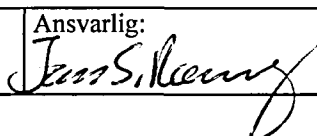


NGU Rapport 96.079

Geofysiske målinger for undersøkelse av mulighetene for uttak av salt og ferskt grunnvann ved Misvær, Skjerstad kommune i Nordland

Rapport nr.: 96.079		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
<b>Tittel:</b> Geofysiske målinger for undersøkelse av mulighetene for uttak av salt og ferskt grunnvann ved Misvær, Skjerstad kommune i Nordland			
<b>Forfatter:</b> Eirik Mauring & Jan Fredrik Tønnesen		<b>Oppdragsgiver:</b> NGU	
<b>Fylke:</b> Nordland		<b>Kommune:</b> Skjerstad	
<b>Kartblad (M=1:250.000)</b> Bodø		<b>Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)</b> 2029 II Skjerstad	
<b>Forekomstens navn og koordinater:</b> Mohus 33V 4993 74445 (ED50)		<b>Sidetall:</b> 25	<b>Pris:</b> 195,-
<b>Feltarbeid utført:</b> 2/8-4/8-1995		<b>Rapportdato:</b> 25/6-1996	<b>Prosjektnr.:</b> 2389.00
		<b>Ansvarlig:</b> 	
<b>Sammendrag:</b> <p>Det er utført georadarmålinger og vertikale elektriske sonderinger (VES) ved Misvær, Skjerstad kommune, Nordland. I den nordlige del av det undersøkte området (Høgmoen-Vika, nær sjøen) ble målinger (både georadar og VES) utført for å vurdere mulighetene for uttak av salt grunnvann til bruk i eventuelt framtidig fiskeoppdrettsanlegg på land. I den sørlige del av måleområdet (Mohus og Menes) ble georadarmålinger utført for å undersøke mulighetene for uttak av ferskt grunnvann til vannforsyning for Misvær.</p> <p>Ved Mohus er det trolig gode muligheter for uttak av grunnvann. Georadaropptakene viser skrå reflektorer til et dyp på minst 25 m og indikerer grovkornige breelvavsetninger.</p> <p>Ved Menes er det kun målt ett georadarprofil, der opptaket viser beskjedne penetrasjonsdyp og indikerer uegnete masser for uttak av grunnvann.</p> <p>Georadarmålinger utført i området mellom Høgmoen og Vika viser liten reduksjon i penetrasjonsdyp mot sjøkanten (Misvær fjorden). Dette indikerer lav salinitet som følge av stort påtrykk av ferskt grunnvann. Opptakene viser at løsmassene trolig er dominert av grovkornige breelvavsetninger, samt at den hydrauliske gradienten er høy (0,08-0,1) mot fjorden. De vertikale elektriske sonderingene viser at vannmettede løsmasser har resistivitetsverdier i området 200-300 <math>\Omega</math>m helt ute ved fjorden. Dette tilsvarer en resistivitet for porevann på ca. 12 <math>\Omega</math>m (tilsvarende verdi for sjøvann er i gjennomsnitt 0,2 <math>\Omega</math>m). Denne forholdsvis høye verdien indikerer svært lav salinitet i grunnvannet. Sammenligning med tilsvarende undersøkelser ved Sunndalsøra peker også i retning av at løsmasser i det undersøkte området ved Misvær fjorden trolig er helt uegnet for uttak av salt grunnvann.</p>			
Emneord: Geofysikk	Hydrogeologi	Løsmasse	
Grunnvann	Salt grunnvann	Breelvavsetning	
Georadar	Elektrisk måling	Fagrapport	

## INNHold

1 INNLEDNING .....	4
2 MÅLEMETODER, UTFØRELSE OG PROSESSERING.....	4
2.1 Georadar .....	4
2.2 Vertikal elektrisk sondering .....	5
3 RESULTATER .....	6
3.1 Mohus.....	6
3.2 Menes .....	7
3.3 Høgmoen-Vika.....	8
3.3.1 Georadarmålinger.....	8
3.3.2 Vertikal elektrisk sondering .....	12
4 KONKLUSJON .....	15
5 REFERANSER .....	16

### Tekstbilag

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

### Databilag

1. Skjema som knytter refleksjonsmønstre i georadaropptak til lagdeling og avsetningstype
2. Modelleringer av vertikale elektriske sonderinger

### Kartbilag

- 96.079-01: Oversiktskart, Misvær (M 1:50 000)
- 96.079-02: Kart som viser plassering av profiler og sonderinger (M 1:5000)
- 96.079-03: Georadaropptak, Mohus & Menes, P1, P2, P8, P9 & P10
- 96.079-04: Georadaropptak, Høgmoen-Vika, P5, P6 & P7
- 96.079-05: Georadaropptak, Høgmoen-Vika, P3 & P4
- 96.079-06: Georadaropptak, Høgmoen-Vika, P11, P12, P13 & P14

## 1 INNLEDNING

Det er utført georadarmålinger og vertikale elektriske sonderinger (VES) ved Misvær, Skjerstad kommune, Nordland. I den nordlige del av det undersøkte området (Høgmoen-Vika, nær sjøen) ble målinger (både georadar og VES) utført for å vurdere mulighetene for uttak av salt grunnvann til bruk i eventuelt framtidig fiskeoppdrettsanlegg på land. I den sørlige del av måleområdet (Mohus og Menes) ble georadarmålinger utført for å undersøke muligheten for uttak av ferskt grunnvann til vannforsyning for Misvær.

Løsmassene i det undersøkte området er dominert av breelvavsetninger, som nær elva (Lakselva) stedvis er overlagret av elveavsetninger. Målingene ble utført av Jan Fredrik Tønnesen i perioden 2/8-4/8-1995 med assistanse fra Inge Mosti (hovedfagsstudent ved Universitetet i Bergen).

## 2 MÅLEMETODER, UTFØRELSE OG PROSESSERING

### 2.1 Georadar

Plassering av målte profiler er vist i kartbilag -02, og sammen med opptakene i kartbilag -03 til -06. En generell beskrivelse av georadarmålinger 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. Det ble foretatt 32 summerte registreringer ('stacks') ved hvert målepunkt. Det ble målt ca. 3,6 profilm km fordelt på 14 profiler og tre delområder. Profillengder framgår av tabell 1. Reelle lengder av profiler kan være noe forskjellig fra lengder angitt på georadarpptak, pga. mulig tilfeldig eller systematisk feil i flyttavstand ved utførelsen av målingene. For profil 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10 og 11 ble det satt opp stikker langs profilene for hver 25 eller 50 m. Plasseringen av disse (som angir reelle lengder) er angitt som kommentarer under opptakene. Andre kommentarer (f.eks. terrengdetaljer og kryssende profiler) er også angitt på opptakene og kan bidra til å lokalisere tilsvarende posisjoner på de topografiske kartene. Ved beskrivelse av opptak, refereres det til profilmeter (angitt for hver 5 meter over opptakene).

Opptakene er korrigert for temperaturavhengig drift i instrumentet. De er deretter terrengkorrigert der det er benyttet en hastighet på 0,12 m/ns over grunnvannsspeil og en hastighet på 0,07 m/ns under grunnvannsspeil. Nivået på grunnvannsspeil kan variere betydelig langs opptakene, og dybdeskala på høyre side av opptakene er som regel forskjellig fra dybdeskala på venstre side (dybdeskala er beregnet etter nivå på grunnvannsspeil nær hver ende av oppta-



kene). Ved beregning av penetrasjonsdyp eller dyp til reflektorer under grunnvannsspeil sentralt i opptakene (ved nivåendring i grunnvannsspeil langs opptakene) er følgende likning benyttet;

$$d = 0.06t_1 + 0.035(t_2 - t_1) \quad , \quad d(\text{dyp}) \text{ er i meter}$$

der  $t_1$  er to-vegs gangtid (i ns) til grunnvannsspeils-reflektoren og  $t_2$  er to-vegs gangtid (i ns) til reflektorer under grunnvannsspeil. Unøyaktigheter i den topografiske korreksjonen skyldes at høyder ble avlest fra kart i målestokk 1:5000 og ikke nivellert. Ved utskrift av opptakene ble det benyttet 5-punkts gjennomsnitt langs traser for å redusere høyfrekvent støy, samt SEC-forsterkning (SEC='Spreading and Exponential Compensation'). Denne forsterkningen øker eksponentielt med tiden og kompenserer for geometrisk spredning og demping.

**Tabell 1. Plassering og lengde av georadarprofiler.**

<u>Profilnummer</u>	<u>Sted</u>	<u>Lengde (m)</u>	<u>Kartbilagsnummer</u>
P1	Mohus	441	-03
P2	Mohus	107	-03
P8	Mohus	87	-03
P9	Mohus	80	-03
P10	Menes	98	-03
P5	Høgmoen-Vika	285	-04
P6	Høgmoen-Vika	156	-04
P7	Høgmoen-Vika	341	-04
P3	Høgmoen-Vika	504	-05
P4	Høgmoen-Vika	502	-05
P11	Høgmoen-Vika	693	-06
P12	Høgmoen-Vika	98	-06
P13	Høgmoen-Vika	76	-06
P14	Høgmoen-Vika	156	-06

## 2.2 Vertikal elektrisk sondering

En beskrivelse av måleteknikk og tolkning av vertikale elektriske sonderinger er vedlagt i tekstbilag 2. Det ble utført fire sonderinger nær fjorden (se kartbilag -02), og modellering av disse er vist i databilag 2. Et kabelsystem for Schlumberger elektrodekonfigurasjon ble benyttet ved utførelsen av målingene, og som måleinstrument ABEM SAS300 Terrameter.  $AB/2_{\max}$  var 80 m for sondering VES-1 og VES-2, 100 m for VES-4 og 140 m for VES-3. Ved prosessering av data ble det korrigert for laterale variasjoner i resistivitet ved potensialelek-

trodene. Modelltilpasning ble foretatt ved hjelp av programpakken Interpex/Resixip. Etter en preliminær, framlengs modellering ble det utført invertering på data (programmet forsøker automatisk å oppnå best mulig tilpasning til datapunktene, med utgangspunkt i det antall resistivitetslag og de resistivitets- og dybdeverdier som ble modellert preliminært). Datapunkter er angitt som firkanter eller kryss i databilag 2. De datapunkter som er angitt som kryss er utelatt ved inverteringen, da disse antas å være beheftet med støy.

### 3 RESULTATER

#### 3.1 Mohus

Opptak og plassering av profiler er vist i kartbilag -03. Profil 1, 2, 8 og 9 ble målt i dette området. Formålet med undersøkelsen var å evaluere mulighetene for uttak av ferskt grunnvann fra løsmasser. Forhold som er aktuelle å undersøke er avsetningstyper (grovkornig/finkornig) og plassering av grunnvannsspeil. Forskjellige avsetningstyper er ofte karakterisert ved bestemte refleksjonsmønstre eller reflektor-strukturer i georadaropptakene. For grovt sett å bestemme avsetningstype, benyttes et skjema etter Beres & Haeni (1991). Dette skjemaet er vist i databilag 3.

##### P1

Profilet går fra et juv i sør og nordover langs Lakselva. Elva har erodert seg dypt ned i breelavsetningen. Profilet dreier mot øst omtrent ved posisjon 200. Det følger driftsvei med påfylt masse fra posisjon 250 og nordover. Veggen fungerer som elveforbygning mellom posisjon 170 og 60. Ved starten av profilet (posisjon 441) er penetrasjonsdypet ca. 10 m og øker jevnt til ca. 25 m ved posisjon 290. Dette penetrasjonsdypet holder seg stort sett til nordøstenden av profilet (posisjon 0). Redusert penetrasjon mot sørenden av profilet skyldes trolig at finstofflag eller fjell kommer opp mot overflaten i denne retningen. Grunnvannsspeil sees fra posisjon 415 (nivå 24-25 moh.) til posisjon 180 (nivå 19 moh.). Fra posisjon 180 ligger grunnvannsspeil så grunt at refleksjoner fra dette interfererer med direktebølger fra sender- til motakerantenne. Refleksjonsmønsteret er skrått og representerer trolig grovkornige breelavsetninger. De skrå reflektorene blir noe slakere, spesielt mot dypet fra posisjon 200, fordi profilet her dreier østover. Det er trolig gode muligheter for uttak av grunnvann langs store deler av profilet, men gunstigste område vil være begrenset til mellom posisjon 350 og 170. Videre mot nordøst skråner terrenget meget bratt opp rett bak elveforbygning, og grunnvannsuttak nær elvekanten vil være lite gunstig, da ellevannet her vil nå meget raskt fram til en grunnvannsbrønn.

## P2

Profilen er et kort tverrprofil til P1. Grunnvannsspeil sees i nivå 19 moh. (posisjon 0) til 17 moh. (posisjon 107) og skjærer gjennom flere skrå reflektorer som indikerer grovkornige breelvavsetninger. Også for dette profilet er penetrasjonsdypet ca. 25 m, men penetrasjonen under grunnvannsnivå i løsmasser med skrå reflektorer avtar fra øst mot vest. Mulig uttak av grunnvann langs profilet vil være begrenset til området øst for posisjon 30.

## P8

Profilen er målt på Ystnes på motsatt side av elva i forhold til P1 og P2. Mulig fjell sees som en markant refleksjon i nivå ca. 20 moh. ved posisjon 20. Fjellreflektoren skråer bratt nedover til ca. 3 moh. ved posisjon 73. Mellom posisjon 0 og 20 interfererer refleksjoner fra fjell med andre hendelser og kan ikke skilles fra disse. Grunnvannsspeil sees som en svak refleksjon i nivå 21-22 moh. Refleksjonsmønsteret er hauget eller kaotisk med antydning til skrå reflektorer, og penetrasjonsdypet er i størrelsesorden 20-25 m. Løsmassene antas å representere breelvavsetninger. På grunn av begrenset løsmassemekktighet i sørvestligste del av profilet bør eventuelt oppfølgende grunnvannsboringer her lokaliseres nordvest for posisjon 40.

## P9

Profilen er målt på tvers av Ystnes og profil 8. Grunnvannsspeil er vanskelig å erkjenne på opptaket, men antas å ligge omtrent i nivå 21 moh. Penetrasjonsdypet er i størrelsesorden 25-30 m og opptaket er dominert av relativt slake, skrå reflektorer. Løsmassene representerer trolig grovkornige breelvavsetninger. Fjelloverflaten kan ligge i området 3-5 moh.

## Oppsummering

Det best egnede området for uttak av grunnvann er trolig mellom posisjon 170 og 350 langs profil 1. Her sees skrå reflektorer til et dyp på minst 25 m og som indikerer grovkornige breelvavsetninger. Det kan også være mulighet for grunnvannsuttak fra nordvestlige deler av Ystnes på den andre siden av elva. I det anbefalte området i profil 1 har NGU i ettertid satt ned en brønn som for tiden (juni 1996) prøvepumpes.

## 3.2 Menes

Det er kun målt ett profil i dette området (P10). Opptak og profilplassering er vist i kartbilag - 03. Formålet med georadarmålingene var også her å undersøke mulighetene for uttak av ferskt grunnvann fra løsmasser.

Opptaket viser et svært begrenset penetrasjonsdyp (5-10 m), og det kan ikke sees strukturer som indikerer grovkornige avsetninger. Videre undersøkelser anbefales ikke.

### 3.3 Høgmoen-Vika

I dette området er det målt ni georadarprofiler og fire vertikale elektriske sonderinger (VES). Plassering av profiler og sonderinger er vist i kartbilag -02. Georadaropptakene er vist i kartbilag -04 til -06 og modellberegninger av de vertikale elektriske sonderingene er vist i databilag 2. Formålet med undersøkelsen var å finne områder som er best egnet for uttak av salt grunnvann fra løsmasser til bruk i fiskeoppdrettsanlegg på land. Det er tidligere utført tilsvarende undersøkelser f. eks. ved Sunndalsøra (Soldal et al. 1992, Soldal et al. 1994). De forhold som vil være aktuelle å undersøke er løsmassenes beskaffenhet (grovkornig/finkornig), hydraulisk gradient, penetrasjonsdyp av EM-pulser og resistivitet. Løsmassene må være grovkornige for at det skal oppnås store nok vannmengder, men samtidig vil grovkornige avsetninger være permeable for ferskt grunnvann. Penetrasjonsdypet er avhengig av resistiviteten i bakken, der lav resistivitet indikerer høy salinitet og medfører redusert penetrasjonsdyp. Elektriske målinger ble utført for å undersøke resistivitetsforholdene kvantitativt. Den hydrauliske gradienten bør være lav, siden 'grenseflaten' (egentlig en overgangssone) mellom salt og ferskt grunnvann har en gradient som er mye større enn den hydrauliske gradient (40 ganger større i følge Ghyben-Herzberg-relasjonen, som i tillegg underestimerer dypet til saltvannssonen). Antatt gunstige forhold for uttak av salt grunnvann er det trolig der georadaropptakene indikerer grovkornige avsetninger, svært begrenset penetrasjonsdyp og lav hydraulisk gradient, samt der de vertikale elektriske sonderinger indikerer lav resistivitet mot dypet. De faktorer som er nevnt vil bli omtalt i teksten, og verdier vil bli sammenlignet med tilsvarende undersøkelser på Sunndalsøra (Soldal et al. 1992 og Soldal et al. 1994).

#### 3.3.1 Georadarmålinger

Georadaropptakene blir beskrevet i rekkefølge fra vest mot øst og fra sør mot nord.

##### P5

Profilet er målt lengst vest ved vei i området ved Agermobakken. Opptaket er vist i kartbilag -04. Overflaten av fjell kan sees som en svært uregelmessig reflektor. Den kan følges mellom disse posisjonene i vest; 30 (39 moh.), 50 (33 moh.), 60 (24 moh.), 75 (20 moh.), 95 (24 moh.), 115 (20 moh.), 130 (10 moh.). I øst kan overflaten av fjell sees mellom følgende posisjoner; 225 (8 moh.), 235 (12 moh.), 250 (15 moh.), 260 (20 moh.). Mellom posisjon 0 og 30 og mellom posisjon 260 og 285 ligger fjell for grunt (<3 m dyp) til å kunne sees på opptaket. Hendelser mellom posisjon 0 og 45 (15-35 moh.) representerer trolig refleksjoner fra sprekker/strukturer i fjell. Grunnvannsspeil sees som en jevn, nesten horisontal reflektor i nivå 8-10 moh. i området 135-220, og opptrer sannsynligvis i grovkornige løsmasseavsetninger. I det samme området ligger fjell under grunnvannsspeil. Refleksjonsmønsteret i løsmasser over grunnvannsspeil er hauget, med flere overflateparallele reflektorer. Løsmassene er trolig bre-

elvvavsetninger. Mangel på skrå reflektorer i løsmassene indikerer at profilet går på tvers av avsetningsretningen.

#### P6

Profilet er målt på tvers av P5 langs skråning ned mot sjøen, og opptaket er vist i kartbilag -04. Fjell sees som en distinkt reflektor i nivå 15 moh. ved posisjon 0 til 9 moh. ved posisjon 28. Fra posisjon 45 sees grunnvannsspeil som en nesten horisontal reflektor i nivå 7 moh, men går ned mot 3 moh. fram til posisjon 120. Mellom posisjon 120 og nordenden av profilet (posisjon 156) ligger grunnvannsspeil for nær overflaten til å sees i opptaket. Den siste målingen (posisjon 156) ble foretatt i sjøkanten. Refleksjonsmønsteret er skrått, og reflektorene er omtrent parallelle med terrengoverflaten, som trolig representerer relativt intakt deltaskråning (verken erodert eller overlagret av andre avsetningstyper). Til tross for at nordenden av profilet ligger helt i sjøkanten, er penetrasjonsdypet ca. 20 m. Dette indikerer et betydelig påtrykk av ferskt grunnvann. Nivåforskjellen på grunnvannsspeil mellom posisjon 120 og 156 er ca. 3 m. Dette tilsvarer en størrelse på komponenten av den hydrauliske gradienten på ca. 0,08 i denne retningen. Denne forholdsvis høye verdien, samt de grovkornige, permeable breelvdeltaavsetningene er trolig årsaken til det store påtrykket av ferskt grunnvann.

#### P7

Dette profilet er målt langs sjøkanten lengst i vest i måleområdet. Profilet er målt fra øst til vest-nordvest, men er plottet fra vest-nordvest til øst i kartbilag -04. Mulig fjell sees som en reflektor som går bratt ned mot dypet fra posisjon 180 (nivå ca. -3 moh.) til posisjon 152 (nivå -13 til -14 moh.). Mellom posisjon 341 (vest-nordvestenden av profilet) og posisjon 180 ligger trolig fjellreflektoren for grunt til å sees direkte på opptaket. Fra posisjon 180 til posisjon 0 er refleksjonsmønsteret for det meste hauget til kaotisk. Til tross for nærhet til sjøen er penetrasjonsdypet i størrelsesorden 15-20 m. Dette indikerer stort påtrykk av ferskt grunnvann og grovkornige avsetninger. Løsmassene representerer trolig vesentlig breelvvavsetninger. Grunnvannsspeil sees som en horisontal reflektor i nivå ca. 1 moh. mellom posisjon 70 og 0.

#### P4

Profilet er målt langs såle i grustak fra vest mot øst. I vest starter profilet ved fjellrygg. Opptaket er vist i kartbilag -05. Fjellreflektor kan ikke erkjennes på opptaket, men går trolig raskt mot dypet fra posisjon 0. Dette er indikert ved økende penetrasjon samt reflektorer som heller nedover fra posisjon 0. Mulig grunnvannsspeil sees som en markant reflektor i nivå ca. 10 moh. mellom posisjon 90 og 230 (refererer til dybdeskala på høyre side av opptaket). Grunnvannsspeil skrår oppover mot overflaten fra posisjon 90 til posisjon 30 (nivå ca. 18 moh.). Refleksjonsmønsteret er for det meste hauget og stedvis skrått (sistnevnte mønster er mest markert mellom posisjon 465 og 502 hvor profilet har en annen retning) og representerer trolig grovkornige breelvvavsetninger. Penetrasjonsdypet er størst (25-30 m) og reflektiviteten kraftigst mellom posisjon 90 og 200. I det samme området er dypet til grunnvannsspeil størst. Mellom posisjon 200 og 502 er penetrasjonsdypet i størrelsesorden 15-20 m.

### P3

Profilet er målt langs skråning i grustak fra Høgmoen i sør til sjøen (Misvær fjorden) i nord. Opptaket er vist i kartbilag -05. Horisontale/subhorisontale reflektorer i nivå 48-53 moh. mellom posisjon 0 og 160 kan representere strukturer i topplaget av deltaavsetningen. Grunnvannsspeil kan sees som en mer eller mindre sammenhengende reflektor gjennom hele opptaket. Stedvis har reflektoren et uregelmessig utseende, men dette kan indikere feilaktig terrengekorreksjon. Grunnvannsspeil sees mellom følgende posisjoner; 30-105 (nivå 28-29 moh.), 185 (ca. 32 moh.), 250 (ca. 29 moh.), 300 (ca. 20 moh.), 350 (ca. 14 moh.), 385 (ca. 11 moh.), 440 (ca. 5 moh.), 475 (ca. 2 moh.). Mulig fjell stikker opp som en tydelig reflektor på nivå 29-32 moh. mellom posisjon 120 og 165 (toppunkt i nivå 32 moh. ved posisjon 145). Refleksjonsmønsteret er vesentlig hauget eller kaotisk mellom posisjon 0 og 230. Fra posisjon 230 og til nordenden av profilet er refleksjonsmønsteret for det meste skrått og indikerer breelvavsetninger. Penetrasjonsdypet er i størrelsesorden 20-30 m, men avtar noe mot nordenden av profilet. Lokalt kraftig reduksjon i penetrasjonsdyp mellom posisjon 405 og 440 kan skyldes økt ledningsevne i overflaten (muligens pga. forurenset grunn i forbindelse med drift av grustaket). Årsaken til redusert penetrasjon mellom posisjon 492 og 498 er ukjent. Mellom posisjon 500 og 504 (målt helt ute ved sjøen) er penetrasjonsdypet 10-15 m. Dette indikerer stort påtrykk av ferskt grunnvann også i dette området. Dette er også indikert ved skrå reflektorer (grovkornige breelvavsetninger) og høy hydraulisk gradient (komponenten i profilretningen har en størrelse på ca. 0,1 mellom posisjon 440 og 504). Mulighetene for uttak av salt grunnvann er sannsynligvis små i dette området.

### P14

Profilet er målt fra sørøst til nordvest lengst øst i grustak. Opptaket er vist i kartbilag -06. Grunnvannsspeil sees som en distinkt reflektor mellom posisjon 15 og 55 (nivå ca. 10 moh.) og mellom posisjon 120 og 145 (nivå 2 til 1 moh.). Ved starten av profilet (posisjon 0) er refleksjonsmønsteret hauget, men går over til å bli skrått fra posisjon 20 og indikerer grovkornige breelvavsetninger. Penetrasjonsdypet ser bare i liten grad ut til å bli mindre mot sjøen. Ved nordvestenden av profilet (posisjon 156) er penetrasjonsdypet 10-15 m og indikerer lav salinitet i grunnvannet.

### P11

Profilet er målt fra vest-sørvest til øst-nordøst langs sjøen, og dreier mot øst omtrent fra posisjon 500. Opptaket er vist i kartbilag -06. Refleksjonsmønsteret er hauget eller skrått med flere trauformete reflektorer. Profilet er målt på tvers av deltafronten, og refleksjonsmønsteret indikerer at det har vært en god del veksling både i lokalisering av elveutløp og i avsetningsretning. Løsmassene er dominert av breelvavsetninger, trolig med elveavsetninger øverst. Fra posisjon 350 til østenden av profilet (posisjon 693) sees grunnvannsspeil som en skarp, horisontal reflektor i nivå 0-1 moh. Mellom posisjon 0 og 350, der profilet ligger nærmest fjorden og der dyp til grunnvannsspeil er minst, er penetrasjonsdypet forholdsvis stort (15-20 m) og

indikerer lav salinitet i grunnvannet og stort påtrykk av ferskt grunnvann. Lokalt mindre penetrasjonsdyp mellom posisjon 250 og 400 kan indikere høyere salinitet i grunnvannet her, eller det kan skyldes at en kraftig, buet reflektor i det samme området utgjør nedre grense for penetrasjonen. Reflektoren kan muligens representere bunnlag i breelavsetningene med relativt finkornig materiale under, eller reflektoren kan være så kraftig at lite energi fortsetter videre mot dypet. Opptaket indikerer at det er små muligheter for uttak av salt grunnvann i dette området.

### P13

Profilet er et kort tverrprofil til P11 og er målt fra sør mot nord ut mot bryggekant. Opptaket er vist i kartbilag -06. Opptaket viser et skrått refleksjonsmønster, der reflektorene flater ut mot mulig bunnlag (finkornige avsetninger, jfr. kraftig, buet reflektor i P11) i nivå -8 til -9 moh. En gjennomgående reflektor i nivå -12 til -14 moh. kan muligens representere reflektor i finstofflag. Penetrasjonsdypet er 10-15 m fram til posisjon 66. Fra denne posisjonen avtar penetrasjonsdypet, fordi profilet går langs brygge-utstikker fram til nordenden av profilet, der sjøvann trenger inn fra sidene. Det er trolig stort påtrykk fra ferskt grunnvann også i dette området.

### P12

Profilet er et tverrprofil til østlige del av P11 og er målt fra sør til sjøkant i nord, og opptaket er vist i kartbilag -06. Grunnvannsspeil sees som en gjennomgående reflektor i nivå 0-1 moh. Refleksjonsmønsteret er skrått og indikerer grovkornige breelavsetninger. Penetrasjonsdypet er 15-20 m og er bare ubetydelig redusert mot nordenden av profilet. Helt nede ved sjøkanten er penetrasjonsdypet 12-13 m og indikerer lav salinitet i grunnvannet og små muligheter for uttak av grunnvann.

### Oppsummering

Georadaropptakene for de profiler som er målt mot sjøen viser liten reduksjon i penetrasjonsdypet når en beveger seg mot sjøkanten. Dette indikerer lav salinitet i grunnvannet. Opptakene viser at avsetningene trolig er dominert av grovkornige breelavsetninger, samt at den hydrauliske gradienten er høy (0,08-0,1) mot fjorden. Disse forhold gir stort påtrykk av ferskt grunnvann og forklarer den lave saliniteten.

Tilsvarende undersøkelser utført på deltaflaten ved Sunndalsøra viser at penetrasjonsdypet avtar sterkt mot sjøen (mindre enn 5 m penetrasjonsdyp i grovkornige avsetninger) og at den hydrauliske gradienten er ca.  $2 \cdot 10^{-3}$ , altså langt lavere enn i Misvær. Til tross for langt gunstiger betingelser for uttak av salt grunnvann ved Sunndalsøra, har det vist seg vanskelig å pumpe ut grunnvann med høy nok salinitet til bruk i fiskeoppdrettsanlegg (Soldal et al. 1992). Det er derfor svært lite sannsynlig at det nær land ved Misvær (med langt mer ugunstige hydrogeologiske forhold) kan være mulig å pumpe ut grunnvann med høy nok salinitet til bruk i fiskeoppdrettsanlegg.

### 3.3.2 Vertikal elektrisk sondering

Det ble utført fire vertikale elektriske sonderinger nær fjorden for å undersøke de elektriske ledningsevneforholdene mot dypet. Ledningsevnen øker (resistiviteten avtar) med økende salinitet i grunnvannet. Elektriske målinger utført ved Sunndalsøra (Soldal et al. 1994) viste resistivitetsverdier lavere enn 5-10  $\Omega\text{m}$  allerede fra noen få meters dyp (mindre enn 5 m), uten at det ble oppnådd grunnvann med høy nok salinitet til bruk i fiskeoppdrettsanlegg (Soldal et al. 1992). Resultater fra modelleringer er vist i databilag 2, og sonderingene presenteres fra vest mot øst.

Resistiviteten i porevann kan beregnes fra Archie's lov (Telford et al. 1984) dersom en kjenner formasjonsresistiviteten i løsmassene, samt porøsiteten. Archie's lov er (modifisert for vannmettede forhold);

$$\rho_w = \frac{\rho_e}{a\phi^{-m}}$$

$\rho_w$  = resistiviteten av porevann

$\rho_e$  = formasjonsresistiviteten (resistiviteten av blandingen porevann + tørrstoff)

a, m = konstanter ( $0,5 \leq a \leq 2,5$  og  $1,3 \leq m \leq 2,5$ )

$\phi$  = porøsitet (0,25-0,4 for grus og 0,25-0,5 for sand)

Gjennomsnittlige resistivitetsverdier for sjøvann og porevann i løsmasser er henholdsvis 0,2  $\Omega\text{m}$  og 100  $\Omega\text{m}$  (Telford et al. 1984). Resistivitetsverdien i sjøvann tilsvarer en formasjonsresistivitet på 3-4  $\Omega\text{m}$  (for  $\phi=0,3$ ,  $a=1,5$  og  $m=2$ ). I denne rapporten beregnes resistiviteten i porevannet på bakgrunn av formasjonsresistivitet framkommet ved modellberegninger (se seinere).

#### VES-2

Sonderingen er utført med senter i posisjon 132, georadarprofil 7. Modelltilpasning er vist på side 1 i databilag 2. For å få best mulig modelltilpasning, var det nødvendig å modellere med tre resistivitetslag. Det øverste laget har en resistivitet på ca. 500  $\Omega\text{m}$  som muligens representerer fuktig sand/grus eller markjordlag. Fra ca. 1 m dyp er det modellert et lag med resistivitet på ca. 300  $\Omega\text{m}$ . Tabell over spesifikk motstand (resistivitet) i tekstbilag 2, viser at verdien ligger innenfor nedre del av normalområdet for ferskvannsmettet sand/grus. Sonderingen indikerer svært lav salinitet. Fra ca. 6 m dyp er det modellert et lag med en resistivitet på ca. 650  $\Omega\text{m}$ . Denne tilsynelatende økning i resistivitet skyldes trolig at fjellet går kraftig opp i vest (jfr. georadaropptak P7) og at resistivitetsverdien som er beregnet både vil være påvirket av resistiviteten i fjell ( $>650 \Omega\text{m}$ ) og resistiviteten i vannmettet sand/grus ( $<650 \Omega\text{m}$ ). Det er ikke indikert salt grunnvann ved denne sonderingen. Dette er i overensstemmelse med georadaropptaket for profil 7 som viser et stort penetrasjonsdyp (15-20 m) i området ved sonderingen.



### VES-1

Sonderingen er utført ca. 40 m vest for nordenden av georadarprofil 3. Modelleringer er vist på side 2 og 3 i databilag 2. Ved den første modelleringen (side 2) valgte en å se bort fra siste målepunkt ( $AB/2=80$  m) ved modelltilpasningen, da dette i første omgang ble betraktet som støy. Det ble oppnådd tilfredsstillende modelltilpasning ved å legge inn fire resistivitetslag i modellen. Det øverste laget har en resistivitet på ca.  $8000 \Omega\text{m}$  og representerer trolig tørre, humusholdige avsetninger. Mellom ca. 0,6 og 2,3 m dyp opptrer tørre sand/grus-avsetninger med en resistivitet på ca.  $13000 \Omega\text{m}$ . Fra ca. 2,3 m dyp er avsetningene vannmettede, der resistiviteten er ca.  $1250 \Omega\text{m}$  ned til ca. 7,5 m dyp (vannmettet sand/grus). Fra ca. 7,5 m dyp er resistiviteten ca.  $295 \Omega\text{m}$ . Denne verdien er innenfor nedre normalområde for ferskvannsmettet sand/grus (tekstbilag 2). Siden georadaropptaket for profil 3, som er målt ca. 40 m øst for sonderingen, ikke indikerer vesentlig endring i materialtype fra 7,5 m dyp, er det nærliggende å tro at den lavere resistiviteten kan skyldes en svak økning i salinitet. Denne eventuelle økningen er langt fra tilstrekkelig til at området er interessant mhp. uttak av salt grunnvann (jfr. resultater fra elektriske målinger på Sunndalsøra).

For å ta hensyn til den lave verdien for  $AB/2=80$  m, ble det foretatt en ekstra modellberegning (side 3 i databilag 2). Det lot seg ikke gjøre å få en akseptabel kurvetilpasning for de tre siste punktene på kurven ( $AB/2=50, 60$  og  $80$  m), men for i det hele tatt å ta hensyn til det siste målepunktet måtte det legges til et lag nederst med lavere resistivitet enn de over. Det ble benyttet en resistivitet på  $135 \Omega\text{m}$  for dette laget (basert på modellberegninger av sondering 3 og 4, se under). For å få best mulig kurvetilpasning, måtte dette laget legges inn fra ca. 50 m dyp. Dette kan indikere finstofflag, grunnvann med økt salinitet eller at en vesentlig del av strømmen blir trukket ut mot sjøen. I tilfellet med grunnvann med økt salinitet er resistiviteten fortsatt for høy til å kunne representere salt grunnvann av interesse, og sonen ligger dessuten for dypt.

### VES-3

Sonderingen er utført med senter i posisjon 295, georadarprofil 11. Modellering er vist på side 4 i databilag 2. For å få god kurvetilpasning var det nødvendig å legge tre resistivitetslag inn i modellen. Det øverste har en resistivitet på ca.  $1120 \Omega\text{m}$  og representerer sannsynligvis fuktige, delvis humusholdige sand/grus-avsetninger. Fra ca. 2,5 m dyp er avsetningene vannmettede, der resistiviteten i vannmettet sone er ca.  $200 \Omega\text{m}$ . Denne verdien er helt i nedre grense av nedre normalområde for ferskvannsmettet sand/grus, og dette indikerer at grunnvannet kan ha en viss salinitet (lav) i dette området. Dette kan også sees ved et noe redusert penetrasjonsdyp i tilsvarende område langs P11 (posisjon 250-400). Resistiviteten er allikevel altfor høy til at området kan være av interesse for uttak av salt grunnvann. Fra ca. 39 m dyp må det legges inn et lag med en resistivitet på ca.  $135 \Omega\text{m}$  for å få god kurvetilpasning. Som nevnt for sondering VES-1, kan denne forholdsvis lave resistiviteten skyldes at en vesentlig del av strømmen trekkes ut i sjøvannet for store strømelektrodeavstander. Laget kan eventuelt representere over-

flaten av finstofflag eller grunnvann med høyere salinitet. I sistnevnte tilfelle er resistiviteten allikevel for høy til å representere grunnvann med høy nok salinitet.

#### VES-4

Sonderingens plassering er ca. 20 m vest for nordlige del av georadarprofil 12. Modellering av data er vist på side 5 i databilag 2. Det var nødvendig å benytte fire resistivitetslag ved modelleringen for å oppnå tilfredsstillende kurvetilpasning. Det øverste laget har en mektighet på ca. 0,5 m og en resistivitet på ca. 1730  $\Omega\text{m}$  og representerer trolig fuktige, humusholdige avsetninger. Laget under har en resistivitet på ca. 5250  $\Omega\text{m}$  og representerer tørr sand/grus. Fra ca. 3,5 m kommer en ned i vannmettet sand/grus med en resistivitet på ca. 300  $\Omega\text{m}$ . Grunnvannet har lav salinitet, trolig omtrent den samme som for VES-1 og VES-2, men noe lavere salinitet enn for VES-3. Resistiviteten er på langt nær lav nok til at grunnvannet kan ha høyt nok saltinnhold for fiskeoppdrettsanlegg (jfr. resultater fra Sunndalsøra). Fra ca. 50 m dyp er det modellert et lag med en resistivitet på ca. 110  $\Omega\text{m}$ . Trolig skyldes denne lave resistiviteten (som for VES-1 og VES-3) at en del av strømmen kanaliseres ut i sjøvannet. Eventuelt kan laget representere overflaten av finstofflag eller grunnvann med høyere salinitet (som har for høy resistivitet og som ligger for dypt til å være av interesse).

#### Oppsummering

De vertikale elektriske sonderingene viser at vannmettede løsmasser har resistivetsverdier i området 200-300  $\Omega\text{m}$  helt ute ved fjorden. De forholdsvis høye resistivetsverdiene indikerer svært lav salinitet. Grunnvann med høyest salinitet er indikert for VES-3 (200  $\Omega\text{m}$ ). Bruk av Archie's lov (antar  $\phi=0,3$ ,  $a=1,5$  og  $m=2$ ) gir en resistivetsverdi for porevann på ca. 12  $\Omega\text{m}$ . Denne verdien ligger alt for høyt i forhold til resistivetsverdien for sjøvann (i gjennomsnitt 0,2  $\Omega\text{m}$ ) til å representere grunnvann med høy nok salinitet til bruk i fiskeoppdrettsanlegg. Dette gjelder også når en sammenligner med tilsvarende undersøkelser ved Sunndalsøra (Soldal et al. 1992 og Soldal et al. 1994).

#### 4 KONKLUSJON

Ved Misvær i Skjerstad kommune, Nordland, er det utført georadarmålinger i tre områder samt vertikale elektriske sonderinger (VES) i ett av disse områdene. For to av områdene (Mohus og Menes) var hensikten med georadarmålingene å undersøke mulighetene for uttak av ferskt grunnvann til vannforsyning. I området Høgmoen-Vika var hensikten med VES og georadarmålinger å evaluere mulighetene for uttak av salt grunnvann til framtidig fiskeoppdrettsanlegg på land.

Ved Mohus antas det best egnete området for uttak av grunnvann å være mellom posisjon 170 og 350 i profil 1. I georadaropptaket sees skrå reflektorer til et dyp på minst 25 m, noe som indikerer grovkornige breelvavsetninger.

Ved Menes er det kun målt ett georadarprofil (P10), der opptaket viser beskjedne penetrasjonsdyp og indikerer uegnete masser for uttak av grunnvann.

Georadarmålinger utført i området mellom Høgmoen og Vika, viser liten reduksjon i penetrasjonsdyp mot sjøkanten (Misværfjorden). Dette indikerer lav salinitet i grunnvannet som følge av stort påtrykk av ferskt grunnvann. Opptakene viser at avsetningene trolig er dominert av grovkornige breelvavsetninger, samt at den hydrauliske gradienten er høy (0,08-0,1) mot fjorden. De vertikale elektriske sonderingene viser at vannmettede løsmasser har resistivitetsverdier i området 200-300  $\Omega\text{m}$  helt ute ved sjøen. Dette tilsvarer en resistivitet for porevann på ca. 12  $\Omega\text{m}$ . Denne verdien ligger alt for høyt til å representere porevann med høy nok salinitet til bruk i fiskeoppdrettsanlegg. Sammenligning med tilsvarende undersøkelser ved Sunndalsøra (Soldal et al. 1992, 1994) peker også i retning av at løsmasser i det undersøkte området ved Misværfjorden trolig er helt uegnete for uttak av salt grunnvann.

## 5 REFERANSER

Beres, M. Jr. & Haeni, F.P. 1991: Application of ground-penetrating-radar methods in hydrogeologic studies. *Ground water*, No. 3, 375-386.

Soldal, O., Rye, N., Mauring, E. & Sæther, O.M. 1992: Saline groundwater extraction from the fjord delta aquifer, Sunndalsøra, Møre & Romsdal, Norway. *Nor. Geol. Unders.* 422, 37-46.

Soldal, O., Mauring, E., Halvorsen, E. & Rye, N. 1994: Seawater intrusion and fresh groundwater hydraulics in fjord delta aquifers inferred from ground penetrating radar and resistivity profiles - Sunndalsøra and Esebotn, western Norway. *Journal of Applied Geophysics* 32, 305-319.

Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. & Keys, D.A. 1984: Applied Geophysics. Cambridge University Press. ISBN 0-521-29146-1.

## 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 planparallell 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  $\epsilon_r$  er det relative dielektrisitetsstallet.  $\epsilon_r$ -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  $\epsilon_r$  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>	$\epsilon_r$	$v$ (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.

## **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 ( $\rho$ ) med enhet  $\Omega\text{m}$ . 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 strømelektrode 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 potensialelektrode (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 potensialelektrode. 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 ( $\rho$ ) 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 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 ( $\rho h$ ) 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 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.

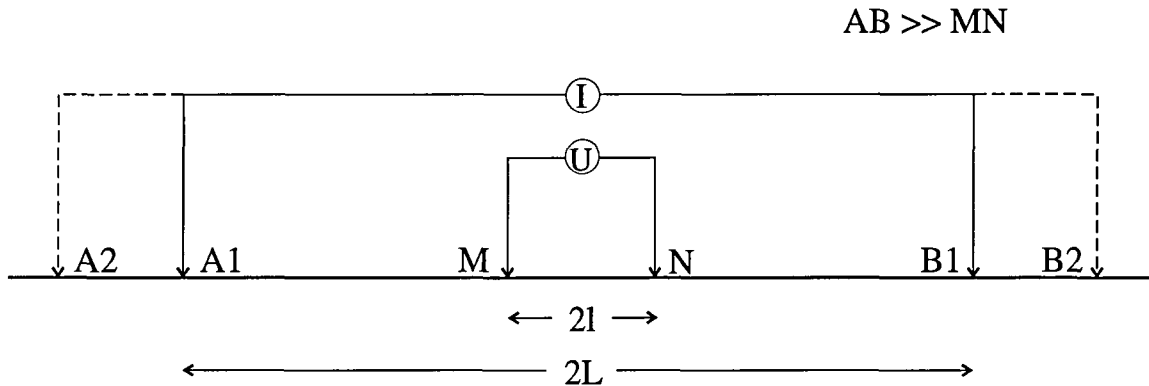
Anisotropi i det geologiske materiale kan også føre til feiltolkninger. Inhomogene forhold i grunnen kan dessuten medføre at sonderingskurvene ikke kan tolkes med de modelltyper som benyttes.

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

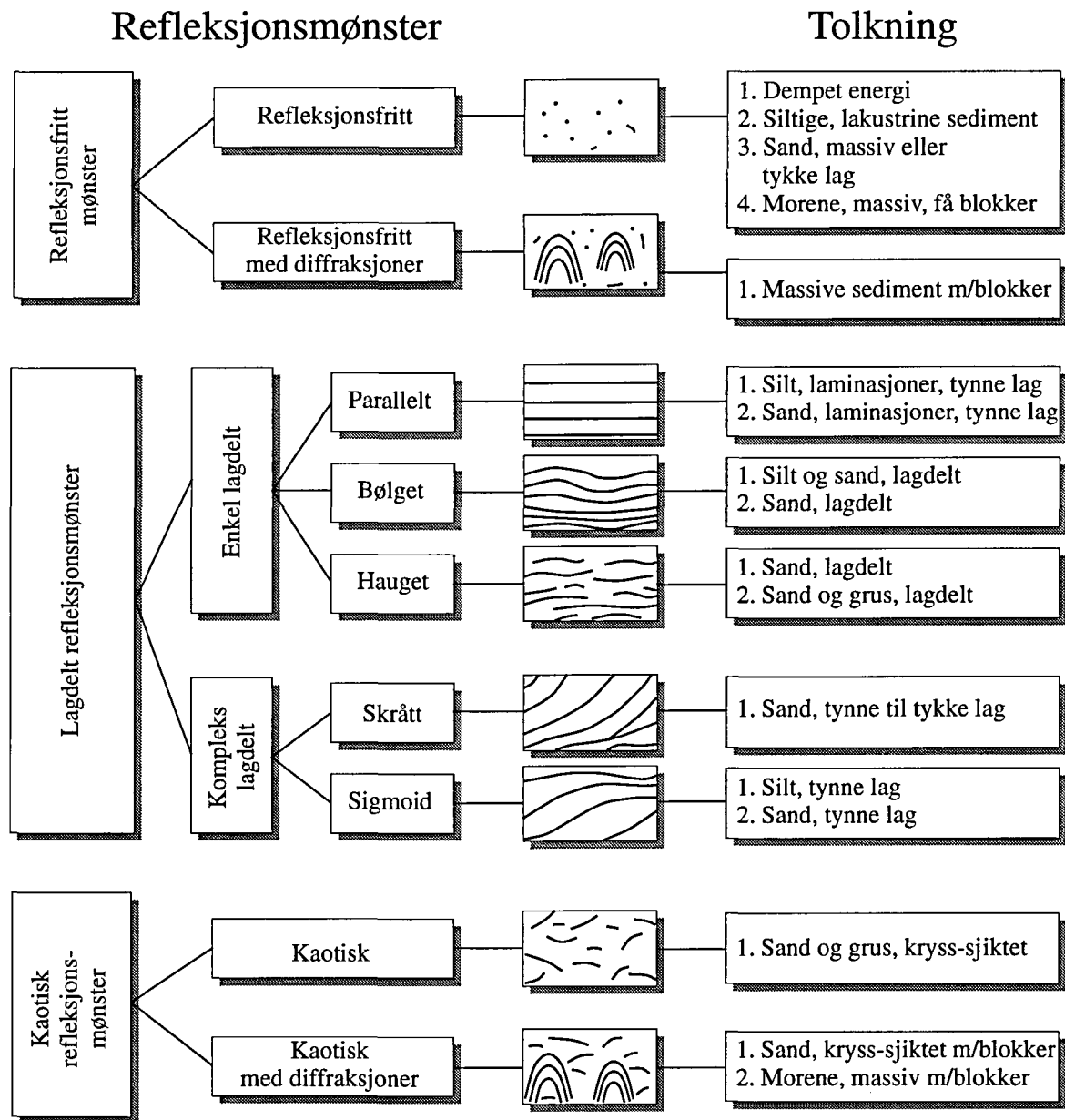
Ⓜ Amperemeter

Ⓤ Voltmeter

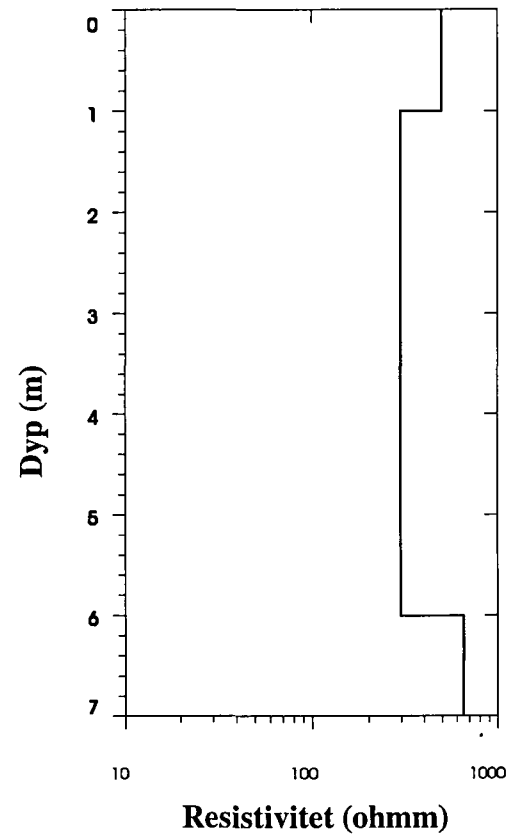
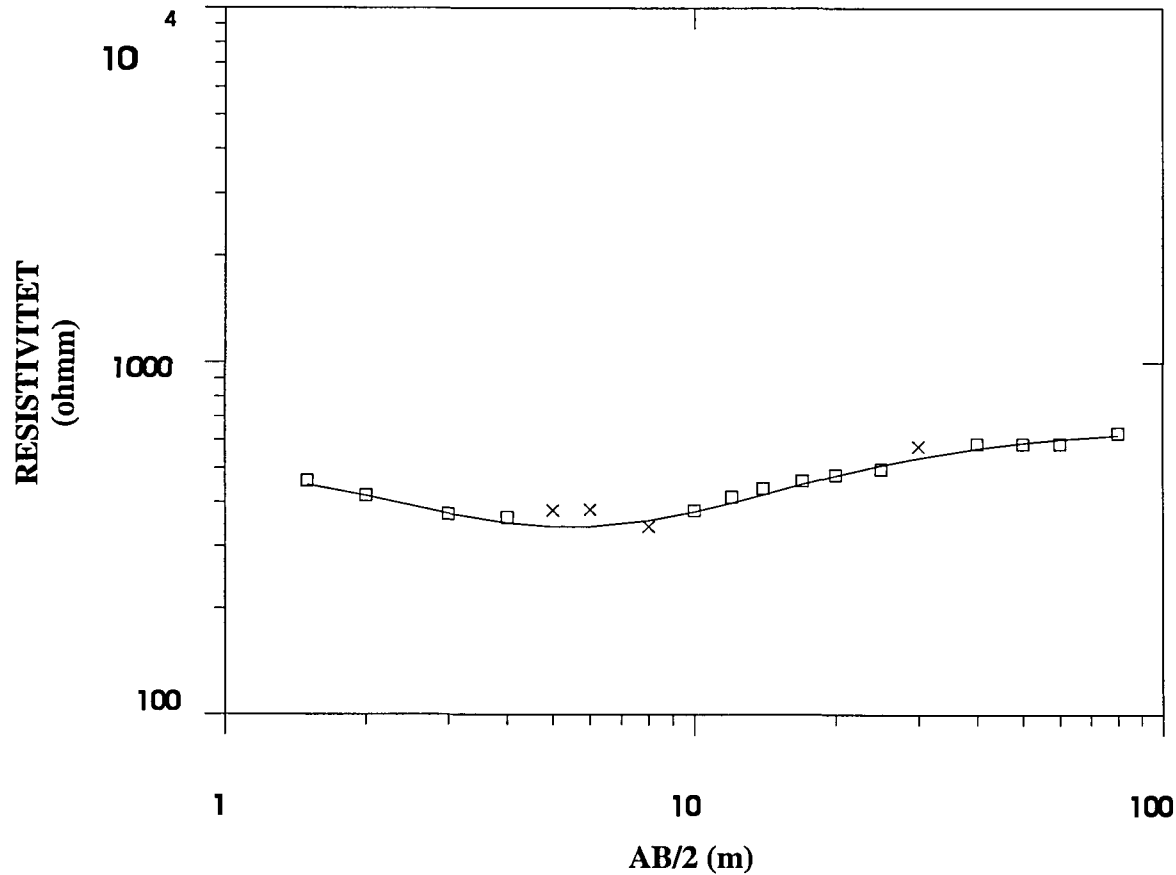
$$\rho_a = \pi \frac{L^2 - l^2}{2l} \frac{U}{I}$$

## Spesifikk motstand (resistivitet) i noen geologiske materialer:

Materiale	Spesifikk motstand (ohmm)				
	1	10	100	1000	10000
Leire, salt	----- ----- ----- ----- -----				
Leire, utvasket	----- ----- ----- ----- -----				
Silt, våt	----- ----- ----- ----- -----				
Sand, vannmettet	----- ----- ----- ----- -----				
Grus, vannmettet	----- ----- ----- ----- -----				
Grus, tørr	----- ----- ----- ----- -----				
Morene	----- ----- ----- ----- -----				
Fjell	----- ----- ----- ----- -----				



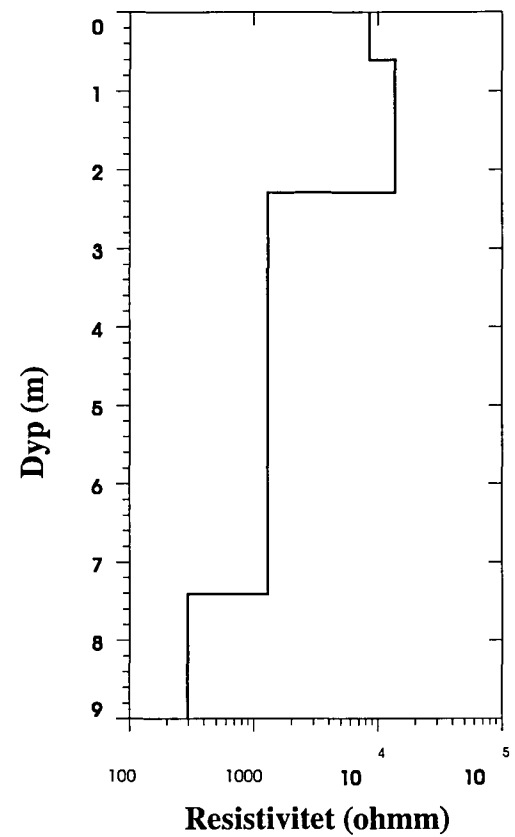
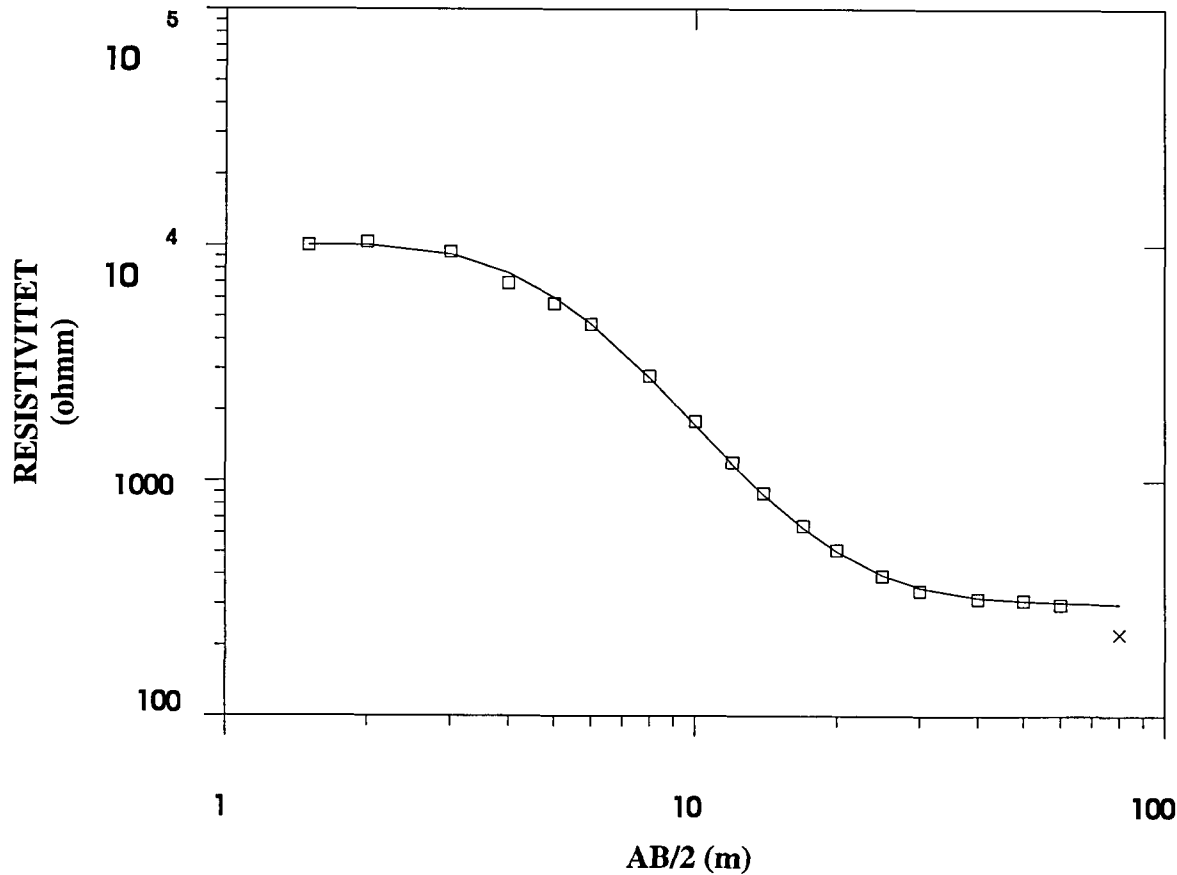
Skjema som knytter refleksjonsmønster på georadaropptak til avsetningstype og lagdeling (etter Beres & Haeni, 1991).



**Fysiske parametre:**

Lag	Rho (ohmm)	dyp (m)
1	500	1
2	300	6
3	650	

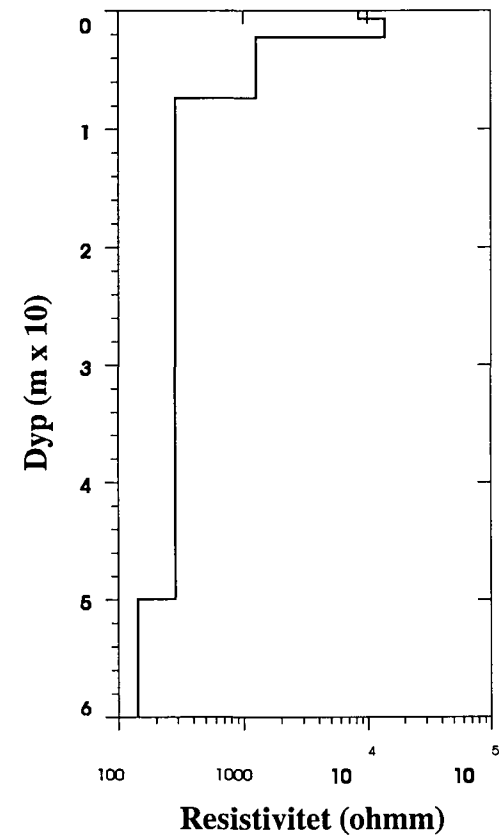
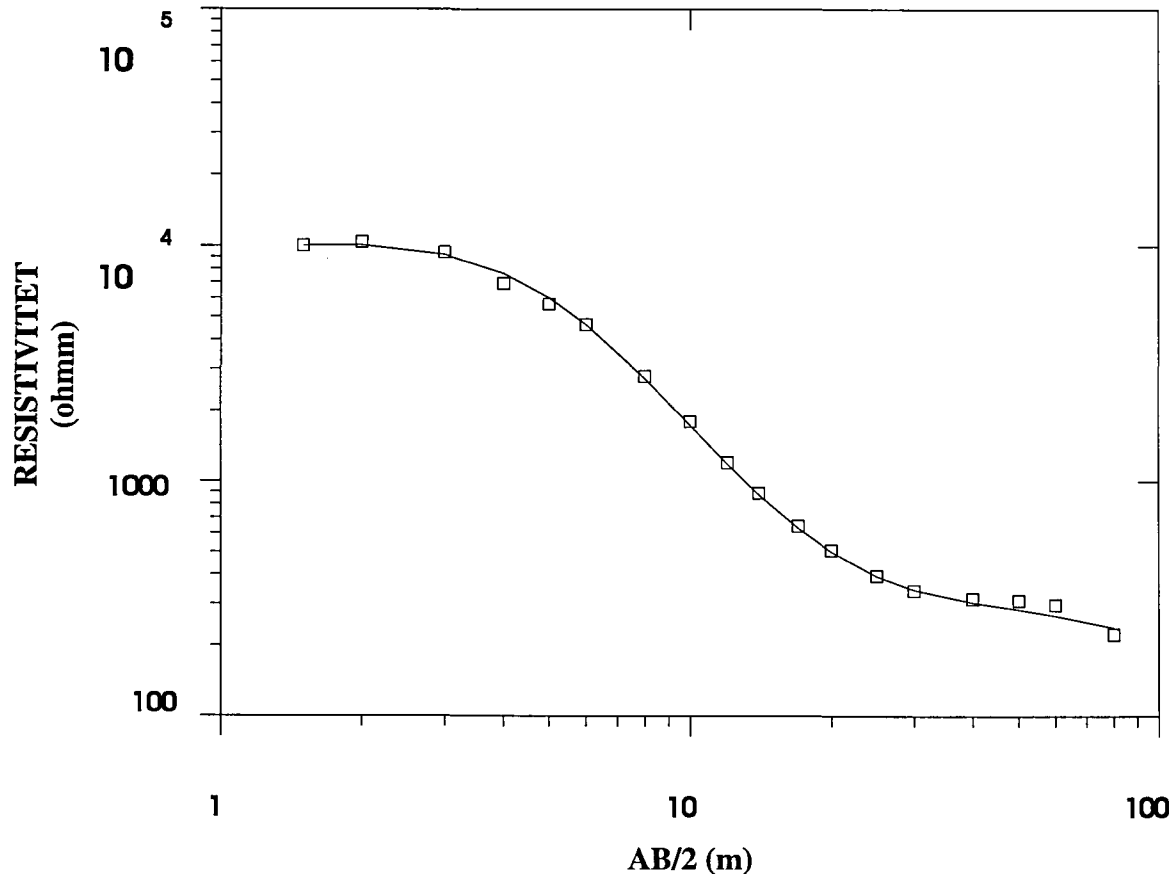
for: <b>NGU</b>		Schlumberger VES	
utført av: Norges geologiske undersøkelse		<b>MISVÆR</b> SKJERSTAD KOMMUNE, NORDLAND	
Datasett: VES2	Dato: 4/8-1995		
Utstyr: Terrameter	Sondering: VES2	Retning: 120-320 <sup>g</sup>	



**Fysiske parametre:**

Lag	Rho (ohmm)	dyp (m)
1	8820	0.6
2	13023	2.27
3	1247	7.4
4	295	

for: <b>NGU</b>		Schlumberger VES	
utført av: Norges geologiske undersøkelse		<b>MISVÆR</b>	
Datasett: VES1	Dato: 4/8-1995		
Utstyr: Terrameter		SKJERSTAD KOMMUNE, NORDLAND	
		Retning: 90-290 <sup>g</sup>	

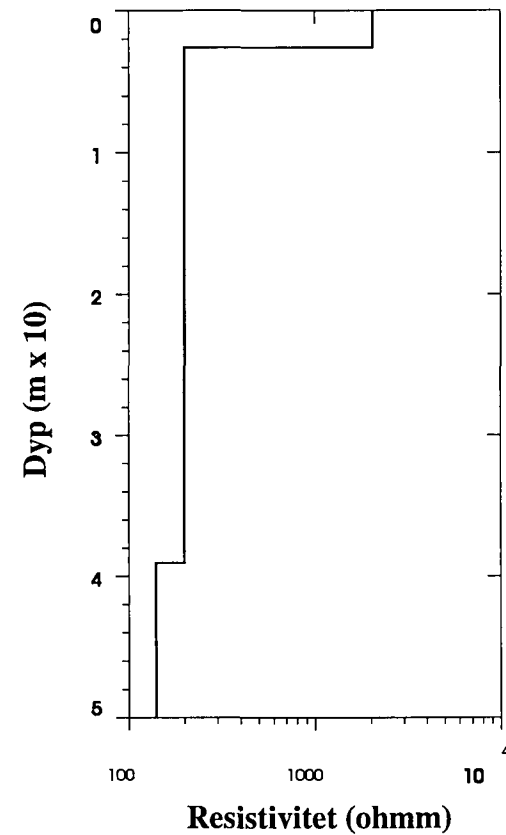
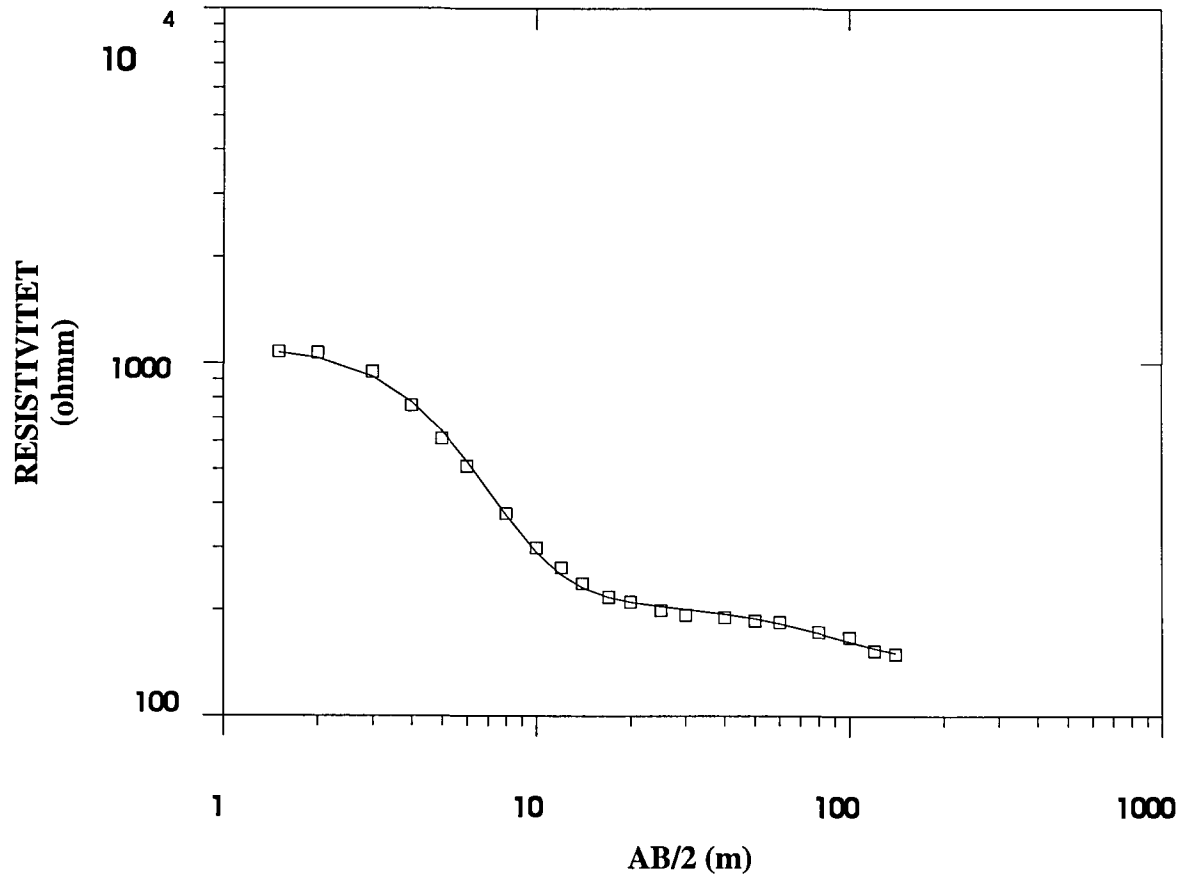


**Fysiske parametre:**

Lag	Rho (ohmm)	dyp (m)
1	8820	0.6
2	13023	2.27
3	1247	7.4
4	295	50
5	135	

for: <b>NGU</b>	
utført av: <b>Norges geologiske undersøkelse</b>	
Datasett: <b>VES1</b>	Dato: <b>4/8-1995</b>
Utstyr: <b>Terrameter</b>	Sondering: <b>VES1</b>

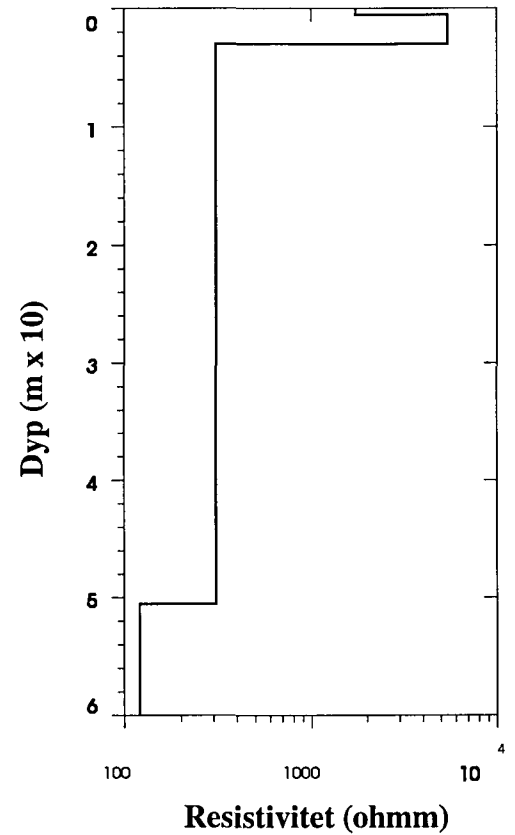
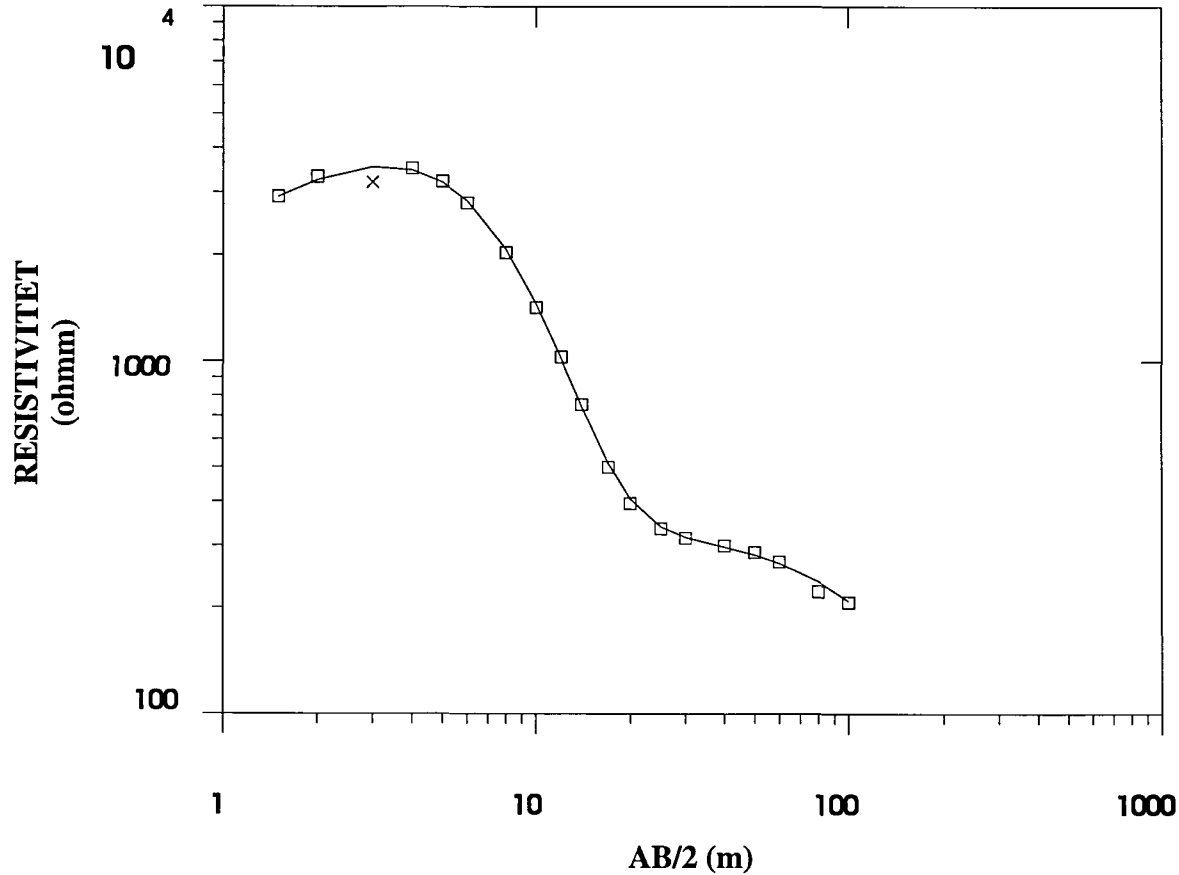
<b>Schlumberger VES</b>	
<b>MISVÆR</b>	
<b>SKJERSTAD KOMMUNE, NORDLAND</b>	
Retning: <b>90-290<sup>g</sup></b>	



**Fysiske parametre:**

Lag	Rho (ohmm)	dyp (m)
1	1106	2.5
2	200	39
3	135	

for: <b>NGU</b>		Schlumberger VES	
utført av: Norges geologiske undersøkelse		<b>MISVÆR</b>	
Datasett: VES3	Dato: 4/8-1995	SKJERSTAD KOMMUNE, NORDLAND	
Utstyr: Terrameter	Sondering: VES3	Retning: 80-280 <sup>g</sup>	

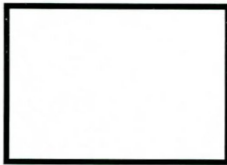
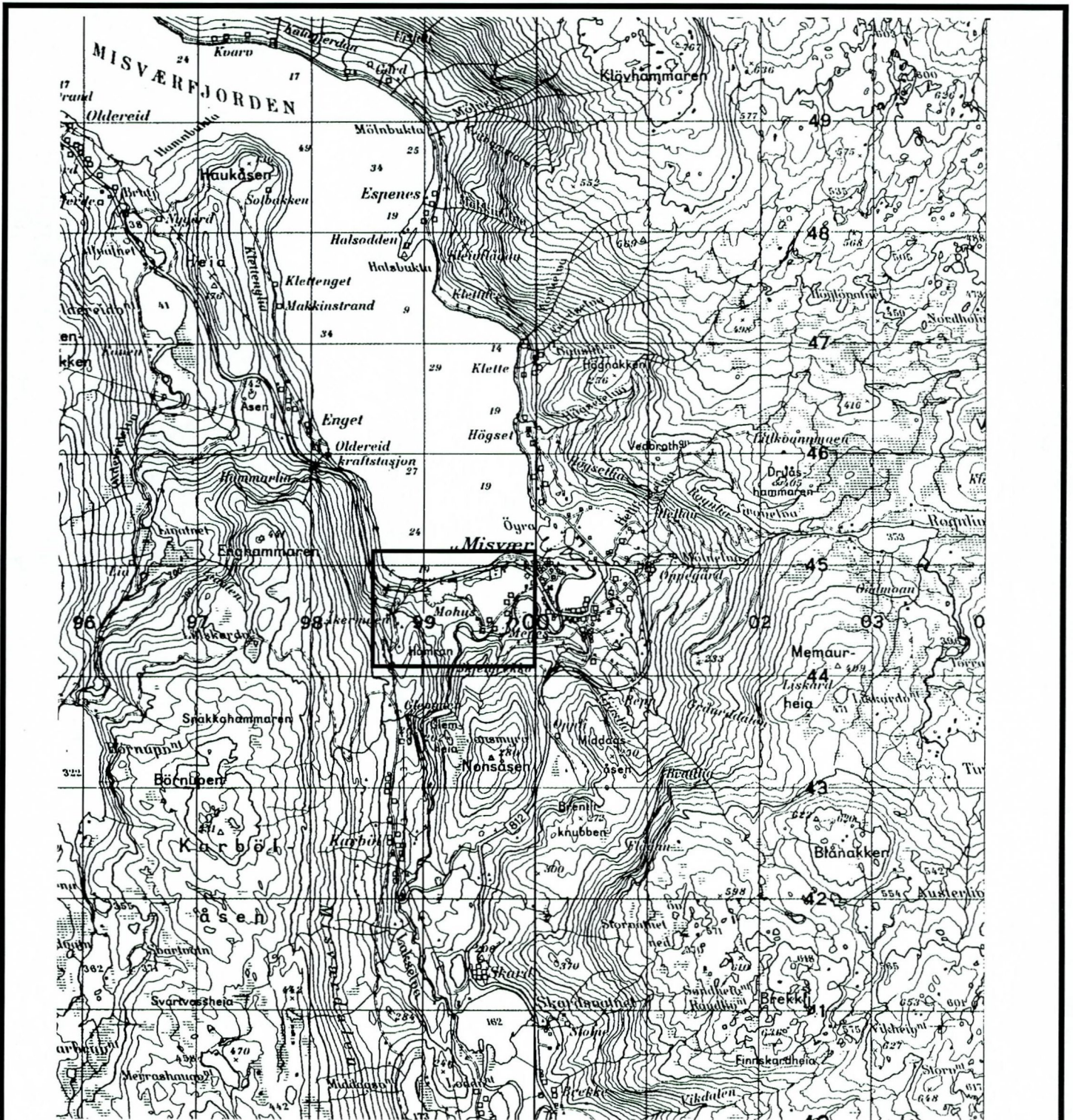


Fysiske parametre:

Lag	Rho (ohmm)	dyp (m)
1	1730	0.5
2	5250	3.1
3	303	50.5
4	110	

for: <b>NGU</b>		Schlumberger VES	
utført av: Norges geologiske undersøkelse		<b>MISVÆR</b>	
Datasett: VES4	Dato: 4/8-1995	SKJERSTAD KOMMUNE, NORDLAND	
Utstyr: Terrameter	Sondering: VES4	Retning: 60-260 <sup>g</sup>	





Utsnitt vist i kartbilag -02

NGU  
OVERSIKTSKART

# MISVÆR

SKJERSTAD KOMMUNE, NORDLAND

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE  
TRONDHEIM

MÅLESTOKK

1:50 000

MÅLT JFT

TEGN EM

TRAC

KFR

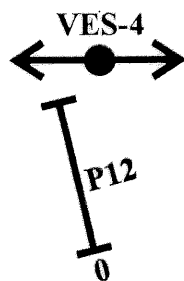
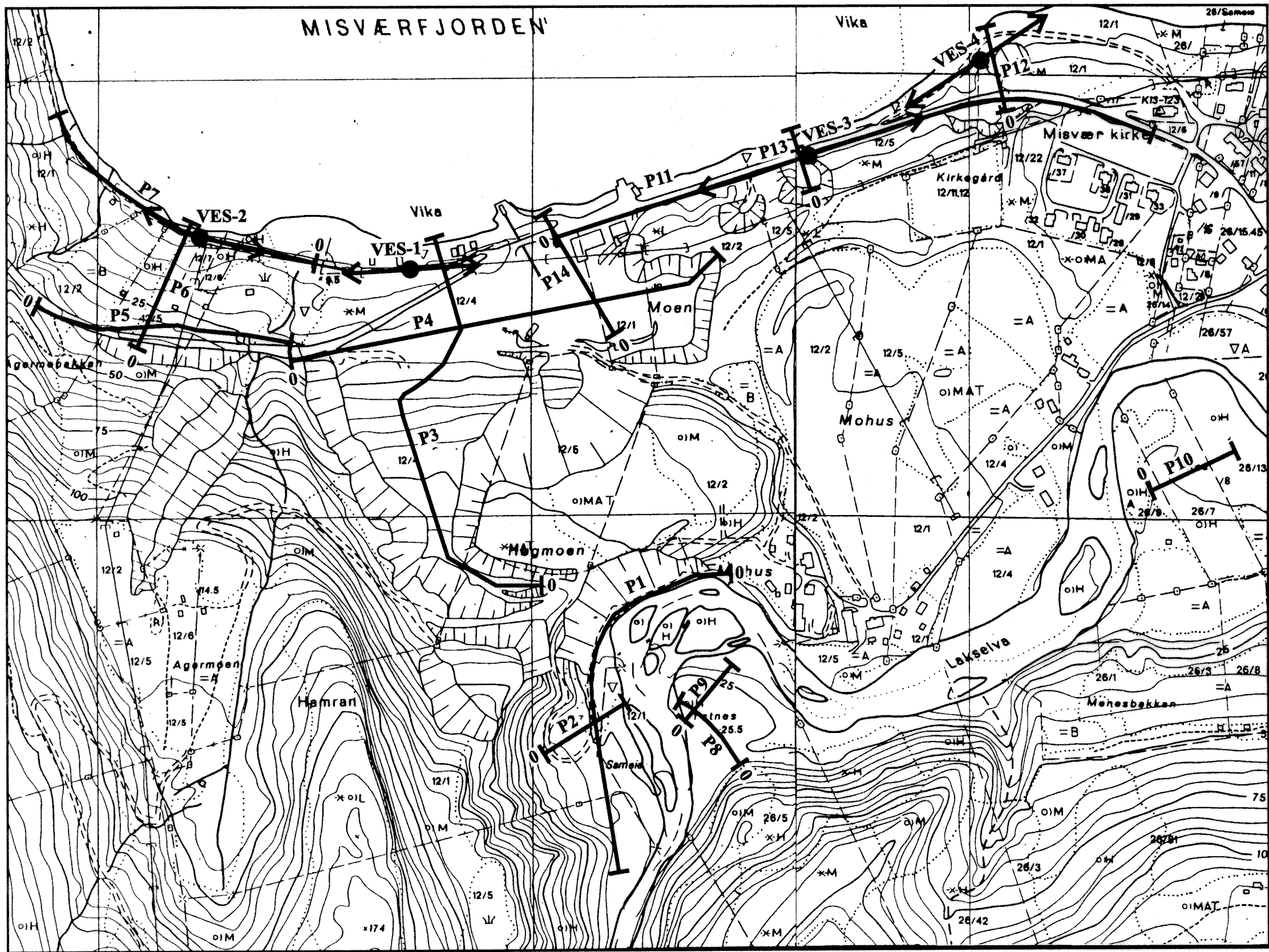
Aug. -95

Mai -96

TEGNING NR  
96.079-01

KARTBLAD NR  
2029 II





Vertikal elektrisk sondering, med sonderingspunkt og retning/lengde på elektrodeutlegg

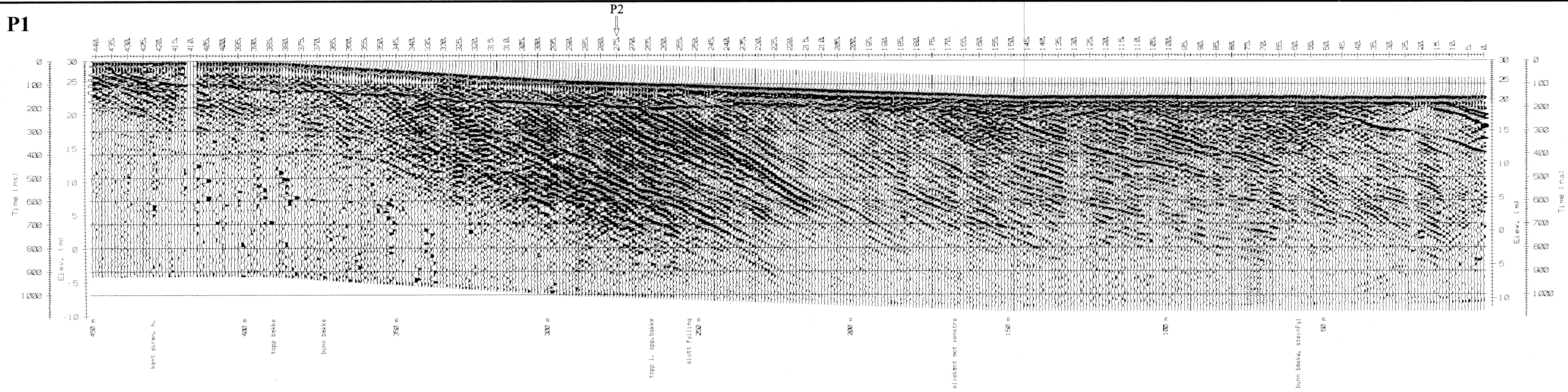
Georadarprofil med startposisjon

NGU  
 OVERSIKTSKART, PROFILER OG SONDERINGER  
**MISVÆR**  
 SKJERSTAD KOMMUNE, NORDLAND  
 NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE  
 TRONDHEIM

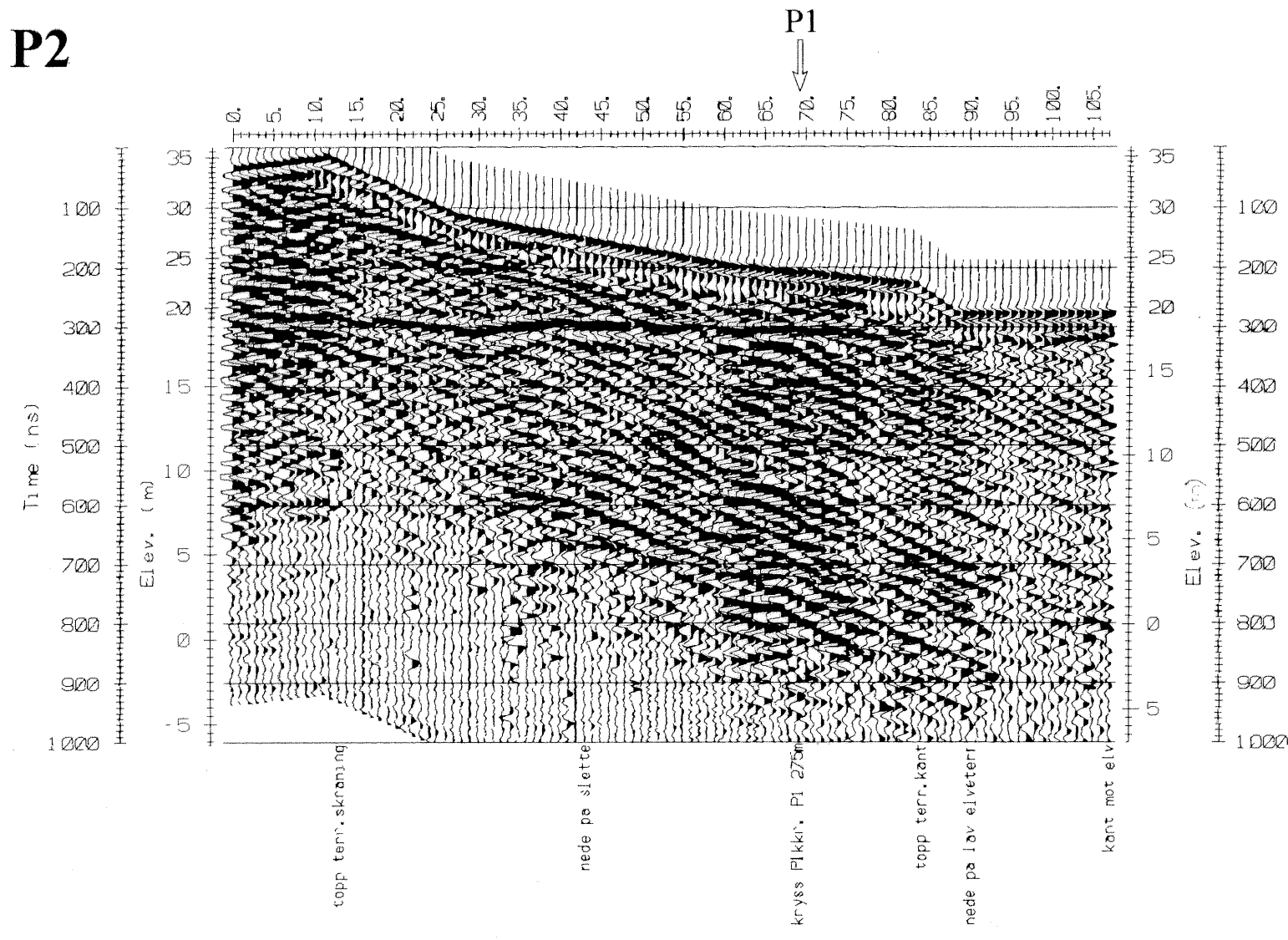
MÅLESTOKK 1:5000	MÅLT JFT	Aug. -95
	TEGN EM	Mai -96
	TRAC	
	KFR	
TEGNING NR 96.079-02	KARTBLAD NR 2029 II	



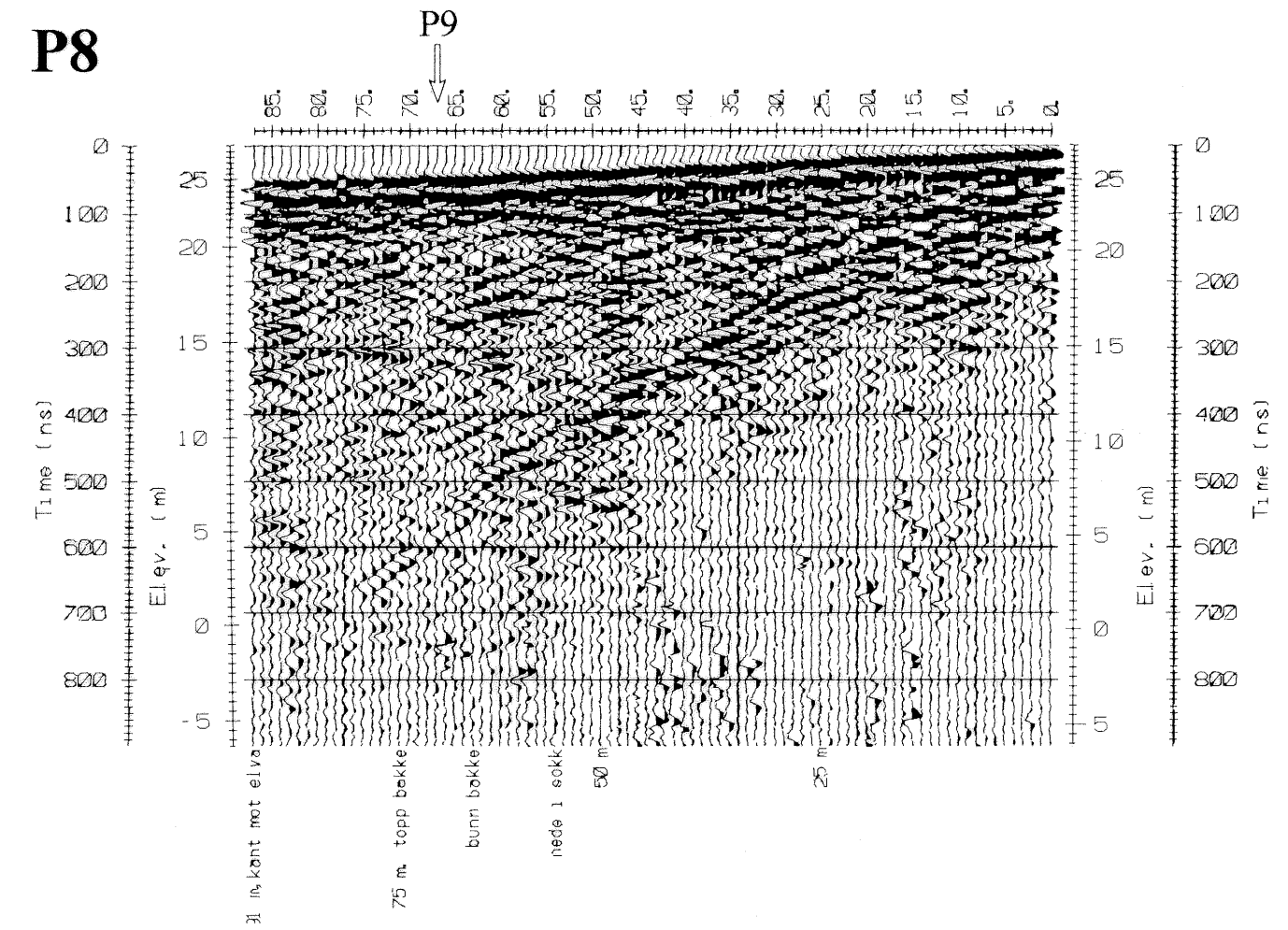
P1



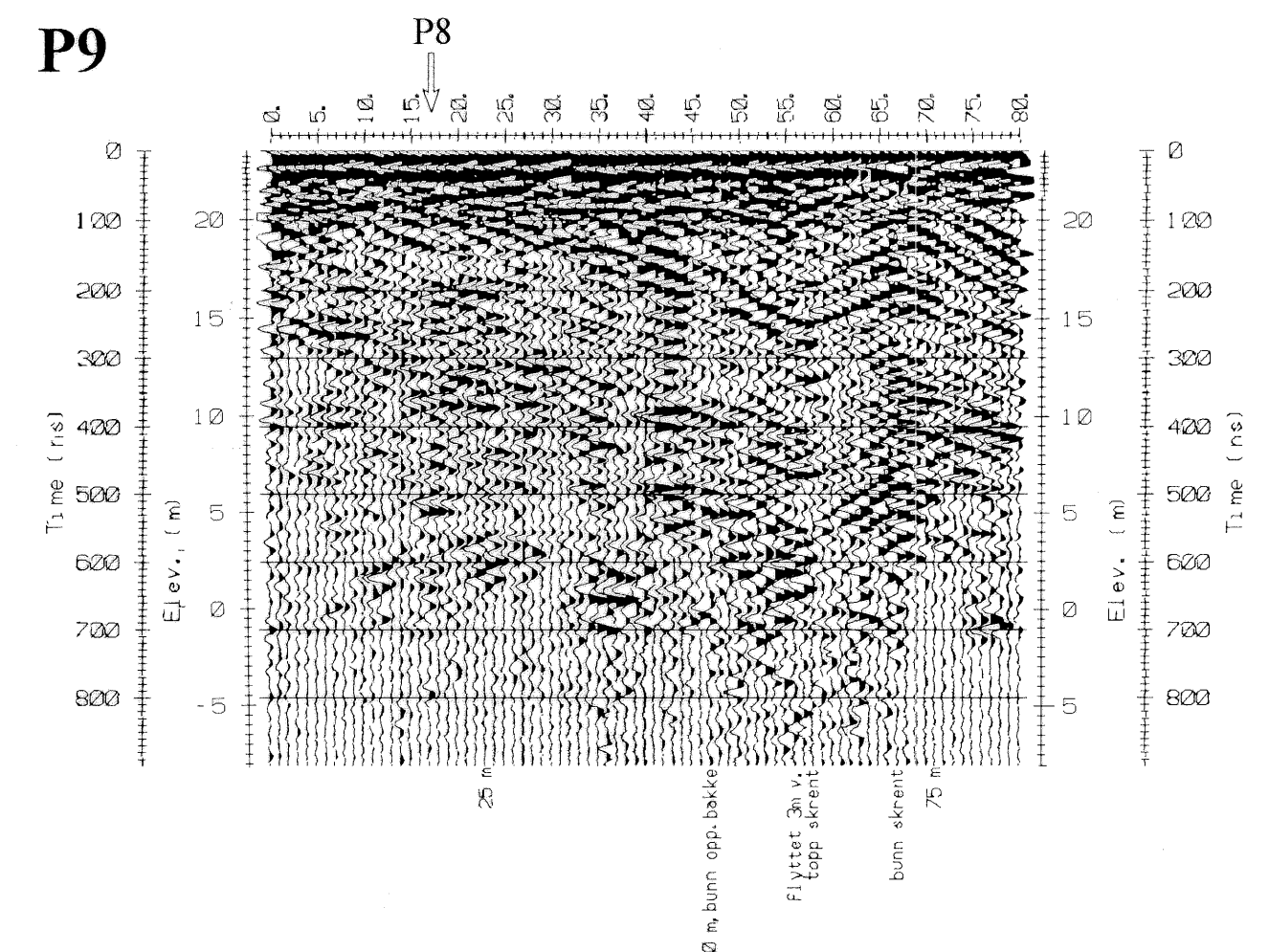
P2



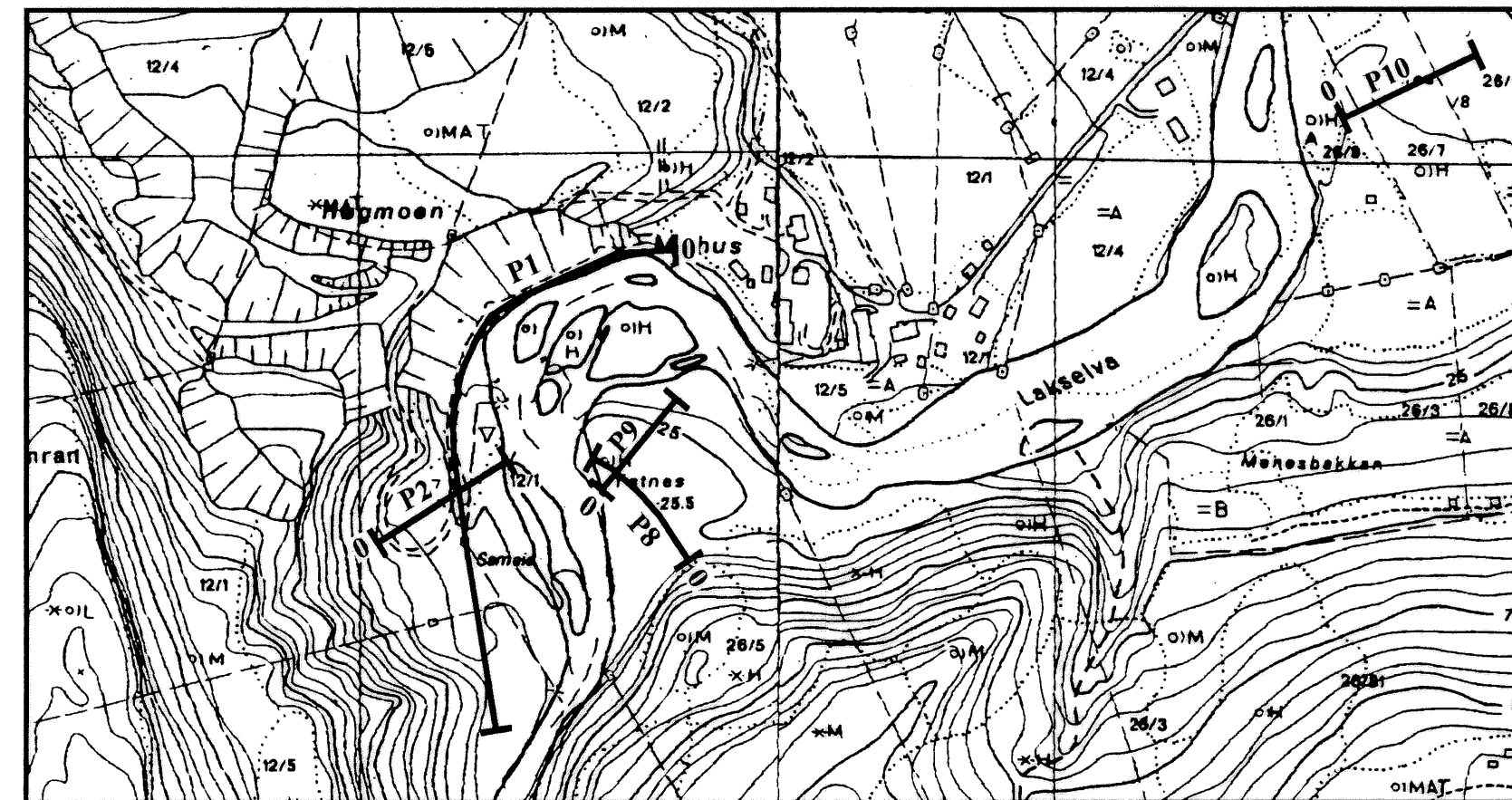
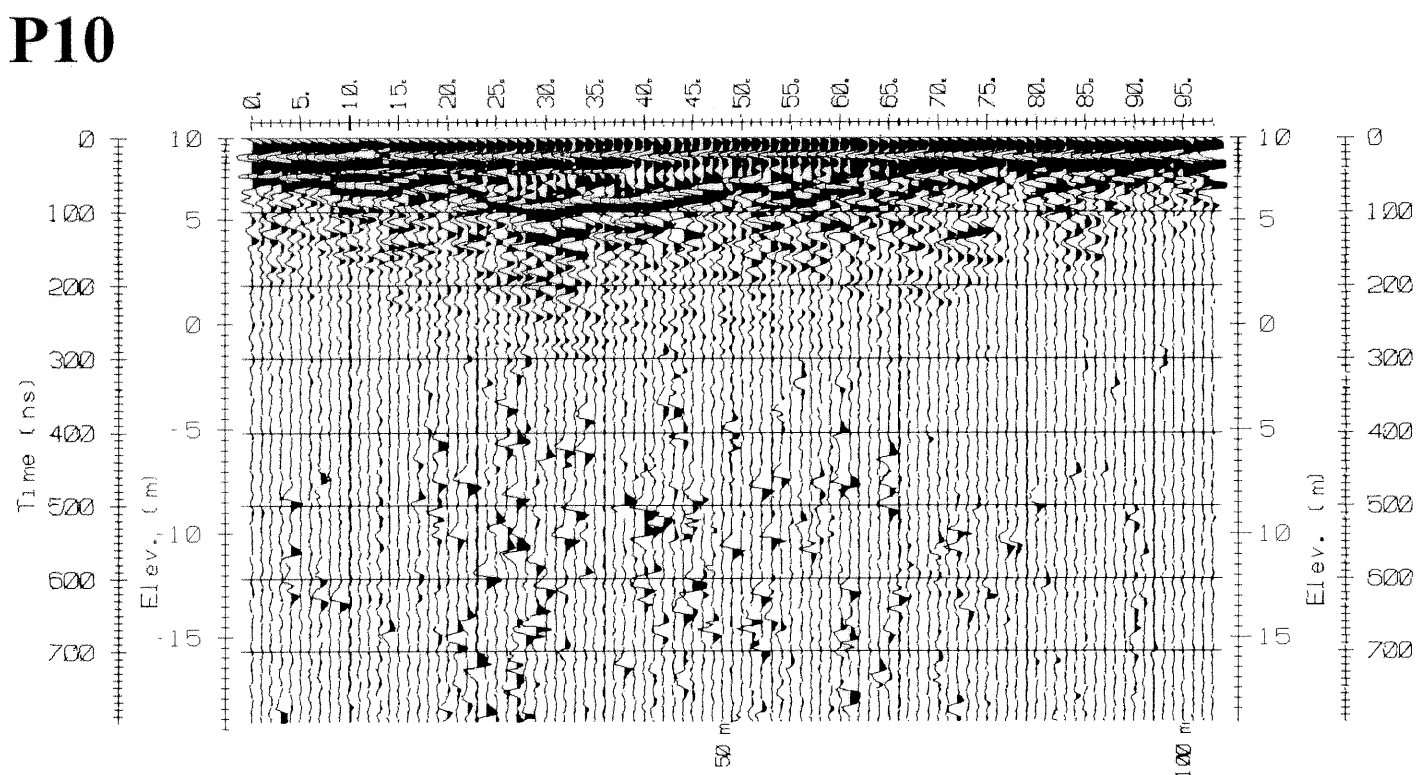
P8



P9



P10

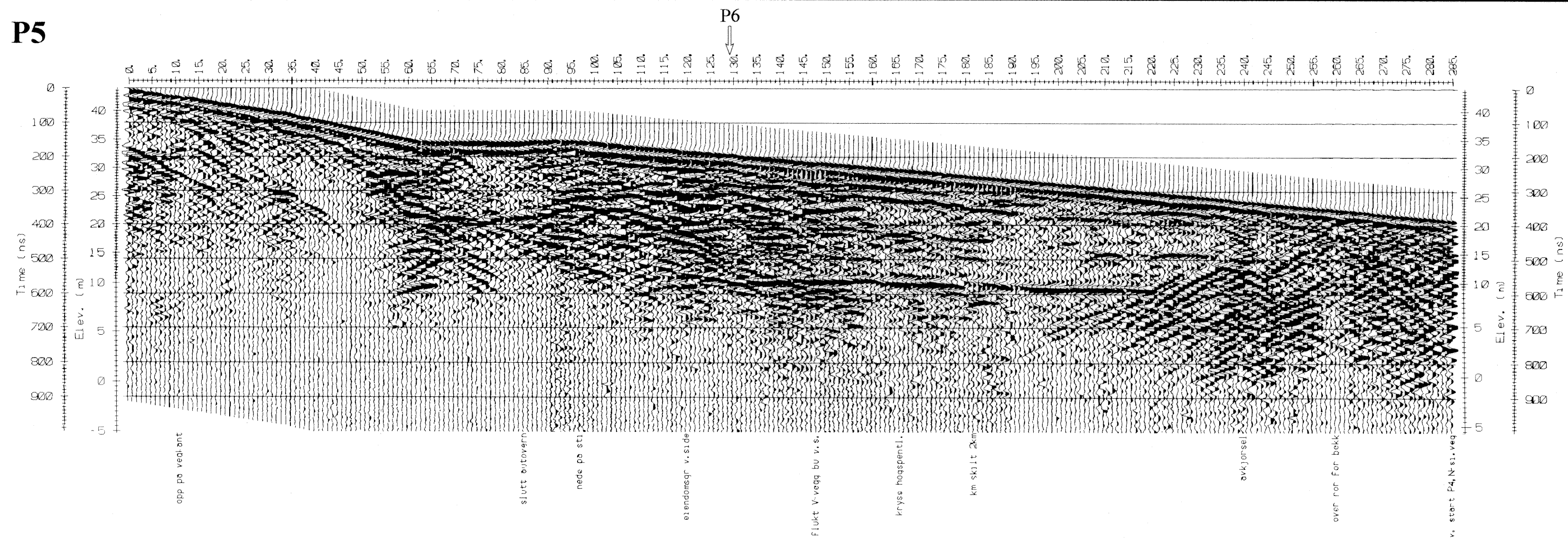


Georadarprofil med startposisjon

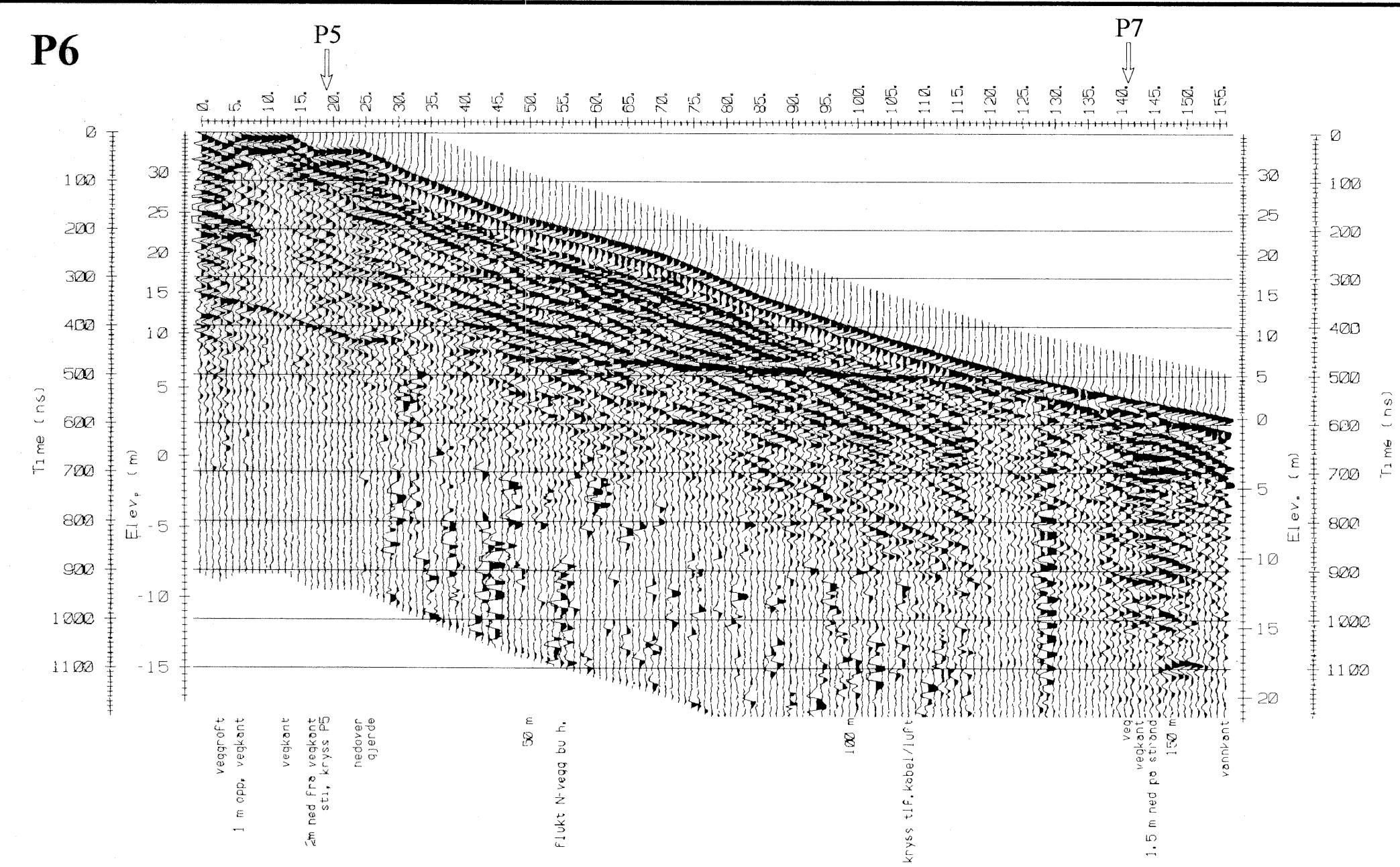
NGU GEORADAROPPTAK P1, P2, P8, P9 & P10 <b>MOHUS &amp; MENES, MISVÆR</b> SKJERSTAD KOMMUNE, NORDLAND	MÅLESTOKK	MÅLT JFT	Aug. -95
	Kart: 1:5000	TEGN EM	Mai -96
		TRAC	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR 96.079-03	KARTBLAD NR 2029 II	



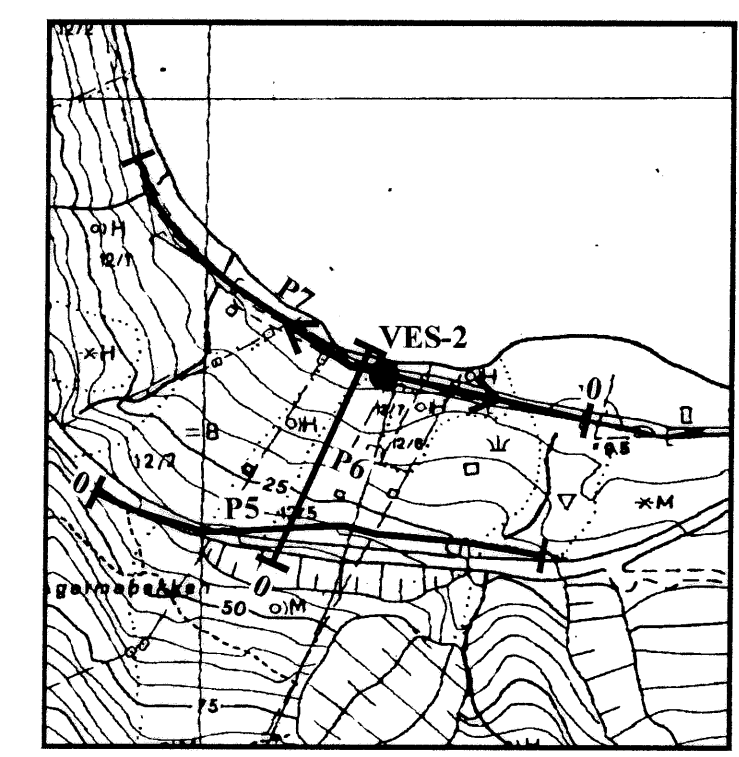
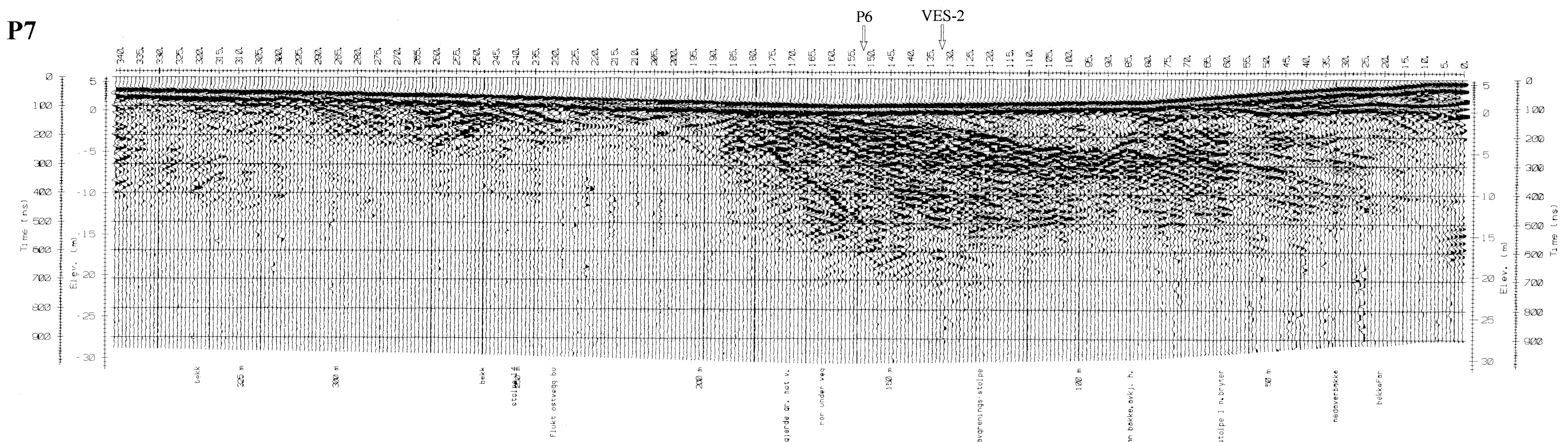
P5



P6



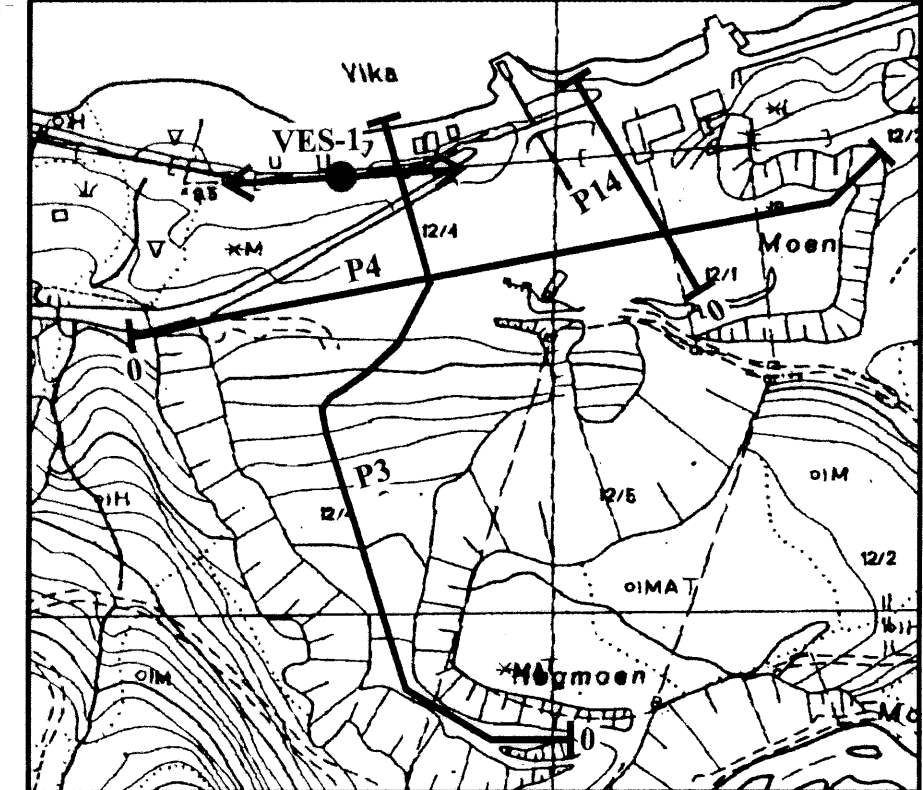
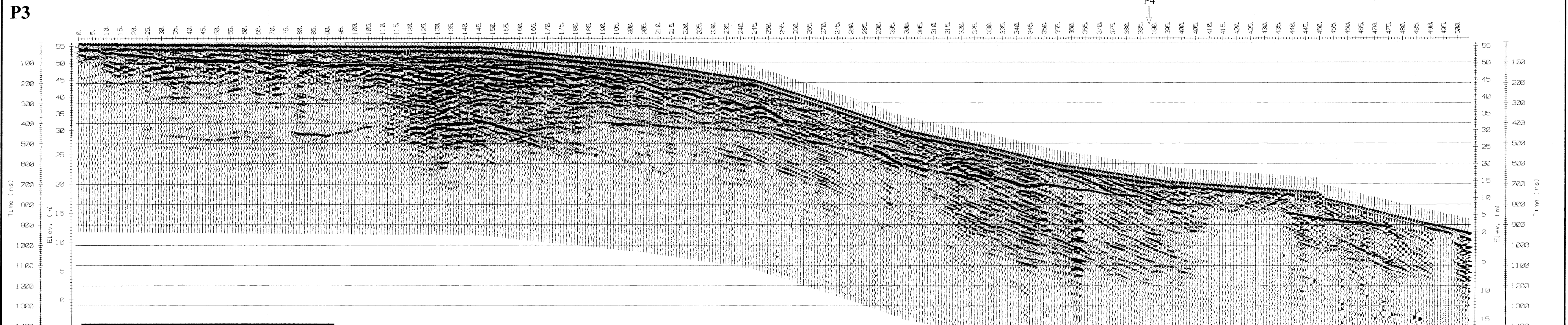
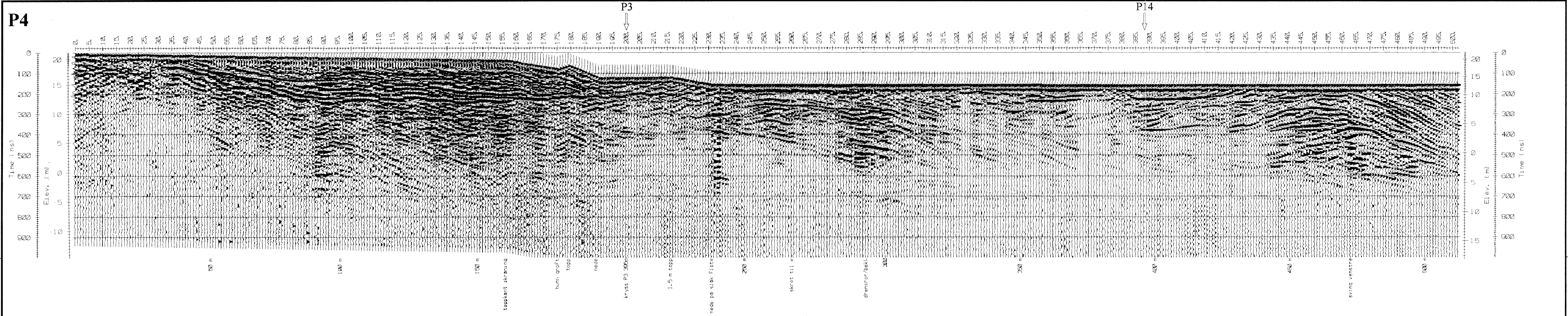
P7



VES-2 Vertikal elektrisk sondering, med sonderingspunkt og retning/lengde på elektrodeutlegg  
 P5 Georadarprofil med startposisjon

NGU GEORADAROPPTAK P5, P6 & P7 <b>HØGMOEN-VIKA, MISVÆR</b> SKJERSTAD KOMMUNE, NORDLAND	MÅLESTOKK	MÅLT JFT	Aug. -95
	Kart: 1:5000	TEGN EM	Mai -96
		TRAC	
	KFR		
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR 96.079-04	KARTBLAD NR 2029 II	





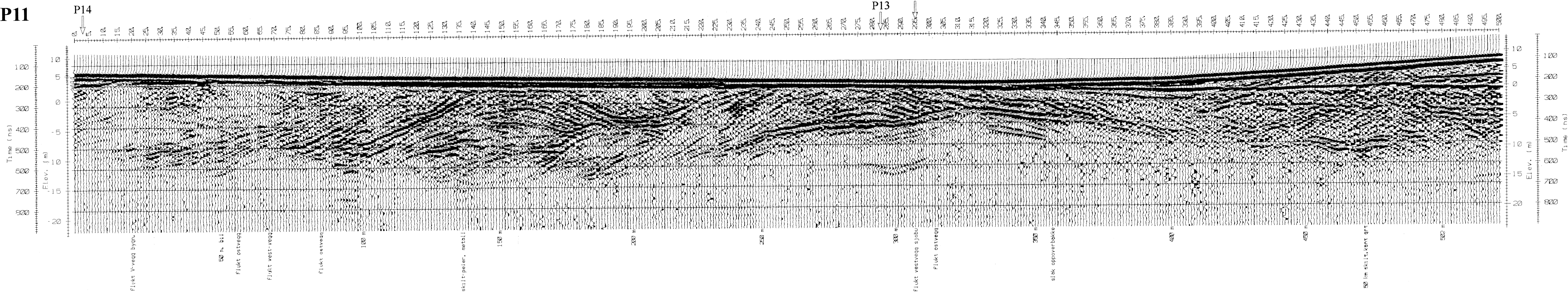
**VES-1** Vertikal elektrisk sondering, med sonderingspunkt og retning/lengde på elektrodeutlegg

**P4** Georadarprofil med startposisjon

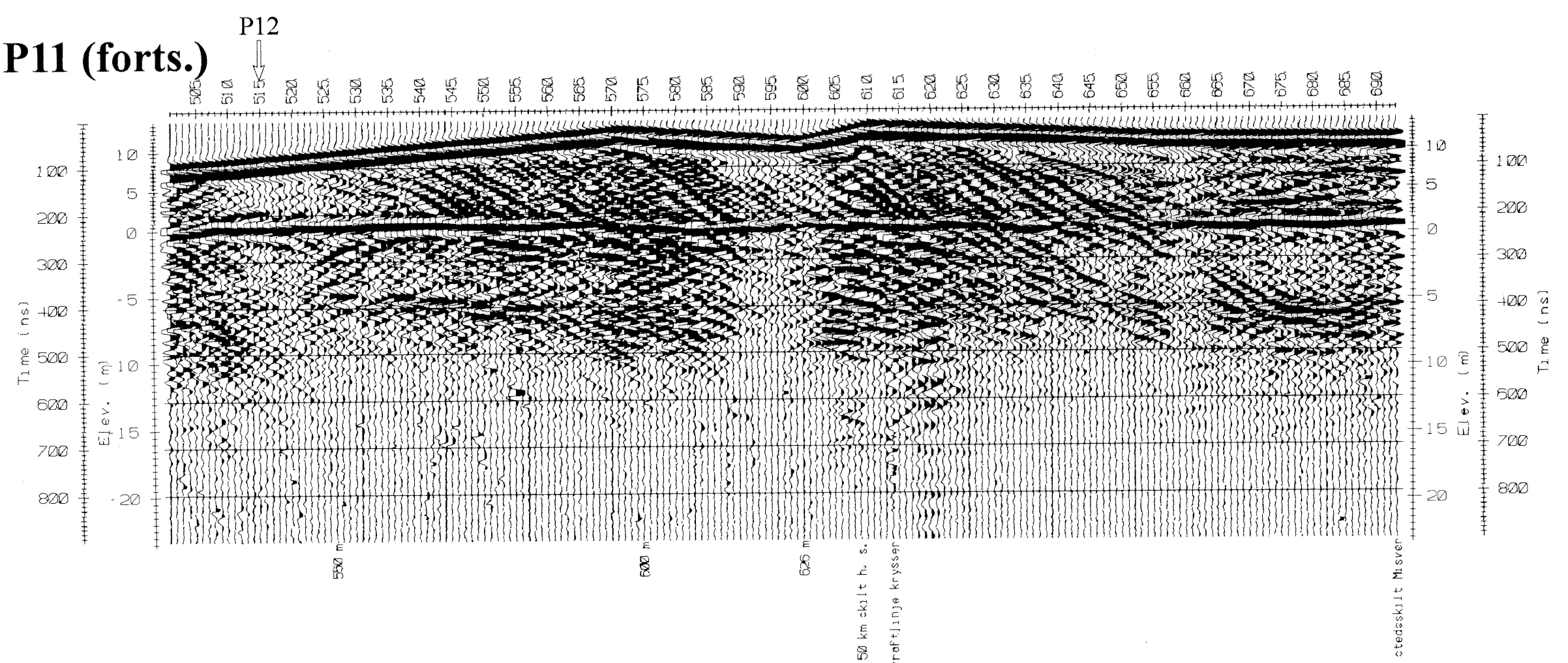
NGU GEORADAROPPTAK P3 & P4 <b>HØGMOEN-VIKA, MISVÆR</b> SKJERSTAD KOMMUNE, NORDLAND	MÅLESTOKK	MÅLT JFT	Aug. -95
	Kart: 1:5000	TEGN EM	Mai -96
		TRAC	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR 96.079-05	KARTBLAD NR 2029 II	



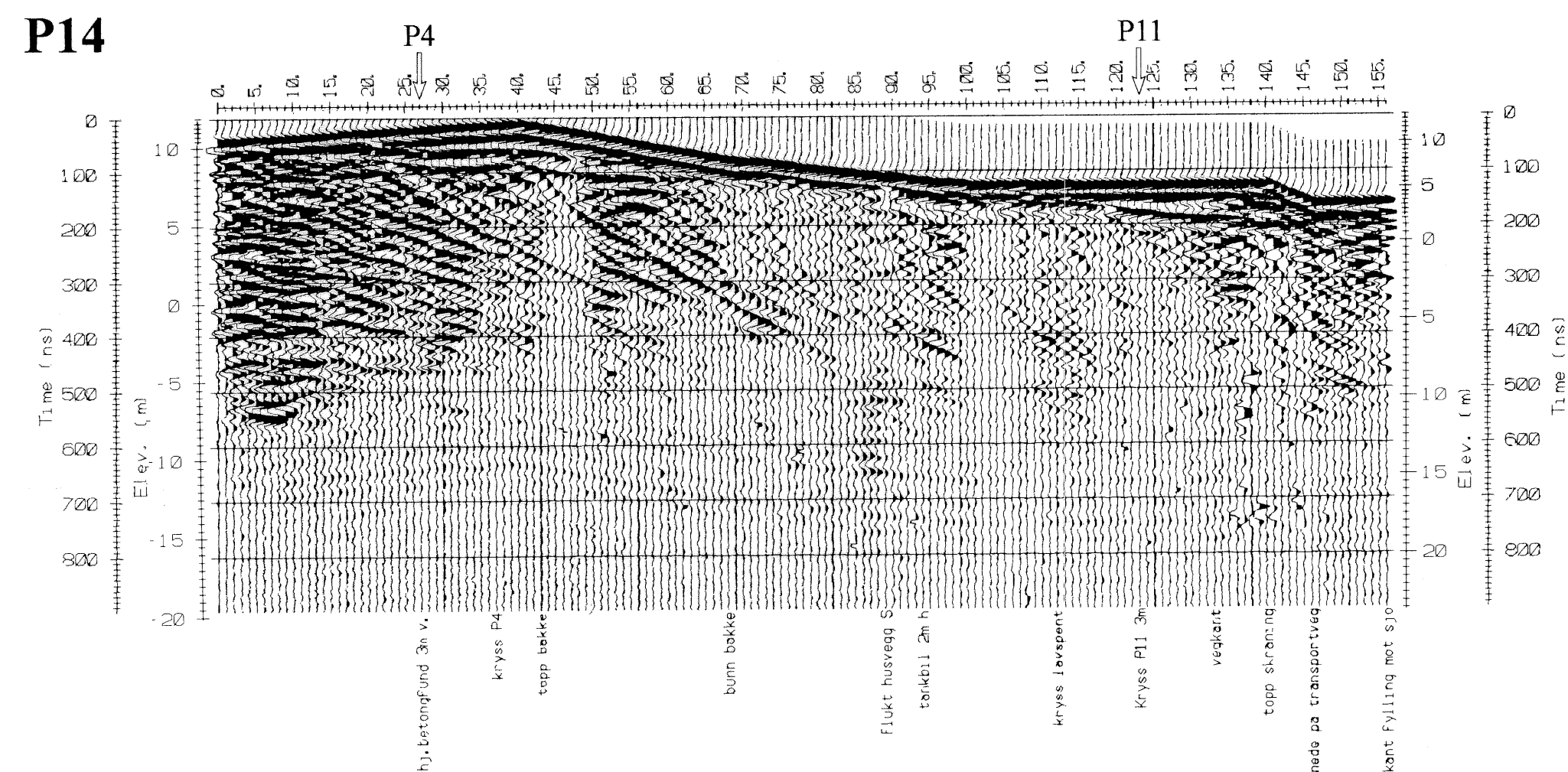
P11



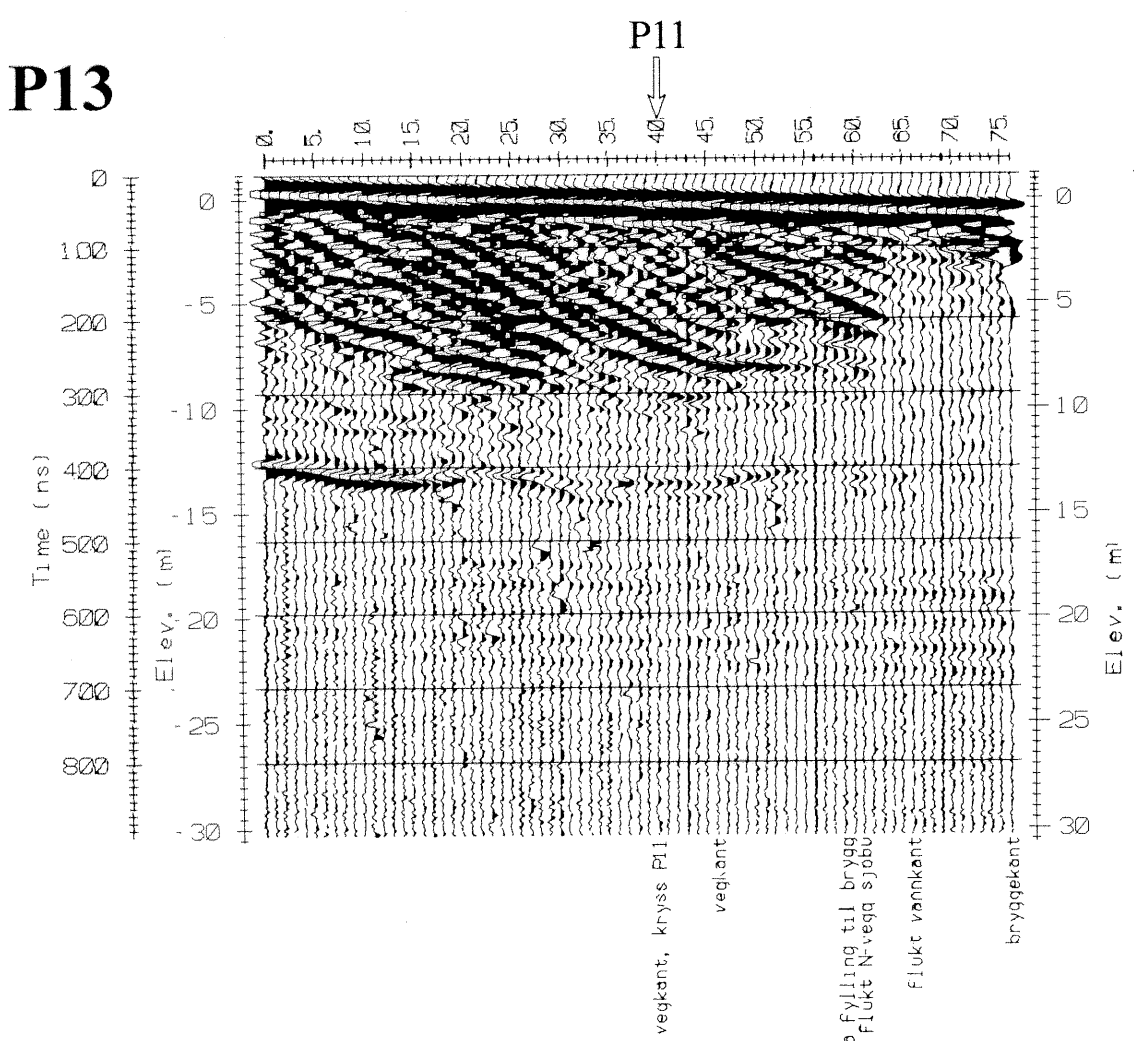
P11 (forts.)



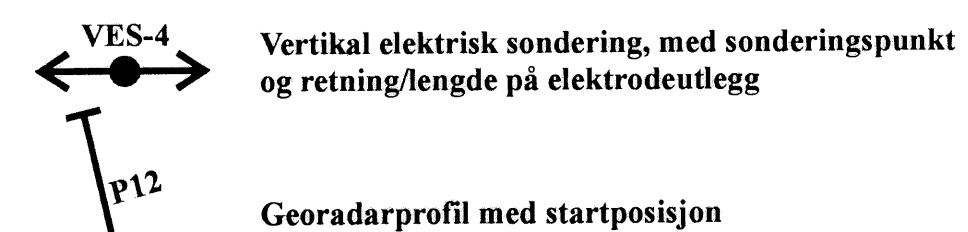
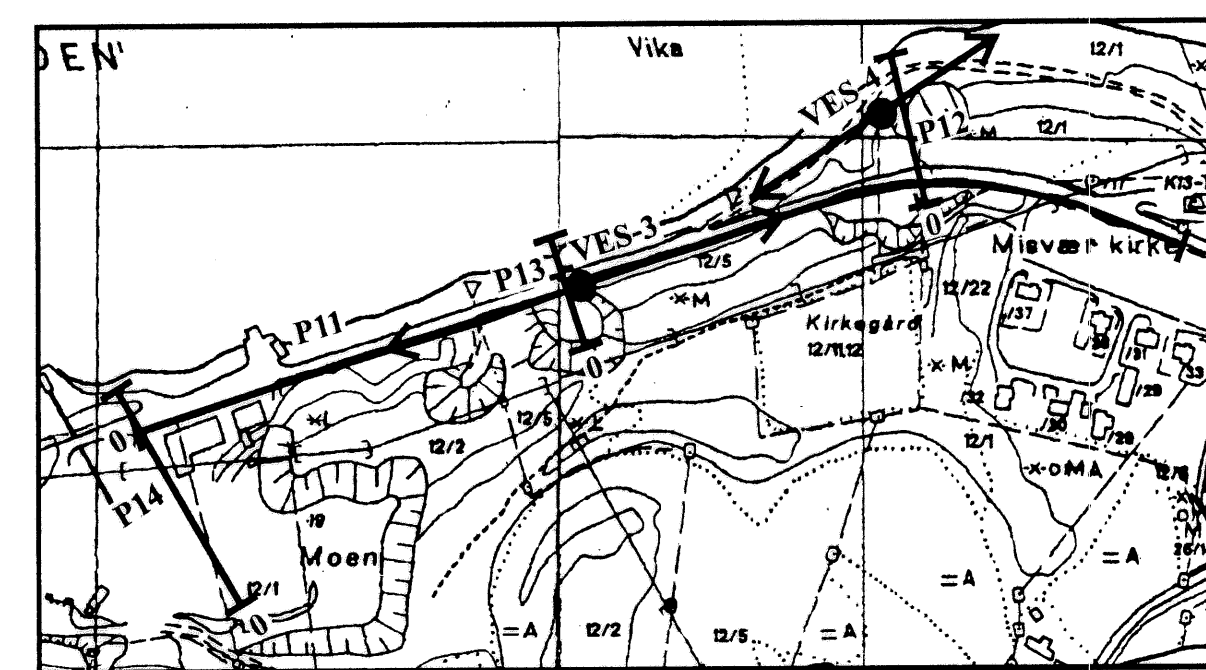
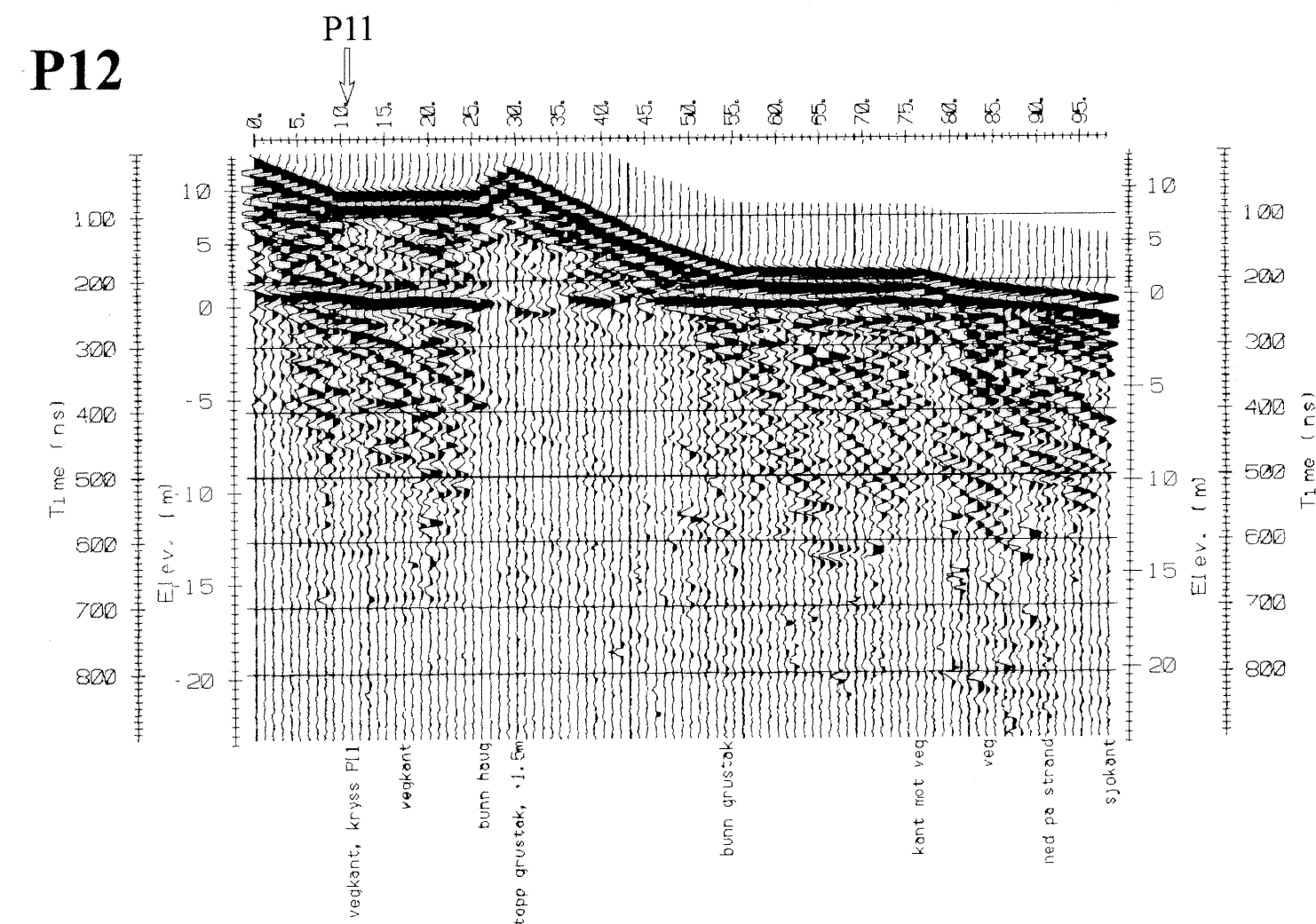
P14



P13



P12



NGU GEORADAROPPTAK P11, P12, P13 & P14 <b>HØGMOEN-VIKA, MISVÆR</b> SKJERSTAD KOMMUNE, NORDLAND NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	MÅLESTOKK	MÅLT JFT	Aug. -95
	Kart: 1:5000	TEGN EM	Mai -96
		TRAC	
	TEGNING NR 96.079-06	KARTBLAD NR 2029 II	