

Rapport nr. 85.198

Seismiske målinger og elektriske
sonderinger innenfor kartbladene
1722 IV Stiklestad og
1723 III Steinkjer i 1983

Rapport nr. 85.198		ISSN 0800-3416		Åpen/Åbnet	
<p>Tittel:</p> <p>Seismiske målinger og elektriske sonderinger innenfor kartbladene 1722 IV Stiklestad og 1723 III Steinkjer i 1983</p>					
Forfatter:			Oppdragsgiver:		
Jan Fredrik Tønnesen			NGU		
Fylke:			Kommune:		
Nord-Trøndelag			Steinkjer		
Kartbladnavn (M. 1:250 000)			Kartbladnr. og -navn (M. 1:50 000)		
Trondheim Namsos			1722 IV Stiklestad 1723 III Steinkjer		
Forekomstens navn og koordinater:			Sidetal: 26		Pris: kr. 160,-
			Kartbilag: 6		
Feltarbeid utført:		Rapportdato:		Prosjektnr.:	
10.-21.10.83		18.01.1988		2114	
Seksjonssjef:					
<p>Sammendrag:</p> <p>Målingene er utført i forbindelse med kvartærgeologisk kartlegging og omfatter 18 refraksjonsseismiske profiler med samlet lengde 6,2 km og 4 elektriske dybdesonderinger. Undersøkelsen er fordelt på 4 hovedområder: Hafstad-Rannem, Henning, Ogndal og Egge. Undersøkelsen bør sees i sammenheng med seismiske målinger for samme formål utført i 1981 og -82 (NGU rapport nr. 1876 og 84.130).</p> <p>Langs 12 av profilene ser det ut til at seismisk hastighet i nederste løsmassesjikt er rundt 2000 m/s. Det regnes å være kompakt morenemateriale og utgjør som oftest en vesentlig del av total løsmassemektighet. Hovedmengden av materialet for øvrig kan deles i to hastighetsområder; 1000-1300 m/s indikerer trolig forholdsvis løst pakket morenemateriale over grunnvannsnivå, mens 500-800 m/s indikerer sand og grus. Det er ofte diffuse laterale overganger mellom disse løsmassetypene. Sand- og grusavsetninger med over 10 m mektighet opptrer ved lokalitetene Nordbø, Brandsegg og Røysing og trolig også nord på Rannem.</p> <p>Ved en lokalitet på Henning indikerer samtolkning av metodene at det opptrer marin leire mellom en overliggende og en underliggende moreneavsetning og at løsmassemektigheten totalt er vel 100 m. Ved en lokalitet nederst i Ogndalen og ved Egge regnes løsmassene vesentlig å bestå av siltdominerte fjordavsetninger.</p>					
Emneord		Kvartærgeologi			
Geofysikk		Refraksjonsseismikk			
Elektrisk måling		Løsmasse		Fagrapport	

INNHOOLD

	Side
1. INNLEDNING	4
2. UTFØRELSE	4
3. RESULTATER	5
3.1. Hafstad-Rannem (Pr. 1-4)	6
3.2. Henning (Pr. 5-9 og S4)	8
3.3. Ogndal (Pr. 10-18)	14
3.4. Egge (S1-S3)	17
4. REFERANSER	21

TEKSTBILAG

- Bilag 1: Refraksjonsseismikk - Metodebeskrivelse
 2: Vertikale elektriske sonderinger (VES) -
 Metodebeskrivelse

KARTBILAG

- 85.198-01 Oversiktskart - Utførte målinger (M 1:50 000)
 -02 " - " " (M 1:20 000)
 -03 Seismiske grunnprofiler Hafstad-Rannem (Pr. 1-4)
 -04 " " Henning (Pr. 5-9)
 -05 " " Ogndal (Pr. 10-13)
 -06 " " Ogndal (Pr. 14-18)

1. INNLEDNING

De refraksjonsseismiske målingene og vertikale elektriske sonderingene (VES) er utført i forbindelse med kvartærgeologisk kartlegging innenfor kartbladene Stiklestad 1722 IV og Steinkjer 1723 III (M 1:50 000). Det er målt på en rekke avsetninger i området for å bestemme løsmassetypene og dypet ned til fjell.

Målingene omfatter 18 seismiske profiler med samlet lengde 6,2 km og 4 elektriske dybdesonderinger. Plassering av profiler og sonderingspunkter er vist i kartbilagene 85.198-01 og -02. Profil 1-9 og sondering 4 er på kartblad Stiklestad, de øvrige målingene på kartblad Steinkjer. Alle målingene er i Steinkjer kommune.

For kvartærgeologisk kartleggingsformål er det også i 1981 og 1982 utført omfattende seismiske undersøkelser innenfor de to kartbladene. Resultatene er beskrevet i NGU-rapportene nr. 1876 og 84.130. Årets målinger bør sees i sammenheng med disse undersøkelsene.

2. UTFØRELSE

De seismiske målingene ble utført etter vanlig seismisk refraksjonsmetode (tekstbilag 1). Som registreringsinstrument ble benyttet en ABEM TRIO med 12 kanaler.

Det ble gjennomgående brukt 200 m lange kabelutlegg. Avstanden mellom geofonene var 20 m, men den ble innkortet til 10 m i hver ende av utlegget. Skuddpunkt ble som regel plassert 10 m ut fra hver endegeofon og ett ved midten av hvert utlegg slik at skuddpunktavstanden langs profilene ble 110 m. Profilene består av fra ett til tre kabelutlegg. Ved store løsmassemekktigheter ble det også plassert skuddpunkt lenger ut fra kabelenden (fjern-

skudd) for å få sikrere kartlegging av fjellrefraktoren. I profiler med flere kabelutlegg ble fjernskudd plassert ved midtskudd og/eller endeskudd i de øvrige utlegg.

Ved de vertikale elektriske sonderingene ble Schlumberger elektrodekonfigurasjon benyttet (tekstbilag 2). Målingene ble utført med instrumentering av type ABEM Terrameter SAS300. Målesystemet er konstruert slik at metallelektroder (stål) kan brukes både som strøm- og potensialelektroder.

Feltarbeidet ble utført av Jomar Gellein, Torleif Lauritsen og Jan Fredrik Tønnesen.

3. RESULTATER

Undersøkelsene er fordelt på fire lokaliteter: Hafstad-Rannem, Henning, Ogndalen og Egge.

De refraksjonsseismiske målingene er fordelt på de tre førstnevnte lokaliteter. Resultatene er presentert som profiltolkninger i kartbilagene 85.198-03 til -06. For en del profiler er tolkningene forlenget ut til fjernskudd i en eller begge ender av utleggene. Tolkningsusikkerheten vil imidlertid være betydelig større enn normal langs profilområdene utenfor kabelutleggene. Terreng høyden langs profilene er ikke målt, men er tegnet ut fra kartgrunnet og visuell observasjon. Feil i terrengoverflaten vil medføre tilsvarende feil i nivået for sjiktgrenser og fjelloverflaten.

De elektriske dybdesonderingene (VES) er lokalisert til Egge (S1-S3) og Henning (S4). Tolkninger av de elektriske sonderingene er vist ved figurer i teksten for hver lokalitet. Sonderingene er utført i tilknytning til refraksjonsseismiske profiler.

Ved Egge er det bare utført VES denne sesongen, men sonderingene er plassert ved seismisk profil 36 målt i 1982. Sondering S4 er målt ved seismisk profil 6 i årets undersøkelse.

De to metoder vil som regel utfylle hverandre og det kan oppnås bedre og sikrere resultater ved samtolkning av de to metodene.

3.1. Hafstad-Rannem (Pr. 1-4)

Profil 2 ved Hafstad med lengde 270 m er målt langs en slak rygform fra riksveg 759 og oppover mot nordnordøst. Profil 1 som er 220 m langt er plassert på tvers av profil 2 nedenfor riksvegen.

Langs vestlige halvdel av profil 1 er fjelloverflaten 17-18 m o.h., men den skråner ned til 5 m o.h. mot østenden. Løsmassemektheten er ca. 30 m i vest, 33 m ved midten og øker til 43-45 m mot østenden. Overflatesjiktet er 2-4 m tykt med seismisk hastighet 700-900 m/s. Materialet under ser ut til å ha hastighet 1500-1600 m/s lengst vest, men øker mot øst til 1900-2000 m/s.

Langs nordlige halvdel av profil 2 er fjelloverflaten rundt 40 m o.h., men når opp til 42-43 m o.h. lengst nord. Mot syd skråner fjelloverflaten nedover til 20 m o.h. Minste løsmassemekthet på ca. 20 m er observert like ovenfor midten av profilet. Mektheten øker til vel 30 m mot syd og til 27-28 m mot nord. Et 3-4 m tykt overflatesjikt har seismisk hastighet 600-700 m/s, mens underliggende materiale har hastighet rundt 1700 m/s. Denne hastighet tilsvarer hastighet i nedre sjikt ved midten av profil 1.

De relativt høye seismiske hastighetene i nedre sjikt indikerer at avsetningen trolig vesentlig består av morenemateriale. Ut fra profil 1 ser det ut til å være betydelig variasjon i sammensetning fra øst mot vest, fra kompakt morene i øst med overgang

til løsere lagret morene og eventuelt bedre sortert materiale mot vest.

Seismisk hastighet i fjell er beregnet å være ca. 5000 m/s.

Profil 3 med lengde 410 m er målt langs en ryggform syd på Rannem fra riksveg 759 og oppover mot nordøst. Midt i profilet er fjelloverflaten ca. 60 m o.h. Den skråner nedover til 23-25 m o.h. mot sydvest mens den mot nordøstenden stiger opp til ca. 75 m o.h. Minste løsmassemekthet på 12 m er funnet ved midten av profilet. Mektheten øker til 28 m mot sydvest og varierer i området 13-17 m i nordøst. Det er et 2-4 m tykt overflatesjikt med seismisk hastighet 650-800 m/s. Underliggende materiale har hastighet rundt 2000 m/s langs sydvestlige halvdel og rundt 1800 m/s i nordøst. De høye hastighetene i nedre sjikt indikerer at løsmassene vesentlig består av morenemateriale.

Seismisk hastighet i fjell er beregnet å være 4400 m/s syd-vestlige del av profilet og 4800 m/s i nordøst.

Seismikken viser at løsmassemektheten under denne ryggformen er mindre enn i ryggformen hvor profil 2 er målt. Begge disse ryggene har imidlertid mindre mektighet enn ryggformen lenger nord på Rannem (profil 18 målt i 1982).

Profil 4 med lengde 440 m er målt lenger nord på Rannem, vest for riksveg 759 og parallelt med denne. Profil 18 målt i 1982 har sitt nedre endepunkt på østsiden av vegen rett overfor sydenden av profil 4. Fjelloverflaten er beregnet å ligge 5-10 m o.h. sentralt i profilet, men den skråner nedover de sydligste 100 m til ned mot 10 m under havnivå. De nordligste 100 m stiger fjelloverflaten opp til ca. 20 m o.h. Løsmassemektheten er rundt 50 m ved midten av profilet. Den øker til 65 m ved sydenden og avtar mot nord til ca. 37 m.

Et 2-6 m tykt overflatesjikt har seismisk hastighet 500-700 m/s. Det har størst mektighet ved sydenden, mens sjiktet synes å forsvinne ved nordenden.

Løsmassene under er delt i to sjikt. Det øvre sjiktet har seismisk hastighet i området 900-1100 m/s med de høyeste verdiene i syd. Nedre sjikt har hastighet rundt 2000 m/s. Denne hastighet er bare observert i sydligste del av profilet mens sjiktet for øvrig opptrer i "blind sone". Det er derfor usikkert om materiale med denne høye hastigheten eksisterer langs hele profilet. Sjiktgrensen vil være usikker langs nordlige del av profilet og de beregnede løsmassemekktigheter der representerer maksimumsverdier. Det nedre sjiktet ligger under grunnvannsnivå og hastigheten i materialet regnes minimum å være 1500 m/s. Mektigheten av materiale over sjiktgrensen synes å være 28-30 m langs sydlige del av profilet mens den kan avta til 22 m mot nord.

Overflatesjiktet består av tørr sand og grus. Hastighetene i sjiktet under kan representere løst pakket morene over grunnvannsnivå, men spesielt for de laveste verdiene består materialet trolig vesentlig av sand og grus. Hastigheten i det nederste løsmassesjiktet indikerer morenemateriale. Seismisk hastighet i fjell synes å være ca. 5000 m/s.

3.2. Henning (Pr. 5-9 og S4)

Profil 5 ved Fossan med lengde 220 m har måleretning VNV-ØSØ. Tolkningen viser at løsmassemekktigheten er liten og varierer mellom 3 og 7 m. Fjelloverflaten følger stort sett terrengoverflatens helning nedover mot vest, men er noe mer ujevn. Ved østenden er fjelloverflaten 173 m o.h. og ved vestenden 160 m o.h. Seismisk hastighet på 600-650 m/s i løsmassene indikerer at materialet vesentlig er sand og grus over grunnvannsnivå. Seismisk hastighet i fjell er beregnet å være 5200 m/s.

Profil 6 med lengde 660 m er målt langs sydsiden av bygdevegen som tar av mot sydvest fra riksveg 759 ved Henning Samvirkelag.

Elektrisk dybdesondering S4 er plassert i profilet ca. 300 m fra nordøstenden og med elektrodeutlegget i profilretningen.

I seismikken sees kun to hastighetssjikt i løsmassene. Overflatesjiktet har seismisk hastighet 1400-1600 m/s og mektigheten varierer mellom 2 og 7 m. Sjiktet er tynnest midt i profilet. I materialet under er det funnet en hastighet på 2100 m/s langs hele profilet. Med denne hastighet i løsmassene er det beregnet at total løsmassemektighet er rundt 130 m. Fjelloverflaten vil da være ca. 50 m under havnivå i sydvest og skråner oppover mot nordøst til 25-30 m under havnivå. Seismisk hastighet i fjell er forholdsvis dårlig bestemt, men er anslått å være rundt 5000 m/s. Dersom hastigheten er lavere vil løsmassemektighet kunne reduseres noen få meter.

Elektrisk sondering (S4) ble utført for å se om VES-metoden kunne indikere noen endringer i løsmassene mot dypet. Sonderingskurve og tolkningsmodell er vist i fig. 1. Kurveformen indikerer at det er minimum 4 resistivitetslag. Tolkningen viser at det er et 2-3 m tykt overflatelag med resistivitet litt over 100 ohmm. Dette er antatt å være finstoffrikt (siltig) materiale med høyt vanninnhold og tilsvarer lag med seismisk hastighet 1400-1600 m/s. Materialet under ser ut til å ha en resistivitet på ca. 190 ohmm. Dette tilsvarer sjiktet med seismisk hastighet 2100 m/s og er tolket som morenemateriale. Den lave resistiviteten indikerer at det er høyt finstoffinnhold (silt og leir) i morenen. Sonderingen viser at det opptrer svært godt ledende materiale under denne morenen. Overgang til dette laget er tolket å ligge 25-28 m under terrengoverflaten og resistiviteten er anslått til 15 ohmm. Laget må tolkes som marin leire. Dersom det regnes at underliggende medium med betydelig høyere resistivitet er fjell, vil modelltolkningen komme ut med en leirtykkelse på ca. 50 m, og total løsmassemektighet blir maksimum 75-80 m.

De to metodene viser i utgangspunktet en forskjell i beregnet løsmassemektighet på vel 50 m. Ut fra de opplysningene målingene

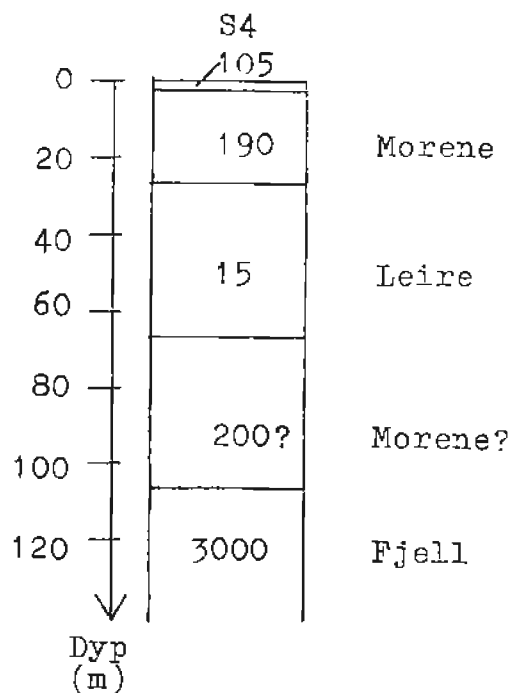


Fig. 1a. S4 - Tolkingsmodell
(Resistivitet er angitt i ohmm)

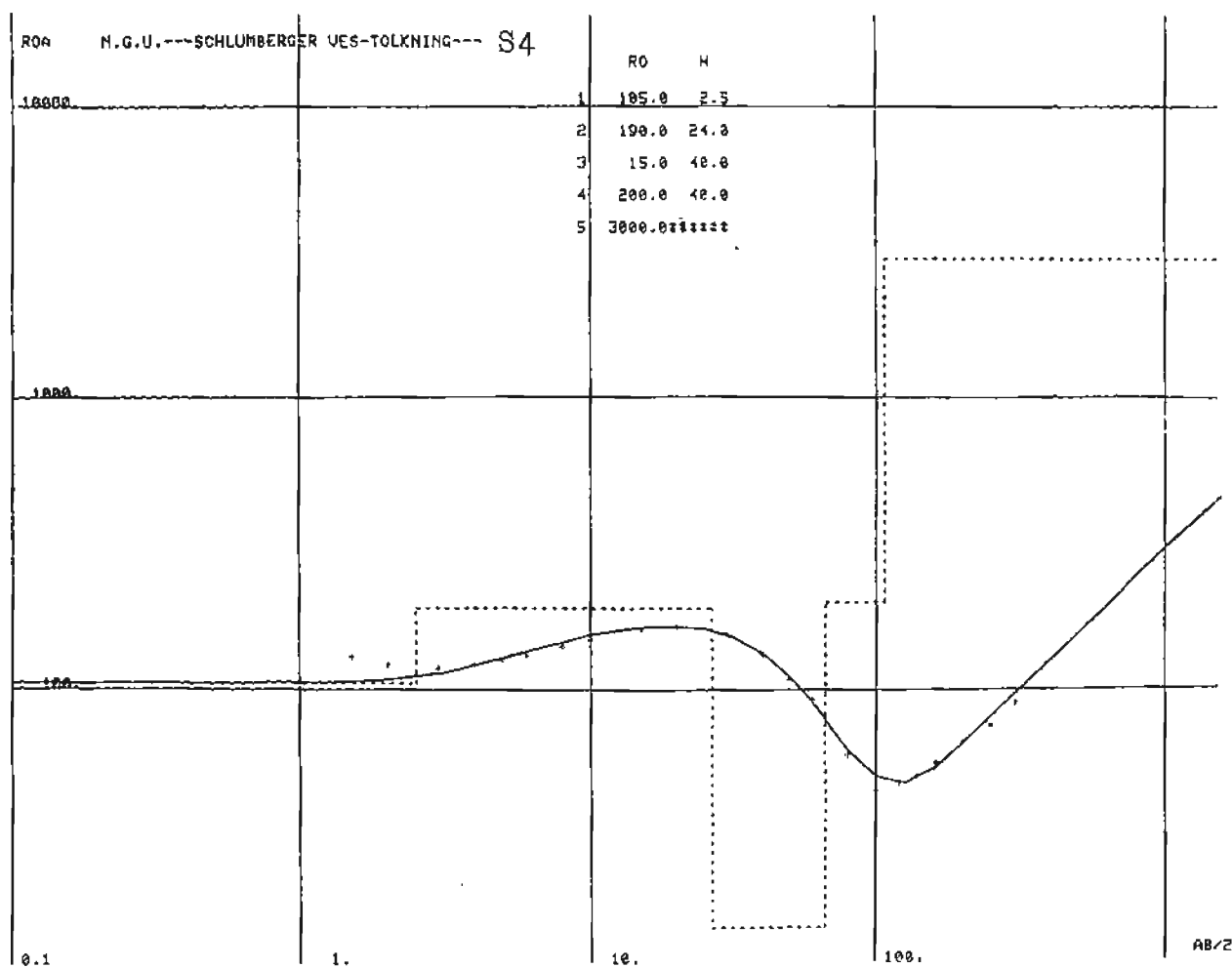


Fig. 1b. S4 - Sonderingskurve (plottet) og
tilpasset modellkurve (heltrukket)

gir viser det seg å være nødvendig med en tolkningsjustering for begge metodene. Leirlaget regnes å ha lavere seismisk hastighet enn overliggende morene. Et slikt lavhastighetslag vil ikke kunne registreres ved refraksjonsseismikken. Dersom hastigheten i materialet under morenen antas å være 1600 m/s, vil løsmassemekktigheten reduseres fra ca. 130 m til ca. 100 m. Den nye tolkningen regnes å representere en minimumsverdi, mens den gamle vil være en maksimumsverdi for løsmassemekktigheten.

Revidert seismikktolkning er ikke tilstrekkelig for å gi overensstemmelse i tolkningene. I sonderingstolkningen vil det være nødvendig å legge inn et nytt løsmasselag under leirlaget med betydelig høyere resistivitet. Dette laget vil opptre som et undertrykket lag og kan derfor ikke sees direkte av sonderingskurven. I modellen er det benyttet en resistivitet på 200 ohm for dette laget, som tilsvarer verdien i den øvre morenen. Resistivitetsverdien er imidlertid forholdsvis usikker, den kan være vesentlig høyere. Det er geologisk mest sannsynlig at det nederste løsmasselaget er en moreneavsetning. Den endelige tolkningsmodellen gir en leirtykkelse på 40 m, slik at den nedre "morenen" ligger ca. 65 m under terrengoverflaten.

Profil 7 med lengde 440 m er målt langs toppen av den nordvest-sydøstgående ryggen ved Vekre. Fjelloverflaten danner en slak kulle under profilet og kommer opp til 100 m o.h. 200 m fra nordvestenden. Fjelloverflaten skråner nedover mot nordvest til 75 m o.h. og mot sydøst til 88 m o.h. Minste løsmassemekktighet på 24 m er observert der fjellet når høyest. Mot nordvest øker mektigheten til 40 m og mot sydøst til 35-36 m. Overflatesjiktet med seismisk hastighet 550-650 m/s er 2-3 m tykt sentralt i profilet. Sydøstligst i profilet er mektigheten 4 m mens den mot nordvestenden øker til 9-10 m. Den lave hastigheten indikerer tørr sand og grus. I materialet under er hastigheten 1000-1100 m/s, unntatt lengst nordvest hvor den synes å være rundt 1200 m/s. Materialet består trolig av løst lagret morenemateriale med lavt vanninnhold. Seismisk hastighet i fjell er beregnet å være 5200 m/s.

I tolkningsprofilen er det beregnet maksimum mektighet av et mulig nedre morenesjikt (i blindsonen) med seismisk hastighet 2000 m/s. Fjellnivået vil da maksimum kunne ligge 8-9 m dypere enn i opprinnelig tolkning. Alternativ tolkning med et nedre morenesjikt er vist fordi tilsvarende morenesjikt er registrert i et profil som er målt på tvers av ryggformen nær 100 m sydøst for enden av dette profilet (profil 21 målt i 1982).

Profil 8 er målt langs en noe ujevn løsmasserygg med lengderetning nordvest-sydøst ved Nordbø-Eli. Innbefattet fjernskudd i sydøstenden er profilet 735 m langt. Fjelloverflaten er beregnet å ligge 76-78 m o.h. sentralt i profilet. Mot nordvest kan den gå ned til 60 m o.h. Mot sydøst er det en meget slak stigning i fjelloverflaten, men de siste 100 m kan den stige opp 14-15 m til ca. 98 m o.h. Løsmassemektigheten er 40 m under toppen av ryggen 250 m fra nordvestenden. Mektigheten avtar litt de første 70 m mot nordvest, men øker igjen og er ca. 40 m også de nordvestligste 130 m av profilet. Mektigheten avtar også mot sydøst og er 22-25 m i området 500-640 m i profilet. Mot sydøstenden ser det ut til at avsetningen tynner ut til ca. 10 m.

I området 70-250 m og fra 400 m og sydøstover resten av profilet er det et overflatesjikt med seismisk hastighet 500-600 m/s. Mektigheten er 2-5 m i sydøst mens den i det nordvestlige området kan komme opp i 8-9 m. Materialet regnes å være tørr sand og grus. I området imellom og lengst vest i profilet er seismisk hastighet i overflatesjiktet beregnet å være 800-900 m/s. Laget er opptil 10-12 m tykt ved midten av profilet og 9-10 m lengst nordvest. Hastighetsfordelingen er komplisert og derfor noe usikker i nordvestlige del av profilet. Det kan se ut til at overflatelaget lengst nordvest fortsetter mot sydøst under overflatelaget med lavere hastighet. Mektigheten er anslått å øke til maksimum 14 m 90-110 m fra nord-vestenden slik at de to lagene tilsammen der vil ha en mektighet på 18-20 m. Hastighetsverdiene indikerer at materialet stort sett er sand og grus, men det kan være grovere enn i det øvrige overflatelaget eller muli-

gens også mer morenedominert. Løsmassene under har seismisk hastighet 1900-2000 m/s sentralt i profilet. I sydøst er hastigheten 1700 m/s, i nordvest er den mer usikker, men ligger i området 1500-1800 m/s. De høyeste hastighetene indikerer morenemateriale. De noe lavere hastighetene i nordvest og sydøst representerer trolig også morenemateriale, men det kan også være innslag av annet vannmettet materiale.

Seismisk hastighet i fjell er funnet å være 4800 m/s sentralt i profilet, mens den er 4400 m/s i nordvest og ca. 5000 m/s i sydøst.

Profil 9 er målt over en liten ryggform ved Volan/Fjesme. Under toppen av ryggen ved midten av det 220 m lange profilet når fjelloverflaten høyest med 72-74 m o.h. Mot vest synker fjelloverflaten til 60-62 m o.h. mens den mot øst går ned mot 68 m o.h. Løsmassemekktigheten er rundt 18 m langs østlige halvdel av profilet. Mekktigheten øker mot vest og er ca. 35 m de vestligste 70 m. Overflatelaget har seismisk hastighet 550-650 m/s. Det er opptil 8 m tykt under toppen av ryggen. Mekktigheten avtar til 2-3 m mot vest, mens laget tynner helt ut ned mot det flate området de østligste 40 m. Materialet i selve ryggen synes altså å være sand og grus. Langs vestlige halvdel av profilet er det beregnet en hastighet på 1800 m/s i løsmassene under. Avsetningen består trolig av morenemateriale. Tolkningen langs østlige del av profilet er noe usikker. Nede på flaten ser overflatesjiktet ut til å ha hastighet rundt 1000 m/s, mens det regnes at underliggende materiale har hastighet som lenger vest. Ved østenden kan overflatesjiktet være opptil 12 m tykt. Materialtype er usikker, men det kan være vesentlig sand og grus som er dekket av myrholdig materiale med høyt vanninnhold. Seismisk hastighet i fjell er ca. 4900 m/s.

3.3. Ogndal (Pr. 10-18)

Profil 10 nord for Fosslia er målt langs nordsiden av vegen mellom vegkryss i nordvest og Fosslibekken i sydøst. Profilet består av kun ett måleutlegg, men profilet er forlenget ut til fjernskudd i begge ender og får dermed en lengde på 370 m. Fra midten av profilet og nordvestover er fjelloverflaten beregnet å ligge 34-35 m o.h. Den skråner oppover mot sydøst til ca. 54 m o.h. ved enden. Maksimum løsmassemekthet er ca. 33 m like nordvest for midten av profilet. Avsetningen tynner ut til 20-22 m mot nordvest og til 4-5 m mot sydøstenden. Overflate- laget med seismisk hastighet vel 500 m/s er 3-5 m tykt og det har størst mektighet langs nordvestlige del av måleutlegget. Det antas at overflatelaget tynner ut mot hver ende av profilet. Materialet under har en hastighet på ca. 1300 m/s, men langs sydøstligste del av profilet synes hastigheten å være en del høyere. Overflatelaget regnes å bestå av tørr sand og grus, mens underliggende materiale trolig er forholdsvis løst pakket morene som ikke er vannmettet. Andre materialtyper kan likevel ikke utelukkes. Seismisk hastighet i fjell er ca. 5000 m/s under måleutlegget.

Profil 11 er plassert vel 600 m nord for krysset der profil 10 starter. Profilet består av bare ett måleutlegg som er lagt ut fra veien og østover mot elva. Profilet er imidlertid forlenget ut til fjernskudd i begge ender slik at total profillengde blir 440 m. Den østlige enden ligger nær Ognå. Fjelloverflaten skråner oppover fra 18-20 m under havnivå ved vestenden av måleutlegget til ca. 8 m under havnivå ved østenden. Fjernskuddene indikerer at fjellet kommer opp til ca. 5 m under havnivå ved vestenden av profilet, mens fjelloverflaten skråner nedover mot østenden til ca. 15 m under havnivå. Løsmassemektheten er beregnet å være 46 m ved vestenden og 32 m ved østenden av måleutlegget. Mektheten synes å avta til ca. 35 m mot vestenden av profilet og til ca. 26 m mot østenden.

Overflatelaget har seismisk hastighet 500-800 m/s og tykkelsen varierer mellom 2 og 6 m. Laget ser ut til å forsvinne ved østenden av måleutlegget. I materialet under er det hastigheter på 1500-1600 m/s. Overflatelaget regnes å være elveavsatt sand og grus, mens materialet under trolig er fjordavsetninger, vesentlig silt og leire.

Seismisk hastighet i fjell er beregnet å være 4900 m/s.

Profil 12 og 13 er målt langs toppen av ryggformen ved Bruem nordre. Profilene består av ett måleutlegg hver og de er plassert etter hverandre langs ryggen, men med et mellomrom på ca. 90 m.

Fjelloverflaten varierer mellom 66 og 81 m o.h. i profil 12 og mellom 66 og 72 m o.h. i profil 13. I profil 12 er fjelloverflaten lavest i sydvest og høyest langs nordøstligste del. I profil 13 er fjelloverflaten lavest ved midten. I profil 12 er løsmassemektheten størst lengst sydvest med 14 m. De nordøstligste 80 m varierer mektigheten i området 2-5 m. I profil 13 er mektigheten størst ved midten med ca. 18 m, mot syd avtar den til 13 m og mot nord 16 m. Det er et overflatesjikt i profilene med seismisk hastighet 500-650 m/s. I profil 12 er tykkelsen 2-3 m, men lengst nordøst kommer materiale med høyere hastighet helt til overflaten. I profil 13 er overflatesjiktet 3-4 m tykt langs sydlige del av profilet, men mektigheten øker til 8 m mot nordenden. Overflatelaget regnes å bestå av sand og grus. I løsmassene under ser hastigheten ut til å variere i området 1000-1600 m/s. Avsetningen består trolig vesentlig av morenemateriale med variabel sammensetning.

Seismisk hastighet i fjell er beregnet å være 4900 m/s i profil 12 og 4800 m/s i profil 13.

Profil 14-18 er målt på den store ryggformen som gjennomskjæres av Ogna ved Brandseggfossen. Profil 14-16 er målt på Brandsegg syd for elva, mens profil 17 og 18 er på Fossem og Røysing nord

for elva. Profilene er kun målt med ett kabelutlegg hver, men profil 14 er forlenget ut til fjernskudd i begge ender og profil 18 er forlenget mot nord. Fjelloverflaten synes å være forholdsvis jevn i området. Langs profilene på Brandsegg varierer fjelloverflaten mellom 51 og 58 m o.h., mens den langs profilene ved Fossem og Røysing er mellom 46 og 53 m o.h. Løsmassemekktigheten er i området 43-54 m i profil 14, 52-59 m i profil 15 og ca. 46 m i profil 16. Ved Fossem er mektigheten bestemt til 51-60 m og ved Røysing 61-68 m.

Under hele ryggen ser det ut til å være et morenelag nederst med seismisk hastighet som varierer i området 1800-2200 m/s. I profil 14, som er målt langs en slak ryggform som går på tvers av hovedryggen, er det bare et 2-4 m tykt overflatelag med hastighet 600 m/s over morenen. Nordover langs profil 15 øker mektigheten av materiale over morenen fra 4 m til 19 m, og den fortsetter å være rundt 20 m videre nordover langs profil 16. I profil 17, som er målt på tvers av ryggen, en nedre morene ca. 20 m under terrengnivå i øst på ryggen, økende til 30 m mot vest. Langs profil 18 er mektigheten over nedre morene 20-28 m. I materialet over den nedre morenen er det nokså variabel hastighet langs profilene. Det synes imidlertid å være to hastighetsområder, ett med verdier 500-800 m/s og ett med verdier 1000-1300 m/s. De lave verdiene indikerer sand- og grusavsetninger over grunnvannsnivå. De høyere verdiene representerer trolig moreneinnblandet materiale, men med dårligere kornpakning og lavere vanninnhold enn morenen under. Morenedominert materiale opptrer i nordlige del av profil 15, i profil 17 og i nordlige del av profil 18.

Seismisk hastighet i fjell langs profilene er gjennomgående rundt 5000 m/s.

3.4. Egge (S1-S3)

Sondering S1 og S2 er lokalisert til sydlige del av seismikkprofil 36 målt i 1982. Sondering S3 er plassert ca. 35 m syd for nordenden av det 270 m lange profilet. Seismikken indikerer at løsmassemekktigheten er 30-32 m i sydlige del av profilet. Fjell-overflaten skråner oppover mot nord de nordligste 100 m av profilet og løsmassemekktigheten avtar fra 35 m til ca. 20 m. Rett under sonderingspunkt S3 er dyp til fjell ca. 25 m. Et 2-5 m tykt overflatelag har seismisk hastighet 600-900 m/s. Hastigheten i materialet under er bestemt til ca. 1600 m/s unntatt lengst nord hvor den er beregnet å være 1450 m/s.

Sonderingene ble utført for å få utfyllende informasjon om løsmassetyper i avsetningen. Tolkningsmodeller og sonderingskurver med tilpassede modellkurver er vist i fig. 2. Sonderingskurvene indikerer at det er minimum 3 resistivitetslag. Overflatelaget har høyere resistivitet enn underliggende løsmasser. Nederste lag med høy resistivitet regnes å være fjell. Måleverdiene for sondering S1 og S2 viser at det er svært inhomogene resistivitetsforhold i overflatematerialet, og det kan ikke trekkes opp en sammenhengende tolkbar sonderingskurve for AB/2-verdier under 8 m. (Måleverdiene for disse AB/2-avstandene er utelatt i sonderingskurvene.) I kurvetilpasningene er det antatt at overflatelaget er homogent med resistivitet 300-400 ohmm. I underliggende løsmasser synes resistiviteten å være 100-115 ohmm. Også i nord ved sondering S3 er resistiviteten i det nedre løsmasselaget bestemt til ca. 100 ohmm. Mens overflatelaget i syd er ca. 3 m tykt, er det beregnet å være 1,2 m i nord ved S3, men resistiviteten er øket til ca. 900 ohmm.

Resistivitetsverdien rundt 100 ohmm indikerer at avsetningen består av vannmettet materiale med høyt finstoffinnhold, hovedsakelig silt.

Tolkningene viser total løsmassemekktighet på henholdsvis vel 29 m, nær 28 m og vel 18 m. Sondering S2 og spesielt S3 indikerer

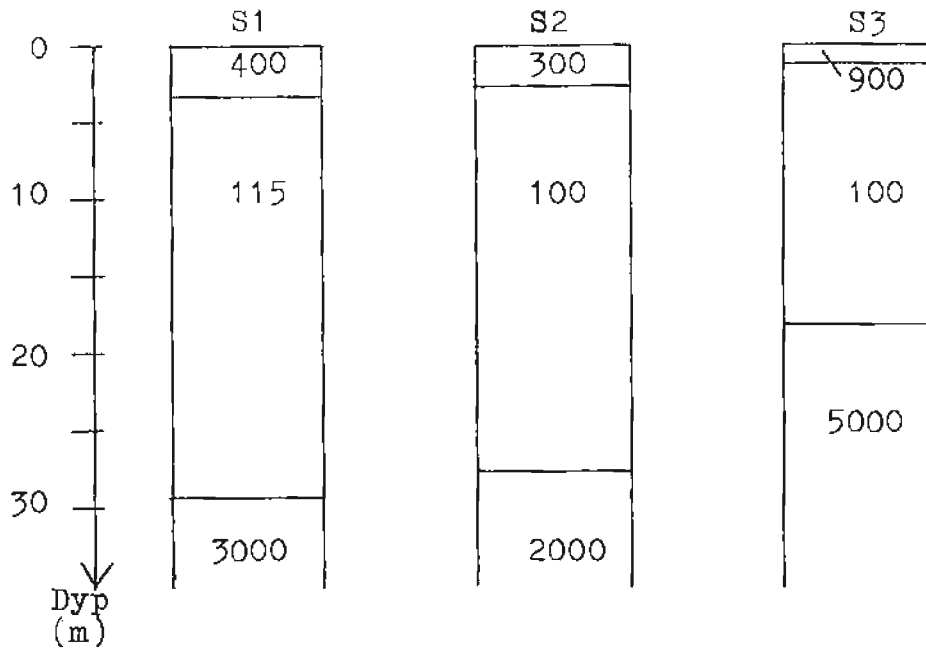
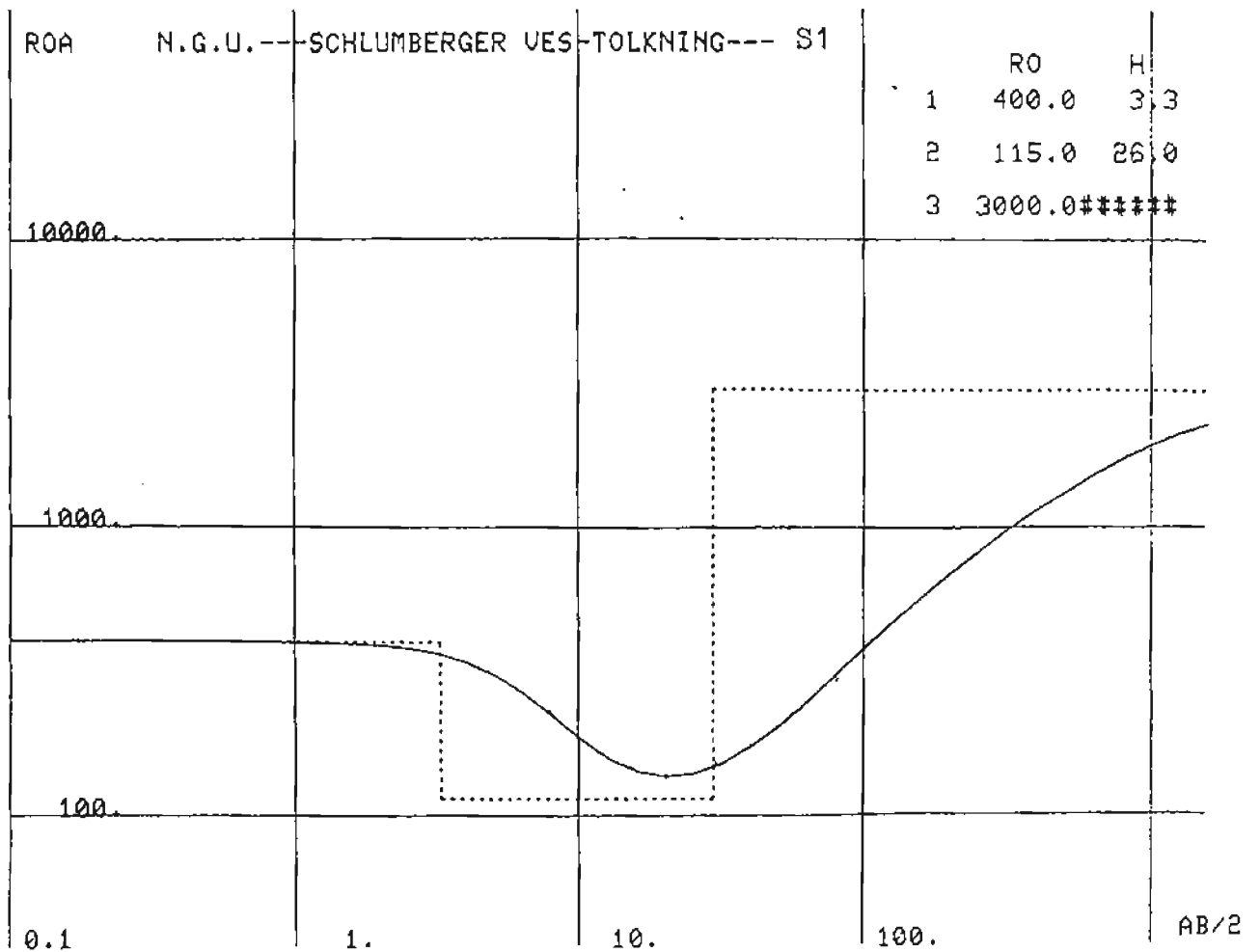
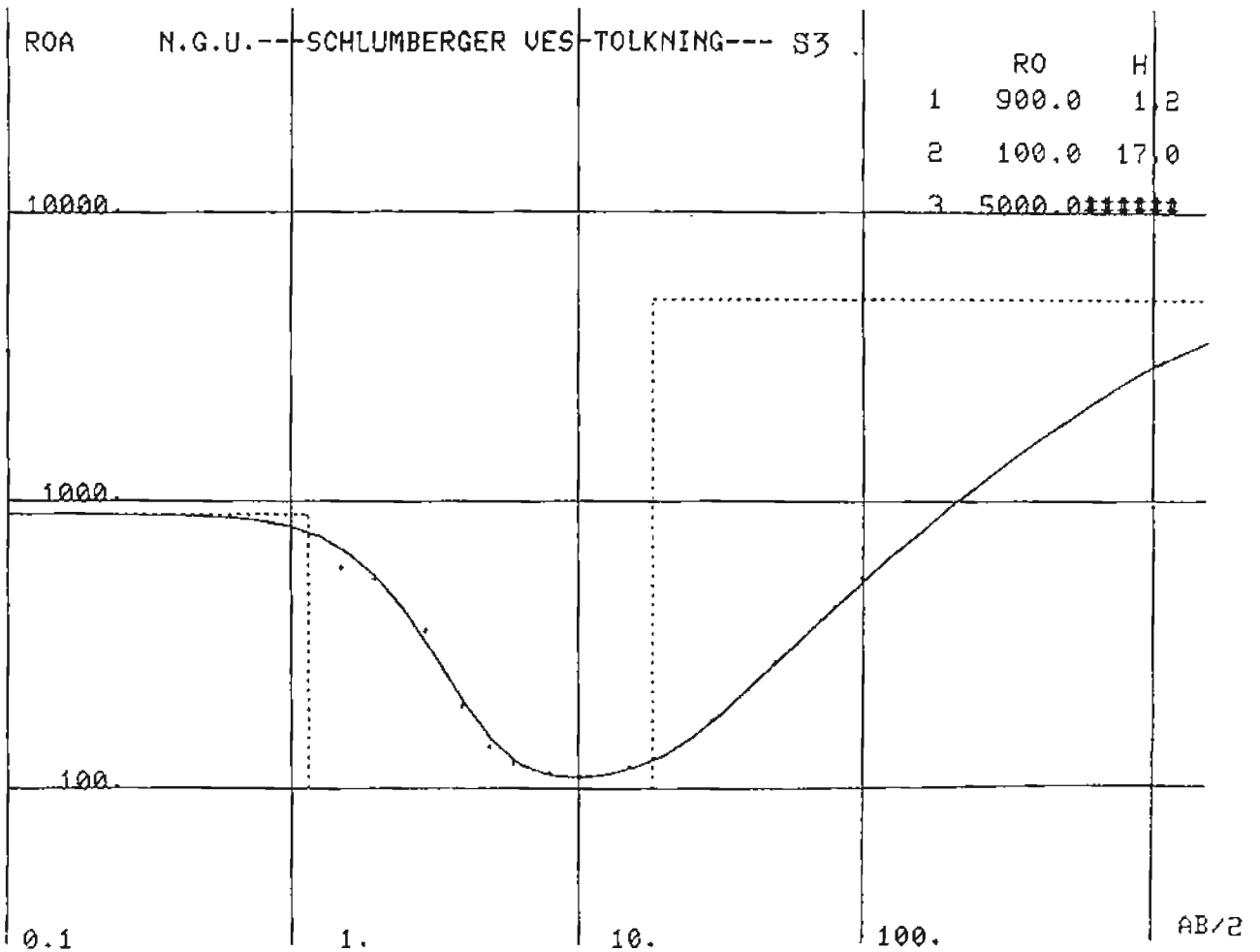
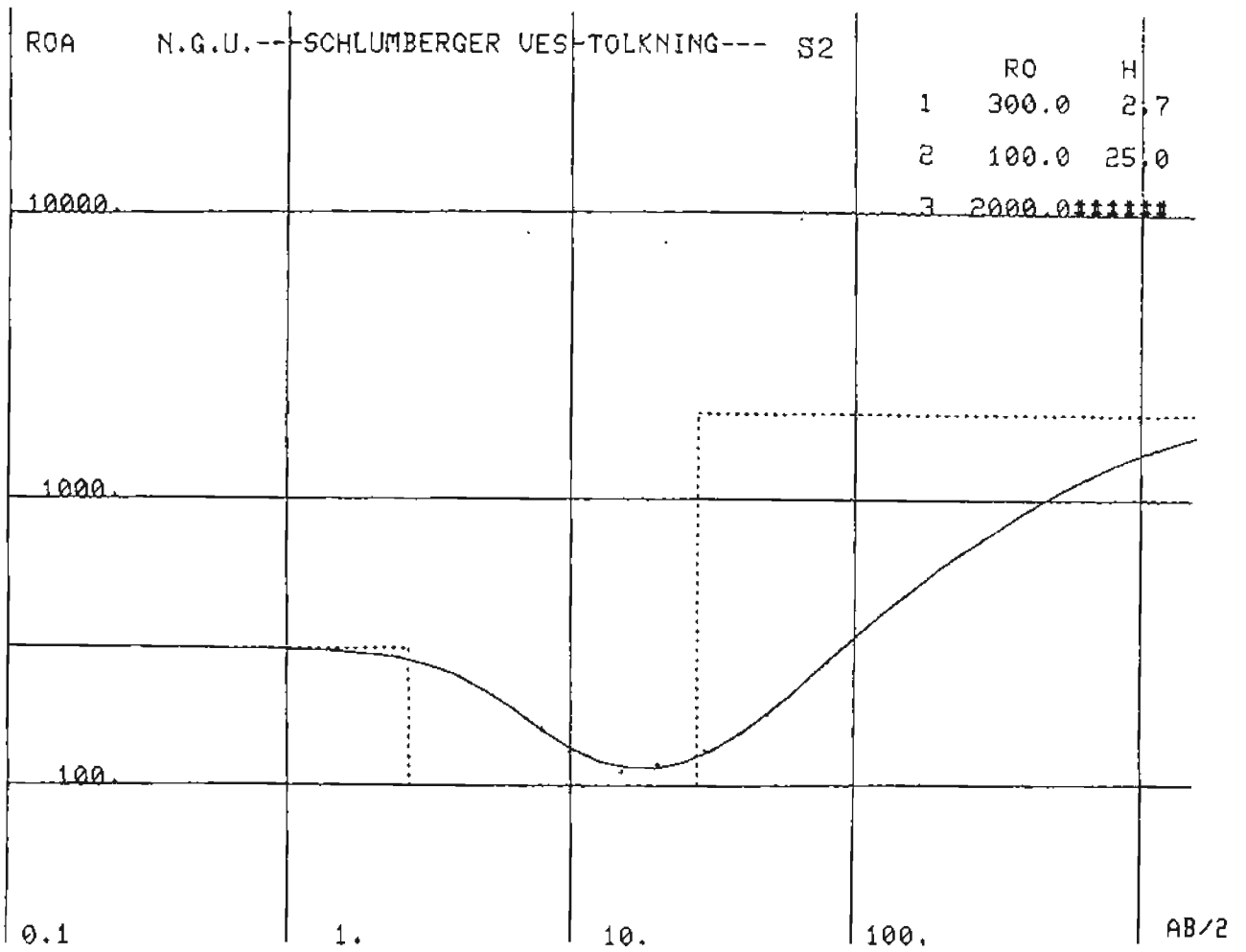


Fig. 2a. S1-S3 - Tolkningsmodeller
(Resistivitet er angitt i ohmm)

Fig. 2b. S1-S3 - (Nedenfor og neste side)
Sonderingskurver (plottet) og
tilpassede modellkurver (heltrukket)





altså mindre løsmassemekthet enn seismikken gir. I dette området regnes det at seismikken gir den sikreste mektighetsangivelsen. Det er flere mulige forklaringer på uoverensstemmelsen. For tolkningen av S2 kan mektigheten økes ved at sjiktet med resistivitet 100 ohmm splittes i to med et øvre 4-5 m tykt lag med resistivitet 70 ohmm mens materialet under kan ha en verdi på rundt 130 ohmm. Det vil bety at finstoffinnholdet er høyest i øvre del av avsetningen. En annen forklaring både for S2 og S3 kan være at det nærmest fjell er et løsmasselag med betydelig høyere resistivitet enn overliggende materiale. Skrånende fjell-overflate under S3 vil imidlertid også bidra til at løsmassemektheten og resistivitet i underliggende lag (fjell) blir usikkert bestemt.

Trondheim, 18. januar 1988
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
Geofysisk avdeling

Jan Fredrik Tønnesen
Jan Fredrik Tønnesen
forsker

4. REFERANSER

- Kihle, O.: VESABS - Et program for interaktiv tolkning av vertikale elektriske sonderinger. EDB-dokumentasjon 1978-02, NGU.
- Tønnesen, J.F.: Seismiske målinger over en del ryggformer innenfor kartblad Stiklestad. NGU rapport 1876.
- Tønnesen, J.F.: Seismiske målinger på land innenfor kartbladene Stiklestad og Steinkjer i 1982. NGU rapport 84.130

REFRAKSJONSSEISMIKK - METODEBESKRIVELSE

Metoden grunner seg på at lydens forplantningshastighet forandrer seg med mediets elastiske egenskaper. Det aktuelle hastighetsområde i den såkalte ingeniørseismikk er fra ca. 200 m/s (meter pr. sekund) i visse typer porøst overdekke til godt over 5000 m/s i enkelte bergarter.

En "lydstråle" fra en sprengning i overflaten treffer en grense mellom 2 sjikt hvor lydhastigheten er henholdsvis V_1 og V_2 , og vinkelen mellom lydstråle og innfallslodd kalles i . Etter at strålen har passert sjiktgrensen vil den danne en vinkel R med innfallslodden, slik at

$$\frac{\sin i}{\sin R} = \frac{V_1}{V_2} . \text{ Når } R \text{ blir } = 90^\circ, \text{ vil den refrakterte stråle følge}$$

sjiktgrensen og vi har $\sin i = \frac{V_1}{V_2}$

Den bestemte innfallsvinkel som tilfredsstiller denne betingelse kalles kritisk vinkel eller i_c .

Lydforplantningen langs sjiktgrensen vil gi årsak til sekundærbølger som returnerer til terrengoverflaten under vinkelen i_c . I en viss kritisk avstand fra skuddpunktet vil disse refrakterte bølger nå frem før de direkte bølger som har fulgt terrengoverflaten. Den kritiske avstand er proporsjonal med dyppet til sjiktgrensen og forøvrig bare avhengig av forholdet mellom de to hastigheter. Denne sammenheng utnytter en ved å plassere seismometre langs en rett linje i terrenget og registrere de først ankomne bølger fra skudd i hensiktsmessig valgte posisjoner i samme linje. En får da bestemt de nødvendige data for å fastlegge dypene til sjiktgrensen. Dersom overdekket er homogent med hensyn på lydhastigheten langs profilet, kan en oppnå en god dybdebestemmelse for hver seismometerposisjon. Imidlertid vil det ofte være betydelige laterale variasjoner til stede, og overdekkehastighetene blir ved små dyp bare bestemt i nærheten av skuddpunktene. Ofte vil det derfor være naturlig å legge størst vekt på dybdebestemmelsen under skuddpunktene.

Disse betraktninger kan utvides til å gjelde flere sjiktgrenser. En får refrakterte bølger fra alle grenser når hastigheten i det underliggende medium er større enn i det overliggende. Kontrasten må være av en viss størrelse, og vinkelen mellom sjiktgrense og terrengover-

flate må ikke være for stor. I praksis vil en gjerne få vanskeligheter når denne vinkel overstiger 25°.

Det forekommer at en sjiktgrense ikke avspiller seg i de opptegnede diagrammer, fordi de refrakterte bølger fra denne grense når overflaten senere enn fra en dypere grense. Det foreligger da en såkalt "blind sone", og de virkelige dybder kan være vesentlig større enn de beregnede. En annen feilkilde er til stede hvis lyden på sin vei nedover i jordskorpen treffer et sjikt med lavere hastighet enn det overliggende. Fra denne sjiktgrense vil det aldri komme refrakterte bølger opp igjen til overflaten, og lavhastighetsjiktet vil derfor ikke kunne erkjennes av måledataene. De virkelige dyp vil være mindre enn de beregnede. Generelt må en si at usikkerheten i de beregnede dyp øker med antall sjikt.

Dersom det ikke opptrer systematiske feil som beskrevet ovenfor, er erfaringsmessig usikkerheten i dydeberegningene under 10% for dyp større enn 10 m og 1 m for mindre dyp. De største hastighetsendringer opptrer ved overgangen "tørre"/vannmettede løsmasser og overgangen løsmasser/fjell. Medenfor er angitt seismisk hastighetsområde for de mest vanlige løsmassetyper. Spesielt under grunnvannsnivå er det betydelig hastighetsoverlapp mellom løsmassetypene.

Soner med lave hastigheter i fjell skyldes som regel oppsprukket (dårlig) fjell. Normalt er hastigheten i fast fjell i området fra 4000 til godt over 5000 m/s.

LYDHASTIGHETER I DE MEST VANLIGE LØSMASSETYPER

Organisk materiale		150 - 500 m/s
Sand og grus	- over grunnvann	200 - 800 "
Sand og grus	- under "	1400 - 1600 "
Morene	- over "	700 - 1500 "
Morene	- under "	1500 - 1900 "
Hardpakket bunnmorene		1900 - 2800 "
Leire		1100 - 1800 "

VERTIKALE ELEKTRISKE SONDERINGER (VES) -METODEBESKRIVELSE

Elektriske dybdesonderinger (VES) benyttes for å kartlegge undergrunnens elektriske motstandsforhold. Målingene er foretatt med Schlumberger elektrodekonfigurasjon (se fig.). Strøm sendes i bakken ved hjelp av to strømelektroder A og B, og elektrisk potensialforskjell måles mellom to potensialelektroder M og N. Ut fra målt potensialdifferens, målt strømstyrke og en geometrisk faktor bestemt av elektrodeplasse- ringene kan elektrisk motstand i undergrunnen beregnes.

Ved homogene og isotrope forhold er denne størrelsen lik materialets resistivitet eller spesifikke motstand (ρ) med enhet ohm m. I de aller fleste tilfeller har ikke undergrunnen homogene motstandsforhold og verdien som beregnes fra målingene vil være en tilsynelatende resistivitet (ρ_a , a=apparent). Ved å flytte strømelektroden A og B stegvis utover oppnås stadig dypere strøminntrengning og den beregnede tilsynelatende resistivitet vil i økende grad være påvirket av resistiviteten i dypere liggende lag. Etter hvert som avstanden AB øker, reduseres potensialdifferansen mellom M og N, og signal/støy-forholdet avtar. Dette problemet løses ved også å øke avstanden mellom potensialelektroden (MN) noen få ganger i løpet av en sondering. Når MN-avstanden økes blir det målt om igjen på minst de to siste (største) AB-avstandene fra forrige MN-verdi.

Måleresultatene plottes i et dobbellogaritmisk diagram med tilsynelatende resistivitet langs vertikal akse og $AB/2$ -avstand langs horisontal akse. Kurvesegmenter kan nå trekkes opp for hver MN-avstand som er benyttet. Kurvesegmentene vil som regel ikke være helt sammenfallende for overlappende $AB/2$ -avstander. Dette har to årsaker. Ved endring av MN-avstanden innføres en liten feil kalt "Wenner-effekten" som er avhengig av elektrodegeometri og geologiske forhold. Effekten kan relativt lett korrigeres. Spesielt for steile sonderingskurver vil korreksjonen være nødvendig, mens feilen ofte vil være neglisjerbar for mindre motstandskontraster. Dårlig samsvar mellom kurvesegmentene skyldes som regel hovedsakelig laterale inhomogeniteter mellom potensialelektroden. Dette korrigeres for ved å forskyve hvert kurvesegment langs vertikalaksen til det gir god overlapp med foregående segment. På

denne måten kan det oppnås en sammenhengende sonderingskurve. De korrigerte sonderingsdata er lagt inn på NGUs dataanlegg og er "tolket" ved bruk av kurvetilpasningsprogrammet VESABS. I programmet legges inn en geologisk modell, bestående av planparallelle lag og med angivelse av resistivitet (ρ) og tykkelse (h) for hvert lag. Programmet beregner den teoretiske sonderingskurven som modellen gir. Modellen justeres slik at det oppnås best mulig tilpasning mellom den teoretiske modellkurven (heltrukket) og den målte sonderingskurven (plottet).

En slik tolkning er ikke entydig og det er vesentlig to forhold som kan gjøre tolkningene usikre. Det ene som kalles likeverdighet eller ekvivalens skyldes at et lags tykkelse og resistivitet kan variere innenfor visse grenser, men ha tilnærmet samme innvirkning på sonderingskurven. For et høymotstandslag som ligger mellom to lag med lavere motstand er det produktet av lagets resistivitet og tykkelse ($\rho \cdot h$) som bestemmer kurveformen og ikke de to størrelser hver for seg. For et lavmotstandslag som ligger mellom to lag med høyere motstand vil kurveformen være bestemt av forholdet mellom lagets tykkelse og resistivitet (h/ρ). Ekvivalensproblemet er spesielt stort ved store resistivitetskontraster og/eller dersom laget er tynt i forhold til overliggende materiale.

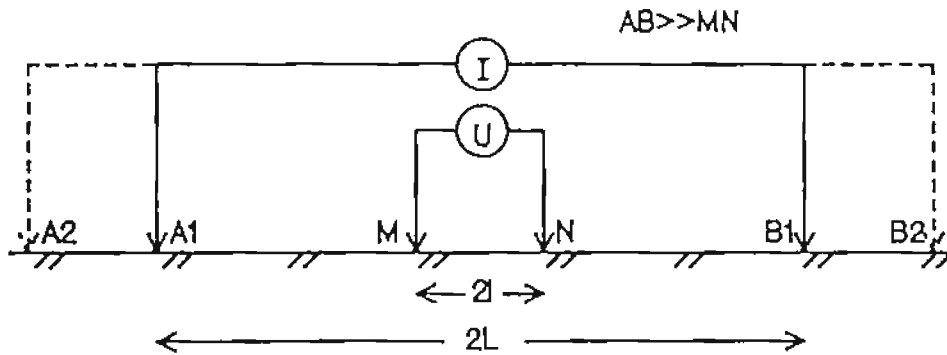
Det andre forhold som skaper tolkningsproblemer skyldes undertrykking (suppresjon) av et lag. Når lagets resistivitet har en verdi som ligger imellom de to omgivende lag, vil laget ikke kunne erkjennes av sonderingskurven hvis det ikke er tykt nok. Suppresjonsproblemet er størst ved store resistivitetskontraster. Den kritisk minste lagtykkelse som kan erkjennes vil også være avhengig av overliggende mektighet og vil være størst når resistiviteten i laget ligger nærmest resistivitetsverdien for underliggende materiale.

Anisotropi i det geologiske materiale kan også føre til feiltolkninger. Inhomogene forhold i grunnen kan dessuten medføre at sonderingskurvene ikke kan tolkes med de modelltyper som benyttes.

For å redusere flertydigheten er det viktig å benytte den geologiske informasjon som forøvrig finnes når tolkningsmodellene bygges opp.

På neste side er vist resistivitetsområdene for de mest vanlige materialtyper.

Schlumberger elektrodekonfigurasjon:



$$\rho_a = \pi \frac{L^2 - l^2}{2l} \cdot \frac{U}{I}$$

Tegnforklaring:

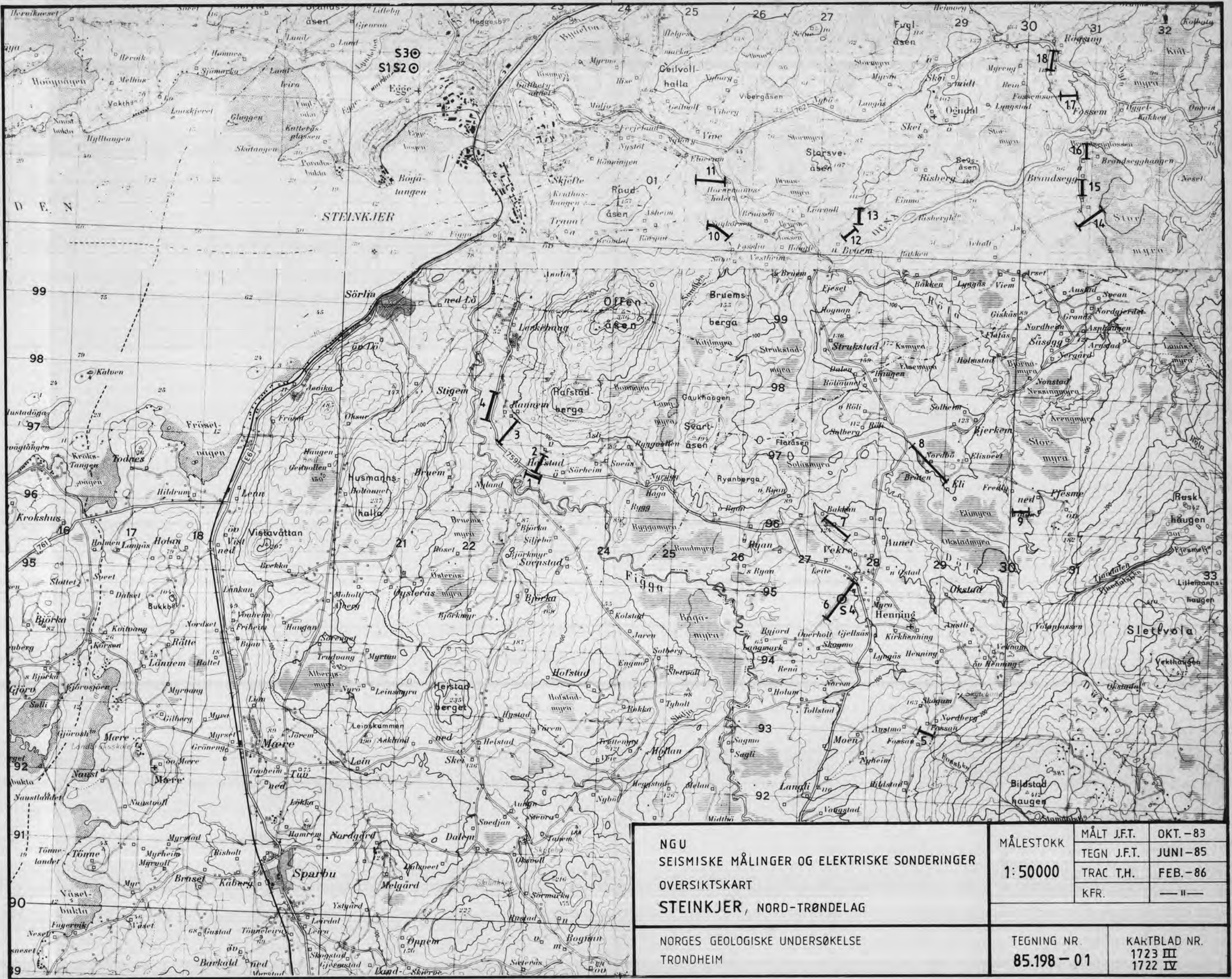
A OG B : STRØMELEKTRODER
M OG N : POTENSIALELEKTRODER

(I) : AMPEREMETER

(U) : VOLTMETER

Spesifikk motstand (resistivitet) i noen geologiske materialer:

Materiale	Spesifikk motstand (ohm m)					
	1	10	100	1000	10000	100000
Leire, salt	[Horizontal line from 1 to 10]					
Leire, utvasket	[Horizontal line from 10 to 100]					
Silt, våt	[Horizontal line from 100 to 1000]					
Sand, vannm.	[Horizontal line from 1000 to 10000]					
Grus, vannm.	[Horizontal line from 1000 to 10000]					
Grus, tørr	[Horizontal line from 10000 to 100000]					
Morene	[Horizontal line from 100 to 10000]					
Fjell	[Horizontal line from 1000 to 10000]					


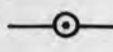


NGU SEISMISKE MÅLINGER OG ELEKTRISKE SONDERINGER OVERSIKTSKART STEINKJER, NORD-TRØNDELAG	MÅLESTOKK	MÅLT J.F.T.	OKT. - 83
	1: 50000	TEGN J.F.T.	JUNI - 85
		TRAC T.H.	FEB. - 86
		KFR.	— II —
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 85.198 - 01	KARTBLAD NR. 1723 III 1722 IV	



FJORDEN

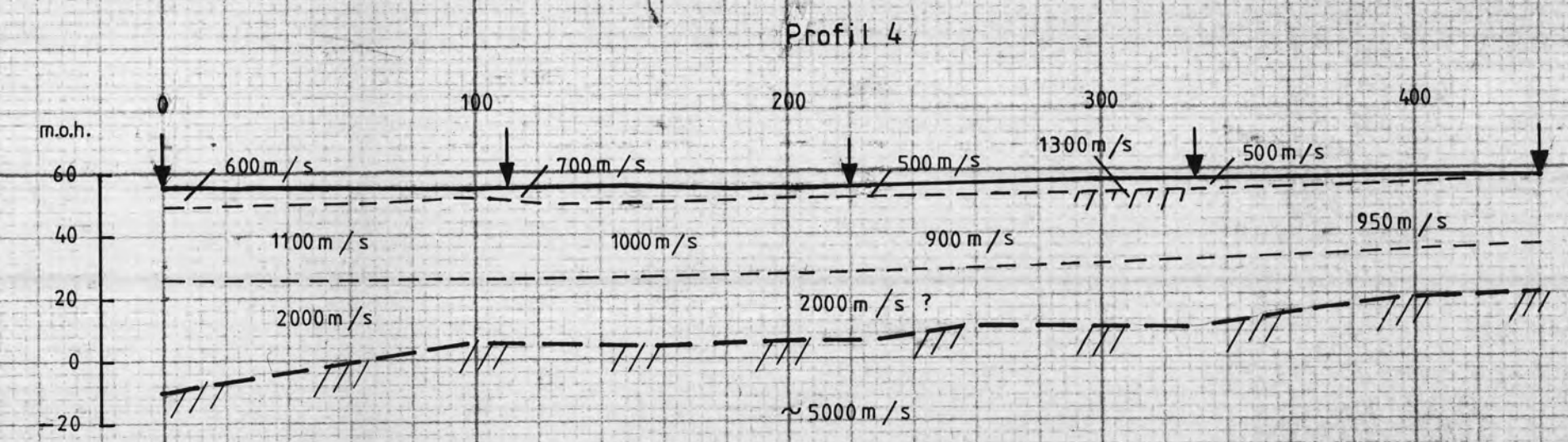
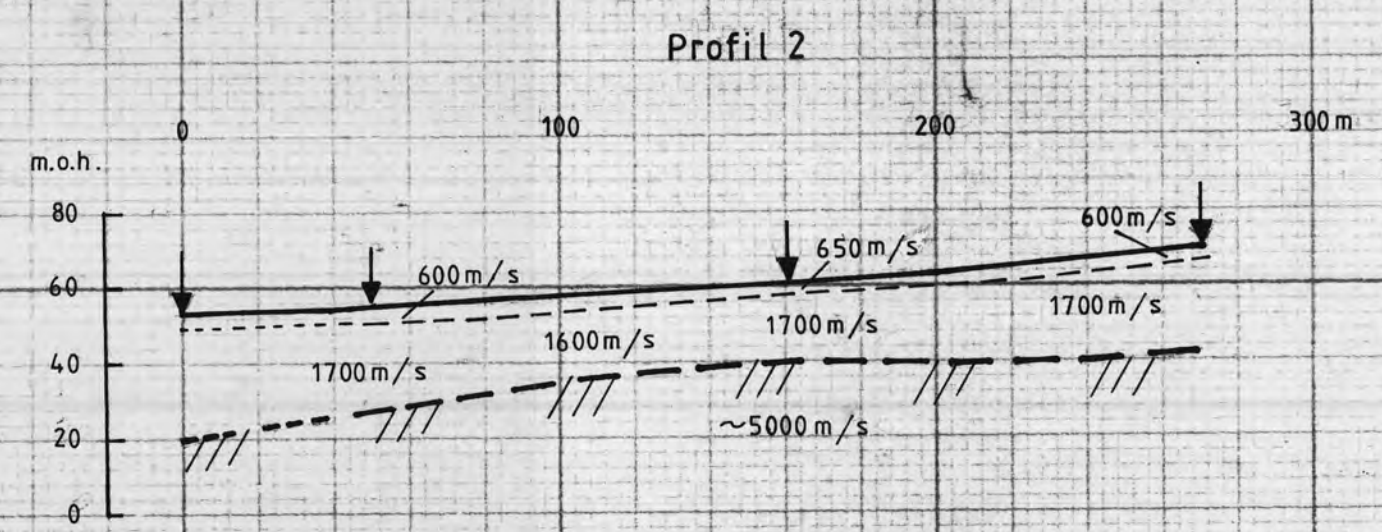
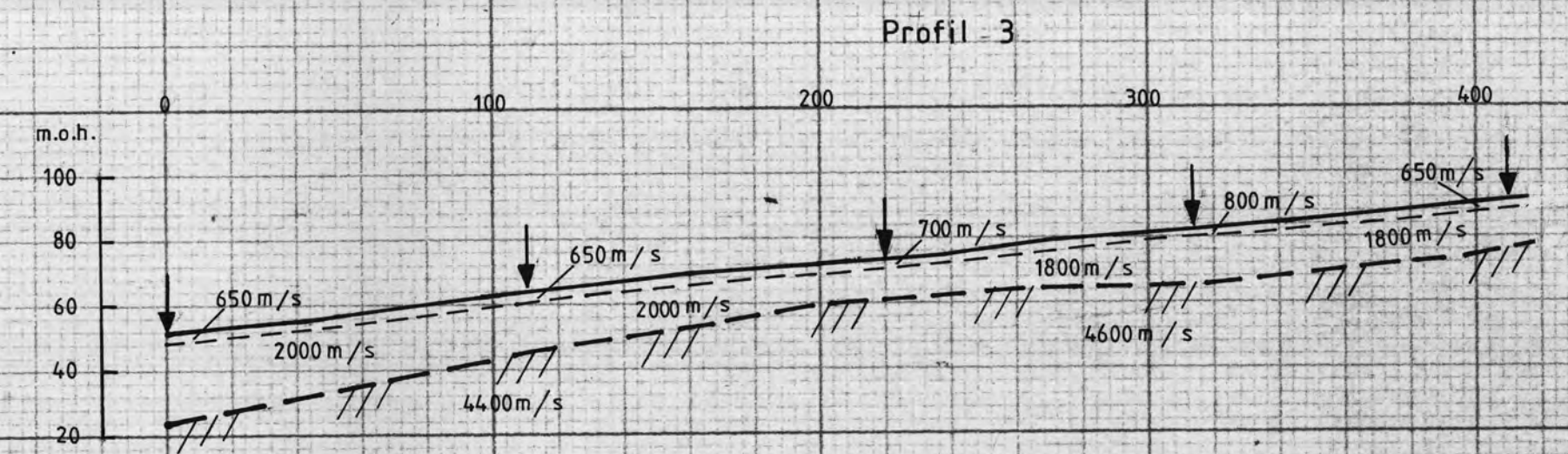
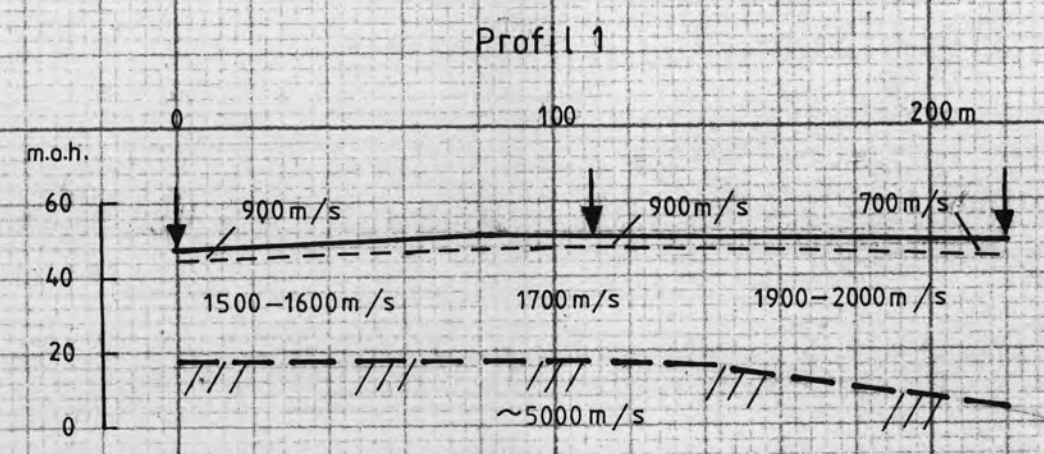
TEGNFORKLARING:

-  Seismisk profil
-  Elektrisk sondering med orientering

0 220m

NGU SEISMISKE MÅLINGER OG ELEKTRISKE SONDERINGER OVERSIKTSKART STEINKJER, NORD-TRØNDELAG	MÅLESTOKK	OBS. J.F.T.	OKT. - 83
	1:20000	TEGN. J.F.T.	JUNI - 85
		TRAC. T.H.	FEB. - 86
	KFR.		— II —
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KARTBLAD NR.	
	85.198-02	1723 III	1722 IV

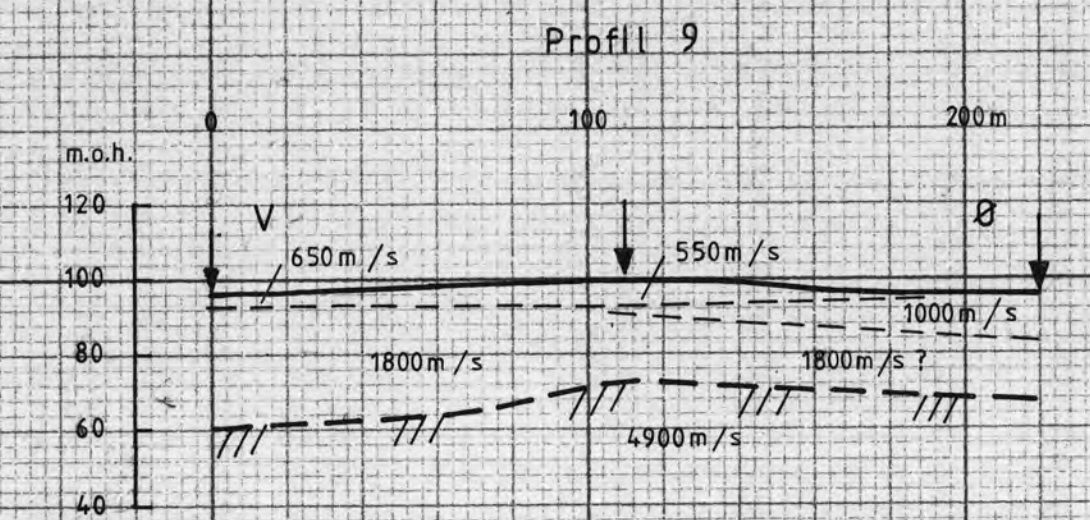
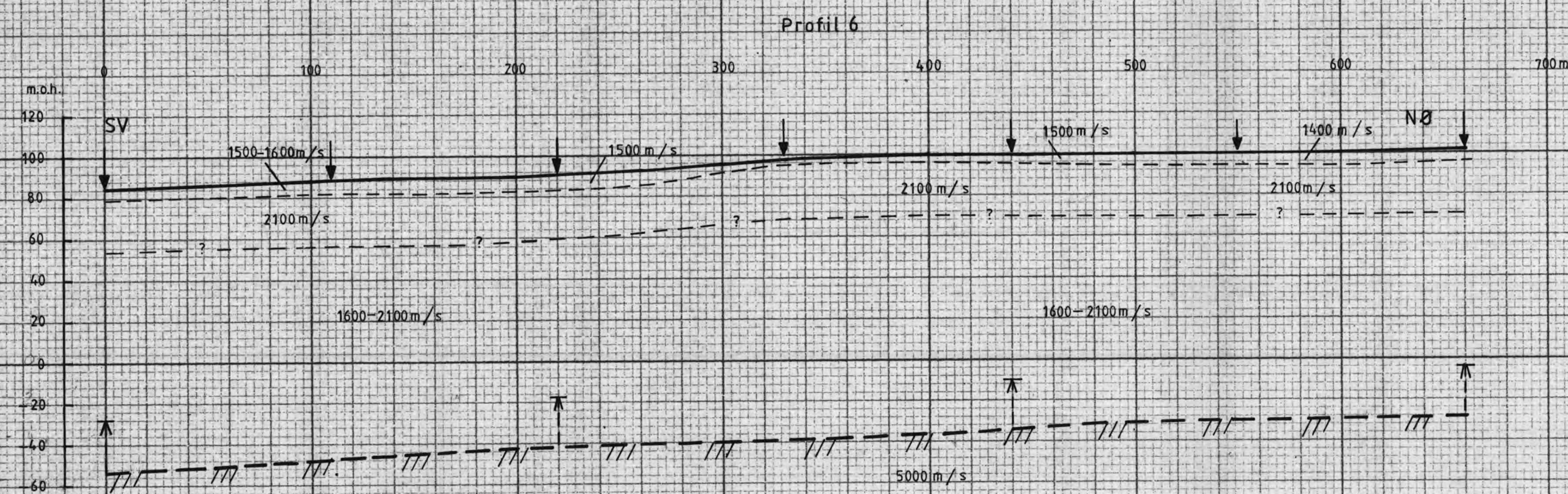
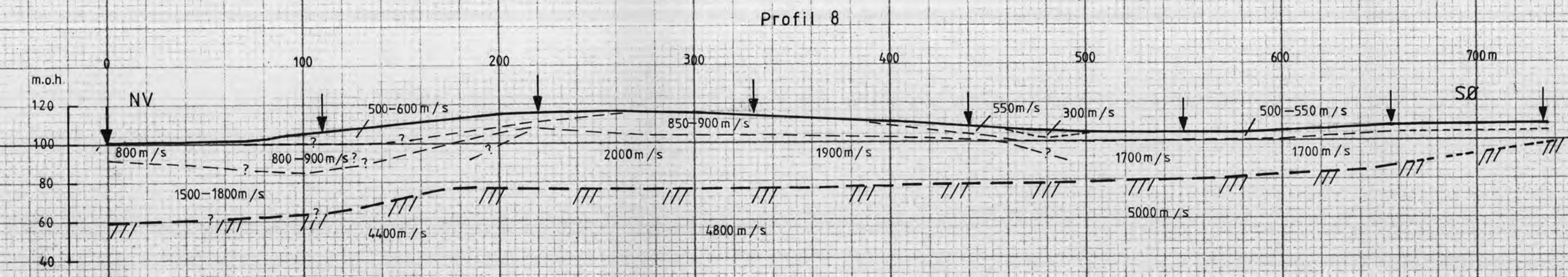
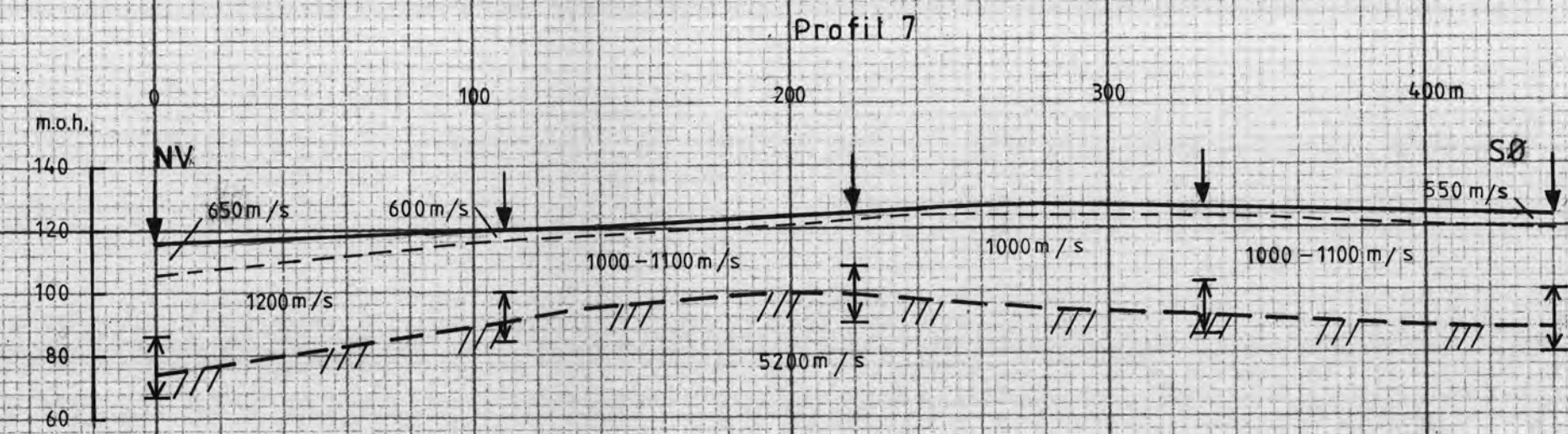
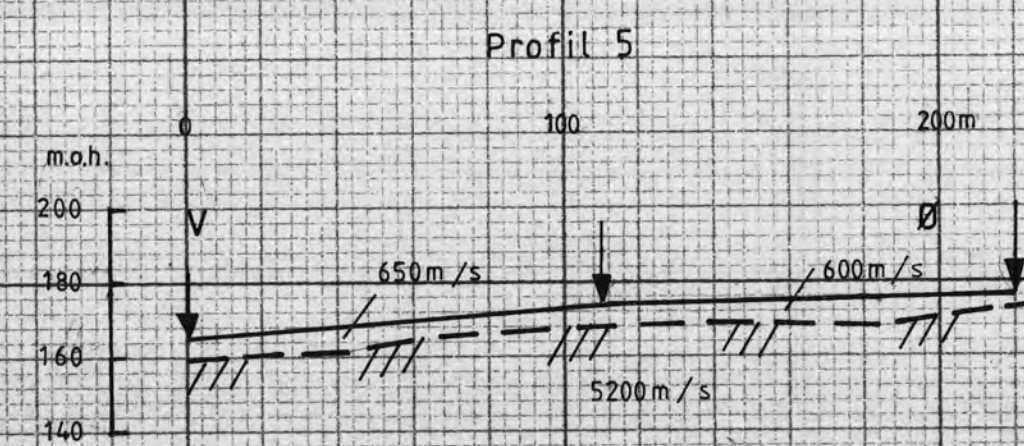
Elva 25-30 m.o.h.



TEGNFORKLARING

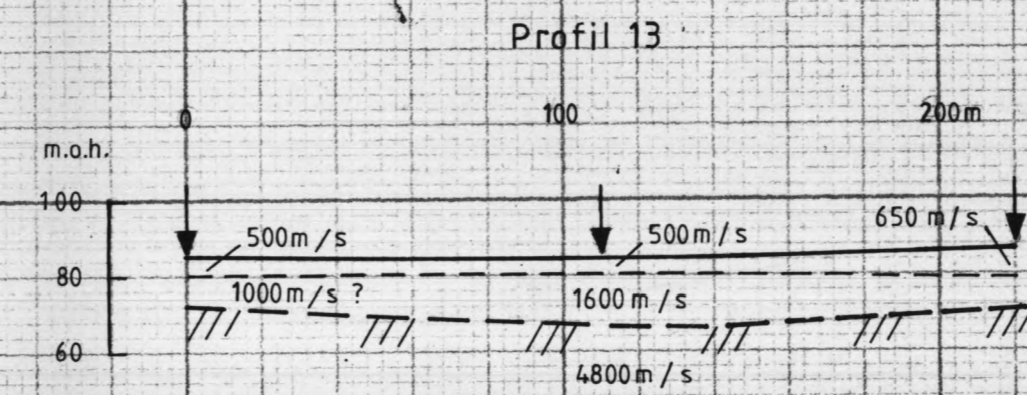
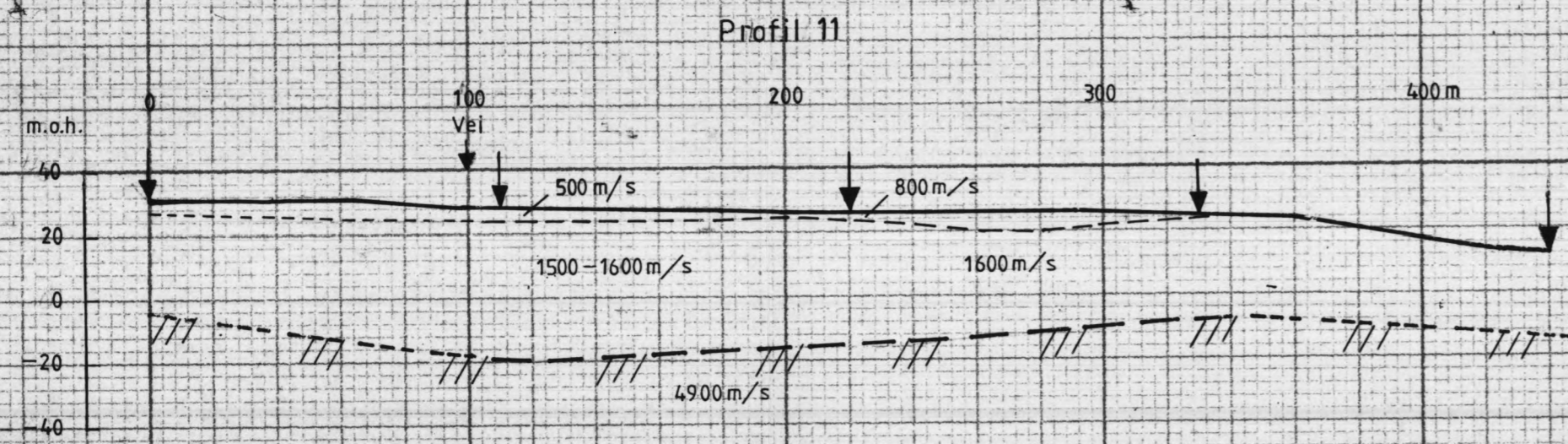
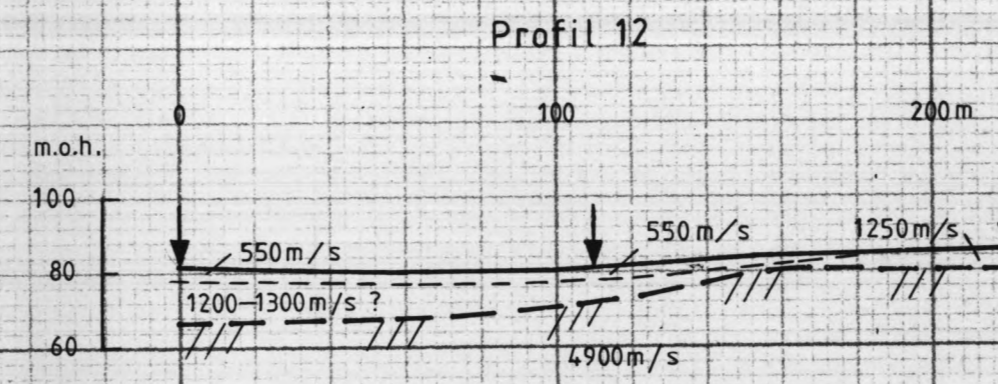
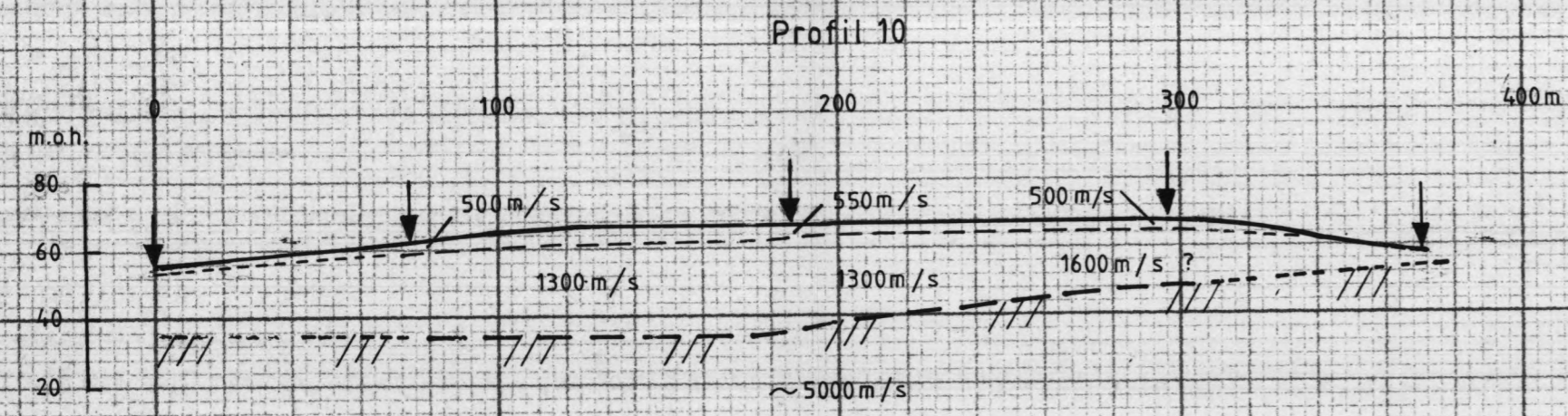
- Terrangoverflate med skuddpunkt
- Sjiktgrense i løsmasse
- Beregnet fjelloverflate
- Usikker fjelloverflate
- Tynt høyhastighets-sjikt

NGU SEISMISKE MÅLINGER GRUNNPROFILER HAFSTAD OG RANNEM, STEINKJER, NORD-TRØNDELAG	MÅLESTOKK	MÅLT J.F.T. OKT.-83
	1:2000	TEGN J.F.T. JUNI-85
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KARIBLAD (A.M.S.)
	85.198-03	1722 IV



- TEGNFORKLARING**
- ↓ Terrengoverflate med skuddpunkt
 - - - - - Sjøktgrense i løsmasse
 - /// Beregnet fjelloverflate
 - /// Usikker fjelloverflate
 - ↑ Maks. mektighet av mulig blandsone med hastighet 2000 m/s
 - ↓ Reduksjon i løsmassemektighet hvis hastighet 1600 m/s i nedre sjikt

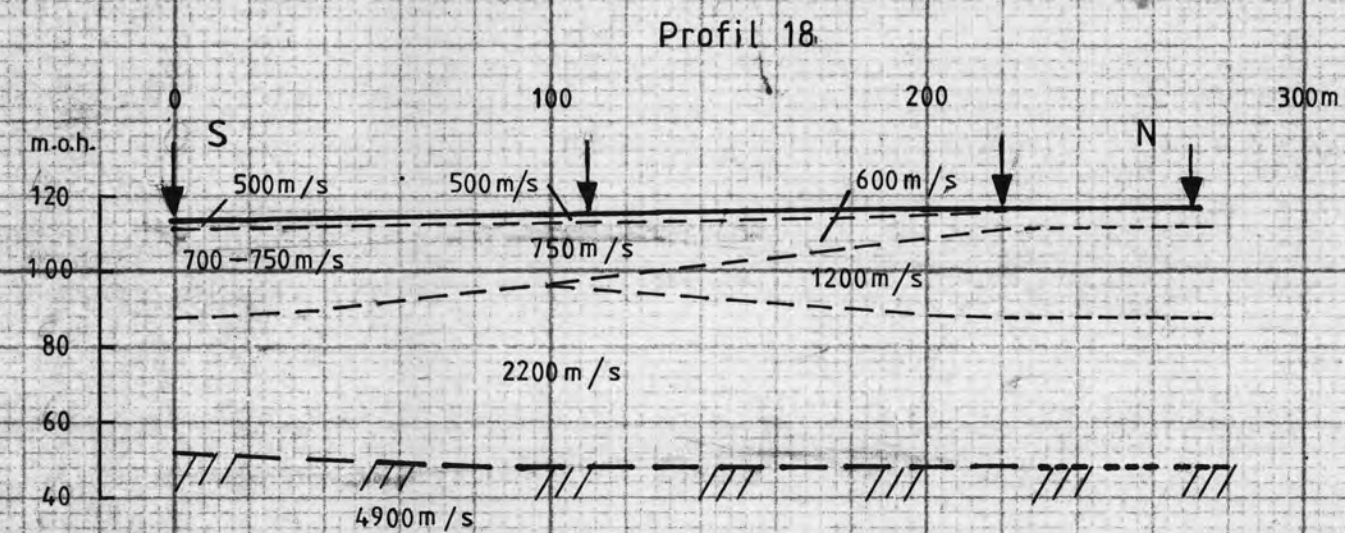
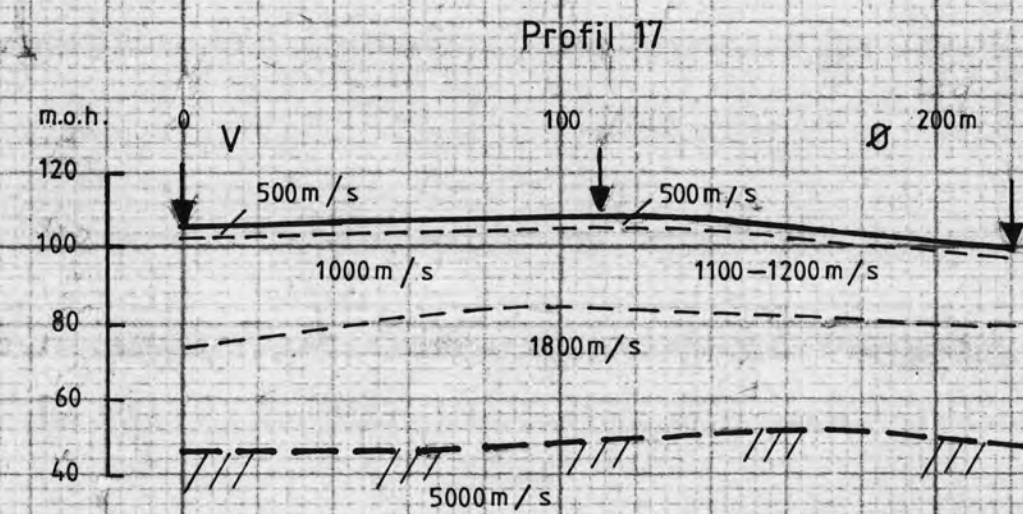
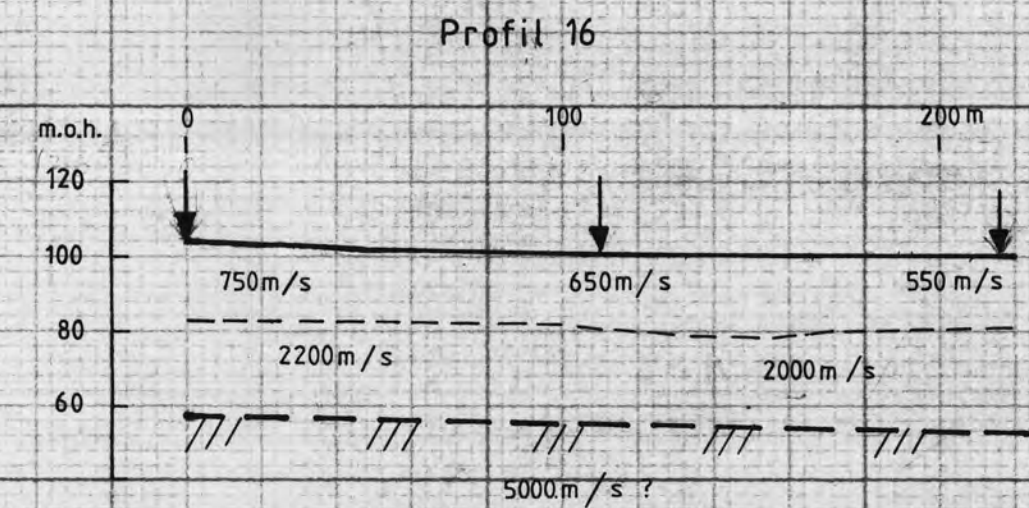
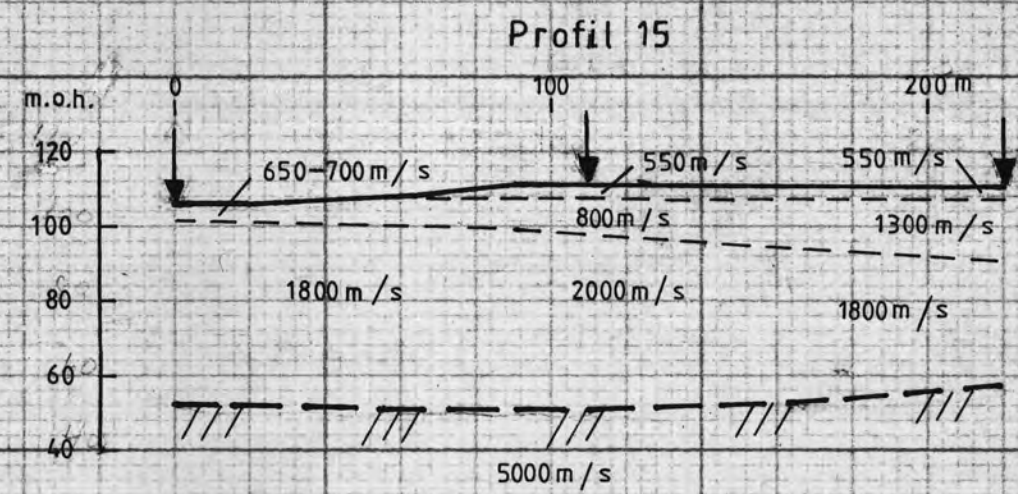
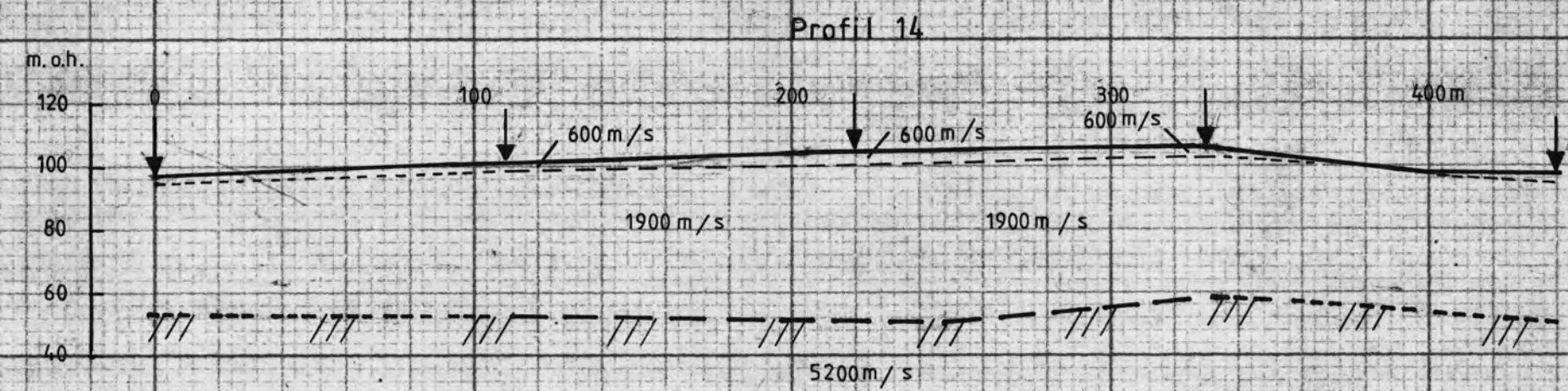
NGU SEISMISKE MÅLINGER GRUNNPROFILER HENNING, STEINKJER, NORD-TRØNDELAG	MÅLSTOKK 1:2000	OBS. J.F.T. OKT.-83 TEGN. J.F.T. JUNI-85 TRAC. T.H. FEB.-86 KPR.
	NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 85.198-04



TEGNFORKLARING

- Terrengoverflate med skuddpunkt
- Sjiktgrense i løsmasse
- Beregnet fjelloverflate
- Usikker fjelloverflate

NGU SEISMISKE MÅLINGER GRUNNPROFILER ØGNDAL, STEINKJER, NORD-TRØNDELAG	MÅLESTOKK	MÅLT J.E.T. OKT - 83
	1:2000	TEGN J.E.T. JUNI - 85
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KARBLAD (AMS)
	85.198-05	1723 III



TEGNFORKLARING

- Terrangoverflate med skuddpunkt
- Siktgrense i løsmasse
- Beregnet fjelloverflate
- Usikker fjelloverflate

NGU SEISMISKE MÅLINGER GRUNNPROFILER OGDAL, STEINKJER, NORD-TRØNDELAG	MÅLESTOKK	MÅLT J.F.T. OKT.-83
	1:2000	TEGN J.F.T. JUNI-85
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	KARTBLAD(AMS)
	85.198-06	1723 III