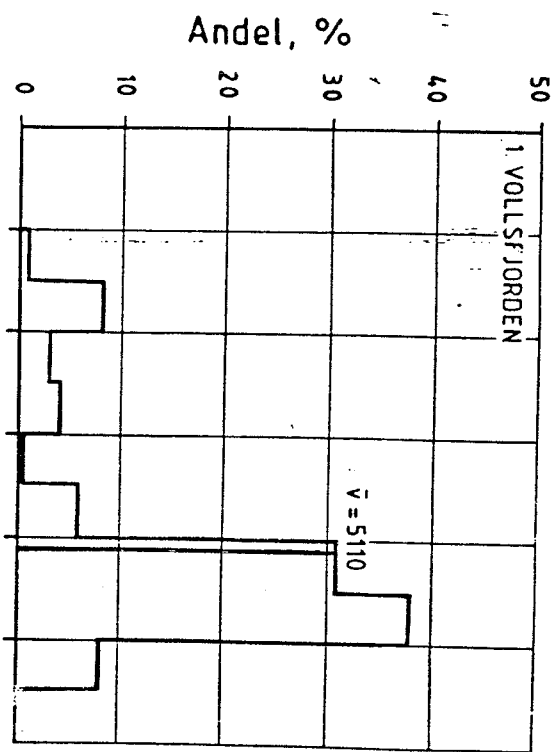


Fig 7



Seismisk fjellhastighet, m/s

Seismisk fjellhastighet, m/s

Seismisk fjellhastighet, m/s

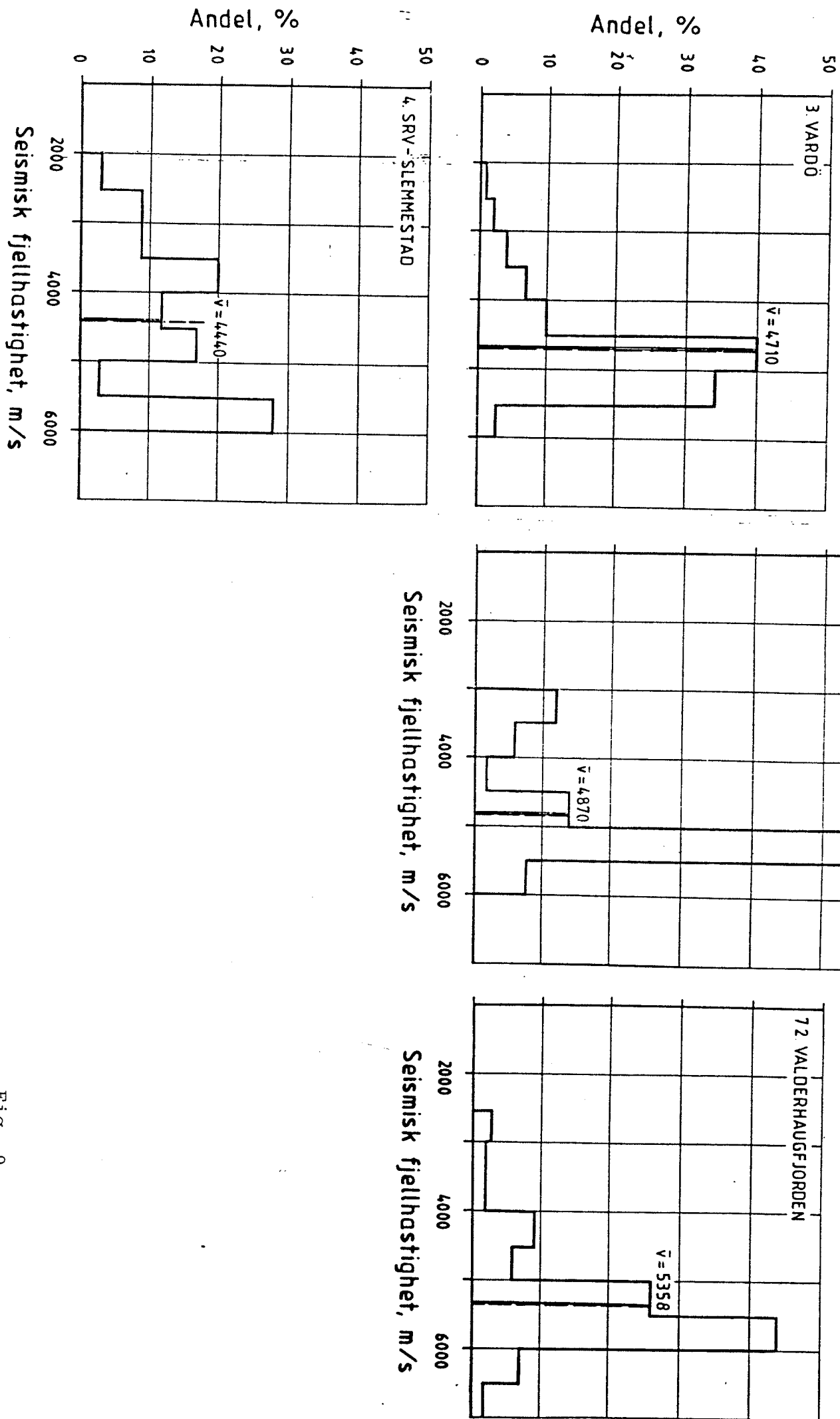


Fig. 9

TUNNELANLEGG	RASUTVIKLING/ GJENSTØPNING AV STUFFEN	ANDEL UTSTØPNING ¹⁾		MAKS. MÅLTE SVELLETRYKK
		UNDER SJØ	UNDER LAND	
1. Volls fjorden ²⁾	3 ganger	30% ³⁾	15% ³⁾	} 1,10 MPa
2. Frier fjorden	4)	7"	0"	
3. Vardø	1 gang	19"	25"	0,04 "
4. SRV - Slemmestad	1 gang	6"	0"	4)
5.1. Karmsundet	1 gang	27"	8"	4)
5.2. Førdes fjorden	0	56"	15"	0,64 MPa
5.3. Førlands fjorden	0	30"	12"	0,24 "
6. Hjartøy	0	14"	6"	2,40 "
7.1. Ellingsøy fjorden	1 gang	8"	< 1"	4)
7.2. Valderhaug fj.	0	9	1"	4)

1) Total lengde sikret med full utstøpning på eller bak stuff, angitt som prosentvis andel av tunnelengde under henholdsvis sjø og land.

2) For de ca. 2200 m av tunnelen nærmest Volls fjorden. Tallene refererer til den endelige trasé ("bypass" etter ultrasninger).

3) Noe usikre data, ufullstendig grunnlagsmateriale.

4) Opplysninger mangler.

Fig 10 Resultater fra driving gjennom svakhetssoner.

TUNNELANLEGG	EKSTRA RENSK (tv)	BOLTER (stk.)	AVVIK FRA ANBUDESMENGDER I %				SIKRINGS- KOSTN. (Mkr.)	BYGGETID (uker)
			SPRØYTE- BETONG (m ³)	UTSTØPNING 1m	INHISERING (kg + 1)			
1. Vollsfjorden	1)	> + 24%	> + 624%	+ 53%	1)	1)	- 25% ²⁾	
2. Frerfjorden	1)	- 25"	1)	- 36"	1)	1)	- 4"	
3. Vardø	+ 90%	+ 69"	+ 150"	+ 87"	- 73"	+ 84%	1)	
4. SRV - Slemmestad	1)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	
5.1. Karmsundet	- 63"	+ 9"	+ 498"	+ 123"	- 53"	+ 108"	- 25"	
5.2. Førdesfjorden	- 49"	+ 72"	+ 478"	+ 217"	- 81"	+ 104"	- 21"	
5.3. Førlandsfjorden	- 50"	+ 59"	+ 111"	+ 40"	- 97"	+ 21"	- 40"	
6. Hjartøy	- 58"	- 6"	+ 138"	+ 12"	- 74"	+ 22"	- 5"	
7.1. Ellingsøyfjorden	- 78"	+ 43"	- 33"	- 73"	+ 59"			
7.2. Valderøyfjorden	- 85"	+ 11"	+ 94	- 60"	- 83"	+ 38"	ca. - 30"	

1) Data mangler.

2) Ikke tatt hensyn til at ultrasninger førte til mer enn 100% forlenging av prognosert byggetid (8 - 12 mdr.)

Fig. 11 Avvik mellom prognoserte og virkelige sikringsmengder og -kostnader og mellom antatt og virkelig byggetid.

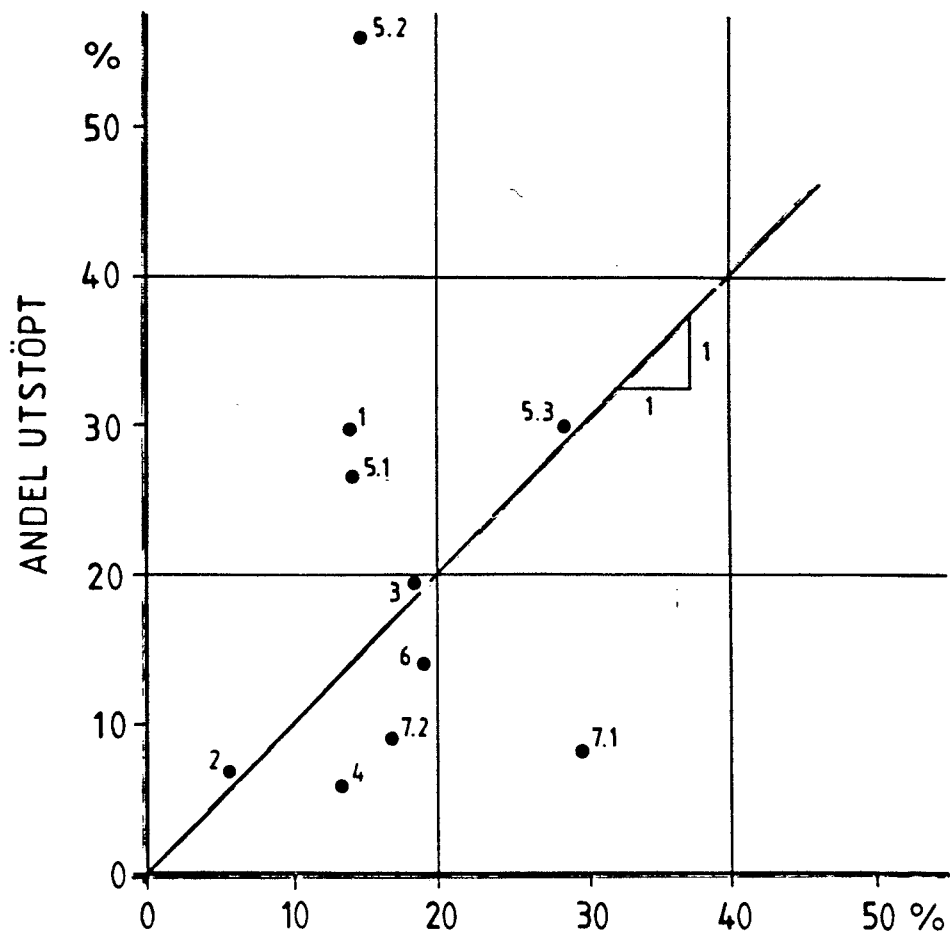
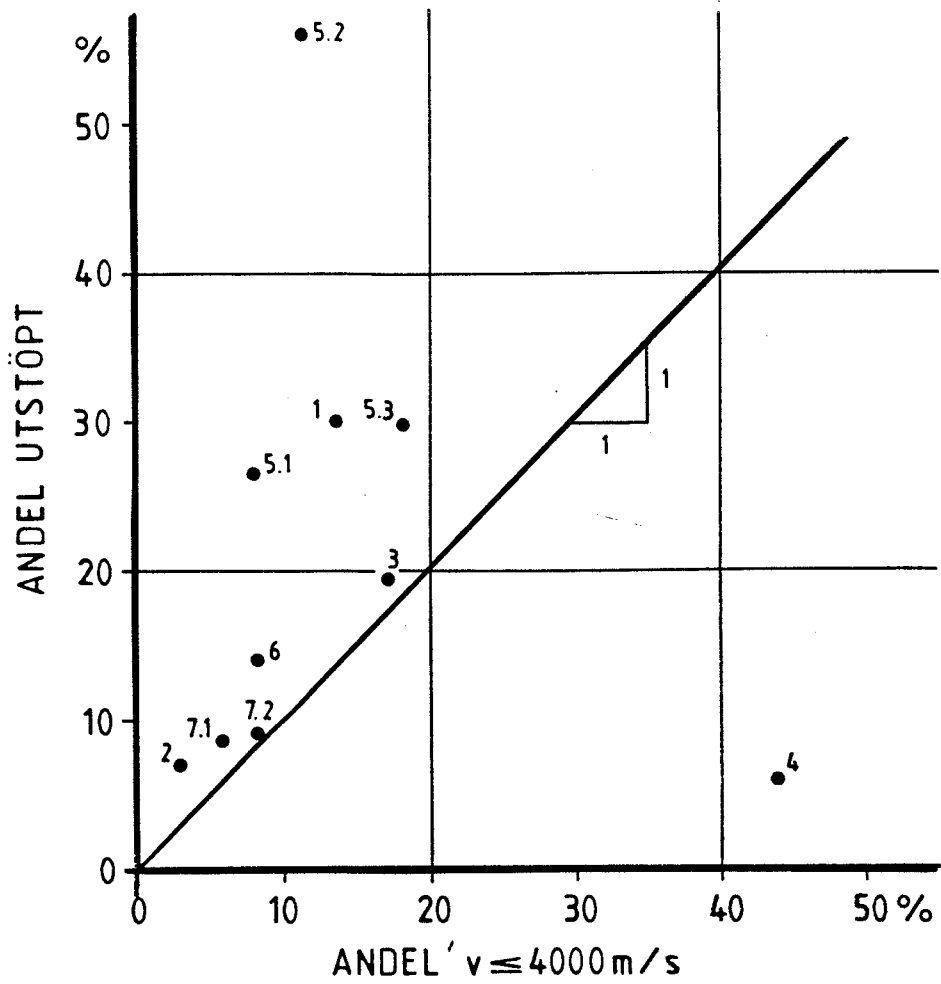
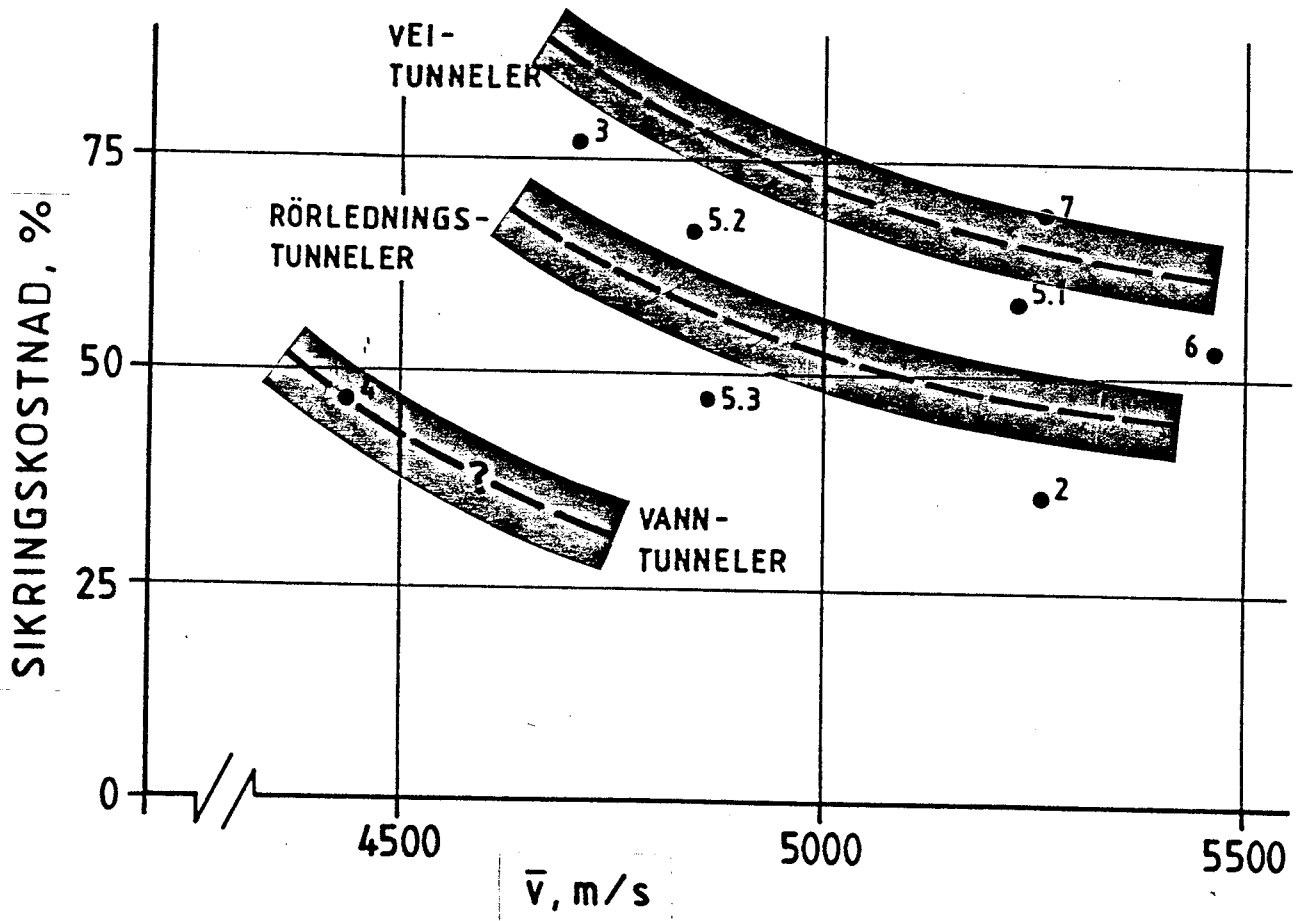


Fig.12 ANDEL ANTATTE SVAKHETSSONER



Figur 13

DISKUSJON TIL INNLEGG FRA B. NILSEN: "FORUNDERSØKELSER OG DRIFTSERFARING FRA NORSKE UNDERSJØISKE TUNNELER"

Spm./kommentar: Statistikk er nyttig, men det er noe uklart hva man vil oppnå med f.eks. å angi kostnader for akustisk profilering relatert til antall tunnelmeter under vann. Det kan være fare for at redusert behov for undersøkelser til prosjekter med gode forhold, kan føre til et press i retning av å redusere omfanget av undersøkelser generelt.

Seismisk hastighet alene gir ellers ikke noe uttrykk for sikringsomfanget uten at bergarten samtidig er kjent. Det vesentlige for eventuelle sikringsbehov er hastighetsreduksjon i forhold til normalhastigheten i bergarten.

Svar: Det er lagt ned mye arbeid i å finne fornuftige relasjoner mellom dataene. Målet har ikke vært å finne relasjoner som kunne føre til reduksjon av forundersøkelsene, snarere å vise at forundersøkelser er viktig, og at gode og omfattende undersøkelser i de fleste tilfeller er lønnsomme.



KONFERANSE OM
GEOLOGISK PROSJEKTERING AV
UNDERSJØISKE VEGTUNNELER
25. - 26. APRIL 1989
F J E L L I N J E N
F O R U N D E R S Ø K E L S E R
D R I F T S U N D E R S Ø K E L S E R
O G
D R I F T S F O R H O L D I D Y P R E N N E N

Knut Sætre
Oslo Veivesen

INNLEDNING

Fjellinjen, eller E18 gjennom Oslo, er en del av hovedveinettet i Oslo som skal redusere gjennomgangstrafikken i bygatene. Første etappe består av 3 daganlegg og en fjelltunnel med to parallelle løp mellom Havnelageret i øst og Munkedamsveien i vest. Totallengde på fjelltunnelene er 1520 og 1527 m. Sprengningsarbeidene startet i hovedløpene 4. august 1987 og er pr. 25. april 1989 99.4 % ferdig. Gjenstående sprengning er 24 meter under Rådhusplassen. Fjellinjen skal åpnes 1. februar 1990.

Dette innlegget omhandler kun partiet i den såkalte Dyprenna under Rådhusplassen, dvs 40 meter av begge løpene.

FORUNDERSØKELSER

OMFANG AV FORUNDERSØKELSER FOR DYPRENNA

KJERNEBORINGER

Under forundersøkelsen for Fjellinja ble det utført ialt 7 stk. kjerneboringer på Rådhusplassen på tilsammen 414 meter. I tilknytning til kjerneboringen ble utført:

Bergartsbeskrivelse

Kjerneboringene viser mænaitt, alunskifer gneis og breksje i tunnelnivå. Avgjørende faktor for stabiliteten er en sone med jordaktig alunskifer som krysser tunnelen med omtrent 76° med tunnelaksen, og denne sonene har ca. 45° fall mot vest. I det ene kjerneborhullet var det omtrent 20 m kjernetap, noe som skulle tilsi dårlige forhold.

Vanntapsmålinger

I kjerneborhullene er det utført vanntapsmålinger. Verdiene varierte fra 0.5 L (lugeon) i alunskifer og knollekalk til ca. 1.0 L i leirskiferen vest for dyprenne, til ca. 2.0 L i mænaitt/alunskiferen i dyprenneområdet og i gneis og rombeporfyren øst for dyprenna.

RQD verdier

I Rombeporfyren/gneisen vest for dyprenna viste RQD målingene på kjerneprøvene middels til godt fjell. I de andre bergartene som alunskifer, mænaitt og knollekalk var fjellet meget dårlig.

FJELLKONTROLLBORINGER

Innenfor området som er definert som dyprenna, er det utført ialt 83 fjellkontrollboringer. Dette har gitt et kotekart over tunneltraceen som viser at laveste punkt på fjelloverflaten ligger ca. på kote -32 over nordre løp og ca. -34 over søndre løp. Dette gir 7.5 meter overdekning i NHL (nordre hovedløp) og 6 meter i SHL (søndre hovedløp).

MELLOMHULLSSEISMIKK

I tillegg er det utført 5 stk. kjerneborhull hvor mellomhullsseismikken ble utført. Hensikten var å undersøke dyprennas form og bergartskvalitet i området for dyprenna. Mellom disse hullene ble det utført totalt 8 profiler med tomografi.

I konklusjonen på denne undersøkelsen (NGI rapport nr. 85614-10) heter det at de seismiske profilene tyder på oppsteking/folding av berggrunnen vest for dyprenna mot forkastningssonen. Dette har gjort geologien meget komplisert og er sannsynlig årsak til partivis svært dårlig bergkvalitet.

Lydhastigheter på 2500 m/s og opp til 25 sprekker pr. meter forekom i området for søndre løps kryssing med sonen. Geologien i området ble beskrevet som leiraktig omvandlet alunskifer. Det var grunn til å tro at sonen med leiraktig alunskifer ble bredere mot syd. Øst for forkastningssonen ble tunnelen krysset av en del steile svakhetssoner med antatt strøk NNØ og NNV. Forøvrig var midlere lydhastighet 4500 m/s. Kjerneloggene viste omkring 5 sprekker pr. meter.

Minste overdekning ble beskrevet til 3-4 meter i nordre løp, men det ble også beskrevet at nordre løp i mindre grad enn søndre ville bli utsatt for den dårlige forvitrede alunskifersonen.

MATERIALEGENSKAPER

Kornfordelingsanalyse viste at den jordaktige alunskiferen hadde 20 % i siltfraksjonen og 60 % i sandfraksjonen. Permeabiliteten ble ut fra kornfordelingen antatt å ligge i området 10^{-6} - 10^{-7} cm/s.

Vanninnholdet i sonen var i gjennomsnitt 7.1 %.

Mineralogisk analyse viste at mengden av ekspanderende materialer var mellom 0 og 10 %, illitt og muskovitt 60 - 80 %, kloritt 5 - 15 %, kvarts feltspat og pyritt $\leq 5\%$ for hvert mineral.

Enaksiale trykkforsøk ble gjennomført og skjærkraften beregnet til $\tau_{maks} = 160$ kpa.

FROSTMATERIALE

Det er kjørt labforsøk på materiale fra jordsonen. Herunder inngår enaksiale trykkfasthets- og krypforsøk.

GEOLOGISK KART

Det vises her til figur 4 og 7.

NORDRE HOVEDLØP

DRIFTSUNDERSØKELSER

KJERNEBORINGER

I nordre hovedløp ble planlagt og gjennomført 3 stk. kjerneboringer fra stuff. Hullene ble plassert i en trekant for lettere å kunne konstruere et geometrisk bilde av soner/geologiske formasjoner.

1. stk. 60 m kjerneborhull fra profil 4729.

Hovedkonklusjon: Jordsonen ligger der den er antatt å ligge. Et kjernetap på 10.0 m fra der jordsonen skulle ligge, ga usikkerhet omkring utstrekningen på den dårlige sonen.

Under avviksmålingen som ble utført ett døgn etter boringen, var fortsatt borhullet ikke rast sammen og det ble derfor vurdert ikke å være kritisk med hensyn på innlekkasje av vann.

Vanntapsmålingen viste 1.6 - 4.1 Lugeon i jordsonen. Utenom jordsonen viste målingene fra 0 til 1.1 Lugeon.

2 stk. kjerneboringer å 45 m fra profil 4765.

Nødvendig lengde for å bestemme geologien var 35 m, men på grunn av planlagt mellomhullsseismikk ble hullene boret 45 m. Gjennom jordsonen ble hullene stabilisert ved utstøping for å ha stabile hull under mellomhullsseismikken. (Avfyring av tennere inne i borhullet.) Boringen ble foretatt i vederlagshøyde fra en oppramping i tunnelen.

Kjerneopptak for hver meter gjennom jordsonen ga et kjernetap på tilsammen 55 cm i det ene borhullet.

Vanntapsmålingene ga maksimalt 1.0 Lugeon i jordsonen. Den lå nå ca. 15 meter foran stuff. Lekkasjemålingene var tatt etter en omgang med forinjeksjon hvor boringlengden var 20 meter. Jordsonens utstrekning var 2.2 m og 4 m i de to borhullene.

MELLOMHULLSSEISMIKK

Fra stuff ble gjennomført mellomhullsseismikk mellom kjerneborhullene. Feltarbeidene på stuff varte ca. 15 timer. Resultatene ble presentert som et såkalt tomografiplott. (Fig. 0.) Denne fremstillingen avslørte detaljer ved geologien som vi ikke kunne tolke ut fra kjerneboringene. Tykkelsen på jordsonen ga ingen endringer ut over informasjon fra kjerneboringen.

REFLEKSJONSSEISMIKK

Denne ble utført samtidig med mellomhullsseismikken for å finne overdekningen av fjell.

Tolkningen var vanskelig på grunn av skyggeeffekter fra jordsonen. Det var ingen klar grenseovergang til antatt grus. Disse signalene ble tolket dithen at jordarten over fjellet var en morene, noe som stemte bra med målte lydastigheter. Dette signalet ble oppfattet

dithen at morenen hadde en lavere permeabilitet og mindre risiko for vanninnbrudd enn den antatte grusen.

FELTUNDERSØKELSER UNDER DRIFT

En målsetning underveis var å ha prøvd metoder og utstyr på forhånd slik at vi ikke skulle stå og teste ut ting om det skulle oppstå en kritisk situasjon.

INJEKSJONSFORSØK

Studier av opptatte prøver hadde gjort oss oppmerksomme på jordsonens ømfindtlighet for vann, og at det var en forkastningssone med glidespeil og lite friksjon. Injeksjonsforsøk ble satt i gang for å finne materialer som kunne:

- 1) tette for vann
- 2) binde riss og sprekkeflater sammen og gi stabilitet

Det ble tilsammen utført 4 forsøk med ulike injeksjonsmidler.

1) Wilkit.

2-komponent stoff bestående av en organisk del (Isocyanat), og en ikke organisk del (Sodium silikat). Injeksjonen ble foretatt gjennom borankere og disse ankerene skulle fungere både som injeksjonsstav og bolt. Wilkit injeksjonsmaterialet hadde etter herding en fasthet på 50 N/mm^2 . Herdetiden kunne reguleres ned til 1.5 minutter. På grunn av for høy viskositet (800-1100 mPas) på materialet, fikk vi ikke injeksjonsmassen inn i sprekken, og forsøket ble mislykket.

2) Mikrosement Spinor med HP + polyuretan

3) Akrylamid AL 6

4) Concretin PIH to komponent polyuretan.

Det ble i prinsipp boret 12 stk injeksjonshull å 4 m c/c 1.0 m. Hullene ble plassert i kransen på den ene halvdel av salva. I tillegg ble det boret 2 stk 6 m hull i stoffen. Disse ble plassert utenom kuttområdet. Det viste seg at mikrosementen Spinor og AL6 (forsøk 2 og 3) ga svært gode resultater. Konklusjonen på disse forsøkene var:

Mikrosement tilsatt superplastifiserende stoffer og polyuretan har god inntregning i sprekke i leirskiferen.

Den samme erfaringen ble gjort med AL6.

Utbredelse og inntregning i forbindelse med en eruptivgang var god.

Polyuretan har god effekt når det gjelder å stanse vannutganger på stoff. inn i sprekken i fjellet på grunn av for høy

BOLTEFORSØK

Det ble gjennomført forsøk med IBO-anker. Det er skjøtbare bolter med engangskrone som kan injiseres gjennom hull i bolten. Forsøket forløp bra.

VALGT LØSNING NORDRE LØPINJEKSJON:

Det ble gjennomført en omfattende forinjeksjon på 5 stuffer med avstand mellom skjermene på ca. 4 meter og tilsammen 12 forskjellige omganger. Medgått mengde var ca. 77.5 tonn mikroement Spinor og 26 tonn kjemiske injeksjonsmidler.

DRIVING/SIKRING:

Tverrsnittet ble delt i 4. Se fig. 1. Pilottunnelen på 5 x 5 meter ble bevisst plassert i hengen for at utført sikring skulle kunne være permanent. Størrelsen på piloten ble valgt ut fra hensyn til utstyret. Det var et mål å kunne bruke stort utstyr. (sprøytebetongutstyr, renskerigg, borerigg). Det viste seg imidlertid at det ikke var mulig å bruke tunnelrigger under boltingen på grunn av for lang geide. Det ble derfor benyttet en vanlig borgeit med snudd tårn.

Stuffskjold tilpasset tverrsnittet sto i beredskap på/ved stoff under drivingen av pilottunnelen.

Sprøytebetong og piggemaskin sto klar ved salveskyting.

Sikringen ble utført med: Forbolter (c-c 0.3 m, l = 6 m, kamstål ϕ = 25 mm) Radielle bolter (c-c 0.9 m, l = 5 m kamstål ϕ = 25 mm) 20 cm tykk sprøytebetong tilsatt 90 kg Dramix fiber. Armerte ribber av 40 cm uarmert sprøytebetong, hvor 20 cm er for å få god geometrisk form for 6 stk. kamstål ϕ 16 mm.

Sidetak ble sprengt vekselvis annenhver side med 2 m salvelengde.

Bunnstross ble sprengt med 3 m salvelengde.

Deformasjonsmålinger ble utført med 6 m lange ekstenso-meter pluss innmåling av hengen med teodolitt. Fig. 2 viser at deformasjonene kom i fullt mon når sidetakene ble drevet. Prosjektert avstand mellom ribbene var 2.0 m, men deformasjonsmålingene viste foruroligende hastighet, og det ble besluttet å sette inn flere ribber i det mest kritiske området, slik at avstanden ble 1.0 m.

SØNDRE HOVEDLØP

DRIFTSUNDERSØKELSER

KJERNEBORINGER

Det er utført 1 stk. kjerneboring i søndre løp. Utgangspunktet var profil 4728 og med 57 m borhull nådde man til profil 4794 som var godt gjennom jordsonen (senter ca. 4755).

Det ble opptatt kjerner i borhullet med 1 meters mellomrom, og resultatet var svært godt med 0 i kjernetap. Beliggenheten av vestre begrensning av jordsonen var på forventet sted, men lengden (langs profileringen) var større enn forutsatt, tilsammen 9 meter.

Vanntapsmålingen viste maks 0.5 Lugeon i jordsonen, men maksimalverdien var 1.4 Lugeon i bunnen av borhullet.

SONDERBORINGER

Det er utført sonderboringer fra både den østre og vestre stoffen av jordsonen.

Vestsida:

4 stk. sonderboringer med hovedformål å bestemme overdekningen på det mest kritiske stedet.

Disse boringene ble planlagt boret i 2 omganger. I første etappe skulle hullene bores 18 meter, for deretter å avviksmåles. Etter avviksmålingen skulle det bores videre til gjennom boring til løsmassene.

Dette opplegget ble fulgt nøyaktig. Under andre omgangs boring ble det boret ut i løsmassene, noe som medførte innspyling av så store vannmengder at en avviksmåling var umulig. I det ene hullet kom vannspruten allerede etter 1/2 meters boring.

Fra denne stoffen er det også injisert i 4 omganger med 34 hull i hver omgang og med 20 meter lange borhull. Alle disse hullene ble registrert av bormannskapet med angivelse av farge på borvann, subjektiv vurdering av hardheten, slepper og angivelse av jordsonenes plassering. Disse hullene ble ikke avviksmålt.

Østsida:

12 stk. sonderhull i stoffen på profil 4780. Disse hullene ble plassert for å kartlegge overdekningen og finne overgangen til jordsonen i fra øst. Hullene ble avviksmålt.

RETOLKING AV MELLOMHULLSSEISMIKK

Det ble valgt å retolke ett av profilene for mellomhullsseismikken utført under forundersøkelsen. Forskjellen på de to resultatene kan sees av fig. 3.

På grunnlag av denne kartleggingen og erfaringen fra nordre løp ble det tegnet opp et geologisk kart fig. 4.

Karakteristiske data som har vært med på å dimensjonere videre sikringsarbeid var:

Overdekning : 5 meter
 Spennvidde : 15 meter
 Jordsons lengde i tunnelakse: 9 meter.
 (se figur 7)

VALG AV METODE I SØNDRE HOVEDLØP

For å finne en løsning i SHL var vi igjennom flere alternativer:

1. Liten frysing
 - Frysing av en paraply for å hindre vanninnlekkasje i hengen.
 - Avskjære vannet
 - Drive som om frosten ikke har noen stabiliserende effekt
 - Oppdeling av tverrsnitt som i NHL (se figur 6)
2. Stor frysing. Hestekoform på frysehvelvet.
 - Frysingen er bærende i drivefasen
 - Stoffen kan drives med fullt tverrsnitt
 - Sikringsstøp på stoff.
3. Stor frysing

Samme opplegg som punkt 2, men frostsonen legges så langt ut at det er plass til fjellsikring mellom sprengt kontur og frostrør.
4. Driving som NHL
 - 4 delt tverrsnitt med pilot, sidetak og bunnstross.
5. Armert jord
 - Forbolte svært omfattende. Ingen radielle bolter inn i jordsonen.
 - Armerte ribber
 - Kalott støp på stoff med 2-delt tverrsnitt.

Valget av løsning ble fortatt ut fra følgende momenter:

- a. Tid.

Løsningen måtte tilfredsstillende et krav i kontrakten om å være ferdig på 150 dager.
 Driving av tverrsnitt i flere omganger ble ansett som svært ugunstig med hensyn på fremdrift.
- b. Sikkerhet.

Det kan ikke tas noen sjanser på sikkerheten. Et ukontrollert ras vil få kunne få store konsekvenser.
- c. Vann.

Erfaringene fra første kontakt med jordsonen i SHL var at den ble flytende i kontakt med vann. Et av målene ble derfor å søke etter fullstendig vannetting.

- d. Bolter.
Tradisjonelle bolter kunne ikke brukes da vi antok at bolter ikke kunne finne normalt feste i jordsonen.

Valgt løsning er beskrevet ovenfor i pkt. 2.

ERFARINGER FRA SØNDRE HOVEDLØP

FRYSEBORING.

Tilsammen 74 hull med diameter 130 mm og med gjennomsnittslengde ca. 22 meter skulle bores i vifteform for å gi plass til fryserørene. Opprinnelig var disse planlagt med stål foringsrør, da vi regnet med ras i hullene før fryserørene kunne settes inn.

Fryseboringen startet opp med lav fremdrift i forhold til forventet. Det ble så utført forsøk med å sette fryserørene direkte inn uten foringsrør. Erfaringene er positive og man gikk over til å montere fryserørene etter hver dags boring direkte i hullene uten foringsrør.

Årsaken til at vi kunne gå på en slik løsning var, at det var utført omfattende forinjeksjon på stoffen både på østsida og på vestsida av jordsonen. Det ble ingen store vannlekkasjer inn i borhulene som løste opp jordsonen. Vannlekkasjer på ca. 1 l/min oppsto imidlertid etter ca. 1,5 døgn etter oppboring i flere av hullene i hengen.

Etter en innkjøringsperiode med ikke tilfredsstillende avviksmålinger, ble rutinen endret til å avviksmåle etter avslutning av hver dags boreproduksjon.

Feilboring førte til at nye hull måtte bores. Tilsammen 8 stk. hull ble boret på nytt.

Alle hullene ble avviksmålt.

Montering av fryserør gikk svært greit og ble utført på kortere tid enn planlagt.

Nedkjølingen startet 22. mars og frosthvelvet på 2 meter var oppnådd 13. april.

Produksjon av hull for fryserør var ca. 50 % av forespeilet produksjon med foringsrør.

Ved å kutte ut foringsrørene ble produksjonen økt med 70%. 5 dager ble innspart ved å sløyfe foringsrørene, mens man p.g.a feilboring brukte 3 dager ekstra.

Det foreligger ingen erfaring med driving i frostsonen pr. 25/4-89, da kun 1 salve i kant jordsone er utsprenget.



TOMOGRAFISK PLOTT

Horisontalsnitt

Lydhast.
m/s

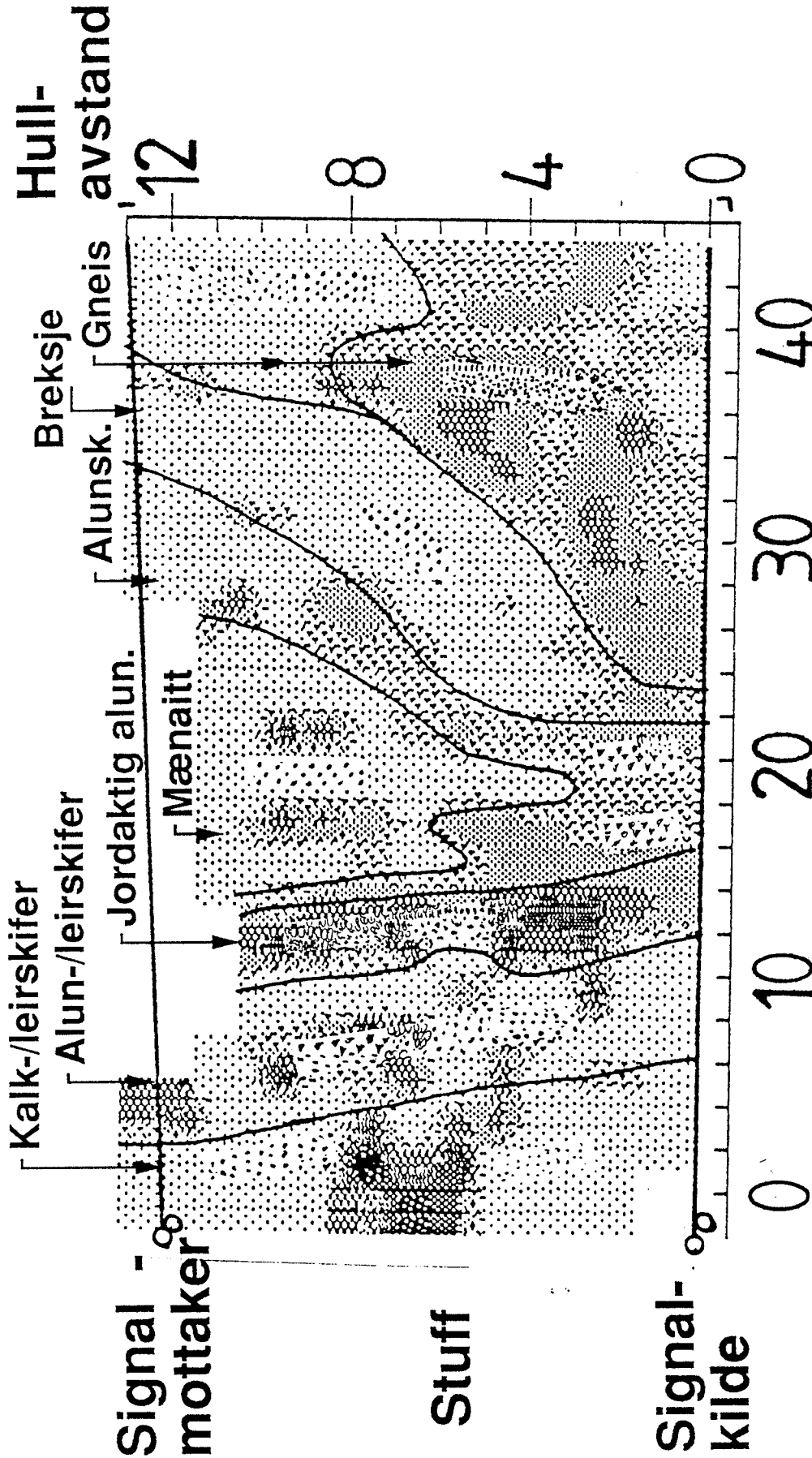
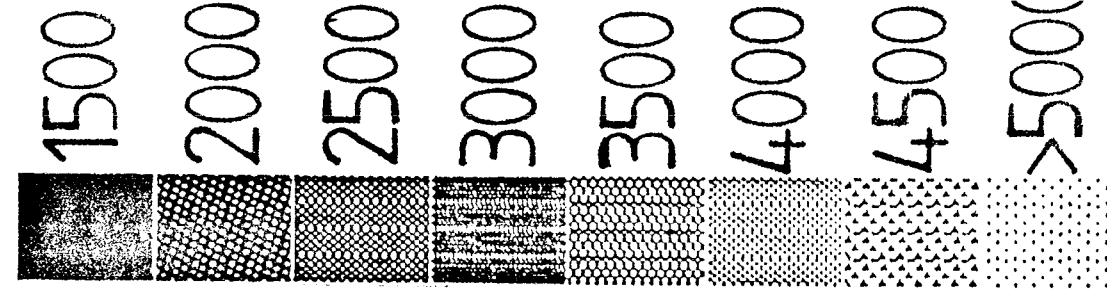


Fig. 0

Drivemetode nordre løp

Radielle bolter, 5m, $\text{Ø} 0.25$, c 0.9m

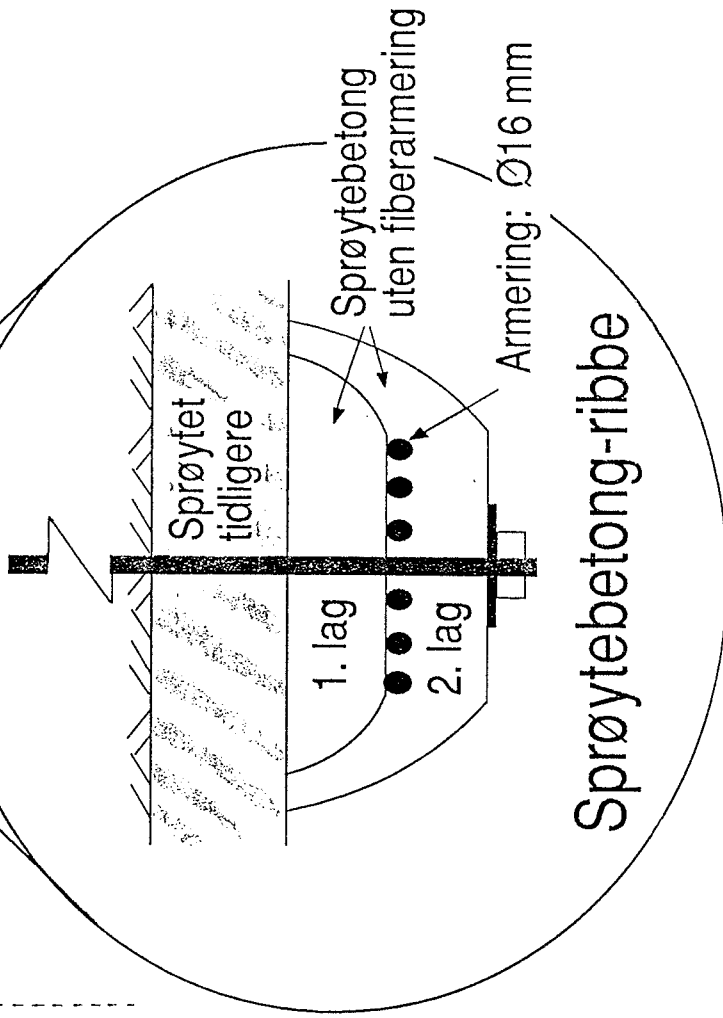
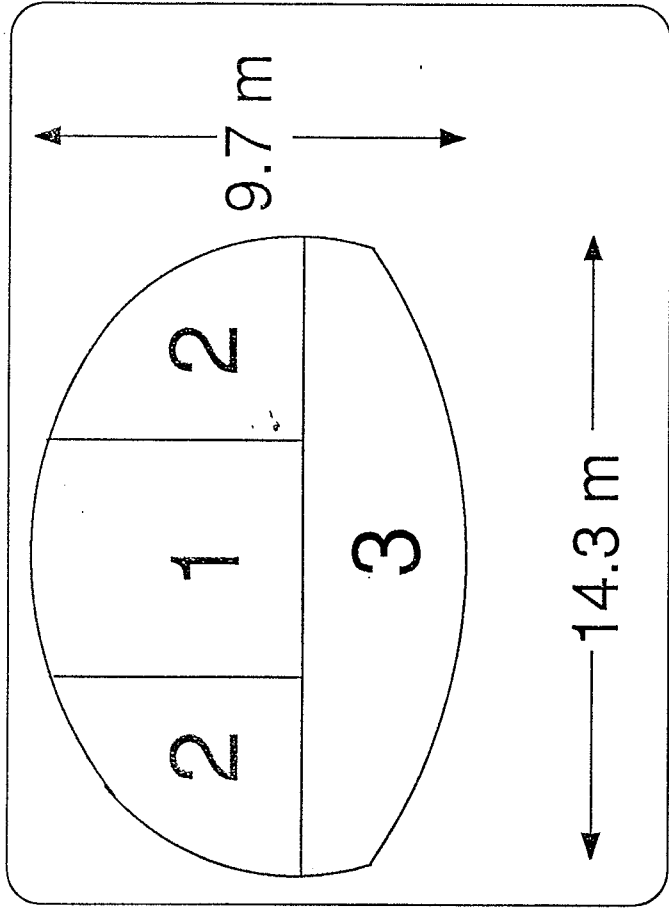
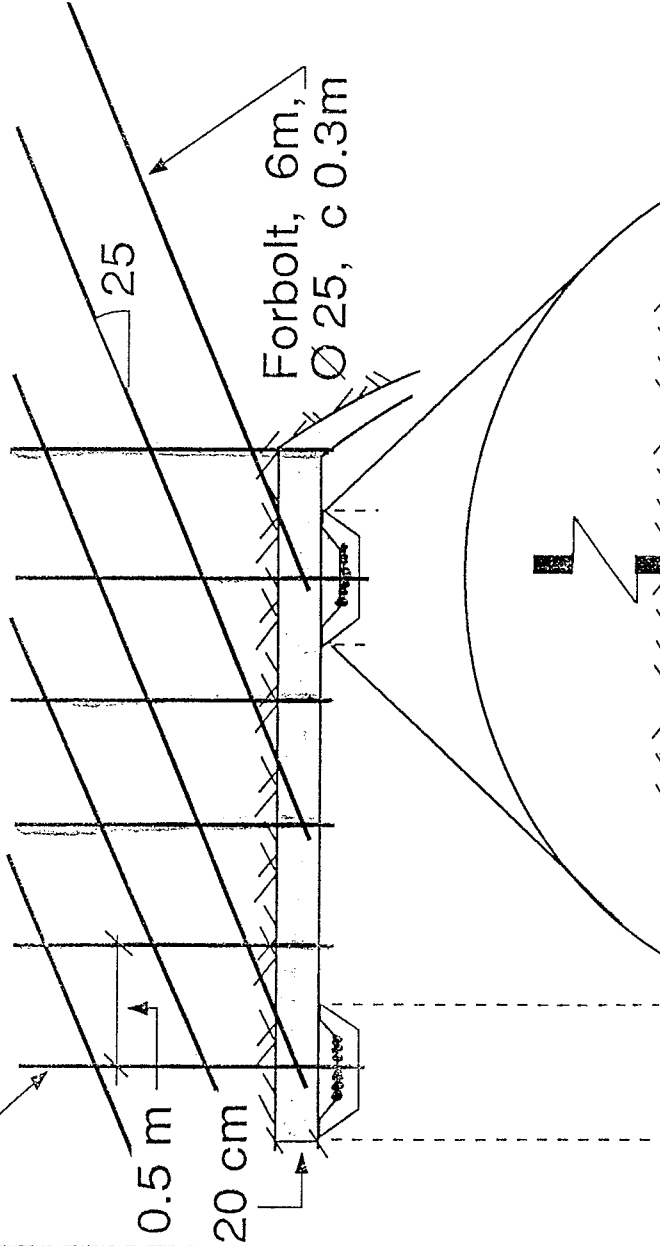


Fig. 1.



Deformasjonsmålinger nordre løp

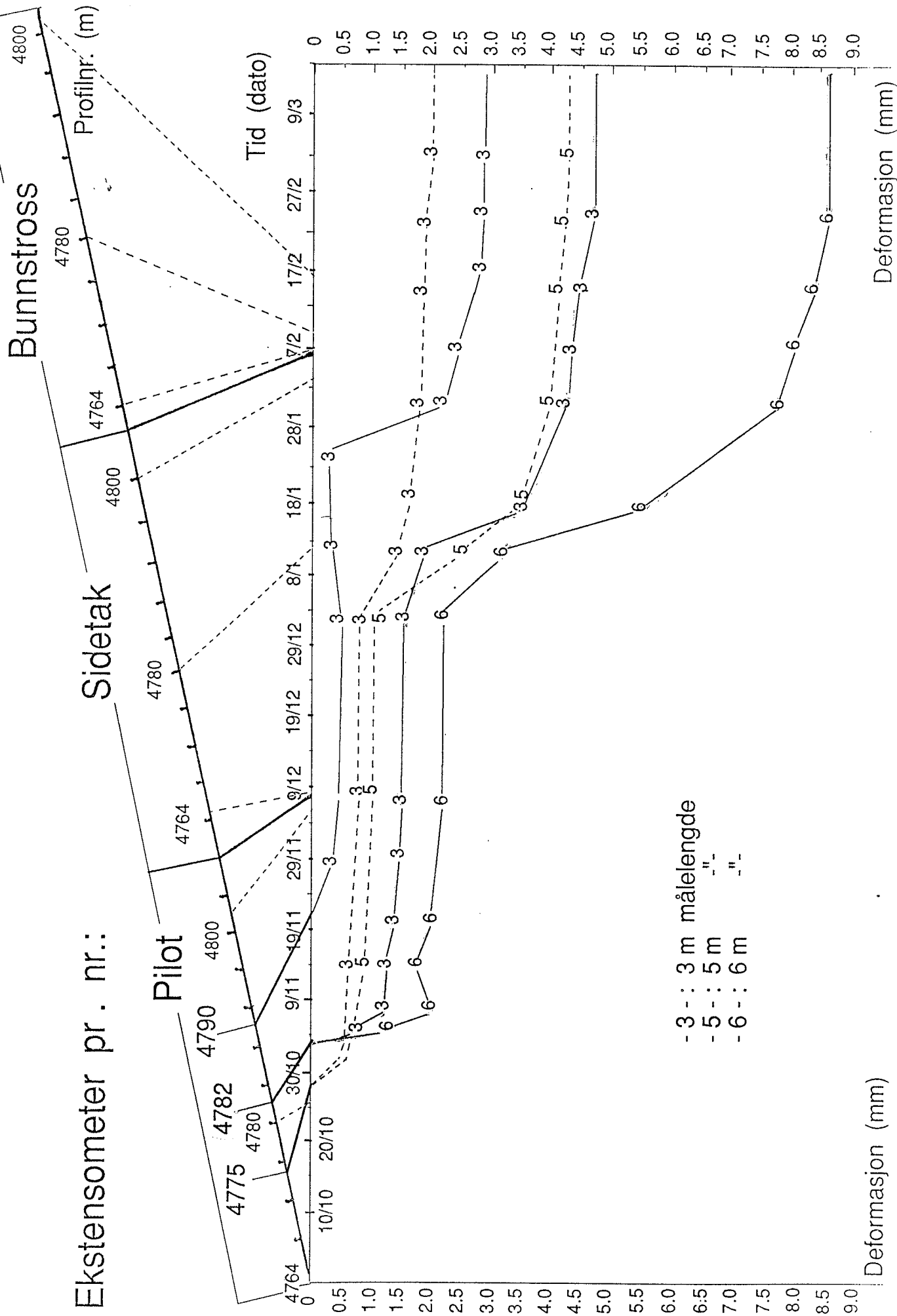


Fig. 2.

Deformasjon (mm)

Tomographic plot: 3F1819

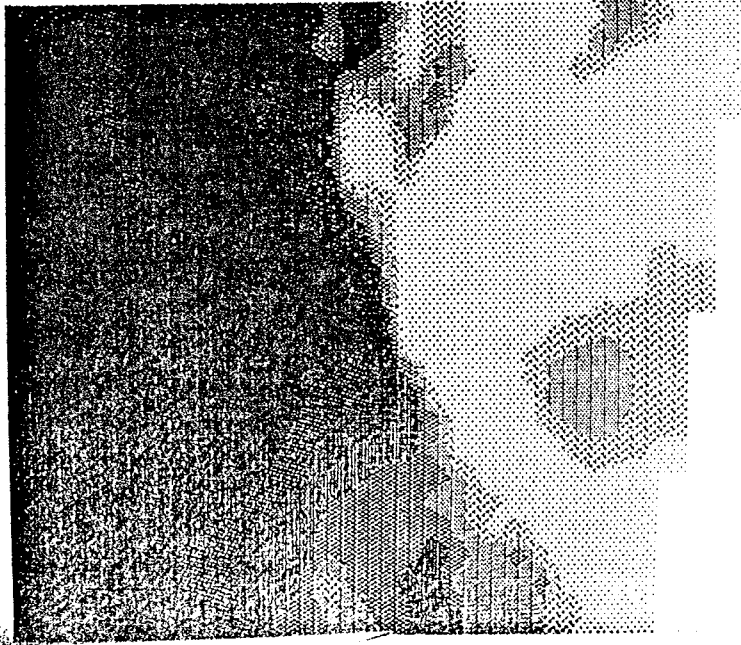
No. of rays : 100
 No. of iterations : 27
 Imp. ergo : 2748012
 Mean velocity : 1986
 Cell size X,Y : 2.00 2.00

500 1700 2100 2500 2900 3300 3700 4100 4500



Bølgehastighet m/s

PROFIL 118-119



Mørke partier angir lave lydshastigheter
 Lyse partier angir høye lydshastigheter

VIBROVISION Job: P

Date : 1986-01-09
 Name of file : 50
 Path of file : 080014 10
 Mean velocity : 3402. m/s
 Cell size X,Y : 2.00 m 2.00 m

(0.2) 1500 2014 3125 3425 3750 4063 4375 4688 5000

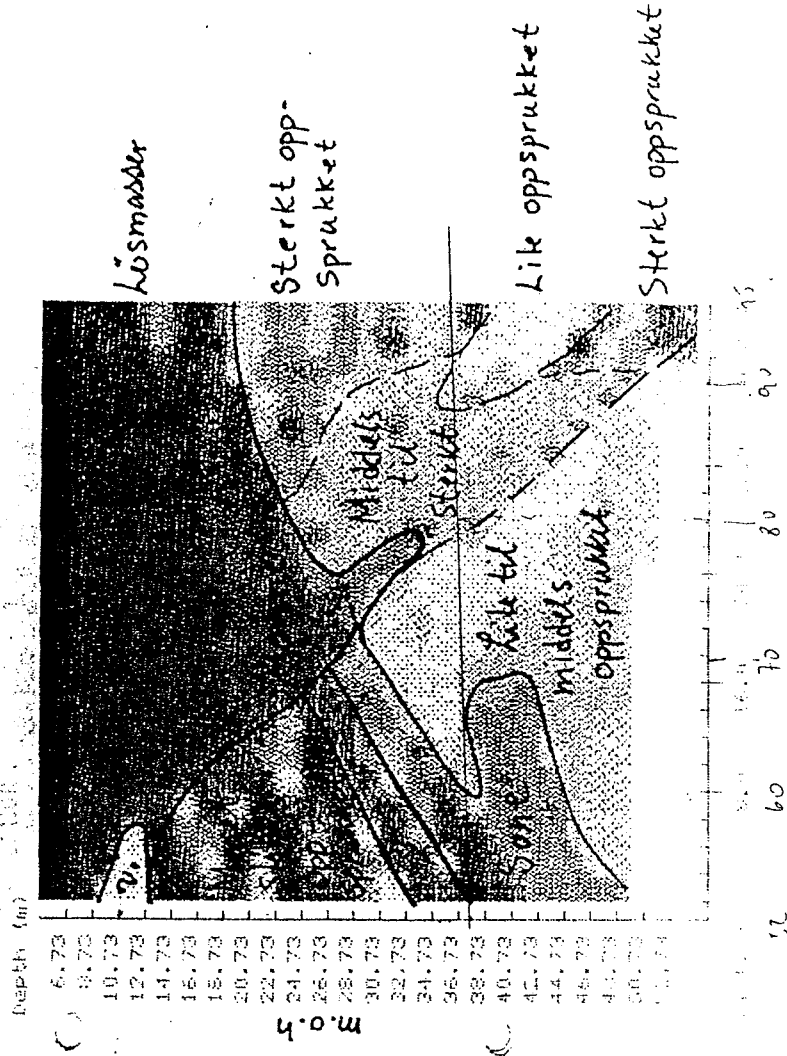
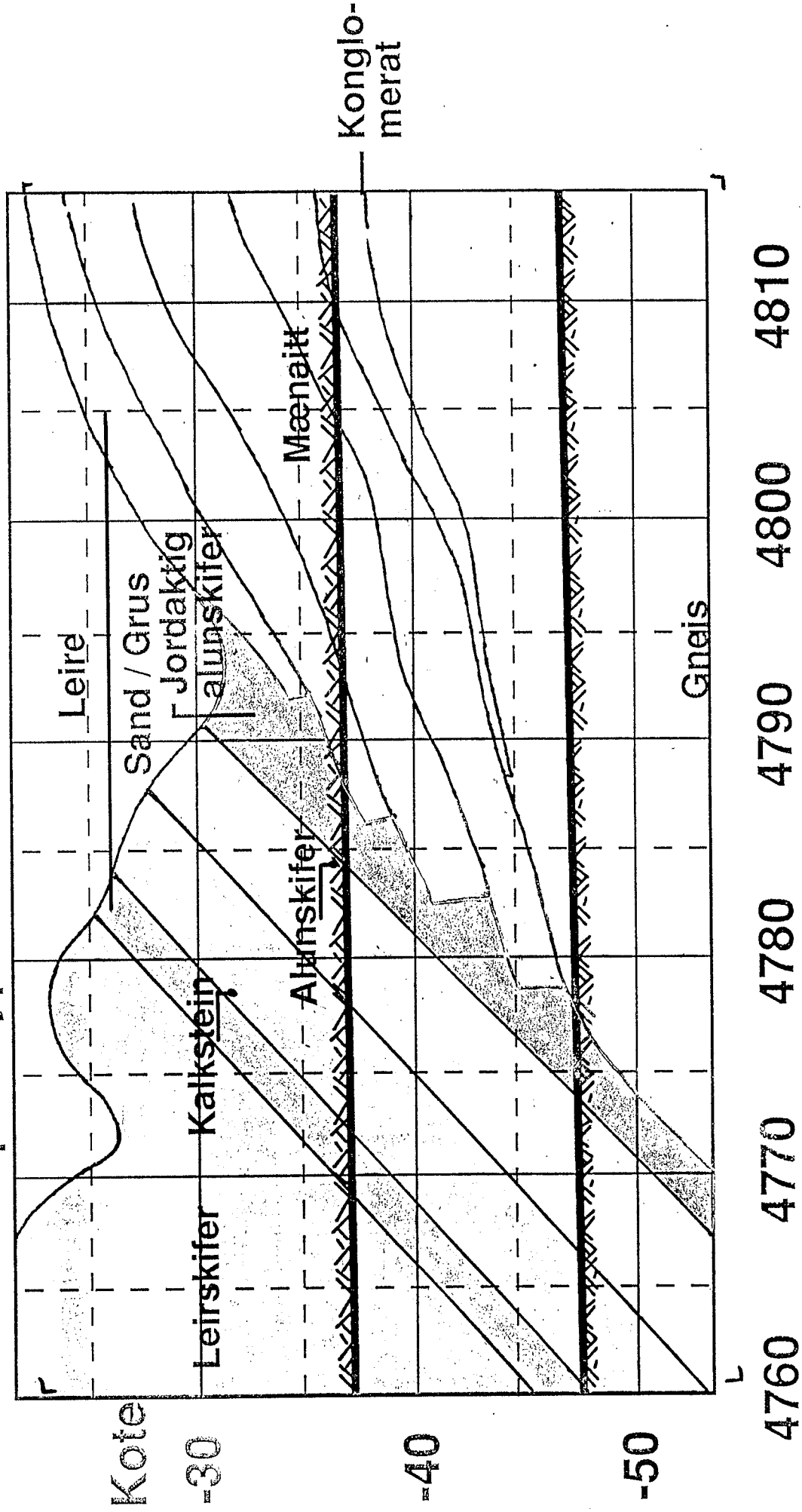


Fig. 3.

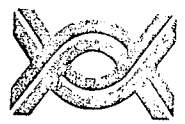


Nordre løp - dyprenna, Geologi senterlinje



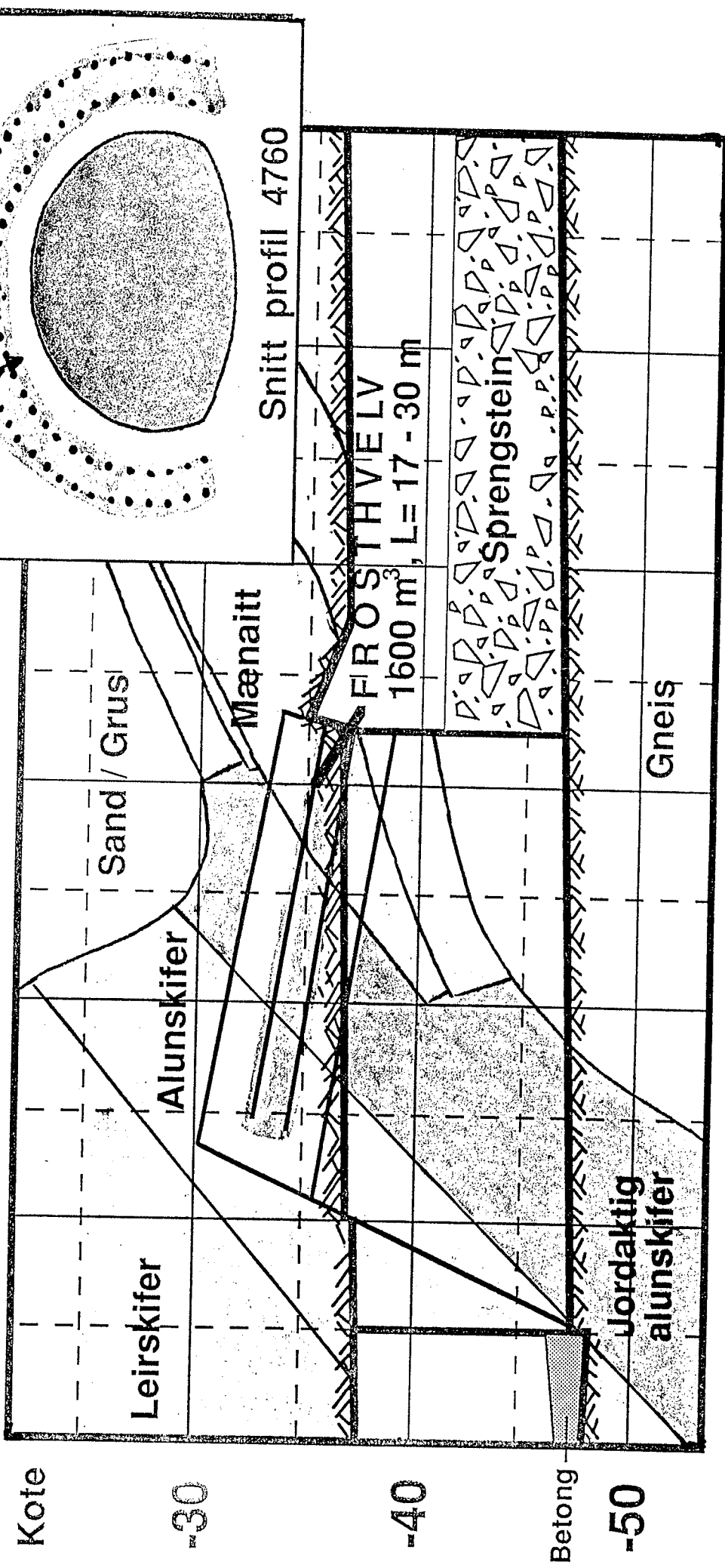
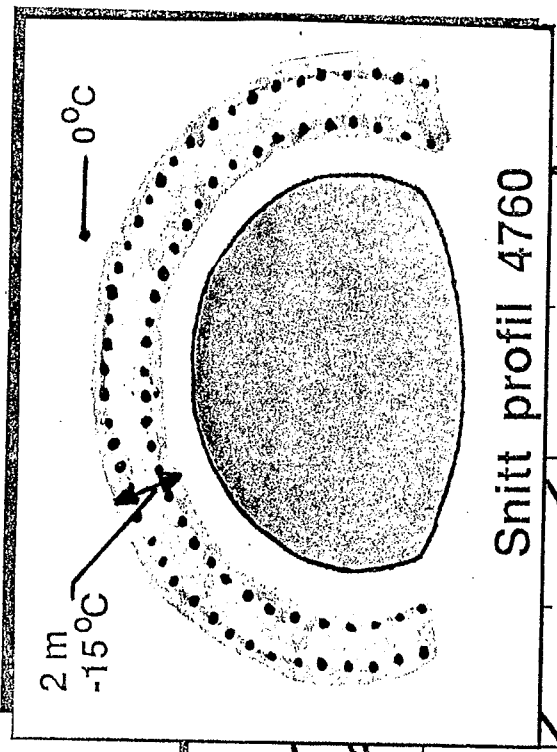
Profil nr.

Fig. 4.



Søndre løp - dyprenna

Frysing, utførelse



Profil nr. Fig. 5.



FRYSING-KONTRAKTENS ALT.

LENGDESNIITT SØNDRE LØP

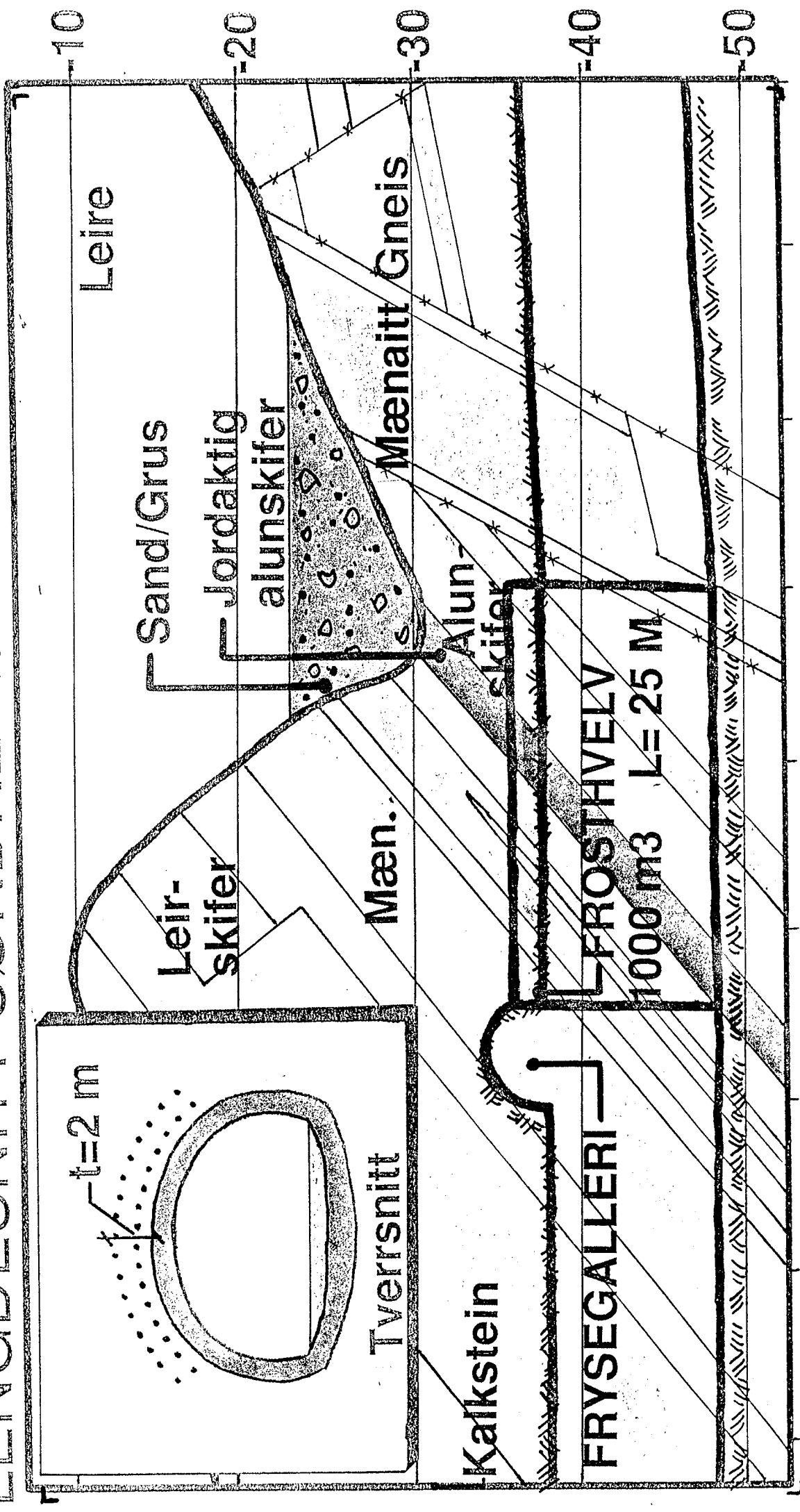


Fig. 6.

4780

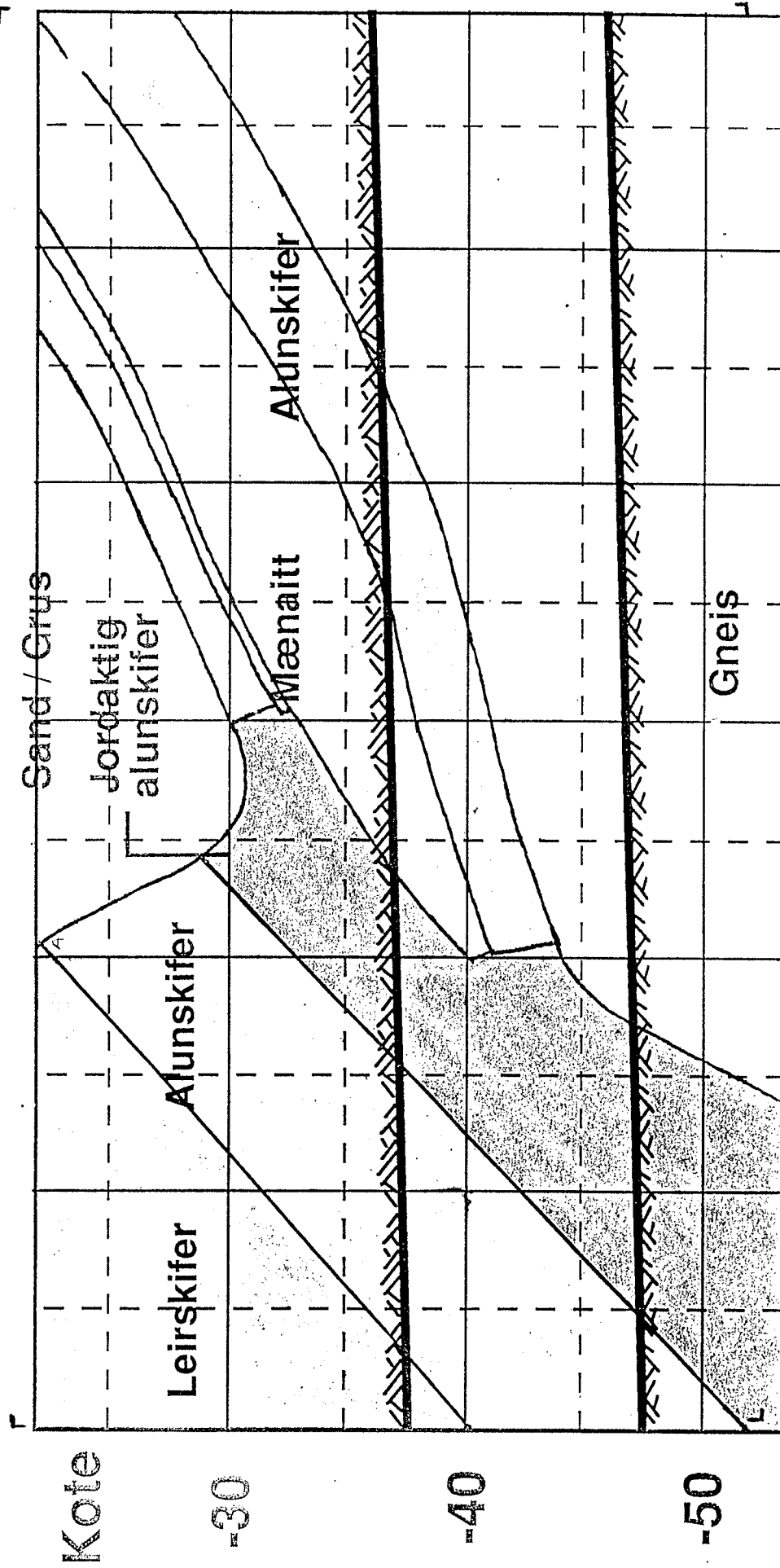
4760

4740

4720

4800

Søndre løp - dyprenna, Geologi senterlinje



4740
Profil nr. 4750 4760 4770 4780 4790 4800

Fig. 7.

**DISKUSJON TIL INNLEGG FRA KNUT SÆTRE: "FJELLINJEN -
FORUNDERSØKELSER, DRIFTSUNDERSØKELSER OG DRIFTSFORHOLD I
DYPRENNEN"**

Hadde det vært sannsynlig at man kunne oppnådd bedre og enklere drift på fjellinjen hvis traseen hadde vært senket?

Svar: Man kunne sikkert oppnådd noe. I det minste hadde man hatt større marginer å gå på i de vanskeligste partiene. Krav til stigningsforhold tillot imidlertid ikke dette.



KONFERANSE OM
GEOLOGISK PROSJEKTERING AV
UNDERSJØISKE VEGTUNNELER
25. - 26. APRIL 1989

V A R D Ø V E G T U N N E L
F O R U N D E R S Ø K E L S E R
D R I F T S U N D E R S Ø K E L S E R
O G
D R I F T S F O R H O L D

Arne Grønhaug
Veglaboratoriet

BAKGRUNN

Det har blitt arbeidet med en fastlandsforbindelse til Vardø siden moloen på fastlandssiden ble bygget på begynnelsen av 1960-tallet. Ganske tidlig ble tunnel-løsningen lansert som et alternativ til bru-prosjektet. Veglaboratoriet foretok kartlegging for å bedømme berggrunnsforholdene i 1964.

Veglaboratoriets rapport av 1965 viste at berggrunnen besto av skifer og sandstein, til dels sterkt foldet, forkastet og oppsprukket. Med de erfaringer en gjorde i noenlunde tilsvarende berggrunn ved Skarvberget, ble det konkludert at tunnelprosjektet medførte fare for store lekkasjer. Inntil en fikk utviklet en mer pålitelig sikring mot vannlekkasjer, burde tunnelloøsningen vente.

I forbindelse med utarbeidelse av Stortingsmeldingen i 1976 ble tunnelprosjektet lansert påny. På grunn av den politiske behandlingen var det nødvendig å presentere et kostnadsoverslag tidlig i 1978. Det ble besluttet å sette i gang en forsert geologisk studie og innsamling av erfaringsdata om undersjøisk tunneldrift. Av denne grunn ble ikke de geologiske undersøkelsene så rasjonelle som en mer rommelig tid hadde gjort mulig.

FORUNDERSØKELSER

Undersøkelsene ble straks igangsatt av Veglaboratoriet i 1976, med geolog E. Gyøry som saksbehandler. Den første rekognoserende kartlegging var imidlertid foretatt allerede sommeren 1975. I forbindelse med bru-planleggingen forelå det også seismiske profileringer i 1958, akustisk profilering i 1973 og borer i 1965.

På grunnlag av disse studiene ble bergartene klassifisert, og en modell for den stratigrafiske oppbygning utarbeidet. Videre ble det skissert en deformasjonsmodell som innbefattet regionale strukturer som foldingsmønster, forkastnings- og oppsprekningstektonikk. Program for de videre undersøkelser ble satt opp for å dekke flere stratigrafiske og tektoniske løsninger på grunnforholdene.

Kartlegging på land, av berggrunnen i Bussesund ved dykkergeologer, seismisk profilering, fjellkontrollboringer i Bussesund, samt kjerneboringer fra land ble utført sommeren 1977. Resultatene ble bearbeidet og vurdert vinteren 77/78, og på dette grunnlag ble det utført kjerneboringer og supplerende seismisk registrering sommer 1978.

I alt ble det skutt ca. 9145 m med seismiske profiler for tunnelprosjektet, derav tre tvers over sundet, samt noen kortere profiler langs dette. Inkludert er tre profiler på land ved Svartnes, i alt 1540 m.

Fra forankret lekter ble det utført 36 vertikalboringer med borrhogg Roc 101 langs det antatt gunstigste trasé-alternativ. Borsynk, rotasjonshastighet og matnings-trykk ble automatisk registrert. Prøver av spylevann og borkaks ble tatt, samt korte kjerner av antatt berggrunnen i 7 av hullene.

Noen av lavhastighetssonene ble undersøkt ved 7 skråttstilte kjerneborhull plassert på land, i alt 662 m. I disse hullene ble det utført vanntapsmålinger og avviksmålinger.

Fastheten av bergartsprøver ble undersøkt ved måling av punktlast og strekk, og slitestyrke ved vanlige fallprøver.

KONKLUSJONER OM DE GEOLOGISKE FORHOLD

BERGARTER

Undersøkelsene tydet på at bergoverflaten var jevnt fordelt hellende til 33 m o. h. mot midten av sundet, uten store nivåforskjeller. Overdekningen av løsmasser var stort sett liten, bortsett fra på fastlandssiden ved Svartnes, der traseen passerte løsmasser som gikk betydelig under havnivå.

Berggrunnen i området er bygget opp av senprekambriske lavmetamorfe sedimentbergarter tilhørende Barentshavgruppens Båsnæringsformasjon. Denne består av grå- og rødfargete sandsteiner, laminære til skifrige siltsteiner og leirsteiner. Mange av de sedimentære primærstrukturer er godt bevart, og viser at området har en normal lagstilling med de yngste sedimentene øverst. Lagene er bare sporadisk gjennomsett av yngre diabasganger med gjennomsnittlig retning tvers til skrått på Bussesundet, dvs. i tunnelretningen.

Tektonisk syntes Bussesundet å danne kjerne i en stor antiklinal, der berggrunnen på Svartnes sto med steilt vestlig fall, og på Vardøya med slakt østlig fall.

BRUDDSTRUKTURER

De mest markerte knusningssoner er ikke observert direkte, men antatt på grunnlag av seismiske registreringer av lavhastighetssoner. Den mest hyppige retning for knusningssoner ble antatt å være N-S, dvs. langs sundet. Derimot ble en mindre betydningsfull retning, Ø-V, observert i form av oppsprekkningsssoner gående tvers over Vardøya.

En klassifisering av gjennomsnittlig berggrunn etter Q-systemet ga ca. verdien 2, dvs. dårlig berg. I sprekkesoner og knusningssoner fikk en klassifikasjonen ekstremt dårlig.

AKUSTISK PROFILERING

De akustiske registreringene dekker hele sundet mellom Vardøya og fastlandet. Profilene viser at bergoverflaten faller noe bratt vestover fra Vardøya, hvor løsmassetykkelsen går opp i 10-12 m, mot 0-2 m ellers i sundet. Bergoverflaten flater så ut mot midten av sundet, for å stige jevnt mot fastlandet.

SEISMISK PROFILERING

De seismiske målingene ble utført samtidig med den geologiske detaljkartleggingen. Måleresultatene ble rapportert umiddelbart, slik at de kunne benyttes umiddelbart til planleggingen av neste profil. Stort sett var resultatene i god overensstemmelse med den akustiske profileringen.

Det ble registrert en rekke lavhastighetssoner, som ga grunnlag for antagelsen av ca. 20 knusningssoner, hvorav 6-7 består av så dårlig berg at det ble antatt nødvendig med støping til stoff i 5-20 m lengde. Den laveste hastigheten lå på 2500 m/s, beliggende i den antatt dårligste knusningssonen. Her ble det besluttet å etablere beredskap for stabilitetssikring ved frysing.

Ellers fordelte hastighetene seg med 5 % mindre enn 3500 m/s, 7 % mindre enn 4000 m/s, og 88 % over 4500 m/s. De seismiske hastighetene var forbausende høye, innholdet av bløt og skifrig leirskifer tatt i betraktning.

For å kalibrere de seismiske hastigheter mot bergarter og bruddsoner, ble det skutt et profil over berggrunn i dagen. Beliggenheten av lavhastighetene stemte godt med de geologiske observasjonene, mens gangbergarter og sprekkesoner ikke ga seismiske utslag. På den annen side var ikke alle lavhastighetssonene ensbetydende med dårlig berggrunn.

FJELLKONTROLLBORINGER

Boringene ble utført langs seismiske profiler 1 og 2, i den mest interessante korridoren for tunneltraseen. Grensen mellom berg og løsmasser viste seg meget vanskelig å bestemme, dels på grunn av bløte bergarter, og dels på grunn av blokkrike, faste bunnsedimenter. Selv med tett prøvetagning av borkakset viste det seg vanskelig å avgjøre grensen. I 7 hull ble det tatt en kort kjerneprøve av berggrunnen.

I gjennomsnitt viser fjellkontrollboringene god overensstemmelse med de akustiske og seismiske profiler, med et avvik som er mindre enn 2 m. Som regel viser boringene den største dybden. Største avvik er ca. 10 m, funnet i en lavhastighetssone med 8 m bredde.

KJERNEBORINGER

Det ble utført kjerneboringer fra land for å undersøke enkelte antatte svakhetssoner, samt registrere lekkasjeforholdene i disse. Den bergartsfordeling som var forventet i følge overflatekartleggingen, ble også funnet i kjernene. Oppsprekningsgraden, spesielt i leirsteinene må karakteriseres som høy. Oppknuste soner på opptil 6 m bredde ble observert, men sleppeleire ble ikke påvist.

VANNTAPSMÅLINGER

Leirsteinene viste gjennomgående små vanntap, sandsteinene litt større. I fjellkontrollhullene viste lekkasjene seg større enn i kjerneborhullene, noe som delvis kan forklares med den kortere lengde i berggrunn, samt at hovedmengden av fjellkontrollhull ligger utenfor knusningssonene. Resultatene tydet på at vann-tilstrømningen til tunnelen skulle bli moderat.

TRACÉVALG

Under prosjekteringen ble det arbeidet med tre traséalternativer. De supplerende undersøkelser, spesielt av hovedforkastningssonen, munnet ut i et alternativ gjennom det parti av denne som syntes av best kvalitet ifølge de seismiske registreringene.

Traseen ved Svartnes ble diskutert en del. Et rettlinjet forløp av traseen her ville medføre nedgraving av traseen i løsmasser til under havnivå. Ved å legge traseen i kurve var det mulig å føre den inn i en bergrygg i strøkretningen, slik at nedgraving under havnivå ble unødvendig.

Geologen pekte på at en tunneltrasé langs svake, dagnære lag ville medføre stabilitetsproblemer under driften og forårsake ekstra sikring. Sikring mot vanninnstrømning i en åpen byggegrop ble imidlertid tillagt større vekt, og den kurvede trasé ble valgt.

FORUNDERSØKELSER UNDER DRIFTEN

Det ble foretatt kjerneboringer med diameter 22 mm og lengde ca. 200 m foran stoff i det meste av undervannsdelen av tunnelen. Boringene ble utført fra nisjer og kunne pågå forholdsvis uforstyrret av driften.

Hovedforkastningssonen ble ikke gjennomboret på grunn av vanskeligheter med boring i så løse masser, men dette var tilstrekkelig som varsel om at berggrunnen her var meget dårlig.

Sonderinger med vanlig slagboring skulle utføres med 2-3 35 m lange hull fra stuff. Vanntap skulle måles, og hull som hadde et vanntap på over 2,5 l/min, skulle injiseres.

DRIFTSERFARINGER

DRIFTSERFARINGER OG DETALJPLAN

Et avgjørende punkt i all geologisk prosjektering er hvor nær de antatte forhold vil vise seg å komme de som finnes under driften. Bortsett fra at prosjekteringsmetodene er utilstrekkelige, og resultatene vil være avhengige av omfang og type av forundersøkelser, er også resultatene avhengig av utenforliggende forhold.

Et slikt forhold er driftsmetoden, selv om det dreier seg om sprengning, og ikke om f.eks. fullprofilboring. Dessuten er de valgte sikringsmetoder avgjørende.

Baseres sikringen på forsiktig sprengning, rensk og bolting, eller satses det på sprøytebetong som generell arbeidssikring? Legger en opp til systematisk forinjeksjon under drift eller til vannsikring som kompletteringsarbeid?

INNDRIFTEN

Driften tok 26 måneder, dvs. 4 måneder lenger enn planen, noe som hadde flere grunner. Entreprenøren fikk medhold i at noe av årsaken til forsinkelsen var klar-
gjøringen ved anleggsstart (1 mnd.), samt vanskeligheter med boring, lading og overmasser.

Driften på Vardø-stuffen gikk etter planen. Derimot ble driften på Svartnes-skuffen hengende etter. Geologen fikk rett i at driften langs etter strøkretningen her medførte problemer.

Detaljplanen inneholdt bestemmelse om etablering av beredskap av frysemaskineri i forbindelse med kryssing av de mest markerte svakhetssonene. Frysing ble imidlertid ikke benyttet, men man valgte isteden støping med støpeskjold. Til tross for flere ras på forskalingssskjoldet, holdt denne fremgangsmåten så vidt.

Derimot ble det satset på gjennomdriving av den dårlige sonen med korte salvelengder og støping til stuff istedenfor frysing. En del av de svake sonene ble drevet med salvelengder ned til 0,8 m.

BOLTEARBEIDER

Totalt ble det innsatt ca. 20 000 innstøpte rørbolter, herav 8000 under drift. Etter utsprenningen ble det montert 2800 lm varmforsinkete stigeband, og 4500 m² nylonnett.

STØPING OG BETONGSPRØYTING

Det ble antatt at det ble nødvendig å støpe ut tunnelen i en lengde på 300-500 m, derav 240-300 m til stuff. Utførelsen ble 560 m, derav 245 m til stuff. Utstøpingene er fuktsikret med membran i 70 m lengde.

Det ble brukt sprøytebetong i stort omfang, i alt 2100 m³. På prosjekteringsstadiet var sprøytebetong forutsatt som en midlertidig sikring i rastruende partier. Under driften ble det funnet praktisk å benytte sprøytebetong som arbeidssikring. Dette førte naturlig nok til betydelig mer betongsprøyting enn forutsatt.

VANN- OG FROSTSIKRING

Sonderboringene fungerte godt for angivelse av de store lekkasjene som måtte injiseres. I forhold til lekkasjene som for øvrig oppsto, ble det imidlertid registrert påfallende lite vanntap.

Det ble antatt moderate lekkasjer, som ved systematisk forinjeksjon lot seg redusere til 300-400 l/min. Pumpekapasiteten ble prosjektert etter en totalinnstrømning på 3000 l/min.

Systematisk forinjeksjon ble imidlertid ikke foretatt. Bare ved tre større vanninnbrudd ble det utført injeksjon med en totalmengde på 83 t sement. Det ble injisert tre steder, ved P1960 (13,6 tonn sement), P2200 (36,5 t) og P2500 (3,4 t), for øvrig var lekkasjene utbredte, men små.

Lekkasjemengdene etter dette ble ca. 1000 l/min, men lekkasjene var meget utbredte, og krevet installasjon av 2000 lm frostsikrete aluminium platehvelv.

SAMMENFATTENDE VURDERING

Det ble under driften benyttet andre metoder enn det prosjekteringen forutsatte. Likevel må en konkludere at, bortsett fra avviket ved valg av vannsikrings- og arbeidssikringsmetoder, er det meget god overensstemmelse mellom de antatte forhold og de som ble funnet.



**KONFERANSE OM
GEOLOGISK PROSJEKTERING AV
UNDERSJØISKE VEGTUNNELER
25. - 26. APRIL 1989**

**DATA OM
F L E K K E R Ø Y T U N N E L E N**

Jon Krokeborg
Veglaboratoriet
(etter oppl.
fra E. Tveide)

1989-05-11
JK

FLEKKERØYTUNNELEN

I forbindelse med kurset ble det foretatt en befaring til Flekkerøytunnelen. Det ble gitt en interessant orientering om prosjektet og befaring i tunnelen.

Nedenfor er det gitt en kort sammenstilling av de viktigste data og forhold i tunnelen.

BELIGGENHET: Rv. 457 Møvik-Flekkerøy - Fastlandsforbindelse til Flekkerøy.

LENGDE: 2321 m.

STIGNINGSFORHOLD: 10 ‰

LAVESTE PUNKT: - 101 m.

MINSTE FJELLOVERD: 30 M

FORUNDERSØKELSER: Geologisk kartlegging, akustisk profilering over et 1.5 km² stort område i rutenett med 50-100 m. profilavstand. Det ble utført 3000 m. seismikk, men ikke sammenhengende over hele tunneltracéen.

OVERENSTEMMELSE
MELLOM FOR-
UNDERSØKELSER
OG FAKTISKE
FORHOLD: Store deler av tracéen viser god overenstemmelse. Det viste seg imidlertid at man bommet en del på lokaliseringen av svakhetssonene, og problemene kom på andre steder enn forutsatt.

En stor grunnfjellsbreksje var antatt å være 20 m. bred, men det viste seg at denne hadde en bredde på 200 m.. Forholdene var imidlertid ikke så dårlig som antatt, og det kunne synes som om breksjen var splittet opp over et større område. Man kom greit gjennom sonen ved hjelp av sprøytebetong og bolter, og det ble ikke støpt eller injisert i sonen til tross for at man også møtte vannlekkasjer under høyt trykk.

En annen svakhetssone som var antatt å ha en bredde på 1 m., viste seg å være 25 m. bred. Sonen bestod av ren leire og ble forsert med full utstøpning til stuff.

Ved siden av disse to sonene var det mer leirbelegg på slepper og stikk enn forutsatt.

SIKRING:

Utstøpning: 25 m. (forutsatt 190)

Sprøytebetong:	arbeidssikr.	1703 m ³
	ettersikr.	350 m ³
	totalt	<u>2053 m³</u>

Bolter:	arbeidssikr.	4558 stk
	ettersikr.	350 stk
	totalt	<u>4908 stk</u>

Injeksjon: 109 t. rapid sement + 18 t. Semsil

Vannsikring: 550 lm. al. halvhvelv
300 lm. PE-skum

KOSTNADER:

Forundersøkelser:	2-2.5 mill. kr.
Totalt kostnadsoverslag:	65.1 mill. kr.
Anbudssum:	58.5 mill. kr.
Sluttsum:	56.7 mill. kr.
* Elektroentreprise:	5.2 mill. kr.

* Elektroentreprisen inbefatter bygg til styringssentral og radiokommunikasjon gjennom tunnelen. Sistnevnte er usikkert om bygges (utgjør 0.6 mill. kr.).

GRUPPEOPPGAVE

På konferansen ble det satt av tid til gruppearbeid, og gruppene fikk arbeide med en oppgave i to faser, der fase 1 gjaldt "Utredning" og fase 2 "Hovedplan". Oppgaven er gjenngitt nedenfor.

OPPGAVE

I forbindelse med fastlandsforbindelse til Storøya skal det prosjekteres en undersjøisk tunnel fra Breiødden til Nestangen. Maksimal stigning på tunnelen er $80^{\circ}/_{00}$.

FASE 1. UTREDNING

Data om prosjektet:

Tunnelen ventes å gå i to bergartstyper med bergartsgrense omtrent midt i sundet. Bergartene kan deles i to bergartssekvenser, vekslende leirskifer/sandstein i øst og glimmerskifer i vest. Tunnelen vil i den undersjøiske delen gå langs skifriheten. Det forventes at tunnelen vil krysse flere knusningssoner, tildels av regional karakter.

Vedlegg 1. Geologiske kart, bunnkotecart og akustiske profiler.

Bruk de oppgitte data som grunnlag for alternative trasevalg og forslag til videre undersøkelser.

Gi en kalkyle over antatte kostnader for tunnelprosjektet.

FASE 2. HOVEDPLAN

Sprekkesetettheten i regionale knusningssoner: ukjent

I glimmerskiferen forekommer det lag med granater og sandsteinen har et kvartsinnhold på 70%.

Generell lagdeling i leirskifer/sandstein: 20 stikk/m
glimmerskifer : 5 spr./m

Vedlegg 2. Seismiske profiler

Kan vi på grunnlag av dette foreslå en trasé?
Hvilke mengder og type sikring kan eventuelt forventes?
Kostnader?
Fjelloverdekning?
Lekkasjer?

BESVARELSER

Før oppgaven ble besvart, ble det påpekt at forutsetningene for oppgaven skulle vært bedre definert.

FASE 1. UTREDNING

Det var noe uenighet blandt gruppene om plassering av tunnelen i sandsteinen eller i glimmerskiferen. De fleste gruppene ville på dette stadiet foretatt mer geologisk kartlegging, og alle gruppene foreslo ytterligere akustikk og seismikk.

Kostnadene varierte noe fra gruppe til gruppe, men overslagene var basert på en pris pr. lm. fra 30.000 til drøye 40.000.

FASE 2. HOVEDPLAN

På dette stadiet var det mer uenighet gruppene mellom, men de fleste hadde på bakgrunn av det foreliggende materialet foreslått en trasé. Oppgaven satte også igang en diskusjon om riktigheten av å fortsette arbeidet med et slikt prosjekt, der man allerede på dette stadiet kunne fastslå at kostnadene ville bli høye.

Selvom det ble reist kritikk mot oppgaveutformingen også for fase 2, synes oppgaven å være nyttig som innledning til diskusjon, noe som ble litt amputert p.g.a. tidsnød.

Lab 1989-05-26
AG/RDA



KONFERANSE OM
GEOLOGISK PROSJEKTERING AV UNDERSJØISKE VEGTUNNELER

25. - 26. APRIL 1989

HOTEL NORGE, KRISTIANSAND

PROGRAM

Mandag 24. april Ankomst

1900 Middag

Tirsdag 25. april

0845 Åpning. Bakgrunn for konferansen. Lokalisering av
krysningssteder.
Arne Grønhaug

0900 Akustisk profilering. Muligheter.
Begrensninger (Geometri, materialegenskaper, apparatur).
Eksempler. Metoder for forbedring av registreringene.
Ole Christian Pedersen

0935 Geologiske undersøkelser. Muligheter, begrensninger, supplement
Arne Grønhaug

0955 Spørsmål og diskusjon

1005 Pause

1020 Seismisk profilering.
Muligheter. Begrensninger (Geometri, material-egenskaper,
apparatur.) Eksempler. Metoder for å forbedre registreringene.
Ole Christian Pedersen

1055 Akustisk og seismisk profilering. Vanskelige grunnforhold.
Eksempler fra Hvaler og Høgsfjord.
Tor Erik Frydenlund

1110 Spørsmål og diskusjon

1120 Hammerboringer (Sonderboringer).
Muligheter, begrensninger, supplement.
Marit Liv Larsen

1145 Kjerneboring. Muligheter, begrensninger, supplement.
Tor Erik Lynneberg

1215 Spørsmål og diskusjon

1230 Lunsj

- 1330 Forundersøkelser og driftserfaringer fra norske
undersjøiske tunneler.
Bjørn Nilsen
- 1405 Fjellinjen. forundersøkelser, driftsundersøkelser og
driftsforhold i dyprennen.
Knut Sætre
- 1440 Spørsmål og diskusjon
- 1455 Gruppearbeid: Geologisk prosjekteringsoppgave.
- 1630 Diskusjon i plenum
- 1900 Middag

Onsdag 26. april

- 0830 Vardø vegtunnel. Forundersøkelser, driftsundersøkelser og
driftsforhold.
Arne Grønhaug
- 0905 Flekkerøy vegtunnel. Geologiske forhold og driftserfaringer.
Egil Tveide
- 0940 Oppsummering
- 1000 Befaring Flekkerøy undersjøiske tunnelanlegg
- 1230 Lunsj
- Avreise



KONFERANSE OM
GEOLOGISK PROSJEKTERING AV UNDERSJØISKE VEGTUNNELER

25. - 26. APRIL 1989

HOTEL NORGE, KRISTIANSAND

DELTAKERLISTE

Fylke	Tittel	Navn
Østfold	Avd.ing.	Lasse Sondbø
Vestfold	Avd.ing.	Carl Erik Dahl
"	Overing.	Leif Kjølen
Telemark	Overing.	Emil Gyøry
Vest-Agder	Overing.	Stig Strokkenes
" "	Overing.	Svein Kristoffersen
" "	Avd.ing.	John Pedersen
Rogaland	Avd.ing.	Tor Geir Espedal
Hordaland	Overing.	Kjell Hisdal
"	Overing.	Bjarne Lysberg
Sogn og Fjordane	Overing.	Olav Svangstu
Møre og Romsdal	Overing.	Anders S. Moen
" "	Overing.	Kåre Ingolf Karlson
Sør-Trøndelag	Overing.	Roar Nålsund
Nordland	Overing.	Arne Sivertsen
"	Overing.	Kjetil Vollan
Troms	Avd.ing.	Espen Nordahl
Finnmark	Distriktsleder	Kåre Furstrand
"	Overing.	Lene Murer
Vegdirektoratet	Overing.	Jan Erik Buan
"	Overing.	Eirik Øvstedal
"	Overing.	Knut Borge Pedersen
"	Avd.ing.	Erik Endre
"	Konsulent	Alf Kveen
"	Konsulent	Bengt Larssen
"	Konsulent	Terje Kirkeby
"	Konsulent	Meliha Yurdakul
"	Avd.ing.	Arnt Honstad
"	Cand.real.	Jon Krokeborg

Fylke	Tittel	Navn
Kursleder:		
Vegdirektoratet	Forsker	Arne Grønhaug
Foredragsholdere:		
GEOMAP	Cand. real	Ole Chr. Pedersen
Østfold	Siv.ing.	Marit Liv Larsen
Geolog.inst. NTH	Dr. ing.	Bjørn Nilsen
Fjellinjen	Siv.ing.	Knut Sætre
Vest-Agder	Siv.ing.	Egil Tveide
Vegdirektoratet	Overing.	Tor Erik Frydenlund
"	Forsker	Tor Erik Lynneberg

FORFATTERLISTE

- | | |
|---------------------------------|--|
| Tor Erik Frydenlund, overing. | Veglaboratoriet
Postboks 6390 Etterstad
0604 Oslo 6
Tlf. (02) 63 99 00 |
| Arne Grønhaug, forsker | Veglaboratoriet
Postboks 6390 Etterstad
0604 Oslo 6
Tlf. (02) 63 99 00 |
| Marit Liv Larsen, kontrollring. | Statens vegvesen
Hvalertunnelen
Postboks 310
1501 Moss
Tlf. (09) 37 61 60 |
| Tor Erik Lynneberg, forsker | Veglaboratoriet
Postboks 6390 Etterstad
0604 Oslo 6
Tlf. (02) 63 99 00 |
| Bjørn Nilsen, 1.amanuensis | Institutt for geologi
og bergteknikk
NTH
7034 Trondheim
Tlf. (07) 59 48 19 |
| Ole Chr. Pedersen, cand. real. | GEOMAP a.s
Garver Ytteborgsvei 98
Postboks 74 Haugenstua
0915 Oslo 9
tlf. (02) 21 43 10 |
| Knut Sætre, sjefsing. | NSB, Hovedkontoret
Spesielle prosjekter
Postboks 9115 Vaterland
0134 Oslo 1
Tlf. (02) 36 60 13 |
| Egil Tveide, overing. | Vegkontoret i Vest-Agder
Postboks 157
4601 Kristiansand
Tlf. (042) 2 66 50 |

