

Rapport nr. 87.018


Grunnvannsundersøkelse ved  
Dalemark, Verdal kommune.  
Seismiske målinger og  
elektriske sonderinger

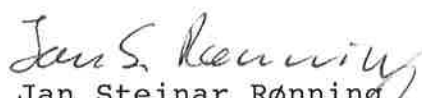
Rapport nr. 87.018		ISSN 0800-3416		Åpen/Erstatning	
<b>Tittel:</b> Grunnvannsundersøkelse ved Dalemark, Verdal kommune. Seismiske målinger og elektriske sonderinger					
<b>Forfatter:</b> Jan Fredrik Tønnesen			<b>Oppdragsgiver:</b> Verdal kommune		
<b>Fylke:</b> Nord-Trøndelag			<b>Kommune:</b> Verdal		
<b>Kartbladnavn (M. 1:250 000)</b> Trondheim			<b>Kartbladnr. og -navn (M. 1:50 000)</b> 1722 IV Stiklestad		
<b>Forekomstens navn og koordinater:</b> Dalemark 32 6302 70839			<b>Sidetall:</b> 22		<b>Pris:</b> kr. 75,-
<b>Feltarbeid utført:</b> 13.-16.05.86		<b>Rapportdato:</b> 03.02.1988		<b>Prosjektnr.:</b> 2200.00.32	
				<b>Seksjonssjef:</b> <i>Jan S. Lønning</i>	
<b>Sammendrag:</b> <p>Etter forespørsel fra Verdal kommune har NGU utført grunnvannsundersøkelser på Dalemarkavsetningen ved østsiden av Leksdalsvatnet. Denne rapporten omhandler de geofysiske undersøkelsene som omfatter 4 refraksjonsseismiske profiler med samlet lengde 1,6 km og 8 elektriske dybdesonderinger.</p> <p>Tolkningene viser at fjelloverflaten ligger dypest i vest ved Leksdalsvatnet i nivå 20 m o.h. og at den skråner forholdsvis jevnt oppover til rundt 80 m o.h. 1 km øst for vatnet. Maksimum løsmassemektighet langs avsetningen avtar fra nær 50 m i vest til 25-30 m i øst. Høyt finstoffinnhold i vestlige del av avsetningen vil hindre direkte kommunikasjon mellom Leksdalsvatnet og grunnvannsmagasinet østover i avsetningen. Mektighet av grunnvannsmagasin som ligger over tette løsmasser (silt og leire og/eller finstoffrik morene) er av størrelse 10 m og mindre langs østlige halvdel av avsetningen, men kan være noe større lengst øst.</p> <p>Det konkluderes med at Dalemarkavsetningen ikke vil være egnet som hovedvannkilde for Verdal kommune. Dersom avsetningen er av interesse for lokal vannforsyning til Leksdalen-området, anbefales det at oppfølgende undersøkelser blir foretatt på østlige del av avsetningen.</p>					
Emneord		Refraksjonsseismikk		Grunnvannsforsyning	
Geofysikk		Hydrogeologi			
Elektrisk måling		Løsmasse		Fagrapport	

## FORORD

I forbindelse med planlegging av ny vannforsyning for Verdal kommune er det gjennomført en hydrogeologisk forundersøkelse ved Dalemark. Undersøkelsen er i stor grad basert på geofysiske målinger og rapporten er derfor utarbeidet ved NGU, Avdeling for geofysikk. Det formelle ansvar for undersøkelsen og rapporteringen tilligger NGU, Seksjon for hydrogeologi og alle konklusjoner/anbefalinger er framsatt i samarbeid mellom G. Storrø, Seksjon for hydrogeologi og J.F. Tønnesen, Avdeling for geofysikk.

Trondheim, 27. april 1988

  
Bernt Malme  
Kst. seksjonssjef  
Hydrogeologi

  
Jan Steinar Rønning  
Kst. seksjonssjef  
Geofysikk

INNHOOLD

	Side
1. INNLEDNING	4
2. KONKLUSJON	5
3. UTFØRELSE	6
4. RESULTATER OG DISKUSJON	7
4.1. Seismiske målinger	7
4.2. Vertikale elektriske sonderinger	9
4.3. Sammenfattende vurdering	12
5. REFERANSER	13

TEKSTBILAG

- Bilag 1: Refraksjonsseismikk - Metodebeskrivelse
- 2: Vertikale elektriske sonderinger (VES) - Metodebeskrivelse
- 3: Modellering av vertikale elektriske sonderinger

KARTBILAG

- 87.018-01 Oversiktskart (M 1:50.000)
- 02 Oversiktskart - Utførte målinger (M 1:5.000)
- 03 Refraksjonsseismikk - Tolkede profiler



## 1. INNLEDNING

Etter forespørsel fra Verdal kommune har NGU utført grunnvannsundersøkelser (forundersøkelser) på Dalemarkavsetningen ved østsiden av Leksdalsvatnet (se kartbilag 87.018-01). Avsetningen utgjør dalfyllingen langs den vestligste kilometer av Tjelderdalen (også skrevet Tillerdalen).

Denne rapporten omhandler de geofysiske undersøkelsene NGU har utført på avsetningen. Geofysiske målinger vil som regel utgjøre et av de første ledd i en grunnvannsundersøkelse. Målingene vil gi indikasjoner på om en avsetning kan være egnet for grunnvannsmål og hvilke områder som bør prioriteres ved oppfølgende hydrogeologiske undersøkelser.

Undersøkelsene omfatter både refraksjonsseismiske målinger og vertikale elektriske sonderinger (VES), også kalt elektriske dybdesonderinger. Seismikken består av ett lengdeprofil og tre profiler på tvers av dalfyllingen slik at samlet profillengde blir nær 1.6 km. Det er utført 8 elektriske dybdesonderinger. Lokalisering av alle målingene er vist i kartbilag 87.018-02.

Tjelderdalen går i retning østnordøst fra Leksdalsvatnet og er dannet langs en forkastningssone (Wolff 1979). Kvartærgeologisk kart viser at øvre delen av Dalemarkavsetningen består av elve- og bekkeavsatt sand og grus. Materialet er blitt transportert ut fra de store breelvavsetningene som fyller opp dalen til stor høyde i øst og som danner en naturlig demning foran Aspåstjern (Sveian 1981 og 1985). Terrengoverflaten langs Dalemarkavsetningen stiger fra 70 m o.h. i vest ved Leksdalsvatnet til vel 100 m o.h. i øst like foran breelvavsetningene.

Interessen for Dalemarkavsetningen som grunnvannskilde bygger vesentlig på resultater fra en tidligere undersøkelse (Fjeld 1982 og 1983). Den omfatter 7 elektriske dybdesonderinger og en sonderboring.

Resultatene NGU har kommet fram til viser relativt stort avvik fra konklusjoner gitt i den tidligere undersøkelsen både når det gjelder løsmassetyper, mektigheter og fjelltopografi. Årsaken er trolig et noe mangelfullt datagrunnlag i den tidligere undersøkelsen.

Dreneringsområdet for Tjelderdalen er forholdsvis lite og vannvolumet som tilføres Dalemarkavsetningen vil bare kunne dekke vannbehovet for en mindre del av kommunen (Gaute Storrø, pers. medd.). Dersom avsetningen skal brukes som hovedvannkilde for Verdal kommune, må grunnvannsmagasinet også tilføres vann fra Leksdalsvatnet, enten naturlig eller kunstig. Naturlig betyr at grunnvannsmagasinet vil kommunisere direkte med Leksdalsvatnet. Kunstig betyr at vann må pumpes opp og infiltreres i grunnen lengst øst på avsetningen.

## 2. KONKLUSJON

Grunnvannsuttak fra Dalemarkavsetningen vil ikke kunne dekke vannbehovet for Verdal kommune. Høyt finstoffinnhold i vestlige del av avsetningen vil hindre direkte kommunikasjon mellom Leksdalsvatnet og grunnvannsmagasin. Volum av utnyttbart grunnvannsmagasin synes å være betydelig mindre enn tidligere anslått og det regnes å være for lite selv med kunstig infiltrasjon.

Muligheten som gjenstår er å utnytte Dalemarkavsetningen til lokal vannforsyning for Leksdalen-området. Dersom dette er av interesse, anbefales det at oppfølgende undersøkelser blir foretatt østligst på avsetningen og vestover mot midten for sydlige halvdel av avsetningen.

Undersøkelsene viser at fjelloverflaten ligger dypest i vest ved Leksdalsvatnet med nivå ca. 20 m o.h. og at den skråner forholds-

vis jevnt oppover mot øst til rundt 80 m o.h. Maksimum løsmasse-mektighet langs avsetningen avtar fra nær 50 m i vest til 25-30 m i øst. Mektighet av grunnvannsmagasinet som ligger over disse løsmasser (silt og leire og/eller finstoffrik morene) er av størrelse 10 m og mindre langs østlige halvdel av avsetningen, men kan være noe større lengst øst.

### 3. UTFØRELSE

De seismiske målingene ble utført etter vanlig seismisk refraksjonsmetode (se tekstbilag 1). Som registreringsinstrument ble benyttet en ABEM TRIO med 12 kanaler. For de tre tverrprofilene ble det brukt 100 m lange kabelutlegg. Avstanden mellom geofonene var 10 m, men den ble innkortet til 5 m i hver ende av utlegget. Det ble som regel plassert ett skuddpunkt 5 m ut fra hver endegeofon og ett ved midten av hvert utlegg slik at skuddpunktavstanden langs profilene ble 55 m. For lengdeprofilet er tre av de fem kabelutleggene 200 m lange slik at langs disse var geofonavstander og skuddpunktavstander dobbelt så store. Skuddpunkt ble også plassert lenger ut fra kabelendene (fjernskudd) 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 (se tekstbilag 2). Målingene ble utført med instrumentering av typen ABEM Terrameter SAS 300. Målesystemet er konstruert slik at metallelektroder (stål) kan benyttes både som strøm- og potensialelektroder.

Feltarbeidet ble utført av Olaf Olsborg, Gaute Storrø og Jan Fredrik Tønnesen. Øystein Jæger har medvirket i bearbeidelse og tolkning av de geofysiske data.

#### 4. RESULTATER OG DISKUSJON

##### 4.1. Seismiske målinger

Resultatene av de refraksjonsseismiske målingene er framstilt som profiltolkninger i kartbilag 87.018-03. Terreng høyden langs profilene er ikke målt, men er tegnet ut fra kartgrunnlaget. Feil i terrengoverflaten vil medføre tilsvarende feil i nivået for sjiktgrenser og fjelloverflaten.

Tolkningene viser at fjelloverflaten ligger dypest i vest ved Leksdalsvatnet i nivå ca. 20 m o.h. Den skråner forholdsvis jevnt oppover mot øst og kommer opp til rundt 80 m o.h. lengst øst under avsetningen. Maksimum løsmassemekthet langs avsetningen avtar fra nær 50 m i vest til 25-30 m i øst.

Grunnvannsnivå ligger gjennomgående 1-3 m under overflaten unntatt lengst øst hvor overliggende materiale kan utgjøre 5-6 m. Overflatelaget har seismisk hastighet 350-600 m/s og består vesentlig av sand og grus.

Under grunnvannsnivå ser avsetningen ut til å bestå av to lag. I nedre lag er hastigheten i området 2000-2200 m/s, mens den i øvre lag stort sett er 1400-1700 m/s. Det nedre laget er ikke registrert kontinuerlig langs profilene da det dels ligger nær ved og dels i den blinde sone, men ut fra indikasjonene som er gjort regnes det å utgjøre et sammenhengende lag i avsetningen. Den høye hastigheten indikerer at det er kompakt morenemateriale eller sterkt overkonsolidert finkornig materiale. Tilsvarende morenelag av betydelig mektighet er funnet ved seismiske undersøkelser i nærliggende områder, f.eks. nord for Leksdalsvatnet (Tønnesen 1982 og 1984). Sonderboringer utført av NGU på Lundseltas delta i Leksdalsvatnet indikerer at det også der opptrer meget godt konsolidert materiale fra rundt 20 meters dyp (Gjengitt i Fjeld 1982).

Det er bare det øvre vannmettede laget som vil være av interesse for grunnvannsformål. Langs de vestlige ca. 600 m av avsetningen er seismisk hastighet i dette laget 1400-1600 m/s, og mektigheten avtar fra 18-19 m i vest til 10-13 m i øst. Mektigheten synes å være noe mindre inn mot dalsidene. De laveste hastighetsverdiene opptrer lengst vest og dessuten nærmest dalsidene. De laveste verdiene kan indikere at det er høyt finstoffinnhold (silt) i materialet. Generelt vil imidlertid hastigheten i leire, silt, sand og grus ligge i samme område.

Langs den østlige del av avsetningen er det mer inhomogene hastighetsforhold. I området 600-700 m i lengdeprofilet (Pr. 1) ser det ut til at morenemateriale med hastighet 2100 m/s når helt opp til overflatelaget. I området 700-800 m er hastigheten bestemt til 1900 m/s, mens den er 1700 m/s langs østligste del av profilet. Det er ikke registrert materiale med morenehastighet over 2000 m/s her østligst i profilet, men det kan ikke utelukkes å opptre i blind sone dypere enn 13-14 m under grunnvannsnivå. Det kryssende profil 4 viser noe lavere hastighet (1800 m/s) enn beregnet i profil 1, og hastigheten synes å avta noe mot syd. Det er usikkert om det opptrer morenehastighet på over 2000 m/s langs profilet. Sjiktgrensen som er lagt inn vil indikere minimumsdypet til en slik morene, og lengst syd er den da minimum 10 m under grunnvannsnivå. Løsmassemektheten langs profilet må betraktes som en maksimumsverdi. Ved 700 m i profil 1 kommer det ut en fjellrygg fra nord som når opp i vel 80 m o.h. og overliggende løsmassemekthet er kun 15 m. Fjellryggen fortsetter imidlertid ikke sydover langs profil 4 hvor fjelloverflaten kan gå ned til 70-73 m o.h. de sydligste 70 m av profilet. Seismisk hastighet rundt 1700 m/s langs østlige del av profil 1 og sydlige del av profil 4 kan representere morenemateriale som er dårligere pakket. Det regnes imidlertid med at den relativt høye hastigheten skyldes forholdsvis grovt sortert materiale, vesentlig grus, fra breelvavsetningene.

Seismisk hastighet i fjell er i området 4000-4800 m/s langs profil 1 med unntak av de østligste 100 m hvor den er bestemt til

3800 m/s. Langs tverrprofilene er hastighetsanalysen noe problematisk, men tolkningene langs profil 2 og 3 tyder på at det der opptrer to soner med lav hastighet i området 3200-3800 m/s. Dette indikerer at det er to knusningssoner langs forkastningen i vestligste del av Tjelderdalen.

#### 4.2. Vertikale elektriske sonderinger

Resultatene av de elektriske dybdesonderingene er vist i figur 1 som gir en samlet framstilling av alle tolkningsmodellene. I tekstbilag 3 er gjengitt alle sonderingskurvene sammen med de tilpassede modellkurvene.

Sonderingskurvene har et forløp som indikerer minimum 4 resistivitetslag. Et plante- og humuspåvirket overflatelag med mektighet gjennomgående under en meter har relativ lav spesifikk motstand. Høymotstandslaget under representerer resterende materiale over grunnvannsnivå. Løsmassene under grunnvannsnivå vil vise betydelig lavere motstand. Som regel vil underste medium være fjell med høy motstand. I mange tilfeller indikerer sonderingskurvene at løsmassene under grunnvannsnivå må splittes opp i flere resistivitetslag. Resistivitetsverdiene i disse lagene vil være med å avgjøre om avsetningene er av interesse for oppfølgende grunnvannsundersøkelser.

For de tre vestligste sonderingene (E1-E3), som er plassert ved seismikkprofil 2, er det nødvendig å dele avsetningen under grunnvannsnivå i 3 lag for at tolkningsmodellen skal gi god kurvetilpasning og samtidig være i overensstemmelse med resultatene fra seismikken. Nederste løsmasselag som skal representere "morenen", ser ut til å ha resistivitetssområde 120-170 ohmm. Dette tilsier at "morenen" må ha et meget høyt finstoffinnhold (silt og leir). Tilsvarende godt ledende morener er også registrert i Henning-området nord for Leksdalsvatn (Tønnesen

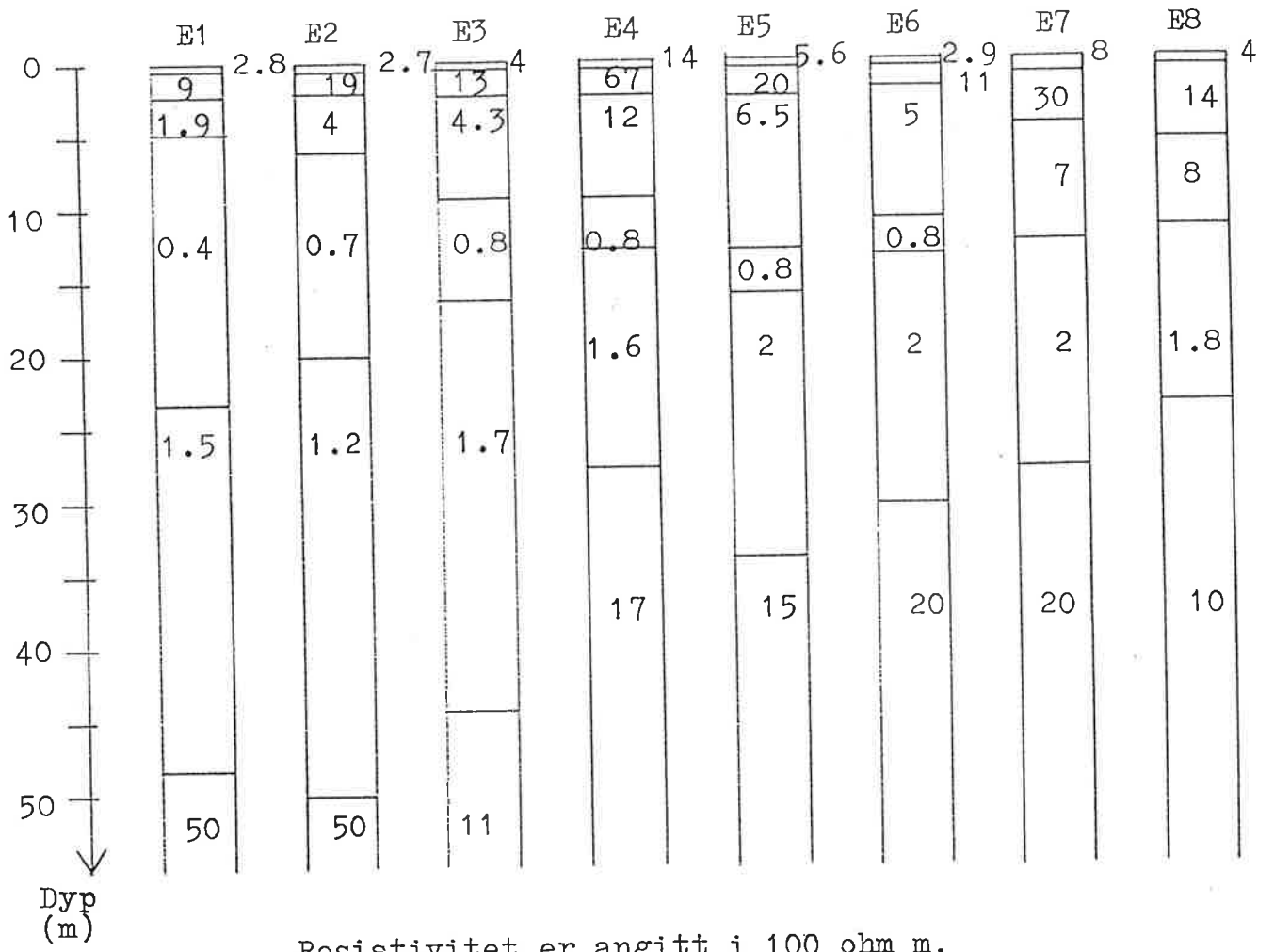


Fig. 1. E1 - E8 , Tolkningsmodeller.

1985, Rønning og Tønnesen 1986). I laget over morenen er resistiviteten anslått å være 40-80 ohmm med lavest verdi i syd ved E1 og høyest i nord ved E3. Materialet må karakteriseres som leire i syd og siltig leire i nord, og denne avsetningen er derfor også uegnet som grunnvannsmedium. Det øverste vannmettede laget er beregnet å ha en mektighet på 2-3 m ved E1, 4 m ved E2 og 7 m ved E3. Ved E1 er resistiviteten anslått til 190 ohmm som indikerer at det er vesentlig silt i laget. Ved E2 og E3 er resistiviteten beregnet til 400 og 425 ohmm. Dette er trolig sand, men verdiene er ganske lave og det regnes derfor med at materialet har et høyt finstoffinnhold (silt og finsand).

Det regnes å være tilsvarende lagdeling ved de tre sonderingene (E4-E6) som er plassert ved seismikkprofil 3. Målingene indikerer at mektigheten av det øverste vannmettede laget øker fra vest mot øst i avsetningen, mens det underliggende lag (silt og leire) avtar. Mektigheten av det øvre laget er tolket å være 7 m ved E4, vel 10 m ved E5 og 9 m ved E6. Resistiviteten i laget ser ut til å avta fra syd mot nord. Ved E4 er den anslått til 1200 ohmm mens den er 650 ohmm ved E5 og 500 ohmm ved E6. Dette indikerer at materialet er grovest i syd og at det er et økende finstoffinnhold nordover i avsetningen. Morenematerialet i det nedre løsmasselaget synes å ha resistivitetsområde 160-200 ohmm her og videre østover i avsetningen.

Ved sonderingspunktene E7 og E8, som er plassert ca. 30 m vest for seismikkprofil 4, er det antatt at det ikke opptrer noe silt/leir-lag over morenen. Tolkningene indikerer at det kan være 11-13 m fra overflaten og ned til godt ledende morene. Resistiviteten i vannmettet lag over er anslått å være i området 700-800 ohmm.



#### 4.3. Sammenfattende vurdering

De elektriske sonderingene indikerer at det er forholdsvis fine og tette løsmasser lengst vest på avsetningen. Det konkluderes derfor med at det vil være svært dårlig kommunikasjon mellom Leksdalsvatnet og grunnvannsmagasinet østover i avsetningen. Overflaten av tette løsmasser (silt og leire) vil dessuten ligge høyere enn Leksdalsvatnet i avsetningen østenfor det midtre seismikk-tverrprofil.

Utbredelse og mektighet av antatt utnyttbart grunnvannsmagasin synes å være betydelig mindre enn tidligere anslått. Utbredelsen vil være begrenset på grunn av for høyt finstoffinnhold i vest og nord på avsetningen og likeledes av morenematerialet som kommer nær overflaten i nordlige del vest for seismikkprofil 4. Det kan ikke utelukkes at morenematerialet ligger som en rygg på tvers av dalen. I så fall kan ryggen hindre fri kommunikasjon mellom grunnvannsmagasin på begge sider. Mektigheten av grunnvannsmagasinet synes å være av størrelsesorden 10 m og mindre vest for seismikkprofil 4, men kan være noe større for østligste del av avsetningen.

Grunnvannsmagasinet må regnes å være for lite til å dekke kommunens vannbehov, selv med kunstig infiltrasjon i avsetningen. Muligheten som gjenstår er å utnytte Dalemarkavsetningen til lokal vannforsyning for Leksdalen-området. Dersom dette er av interesse anbefales det at oppfølgende undersøkelser blir foretatt østligst på avsetningen (øst for seismikkprofil 4), men også videre vestover til seismikkprofil 3 for sydlige del av avsetningen (vesentlig syd for veien).

Trondheim, 3. februar 1988  
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE  
Geofysisk avdeling

*Jan Fredrik Tønnesen*

Jan Fredrik Tønnesen  
forsker

## 5. REFERANSER

- Fjeld, O.K. 1982: Vann og avløpsforhold i Leksdalen. Diplomoppgave i ingeniørgeologi, NTH 1982.
- Fjeld, O. K. 1983: Vann og avløpsforhold i Leksdalen. Kvartærgeologisk innfallsvinkel til spredt boligbygging. Fylkesrådmannen i Nord-Trøndelag, Teknisk avdeling.
- Kihle, O. 1978: VESABS - Et program for interaktiv tolkning av vertikale elektriske sonderinger. EDB-dokumentasjon 1978-02, NGU.
- Rønning, J.S. & Tønnesen, J.F. 1986: Kartlegging av løsmasseavsetninger ved hjelp av geofysikk. Sammenligning av forskjellige elektriske og elektromagnetiske metoder for profilering og dybdesondring. NGU rapport 86.094.
- Sveian, H. 1981: Stiklestad CUV 135136-20, kvartærgeologisk kart, M 1:20 000, NGU.
- Sveian, H. 1985: Leksdalsvatnet CUV 137138-20, kvartærgeologisk kart, M 1:20 000, NGU.
- Sveian, H. 1985: Stiklestad, kvartærgeologisk kart 1722 IV, M 1:50 000, NGU.
- Tønnesen, J.F. 1982: Seismiske målinger over en del ryggformer innenfor kartblad Stiklestad. NGU rapport 1876.
- Tønnesen, J.F. 1984: Seismiske målinger på land innenfor kartbladene Stiklestad og Steinkjer i 1982. NGU rapport 84.130.
- Tønnesen, J.F. 1985: Seismiske målinger og elektriske sonderinger innenfor kartbladene 1722 IV Stiklestad og 1723 III Steinkjer i 1983. NGU rapport 85.198.
- Wolff, F.C. 1979: Beskrivelse til de berggrunnsgeologiske kart Trondheim og Østersund 1:250 000. NGU 353.

REFRAKSJONSSEISMIKK - METODEBESKRIVELSE

Metoden grunner seg på at lydets 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

$$\frac{\sin i}{\sin R} = \frac{V_1}{V_2}$$

Når  $R$  blir  $= 90^\circ$ , 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 dypet 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 overdekkeshastighetene 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  $25^{\circ}$ .

Det forekommer at en sjiktgrense ikke avspeiler seg i de opptegnede diagrammer, fordi de refrakterte bølger fra denne grense når overflaten senere enn fra en dypere grense. Det foreligger da en såkalt "blind sone", og de virkelige dybder kan være vesentlig større enn de 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 lavhastighetssjiktet 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 dybdeberegningene 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. Nedenfor 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 ( $\rho$ ) 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 ( $\rho_a$ , a=apparent). Ved å flytte strømelektroderne A og B stegvis utover oppnås stadig dypere strøminntrengning og den beregnede tilsynelatende resistivitet vil i økende grad være påvirket av resistiviteten i dypereliggende 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 potensialelektroderne (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 korrek-sjonen være nødvendig, mens feilen ofte vil være neglisjerbar for mindre motstandskontraster. Dårlig samsvar mellom kurvesegmentene skyldes som regel hovedsakelig laterale inhomogeniteter mellom potensialelek-troderne. 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 ( $\rho$ ) 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 ( $h/\rho$ ). Ekvivalensproblemet er spesielt stort ved store resistivitetskontraster og/eller dersom laget er tynt i forhold til overliggende materiale.

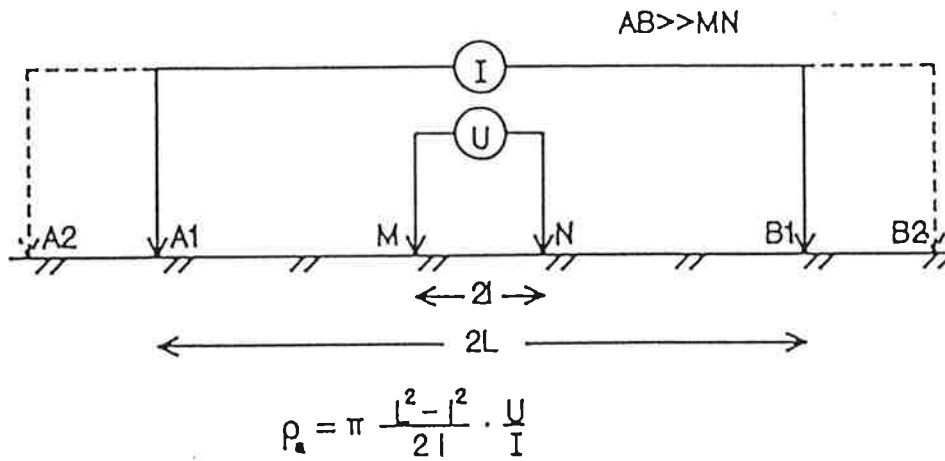
Det andre forhold som skaper tolkningsproblemer skyldes undertrykking (suppresjon) av et lag. Når lagets resistivitet har en verdi som ligger imellom de to omgivende lag, vil laget ikke kunne erkjennes av sonderingskurven hvis det ikke er tykt nok. Suppresjonsproblemet er størst ved store resistivitetskontraster. 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 resistivitetssområdene for de mest vanlige materialtyper.

Schlumberger elektrodekonfigurasjon:



Tegnforklaring:

A OG B : STRØMELEKTRODER  
M OG N : POTENSIALELEKTRODER

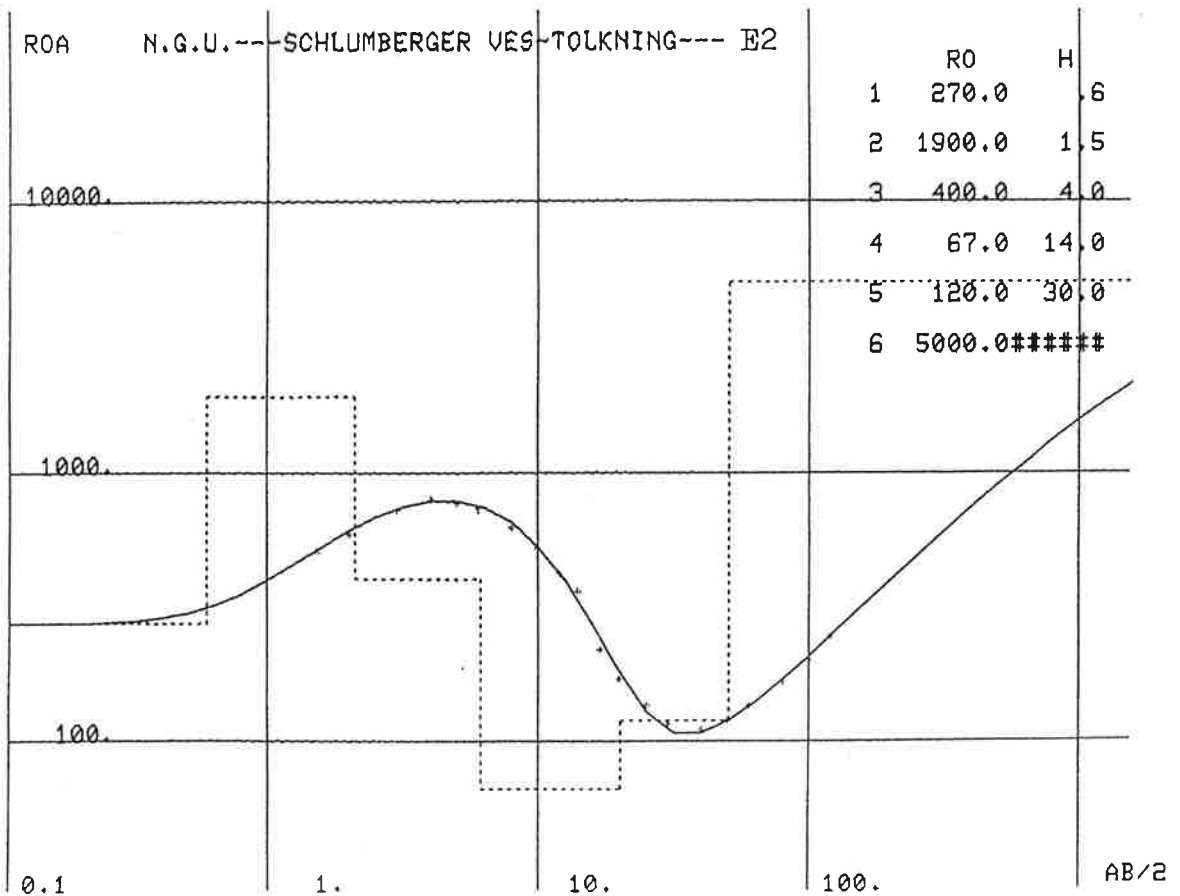
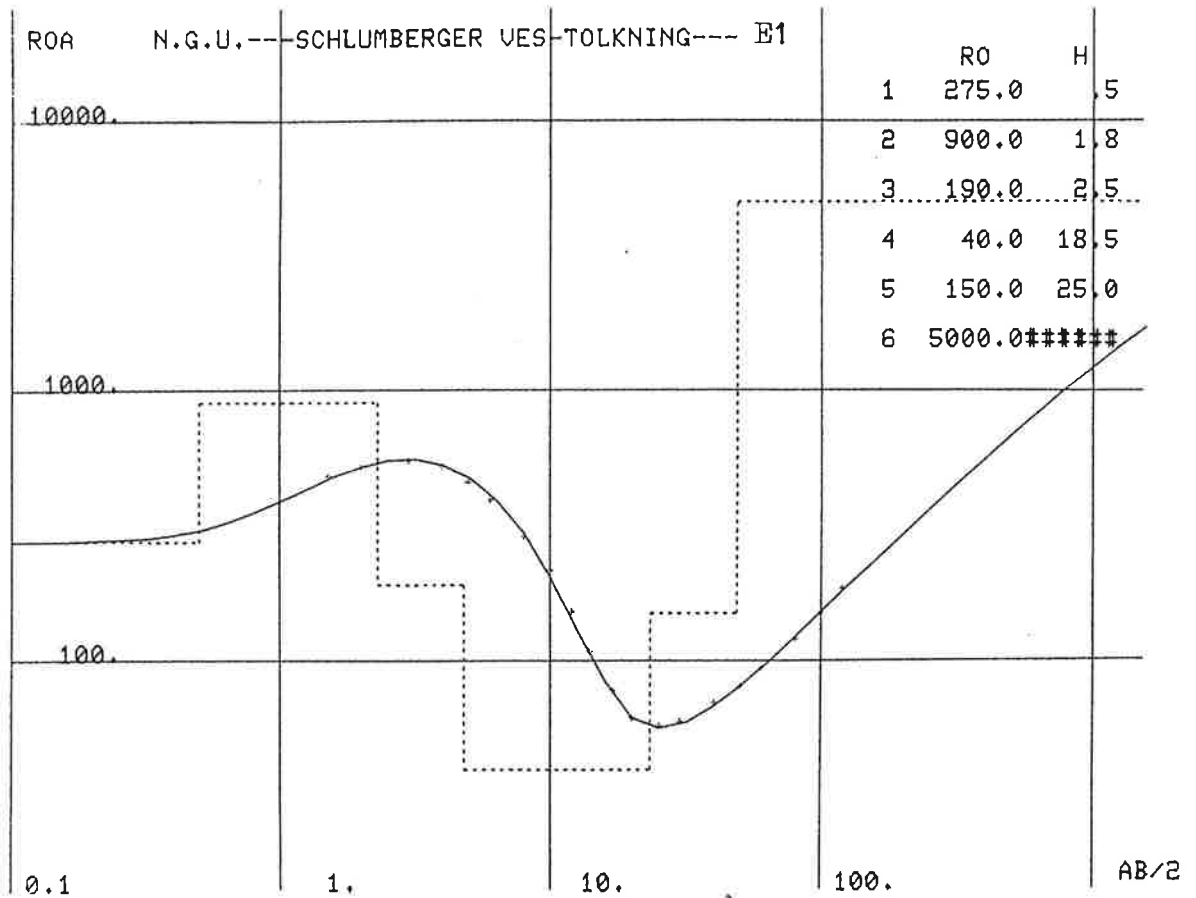
(I) : AMPEREMETER  
(U) : VOLTMETER

Spesifikk motstand (resistivitet) i noen geologiske materialer:

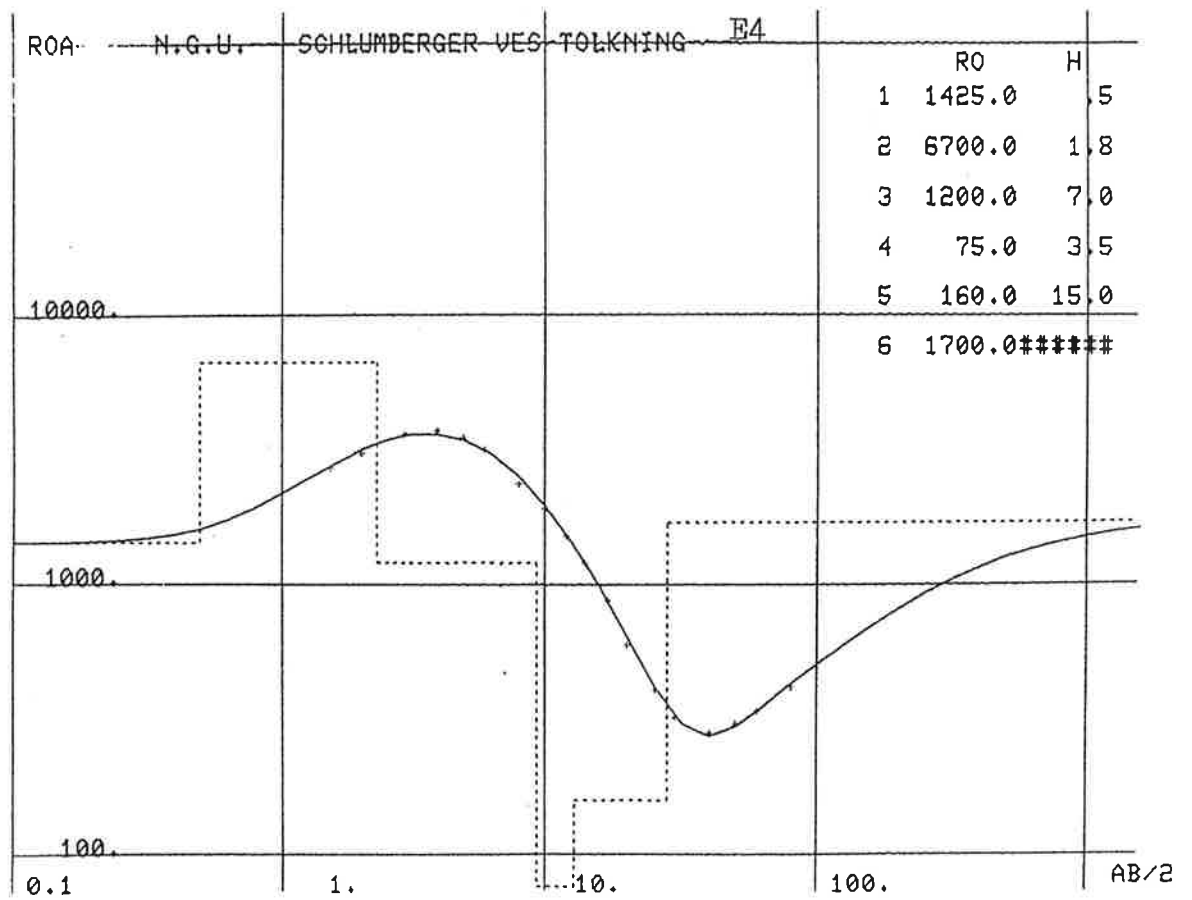
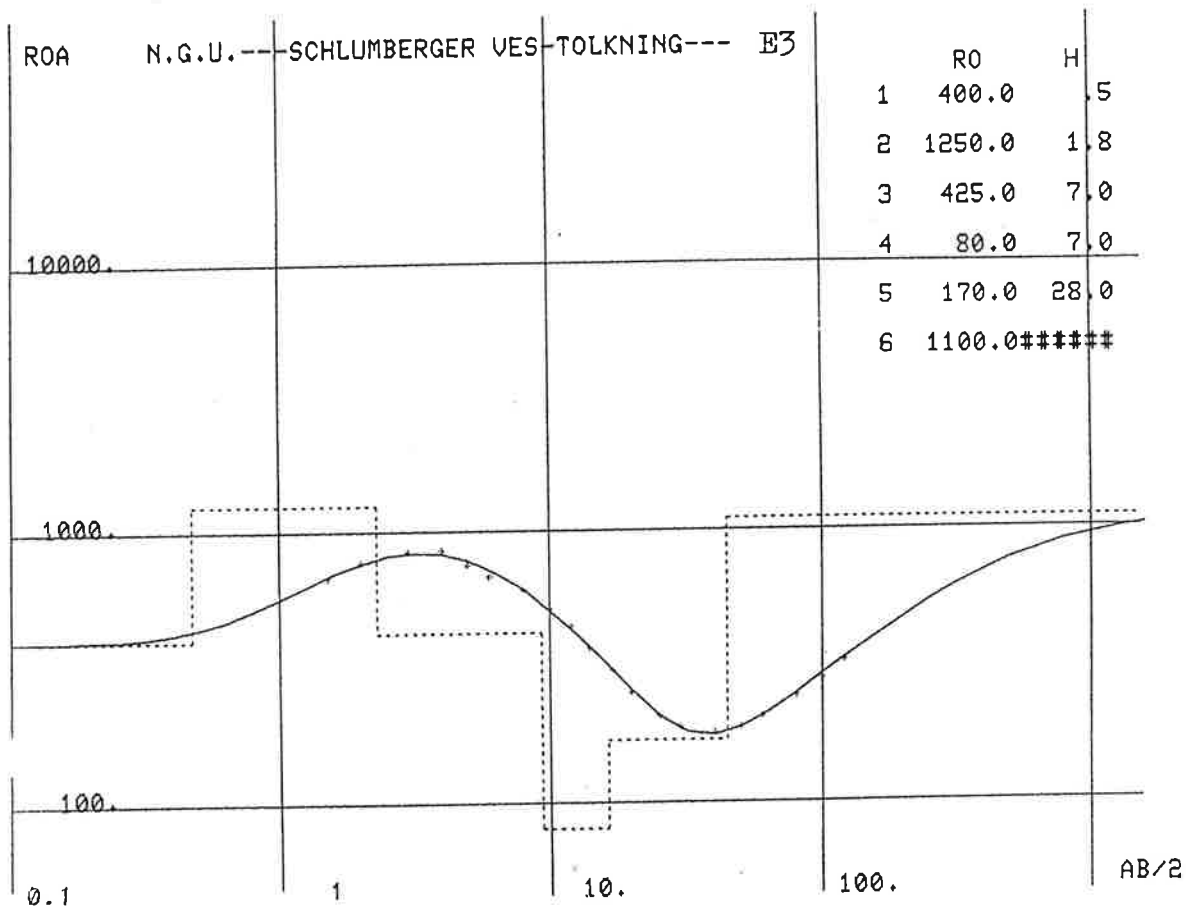
Materiale	Spesifikk motstand (ohm m)					
	1	10	100	1000	10000	100000
Leire, salt	[Horizontal bar from 1 to 10]					
Leire, utvasket	[Horizontal bar from 10 to 100]					
Silt, våt	[Horizontal bar from 100 to 1000]					
Sand, vannm.	[Horizontal bar from 1000 to 10000]					
Grus, vannm.	[Horizontal bar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

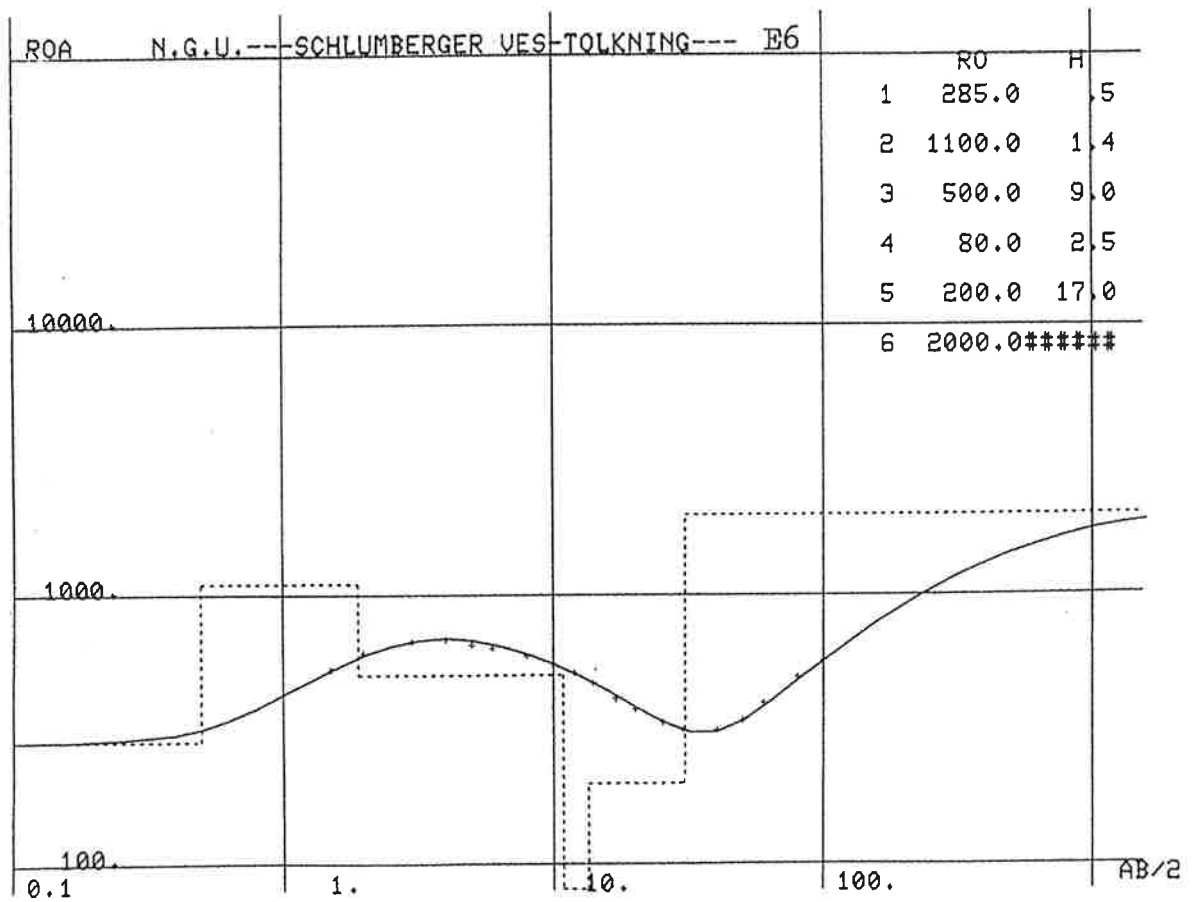
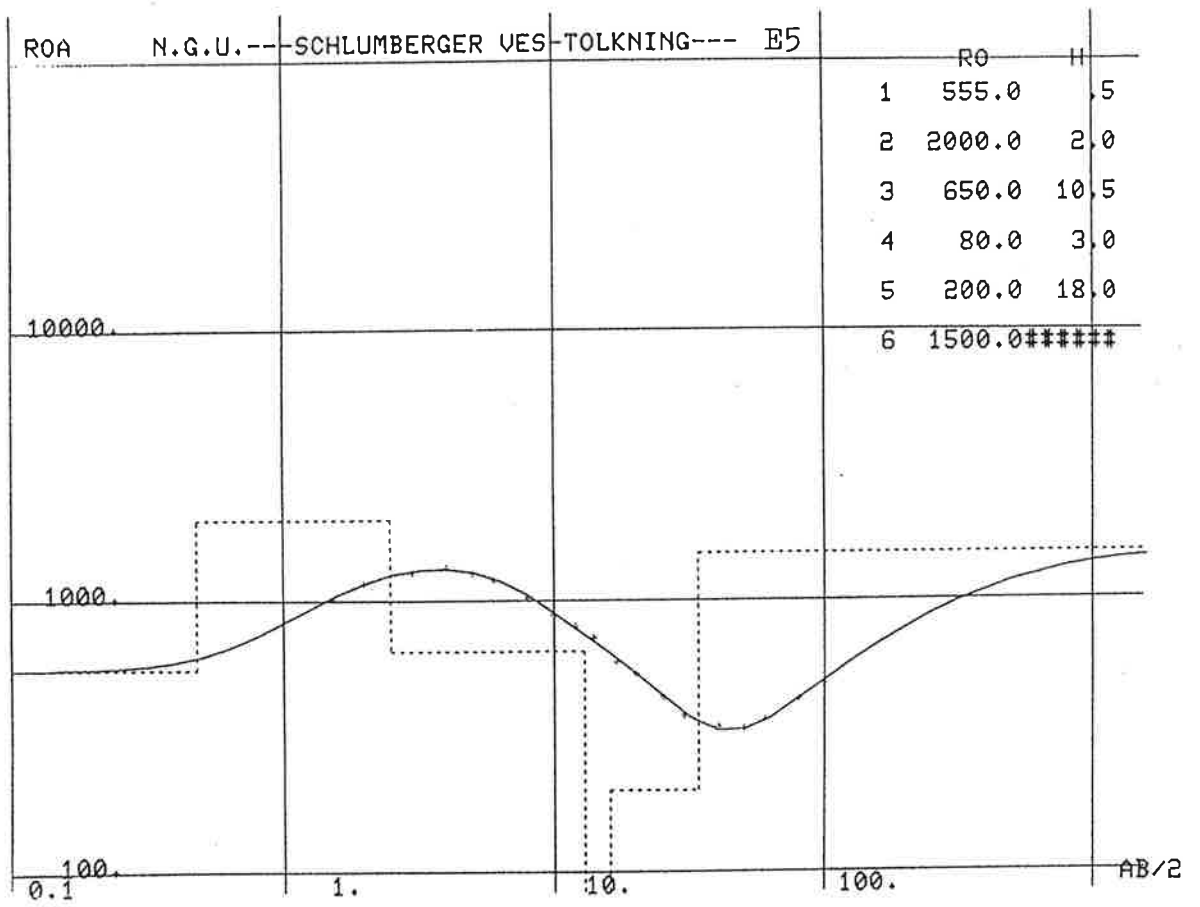
MODELLERING AV VERTIKALE ELEKTRISKE SONDERINGER

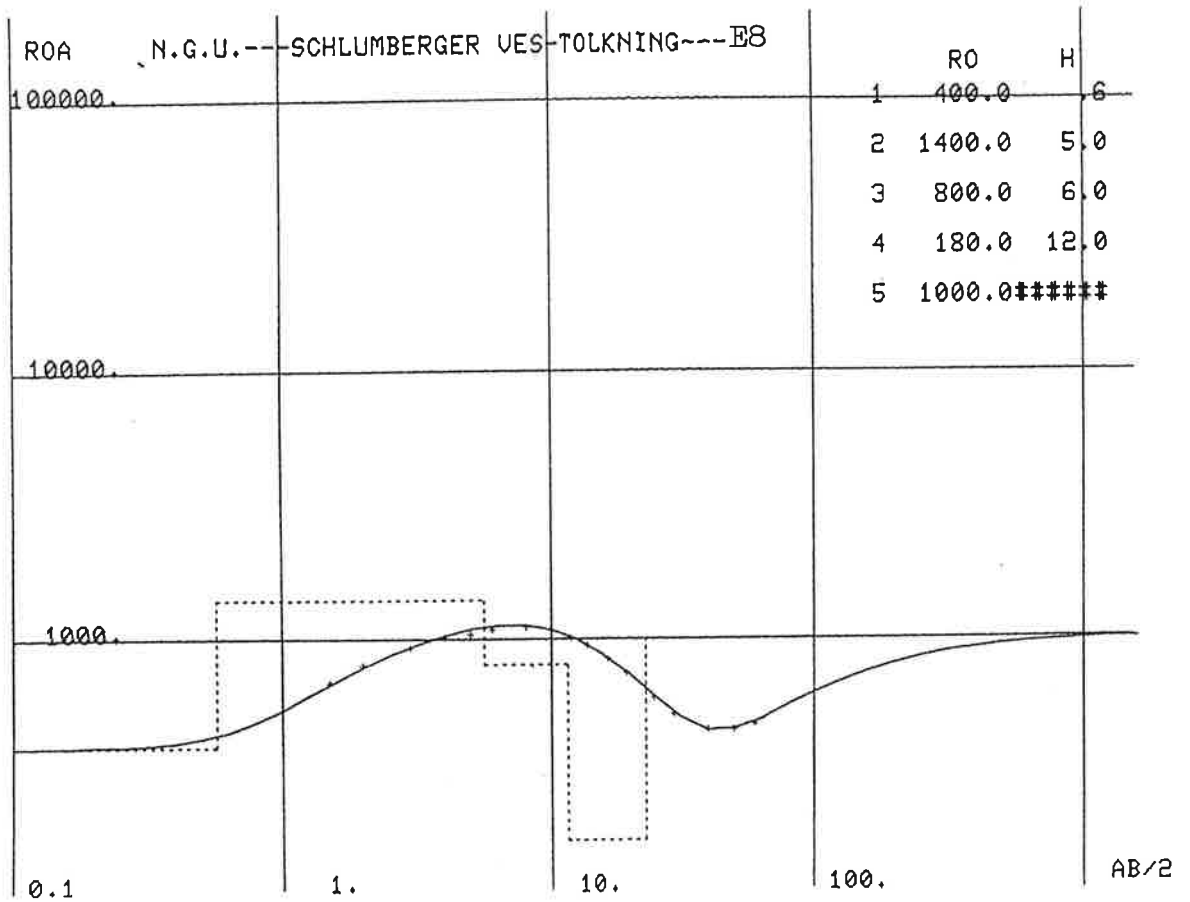
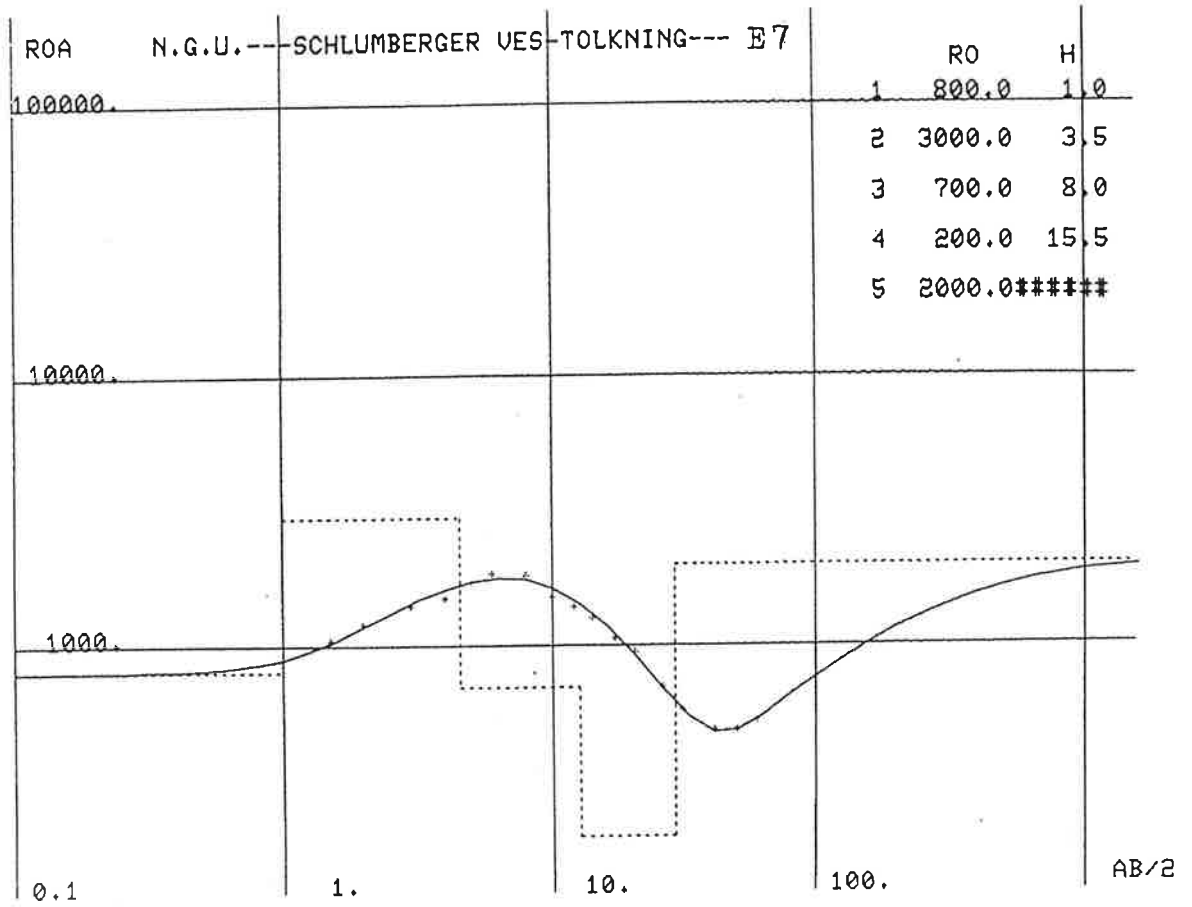
Målekurve (plottet) og modellkurve (heltrukket)















NGU - VERDAL KOMMUNE  
GRUNNVANNSUNDERSØKELSE  
OVERSIKTSKART

DALEMARK  
VERDAL, NORD - TRØNDELAG

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE  
TRONDHEIM

MÅLESTOKK

1: 50 000

MÅLT J.F.T.

TEGN

TRAC

KFR.

MAI 86

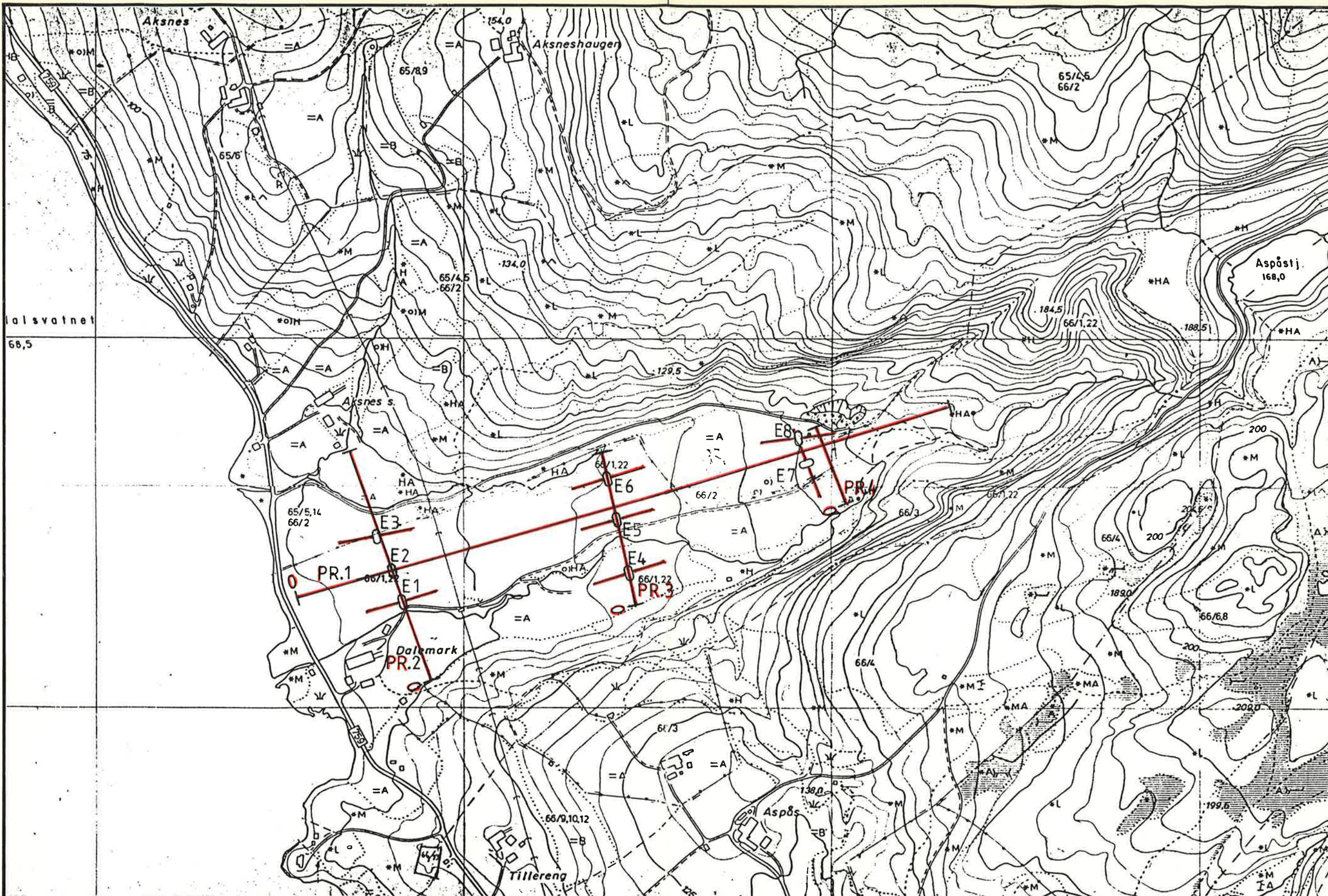
TEGNING NR.

87.018 - 01


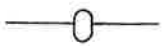
KARTBLAD NR.

1722 IV





**TEGNFORKLARING**

- 
 Seismisk profil (med startpunkt 0)
- 
 Vertikal elektrisk sondering (sonderingspunkt og retning av elektrodeutlegg)

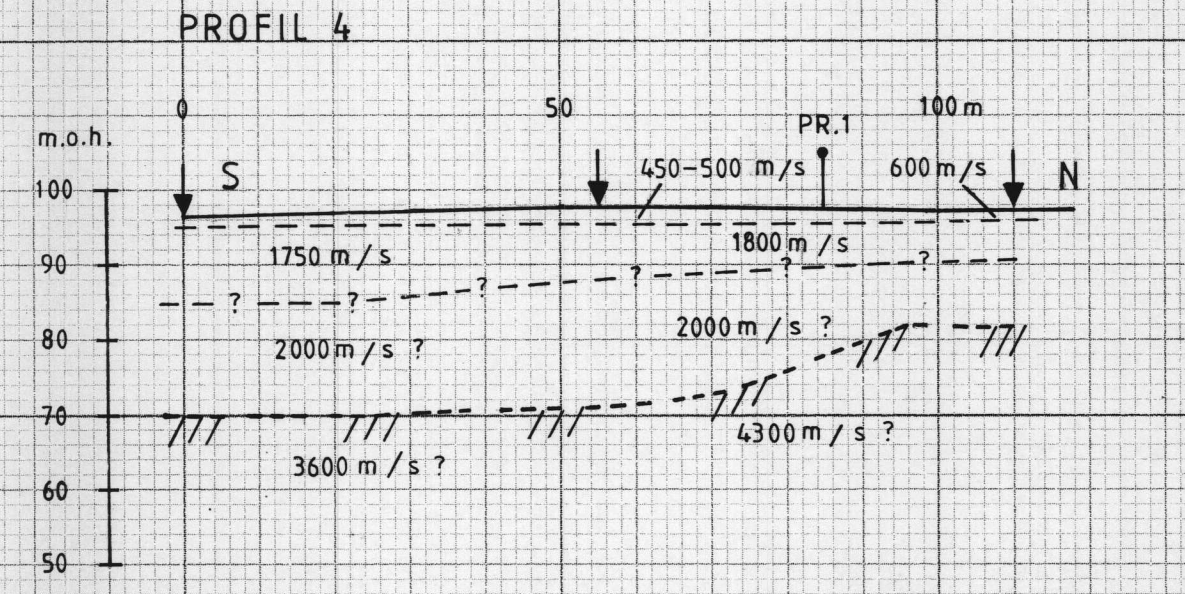
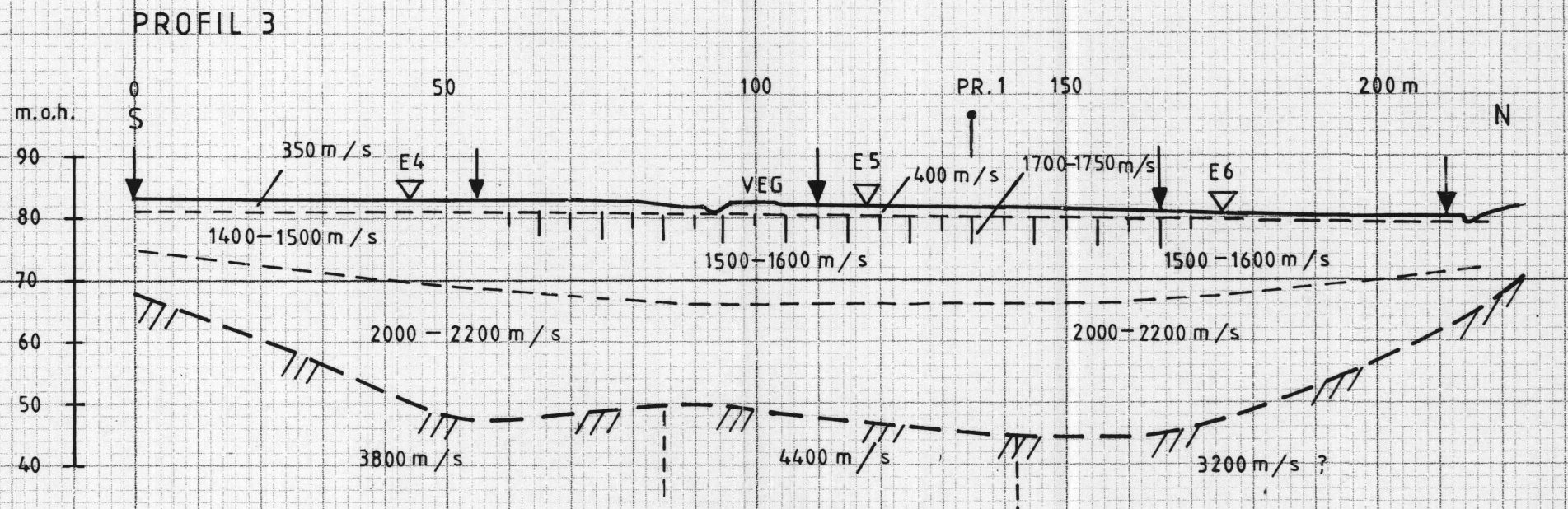
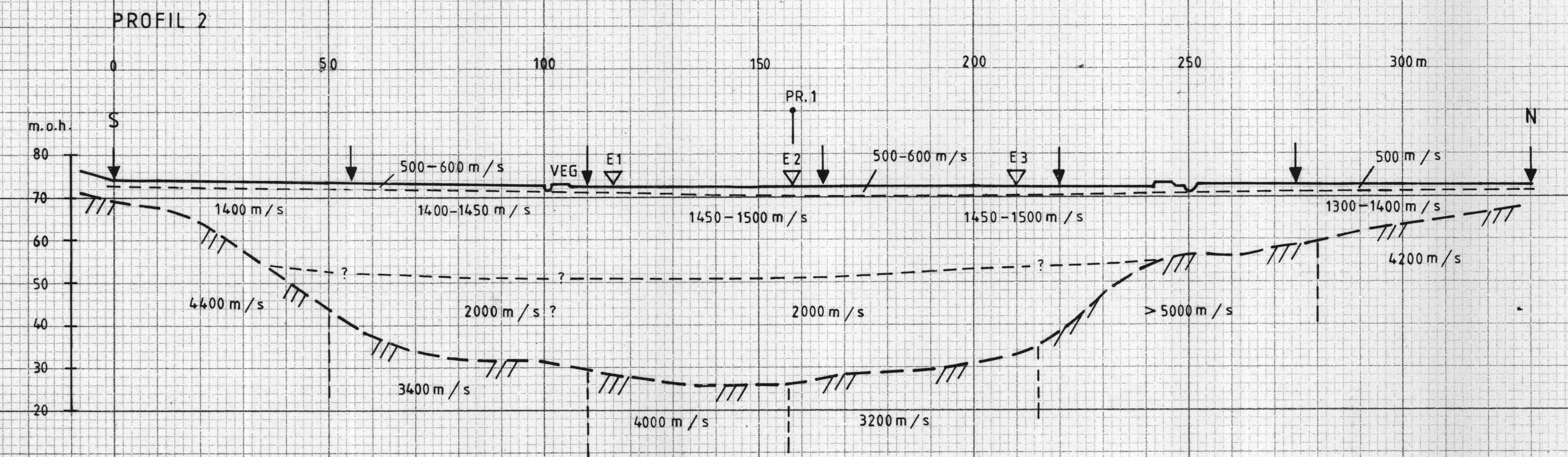
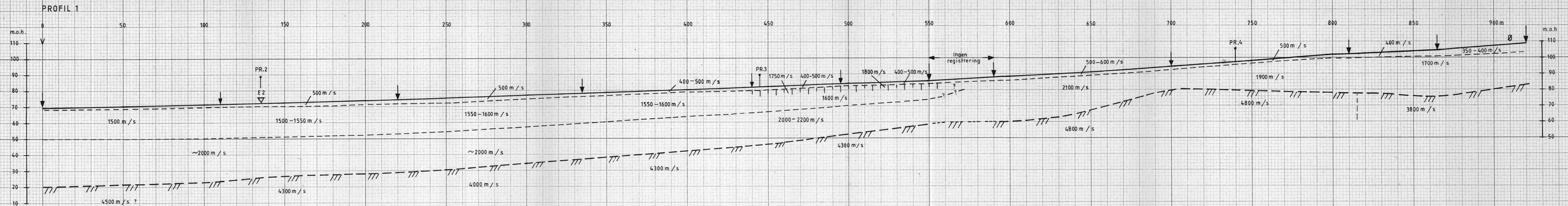
NGU - VERDAL KOMMUNE  
GRUNNVANNSUNDERSØKELSE  
OVERSIKTSKART - UTFØRTE MÅLINGER

**DALEMARK**  
VERDAL, NORD - TRØNDELAG

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE  
TRONDHEIM

MÅLESTOKK  1:5000	MÅLT J.F.T.	MAI 86
	TEGN	
	TRAC	
	KFR	
TEGNING NR.	KARTBLAD NR.	
87.018 - 02	1722 IV	





- TEGNFORKLARING:**
- ↓ TERRENGOVERFLATE MED SKUDDPUNKT
  - - - - SJIKTGRENSE I LØSMASSER
  - ||| TYNT HØYHASTIGHETSSJIKT
  - ||| BEREGNET FJELLOVERFLATE
  - ||| USIKKER FJELLOVERFLATE
  - ▽ VES (VERTIKAL ELEKTRISK SONDERING)

NGU / VERDAL KOMMUNE GRUNNVANNSUNDERSØKELSE, REFRAKSJONSSEISMISK TOLKEDE PROFILER  <b>DALEMARK</b> VERDAL, NORD - TRØNDELAG	MÅLESTOKK <b>1: 1000</b>	MÅLT J.F.T. MAI - 86 TEGN. J.F.T. NOV. - 87 TRAC. T.H. DES. - 87 KFR. DES. - 87
	NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. <b>87.018 - 03</b>