

NGU-rapport 92.216

Seismiske og elektriske målinger
på Jomfruland,
Kragerø kommune, Telemark

Rapport nr. 92.216		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Seismiske og elektriske målinger på Jomfruland, Kragerø kommune, Telemark.				
Forfatter: Eirik Mauring Jan F. Tønnesen		Oppdragsgiver: NGU		
Fylke: Telemark		Kommune: Kragerø		
Kartbladnavn (M=1:250.000) Arendal		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1712 IV Kragerø		
Forekomstens navn og koordinater: Løkstad 32V 5333 65239 Hagane 32V 5340 65250		Sidetall: 23	Pris: 105,-	
Feltarbeid utført: Sept. 1991		Rapportdato: 27.04.92	Prosjektnr.: 62.2549.02	Ansvarlig: <i>Jan S. Rønning</i>
Sammendrag: Seismiske og elektriske målinger er utført i to områder på Jomfruland. Formålet med undersøkelsen var å kartlegge stratigrafi og eventuelle strukturer i endemoreneavsetningene på øya. Seismiske målinger viser at dyp til fjell ligger i området 15-60 m, og fjelltopografien er svært kupert. Over forsenkninger i fjelltopografien der dyp til fjell er størst, er det indikert en reflektor som ligger drapert over forsenkningene. Denne ligger på ca. 45 m dyp og kan representere overflaten av marine avsetninger, trolig avsatt før breframstøtene i Yngre Dryas. En reflektor på 20-30 m dyp kan muligens representere en erosjonsgrense dannet ved breframstøt. Avsetninger over denne er trolig dominert av framskjøvet marint/glasimarint materiale (moreneleire). Langs pol-dipol-profiler på tvers av øya er det registrert 3 høymotstandsstrukturer. Mellom og over disse opptrer materiale med lav motstand. Strukturer med høy motstand indikerer relativt grovt materiale, trolig avsatt ved breframstøt eller opphold i brefrontens tilbaketrekning. Lave motstandsverdier kan representere både framskjøvet moreneleire og stedegne marine sedimenter. De øverste 1-3 m er dominert av strandvasket materiale, vesentlig sand.				
Emneord: Geofysikk		Refraksjonsseismikk		Refleksjonsseismikk
Elektrisk måling		Israndavsetning		Fagrapport

INNHOLD

	Side
1. INNLEDNING	4
2. UTFØRELSE	4
2.1 Refleksjonsseismikk	4
2.2 Refraksjonsseismikk	4
2.3 Kombinert elektrisk profilering/sondering	5
3. PROSESSERING OG PRESENTASJON AV DATA	5
3.1 Refleksjonsseismikk	5
3.2 Refraksjonsseismikk	5
3.3 Kombinert elektrisk profilering/sondering	6
4. RESULTATER	6
4.1 Område S (Løkstad)	6
4.2 Område N (Hagane)	8
5. KONKLUSJON	9
Referanser	11

Tekstbilag

1. Refleksjonsseismikk - metodebeskrivelse
2. Refraksjonsseismikk - metodebeskrivelse
3. Kombinert elektrisk profilering/sondering - metodebeskrivelse

Databilag

1. Prosesseringsparametre - refleksjonsseismikk
2. Hastighetsanalyser - refleksjonsseismikk
3. Refleksjonsseismisk profil 1 - tidsseksjoner
4. Refleksjonsseismisk profil 2 - tidsseksjoner
5. Refleksjonsseismisk profil 3 - tidsseksjoner
6. Refleksjonsseismisk profil 4 - tidsseksjoner

Kartbilag

- 92.216-01: Oversiktskart - område S
- 92.216-02: Oversiktskart - område N
- 92.216-03: Tolkning av seismiske profiler - område S
- 92.216-04: Tolkning av seismiske profiler - område N
- 92.216-05: Pol-dipol sonderingskurver, profil 1 (område S)
- 92.216-06: Pol-dipol sonderingskurver, profil 2 (område N)
- 92.216-07: Pol-dipol pseudoseksjoner, profil 1 og 2

1. INNLEDNING

Seismiske og elektriske målinger er utført i to områder på Jomfruland, Kragerø kommune i Telemark. Formålet med undersøkelsen var å kartlegge stratigrafi og eventuelle strukturer i endemoreneavsetningene på øya (Ra-trinnet, Yngre Dryas). Målingene ble utført av Eirik Mauring og Jan F. Tønnesen i perioden 14/9-19/9-91.

2. UTFØRELSE

2.1 Refleksjonsseismikk

Målingene ble utført ved hjelp av 'common-depth-point'-teknikken (CDP). Denne teknikken er beskrevet i tekstbilag 1. For hvert skuddpunkt ble det registrert på 12 kanaler. Ved målingene ble det benyttet en 24-kanals digital seismograf av typen Scintrex S-2 'Echo'. Det ble anvendt geofoner med 50 Hz egenfrekvens. Energiseringskilden var 12-kalibers haglskudd avfyrt fra en spesiellagd bøsse. Innenfor hvert undersøkte område ble det målt to profiler. Plasseringen av profilene er vist i kartbilag -01 og -02, og lengden på profilene er vist under.

<u>Profil</u>	<u>Lengde (m)</u>
P1 (område S)	85
P2 (område N)	205
P3 (område N)	205
P4 (område S)	265

De viktigste opptaksparametre er listet i tabellen under.

<u>Parameter</u>	<u>Verdi</u>
Antall kanaler	12
Geofon- og skuddpunktavstand (m)	5
Avstand fra skudd til første geofon (m)	15
Analogt lavkutfilter (Hz)	200
Analogt høykutfilter (Hz)	500
Opptakstid (ms)	150

Datakvaliteten varierte, spesielt når det gjaldt frekvensinnhold i registrert energi, men var stort sett god til mindre god.

2.2 Refraksjonsseismikk

En beskrivelse av metoden er vedlagt (tekstbilag 2). Det ble målt langs ett profil i hvert område. Plassering og retning er vist i kartbilag -01 og -02. Det ble benyttet samme type seismograf som ved de refleksjonsseismiske målingene. Det ble anvendt geofoner med 10 Hz

egenfrekvens. Geofonavstanden var 10 m, men ble innkortet til 5 m ved endene av utleggene for å få bedre oppløsning av eventuelle grunne laggrenser. Lengden av profilene var 200 m (P1, område S) og 210 m (P2, område N). Energiseringen var dynamitt, og skuddpunkt ble plassert i midten og ved endene av profilene. Det ble i tillegg plassert skuddpunkt i større avstand fra endene av profilene for å få bedre kartlegging av fjellrefraktoren. Kvaliteten på opptakene var meget god.

2.3 Kombinert elektrisk profilering/sondering

Målingene ble utført med pol-dipol elektrodekonfigurasjon (se tekstbilag 3). Det ble målt langs ett profil i hvert område, og disse ble lagt langs de refraksjonsseismiske profiler. Avstanden mellom hvert sonderingspunkt var 25 m. For hver sondering ble avstanden mellom potensialelektrodene holdt konstant lik 4 m, mens avstanden fra strømelektroden til nærmeste potensialelektrode var $n \cdot 4$ m, der n varierte fra 1 til 8. Ved målingene ble det benyttet et registreringsinstrument av typen ABEM SAS300 Terrameter. Kvaliteten på målingene var mindre god, vesentlig på grunn av store laterale resistivitetsvariasjoner i overflatematerialet.

3. PROSESSERING OG PRESENTASJON AV DATA

3.1 Refleksjonsseismikk

Ved CDP-prosessering av de refleksjonsseismiske data er programpakken Interpex/Seistrix-2 benyttet (Interpex 1990b). Prosesseringsparametre (CDP) for hvert profil er listet i databilag 1. Grunne reflektorer medførte at registreringer fra geofoner lengst unna skuddpunkt måtte utelates fra CDP-sorteringen på grunn av vidvinklede refleksjoner (medfører interferens med førsteankomster, samt amplitude- og faseendringer). Til tross for at dette ble gjort, var det vanskelig å få framhevet reflektorene som kunne sees godt i råopptakene. Dette skyldtes store statiske effekter som det viste seg å være vanskelig å eliminere. For hvert profil ble det derfor bygd 'optimum offset'-opptak. Dette gjøres ved å velge ut en bestemt trase fra suksessive råopptaksfiler og sette disse sammen til 'optimum offset'-filer. Prosessering av 'optimum offset'-filer omfattet statistisk korleksjon og båndpassfiltrering (sistnevnte utført med samme parametre som vist i databilag 1). Programmene 'PICK' og 'NEWFIL' ble benyttet ved prosesseringen (Scintrex 1989). CDP- og 'optimum offset'-opptak er vist i databilag 3-6. Hastighetsanalyser i databilag 2 er lagt til grunn ved dybdekonverteringen av disse opptakene. Dybdekonverterte profiler er vist sammen med de refraksjonsseismiske profiler i kartbilag -03 og -04. Terreng høyder er avlest fra kart i målestokk 1:5000.

3.2 Refraksjonsseismikk

Første ankomsttider ble avlest manuelt ved hjelp av programmet 'PICK' (Scintrex 1989). Programpakken Interpex/Gremix (Interpex 1990a), som baserer seg på folkning av refraksjonsseismiske data etter den generelle resiproke metode (Palmer 1980), ble benyttet ved dybde-

og hastighetsberegninger. Tolkede refraksjonsselsmiske profiler er vist i kartbilag -03 og -04. Terrenghøyder er avlest fra kart i målestokk 1:5000.

3.3 Kombinert elektrisk profilering/sondering

Data fra pol-dipol-målinger er presentert både som sonderingskurver (kartbilag -05 og -06) og pseudoseksjoner (kartbilag -07). Pseudoseksjonene gir et kvalitativt inntrykk av hvordan tilsynelatende resistivitet endrer seg langs profilene og mot dypet. I pseudoseksjonen trekkes konturer gjennom områder med lik tilsynelatende resistivitet. Dybdeskala som er angitt ved siden av seksjonene angir plottedyb og ikke virkelige dyp. På grunn av laterale motstandsvariasjoner, spesielt overflatencært, ble det vanskelig å utføre kvantitative tolkninger av sonderingskurvene. Store vertikale motstandskontraster er trolig også medvirkende til at det ikke lot seg gjøre å tilpasse modellkurver med tilgjengelig programvare. Under pkt. 4 er det derfor i hovedsak foretatt en kvalitativ vurdering av måleresultatene ut fra kurveform og verdiene av tilsynelatende resistivitet.

4. RESULTATER

Store deler av Jomfruland utgjøres av endemoreneavsetninger (Ra-trinnet, Yngre Dryas). Tidligere kartlegging viser at løsmassene innenfor de undersøkte områder består av sanddominerte strandavsetninger (0-2 m) over moreneleire. Moreneleira inneholder alle kornstørrelser, men silt og leir dominerer. Leira er skjelførende og antas å bestå vesentlig av oppskjøvete, tidligere marine og/eller glasimarine avsetninger (Jansen 1982, Holtedahl 1989). Submarine undersøkelser sørøst for øya viser et dekke av grovt materiale (blokk, stein og grus) ned til et vanddyb på 50 m. På større dyp (lenger bort fra øya) opptrer sand, og under et dyp på ca. 100 m dominerer silt og leir (Holtedahl & Bjerkli 1975, Holtedahl 1989). På selve øya er det tidligere antatt at moreneleira fortsetter helt ned til fjell (Holtedahl 1989). De tidligste boringer som er foretatt på Jomfruland ble utført i forbindelse med fyrrets bygging (det eldste fyret). Boringene viste et dekke av sand/grus/stein (strandavsetninger) over leire. Leira er beskrevet som meget hard (Hansen 1910).

4.1 Område S (Løkstad)

En oversikt over området med inntegnede profiler er vist i kartbilag -01. Tolkning av seismiske data er vist i kartbilag -03. Presentasjon av pol-dipol-data er vist i kartbilag -05 (sonderingskurver) og kartbilag -07 (pseudoseksjon).

Pol-dipol-målinger

Ut fra formene på pol-dipol sonderingskurvene (kartbilag -05) ser det ut til at antall motstandslag stort sett varierer mellom 4 og 6. Selv om det er store laterale motstandsvariasjoner, kan kurvemønsteret gjenkjennes fra sondering til sondering. Den laterale og vertikale variasjon i

tilsynelatende resistivitet illustreres best i pseudoseksjonene (kartbilag -07), og tolkningen av pol-dipol-målingene vil derfor konsentreres om disse.

Overflatematerialet har høyere motstand enn materialet like under, men det er store laterale variasjoner i overflateresistiviteten langs profilet. Disse overflatevariasjonene vil også ha en del innvirkning på verdiene for tilsynelatende motstand dypere i avsetningen. Godt ledende materiale ligger under overflatelaget langs hele profilet, men mot dypet ser det ut til å være brutt opp av tre hovedstrukturer med betydelig høyere motstand.

Det er høy motstand fra et pseudodyp på 8-9 m mellom posisjon 130 og 250. Motstanden i denne strukturen ser ut til å avta mot SØ langs profilet. En annen høymotstandsstruktur (struktur 2) opptrer mellom posisjon 10 og 100 fra et pseudodyp på 13-14 m. Mellom de to strukturer er det godt ledende materiale, men det kan se ut til at noe av høymotstandsmaterialet fra struktur 2 strekker seg noe ut i/over dette materialet. Den tredje struktur ligger rett over struktur 2 mellom posisjon 20 og 100, men er skilt fra denne av et tynt, godt ledende lag. Strukturene kan ha en pseudotykkelse på ca. 5 m med overflaten fra 4 til 6 m under terrenget, og med de grunneste verdier mot SØ.

For kvartærgeologisk tolkning av profilet er det nærliggende å knytte høymotstandsstrukturer sammen med relativt grovt materiale avsatt ved aktive breframstøt eller opphold i brefrontens tilbaketrekning. Lavmotstandslagene er knyttet til materiale med høyt finstoffinnhold, som kan representere både framskjøvne, vesentlig marine/glasimarine avsetninger (moreneleire) og marine avsetninger avsatt på stedet i perioder der brefronten lå lenger mot NV eller var helt borte fra området.

Dersom høymotstandsstrukturene representerer israndavsetninger, er trolig struktur 1 den eldste. Struktur 3 er definitivt yngst, da denne er avsatt over struktur 2.

Seismiske målinger

Tre hastighetslag kan tolkes ut fra de refraksjonsseismiske data (P1). Det øverste har en seismisk hastighet i området 400-450 m/s og representerer tørre strandavsetninger (vesentlig sand), og tilsvarer høymotstands overflatelag fra pol-dipol-målinger. Laget under har seismisk hastighet i området 1700-1750 m/s og representerer moreneleire. Dyp til laget ligger i området 1-3 m. Det nederste laget har en seismisk hastighet på ca. 5800 m/s og representerer massivt fjell. Dyp til fjell langs profilet ligger i området 15-45 m, og øker innover øya i retning sørøst. Som kartbilaget viser, er fjelltopografien temmelig ujevn og kupert.

Refleksjonsseismisk profil 1 (databilag 3) gir lite informasjon utover refraksjonsseismikken. En mulig reflektor i løsmassene kan sees i 'optimum offset'-opptaket på ca. 50 ms (nivå -27 m.o.h.). Fjell sees både i CDP- og 'optimum offset'-opptaket som en diskontinuerlig reflektor som opptrer i to høydenivå (ca. 45 og 75 ms). Overgangen mellom de to nivåene (ved posisjon 100) kan ikke sees direkte. Dette kan tyde på et stort sprang i fjelltopografien i dette området, noe som også er indikert ved refraksjonsseismikk.

Refleksjonsseismisk profil 4 (databilag 6) er målt i et område med antatt stort dyp til fjell. Fjellreflektoren sees best på 'optimum offset'-opptaket som en kraftig, diskontinuerlig reflektor (50-80 ms). CDP-opptaket viser sannsynligvis en dal i fjelltopografien med bunn ca. 75 ms (-50 m.o.h.) ved posisjon 230 og en høyde med topp ca. 45 ms (-28 m.o.h.) ved posisjon 150. Fjelltopografien er også langs dette profilet ujevn og kupert. CDP-opptaket viser en tydelig reflektor i løsmassene på ca. 40 ms (-22 m.o.h.). Denne sees på begge sider av høyden i fjelltopografien (posisjon 150). Reflektoren sees også tydelig i 'optimum offset'-opptaket på ca. 45 ms, og kan sannsynligvis korreleres med reflektor indikert i profil 1. Reflektoren kan skyldes et breframstøt (mest sannsynlig) eller representere avsetninger mellom to breframstøt. Et eventuelt breframstøt kan ha avsatt masser eller kun forårsaket en sammentrykning av underliggende materiale. I begge tilfeller vil en trolig få en endring i tetthet og/eller seismisk hastighet som medfører at grensen reflekterer akustisk energi. En annen reflektor i løsmassene er indikert ved ca. 55 ms (-35 m.o.h.) i CDP-opptaket mellom posisjon 70 og 100 og mellom posisjon 215 og 265. Denne synes å ligge drapert over forsenkninger i fjelltopografien. Løsmassene under er trolig avsatt før breframstøtene i Yngre Dryas og består sannsynligvis av finkornige, marine avsetninger.

4.2 Område N (Hagane)

En oversikt over området med inntegnede profiler er vist i kartbilag -02. Tolkning av seismiske data er vist i kartbilag -04. Presentasjon av pol-dipol-data er vist i kartbilag -06 (sonderingskurver) og kartbilag -07 (pseudoseksjon).

Pol-dipol-målinger

Pol-dipol sonderingskurver for profil 2 viser i likhet med profil 1 at antall motstandslag ligger mellom 4 og 6, med et mønster som gjenkjennes fra sondering til sondering. I det følgende er tolkningen basert på pseudoseksjon (kartbilag -07) av samme grunn som nevnt under 4.1.

Overflatematerialet i dette området har også høyere motstand enn laget under, men verdiene er gjennomgående lavere enn i område S (profil 1). Tykkelsen av overflatelaget er omtrent lik i de to områdene (vist ved refraksjonsseismikk). Disse faktorer indikerer tørrere/grovere materiale i overflaten langs profil 1. Selv om det er store laterale variasjoner i overflatemotstanden, har den langs sørøstre halvdel av profil 2 relativt lave verdier. Under overflatelaget opptrer godt ledende, materiale, som også i dette området er brutt opp av tre hovedstrukturer med betydelig høyere motstand, men de er plassert i større avstand fra hverandre. Første struktur kommer såvidt inn mot slutten av profilet (posisjon 280-315) fra et pseudodyp på 8-10 m lengst SØ. Struktur 2 opptrer i området mellom posisjon 130 og 180 i et pseudodyp fra 10-11 m i NV, men gradvis dypere mot SØ. Mellom og over de to strukturer er det et bredt område med lave motstander. Struktur 3 ligger her ikke over struktur 2, men NV for denne mellom posisjon 50 og 120. I nordvestlige del når strukturen opp til 5-6 m under overflaten. Det er indikasjoner på at strukturen ligger over materiale med lav motstand fra et pseudodyp på ca. 15-16 m langs den sørøstlige del av strukturen.

Det antas at høymotstandsstrukturene i profil 1 (område S) og profil 2 kan korreleres, slik at den kvartærgeologiske tolkningen er tilsvarende som for profil 1.

Seismiske målinger

Refraksjonsseismiske målinger er utført langs profil 2, og tre hastighetslag kan erkjennes i måledata. Feltobservasjoner og tidligere undersøkelser tilsier at lagene er av samme type som i område S. Øverst har vi et 1.5-2.5 m mektig lag med seismisk hastighet i området 400-700 m/s som representerer tørre, sanddominerte strandavsetninger som tilsvarer overflatelaget ved pol-dipol-målingene. Laget under har seismisk hastighet på ca. 1700 m/s og representerer moreneleire. Det nederste laget har seismisk hastighet på ca. 5300 m/s og representerer massivt fjell. Dyp til fjell ligger i området 20-35 m, og er størst sentralt i profilet (posisjon 140, nivå -28 m.o.h.)

Refleksjonsseismisk profil 2 (databilag 4) viser en markant reflektor i CDP-opptaket mellom posisjon 0 og 50 og mellom posisjon 150 og 205 (35-40 ms). Denne representerer fjell. Fjell kan også skimtes i de sentrale deler av profilet, men i dette området gir det refraksjonsseismiske profilet langt sikrere informasjon om fjelldyp og -topografi. Ellers er det lite informasjon å få ut av CDP-opptaket. For å forsøke å påvise eventuelle grunne reflektorer er det bygd opp to 'optimum offset'-opptak. En meget svak reflektor kan skimtes på ca. 40 ms (-14 m.o.h.) mellom posisjon 60 og 130 for 'optimum offset' = 30 m. Denne sees stedvis ved ca. 30 ms for 'optimum offset' = 15 m. Reflektoren ligger i et nivå ca. 8 m høyere enn øverste reflektor påvist i område S. En kan ikke på bakgrunn av seismisk signatur eller annen informasjon si om reflektorene kan korreleres,

Refleksjonsseismisk profil 3 (databilag 5) viser fjell mer eller mindre sammenhengende langs hele profilet, men best ved enden og i området rundt posisjon 100. Dette gjelder både CDP-opptaket og to 'optimum offset'-opptak som er bygd opp. Fra 'optimum offset'-opptakene indikeres en meget svak og grunn reflektor rundt 30 ms ('optimum offset' = 20 m) og 35 ms ('optimum offset' = 25 m) mellom posisjon 0 og 60 (nivå -14 m.o.h.). Fra posisjon ca. 60 går denne opp (nivå -12 m.o.h.) og faller omtrent sammen med første ankomne bølger. Reflektoren ligger i samme nivå som i det kryssende profil 2 (se kartbilag -04). Som i område S kan reflektoren skyldes et breframstøt.

4. KONKLUSJON

Seismiske og elektriske målinger er utført i to områder på Jomfruland, Kragerø kommune i Telemark. Formålet med undersøkelsen var å kartlegge stratigrafi og eventuelle strukturer i endemoreneavsetningene på øya (Ra-trinnet, Yngre Dryas).

Seismiske målinger viser at dyp til fjell ligger mellom 15 og 60 m i de undersøkte områdene. Fjelltopografien er svært kupert. Over forsenkninger i fjelloverflaten der dyp til fjell er størst, er det ved refleksjonsseismiske målinger indikert en reflektor som ligger drapert over forsenkning-

ene. Denne ligger på ca. 45 m dyp og kan representere overflaten av marine avsetninger, trolig avsatt før breframstøtene i Yngre Dryas.

En reflektor på 20-30 m dyp kan muligens representere en erosjonsgrense dannet ved breframstøt. Avsetninger over denne er trolig dominert av framskjøvet marint/glasimarint materiale (moreneleire). Langs pol-dipol-profiler på tvers av øya er det registrert 3 høymotstandsstrukturer. Mellom og over disse opptrer materiale med lav motstand. Strukturer med høy motstand indikerer relativt grovt materiale, trolig avsatt ved breframstøt eller opphold i brefrontens tilbaketrekning. Lave motstandsverdier kan representere både framskjøvet moreneleire og stedegne marine sedimenter avsatt i perioder der brefronten lå lenger mot NV eller var helt borte fra området. Innenfor de undersøkte områdene er de øverste 1-3 m dominert av strandvasket materiale, vesentlig sand.

Referanser

Hansen, A.M. 1910: Fra istidene. Vest-Raet. Norges Geologiske Undersøkelse 54: 265 pp.

Holtedahl, H. 1989: Submarine end moraines and associated deposits off the south coast of Norway. Mar. Geol., 88: 23-48.

Holtedahl, H. & Bjerkli, K. 1975: Pleistocene and recent sediments of the Norwegian continental shelf (62°N - 71°N) and the Norwegian Channel area. Norges Geologiske Undersøkelse 316, 241-252.

Interpex 1990a: GREMIX v. 2.0. User's manual.

Interpex 1990b: SEISTRIX-2. User's manual.

Jansen, I.J. 1982: Jomfruland og Stråholmen, kvartærgeologisk kart 1:10000.

Palmer, D. 1980: An application of the time section in shallow seismic refraction studies. A thesis submitted for the degree of Master of Science in the Faculty of Science at the University of Sydney.

Scintrex 1989: S-2 'Echo' seismograph. Application software.

REFLEKSJONSSEISMIKK - METODEBESKRIVELSE

Refleksjonsseismikk anvendt på løsmasser er tilpasning og modifisering av konvensjonelle refleksjonsseismiske teknikker. I mange tilfeller kan refleksjonsseismikk være et alternativ til refraksjonsseismikk ved undersøkelse av løsmassestratigrafi og fjelltopografi under løsmasser.

Oppløsning/dybderekkevidde

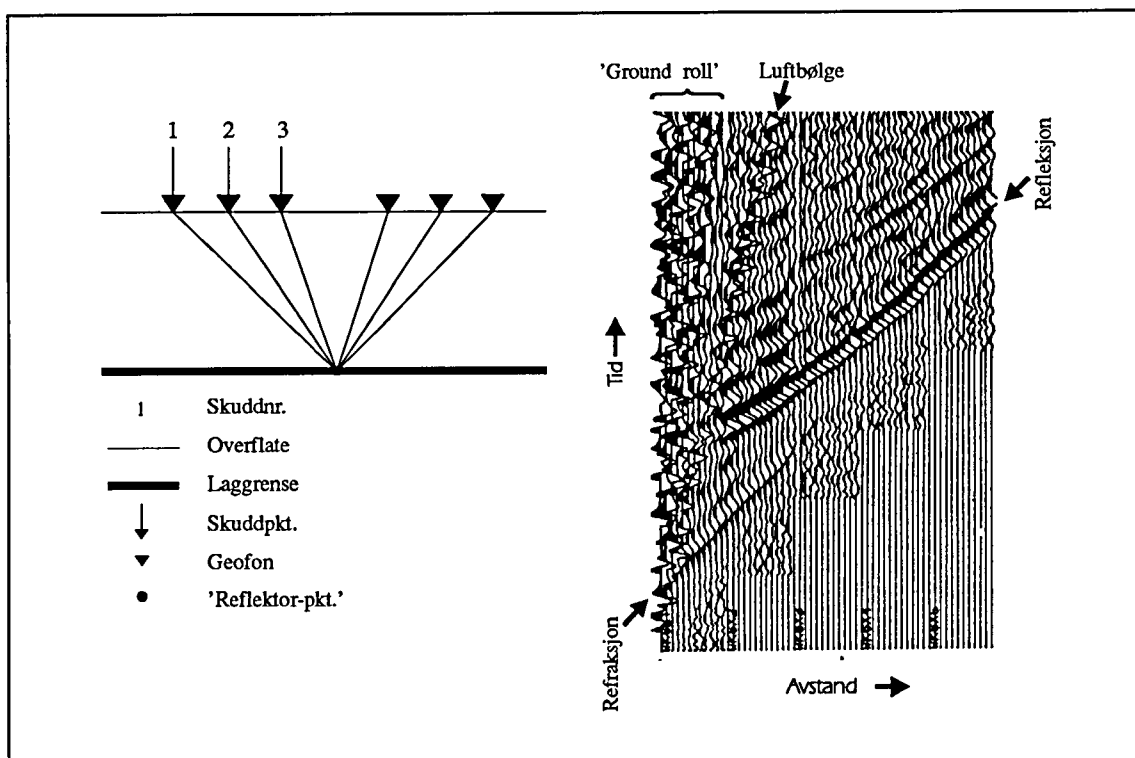
I løpet av de siste årene har det skjedd en utvikling av digitalt refleksjonsseismisk utstyr i retning av høyere oppløsning og mindre tidkrevende prosessering. Oppløsningen er proporsjonal med registrerte signalers frekvensinnhold og seismisk hastighet. Man anvender derfor energiseringskilder som gir høyfrekvent energi. Et eksempel på en slik kilde er haglpatroner avfyrt fra en spesiell børs. Ytterligere framheving av høye frekvenser oppnås ved anvendelse av geofoner med høy egenfrekvens (50 eller 100 Hz), samt analog og digital frekvensfiltrering. En utvikling av seismografer i retning av økende dynamikkområde bidrar også til høyere oppløsning. Reflektorer kan under 'gunstige forhold' (se under) kartlegges på dyp i området 10 - flere hundre meter ved denne metoden. Ved en frekvens på 300 Hz og seismisk hastighet på 2000 m/s, kan man teoretisk sett skille lag med en mektighet større enn 2 m.

Anvendelse/Fordeler og ulemper

Anvendelsen av refleksjonsseismikk avhenger av god forplantning av høyfrekvent energi. Metoden egner seg derfor best der man ved overflaten har finkornige, vannmettede løsmasser. Dette gir best 'kobling' med bakken for skudd og geofoner. Metoden gir dårlige resultater ved grovkornige, tørre masser og over fyllinger og myr. Ved slike grunnforhold bør refraksjonsseismikk benyttes. I forhold til refraksjonsseismikk gir refleksjonsseismikk en mer direkte og detaljert avtegnning av lag i jorda, og man har ikke de samme problemer med blindsonelag og hastighetsinversjon. Metoden gir derimot dårligere informasjon om lagenes seismiske hastigheter og tykkelser. Ønskes informasjon om lag grunnere enn 10 m, benyttes refraksjonsseismikk.

'Common depth point (CDP)'

Ved NGU har man tilpasset programvare og utrustning til en måleteknikk kalt 'common depth point'. Teknikken er skissert i figuren på neste side. Det velges en fast avstand mellom skudd og geofonrekke. Avstanden bør være så stor at overflatebølger (Rayleigh-bølger) og luftbølger, som alle betraktes som støy, ankommer geofonene etter signal fra den dypeste laggrense man vil kartlegge (se figur på neste side). Det registreres på 12 kanaler, som gir 6-fold dekning av hvert 'reflektor-punkt'. Et CDP-opptak oppnås ved at første skudd registreres på geofonene 1-12. Deretter flyttes skuddpunktet fram en avstand som tilsvarer geofonavstanden, og man registrerer på geofonene 2-13. Man 'skyver' altså geofonrekka framover i profilretningen. Som vi ser av figuren, oppnås en 6-fold dekning av hvert reflektorpunkt fra og med det sjette skuddet. Data fra hvert skudd blir lagret for seinere prosessering. En bemanning på 3 personer har vist seg å være optimal ved utførelsen av CDP-målinger. Når man benytter teknikken CDP, kan man under 'normale' forhold profilere 300-400 m pr. dag.



Figuren til venstre viser et opplegg for målinger ved 'common depth point'-teknikken. Figuren til høyre viser et utvalg av seismiske hendelser som er vanlige i et opptak.

Prosessering

Prosessering av CDP-data er meget tidkrevende, og krever en rask PD med stor lagringskapasitet. De viktigste prosesseringstrinn skal her skisseres:

- 1) Oppbygging av geometrifiler. Her leses inn navn på råopptaksfiler med tilhørende skuddpkt.-plassering. En kan her avgjøre om et opptak skal utelates ved CDP-sorteringen. Data for beregning av statisk korleksjon kan også leses inn (statisk korleksjon utføres for å fjerne effekten av ujevn topografi og variasjoner i hastighet i det øverste laget). Data om selve oppdraget/profilen leses inn og lagres i en parameterfil.
- 2) Editering av råopptak. Man ser på hvert opptak for å fjerne eventuelle traser (eng.: trace) med dårlig oppløsning eller dårlig signal/støy-forhold. Disse trasene vil da ikke benyttes ved stacking (se under) av data.
- 3) Bestemmelse av filterparametre. Prosesseringsprogrammene som benyttes kan utføre båndpassfiltrering, F-K-filtrering og dekonvolering ved sortering eller stacking. Det er oftest vanlig (og nødvendig) å utføre båndpassfiltrering. Ved båndpassfiltrering konstrueres et filter slik at man fjerner de frekvenser som ligger utenfor frekvensområdet for refleksjoner, og/eller de frekvenser som er representert i støy. F-K-filtrering og dekonvolering brukes bare unntaksvis ved prosesseringen, og omtales ikke nærmere.
- 4) Sortering av CDP-data. Ved sorteringen plukker man ut traser med felles midtpunkt og grupperer disse ('CDP gathers'). Filtrering kan utføres under sorteringen.
- 5) Hastighetsanalyse. Gjennomsnittlig seismisk hastighet ned til reflektorer bestemmes for enkelte 'CDP gathers'. Disse hastighetene benyttes ved NMO ('Normal Moveout') før stacking

(se under). Hastighetsanalyse kan utføres på 3 forskjellige måter, der den vanligste er tilpasning av en hyperbel over tydelige refleksjoner som framtrer i en 'CDP-gather'.

6) Muting. Utføres på 'CDP gathers' for å fjerne støy innenfor et tidsvindu som defineres av bruker. Vanlig støy kan være luftbølger fra skuddet, Rayleigh-bølger eller refraksjoner.

7) Stacking. Data for hver 'CDP gather' slås sammen etter at NMO-korreksjon er utført. Filtrering (båndpass, F-K eller dekonvolving) kan utføres før eller etter stacking.

8) 'Residual statics'. Fjerner resterende effekt av ujevn topografi og variasjoner i hastighet i det øverste laget (se pkt. 1). Prosedyren er basert på at en gjennomgående, kraftig reflektor opptrer i den seismiske tidsseksjonen. Ved å legge en linje langs denne reflektoren, vil programmet gå inn på hver 'CDP gather' og justere trasene i tid slik at stackingen langs reflektoren/linjen blir optimal. Deretter må en på nytt utføre hastighetsanalyse og stacking. 'Residual statics' utgjør ofte siste trinn i prosesseringen.

Plotting

Ved plotting av seismisk seksjon benyttes AGC ('automatic gain control') for å normalisere amplituder og for å framheve svake reflektorer. Grafisk framstilles amplitudeutslag v.h.j.a. en kombinasjon av 'wiggly trace' og 'variable area' (som i figuren). Plottet kan skrives ut i bestemte filformat eller sendes direkte til skriver eller plotter. I tillegg til seismisk seksjon blir detaljer om oppdrag, opptaksparametre og prosessering skrevet ut.

Tolkning

Tolkning av ferdig prosessert seismisk seksjon baserer seg på gjenkjenning og sammenknytning av refleksjoner. Sammenholdt med opplysninger om seismiske hastigheter avledes en geologisk modell, der man også trekker inn resultater fra eventuelle andre undersøkelser.

P-BØLGEHASTIGHET I NOEN MATERIALTYPER

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

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 lyd hastigheten 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 tilfredsstillers 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 lyd hastigheten 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

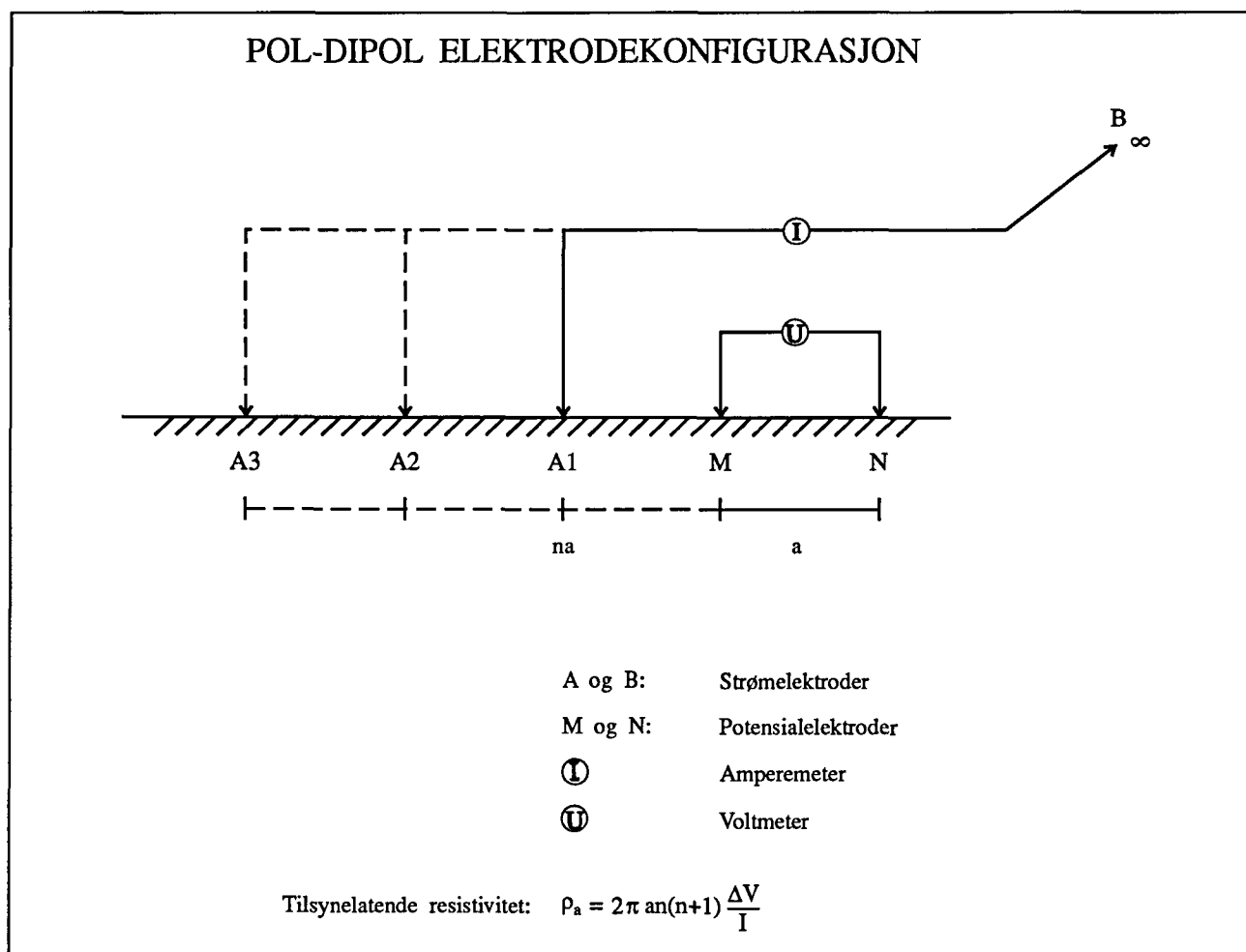
I de beregnede dyp øker med antall sjikt. Med analog apparatur vil en kunne bestemme første ankomsttid med en usikkerhet på 1 millisekund ved middels god opptakskvalitet. Hvis overdekkehastigheten er 1600 m/s, tilsvarer dette en usikkerhet på ca. 0.8 m i dybdebestemelsen på grunn av avlesningsfeil. I 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.

KOMBINERT ELEKTRISK PROFILERING/SONDERING - METODEBESKRIVELSE

Metoden benyttes for å kartlegge laterale og vertikale endringer i elektrisk motstand langs profiler. I måleprofilen benyttes to potensialelektroder og en strømelektrode, mens en annen strømelektrode er fast plassert langt unna ('uendelig'). Ved å holde potensialelektrodeavstanden fast og flytte strømelektroden stegvis utover oppnås en dybdesondering. Elektrodeutlegget flyttes så til neste målepunkt i profilet og måleprosedyren gjentas. Måleprosedyre og beregning av tilsynelatende resistivitet (ρ_a) framgår av figuren nedenfor.

Motstandsverdiene kan framstilles som profilkurver for hver strømelektrodeavstand, som dybdesonderingskurver i hvert målepunkt eller som pseudoseksjoner. Målemetoden gir et tilnærmet kontinuerlig 2-dimensjonalt bilde av motstandsforholdene langs måleprofilen. Kvalitativ tolkning av lagfølge kan foretas direkte ut fra sonderingskurvene. Det er også mulig med kvantitativ tolkning av lagtykkelser og resistivitet ved å benytte egnet programvare. Tolkningsproblemer og usikkerheter vil stort sett være de samme som ved 'normale' vertikale elektriske sonderinger.



Prosesseringsparametre, refleksjonsseismikk

	<u>Profil 1</u>	<u>Profil 2</u>	<u>Profil 3</u>	<u>Profil 4</u>
Trase-editering	Mute trace 8-12	Mute trace 7-12	Mute trace 7-12	Mute trace 7-12
Båndpassfiltrering	145-290 Hz	100-300 Hz	150-350 Hz	110-270 Hz
CDP-sortering				
Hastighetsanalyse	Databilag 2	Databilag 2	Databilag 2	Databilag 2
NMO	Stretch 0.5	Stretch 0.5	Stretch 0.5	Stretch 0.5
Stack	Straight, scalar 1.0	Straight, scalar 1.0	Straight, scalar 1.0	Straight, scalar 1.0
Residuell statisk korreksjon	Window 7 ms Max shift 3 ms	Window 7 ms Max shift 3 ms	Window 7 ms Max shift 3 ms	Window 7 ms Max shift 3 ms
Utskrift	AGC	AGC	AGC	AGC

Hastighetsanalyser**Profil 1**

	t_0	\underline{v}
70	41	1600
95	46	1580
120	46	1580
v		1590

Profil 2

	t_0	\underline{v}
35	41	1480
85	41	1480
135	46	1390
160	51	1470
185	41	1480
v		1460

Profil 3

	t_0	\underline{v}
35	47	1500
85	56	1500
135	46	1500
185	41	1490
v		1500

Profil 4

	t_0	\underline{v}
35	36	1540
85	51	1560
135	31	1670
185	41	1610
235	46	1610
v		1600

v angir gjennomsnittlig seismisk hastighet til reflektor under et skuddpunkt i profilet i m/s

t_0 angir toveis gangtid til reflektor i ms

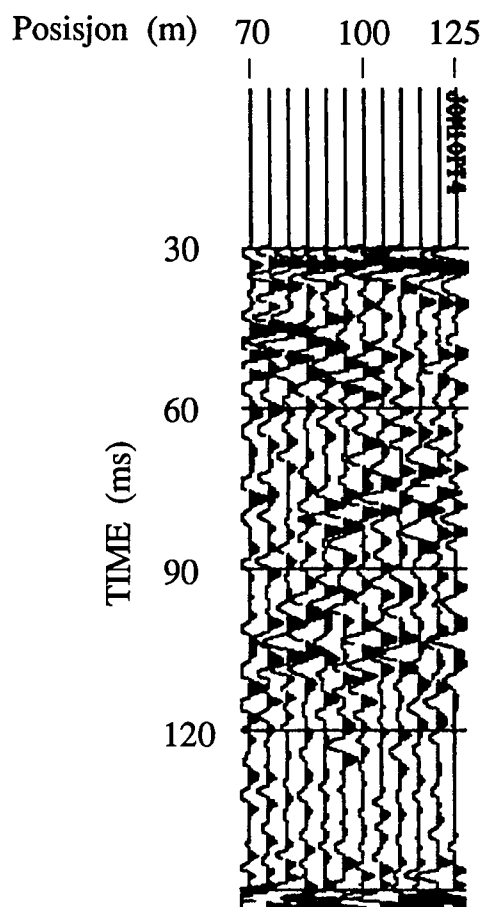
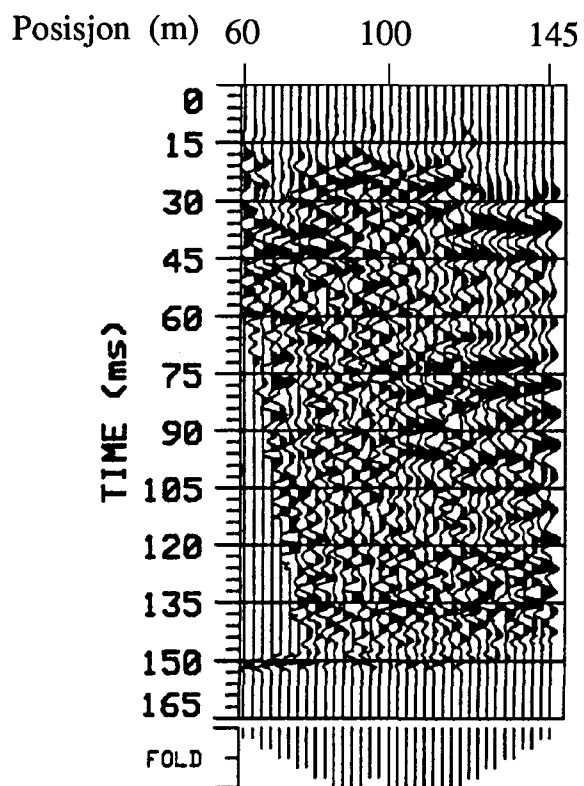
70 angir posisjon for hastighetsanalyse i CDP-opptak

v angir gjennomsnittlig hastighet til reflektor i profilet i m/s

Refleksjonsseismisk profil 1

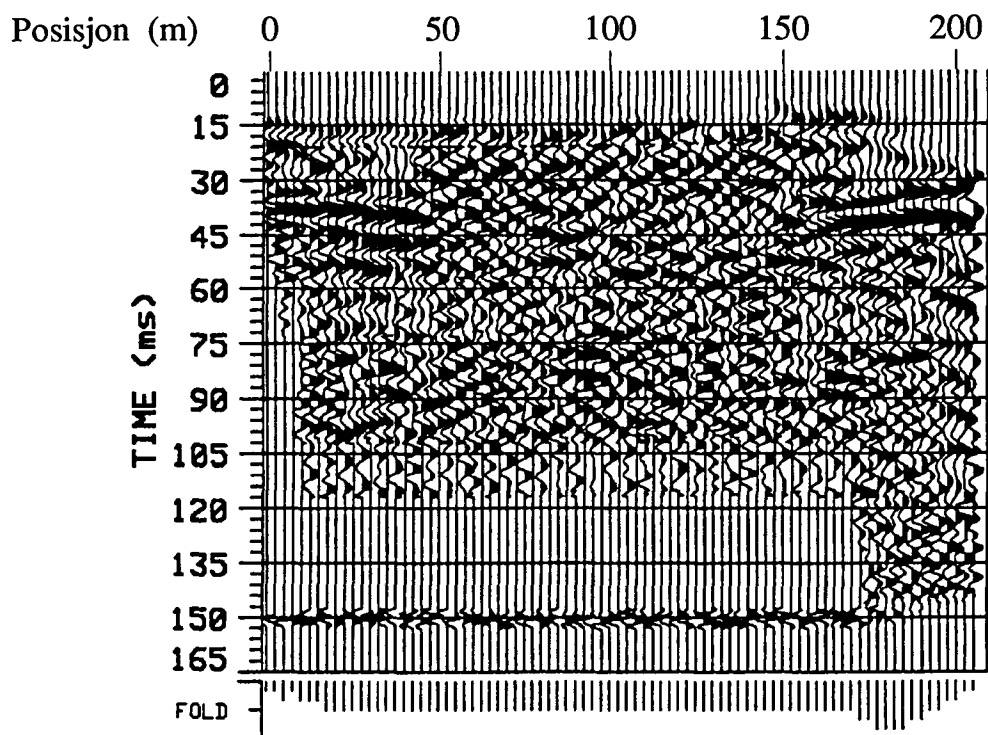
CDP-opptak

Optimum offset (30 m)



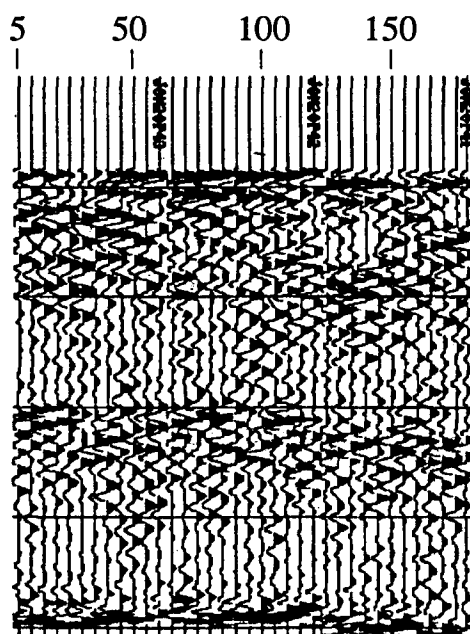
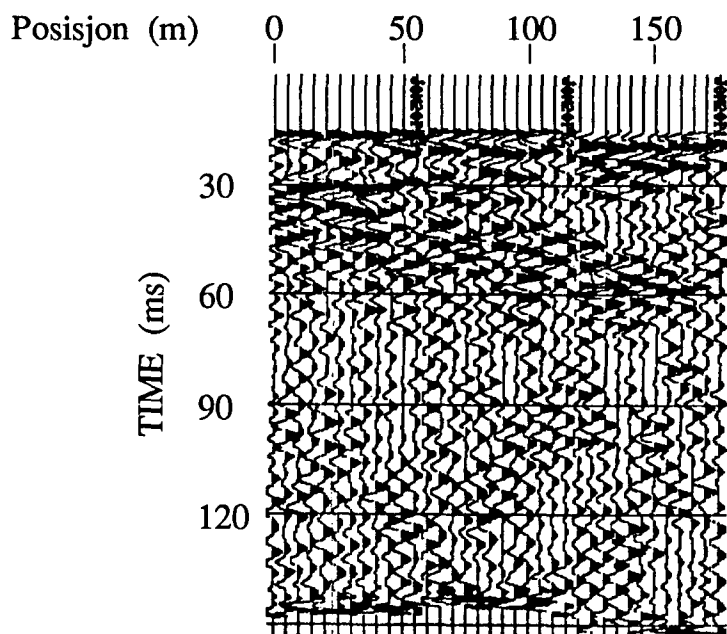
Refleksjonsseismisk profil 2

CDP-opptak



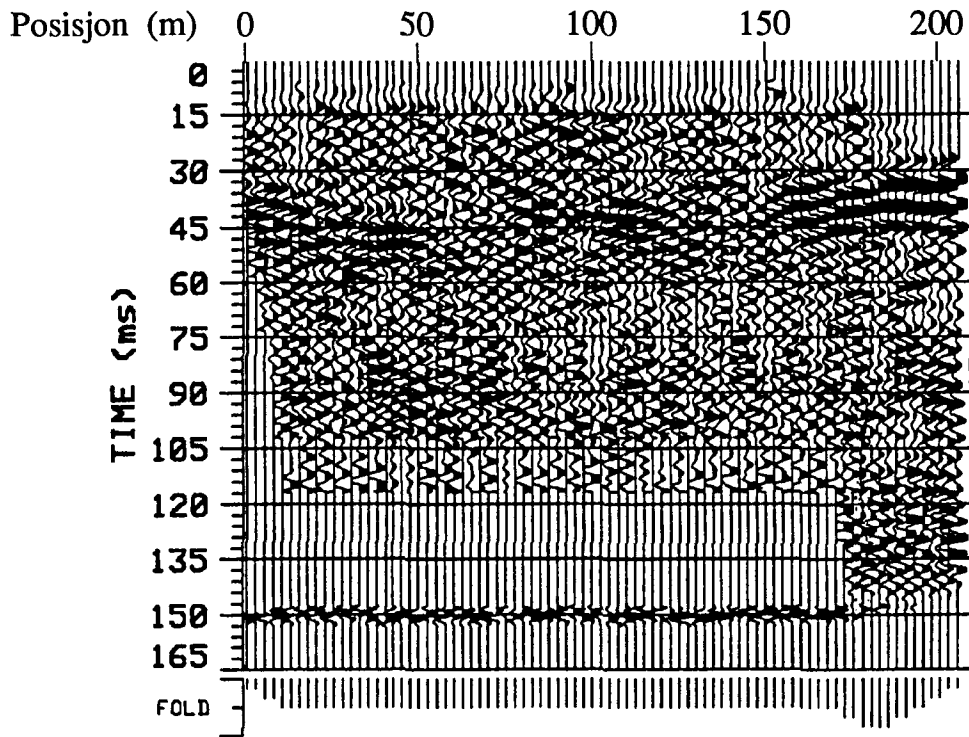
Optimum offset (15 m)

Optimum offset (30 m)

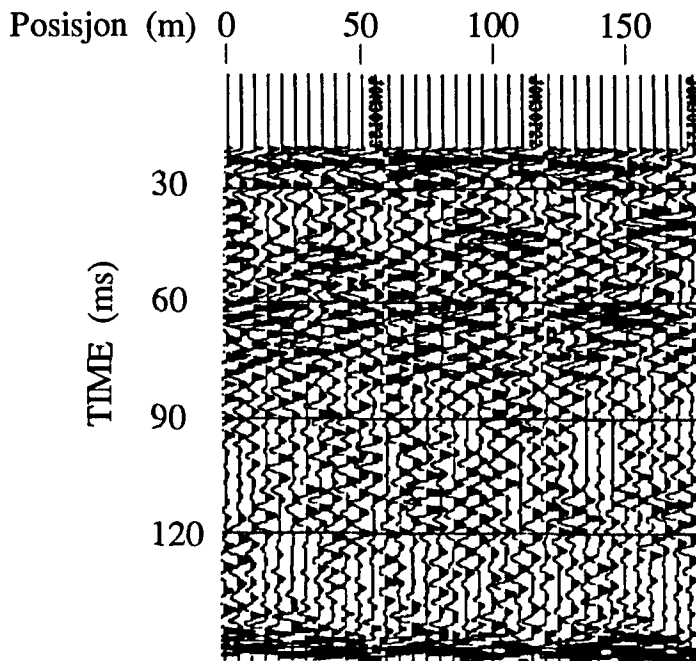


Refleksjonsseismisk profil 3

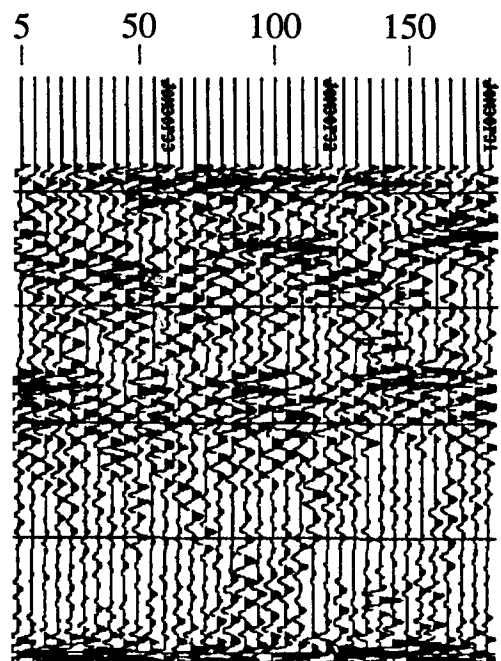
CDP-opptak



Optimum offset (20 m)

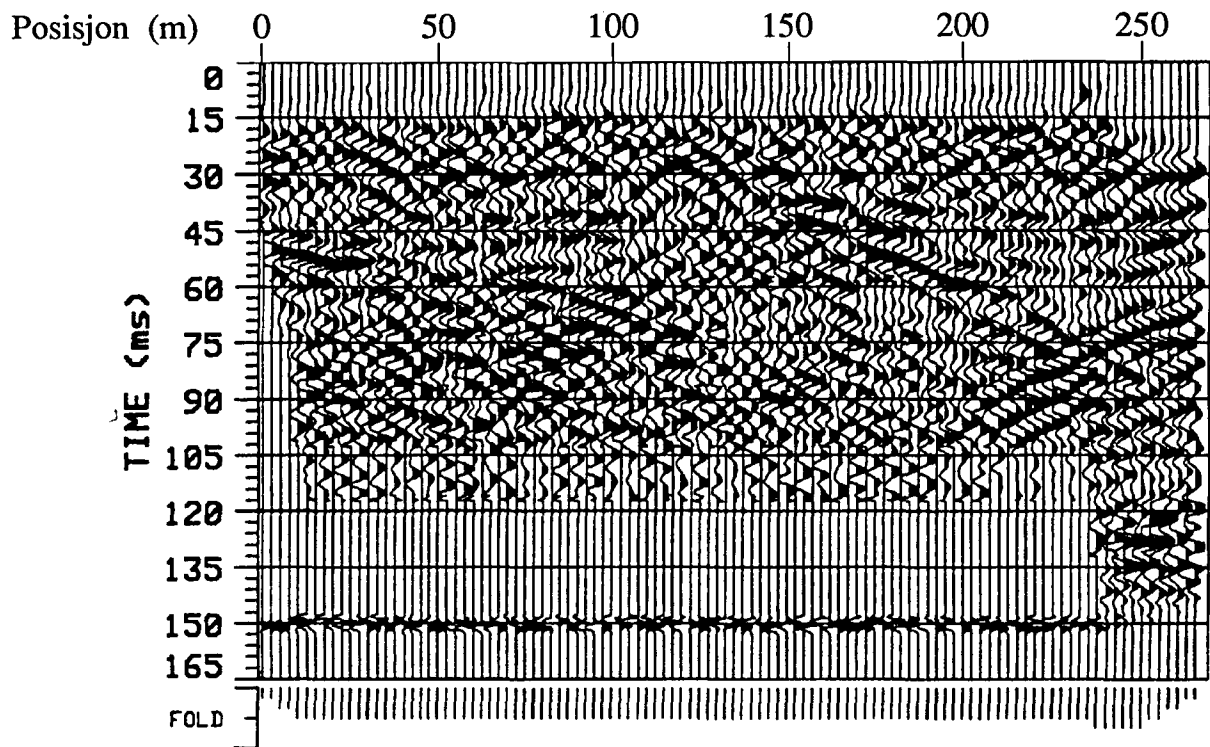


Optimum offset (25 m)

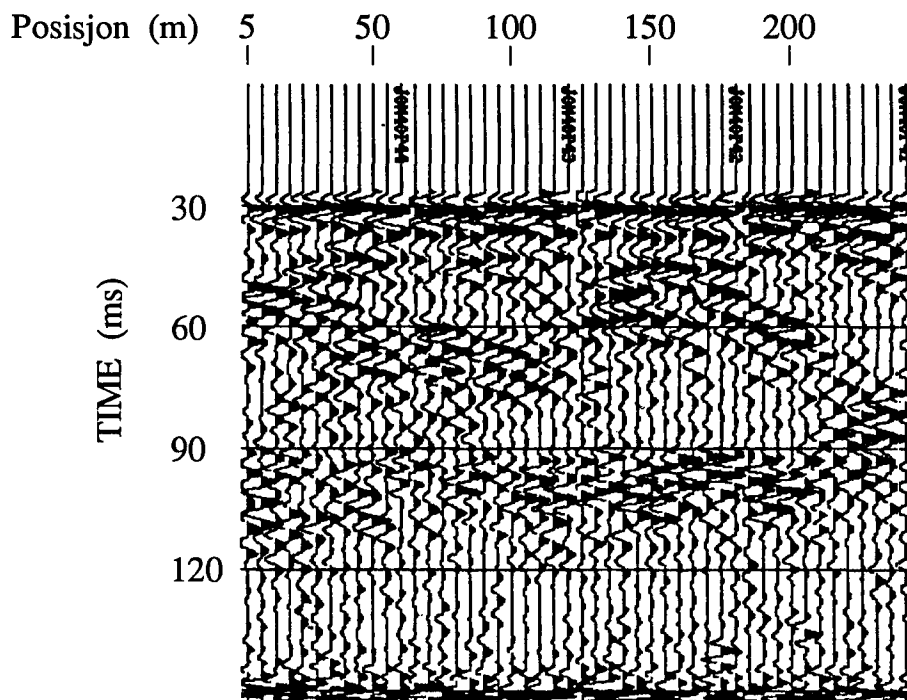


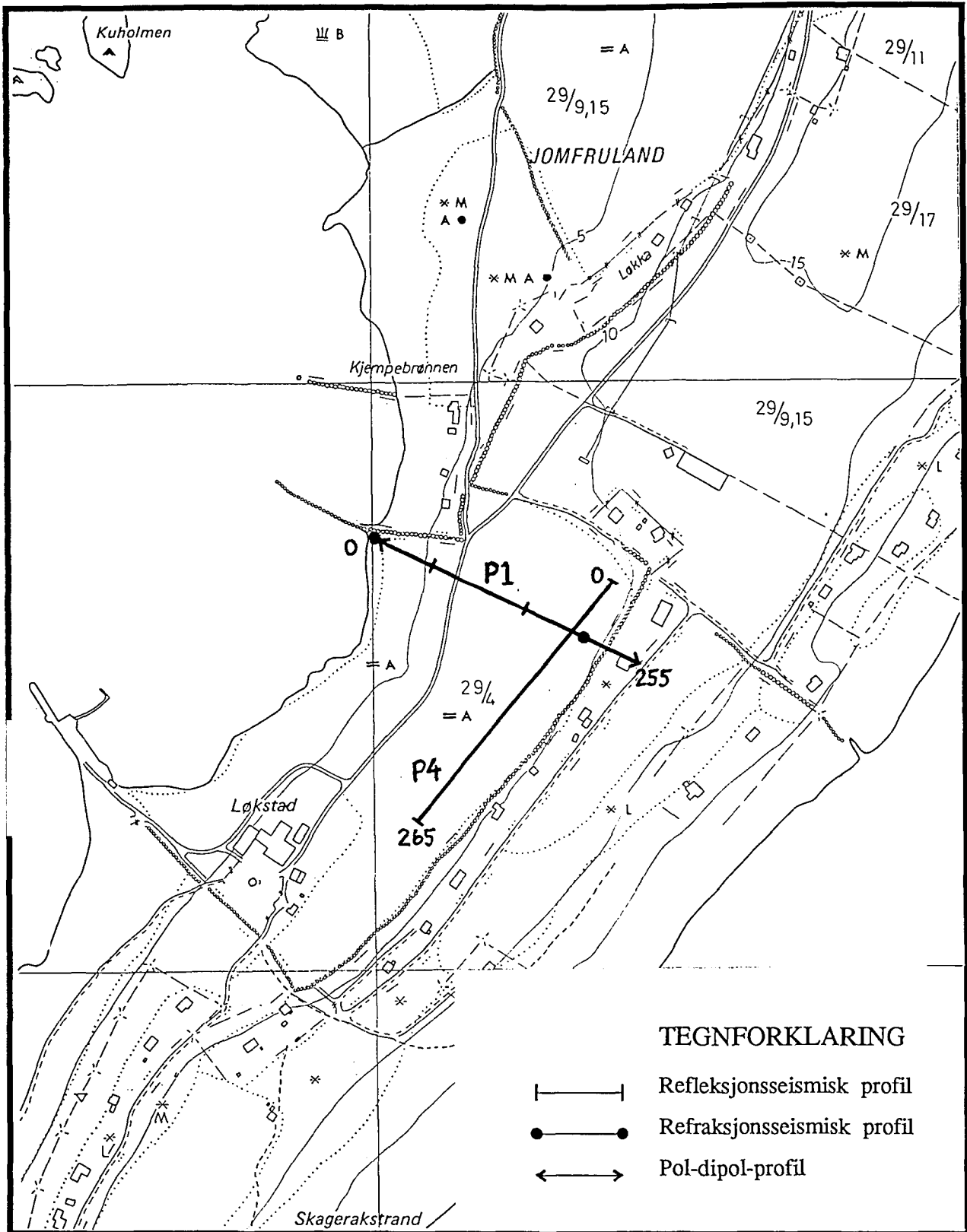
Refleksjonsseismisk profil 4

CDP-opptak






Optimum offset (30 m)



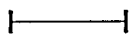
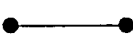
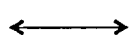


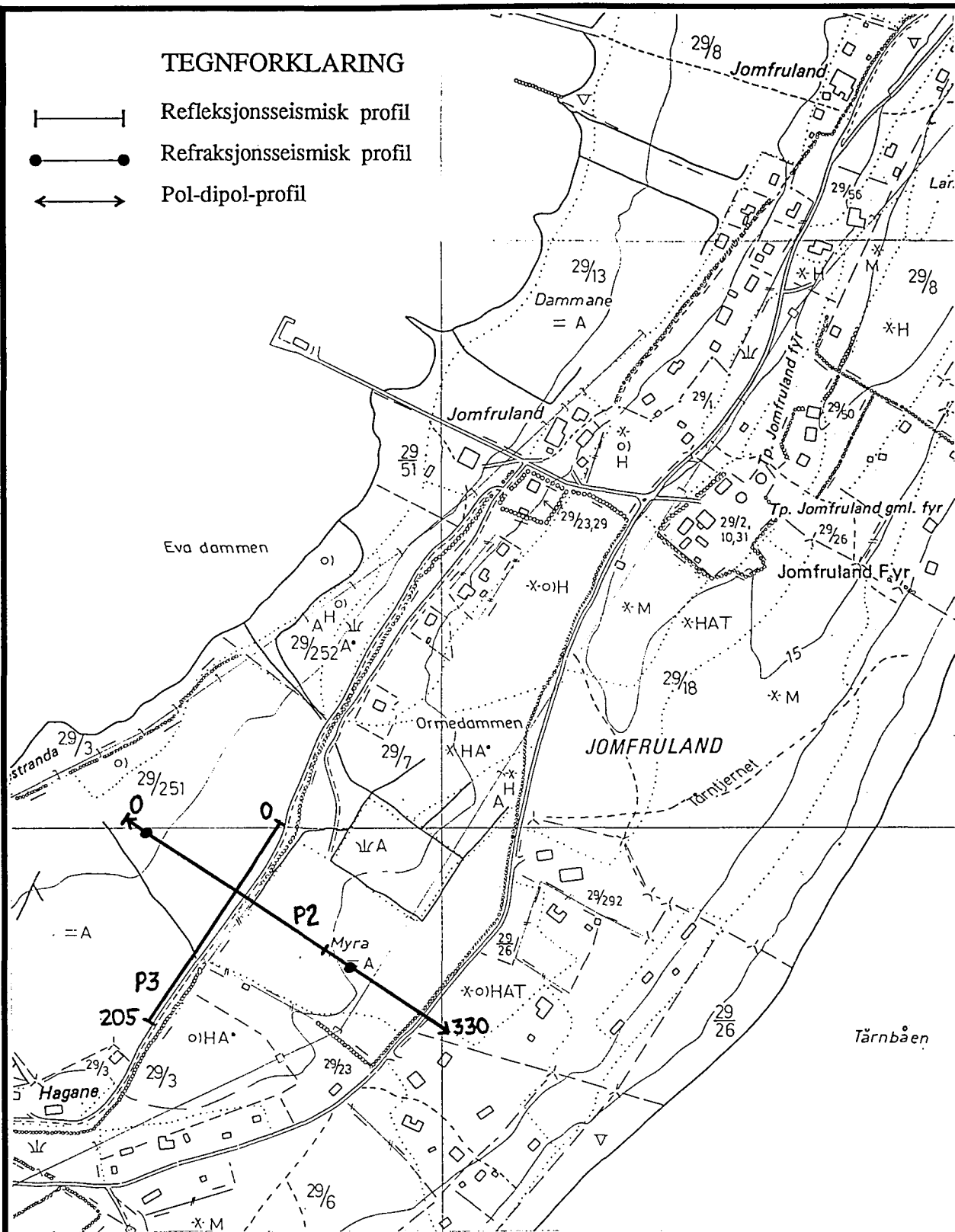
TEGNFORKLARING

-  Refleksjonsseismisk profil
-  Refraktsjonsseismisk profil
-  Pol-dipol-profil

NGU OVERSIKTSKART OMRÅDE S JOMFRULAND KRAGERØ KOMMUNE, TELEMARK	MÅLESTOKK 1:5000	MÅLT EM/JFT	Sept. -91
		TEGN EM	Mars -92
		TRAC	
		KFR EM	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR 92.216-01	KARTBLAD NR 1712-IV	

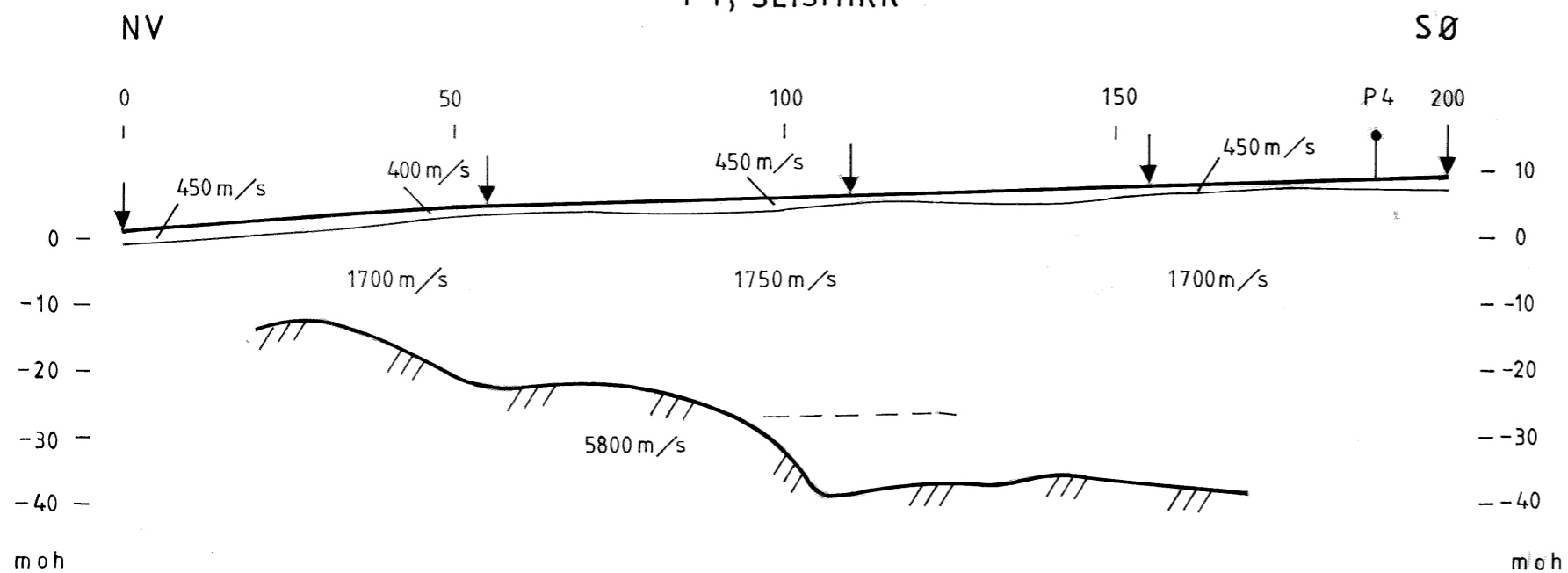
TEGNFORKLARING

-  Refleksjonsseismisk profil
-  Refraksjonsseismisk profil
-  Pol-dipol-profil



NGU OVERSIKTSKART OMRÅDE N JOMFRULAND KRAGERØ KOMMUNE, TELEMARK	MÅLESTOKK	MÅLT EM/JFT	Sept. -91
	1:5000	TEGN EM	Mars -92
		TRAC	
		KFR EM	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR 92.216-02	KARTBLAD NR 1712-IV	

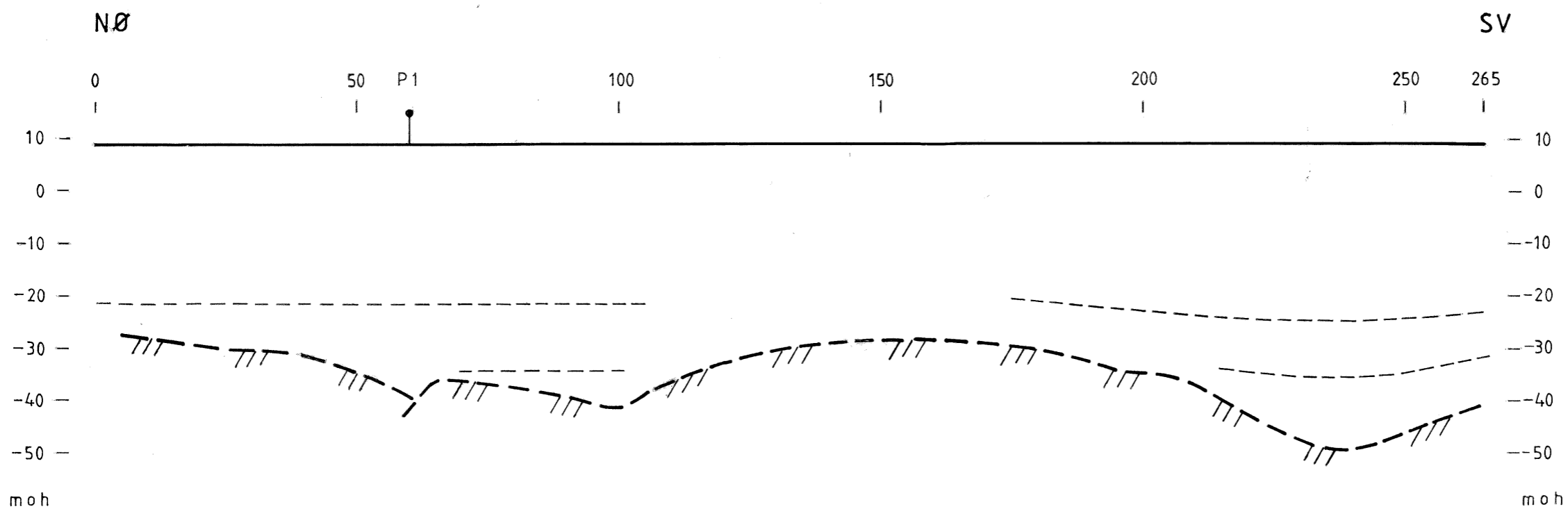
P1, SEISMIKK



TEGNFORKLARING:

- TERRENGOVERFLATE M. SKUDDPUNKT
REFRAKSJONSSEISMIKK
- REFRAKTOR I LØSMASSER
- REFLEKTOR I LØSMASSER
- FJELLREFRAKTOR
- FJELLREFLEKTOR
- KRYSSENDE PROFIL

P4, REFLEKSJONSSEISMIKK



NGU
 TOLKNING AV SEISMISKE PROFILER
 OMRÅDE S
JOMFRULAND
 KRAGERØ KOMMUNE, TELEMAR

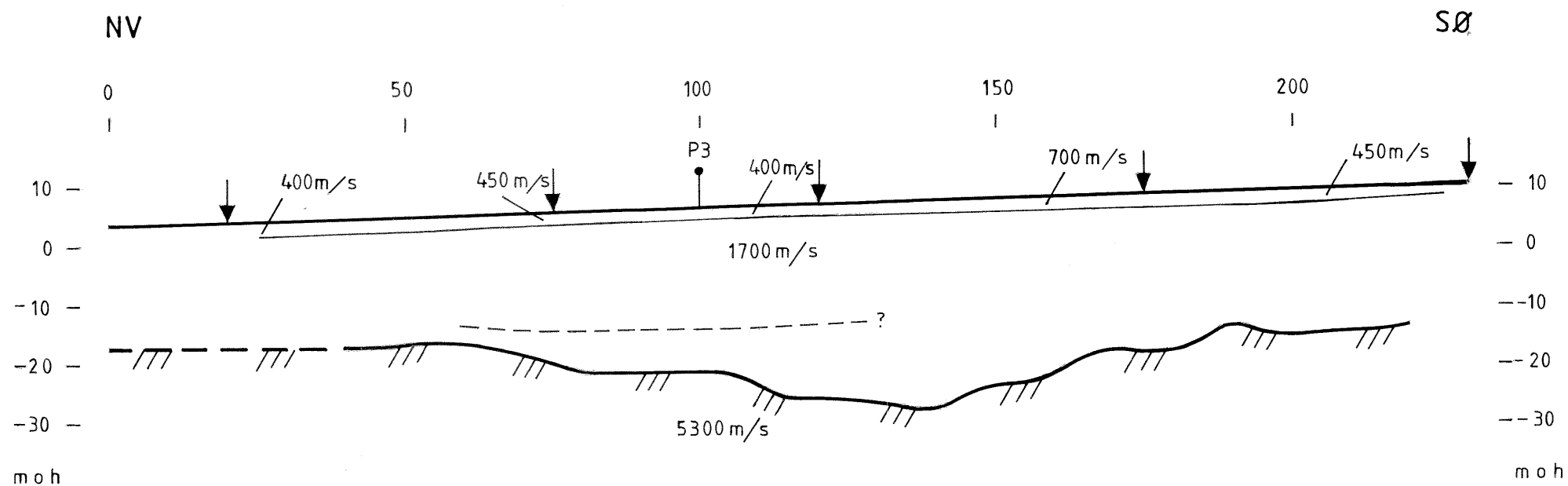
MÅLESTOKK 1:1000	MÅLT E.M.	SEPT.-91
	TEGN E.M.	MARS-92
	TRAC T.H.	APRIL-92
	KFR	— II —

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

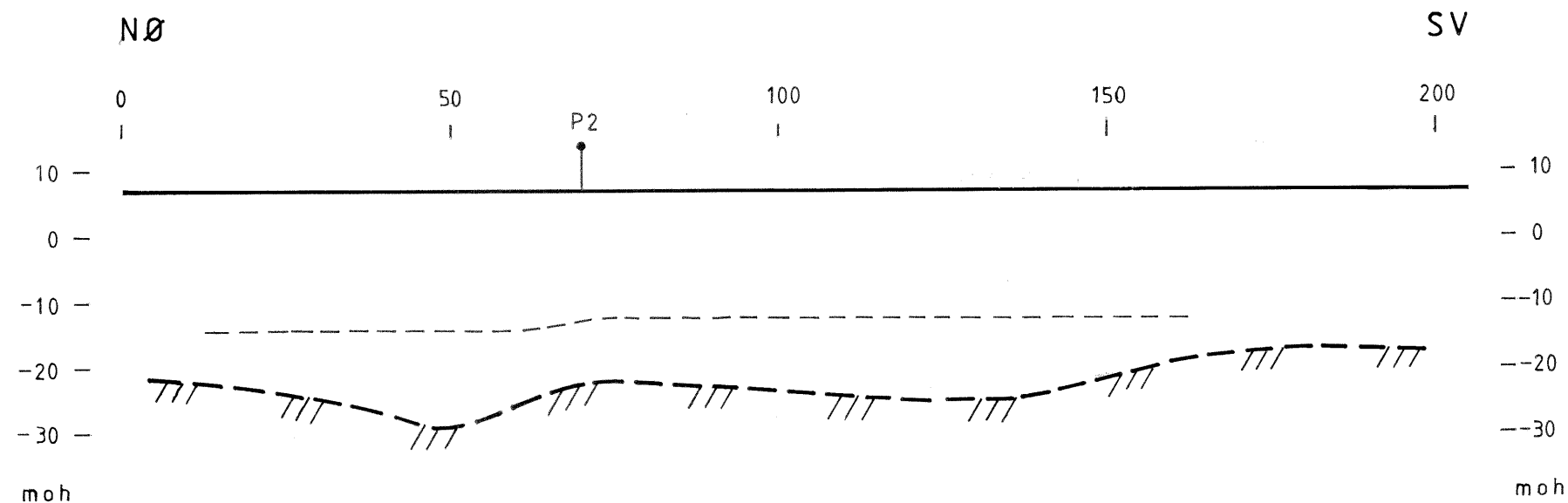
TEGNING NR.
92.216-03

KARTBLAD NR.
1712 IV

P 2, SEISMIKK



P 3, REFLEKSJONSSEISMIKK



TEGNFORKLARING

- TERRENGOVERFLATE M. SKUDDPUNKT
- REFRAKTOR I LØSMASSER
- REFLEKTOR I LØSMASSER
- FJELLREFRAKTOR
- FJELLREFLEKTOR
- KRYSSENDE PROFIL

NGU
TOLKNING AV SEISMISKE PROFILER
OMRÅDE N
JOMFRULAND
KRAGERØ KOMMUNE, TELEMAR

MÅLESTOKK 1:1000	MÅLT E.M.	SEPT. - 91
	TEGN E.M.	MARS - 92
	TRAC T.H.	APRIL - 92
	KFR	— —

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

TEGNING NR.
92.216-04

KARTBLAD NR.
1712 IV

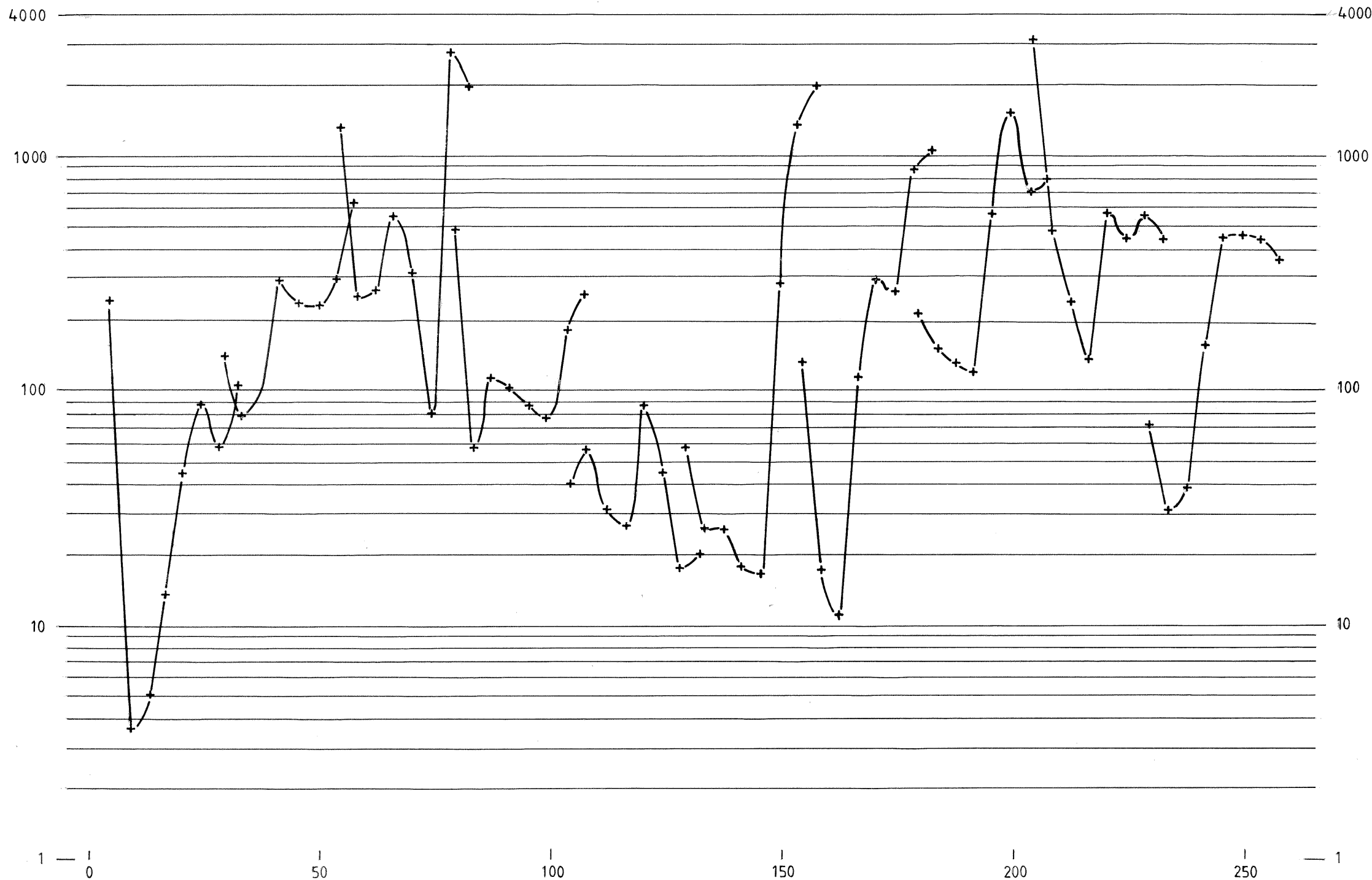
NV

POL-DIPOL - MÅLINGER, PROFIL 1

SØ

$\rho_a (\Omega m)$

$\rho_a (\Omega m)$



NGU POL-DIPOL-MÅLINGER PROFIL 1 (OMRÅDE S) JOMFRULAND KRAGERØ KOMMUNE, TELEMARK	MÅLESTOKK	MÅLT J.F.T	SEPT. -91
	1:1000	TEGN E.M.	MARS-92
		TRAC T.H.	APRIL-92
		KFR	— II —
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 92.216-05	KARTBLAD NR. 1712 IV	

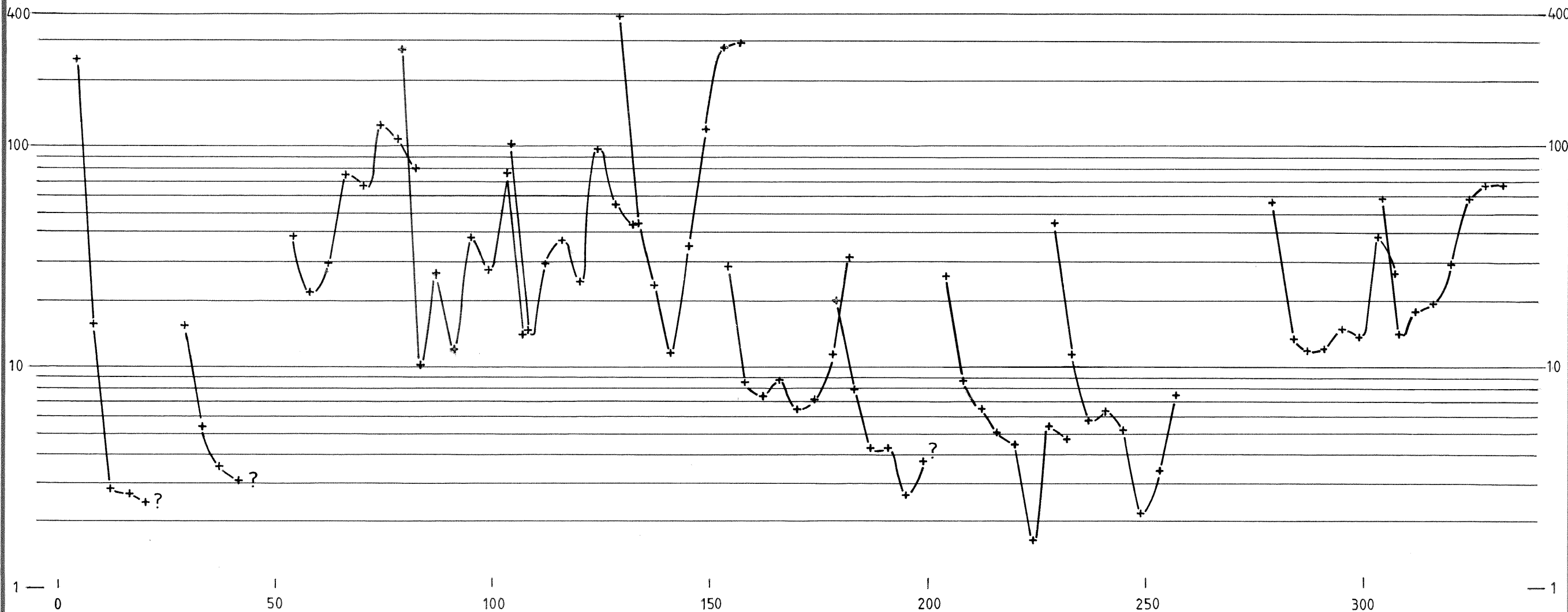
POL-DIPOL-MÅLINGER , PROFIL 2

NV

SØ

$\rho_a (\Omega m)$

$\rho_a (\Omega m)$



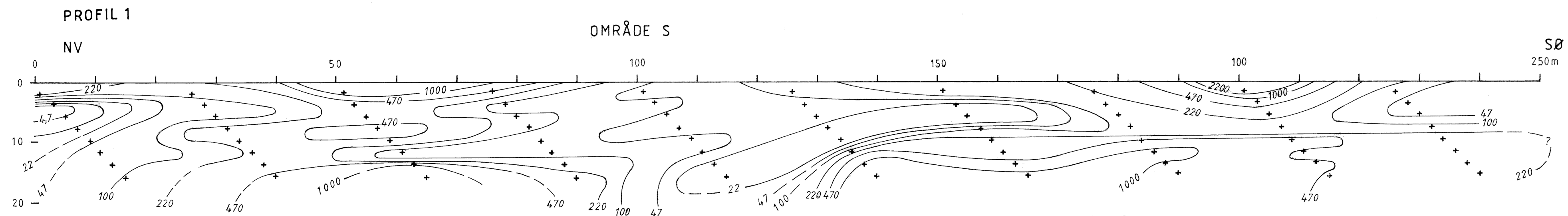
NGU
 POL-DIPOL-MÅLINGER
 PROFIL 2 (OMRÅDE N)
JOMFRULAND
 KRAGERØ KOMMUNE, TELEMAR

MÅLESTOKK 1:1000	MÅLT J.F.T.	SEPT.-91
	TEGN. EM.	MARS-92
	TRAC T.H.	APRIL-92
	KFR	— —

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

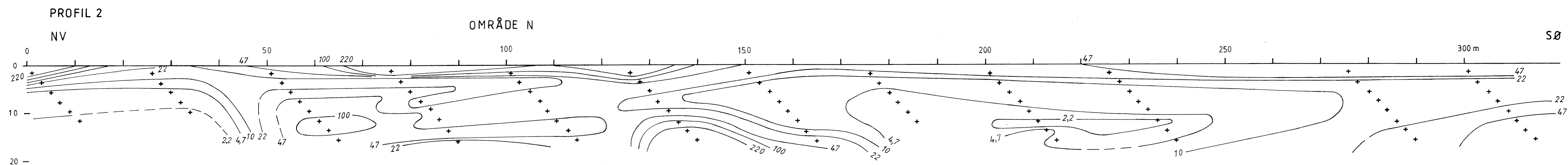
TEGNING NR.
 92.216-06

KARTBLAD NR.
 1712 IV



TEGNFORKLARING

- + PLOTTEPUNKT FOR MÅLEVERDIER, TILSYNELATENDE RESISTIVITET
- 100 — EKVIRESISTIVITETSKURVER MED ANGIVELSE AV TILSYNELATENDE RESISTIVITET (I ohm m)



NGU POL-DIPOL PSEUDOSEKSJONER OMRÅDE S OG N JOMFRULAND KRAGERØ KOMMUNE, TELEMARK	MÅLESTOKK	MÅLT JFT.	SEPT.-91
	1:500	TEGN JFT.	MARS-92
		TRAC. T.H.	APRIL-92
		KFR E.M.	— " —
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 92.216-07	KARTBLAD NR. 1712 IV	