

NGU Rapport 96.087

Geofysiske målinger ved kvartærgeologiske
undersøkelser i Fauske kommune, Nordland.

Rapport nr.: 96.087		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Geofysiske målinger ved kvartærgeologiske undersøkelser i Fauske kommune, Nordland.			
Forfatter: Eirik Mauring og Jan Fredrik Tønnesen		Oppdragsgiver: NGU	
Fylke: Nordland		Kommune: Fauske	
Kartblad (M=1:250.000) Sulitjelma		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 2129 III Saltdal, 2129 IV Sørfold	
Forekomstens navn og koordinater: Moen 33V 5217 74583, Solvik 33V 5255 74564, Lauvgavlen 33V 5173 74634 (ED50)		Sidetall: 23 Kartbilag: 7	Pris: 105,-
Feltarbeid utført: August 1995	Rapportdato: 7/10-1996	Prosjektnr.: 2543.33	Ansvarlig: <i>Jan S. Mauring</i>
<p>Sammendrag:</p> <p>I forbindelse med kvartærgeologiske undersøkelser er det utført georadarmålinger, refraksjonsseismikk og vertikale elektriske sonderinger ved tre lokaliteter i Fauske kommune.</p> <p>Ved Moen er det utført georadarmålinger over en ryggformet israndavsetning. Et kaotisk refleksjonsmønster sentralt i avsetningen indikerer moreneavsetninger. I avsetningens øvre og vestlige (distale) deler sees strukturer som indikerer løsmasser avsatt fra breelv (hauget eller skrått refleksjonsmønster). I østlige (proksimale) deler av avsetningen sees skrå reflektorer som heller mot avsetningsretningen og som kan indikere at masser har blitt spylt opp her eller de kan representere framstøt eller tilbaketrekning av brefronten.</p> <p>Ved Solvik er det utført georadarmålinger og en vertikal elektrisk sondering over en svakt ryggformet avsetning. Målingene indikerer at avsetningen øverst består av grovkornige (sandige?) avsetninger (max mektighet på ca. 7 m). Under disse avsetningene opptrer mer finkornige avsetninger (finsand/silt/leir).</p> <p>Ved Lauvgavlen er det utført refraksjonsseismikk og to vertikale elektriske sonderinger. Disse målingene viser at antatt myr er 1,5-2,5 m tykk i området. Under myra opptrer vesentlig marin leire (stedvis utvasket eller med innslag av silt/finsand) ned til fjell på 25-45 m dyp.</p>			
Emneord: Geofysikk	Kvartærgeologi	Georadar	
Elektrisk måling	Refraksjonsseismikk	Israndavsetning	
		Fagrapport	

INNHold

1 INNLEDNING	4
2 MÅLEMETODER, UTFØRELSE OG PROSESSERING.....	4
2.1 Georadar	4
2.2 Refraksjonsseismikk.....	5
2.3 Vertikal elektrisk sondering	5
3 RESULTATER	6
3.1 Moen.....	6
3.2 Solvik	7
3.3 Lauvgavlen.....	8
4 KONKLUSJON	10
5 REFERANSE	11

Tekstbilag

1. Georadar - metodebeskrivelse
2. Refraksjonsseismikk - metodebeskrivelse
3. Vertikal elektrisk sondering - metodebeskrivelse

Databilag

1. Skjema som knytter hendelser i georadaropptak til avsetningstype og lagdeling
2. Tolkning av refraksjonsseismisk profil, Lauvgavlen
3. Modellberegninger av vertikale elektriske sonderinger

Kartbilag

- 96.087-01: Oversiktskart, Moen og Solvik
- 96.087-02: Oversiktskart, Lauvgavlen
- 96.087-03: Kart som viser plassering av georadarprofiler, Moen
- 96.087-04: Kart som viser plassering av georadarprofiler og VES, Solvik
- 96.087-05: Kart som viser plassering av georadarprofiler og VES, Lauvgavlen
- 96.087-06: Georadaropptak, profil 3, 6 & 7, Moen
- 96.087-07: Georadaropptak, profil 1 & 2, Solvik

1 INNLEDNING

Det er utført geofysiske målinger ved tre lokaliteter (Moen, Solvik og Lauvgavlen) i Fauske kommune, Nordland. Målingene ble utført for å undersøke mektighet, lagdeling og sammensetning av kvartære avsetninger som en del av NGU-prosjektet 2543.33 'Løsmassekartlegging, Fauske kommune'. Målingene ble utført i august 1995 av Jan Fredrik Tønnesen med assistanse fra hovedfagsstudent Inge Mosti.

2 MÅLEMETODER, UTFØRELSE OG PROSESSERING

2.1 Georadar

Plassering av målte profiler er vist sammen med opptakene i kartbilag -06 og -07. En beskrivelse av målinger med georadar er vedlagt i tekstbilag 1. Georadaren som ble benyttet er digital og av typen pulseEKKO IV (Sensors & Software Inc., Canada). Samplingsintervall og opptakstid var hhv. 1,6 ns og 1000 ns. Antenne- og flyttavstand var 1 m. Antenne senterfrekvens var 50 MHz og det ble benyttet 1000 V sender. Signalene ble 'stacket' 32 ganger ved hvert målepunkt. Ved Moen og Solvik ble det målt henholdsvis 3 og 2 profiler med en samlet lengde på ca. 1,7 profilm. Profillengder er vist i tabell 1. Reelle lengder av profiler kan være noe forskjellig fra lengder angitt på georadaropptak, pga. mulig tilfeldig eller systematisk feil i flyttavstand ved utførelsen av målingene. Stedvis kan kommentarer under opptakene bidra til å lokalisere tilsvarende posisjoner på de topografiske kartene. Ved Moen ble det satt opp stikker for hver 50 meter langs profilene. Plassering av disse stikkene, som angir reell lengde langs profilene, er angitt som kommentarer under opptakene. Posisjoner som angis ved tolkning refererer til posisjoner på georadaropptak. Det ble også målt to georadarprofiler ved Lauvgavlen, men disse ga ingen informasjon og opptakene er ikke vist i rapporten. Plasseringen av profilene er vist i kartbilag -05.

Tabell 1: Lengde, nummer og lokalisering av georadarprofiler.

<u>Lokalitet</u>	<u>Profilnummer</u>	<u>Lengde (m)</u>	<u>Kartbilagsnr.</u>
Moen	P3	468	-06
Moen	P6	343	-06
Moen	P7	369	-06
Solvik	P1	346	-07
Solvik	P2	173	-07

Det ble ikke utført CMP-målinger for hastighetsanalyse, og en EM-bølgehastighet på 0,1 m/ns ble benyttet for dybdekonvertering. Hastigheten som er valgt antas å representere et gjennom-

snitt av hastigheter i tørr og vannmettet sone. Det ble utført driftskorreksjon på opptakene (drift skyldes temperaturendringer i georadarsystemet). Det ble videre utført terrengkorreksjon på opptakene, der høyder ble avlest fra kart i målestokk 1:5000, og lokale terrengvariasjoner ble avlest fra kommentarer i georadaropptak. Ved utskrift av data ble det benyttet 5-punkts gjennomsnitt langs traser og SEC-forsterkning. SEC står for 'Spreading and Exponential Compensation' og er en eksponensiell, tidsvariabel forsterkning.

2.2 Refraksjonsseismikk

Det ble målt ett profil med en lengde på 660 m ved Lauvgavlen, og plassering av profilet er vist i kartbilag -05. En generell beskrivelse av refraksjonsseismiske målinger på land er vedlagt i tekstbilag 2. Som registreringsinstrument ble det benyttet en digital seismograf av typen Scintrex S-2 'Echo'. Det ble målt to utlegg à 330 meter med 24 geofoner/kanaler for hvert utlegg. For utleggene ble det benyttet to kabler, én på 110 m og én på 220 m. For 110 m kabel var geofonavstanden 10 m, mens den var 20 m for 220 m kabel. Geofonavstanden ble kortet inn til 5 m og 10 m ved endene av hhv. 110 m- og 220 m-kabel. Skuddpunkt ble plassert i følgende posisjoner for de to utleggene;

- Utlegg 1 (med geofoner i posisjon 5-320); -125, 0, 55, 110, 220, 330, 440.

- Utlegg 2 (med geofoner i posisjon 335-650); 220, 330, 440, 550, 660, 697.

Som energisering ble det benyttet dynamitt. Datakvaliteten var god.

2.3 Vertikal elektrisk sondering

En beskrivelse av måleteknikk, tolkning og metodiske usikkerheter er vedlagt (tekstbilag 3). Det ble utført én sondering (VES1) ved Solvik og to sonderinger (VES2 og VES3) ved Lauvgavlen. Plasseringen av sonderingene er vist i kartbilag -04 og -05. Et kabelsystem for Schlumberger elektrodekonfigurasjon ble benyttet ved utførelsen av målingene, og som måleinstrument ABEM SAS300 Terrameter med strømforsterker. $AB/2_{\max}$ var 140 m for VES1 og 100 m for VES2 og VES3. Før modellberegning ble det korrigert for laterale variasjoner i resistivitet ved potensialelektrodene.

3 RESULTATER

Ved tolkning av georadarprofiler er det delvis benyttet et skjema som knytter hendelser i opptakene til lagdeling og avsetningstype. Dette skjemaet er vist i databilag 1 (etter Beres & Haeni, 1991).

3.1 Moen

Lokaliteten er en større ryggformet israndavsetning som krysser dalføret og skiller Øvrevatnet fra Nedrevatnet. Ryggformen ble avsatt submarint under et breframstøt eller en markert stans i isfrontens tilbaketrekning ved slutten av siste istid. Under landhevningen som fulgte etter istida, kom ryggen etter hvert over havnivå, men vassdraget østfra førte samtidig til at elva eroderte seg ned gjennom den nordlige del av ryggen. Det ble målt tre georadarprofiler på tvers av israndavsetningen i området sør for dagens elvekanal. Opptak og plassering av profiler er vist i kartbilag -06.

P3

Profilet er målt i lavområdet like vest-sørvest for og parallelt med dagens elvekanal. Mellom posisjon 0 og 230 sees grunnvannsspeil som en meget tydelig reflektor i nivå ca. 0 moh. I det samme området er refleksjonsmønsteret skrått, der de skrå reflektorene har forskjellig helning over og under grunnvannsspeil som følge av forskjellige EM-bølgehastigheter. Strukturene indikerer at det her er breelvavsatt, sortert materiale (sand og grus). Fra posisjon 275 ligger grunnvannsspeil trolig for grunt til å kunne sees direkte på opptaket (interfererer med andre grunne hendelser samt direktebølgene mellom antennene). Mellom posisjon 250 og nordenden av profilet (posisjon 468) er refleksjonsmønsteret kaotisk og kan muligens representere mer finkornige, distale avsetninger. De øvre deler her kan være elveavsatt materiale erodert fra ryggformen. Redusert penetrasjon mellom posisjon 250 og 350 skyldes trolig godt elektrisk ledende materiale nær overflaten på grunn av salting av grusveg.

P7

Profilet er målt over selve ryggformen noe sørvest for P3. Grunnvannsspeil sees som en horisontal reflektor i nivå 0 moh. mellom posisjon 5 og 165. Små uregelmessigheter på reflektoren skyldes trolig unøyaktig terrengkorreksjon (for dårlige terrengdata). Mellom posisjon 0 og 265 er refleksjonsmønsteret hauget til kaotisk og penetrasjonsdypet er i størrelsesorden 15-25 m. Avsetningene er trolig dominert av grovkornige breelvavsetninger. Fra posisjon 265 er penetrasjonsdypet kraftig redusert, trolig pga. godt ledende materiale i overflaten. Det er et grustak ca. 50 m nord for denne delen av profilet, hvilket skulle indikere grovkornige avsetninger.

P6

Profilen er målt på tvers av israndavsetningen i sørvest. Grunnvannsspeil sees mellom posisjon 10 og 85 (nivå 0-2 moh.) og mellom posisjon 285 og 343 (ca. 0 moh.). Grunnvannsspeilets avvik fra horisontalen skyldes trolig unøyaktig/feil terrengkorreksjon. Mellom posisjon 30 og 90 sees tydelige, skrå reflektorer som representerer sortert breelvavsatt materiale (sand og grus). Ellers er refleksjonsmønsteret hauget, kaotisk eller skrått, stedvis med kraftig reflektivitet som kan indikere vekslende avsetningstyper, men mest grovkornige. De skrå reflektorene indikerer avsetning fra øst. Skrå reflektorer som heller motsatt vei sees mellom posisjon 265 og 300. Dette kan skyldes at brefronten som en gang har stått her har skjøvet opp materiale, eller at breelv har spylt opp materiale slik at vi har fått de avsetningsstrukturer som sees i dette området. Årsaken til at grunnvannsspeil ikke sees mellom posisjon 85 og 285 kan være at den sentrale delen av den ryggformete avsetningen vesentlig består av usortert morenemateriale. Opptaket viser at grunnere avsetninger gir et mer hauget eller skrått refleksjonsmønster som indikerer at materialet her er avsatt fra breelv.

3.2 Solvik

Lokaliteten er en forholdsvis lav ryggform som ligger mellom bratt fjell mot sør-sørøst (Hauan) og en fjellrygg i nord-nordvest mot Øvrevatnet. Det er sannsynlig at også dette er en israndrygg avsatt under et breframstøt eller en kortere stans under isfrontens tilbaketrekning. Det ble målt to georadarprofiler (P1 og P2) og én vertikal elektrisk sondering (VES1) i dette området. Georadaropptakene er vist sammen med et detaljert kartutsnitt i kartbilag -07. Modellering av den vertikale elektriske sonderingen er vist i databilag 3 side 1.

P1

Profilen er målt langssetter toppen av ryggen fra nord-nordvest. Gjennom hele opptaket sees en reflektor som utgjør nedre grense for penetrasjonen. Den sees i nivå 12 moh. ved posisjon 50 og heller nedover til ca. 3 moh. ved posisjon 310. Fra posisjon 310 til enden av profilen stiger reflektoren til ca. 9 moh. I en mektighet av 3-4 m over reflektoren er refleksjonsmønsteret parallelt og definerer en sekvens der avsetningene sannsynligvis består av finkornig materiale (trolig vesentlig silt). Over denne sekvensen er refleksjonsmønsteret skrått eller hauget og representerer antakelig mer grovkornige avsetninger (trolig vesentlig sand).

P2

Profilen er målt på tvers av P1, og på tvers av den lave ryggformen. Mellom posisjon 0 og 15 og mellom posisjon 140 og 173 er penetrasjonsdypet neglisjerbart, og avsetningene er trolig finkornige omtrent helt opp til terrengoverflaten i dette området. Over ryggen (posisjon 25-135) sees skrå reflektorer som heller nedover mot profiltretningen (i retning sørvest) og indike-

rer muligens grovkornige avsetninger (antatt størst mektighet (ca. 7 m) mellom posisjon 60 og 120). Under de antatt grovkornige avsetningene er refleksjonsmønsteret parallelt, og penetrasjonsdypet avtar brått under en kraftig reflektor i nivå 4-7 moh. Kun et par horisontale, svake reflektorer sees under den kraftige reflektoren. Denne sekvensen (med parallelt refleksjonsmønster) utgjøres trolig av finkornige avsetninger.

VES1

Den vertikale elektriske sonderingen er utført med senter i skjæringspunktet mellom P1 og P2. Data er av dårlig kvalitet og det er vanskelig å oppnå modelltilpasning. Noen punkter er utelatt fra modelleringen (angitt med kryss i databilag 3 side 1). Fra georadaropptakene ser det ut til å være en overgang mellom grovkornig og finkornig materiale ved ca. 7 m dyp. Dette dypet er lagt inn som en fast parameter ved modellberegningen. Grovt sett har vi en modell med tre resistivitetslag, der det øverste har en resistivitet på ca 260 Ωm og kan representere vannmettet sand eller sand/grus. Fra 7 m dyp er det modellert et lag med resistivitet på ca. 82 Ωm som muligens kan representere leirholdig silt (marine avsetninger). Fjell er modellert på 72 m dyp med en resistivitet på 5000 Ωm , men det kan ikke utelukkes å ligge betydelig grunnere. De dårlige data kan muligens maskere en mer detaljert sammensetning av løsmassene mot dypet.

3.3 Lauvgavlen

Formålet med undersøkelsene ved denne lokaliteten var å kartlegge mektighet og material-sammensetning av dalfyllingen over Fauskeidet nord for Fauske. Det ble målt ett refraksjonsseismisk profil (S1) og to vertikale elektriske sonderinger (VES2 og VES3) i dette området. Plassering av profil og sonderinger er vist i kartbilag -05. Begge sonderinger ble lagt helt nær det refraksjonsseismiske profilet. Tolkning av refraksjonsseismisk profil er vist i databilag 2, og modellering av de vertikale elektriske sonderingene er vist i databilag 3 side 2 og 3. Det ble også forsøkt med georadarmålinger, men disse ga svært lite informasjon pga. begrenset penetrasjonsdyp.

S1

Tre hastighetslag kan erkjennes ut fra måledata. Det øverste laget har en mektighet på 1,5-2,5 m og en seismisk hastighet på ca. 500 m/s og representerer trolig vesentlig myr. Laget under har en seismisk hastighet i området 1420-1540 m/s. I følge hastighetstabellen i tekstbilag 2 kan disse hastighetene representere vannmettet sand/grus, leire eller morene. Morene er mindre sannsynlig, da denne vanligvis vil gi større hastigheter. Det nederste hastighetslaget representerer fjell. Med unntak av en sone mellom posisjon 290 og 400, er den seismiske hastigheten i området 5760-5890 m/s som representerer massivt, krystallinsk fjell. Mellom posisjon 290 og 400 er hastigheten ca. 4140 m/s og kan representere meget svakt oppsprukket fjell eller en annen bergartstype. Dyp til fjell er i området 25-45 m. Et markert sprang i fjellover-

flaten opptrer mellom posisjon 500 og 520. For å få mer klarhet i løsmassetypene, ble det utført vertikale elektriske sonderinger (se under).

VES2

Det var nødvendig å benytte fem resistivitetslag ved modelleringen for å få god kurvetilpassning. Ved modelleringen ble det benyttet data fra det refraksjonsseismiske profilet. Følgende parametre ble fiksert; dyp til bunnen av antatt myr (1,75 m), dyp til fjell (32 m). I tillegg ble resistiviteten i fjell satt til 5000 Ωm . Som databilag 3 side 2 viser, er modelltilpassningen meget god. Det øverste antatte myrlaget har en resistivitet på ca. 110 Ωm . Fra 1,75 m til 32 m dyp opptrer et lag med en resistivitet på ca. 2 Ωm (med unntak av et meget tynt lag (ca. 0,3 m) med en resistivitet på ca. 40 Ωm). Lavresistivitetslaget representerer etter all sannsynlighet marin leire (se tabell i tekstbilag 3). Det tynne laget mellom ca. 3 og 3,3 m dyp representerer trolig mer utvasket leire med innslag av silt/finsand.

VES3

Også for denne sonderingen var det nødvendig å benytte fem resistivitetslag ved modelleringen. Det ble benyttet et myrdyp på ca. 1,7 m, et fjelldyp på 25 m (fra refraksjonsseismikk) og en resistivitet for fjell på 5000 Ωm som grunnlag (faste størrelser) for modelleringen. Resistiviteten i myra er tolket til ca. 63 Ωm i dette området. Mellom ca. 1,7 m og 2,2 m opptrer et lag med en resistivitet på ca. 5 Ωm som representerer marin (salt) leire. Mellom ca. 2,2 m og 8 m dyp opptrer (som for VES2) et lag med en resistivitet på ca. 40 Ωm som trolig enten representerer utvasket leire eller leire med innslag av silt/finsand. Dette laget kan korreleres med lag 3 for VES2, men er her mye tykkere. Lag 4 har en resistivitet på ca. 20 Ωm og representerer trolig leire som kan være noe utvasket. Modelltilpassningen er dårlig for $AB/2 = 50, 60, 80$ og 100 m. Kurven for observerte data er her for bratt til at det er mulig å oppnå kurvetilpassning, og trolig skyldes dette inhomogene resistivitetsforhold ved strømelektrodene.

Oppsummering

De refraksjonsseismiske målinger indikerer et dyp til antatt myrbunn på 1,5-2,5 m og et dyp til fjell i området 25-45 m. De vertikale elektriske sonderinger indikerer at avsetningene mellom myr og fjell er dominert av marin (salt) leire, som stedvis trolig er noe utvasket, eller at leira har innslag av silt/finsand. Den marine leira er også årsak til at georadarmålingene ikke ga informasjon i området.

4 KONKLUSJON

I forbindelse med kvartærgeologiske undersøkelser er det utført georadar, refraksjonsseismikk og vertikale elektriske sonderinger ved tre lokaliteter i Fauske kommune.

Ved Moen er det utført georadarmålinger over en ryggformet israndavsetning. Et kaotisk refleksjonsmønster sentralt i søndre del av ryggformen indikerer moreneavsetninger. I avsetningens øvre og vestlige (distale) deler sees strukturer som indikerer løsmasser avsatt fra breelv (hauget eller skrått refleksjonsmønster). I østlige (proksimale) deler av avsetningen sees skrå reflektorer som heller mot avsetningsretningen og som kan indikere at masser har blitt spylt opp her eller de kan representere framstøt eller tilbaketrekning av brefronten.

Ved Solvik er det utført georadarmålinger og en vertikal elektrisk sondering over en svakt ryggformet avsetning. Målingene indikerer at avsetningen øverst består av grovkornige (sandige?) avsetninger (max mektighet på ca. 7 m). Under disse avsetningene opptrer mer finkornige avsetninger (finsand/silt/leir).

Ved Lauvgavlen er det utført refraksjonsseismikk og to vertikale elektriske sonderinger. Disse målingene viser at antatt myr er 1,5-2,5 m tykk i området. Under myra opptrer vesentlig marin leire (stedvis utvasket eller med innslag av silt/finsand) ned til fjell på 25-45 m dyp.

5 **REFERANSE**

Beres, M. Jr. & Haeni, F.P. 1991: Application of ground-penetrating-radar methods in hydrogeologic studies. *Ground water* 29, 375-386.

GEORADAR - METODEBESKRIVELSE

Georadar er en elektromagnetisk målemetode som kan benyttes til undersøkelse av lagdeling og strukturer i grunnen. Med en spesiell antenne sendes elektromagnetiske bølgepulser ned i jorda. En del av bølgeenergien blir reflektert tilbake til overflaten når bølgepulsen treffer en grense som representerer en endring i mediets dielektriske egenskaper. Resten av energien vil fortsette nedover og det kan fås reflekterte signaler fra en rekke grenseflater. Refleksjonene kan registreres med en mottakerantenne på overflaten. De mottatte signaler overføres til en kontrollenhet for forsterkning (og digitalisering ved digital georadar). Signalene sendes derfra til skriver (ved analog georadar) eller PD (digital georadar). Fra en utskrift av et georadar-opptak kan toveis gangtid (t_{2v}) til de forskjellige reflektorene avleses. For å bestemme virkelig dyp til en reflektor må bølgehastigheten (v) i overliggende medium være kjent eller kunne bestemmes.

Bølgehastigheten kan bestemmes ved CDP-målinger ('common depth-point'). Slike målinger utføres ved å flytte sender- og mottakerantenne skrittvis og like langt ut til hver side fra et fast midtpunkt og registrere for hver ny posisjon. Refleksjoner vil da ideelt sett komme fra samme punkt på en reflektor som er planparallel med overflaten. Når antenneavstanden øker, vil reflekterte bølger få lenger gangvei og økning i gangtid. Denne økning i gangtid kan det ved digitale opptak kompenseres for ved å utføre NMO-korreksjon ('normal move-out'). Størrelsen på korreksjonen er avhengig av antenneavstand, toveis gangtid og bølgehastighet i materialet over reflektoren. Et CDP-opptak korrigeres med forskjellige hastigheter, og den hastighet som etter NMO-korreksjon gir best amplitude etter summering av trasene, angir radarbølgehastigheten i mediet.

Etter at hastigheten er bestemt kan dypet (d) beregnes etter uttrykket;

$$d = \frac{vt_{2v}}{2}$$

I vakuum er bølgehastigheten lik lyshastigheten: $c = 3.0 \cdot 10^8$ m/s. I alle andre media gjelder følgende relasjon;

$$\epsilon_r = \left(\frac{c}{v}\right)^2$$

hvor ϵ_r er det relative dielektrisitetstallet. ϵ_r -verdien for et materiale vil derfor være en bestemmende faktor for beregning av dyp til reflektorer. I tabellen på neste side er det gitt en oversikt over erfaringstall for ϵ_r i en del materialtyper. Tabellen viser også hastigheter og ledningsevne i de samme media.

Dybderekkevidden for georadarmålinger er i stor grad avhengig av elektrisk ledningsevne i grunnen og av den utsendte antennefrekvens. Både økende ledningsevne og en økning i antennefrekvens vil føre til

hurtigere dempning av bølgepulsene og dermed minkende penetrasjon. I godt ledende materiale som marin silt og leire vil penetrasjonen være helt ubetydelig. I dårlig ledende materiale som f.eks. tørr sand, kan det forventes en dybderekkevidde på flere titalls meter når det benyttes en lavfrekvent antenne (f.eks. 50 eller 100 Mhz). For grunnere undersøkelser vil en mer høyfrekvent antenne gi bedre vertikal oppløsning.

<i>Medium</i>	ϵ_r	v (m/ns)	<i>ledningsevne (mS/m)</i>
<i>Luft</i>	1	0.3	0
<i>Ferskvann</i>	81	0.033	0.1
<i>Sjøvann</i>	81	0.033	1000
<i>Leire</i>	5-40	0.05-0.13	1-300
<i>Tørr sand</i>	5-10	0.09-0.14	0.01
<i>Vannmettet sand</i>	15-20	0.07-0.08	0.03-0.3
<i>Silt</i>	5-30	0.05-0.13	1-100
<i>Fjell</i>	5-8	0.10-0.13	0.01-1

Tabell over relativt dielektrisitetstall, radarbølge-hastigheter og ledningsevne i vanlige materialtyper.

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 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 to sjikt hvor lydshastigheten 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 innfallsloddet, slik at

$$\sin i / \sin R = V_1 / V_2$$

Når $R=90^\circ$, vil den refrakterte stråle følge sjiktgrensen, og vi har

$$\sin i = V_1 / V_2$$

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

Lydforplantningen langs sjiktgrensen vil gi opphav til sekundærbølger som returnerer til terrengoverflaten under vinkelen i_c . I en viss kritisk avstand fra skuddpunktet vil disse refrakterte bølger nå fram 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 utnyttes ved å plassere seismometre (geofoner) langs en rett linje i terrenget og registrere de først ankomne bølger fra skudd i hensiktsmessig valgte posisjoner langs samme linje. Man får da bestemt de nødvendige data for å fastlegge dypene til sjiktgrensen. Dersom overdekket er homogent med hensyn på lydshastigheten langs profilet, kan det oppnås 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. Man 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 terrengoverflate må ikke være for stor. I praksis vil man ofte få vanskeligheter når denne vinkel overstiger 25° .

Det forekommer at en sjiktgrense ikke avspeiler seg i gangtidsdiagrammene, fordi de refrakterte bølger fra denne grense når overflaten seinere enn fra en dypere grense. Det foreligger da en såkalt 'blind sone', og de virkelige dyp kan være vesentlig større enn de beregnede. En annen feilkilde er til stede hvis man har et sjikt med lavere hastighet enn det overliggende. Fra denne sjiktgrense vil det ikke komme refrakterte bølger til overflaten, og lavhastighetssjiktet vil ikke kunne erkjennes av måledata. Generelt kan det sies at usikkerheten i de beregnede dyp øker med antall sjikt. Med analog apparatur vil en kunne bestemme første ankomsttid med en usikkerhet på 1 millisekund ved middels god opptaks kvalitet. Hvis overdekkehastigheten er 1600 m/s, tilsvarer dette en usikkerhet på ca. 0.8 m i dybdebestemmelsen på grunn av avlesningsfeil. I tillegg kommer eventuelle feil på grunn av at forutsetningene om isotropi og homogenitet ikke gjelder fullt ut.

Ved meget god datakvalitet kan første ankomsttid avleses med 0.5 millisekunders nøyaktighet. Med denne nøyaktigheten er det allikevel urealistisk å regne med mindre enn 0.5 m usikkerhet i dybdeangivelsene. Ved meget små dyp til fjell (mindre enn én meter) blir overdekkehastigheten dårlig bestemt, og man må regne med prosentvis store feil i dybdeangivelsene.

P-BØLGEHASTIGHET I NOEN MATERIALTYPER

<i>Luft</i>		<i>330 m/s</i>
<i>Vann</i>		<i>1400-1500 m/s</i>
<i>Organisk materiale</i>		<i>150-500 m/s</i>
<i>Sand og grus</i>	<i>- over vannmettet sone</i>	<i>200-800 m/s</i>
<i>Sand og grus</i>	<i>- i vannmettet sone</i>	<i>1400-1700 m/s</i>
<i>Morene</i>	<i>- over vannmettet sone</i>	<i>700-1500 m/s</i>
<i>Morene</i>	<i>- i vannmettet sone</i>	<i>1500-1900 m/s</i>
<i>Hardpakket bunmorene</i>		<i>1900-2800 m/s</i>
<i>Leire</i>		<i>1100-1800 m/s</i>
<i>Oppsprukket fjell</i>		<i>< 4000 m/s</i>
<i>Fast fjell</i>		<i>3500-6000 m/s</i>

VERTIKAL ELEKTRISK SONDERING (VES) - METODEBESKRIVELSE

Elektriske dybdesonderinger (VES) benyttes for å kartlegge undergrunnens elektriske motstandsforhold. Målingene foretas 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 potensialforskjell, målt strømstyrke og en geometrisk faktor bestemt av elektrodeplassingene kan elektrisk motstand i undergrunnen beregnes. Ved homogene og isotrope forhold er denne størrelsen lik materialets resistivitet eller spesifikke motstand (ρ) med enhet Ωm . 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 dypereliggende lag. Etter hvert som avstanden AB øker, reduseres potensialforskjellen 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 dobbeltlogaritmisk 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 neglisjérbar for mindre motstandskontraster. Dårlig samsvar mellom kurvesegmentene skyldes som regel hovedsakelig laterale inhomogeniteter mellom potensialelektroden. Dette korrigeres ved å forskyve kurvesegment vertikalt til det gir god overlapp med foregående segment. På denne måten kan det oppnås en sammenhengende sonderingskurve. De korrigerte sonderingsdata legges inn på PD og tolkes ved bruk av programpakken Interpex/Resixip. 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 og måldata. Optimal tilpasning kan deretter foretas ved invertert modellering.

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 (ρh) 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.

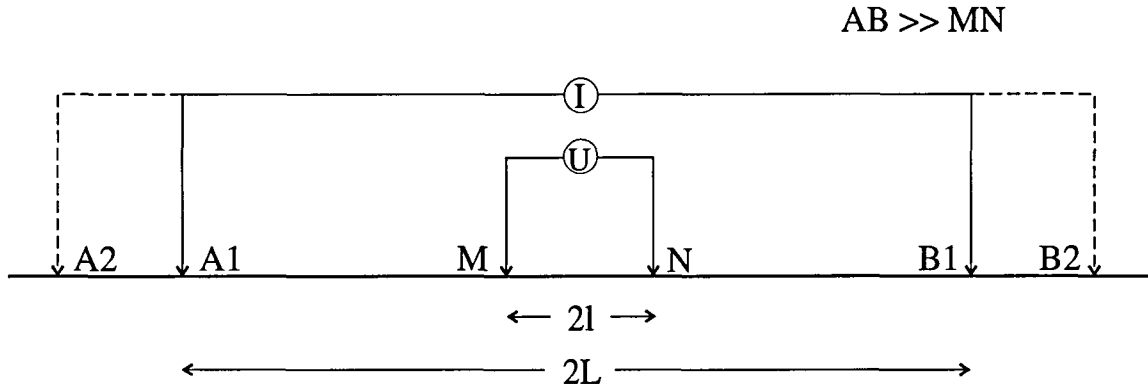
Det andre forhold som skaper tolkningsproblemer skyldes undertrykking (suppresjon) av et lag. Når lagets resistivitet har en verdi som ligger mellom de to omgivende lag, vil laget ikke kunne erkjennes av sonderingskurven hvis det ikke er tykt nok. Suppresjonsproblemet er størst ved store resistivitetskontraster. 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 for øvrig finnes når tolkningsmodellene bygges opp.

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

Schlumberger elektrodekonfigurasjon



A og B: Strømelektroder

M og N: Potensialelektroder

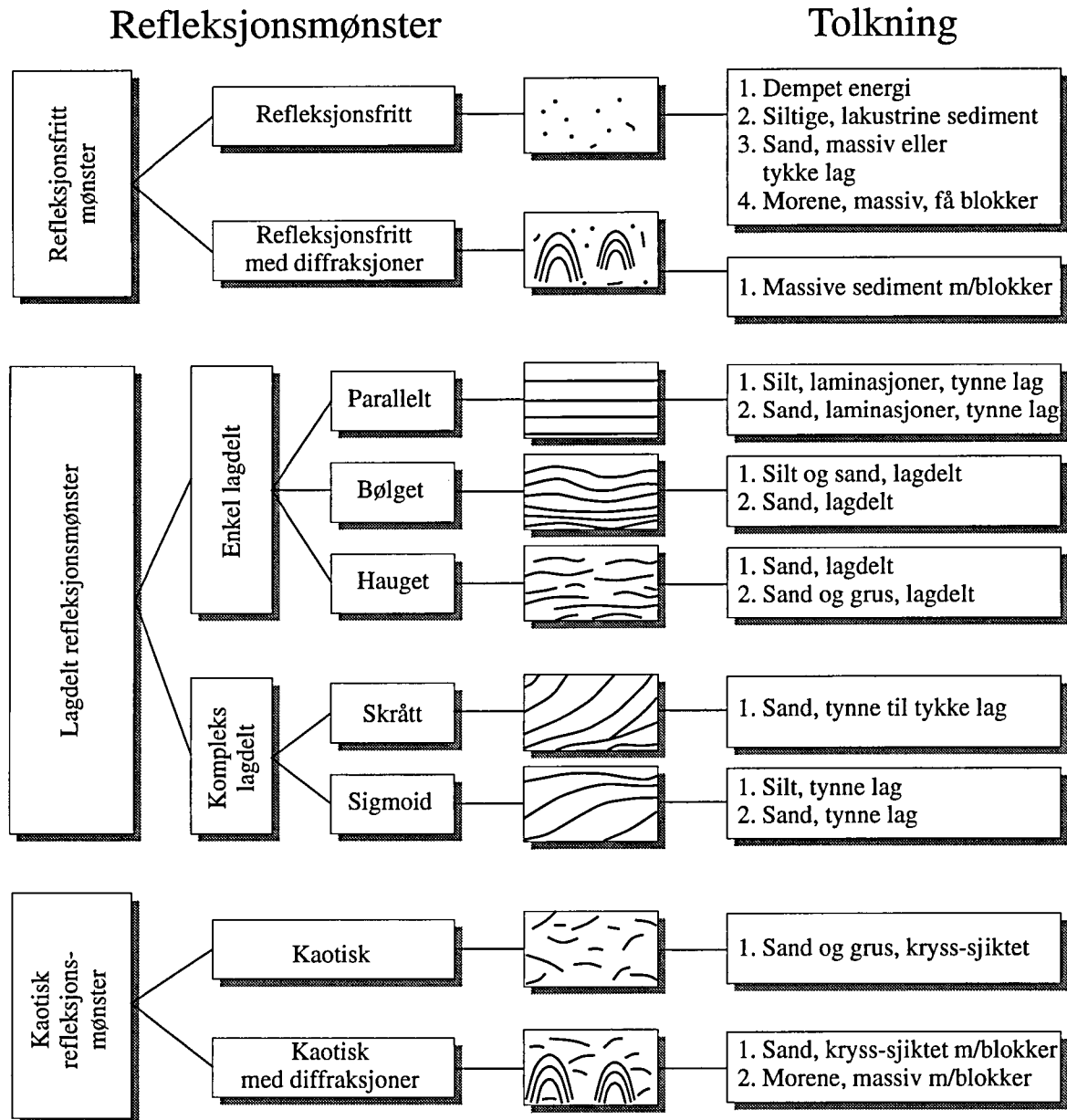
Ⓜ Amperemeter

Ⓤ Voltmeter

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

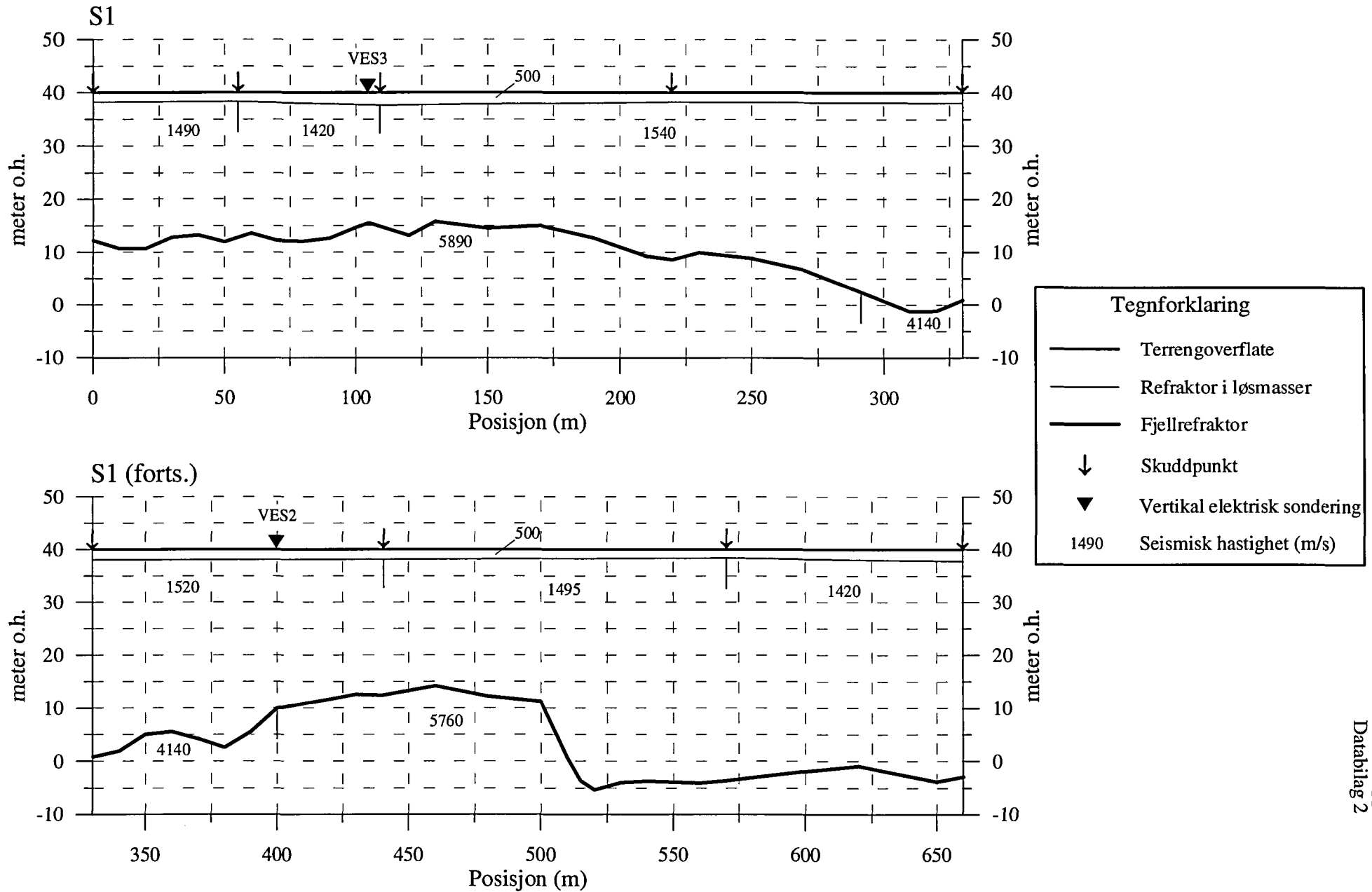
Spesifikk motstand (resistivitet) i noen geologiske materialer:

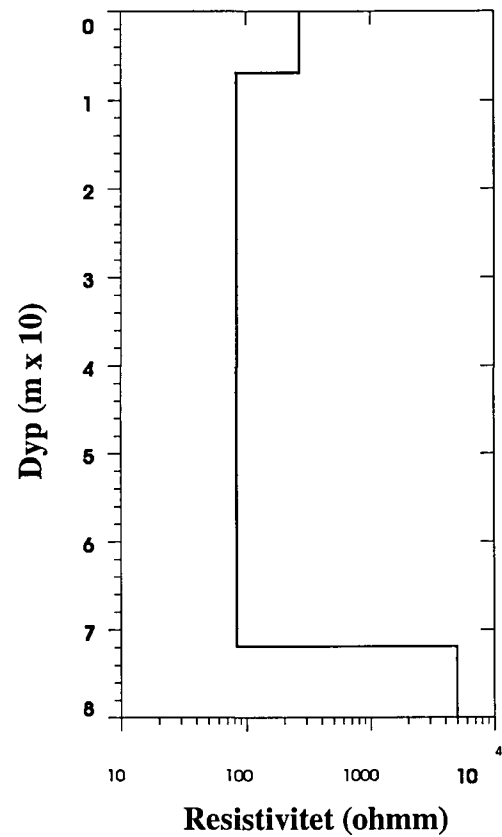
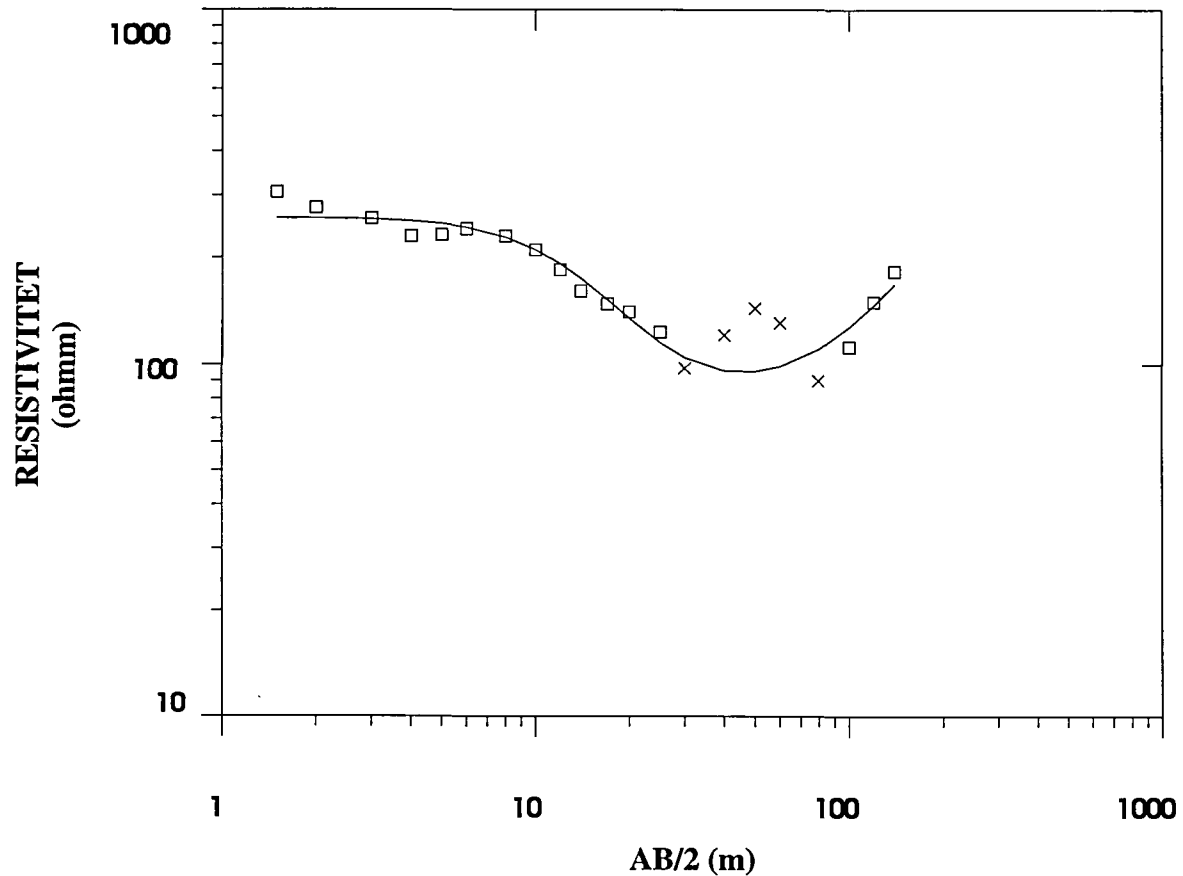
Materiale	Spesifikk motstand (ohmm)					
	1	10	100	1000	10000	100000
Leire, salt	[Horizontal line from 1 to 10]					
Leire, utvasket	[Horizontal line from 10 to 100]					
Silt, våt	[Horizontal line from 100 to 1000]					
Sand, vannmettet	[Horizontal line from 1000 to 10000]					
Grus, vannmettet	[Horizontal 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]					



Skjema som knytter refleksjonsmønster på georadaropptak til avsetningstype og lagdeling (etter Beres & Haeni, 1991).

LAUVGAVLEN FAUSKE, tolkning av refraksjonsseismisk profil

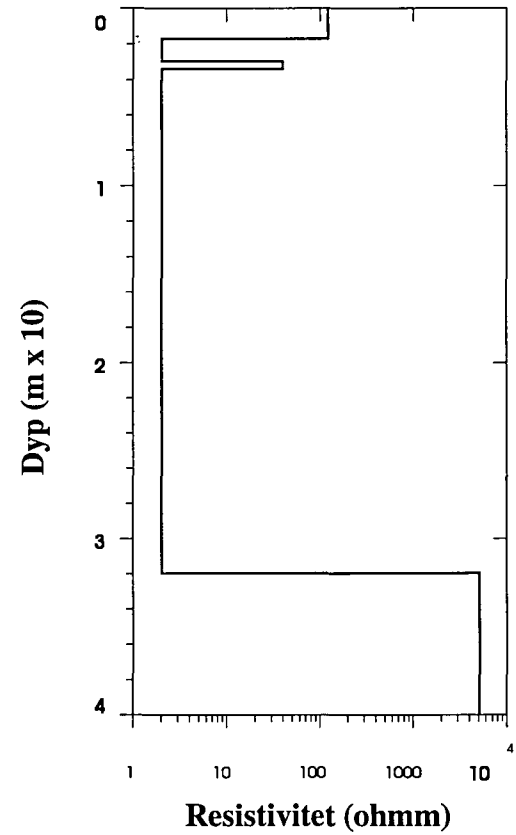
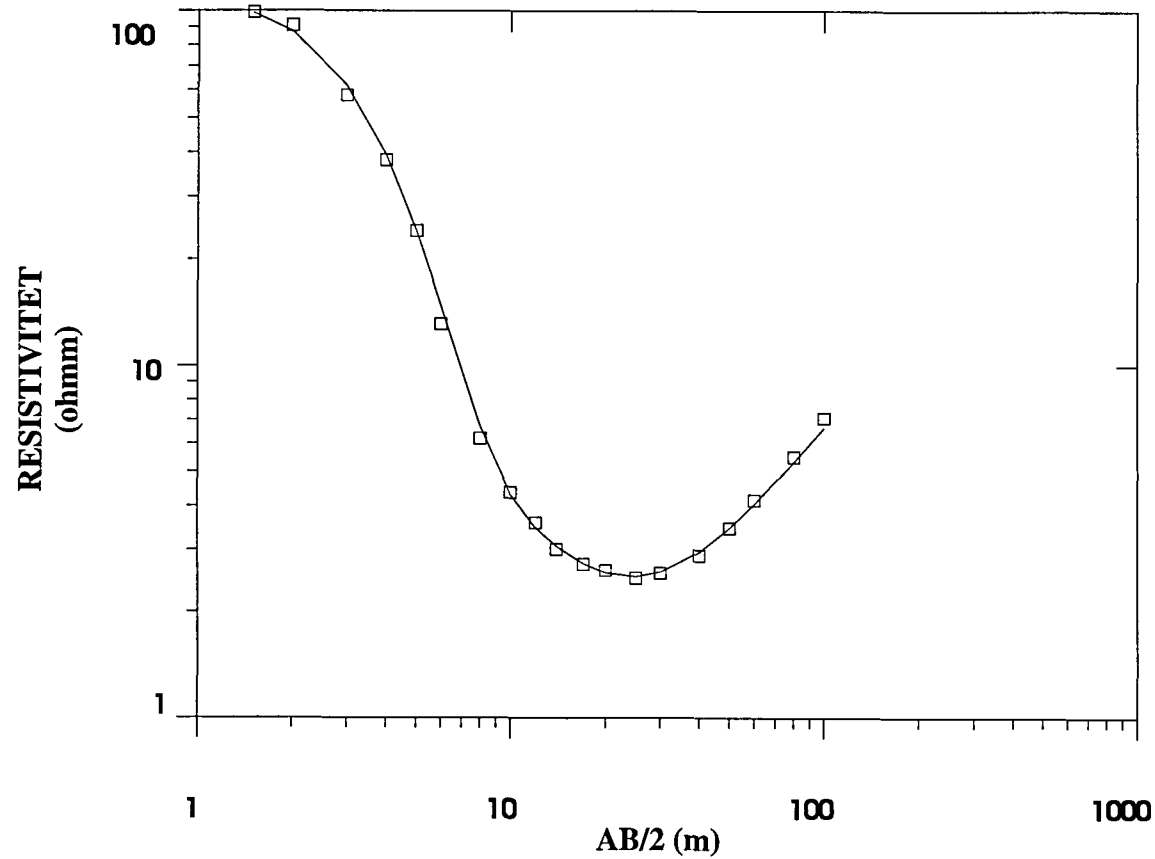




Fysiske parametre:

Lag	Rho (ohmm)	dyp (m)
1	260	7
2	82	72
3	5000	

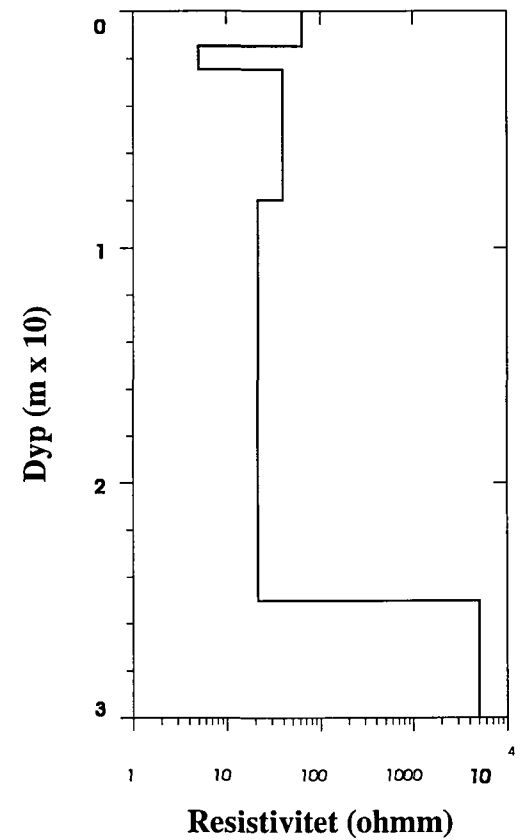
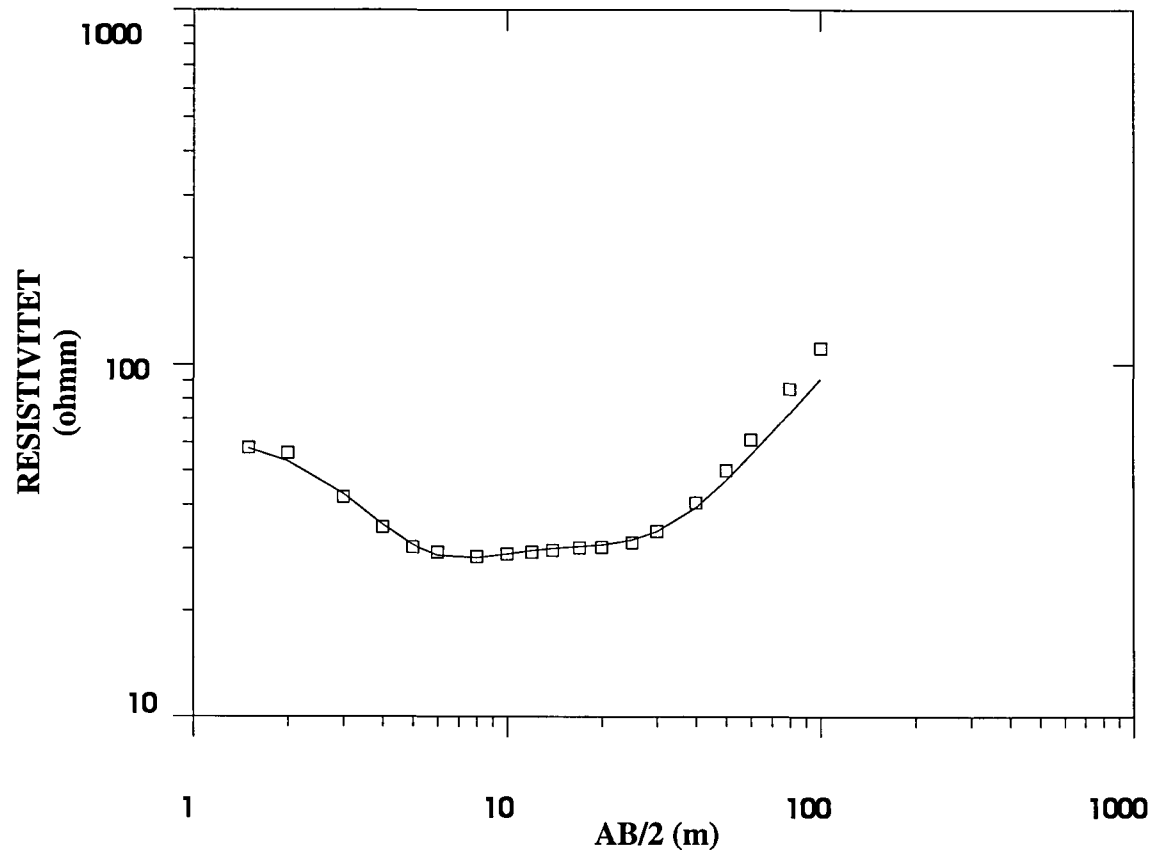
for: NGU		Schlumberger VES	
utført av: Norges geologiske undersøkelse		SOLVIK, FAUSKE FAUSKE KOMMUNE, NORDLAND	
Datasett: VES1	Dato: Aug. -95		
Utstyr: Terrameter	Sondering: VES1	Retning: 180-380 ^g	



Fysiske parametre:

Lag	Rho (ohmm)	dyp (m)
1	110	1.75
2	2	3.0
3	40	3.3
4	2	32
5	5000	

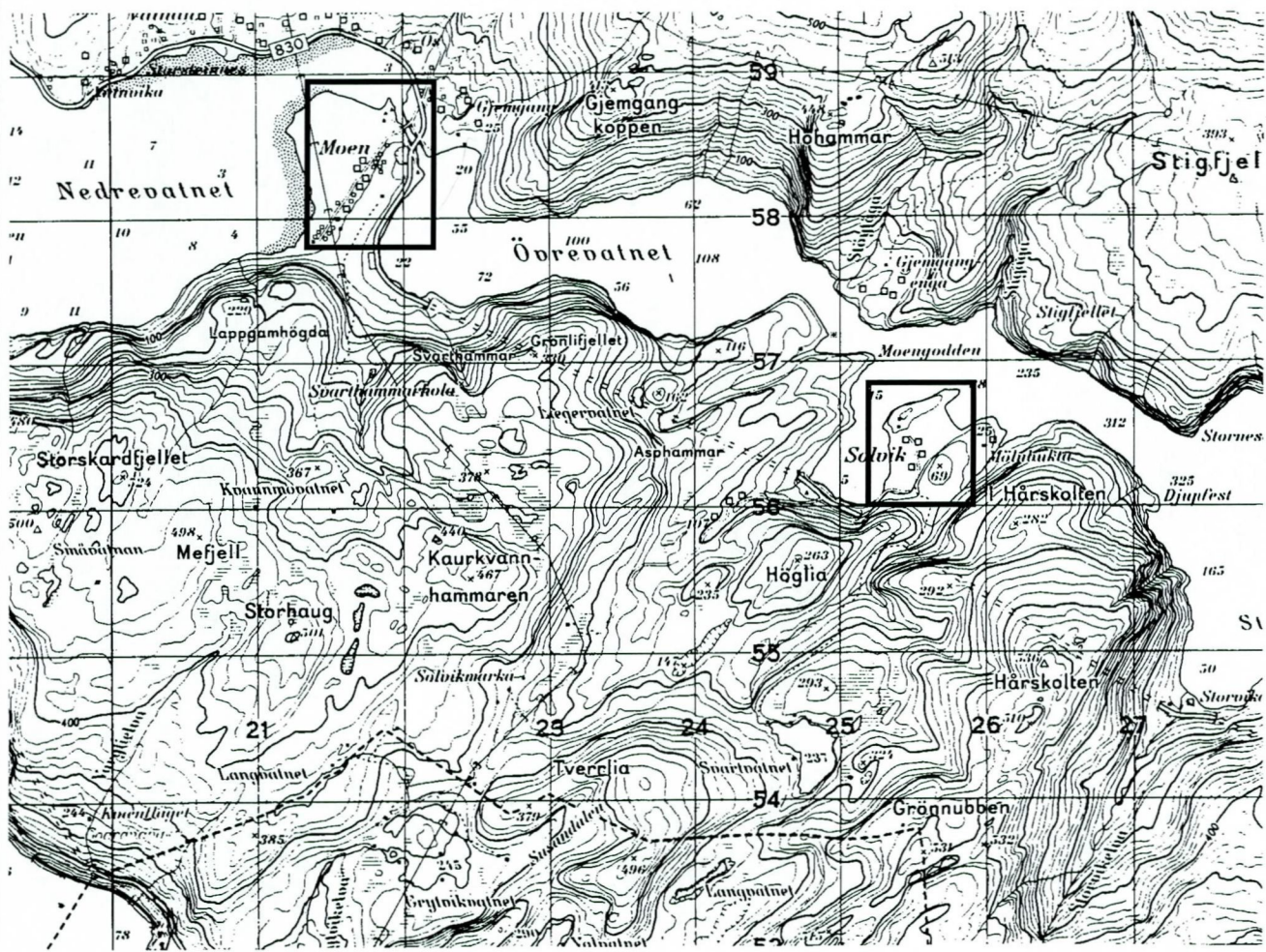
for: NGU		Schlumberger VES	
utført av: Norges geologiske undersøkelse		LAUVGAVLEN, FAUSKE	
Datsett: VES2	Dato: Aug. -95	FAUSKE KOMMUNE, NORDLAND	
Utstyr: Terrameter	Sondering: VES2	Retning: 160-360^g	



Fysiske parametre:

Lag	Rho (ohmm)	dyp (m)
1	62.7	1.72
2	5.1	2.23
3	40	8
4	21	25
5	5000	

for: NGU		Schlumberger VES	
utført av: Norges geologiske undersøkelse		LAUVGAVLEN, FAUSKE	
Datasett: VES3	Dato: Aug. -95	FAUSKE KOMMUNE, NORDLAND	
Utstyr: Terrameter	Sondering: VES3	Retning: 160-360 ^g	



Utsnitt i kartbilag -03 (Moen)



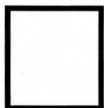
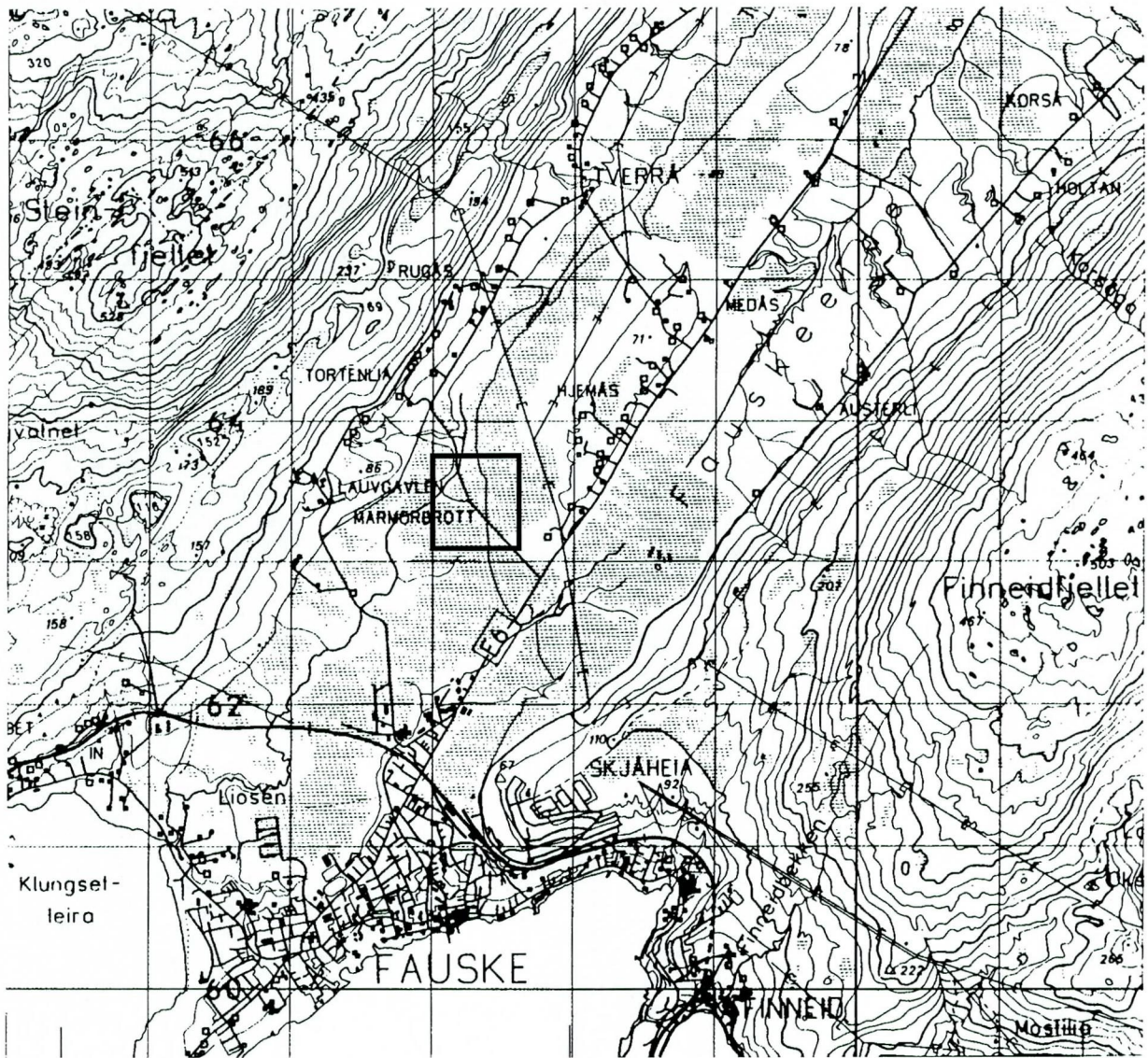
Utsnitt i kartbilag -04 (Solvik)

NGU
 OVERSIKTSKART
MOEN OG SOLVIK, FAUSKE
 FAUSKE KOMMUNE, NORDLAND

MÅLESTOKK 1:50 000	MÅLT JFT	Aug. -95
	TEGN EM	Juni -96
	TRAC	
	KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

TEGNING NR 96.087-01	KARTBLAD NR 2129 III
-------------------------	-------------------------



Utsnitt i kartbilag -05

NGU

OVERSIKTSKART

LAUVGAVLEN, FAUSKE

FAUSKE KOMMUNE, NORDLAND

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

MÅLESTOKK

1:50 000

MÅLT JFT

Aug. -95

TEGN EM

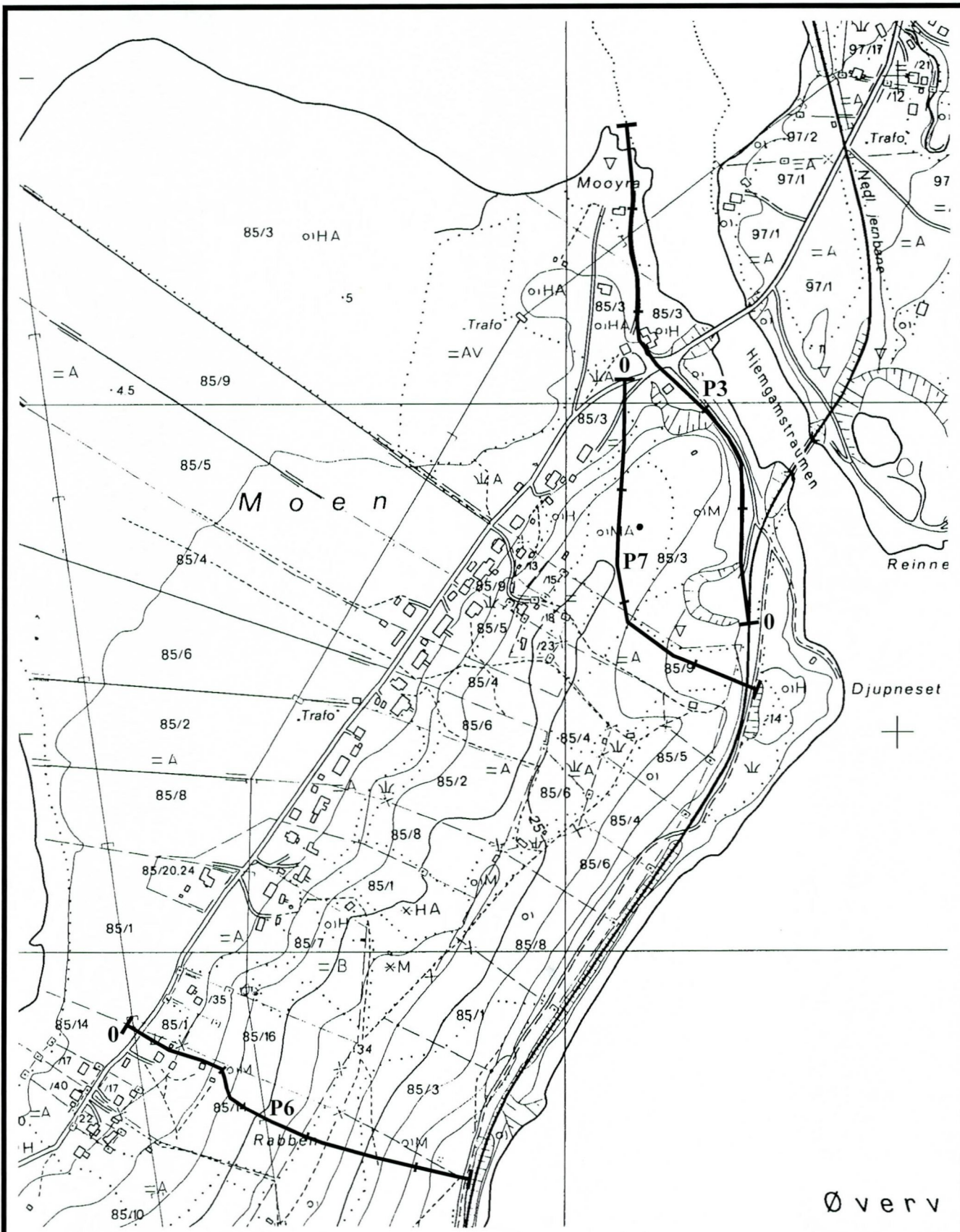
Juni -96

TRAC

KFR

TEGNING NR
96.087-02

KARTBLAD NR
2129 IV



Øverv

NGU
KART SOM VISER PLASSERING AV
GEORADARPROFILER (M/STARTPOSISJON)

MOEN, FAUSKE

FAUSKE KOMMUNE, NORDLAND

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

MÅLESTOKK

1:5000

MÅLT JFT

TEGN EM

TRAC

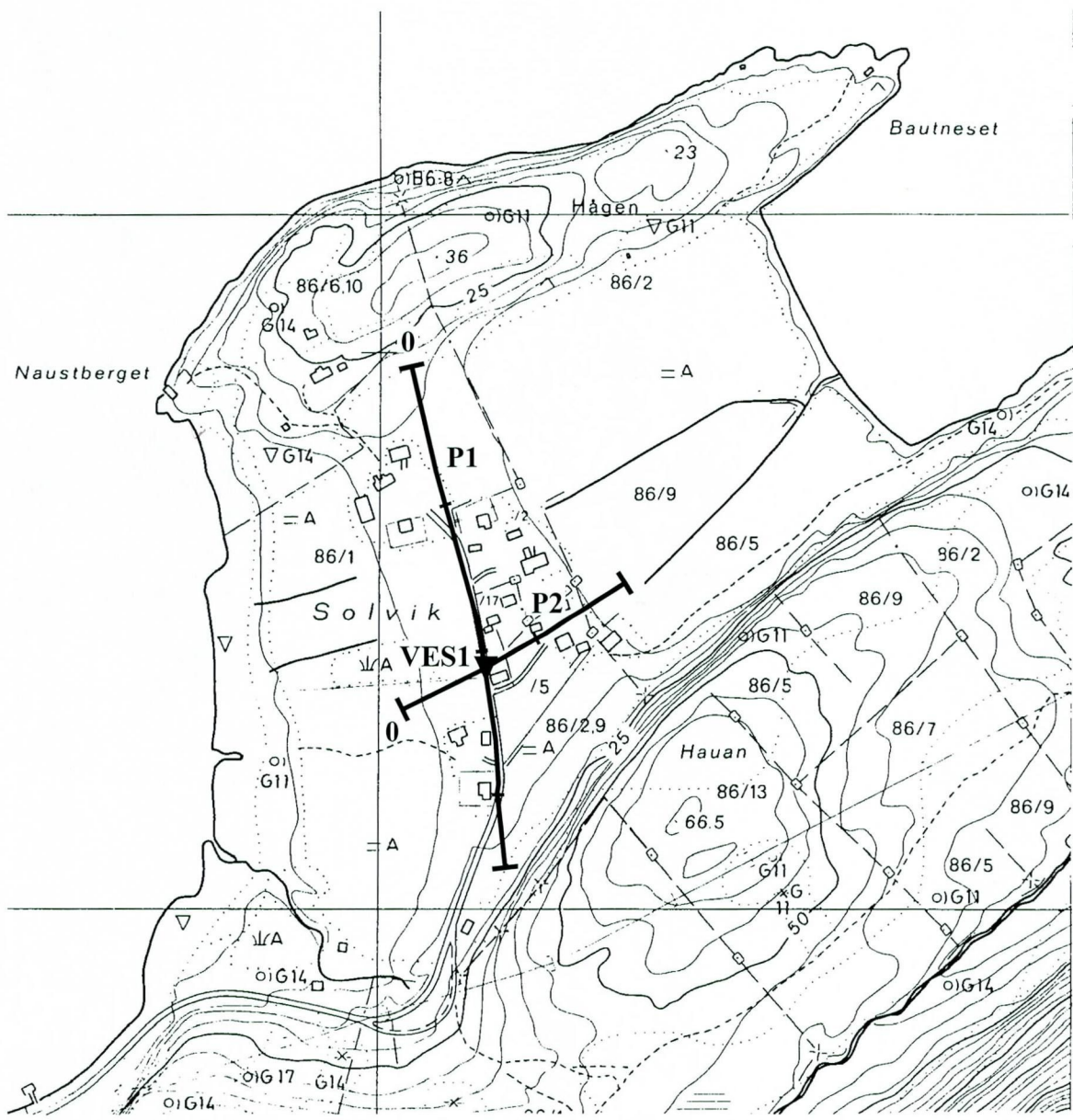
KFR

Aug. -95

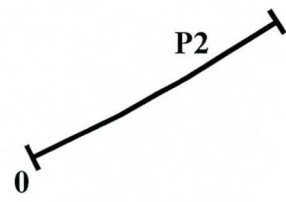
Juni -96

TEGNING NR
96.087-03

KARTBLAD NR
2129 III



VES1 ▼ Vertikal elektrisk sondering (VES)

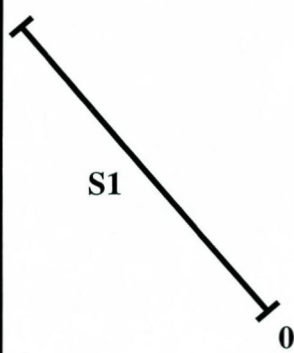
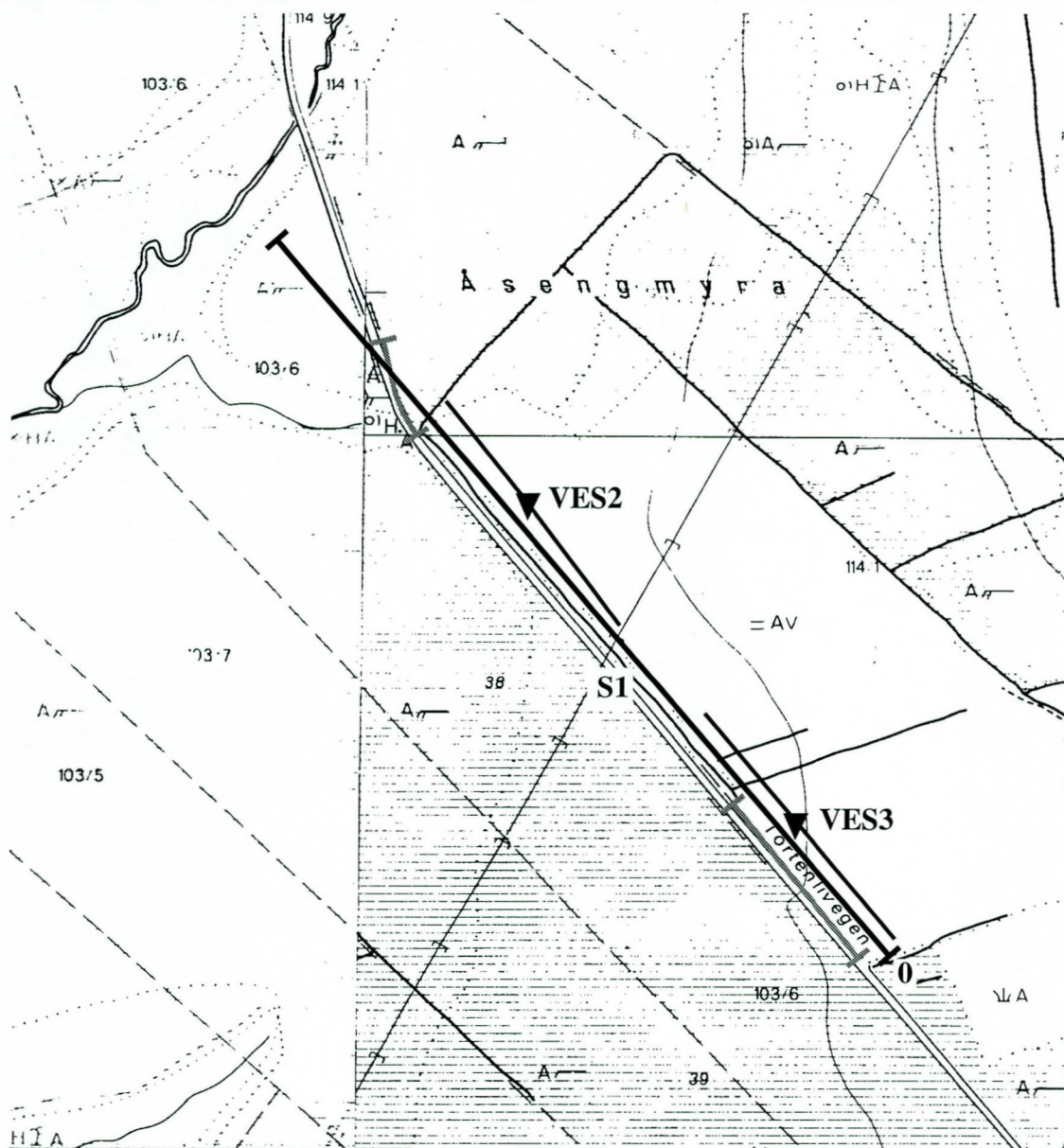
P2  Georadarprofil med startposisjon

NGU
 KART SOM VISER Plassering av
 GEORADARPROFILER OG VES
SOLVIK, FAUSKE
 FAUSKE KOMMUNE, NORDLAND

MÅLESTOKK 1:5000	MÅLT JFT	Aug. -95
	TEGN EM	Juni -96
	TRAC	
	KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

TEGNING NR 96.087-04	KARTBLAD NR 2129 III
-------------------------	-------------------------



Refraksjonsseismisk profil m/startposisjon



Vertikal elektrisk sondering med sonderingspunkt og retning/lengde på elektrodeutlegg

Georadarprofil (ikke presentert eller tolket i rapporten)

NGU
KART SOM VISER PLASSERING AV
REFRAKSJONSSEISMISK PROFIL OG VES

LAUVGAVLEN, FAUSKE

FAUSKE KOMMUNE, NORDLAND

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

MÅLESTOKK

1:5000

MÅLT JFT

Aug. -95

TEGN EM

Juni -96

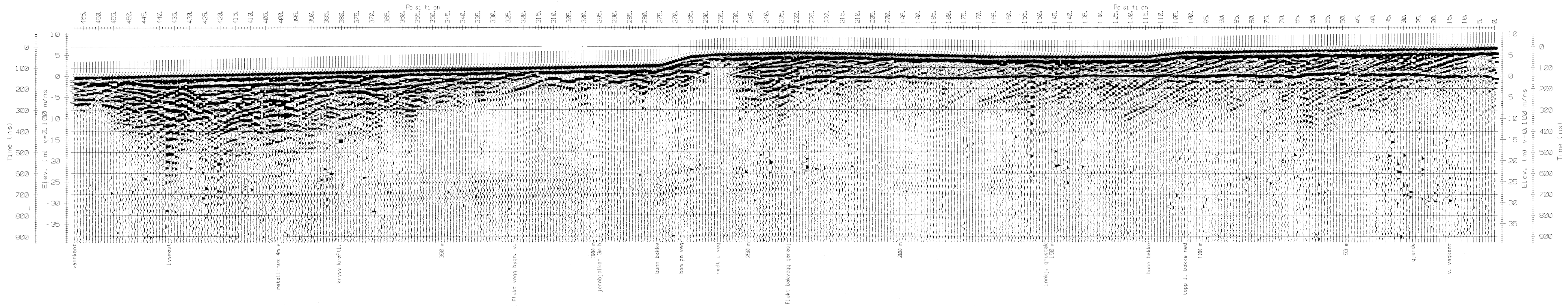
TRAC

KFR

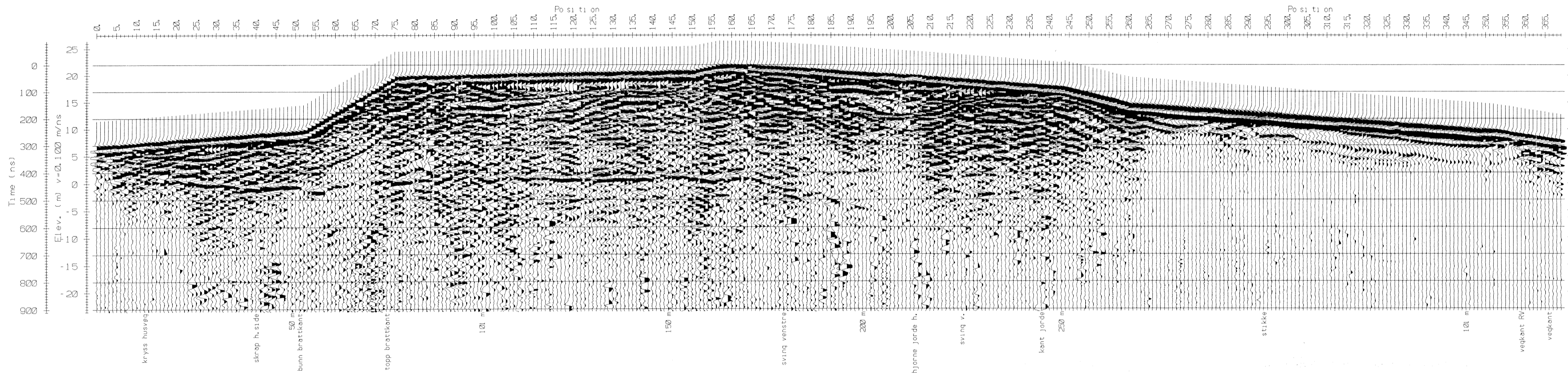
TEGNING NR
96.087-05

KARTBLAD NR
2129 IV

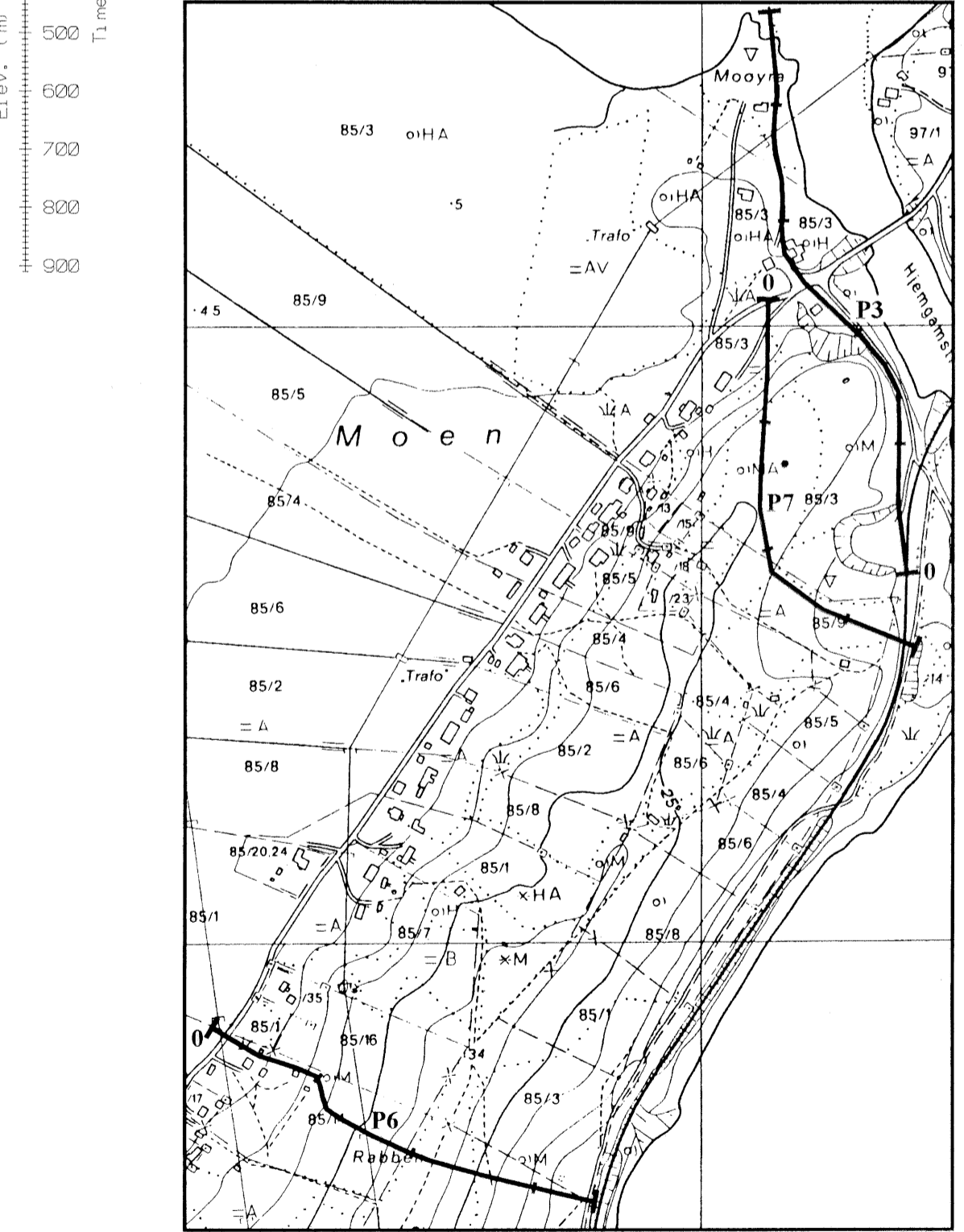
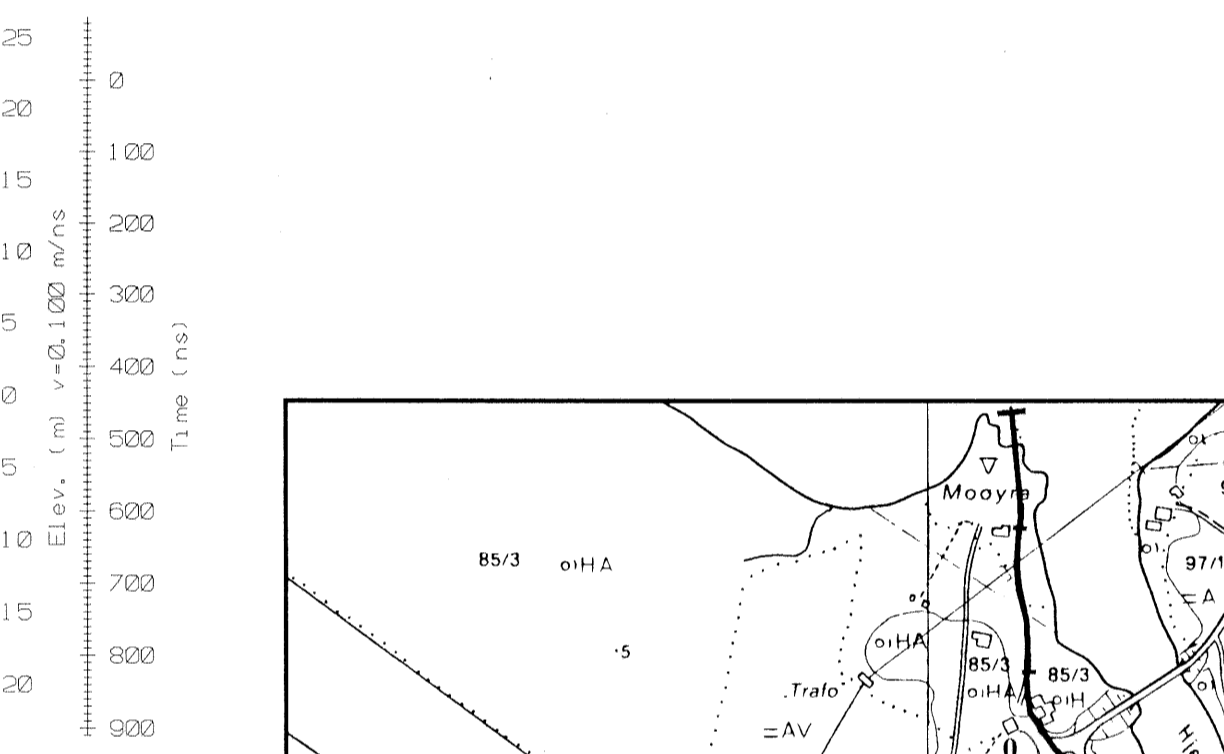
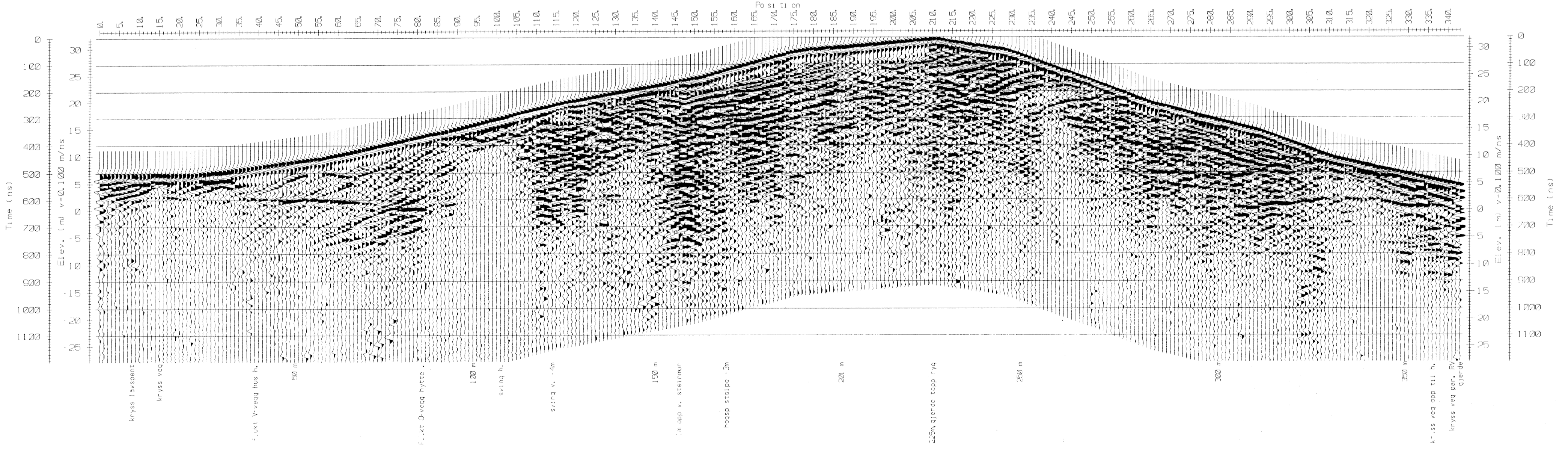
P3



P7



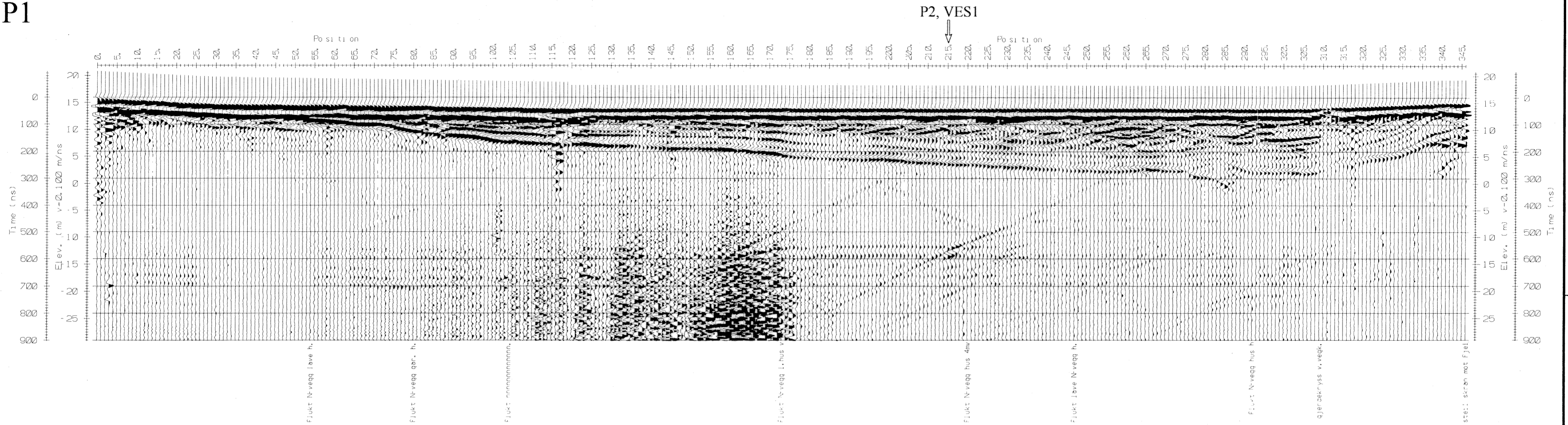
P6



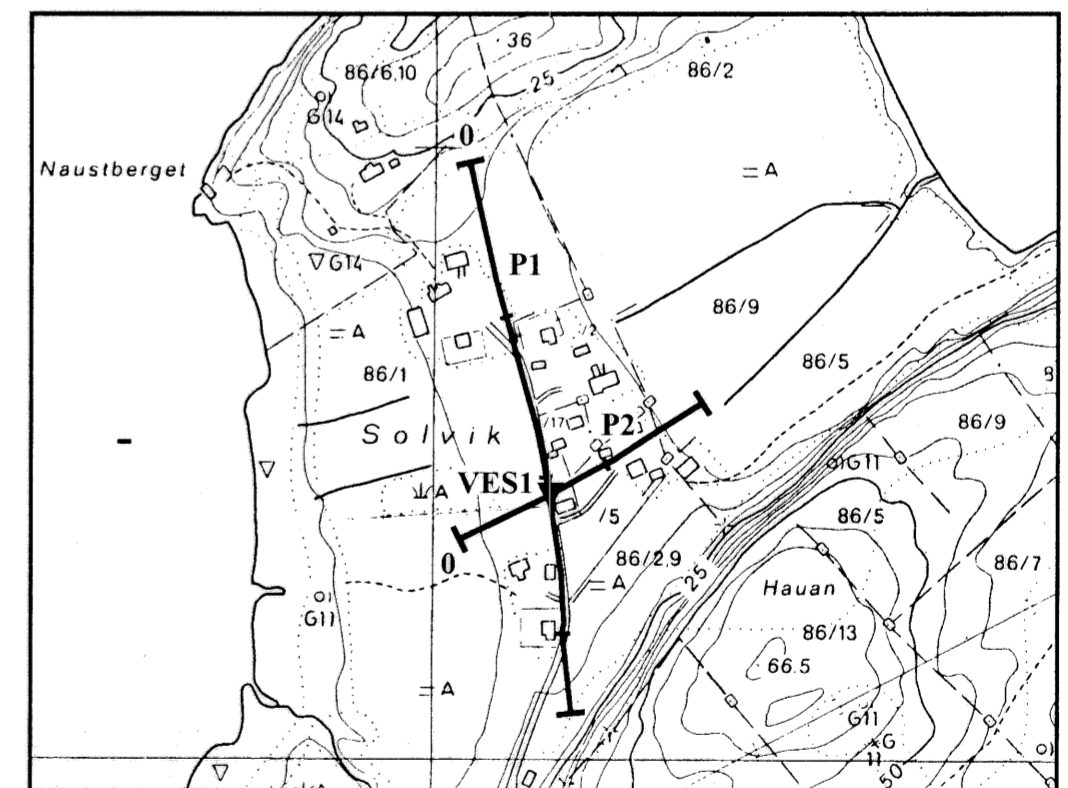
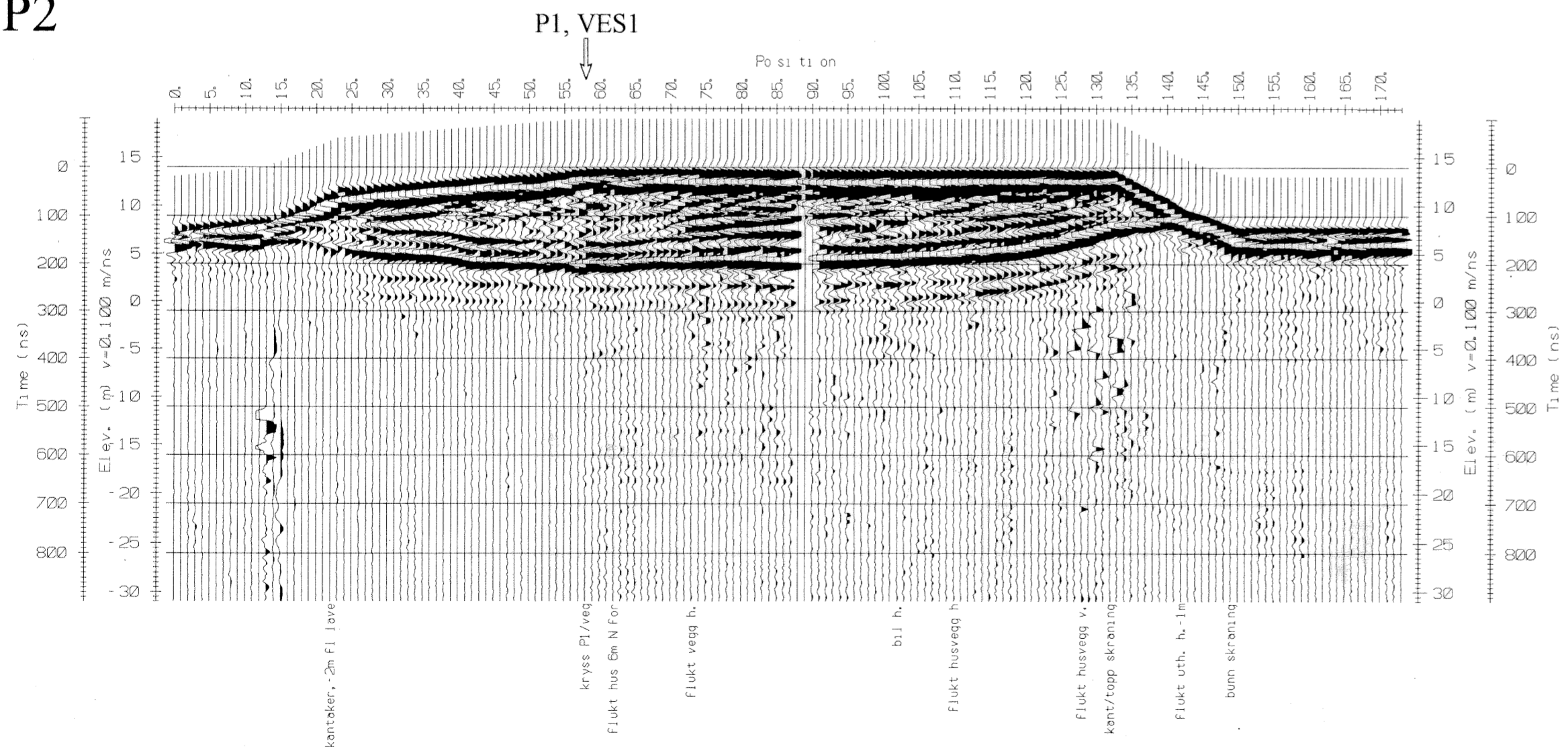
Georadarprofil med startposisjon og markering for hver 100 meter

NGU GEORADAROPPTAK, PROFIL 3, 6 OG 7 MOEN, FAUSKE FAUSKE KOMMUNE, NORDLAND	MÅLESTOKK	MÅLT JFT	Aug. -95
	1:5000 (Kart)	TEGN EM	Juni -96
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR	KARTBLAD NR	
	96.087-06	2129 III	

P1



P2



VES1 ▼ Vertikal elektrisk sondering

P2 ↗ Georadarprofil med startposisjon og markering for hver 100 meter

NGU GEORADAROPPTAK, PROFIL 1 OG 2 SOLVIK, FAUSKE FAUSKE KOMMUNE, NORDLAND	MÅLESTOKK	MÅLT JFT	Aug. -95
	1:5000 (Kart)	TEGN EM	Juni -96
		TRAC	
	KFR		
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR 96.087-07	KARTBLAD NR 2129 III	