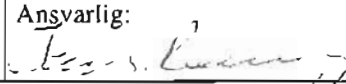


NGU Rapport 96.031

Geofysiske målinger i forbindelse med hydrogeologiske undersøkelser på Selsmyra,  
Sel kommune, Oppland

Rapport nr.: 96.031		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
<b>Tittel:</b> Geofysiske målinger i forbindelse med hydrogeologiske undersøkelser på Selsmyra, Sel kommune, Oppland				
<b>Forfatter:</b> Eirik Mauring & Jan F. Tønnesen		<b>Oppdragsgiver:</b> NGU/Sel kommune		
<b>Fylke:</b> Oppland		<b>Kommune:</b> Sel		
<b>Kartblad (M=1:250.000)</b> Lillehammer		<b>Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)</b> 1718 IV Otta		
<b>Forekomstens navn og koordinater:</b> Selsmyra 32V 5230 68570 (ED50)		<b>Sidetall:</b> 28	<b>Pris:</b> 200,-	
		<b>Kartbilag:</b> 7		
<b>Feltarbeid utført:</b> Juni-sept. 1995	<b>Rapportdato:</b> 11/4-1996	<b>Prosjektnr.:</b> 63.2662.01	<b>Ansvarlig:</b> 	
<b>Sammendrag:</b> <p>Som en del av et kartleggingsprosjekt på grunnvann i løsmasser ble det utført seismiske målinger, georadarmålinger og elektriske målinger på Selsmyra, Sel kommune, Oppland. Formålet med undersøkelsen var å kartlegge grunn og dyp stratigrafi i løsmassene for å vurdere muligheter for uttak av grunnvann.</p> <p>Tolkning av det refraksjonsseismiske profilet indikerer at dyp til fjell er større enn 200 m sentralt over Selsmyra. Flere refleksjoner kunne også sees på de refraksjonsseismiske opptak. De fleste av disse er reflektert fra laggrenser i løsmassene og indikerer endringer i avsetningsforhold mot dypet.</p> <p>To refraksjonsseismiske profiler viser at det nedover i løsmassene opptrer materiale med svak refleksivitet og horisontale reflektorer i veksling med materiale med kraftig refleksivitet, stedvis med skrå lagdeling. Dette kan indikere veksling mellom sekvenser av finkornige (glasilakustrine?) og grovkornige (glasifluviale?) avsetninger. En vertikal elektrisk sondering målt samme sted indikerer en oppgrovningssekvens fra 40 m dyp og opp, og med finkornige avsetninger under (silt/leir).</p> <p>Georadaropptakene indikerer grove avsetninger (sand/grus) ned mot 20-25 m dyp sentralt i måleområdet. Det er trolig innslag av mer finkornig materiale både mot sør, sørøst og vest.</p> <p>Mulighetene for grunnvannsuttak fra overflatenære avsetninger (de øvre 20-25 m) på nordvestlige del av Selsmyra synes å være best sentralt i området for georadarmålingene. Refleksjonsseismikken indikerer at grove avsetninger, som kan være egnet for grunnvannsuttak, kan opptre i dypere liggende lag, men sentralt i løsmassebassenget nås disse først på 90-100 m dyp.</p>				
Emneord: Geofysikk	Georadar	Refraksjonsseismikk		
Refleksjonsseismikk	Hydrogeologi	Kvartærgeologi		
Elektrisk måling		Fagrapport		

## INNHOOLD

1 INNLEDNING .....	4
2 MÅLEMETODE OG UTFØRELSE .....	4
2.1 Refraksjonsseismikk .....	4
2.2 Georadar .....	5
2.3 Refleksjonsseismikk.....	6
2.4 Vertikal elektrisk sondering .....	6
3 PROSESSERING .....	6
3.1 Georadar .....	6
3.2 Refleksjonsseismikk.....	8
4 RESULTATER.....	8
4.1 Refraksjonsseismikk .....	8
4.2 Georadar .....	9
4.3 Refleksjonsseismikk.....	13
4.4 Vertikal elektrisk sondering .....	14
5 KONKLUSJON .....	15
6 REFERANSER.....	16

### Tekstbilag

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

### Databilag

1. Skjema for refleksjonsmønstre, georadar (etter Beres & Haeni, 1991)
2. Hastighetsanalyser, refleksjonsseismikk
3. Tolkning av refraksjonsseismisk profil
4. Modelltilpasning av vertikal elektrisk sondering

### Kartbilag

- 96.031-01: Oversiktskart
- 96.031-02: Kart som viser plassering av borhull
- 96.031-03: Georadaropptak G1a, G1 og G1b
- 96.031-04: Georadaropptak G2, G2a og G2b
- 96.031-05: Georadaropptak G3, G4, G5, G5b og G6
- 96.031-06: Georadaropptak G7, G8, G9, G9a og G9b
- 96.031-07: Refleksjonsseismisk profil R1 og R2

## 1 INNLEDNING

Det er utført seismiske målinger, georadarmålinger og elektriske målinger på Selsmyra, Sel kommune, Oppland. Oppdraget er en del av prosjekt 63.2662.01: 'Kartlegging og undersøkelser av løsmassene som grunnlag for vurdering av mulighetene for grunnvannsforsyning og infiltrasjon av slam og avløpsvann i Sel kommune', med Bjørn Bergstrøm som prosjektleder og Sylvi Gaut som hydrogeolog i prosjektet. Formålet med undersøkelsen var å kartlegge de stratigrafiske forholdene (grunn og dyp stratigrafi) i de tykke løsmassene i Selsmyrbassenget, for bedre å kunne vurdere mulighetene for uttak av grunnvann fra avsetningen.

Selsmyra omfatter det ca. 9 km lange og flate dalområdet som strekker seg fra Nord-Sel og sørøst over til sideelva Ulas deltaområde ved Selsverket (se kartbilag -01). I de øvre deler av dette løsmassebassenget er avsetningen dominert av fluvialt materiale, som vesentlig representerer omlagrede breelv- og bresjøavsetninger og morene. Langs dalsiden ligger det morenemateriale av varierende tykkelse, delvis overlagret av skredmateriale. Skredmaterialet har størst utbredelse i dalsidene nord for Selsmyra. Breelvavsetninger opptrer ved nordvestenden av Selsmyra (Lie, 1974).

Mulighetene for uttak av grunnvann fra løsmassene i området er tidligere vurdert av Kirkhusmo og Klemetsrud (1977) og av Nielsen (1987). Av geofysikk er det tidligere utført refraksjonsseismiske målinger sørøst på myra (Tønnesen, 1988). For tiden er det to større grunnvannsbrønner i området, én i deltaavsetningene ved Selsverket (forsyner Otta og Selsverket) og én på elveflaten nær Lågen sørøst for Nord-Sel (forsyner Nord-Sel).

De geofysiske målingene er avgrenset til de nordvestlige deler av bassengområdet og til et par mindre områder langs Lågen sentralt i dalbassenget (se kartbilag -01). Jan Fredrik Tønnesen har vært leder for feltmålingene. Finn Ove Pettersen var feltmedarbeider ved georadarmålinger og refraksjonsseismikk utført i perioden 12/6-18/6-1995 og ved avslutningen av de refraksjonsseismiske målingene i perioden 13/9-16/9-1995. Jan Steinar Rønning var med under første periode med refraksjonsseismikk (29/8-30/8-1995). Elektrisk sondering ble utført 23/9-1995. I etterkant er det utført en del sonderboringer i nærheten av grunnvannsbrønnen ved Nord-Sel (se kartbilag -02). En del resultater fra disse boringene er presentert sammen med georadarprofilene i området (kartbilag -05).

## 2 MÅLEMETODE OG UTFØRELSE

### 2.1 Refraksjonsseismikk

Det ble målt ett profil (S1) med lengde 990 m på tvers av Selsmyra, og plassering av profilet er vist i kartbilag -01 og -03. En generell beskrivelse av refraksjonsseismiske målinger på land er vedlagt i tekstbilag 1. Som registreringsinstrument ble det benyttet en digital seismograf av typen Scintrex S-

2 'Echo'. Det ble målt tre utlegg à 330 meter med 24 geofoner/kanaler for hvert utlegg. For utleggene ble det benyttet to kabler, én på 110 m og én på 220 m. For 110 m kabel var geofonavstanden 10 m, mens den var 20 m for 220 m kabel. Geofonavstanden ble kortet inn til 5 m og 10 m ved endene av hhv. 110 m- og 220 m-kabel. Skuddpunkt ble plassert ved følgende posisjoner for de tre utleggene;

- Utlegg 1 (med geofoner i posisjon 5-320); 0, 55, 110, 220, 330, 385, 440, 550.
  - Utlegg 2 (med geofoner i posisjon 335-650); 0, 55, 110, 220, 330, 385, 440, 550, 660, 715, 770, 880, 990.
  - Utlegg 3 (med geofoner i posisjon 665-980); 330, 385, 440, 550, 660, 715, 770, 880, 990, 1107.
- Som energiseringskilde ble det benyttet dynamitt. Datakvaliteten var stort sett god.

## 2.2 Georadar

Plassering av målte profiler er vist sammen med opptakene i kartbilag -03-06. En beskrivelse av målinger med georadar er vedlagt i tekstbilag 2. Georadaren som ble benyttet er digital og av typen pulseEKKO IV (Sensors & Software Inc., Canada). Samplingsintervall og opptakstid var hhv. 1,6 ns og 1200 ns. Antenne- og flyttavstand var 1 m. Antenne senterfrekvens var 50 MHz og det ble benyttet 1000 V sender. Signalene ble 'stacket' 32 ganger ved hvert målepunkt. Det ble målt ca. 4,2 profilm fordelt på 16 profiler. Profillengder framgår av tabell 1. Reelle lengder av profiler kan være noe forskjellig fra lengder angitt på georadaropptak, pga. mulig tilfeldig eller systematisk feil i flyttavstand ved utførelsen av målingene. Posisjoner som angis ved tolkning refererer til posisjoner på georadaropptak. Stedvis kan kommentarer under opptakene bidra til å lokalisere tilsvarende posisjoner på de topografiske kartene.

**Tabell 1. Profillengder, georadar.**

<u>Profilnummer</u>	<u>Lengde (m)</u>	<u>Profilnummer</u>	<u>Lengde (m)</u>
G1	592	G5	98
G1a	575	G5b	137
G1b	393	G6	156
G2	109	G7	580
G2a	681	G8	121
G2b	151	G9	93
G3	122	G9a	38
G4	166	G9b	141

## 2.3 Refleksjonsseismikk

Målingene ble utført etter 'common mid-point'-teknikken (CMP) som er beskrevet i tekstbilag 3. Det ble registrert på 12 kanaler (maksimalt 6-fold dekning). Som registreringsinstrument 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 hagl avfyrt fra en spesiellagd bølge ('Buffalo gun'). Det er presentert resultater fra to profiler (R1 og R2). Plasseringen av disse, samt opptakene, er vist i kartbilag -01 og -07. Geofon- og skuddpunktavstand var 5 m. Profil 1 og 2 har lengder på hhv. 145 m og 390 m. For profil R1 ble det benyttet en avstand ('offset') til nærmeste geofon på 15 m, mens avstand for R2 var 20 m. Opptakstid for R1 og R2 var hhv. 300 og 400 ms. Datakvaliteten er middels god for R1 og god for R2. Det ble også forsøkt med refleksjonsseismikk i nordvestlige del av myra (se kartbilag -03) og langs elvebredden 500-650 m nordvest for R2. Datakvaliteten på disse målingene var meget dårlig og opptakene er ikke presentert.

## 2.4 Vertikal elektrisk sondering

En beskrivelse av måleteknikk, tolkning og metodiske usikkerheter er vedlagt (tekstbilag 4). Det ble utført én sondering med senter i midten av refleksjonsseismisk profil 2, og med kabelutlegget i retning langs profilet (se kartbilag -01 og -07). Et kabelsystem for Schlumberger elektrodekonfigurasjon ble benyttet ved utførelsen av målingene, og som måleinstrument ABEM SAS300 Terrameter med booster (strømforsterker). Med booster var det i dette området mulig å benytte en strømstyrke på 100 mA.  $AB/2_{max}$  var 200 m for sonderingen. Det ble korrigert for laterale variasjoner i resistivitet ved potensialelektrode.

# 3 PROSESSERING

## 3.1 Georadar

For dybdekonvertering av opptakene ble det valgt en lav hastighet (0,08 m/ns) ut fra den antakelse at grunnvannspeil generelt ligger høyt, men ikke helt opp til overflaten. I deler av profilene, dvs. G1a, G9 og G9a ligger grunnvannspeil trolig relativt dypt, og den valgte hastighet kan der være for lav slik at angitte dyp er for små. Tabell 2 viser oversikt over prosesseringsparametre for georadar-opptakene.

**Tabell 2. Prosesseringsparametre for georadaropptakene.**

<u>Profil</u>	<u>Drift</u>	<u>Median</u>	<u>Forsterkning</u>
G1			SEC (3/100)
G1a	X		SEC (1,5/100)
G1b	X	5-punkts	Bruker
G2			SEC (2,5/150)
G2a			SEC (1/50)
G2b			Bruker
G3			Bruker
G4			Bruker
G5			Bruker
G5b			Bruker
G6			Bruker
G7	X		SEC (0,5/100)
G8			SEC (1,5/100)
G9			SEC (1/100)
G9a			SEC (1/100)
G9b			SEC (1,5/100)

Drift = korleksjon for temperaturavhengig drift

Median = medianfiltrering. Størrelsen på filteret er angitt i tabellen

Forsterkning = forsterkning ved utskrift av traser. SEC står for 'Spreading and Exponential Compensation' og er en eksponensiell, tidsvariabel forsterkning. Det første tallet i parentes angir hvor raskt forsterkningen øker med tiden i dB/m, og det andre angir max forsterkning. 'Bruker' står for lineær, tidsvariabel og brukerdefinert forsterkning

## 3.2 Refleksjonsseismikk

Ved CMP-prosessering av de refleksjonsseismiske data er programpakken Interpex/Seistrix-3 benyttet. Tabell 3 viser de forskjellige prosesseringstrinn og hvilke som er benyttet for de to profilene.

**Tabell 3. Oversikt over prosesseringstrinn, refleksjonsseismikk.**

Profil	Sort	Edit	BP (Hz)	Stat	HA	NMO	Stack	Res stat	AGC
R1	X	X	120-300	X	X	Stretch 0,5	X	Win. 40-90 ms, max shift 3 ms	X
R2	X	X	130-350	X	X	Stretch 0,5	X	Win. 100-200 ms, max shift 4 ms	X

Edit = editering av skudd og traser (fjerning av opptak/traser med mye støy)

BP = båndpassfiltrering (foretas under CMP-sortering)

Sort = CMP-sortering (samling av traser med felles midtpunkt)

Stat = Statisk korleksjon (foretas under CMP-sortering)

HA = hastighetsanalyse (se databilag 1 for en oversikt over hastighetsanalyser)

NMO = 'normal move-out' korleksjon (foretas før stacking)

Stack = CMP stacking ('straight stack, scalar=1,0')

Res stat = Residuell statistisk korleksjon

AGC = utskrift med AGC ('automatic gain control')

I tillegg til CMP-opptakene er det sammenstilt 'common offset'-opptak (CO) fra råopptaksfilene for å undersøke grunne strukturer som vanligvis kan være vanskelige å oppdage på CMP-opptak. CO-opptakene ga ingen tilleggsinformasjon om eventuelle grunne strukturer. Disse opptakene er derfor ikke beskrevet eller presentert i denne rapporten.

## 4 RESULTATER

### 4.1 Refraksjonsseismikk

#### Profil S1

Tolkning av de refraksjonsseismiske opptakene er presentert i databilag 3. Beliggenheten av profilet er vist på kartbilag -03. Det er benyttet intercept-tid og grafiske metoder ved tolkning av det refraksjonsseismiske profilet (databilag 3). Tre hastighetslag kan erkjennes i data. Seismisk hastighet i det øverste laget ligger i området 260-550 m/s og representerer stedvis myr i sørvest, men for øvrig mest tørr sand/grus. Mektigheten av laget (myrlag eller dyp til grunnvannsspeil) er 2-5 m mellom posisjon 0 og 550, og avtar deretter jevnt til 0 m ved posisjon 900. Mektigheten øker igjen fra mellom posisjon 950 og 990 pga. at siste geofonposisjon ligger oppe på en høyere tørrflate. Seismisk hastighet i lag 2 ligger i området 1400-1710 m/s og representerer vannmettet sand/grus eller fin-kornig materiale. Det nederste hastighetslaget representerer fjell. Pga. stort dyp til fjell er det dårlig overlapp mellom førsteankomsttider fra fjell fra skudd og motskudd, og seismisk hastighet i fjell er



dårlig definert. En 'typisk' hastighet for fjell på 5000 m/s ble derfor valgt ved dybdeberegninger. Dyp til fjell øker fra ca. 22 m dyp ved posisjon 0 til ca. 210 m ved posisjon 850. Eventuelt morenemateriale over fjell kan ikke erkjennes i måledata på grunn av blindsoneproblematikk.

Siden opptakene er digitale, ble det mulig å prosessere disse for å få fram eventuelle reflektorer. Etter båndpassfiltrering (70-200 Hz) kunne en se flere reflektorer på opptakene. Disse er angitt som tynne, korte linjer i databilag 3. Mellom posisjon 600 og 900 sees tre reflektorer som representerer strukturer/laggrensener i løsmassene på hhv. 50 m, 70 m og 90-100 m dyp. Flere reflektorer sees på større dyp, men disse er vanskelige å følge over lengre avstander. På bakgrunn av disse resultatene ble det besluttet å utføre rene refleksjonsseismiske målinger med annen energisering og registrering (haglskudd og 50 Hz geofoner).

## 4.2 Georadar

Beskrivelse og tolkning av georadaropptak er basert på mønster, amplitude og kontinuitet av refleksjoner. Et spesielt skjema (etter Beres & Haeni, 1991) er delvis benyttet til å knytte hendelser i opptakene til avsetningstype og lagdeling. Skjemaet er vist i databilag 1. For samtlige opptak er reflektorer digitalisert og presentert under opptakene. Dette er gjort som et forsøk, og hensikten var å få fram strukturer i avsetningene på en bedre måte enn det som framkommer på opptakene, som stedvis er skjennet av støy. Ved digitalisering ble det benyttet utstyr og programvare fra DIGIRULE Inc.

Profilene G2b og G3-G6 ligger alle innenfor en radius av 200 m fra nåværende grunnvannsbrønn som forsyner Nord-Sel (brønnen er markert i kartbilag -02). Disse profilene ble målt for å få en bedre kartlegging av løsmassene i brønnens influensområde og for vurdering av en mulig lokal flytting av grunnvannsbrønnen. NGU utførte i ettertid en del sonderboringer i området (se kartbilag -02). En del av borresultatene er presentert sammen med georadaropptakene i kartbilag -05. Boringene viser generelt at avsetningen her er dominert av sand/grus ned til minst 10-15 m (det ble ikke boret dypere enn dette).

### Profil G1a

Opptaket (kartbilag -03) viser stor variasjon i reflektivitet som har sammenheng med overflateforholdene. Stort sett hele profilet ble målt langs grusveg. Svak reflektivitet i områdene 0-350 og 538-574 skyldes trolig salting av veien. Mellom posisjon 350 og 538 går profilet langs gangveg som regnes ikke å være saltet. Skrå, lineære hendelser (f.eks. i områdene 30-130, 330-430, 480-520) representerer trolig refleksjoner fra objekter på overflaten. Støy opptrer også i områdene 177-189, 202-207 og 510-520 (transformator). En kraftig, horisontal refleksor på 620 ns mellom posisjon 370 og 410 antas å være støy av ukjent opprinnelse. Ellers er refleksjonsmønsteret kaotisk med enkelte mer utholdende reflektorer, spesielt mellom posisjon 370 og 558. I dette området kan det være grove avsetninger (sand/grus). Mot starten av profilet viser feltobservasjoner at materialtypen

kan være svært vekslende (finkornig-grovkornig). Mellom posisjon 370 og 453 heller terrenget nedover. I det samme området sees en reflektor som skrår oppover fra ca. 11 m dyp (posisjon 370) til ca. 2,5 m dyp (posisjon 453). Denne representerer trolig grunnvannsspeil, og kan også sees mellom posisjon 110 og 160 (ca. 11 m dyp). Fra posisjon 370 til 470 er det også reflektorer nær parallelt med overflaten i 10-12 meters dyp. Det kan der være en grense mellom avsetningstyper eller en markert avsetningshorisont.

### Profil G1

Profilen representerer fortsettelsen av profil G1a mot sør. Opptaket er vist i kartbilag -03. Skrå, lineære hendelser sees flere steder, f.eks. i områdene 130-190, 210-240, 470-590. Hendelsene har en hastighet på ca. 0,3 m/ns EM-bølgehastighet i luft) og representerer trolig refleksjoner fra objekter på overflaten, og er ikke digitalisert. Opptaket viser gjennomgående svak reflektivitet. Penetrasjonsdypet er i gjennomsnitt 15 m. Refleksjonsmønsteret er hauget eller bølget lagdelt og kan representere lagdelt sand/grus. Reflektorer sees på ca. 5 m dyp i områdene 4-44, 305-315, 450-480 og på ca. 8 m dyp i områdene 4-44, 70-90, 450-490, 535-592. Dette kan være soner med endring i porøsitet eller sammensetning, f.eks. representert ved steinlag som indikert ved boringer i et område i nærheten. Grunnvannsspeil kan muligens sees i området 335-360.

### Profil G1b

Profilen representerer fortsettelsen av profil G1 mot sør. Opptaket, som er vist i kartbilag -03, viser mye høyfrekvent, tilfeldig støy mellom posisjon 50 og 140. Denne støyen øker i intensitet mot telemast ved posisjon 100. Refleksjonsmønsteret er hauget eller bølget og representerer trolig forholdsvis grovkornige avsetninger, spesielt i området 120-200 der penetrasjonsdypet er størst (15-20 m). En skarp og godt definert reflektor sees på 3-4 m dyp mellom posisjon 15 og 375 og representerer grunnvannsspeil. Ellers sees en mer eller mindre gjennomgående reflektor mellom posisjon 65 (ca. 9 m dyp) og 310 (ca. 12 m dyp) som kan representere endring i porøsitet som f.eks. kan skyldes grovere masser (mulig steinlag som er påvist i boringer i et annet område).

### Profil G2

Opptaket i kartbilag -04 viser et parallelt refleksjonsmønster ned til ca. 10 m dyp. Et slikt refleksjonsmønster representerer ofte (i følge Beres & Haeni, 1991, se databilag 1) sandige til siltige, lagdelte avsetninger. Redusert penetrasjon mellom posisjon 67 og 84 skyldes trolig passering av myr, der bunnen av denne kan være representert ved en skålformet reflektor som ligger dypest ved posisjon 75 (ca. 2-3 m dyp med EM-bølgehastighet på 0,04 m/ns). Denne strukturen sees også ved tilsvarende posisjoner på det refraksjonsseismiske profilet (se databilag 3).

### Profil G2a

Opptaket (kartbilag -04) viser at penetrasjonsdyp og reflektivitet øker i sprang langs profilet (posisjon 375, 483 og 618). Dårlig penetrasjon skyldes delvis overflateforholdene (godt ledende materiale på overflaten), men muligens også finstoffholdige avsetninger mot dypet. Mektigheten av grovkornige avsetninger øker trolig i profilretningen. Fram til posisjon 330 sees (som for flere andre opptak som er beskrevet) skrå lineære hendelser som må betraktes som støy. Grunnvannsspeil sees

som en reflektor (stedvis lite tydelig) på 3-4 m dyp mellom posisjon 180 og 590. En kraftig reflektor sees på ca. 11 m dyp mellom posisjon 485 og enden av profilet (posisjon 681). Denne representerer muligens overflaten av finstofflag eller tynt lag av grovere materiale. Over reflektoren blir refleksjonsmønsteret mer kaotisk mot enden av profilet, refleksiviteten og penetrasjonsdypet blir større, og dette indikerer at avsetningen blir mer grovkornet i denne retningen.

#### Profil G2b

Profilet går fram til elveforbygning. Opptaket som er vist i kartbilag -04, er karakterisert ved et haugget til kaotisk refleksjonsmønster ned til 15-20 m dyp. To kraftige reflektorer opptrer på 7-9 og 11-13 m dyp. Reflektorene representerer trolig grovere eller finere lag i en ellers grovkornig avsetning.

#### Profil G3

Opptaket er vist i kartbilag -05. Profilets nullpunkt er ved elva i nordøst, men profilet er plottet fra vest mot øst. Penetrasjonsdypet er ca. 20 m. Refleksjonsmønsteret er for det meste kaotisk og kan representere sand/grus, noe som er bekreftet ved tre borer langs profilet (borhull 3, 5 og 9). På opptaket sees en tydelig, gjennomgående reflektor på ca. 8 m dyp. Boringene viser ingen endring i materialtype på dette dypet. De viser derimot en lokal økning i borsynk ved ca. 7,5 m dyp, noe som indikerer løsere masser og dermed økende porøsitet. Dette gir i sin tur økt vanninnhold som gir opphav til refleksjoner av EM-pulsene. Opptaket viser en reflektor på ca. 5 m dyp mellom posisjon 18 og 0. Boring 9 ligger nær dette området og indikerer at det opptrer aurbelle på 4,5-5,5 m dyp.

#### Profil G4

Opptaket som er vist i kartbilag -05, er karakterisert ved kraftig refleksivitet og et svakt, skrått lagdelt refleksjonsmønster. Skrå lagdeling er mest utpreget mellom posisjon 50 og 90, men kan også antydes flere steder i opptaket. Penetrasjonsdypet er i størrelsesorden 20-25 m. De ovennevnte faktorer gir en klar indikasjon på grovkornige avsetninger. Dette er også vist ved to borer som ligger nær profilet (borhull 8 og 10). Disse viser stort sett sand/grus ned til enden av borhullene på ca. 12 m.

#### Profil G5

Opptaket er vist i kartbilag -05. Refleksjonsmønsteret er svakt lagdelt, stedvis svakt skrått. Penetrasjonsdypet er 20-25 m og refleksiviteten er kraftig. Reflektorene er lite utholdende. Avsetningene er trolig grove, sand/grus-dominerte.

#### Profil G5b

Profilet er en fortsettelse av G5, og opptaket er vist i kartbilag -05. Refleksjonsmønsteret ligner mye på det en ser i G5, men de svakt hellende reflektorene er tydeligere her, spesielt mot slutten av profilet (posisjon 85-137). Penetrasjonsdypet er 20-25 m. På bakgrunn av disse faktorene kan en si at avsetningen høyst sannsynlig er dominert av grove masser langs profilet. Fra posisjon 35 til enden av profilet sees en reflektor på ca. 8 m dyp. Profilet krysser G3 ved posisjon 90, og tilsvarende reflektor kan sees på opptaket for G3. Reflektoren representerer mest sannsynlig et løsere pakket, mer porøst og vannholdig lag. Profilet går nær to borhull (borhull 1 og 3) som begge viser høyere bor-

synk (i min./m) omtrent i samme nivå som reflektoren. Boringene viser også at avsetningen er sand/grus-dominert.

#### Profil G6

Opptak og plassering av profilet er vist i kartbilag -05. Opptaket viser et svakt lagdelt, hauget refleksjonsmønster med et penetrasjonsdyp på 20-25 m. Reflektiviteten er kraftig, og avsetningen er trolig dominert av grovkornig materiale. En gjennomgående reflektor som i gjennomsnitt opptrer på 8 m dyp representerer trolig et lag av løsere lagrete og mer porøse masser (jfr. profil G3 og G5a).

#### Profil G7

Opptaket (kartbilag -06) viser en svekkelse i reflektivitet og penetrasjonsdyp langs profilretningen. Fra posisjon 0 til 150 er penetrasjonsdypet 15-20 m, og refleksjonsmønsteret er svakt lagdelt. Reflektor på ca. 8 m dyp kan representere et lag av mer porøse masser. Avsetningen er trolig dominert av grove masser i dette området. Fra posisjon 170 går profilet over et jorde, og overflateforholdene (trolig oppløste næringssalter som gir god ledningsevne) er her delvis årsak til redusert penetrasjon og svakere reflektivitet. Mellom posisjon 220 og 265 er penetrasjonsdypet lokalt noe bedre og opptaket viser her et lagdelt refleksjonsmønster som kan indikere grove avsetninger. For resten av profilet (posisjon 265-580) er det vanskelig å si om reduksjon i penetrasjonsdyp (5-10 m) skyldes overflateforholdene eller økt finstoffinnhold i avsetningene mot dypet.

#### Profil G8

Profilet er målt fra posisjon 300 på G7 og i retning NNØ til elva. Opptaket er vist i kartbilag -06. Refleksjonsmønsteret er svakt lagdelt og stedvis kaotisk. En reflektor på 10-11 m dyp sees tydelig gjennom store deler av opptaket. Det er uklart hva denne reflektoren representerer da det ikke finnes boringer i området.

#### Profil G9

Profilet er målt over en ryggform i terrenget, og opptaket er vist i kartbilag -06. Støy i form av skrå eller horisontale reflektorer mellom posisjon 40 og 30 skyldes telefonkabel i lufta. Mot elva (posisjon 0) er penetrasjonsdypet 20-25 m og her er det kraftig reflektivitet. Det kan opptre grove avsetningstyper her. Mot toppen av ryggen (posisjon 40) avtar penetrasjonsdyp og reflektivitet og det er mulig at avsetningen er mer finkornig i ryggen (morene?). Penetrasjonen er noe bedre mellom posisjon 70 og 85, men det er trolig også her finkornige avsetninger. En annen mulighet for redusert penetrasjon kan være gjødsling av jordet oppe på flaten.

#### Profil G9a

Opptaket i kartbilag -06 viser ekstremt dårlig penetrasjon ved passering av jorde fram til posisjon 13 der penetrasjonsdypet er i størrelsesorden 10-15 m. Trolig er det også i dette partiet finstoffholdige avsetninger eller overgjødsling.

### Profil G9b

Opptaket (kartbilag -06) viser en reflektor på ca. 3 m dyp mellom posisjon 141 og 87 som trolig representerer bunn av myr. Fra posisjon 136 sees en reflektor på ca. 7 m dyp som går opp mot overflaten fra posisjon 110 til 90 og som kan representere en gammel elvekanal, med avsetning av grovkornige masser over reflektoren. Reflektoren som skråner opp fra ca. 6 m dyp fra østenden av profilet er sannsynligvis grunnvannsspeil. Reflektor på 11-12 m dyp ved østenden er trolig samme som indikert i G1a. Dårlig penetrasjon mellom posisjon 15 og 90 kan skyldes gjødsling av jorde.

Med tanke på uttak av grunnvann fra dagnære løsmasser synes nærområdet for nåværende grunnvannsbrønn å være meget godt egnet (georadarprofilene G2b og G3-G6). Både god penetrasjon (over 20 m) og refleksjonsmønster indikerer her grove masser (sand/grus), noe som også er bekreftet ved boringer. Det regnes å være relativt gunstige forhold også langs nordlige del av G2a (posisjon 485-680) og vestlige del av G7 (posisjon 0-150), dvs. ca. 100 m sørøst for eksisterende brønn. Videre mot sør og øst avtar penetrasjonen. Det er imidlertid usikkert om dette vesentlig skyldes økt finstoffinnhold mot dypet i avsetningen eller endring i overflateforholdene (salting av veg, gjødsling av jorde). Overflateforholdene gjør at det også er vanskelig å vurdere løsmassenes egnethet mot vest og nordvest. Ryggformen mot nordvest langs vestsiden av Lågen tyder på å være dominert av usorterte masser, men deler av G1a, G9 og G9b indikerer at det under ryggformen kan være bedre sorterte og lagdelte avsetninger som kan være egnet for grunnvannsformål.

## 4.3 Refleksjonsseismikk

Profil R1 og R2 er målt på Selsmyra. Et tredje profil (R, se kartbilag -03 til -06) ga ikke tolkbare resultater, hovedsakelig på grunn av at løsmassene i overflaten var ugunstige med hensyn på forplantning av høyfrekvent energi. Plassering av profiler, samt opptak er vist i kartbilag -07. Hastighetsanalysene (databilag 2) viser en gjennomsnittlig stackinghastighet på ca. 1500 m/s for begge profiler. Datagrunnlaget er for dårlig til å kunne fastslå en eventuell endring i hastighet mot dypet. For begge opptak er reflektorer digitalisert.

### Profil R1

Datakvaliteten er best mot slutten av profilet (posisjon 85-145), og reflektorer er best definert i dette området. På grunn av det lave signal/støy-forholdet er det stedvis vanskelig å følge reflektorer. En gjennomgående reflektor som trolig markerer overgangen mellom to forskjellige materialtyper, opptrer på 40-50 m dyp. Den dypeste reflektoren kan sees mellom posisjon 50 og 145 på 170-190 m dyp og kan muligens representere fjell. Reflektoren er mest markert mellom posisjon 105 og 145. Andre markante reflektorer i løsmasser opptrer mellom posisjon 100 og 130 på 80-85 m dyp og på 160-165 m dyp. På grunn av det stedvis lave signal/støy-forholdet kan det være vanskelig å si noe om avsetningstype. Forholdsvis lav refleksivitet mellom 100 og 200 ms kan indikere rolige avsetningsforhold og finkornige materialer. Disse kan representere glasilakustrine sedimenter, påvist ved andre lokaliteter i Gudbrandsdalen (Lie, 1974).

## Profil R2

Signal/støy-forholdet er lavt mellom posisjon 0 og 125, men blir stadig høyere mot posisjon 200. Fra denne posisjonen er signal/støy-forholdet høyt og datakvaliteten god. Fra ca. 40 m til ca. 100 m dyp opptrer flere svake, horisontale reflektorer som kan indikere finkornige avsetninger og rolige avsetningsforhold (glasilakustrine sedimenter?). Mellom 100 og 130 m dyp er reflektiviteten kraftig, noe som kan indikere grovere masser. Rolige avsetningsforhold er igjen indikert mellom 130 og 190 m dyp ved meget svak reflektivitet. Fra ca. 190 m dyp er reflektiviteten igjen kraftig, stedvis med skrå reflektorer ned til ca. 205 m dyp som kan indikere grovere avsetninger (deltaavsetninger?). Fjellreflektoren er vanskelig å gjenkjenne på opptaket, men en reflektor på 300-310 ms (225-235 m dyp) mellom posisjon 125 og 310 kan muligens representere fjell.

### 4.4 Vertikal elektrisk sondering

Sonderingen er plassert sentralt i refleksjonsseismisk profil 2, med kabelutlegget i profilretningen. Modelltilpasning ble foretatt ved hjelp av programpakken Interpex/Resixip, og resultatet er presentert i databilag 4. Sonderingen er tolket ut fra en firelags-modell. Det øverste laget er i overkant av 2 m mektig og har en resistivitet på ca. 145  $\Omega\text{m}$ . Den forholdsvis lave resistiviteten kan skyldes porøs og relativt fin elvesand med sannsynlig høyt organisk innhold (humus), muligens iblandet næringssalter tilført ved storflommen på forsommeren. Laget under har en resistivitet på ca. 440  $\Omega\text{m}$  og en mektighet på ca. 17 m og representerer sannsynligvis vannmettet sand/grus. Fra ca. 19 m dyp avtar resistiviteten trolig jevnt ned til ca. 40 m dyp, men er modellert som et lag med resistivitet på ca. 130  $\Omega\text{m}$ . Laget består antagelig av finsand/silt. Fra ca. 40 m dyp er resistiviteten ca. 85  $\Omega\text{m}$  og representerer trolig silt/leir. Sonderingen indikerer m.a.o. en oppgrovningssekvens, og viser at mulighetene for uttak av grunnvann sannsynligvis er begrenset til de øvre 20 m av avsetningen. Toppen av finkornige avsetninger (silt/leir) er i overensstemmelse med resultater fra det refleksjonsseismiske profilet (R2) som indikerer finkornige avsetninger fra ca. 40 m dyp (mulig bresjøsedimenter). Refleksjonsseismikken indikerer imidlertid at grovere avsetninger kan opptre dypere i løsmassebassenget. Disse kan være egnet for grunnvannsformål, men i dette området nåes de først fra et dyp på 90-100 m.

## 5 KONKLUSJON

I forbindelse med kartlegging og undersøkelse av løsmassene i Sel kommune, Oppland, er det utført seismiske målinger, georadarmålinger og elektriske målinger på Selsmyra. Formålet med undersøkelsen var å kartlegge grunn og dyp stratigrafi i løsmassene for å vurdere potensialet for uttak av grunnvann.

Tolkning av det refraksjonsseismiske profilet indikerer at dyp til fjell er større enn 200 m sentralt over Selsmyra. Flere refleksjoner kunne også sees på de refraksjonsseismiske opptak. De fleste av disse er reflektert fra laggrenser i løsmassene og indikerer endringer i avsetningsforhold mot dypet.

To refraksjonsseismiske profiler (R1 og R2) viser at det nedover i løsmassene opptrer materiale med svak refleksivitet og horisontale reflektorer i vekslning med materiale med kraftig refleksivitet, stedvis med skrå lagdeling. Dette kan indikere vekslning mellom sekvenser av finkornige (glasilakustrine?) og grovkornige (glasifluviale?) avsetninger. En vertikal elektrisk sondering målt i R2 indikerer en oppgrovningssekvens oppover fra 40 m dyp, med finkornige avsetninger under (silt/leir).

Georadaropptakene viser strukturer i de øvre 20-25 m av avsetningen. Sentralt i måleområdet (P2b-P6) viser opptakene et hauget til kaotisk refleksjonsmønster med kraftig refleksivitet og god penetrasjon (20-25 m). Dette indikerer grovkornige avsetninger (sand/grus), noe som er bekreftet ved boringer. En del av de andre profilene går over åker og saltet vei, noe som medfører demping av EM-pulsene. Det er derfor stedvis vanskelig å uttale seg om materialtype langs disse profilene. Trolig er det innslag av mer finkornig materiale mot sør og vest.

Mulighetene for grunnvannsuttak fra dagnære avsetninger (de øvre 20-25 m) på nordvestlige del av Selsmyra synes å være best sentralt i området for georadarmålingene, dvs. i nærområdet for nåværende grunnvannsbrønn. Sentralt på Selsmyra noen kilometer lenger sørøst viser elektrisk sondering at mulig egnet materiale for grunnvannsformål er begrenset til de øvre 20 m av avsetningen. Refleksjonsseismikk indikerer imidlertid at grovere avsetninger, som kan være egnet for grunnvannsuttak, trolig opptrer dypere i løsmassebassenget, men i dette området nå slike avsetninger først på 90-100 m dyp.

## 6 REFERANSER

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

Kirkhusmo, L.A. & Klemetsrud, T. 1977: Beskrivelse til vannressurskart 'Grunnvann i løsavsetninger' - 1718 IV Otta, 1:50 000. *NGU, Spesiell rapport nr. 4*.

Lie, E.D. 1974: Kvartærgeologiske undersøkelser i Otta-området. Hovedoppgave i kvartærgeologi og geomorfologi ved Universitet i Bergen.

Nielsen, J.T. 1987: Ressurskart 1:50 000 - grunnvann i løsmasser med beskrivelse. Sel kommune, Oppland fylke. Status pr. 01.09.86. *NGU Rapport 87-006*.

Tønnesen, J.F. 1988: Refraksjonsseismiske målinger nær Lågen ved Vinstra, nord for Otta og syd for Dombås. *NGU Rapport 88.138*.



## REFRAKSJONSSEISMIKK - METODEBESKRIVELSE

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

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

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

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

$$\sin i = V_1 / V_2$$

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

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

Disse betraktninger kan utvides til å gjelde flere sjiktgrenser. Man får refrakterte bølger fra alle grenser når hastigheten i det underliggende medium er større enn i det overliggende. Kontrasten må være av en viss størrelse, og vinkelen mellom sjiktgrense og terrengoverflate må ikke være for stor. I praksis vil man ofte få vanskeligheter når denne vinkel overstiger  $25^\circ$ .

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

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

### P-BØLGEHASTIGHET I NOEN MATERIALTYPER

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

## GEORADAR - METODEBESKRIVELSE

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

Bølgehastigheten kan bestemmes ved CDP-målinger ('common depth-point'). Slike målinger utføres ved å flytte sender- og mottakerantenne skrittvis og like langt ut til hver side fra et fast midtpunkt og registrere for hver ny posisjon. Refleksjoner vil da ideelt sett komme fra samme punkt på en reflektor som er planparallel med overflaten. Når antenneavstanden øker, vil reflekterte bølger få lenger gangvei og økning i gangtid. Denne økning i gangtid kan 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.

## 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

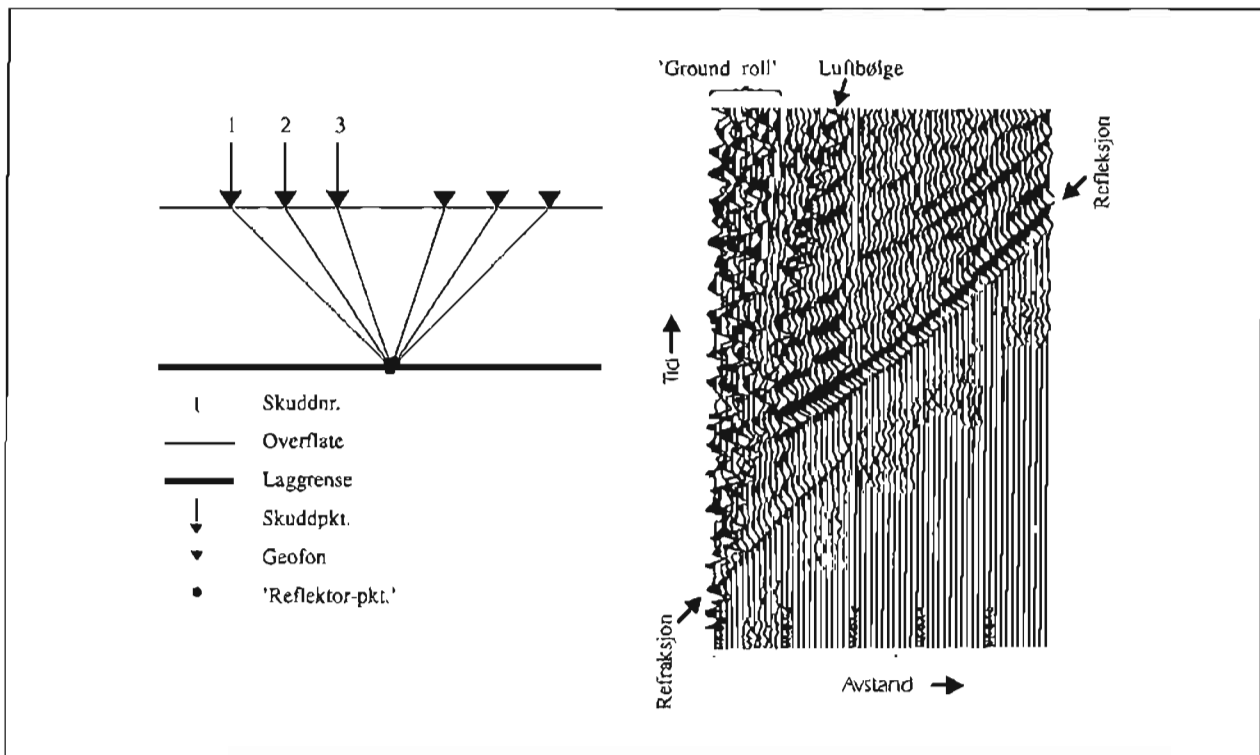
I løpet av de siste årene har det skjedd en utvikling av digitalt refleksjonsseismisk utstyr i retning av høyere oppløsning og mindre tidkrevende prosessering. Oppløsningen er proporsjonal med registrerte signalers frekvensinnhold og seismisk hastighet. Man anvender derfor energiseringskilder som gir høyfrekvent energi. Et eksempel på en slik kilde er haglpatroner avfyrt fra en spesiallagd bølge. 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 mid-point (CMP)'

Ved NGU har man tilpasset programvare og utrustning til en måleteknikk kalt 'common mid-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 CMP-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 geofonrekke 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 CMP-målinger. Når man benytter teknikken CMP, kan man under 'normale' forhold profilere 300-400 m pr. dag.



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

### Prosessering

Prosessering av CMP-data er meget tidkrevende, og krever en rask PC 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 CMP-sorteringen. Data for beregning av statisk korreksjon kan også leses inn (statisk korreksjon utføres for å fjerne effekten av ujevn topografi og variasjoner i hastighet i det øverste laget). Data om selve oppdraget/profilet 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 dekonvolvering 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 dekonvolvering brukes bare unntaksvis ved prosesseringen, og omtales ikke nærmere.
- 4) Sortering av CMP-data. Ved sorteringen plukker man ut traser med felles midtpunkt og grupperer disse ('CMP gathers'). Filtrering kan utføres under sorteringen.
- 5) Hastighetsanalyse. Gjennomsnittlig seismisk hastighet ned til reflektorer bestemmes for enkelte 'CMP 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 'CMP-gather'.

- 6) Muting. Utføres på 'CMP 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. Filtreering (båndpass, F-K eller dekonvolvering) 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 'CMP 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 'wiggle 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**

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

## VERTIKAL ELEKTRISK SONDERING (VES) - METODEBESKRIVELSE

Elektriske dybdesonderinger (VES) benyttes for å kartlegge undergrunnens elektriske motstandsforhold. Målingene foretas med Schlumberger elektrodekonfigurasjon (se fig.). Strøm sendes i bakken ved hjelp av to strømelektroder A og B, og elektrisk potensialforskjell måles mellom to potensialelektroder M og N. Ut fra målt potensialforskjell, målt strømstyrke og en geometrisk faktor bestemt av elektrodeplasseringene 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 strømelektroden A og B stegvis utover oppnås stadig dypere strøminntrengning, og den beregnede tilsynelatende resistivitet vil i økende grad være påvirket av resistiviteten i dypere liggende lag. Etter hvert som avstanden AB øker, reduseres potensialforskjellen mellom M og N, og signal/støy-forholdet avtar. Dette problemet løses ved også å øke avstanden mellom potensialelektroden (MN) noen få ganger i løpet av en sondering. Når MN-avstanden økes, blir det målt om igjen på minst de to siste (største) AB-avstandene fra forrige MN-verdi.

Måleresultatene plottes i et dobbeltlogaritmisk diagram med tilsynelatende resistivitet langs vertikal akse og AB/2-avstand langs horisontal akse. Kurvesegmenter kan nå trekkes opp for hver MN-avstand som er benyttet. Kurvesegmentene vil som regel ikke være helt sammenfallende for overlappende AB/2-avstander. Dette har to årsaker. Ved endring av MN-avstanden innføres en liten feil kalt 'Wenner-effekten' som er avhengig av elektrodegeometri og geologiske forhold. Effekten kan relativt lett korrigeres. Spesielt for steile sonderingskurver vil korreksjonen være nødvendig, mens feilen ofte vil være neglisjérbar for mindre motstandskontraster. Dårlig samsvar mellom kurvesegmentene skyldes som regel hovedsakelig laterale inhomogeniteter mellom potensialelektroden. Dette korrigeres ved å forskyve kurvesegment vertikalt til det gir god overlapp med foregående segment. På denne måten kan det oppnås en sammenhengende sonderingskurve. De korrigerte sonderingsdata legges inn på PD og tolkes ved bruk av programpakken Interpex/Resixip. I programmet legges inn en geologisk modell, bestående av planparallelle lag og med angivelse av resistivitet ( $\rho$ ) 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 måledata. 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.

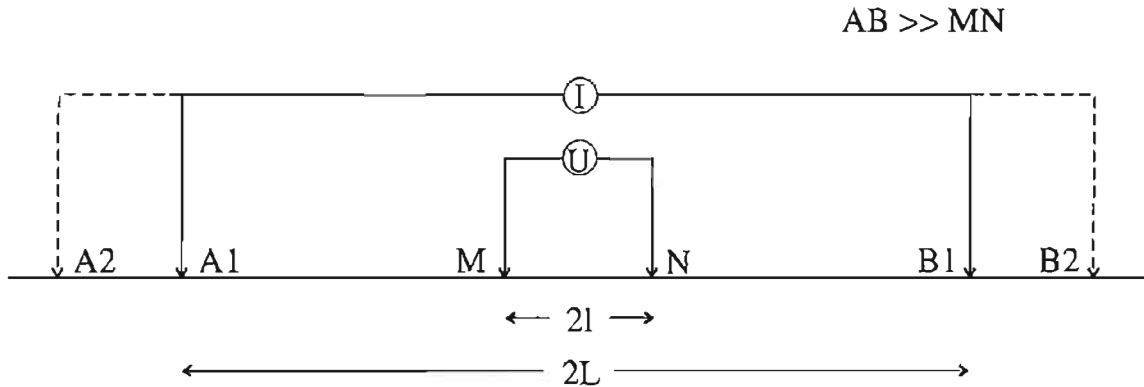
Det andre forhold som skaper tolkningsproblemer skyldes undertrykking (suppresjon) av et lag. Når lagets resistivitet har en verdi som ligger mellom de to omgivende lag, vil laget ikke kunne erkjennes av sonderingskurven hvis det ikke er tykt nok. Suppresjonsproblemet er størst ved store resistivitetskontraster.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

## Schlumberger elektrodekonfigurasjon



A og B: Strømelektroder  
 M og N: Potensialelektroder

Ⓜ Amperemeter  
 Ⓤ Voltmeter

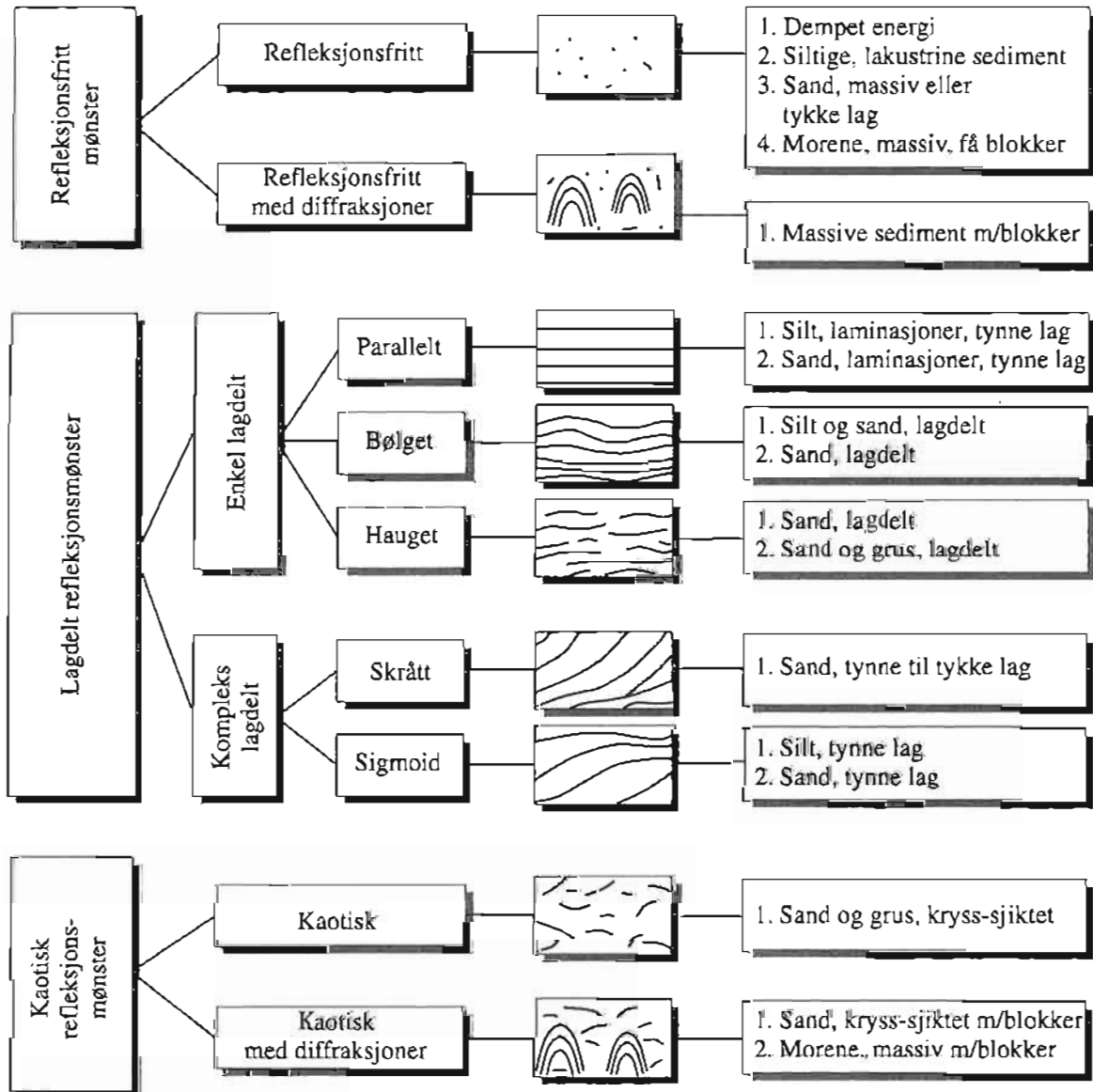
$$\rho_a = \pi \frac{L^2 - l^2}{2l} \frac{U}{I}$$

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

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

## Refleksjonsmønster

## Tolkning



**HASTIGHETSANALYSER, REFLEKSJONSSEISMIKK**

Profil R1

Posisjon (m)	v (m/s)	T <sub>0</sub> (ms)	v (m/s)	T <sub>0</sub> (ms)	v (m/s)	T <sub>0</sub> (ms)	v (m/s)	T <sub>0</sub> (ms)	v (m/s)	T <sub>0</sub> (ms)
27,5	1490	51								
37,5	1500	51	1500	143	1600	194				
62,5	1540	195								
87,5	1400	82	1400	113	1450	143	1600	174	1500	225
112,5	1500	51	1500	102	1500	164				

**V<sub>51</sub> = 1500 m/s**

**V<sub>143-164</sub> = 1500 m/s**

**V<sub>143-164</sub> = 1550 m/s**

Profil R2

Posisjon (m)	v (m/s)	T <sub>0</sub> (ms)	v (m/s)	T <sub>0</sub> (ms)	v (m/s)	T <sub>0</sub> (ms)	v (m/s)	T <sub>0</sub> (ms)
120	1540	95	1525	138	1580	192		
180	1500	64	1500	101	1485	123		
215	1570	110	1505	132				
225	1350	61	1550	116	1500	146	1500	284
240	1505	69	1475	105				
250	1580	103	1495	137	1600	271		
270	1430	127	1400	291				
290	1425	71	1490	110	1470	157		
315	1430	95	1450	130				

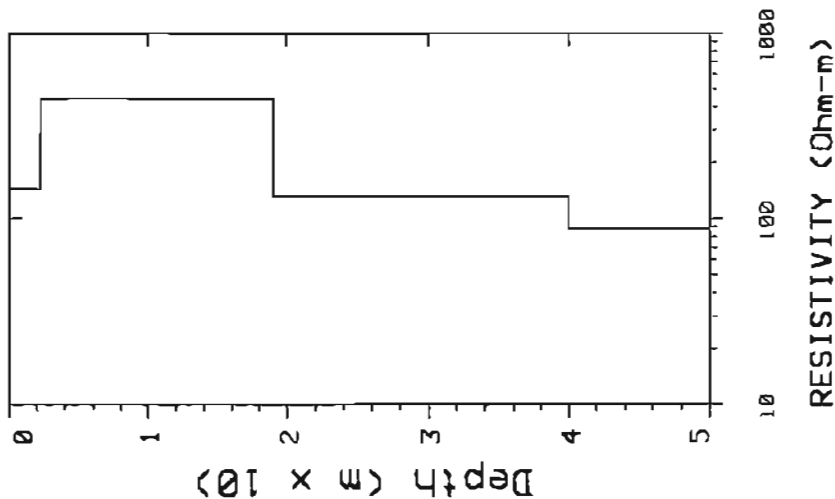
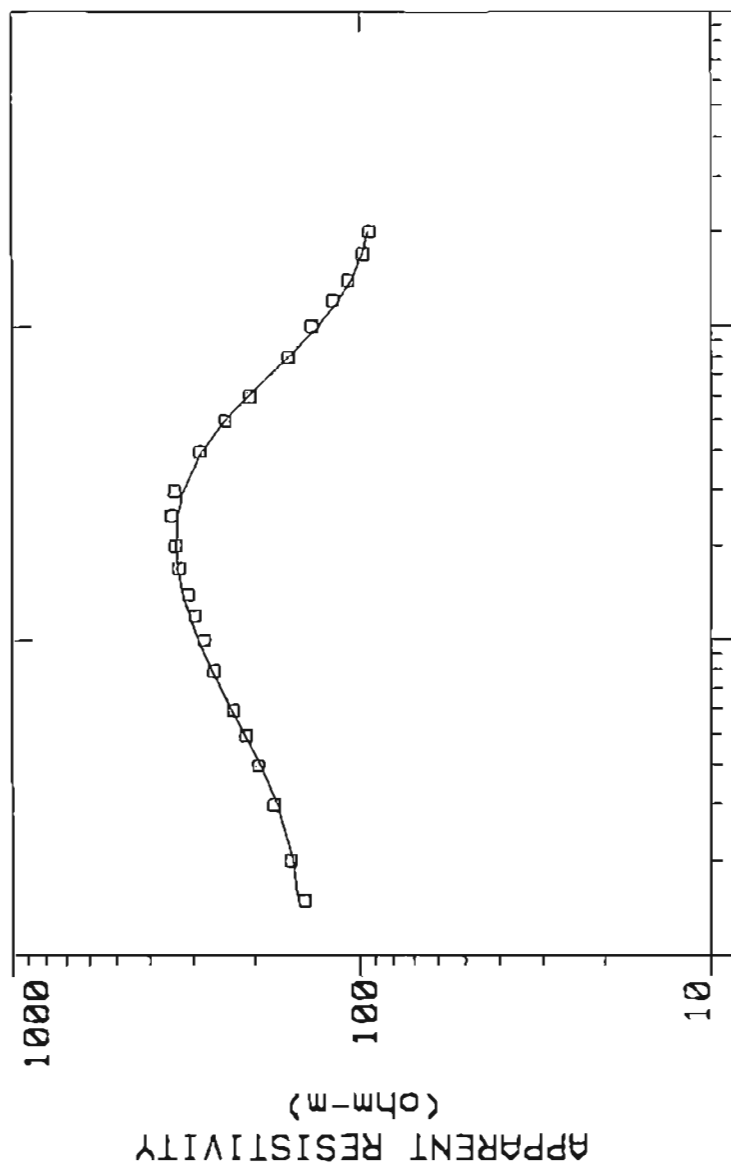
**V<sub>61-71</sub> = 1475 m/s**

**V<sub>95-110</sub> = 1525 m/s**

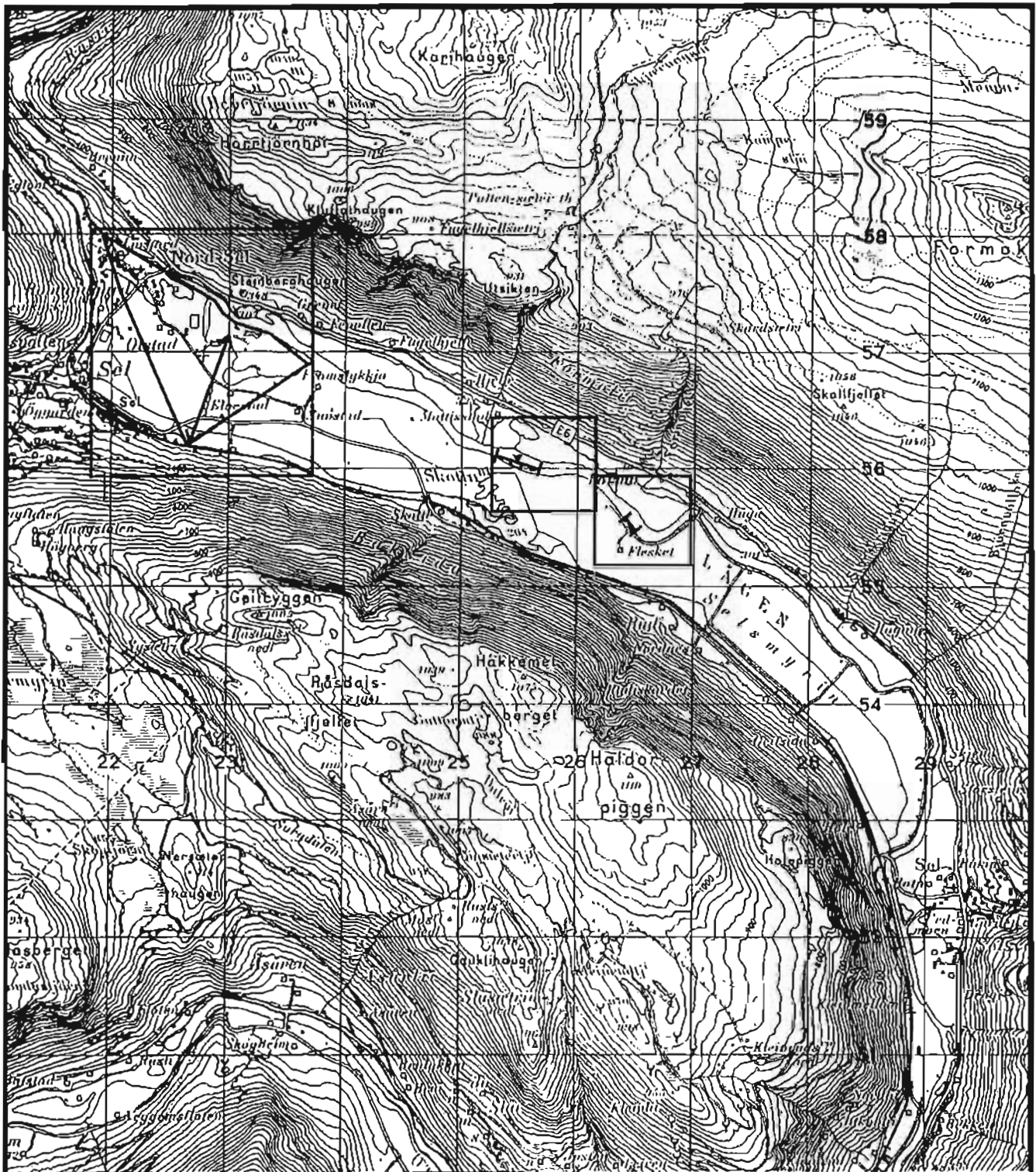
**V<sub>116-146</sub> = 1490 m/s**

**V<sub>271-291</sub> = 1500 m/s**









for: NGU/Sei Kommune		Sondering	
by: Geological Survey of Norway		Sei	
Data Set: VES1	Date: 23/9-95	Sei Kommune, Oppland	
Equipment Terrameter	Sounding: 1	Azimuth:	



Utsnitt vist i  
kartbilag -03-07

-  Område for georadarmålinger
-  Refraksjonsseismisk profil
-  Refleksjonsseismisk profil
-  Vertikal elektrisk sondering

NGU/Sel kommune  
OVERSIKTSKART

**SEL**

SEL KOMMUNE, OPPLAND

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE  
TRONDHEIM

MÅLESTOKK

1:50 000

MÅLT JFT/JSR Juni, aug. -95

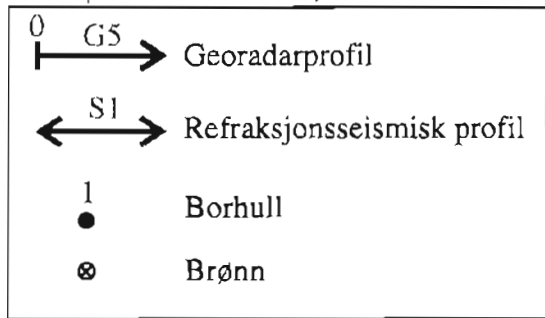
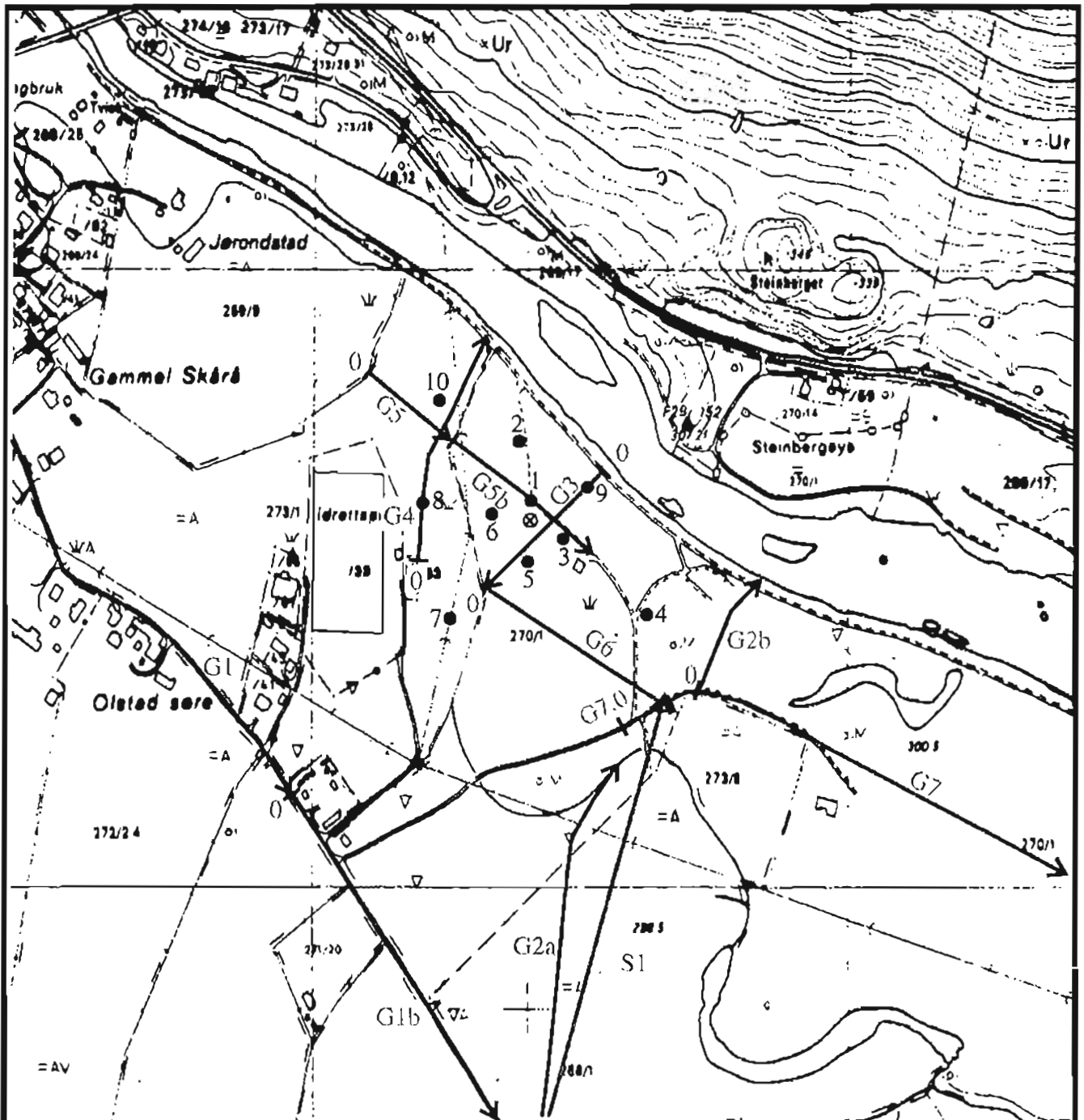
TEGN EM Feb. -96

TRAC

KFR

TEGNING NR  
96.031-01

KARTBLAD NR  
1718 IV

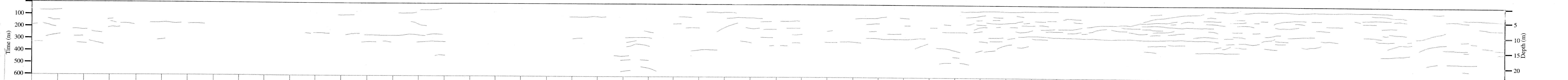
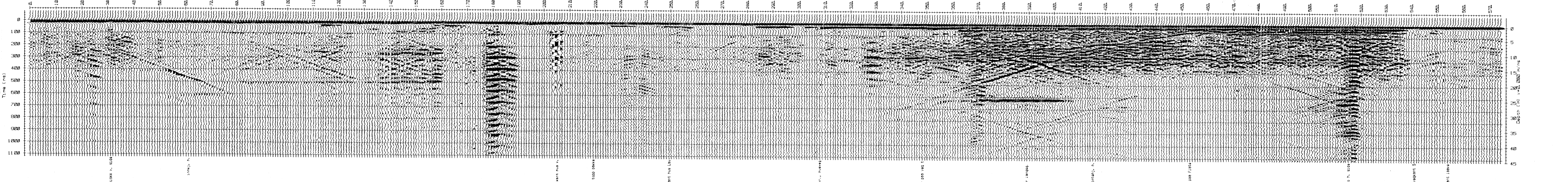


NGU/Sel kommune PLASSERING AV BORHULL <b>SEL</b> SEL KOMMUNE, OPPLAND	MÅLESTOKK	MÅLT JFT/JSR	Juni, aug. -95
	1:5000	TEGN EM	Feb. -96
		TRAC	
		KFR	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR 96.031-02	KARTBLAD NR 1718 IV	

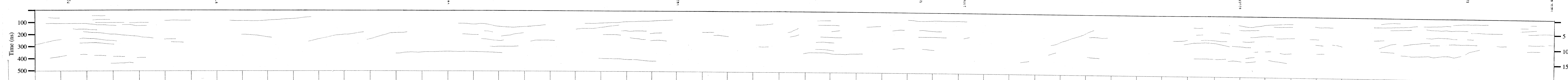
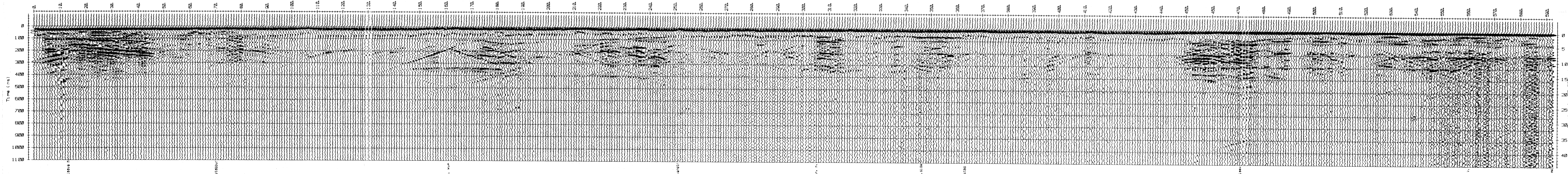


G1a

G9a

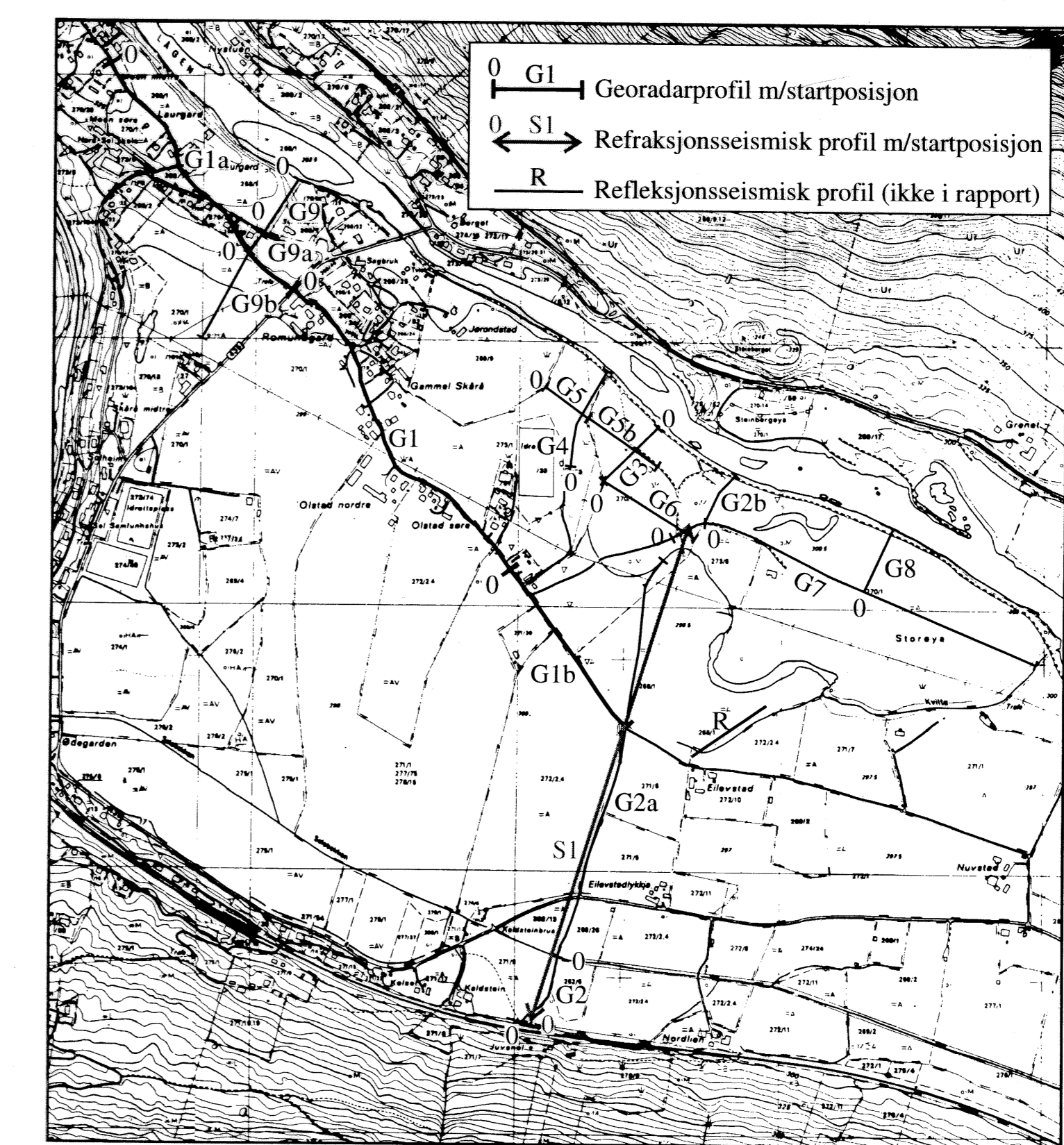
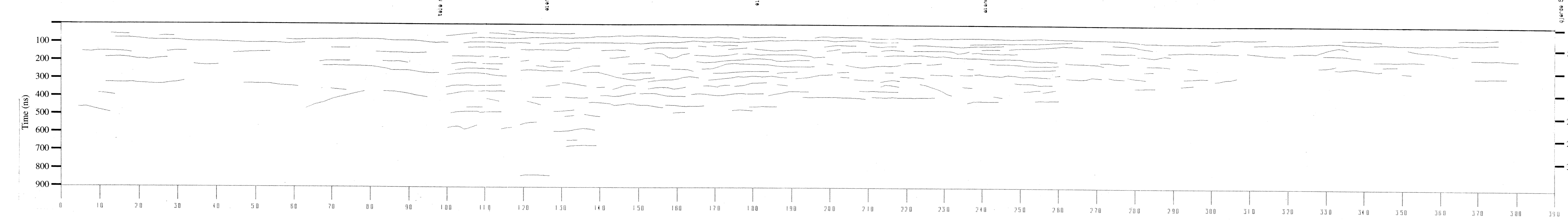
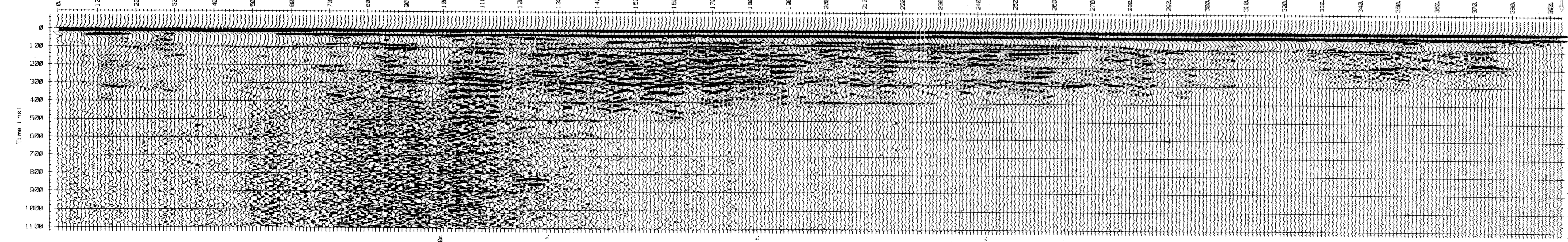


G1



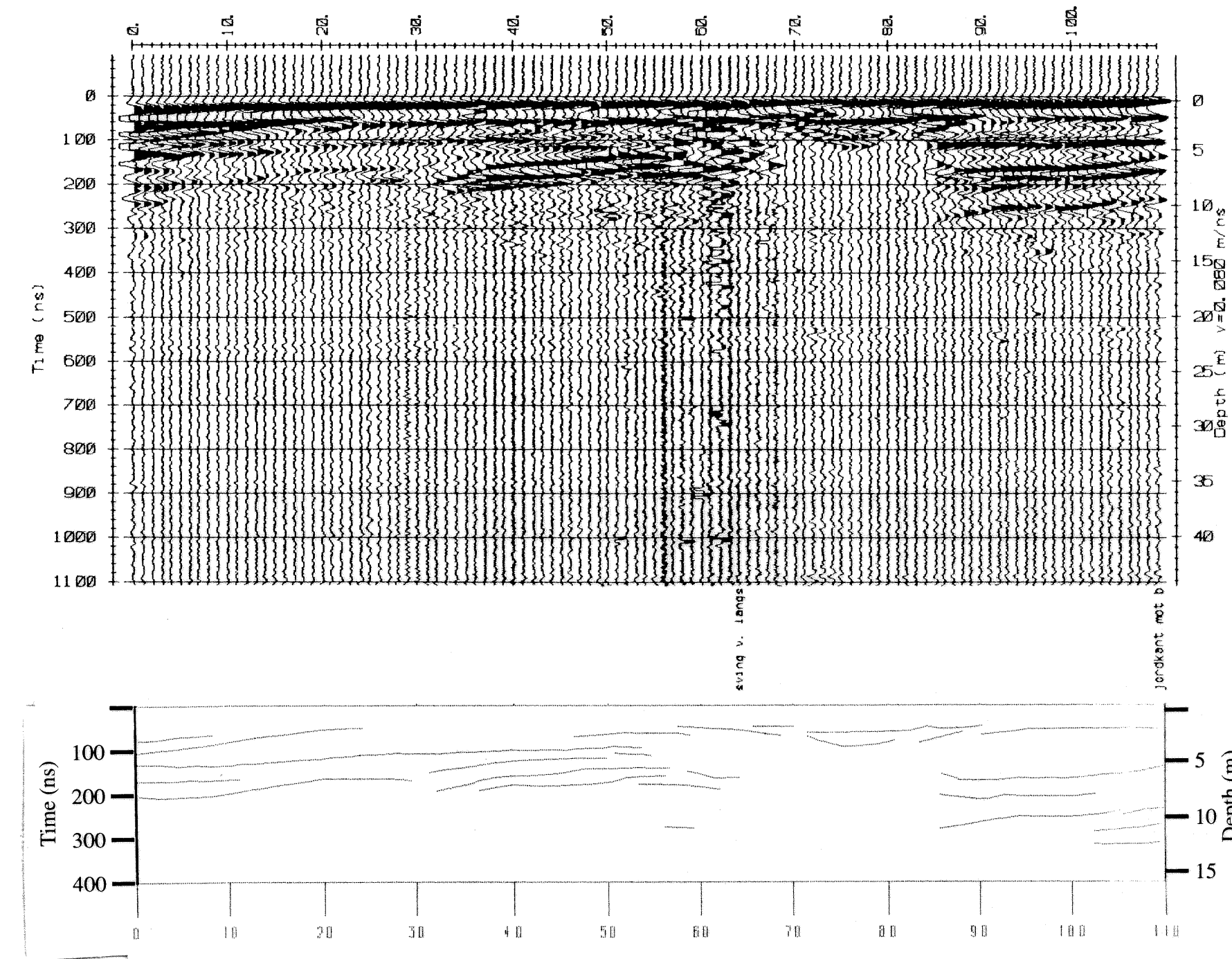
G1b

S1, G2a

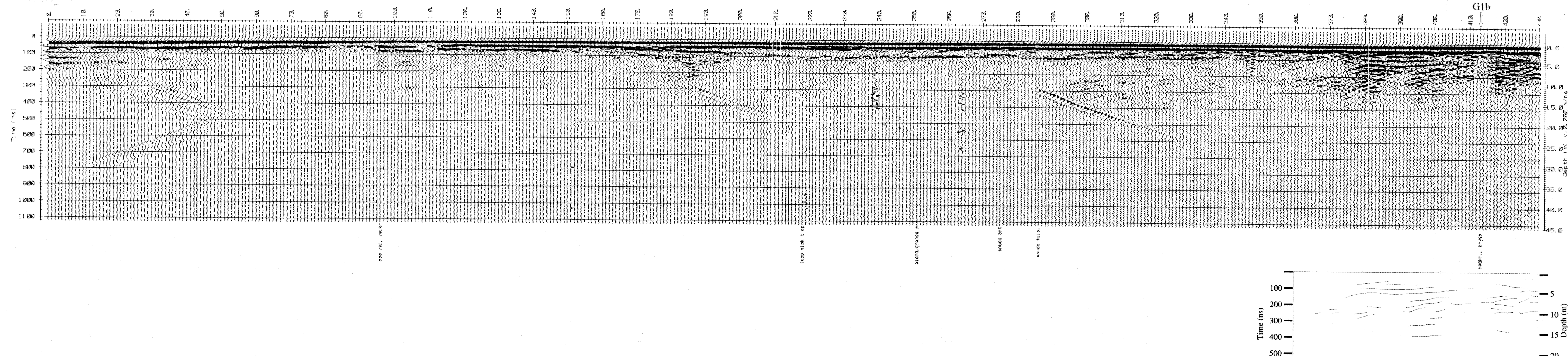


NGU/Sel kommune GEORADAROPPTAK G1a, G1 & G1b SEL SEL KOMMUNE, OPPLAND	MÅLSTOKK Kart 1:10 000	OBS. JTT/SRR Juni, aug. '95 TEGN. FM Feb. '96 TRAC. KFR	TEGNING NR. 96.031-03	KARTBLAD NR. 1718 IV
--------------------------------------------------------------------------------	------------------------------	------------------------------------------------------------------	--------------------------	-------------------------

G2

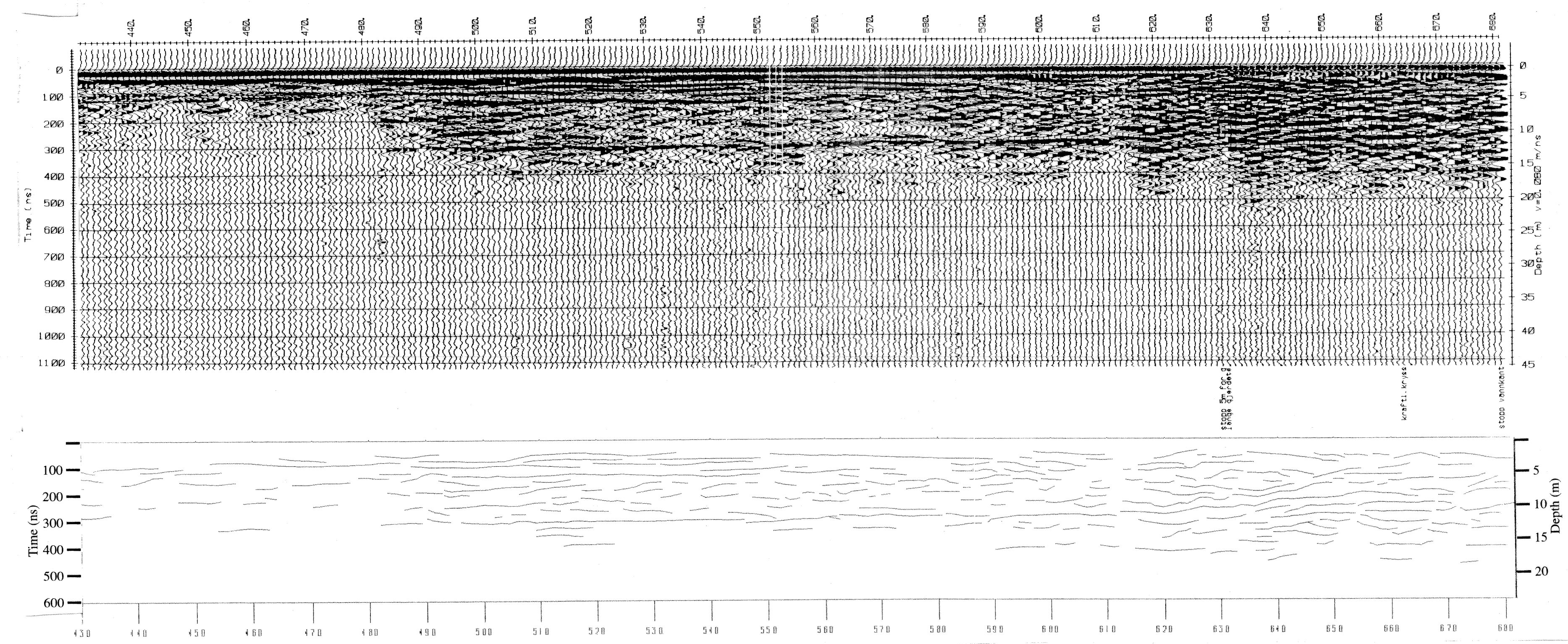


G2a

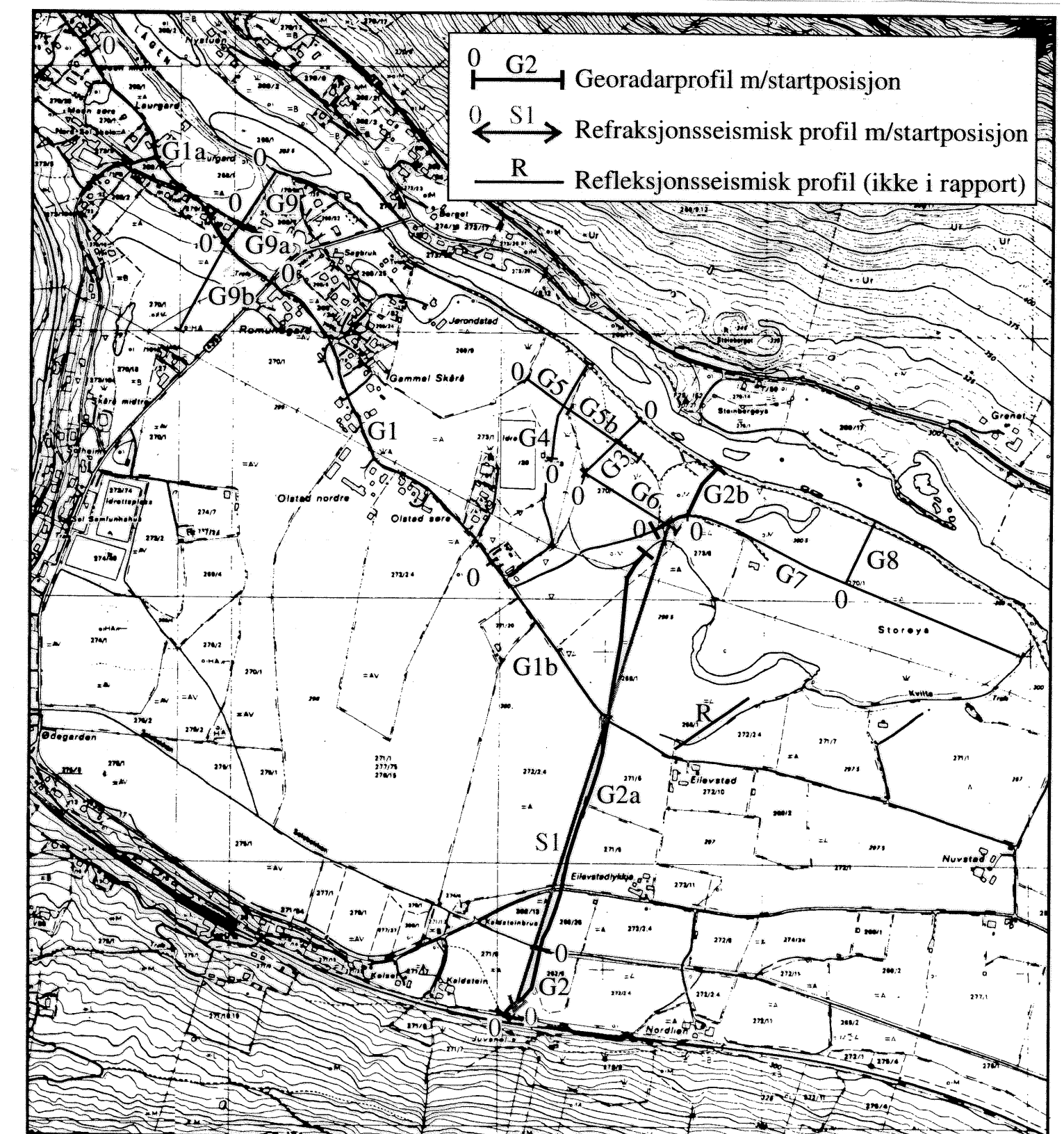
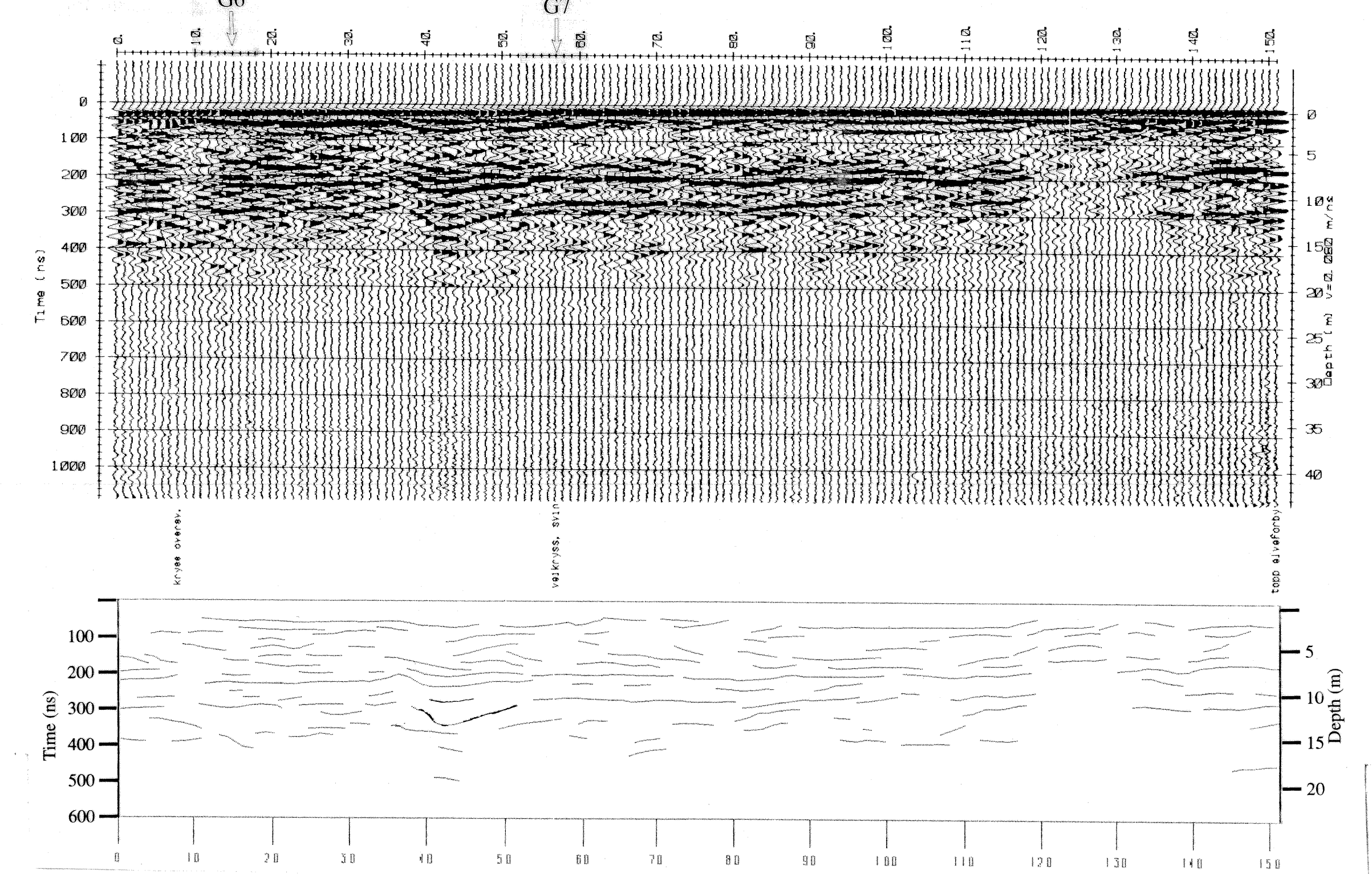


G1b

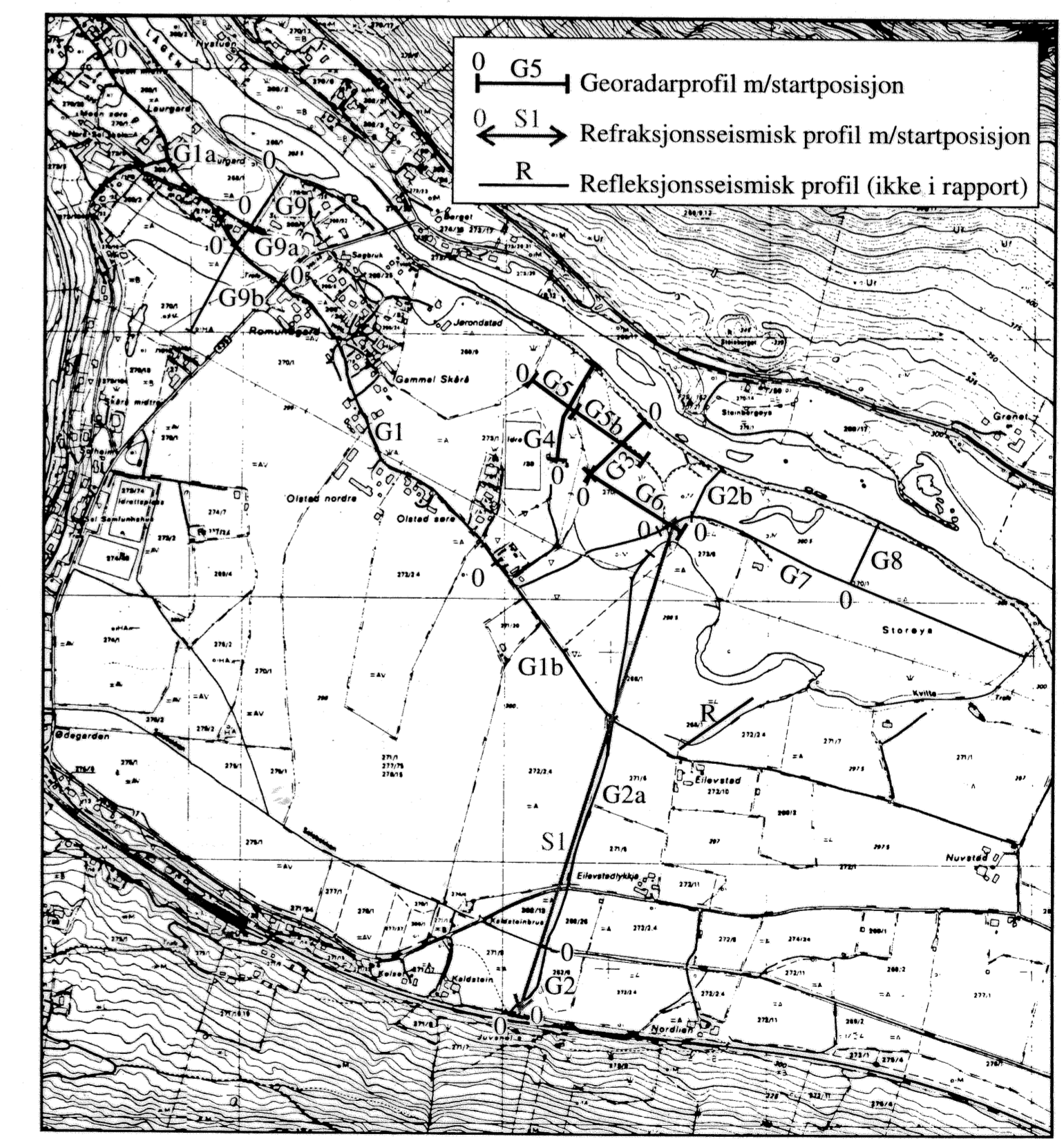
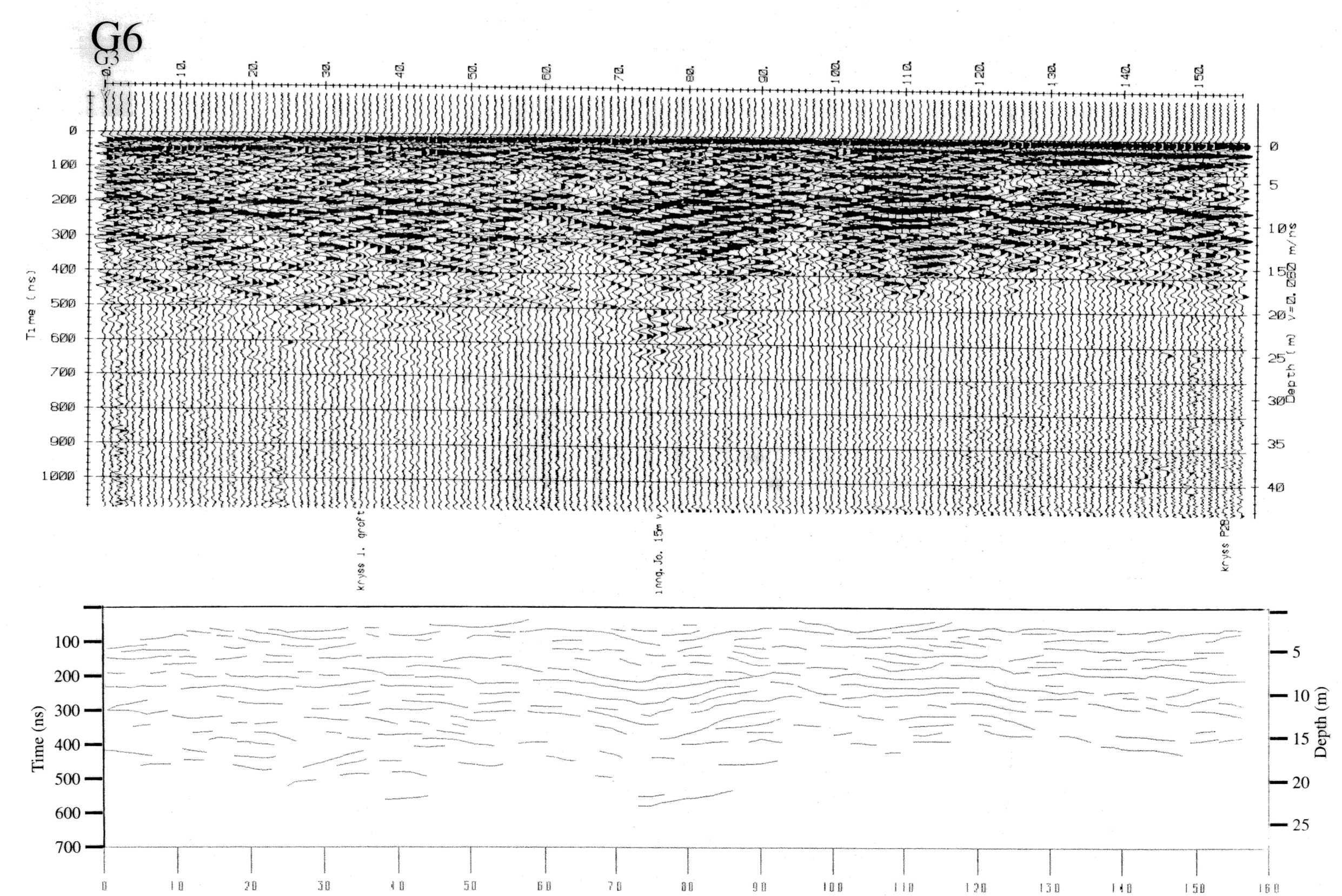
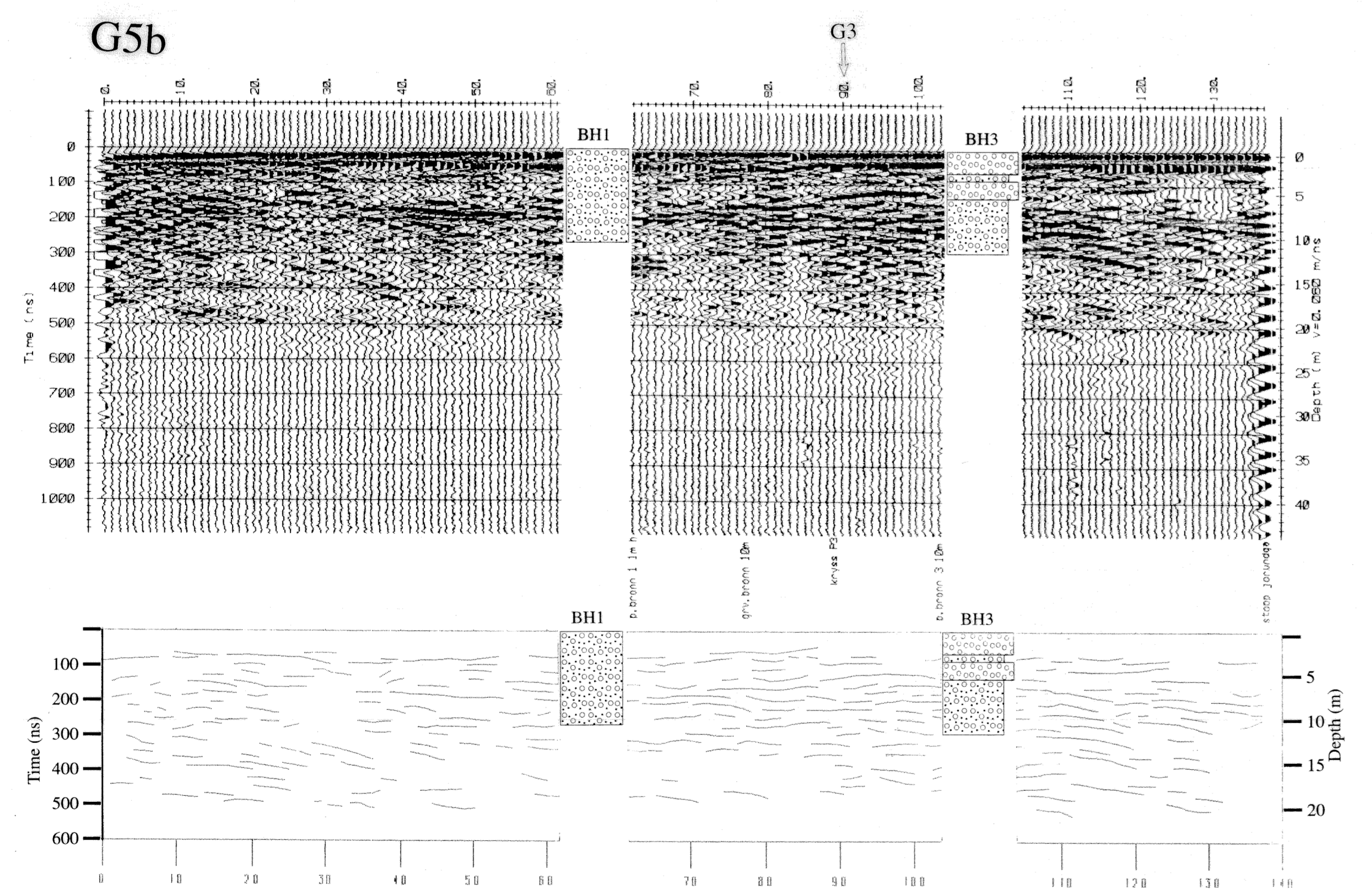
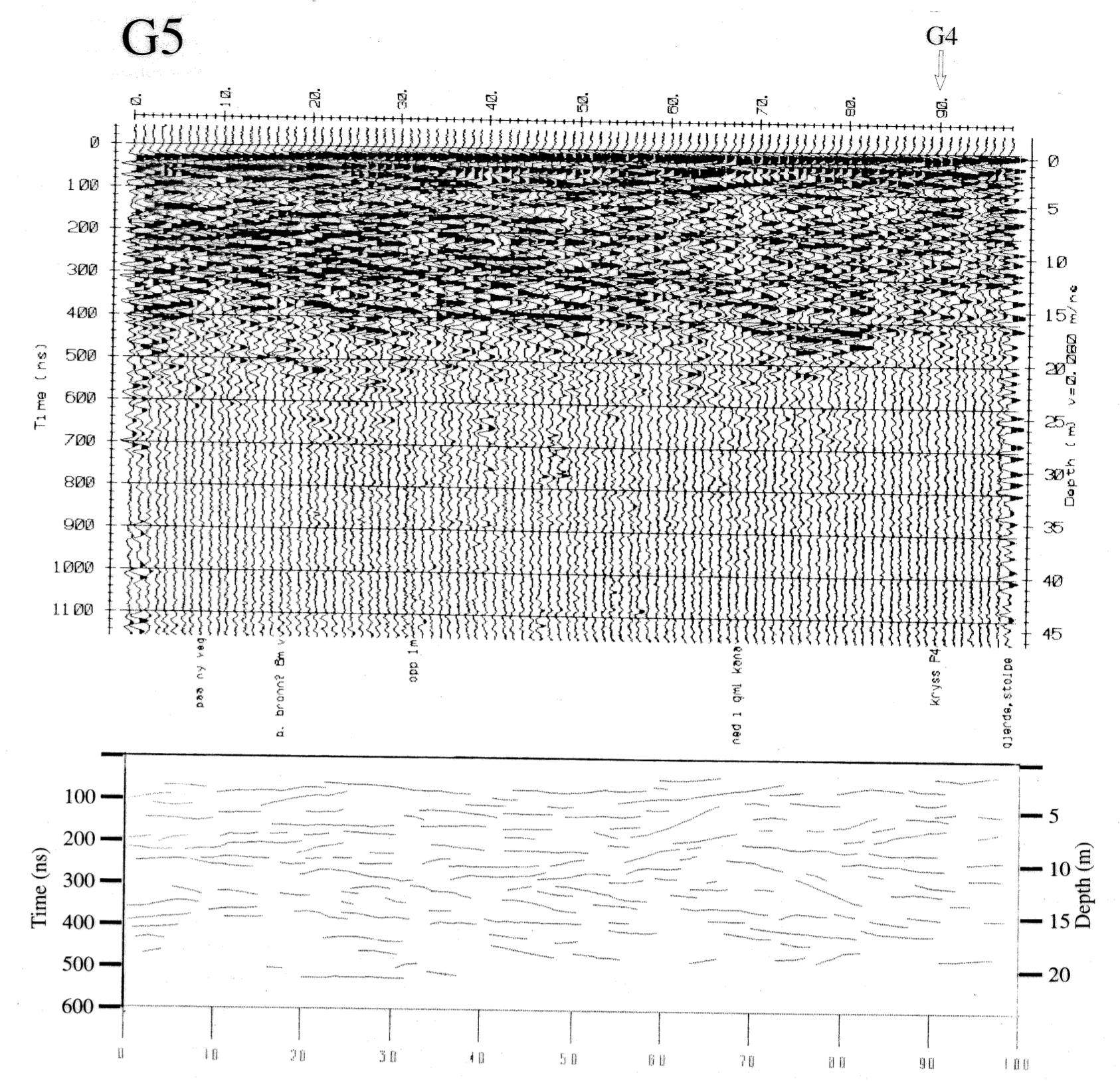
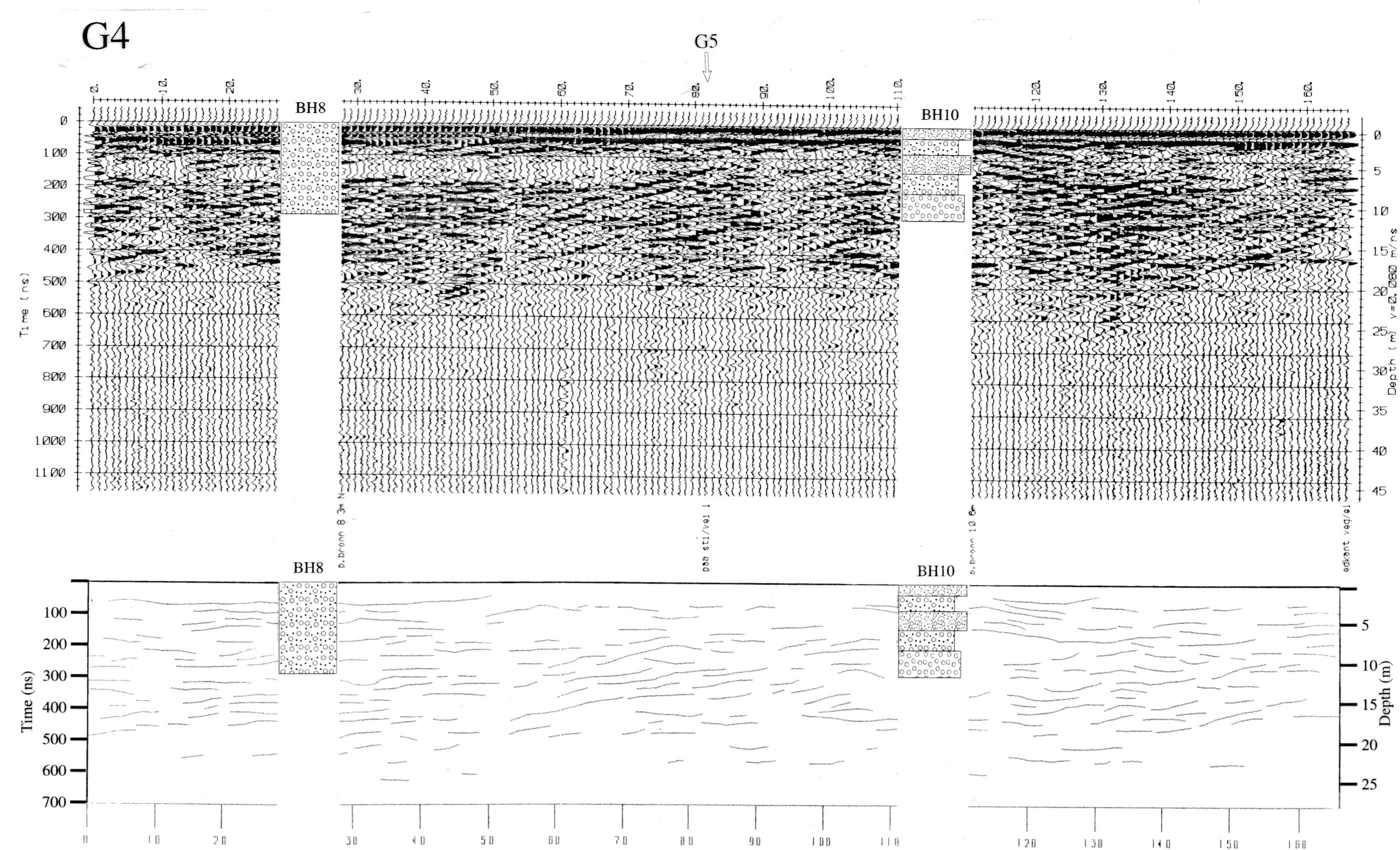
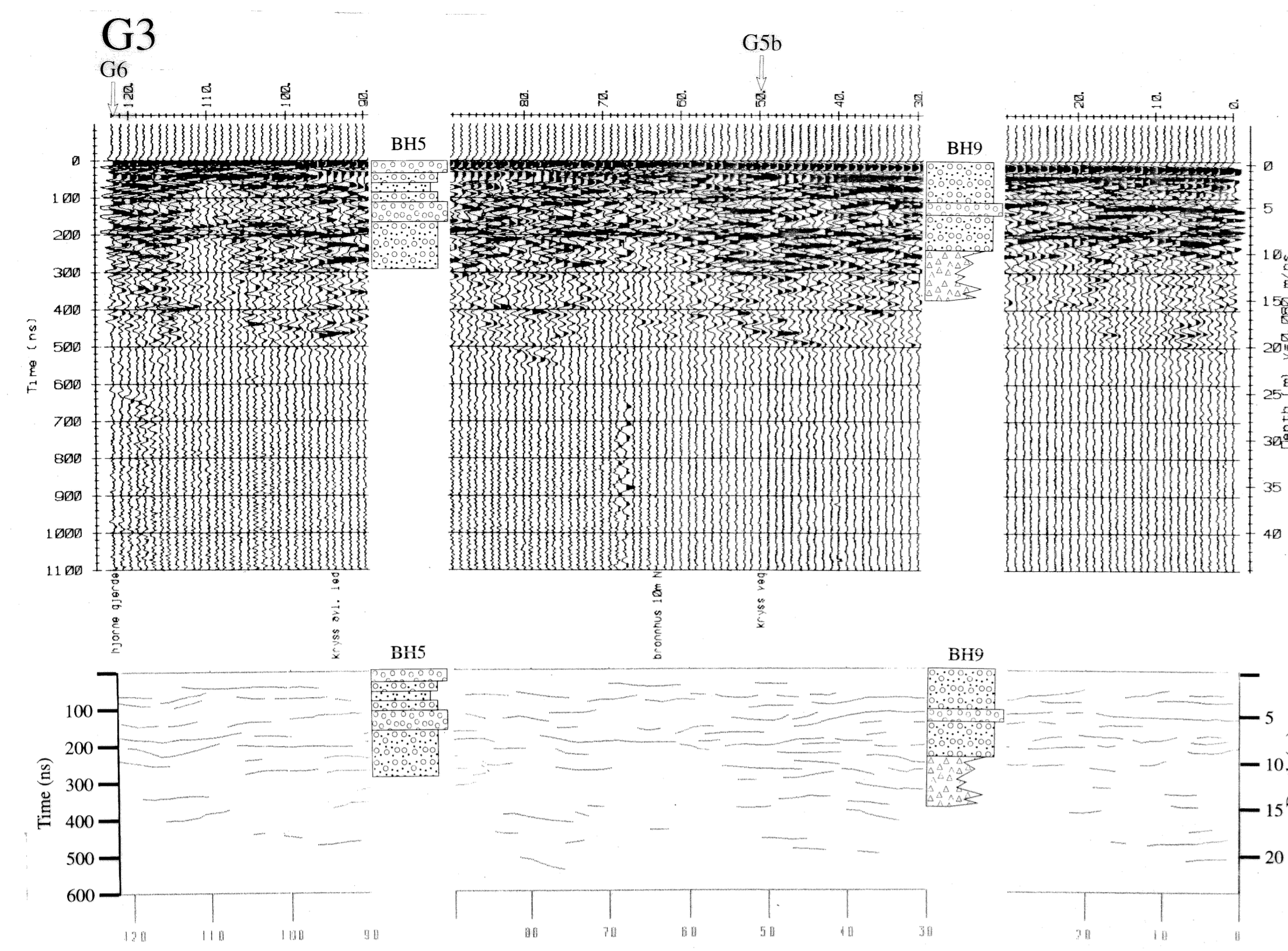
G2a (forts.)



G2b



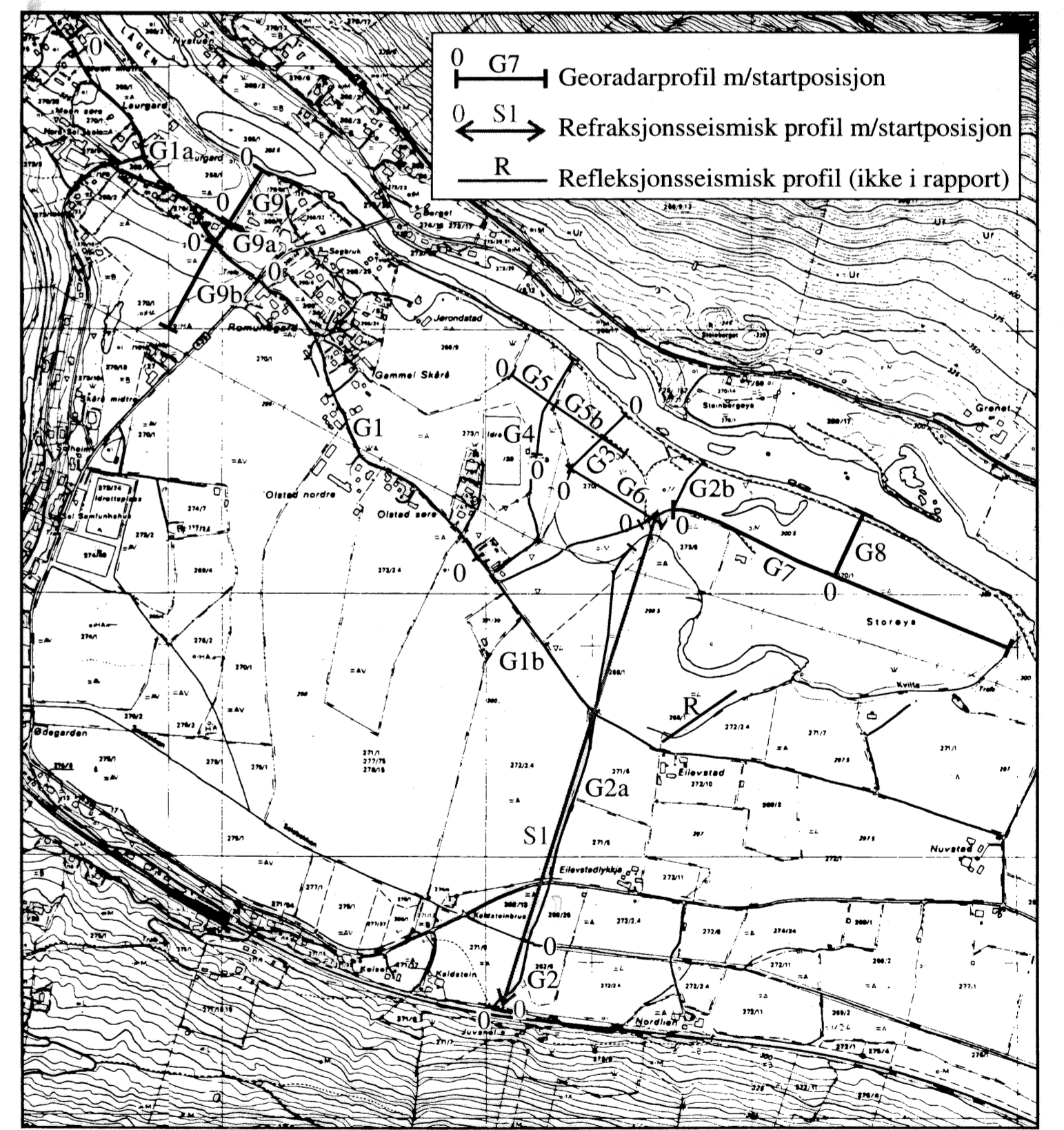
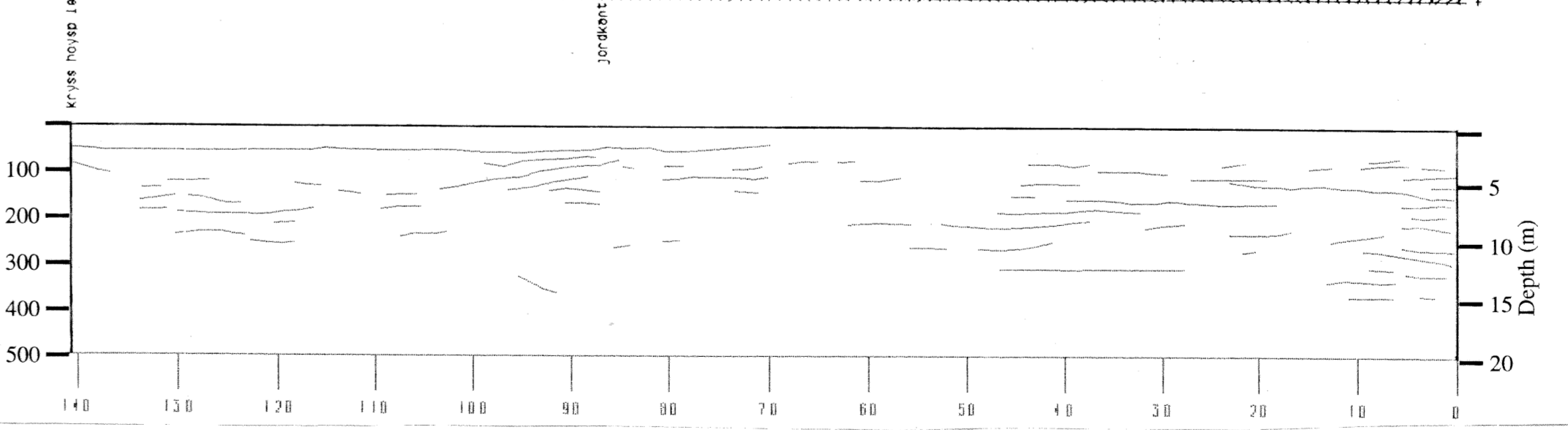
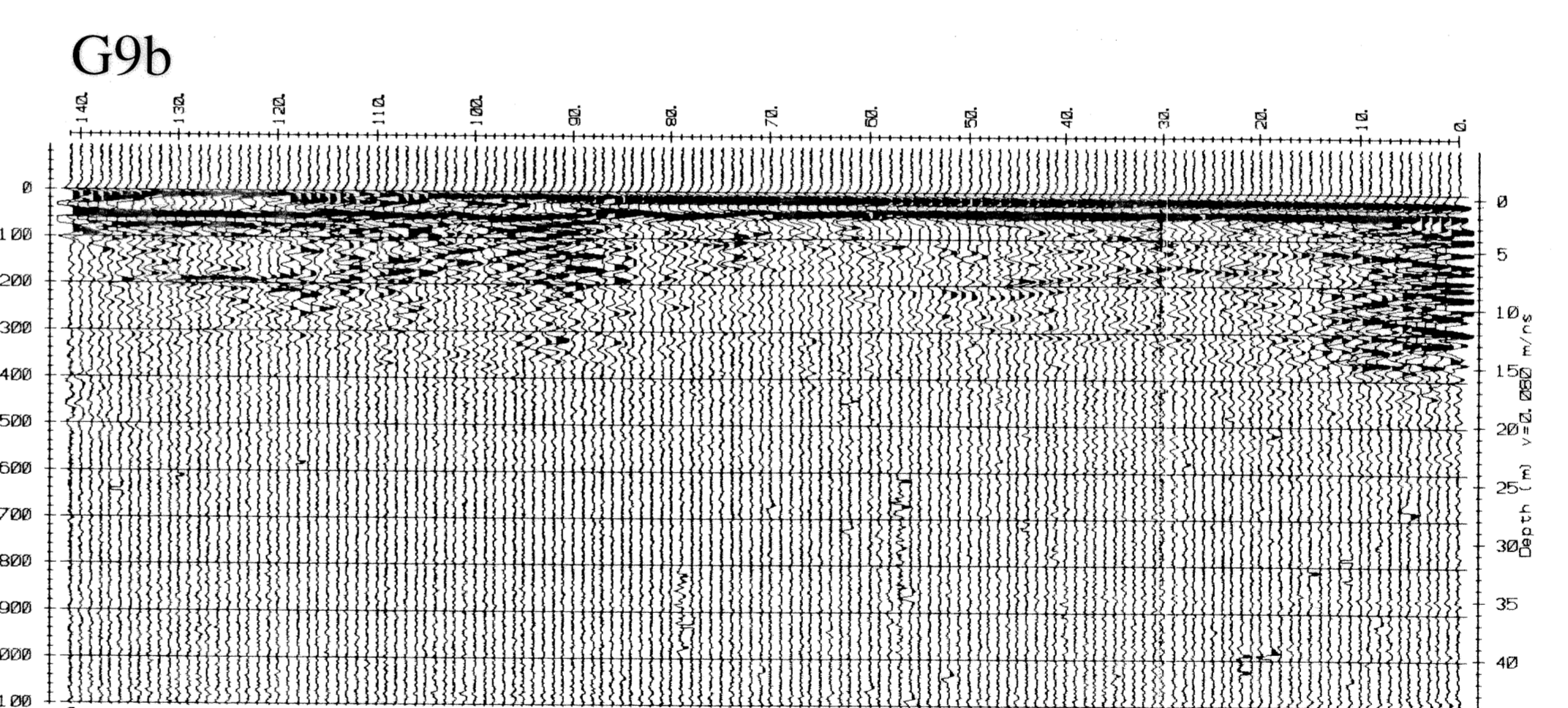
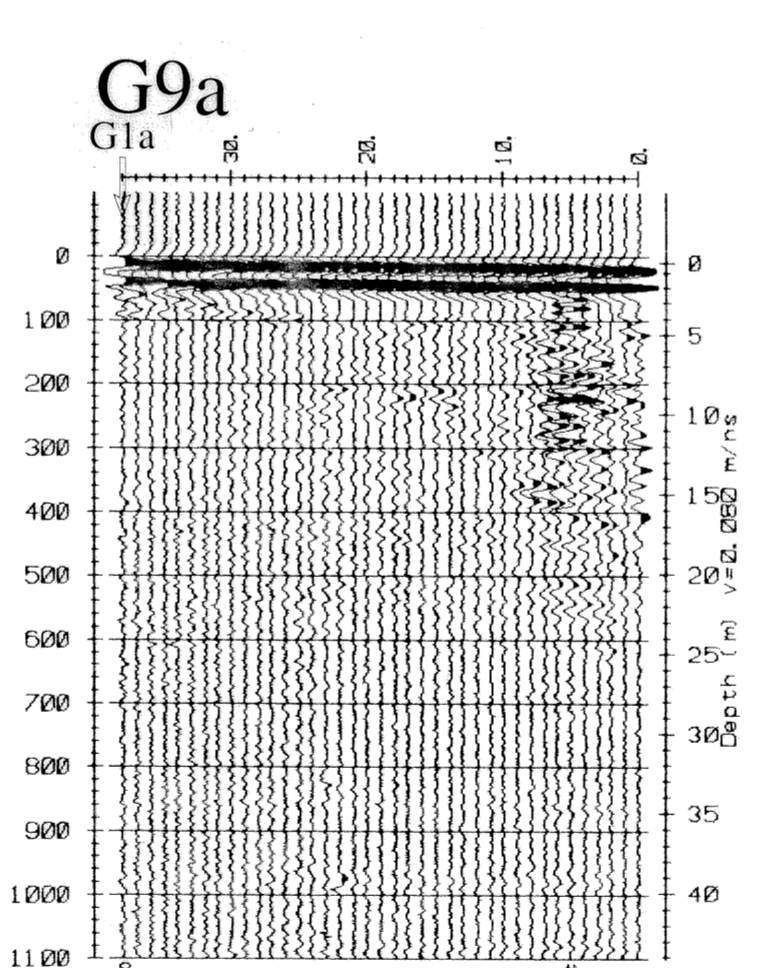
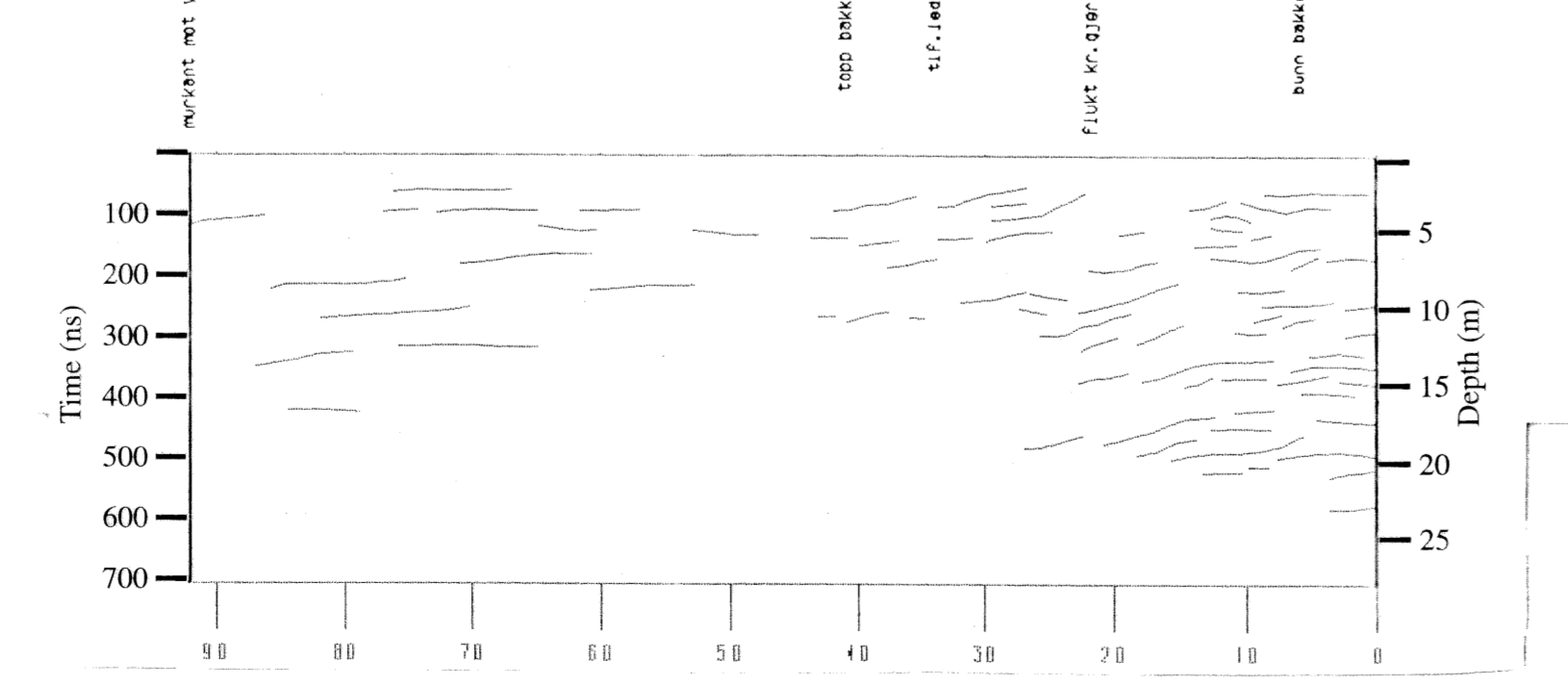
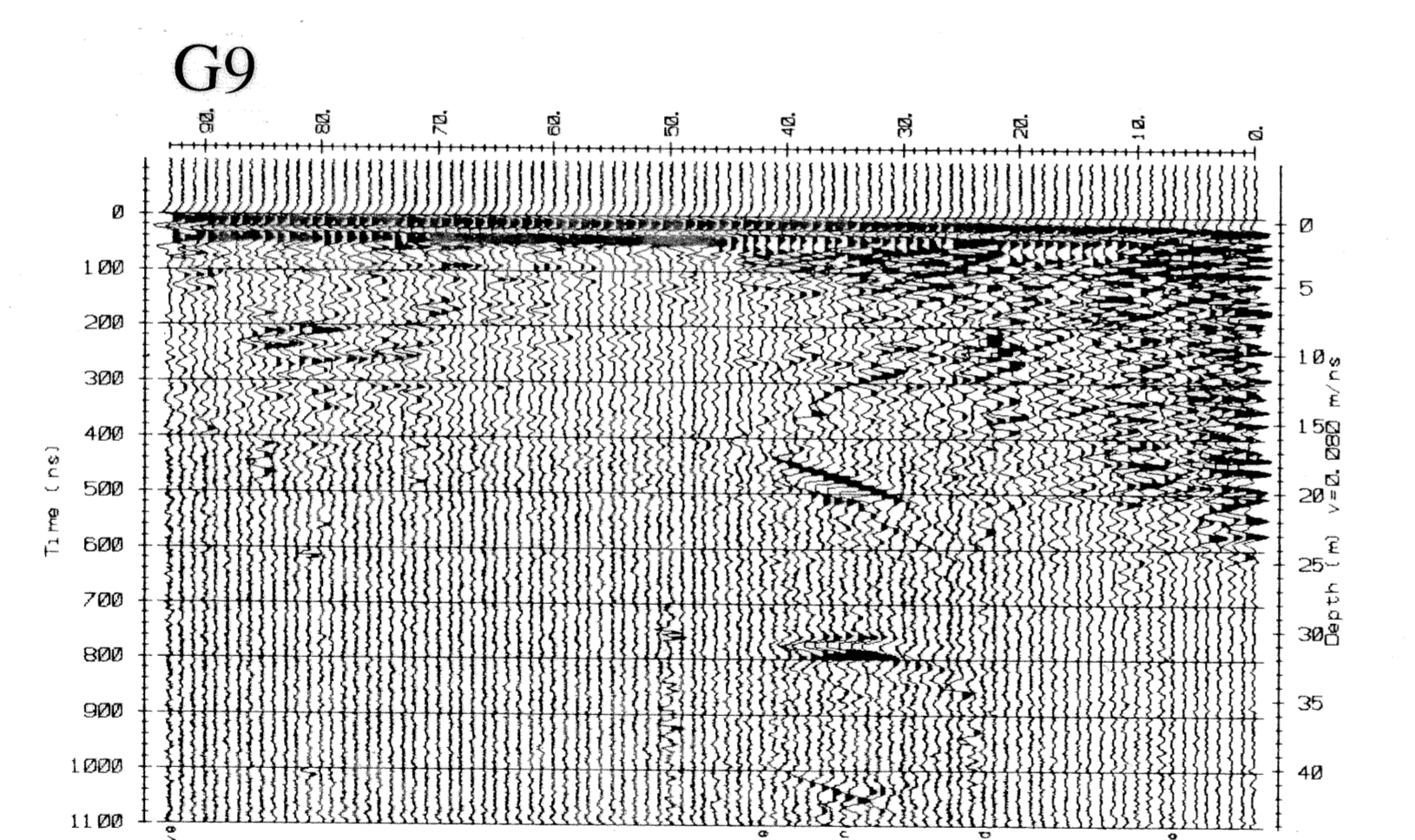
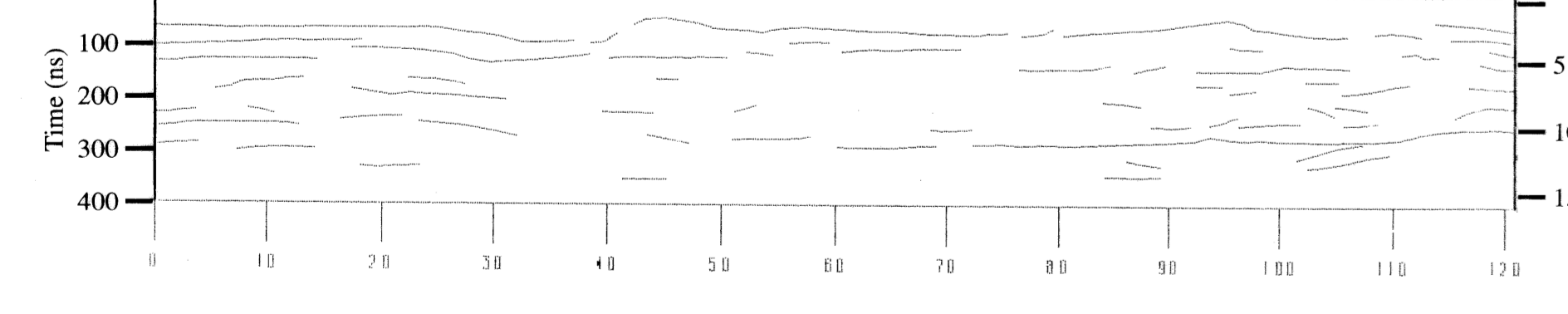
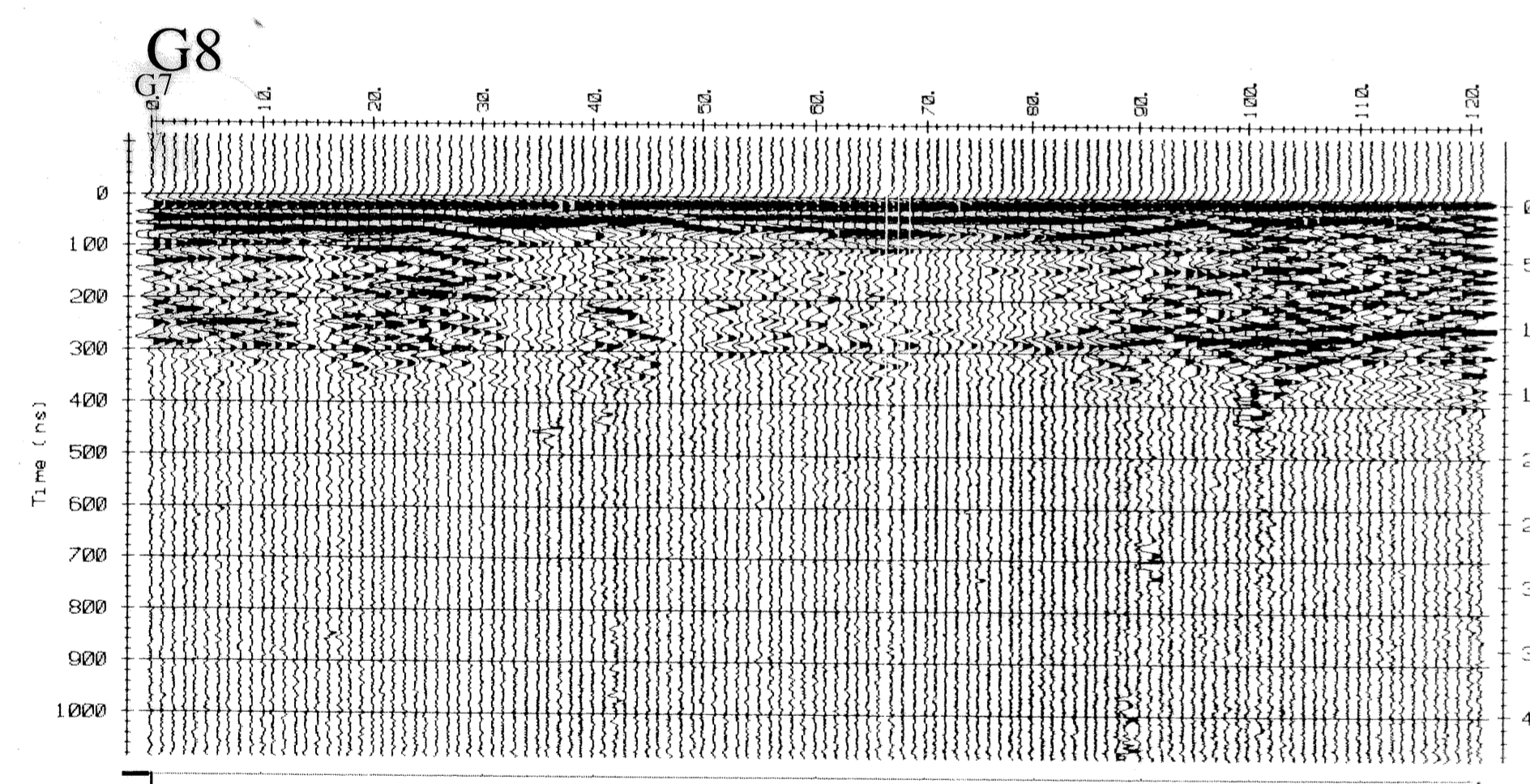
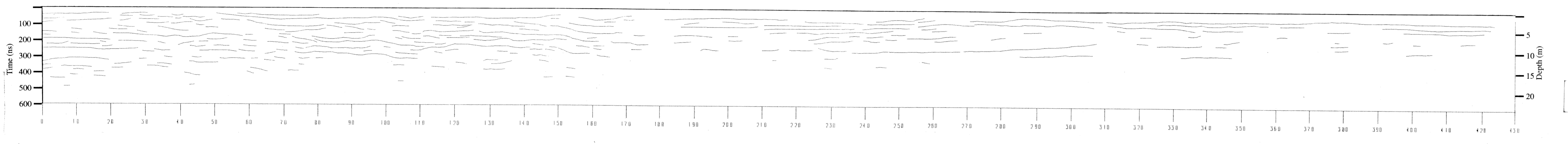
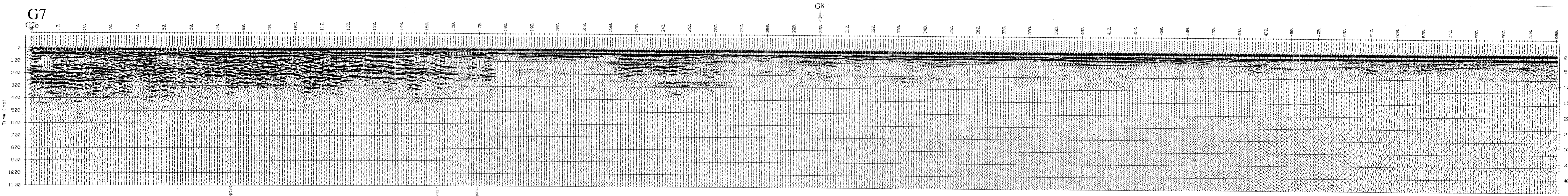
NGU/Sel kommune	MÅLESTOKK	OBS. JFU/SR	Jun. aug. '95
GEORADAROPPTAK G2, G2a & G2b	SEL	TEGN.EM	Feb. '96
SEL KOMMUNE, OPPLAND	Kart 1:10 000	TRAC.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	KFR.	TEGNING NR. 96.031-04	KARTBLAD NR. 1718 IV



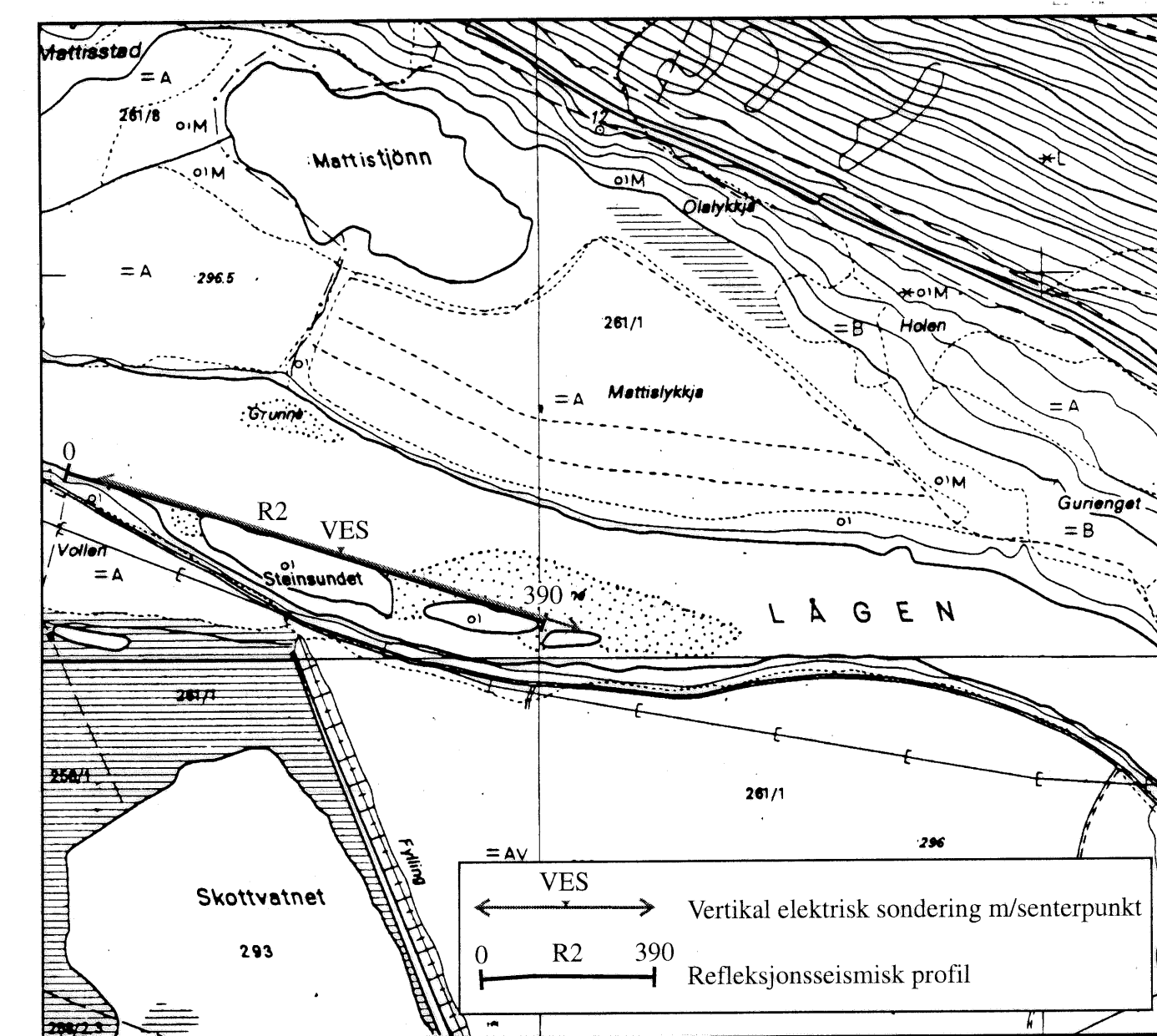
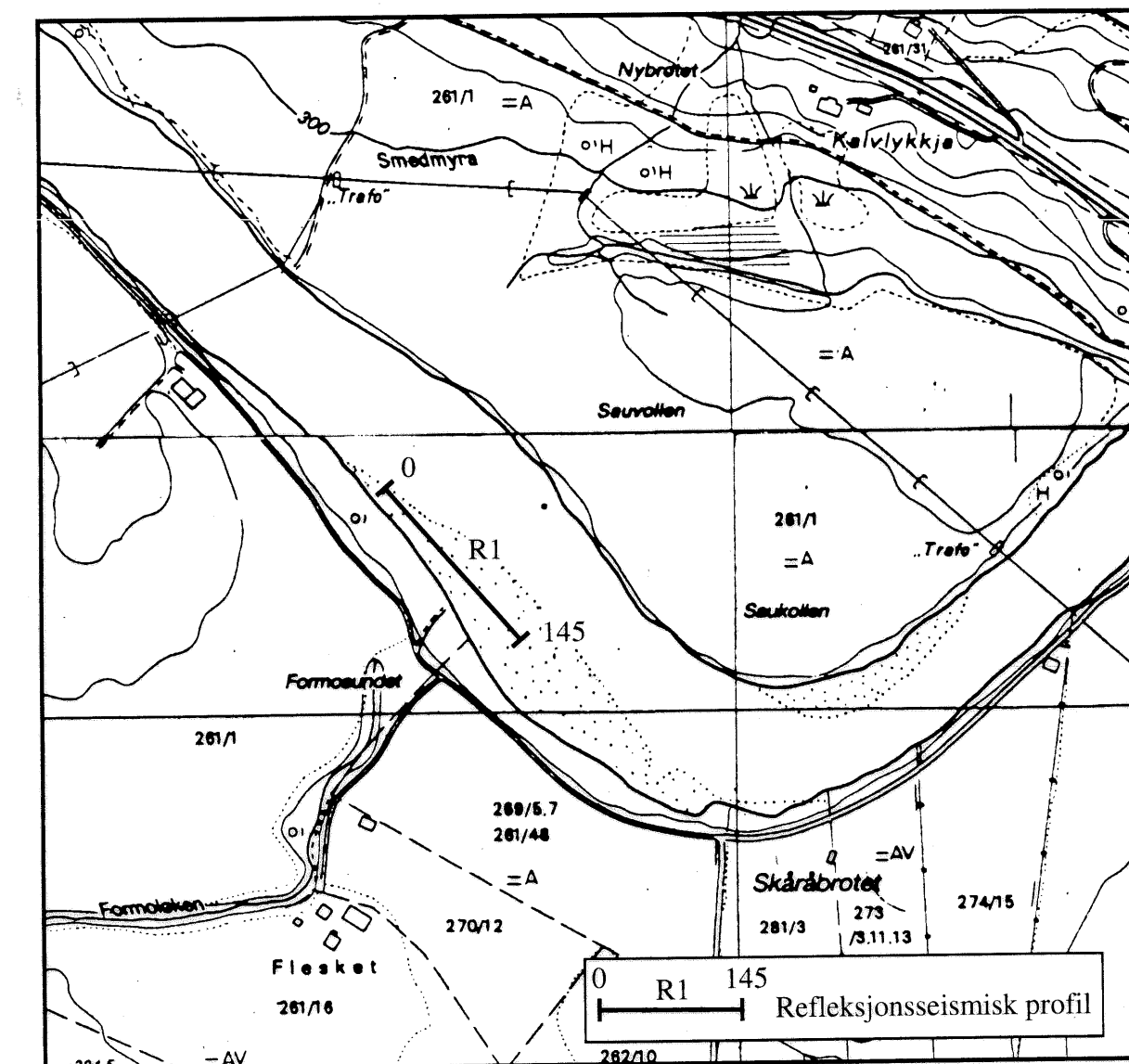
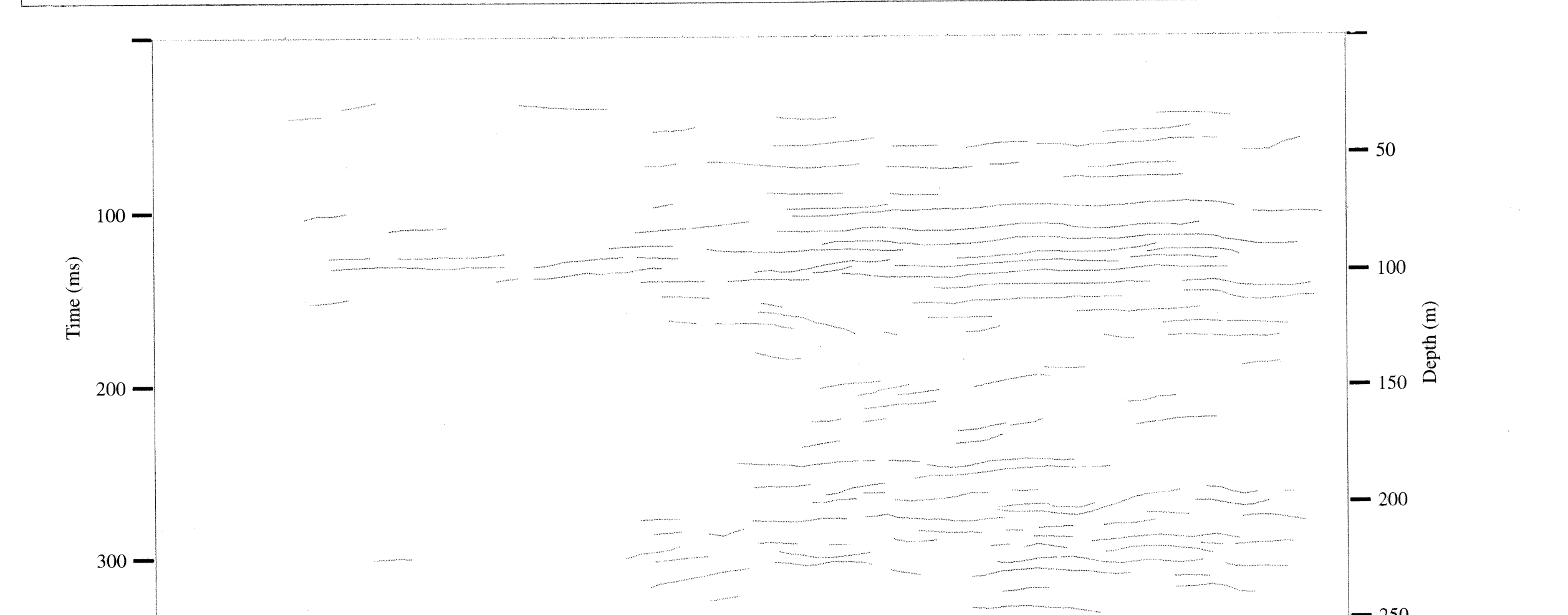
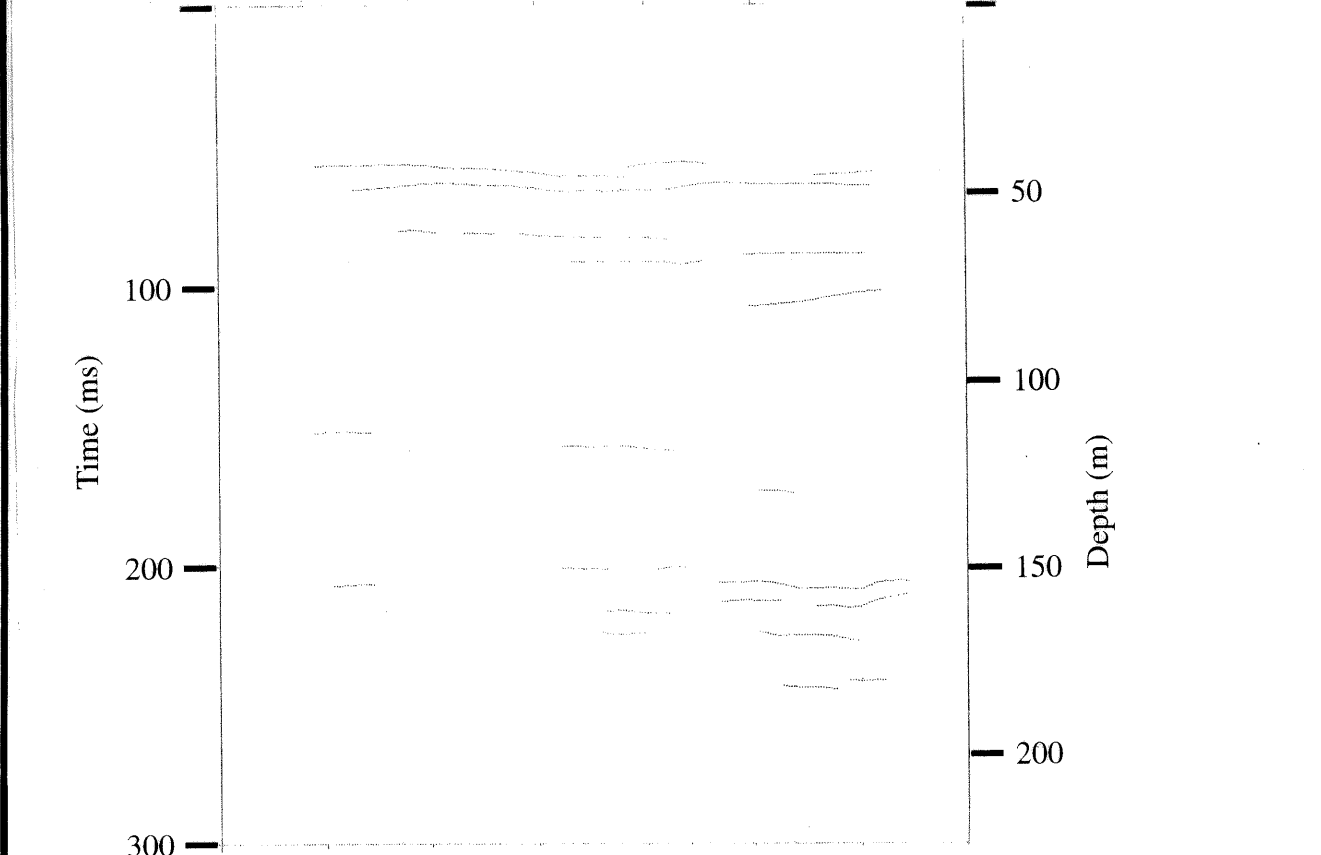
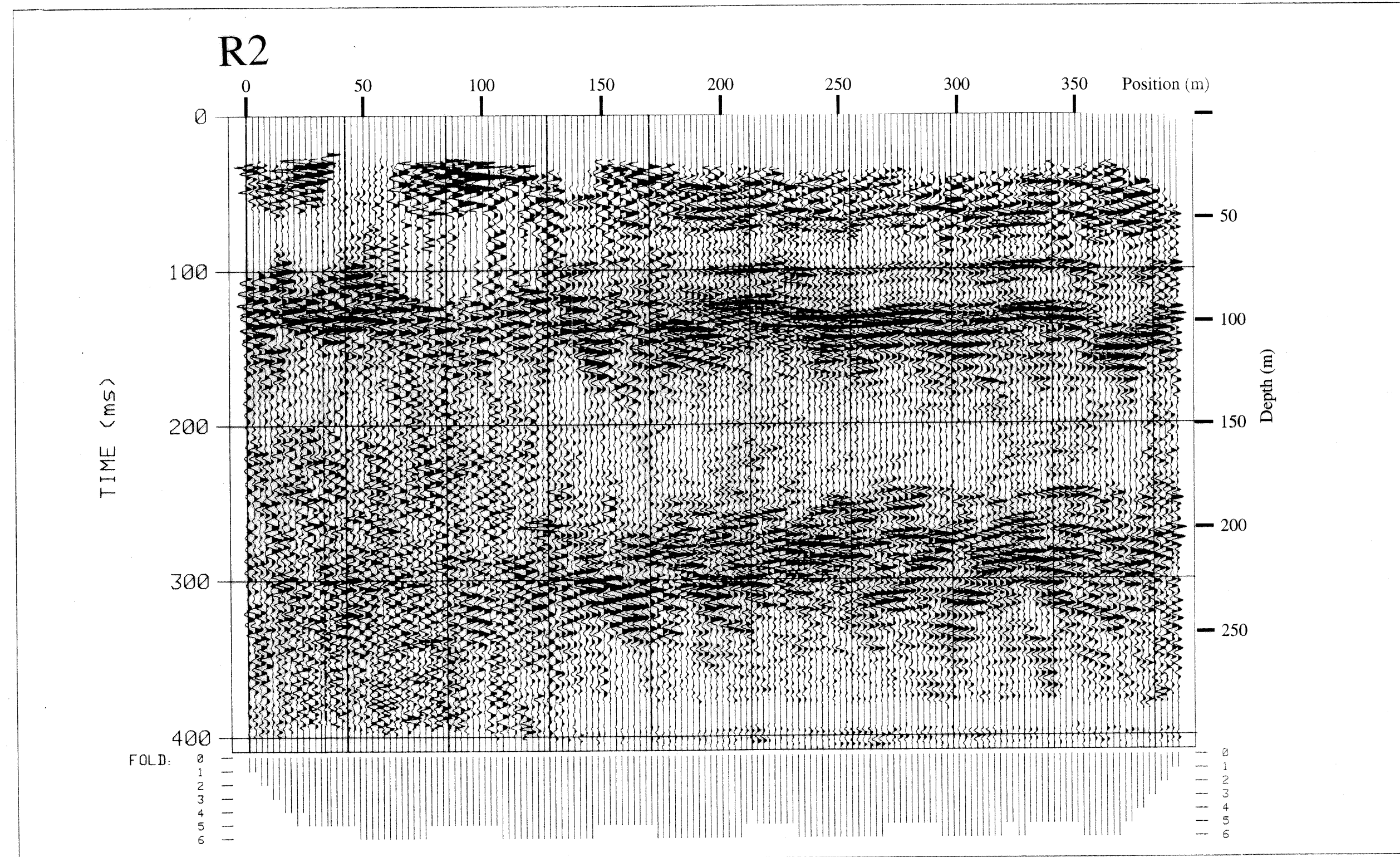
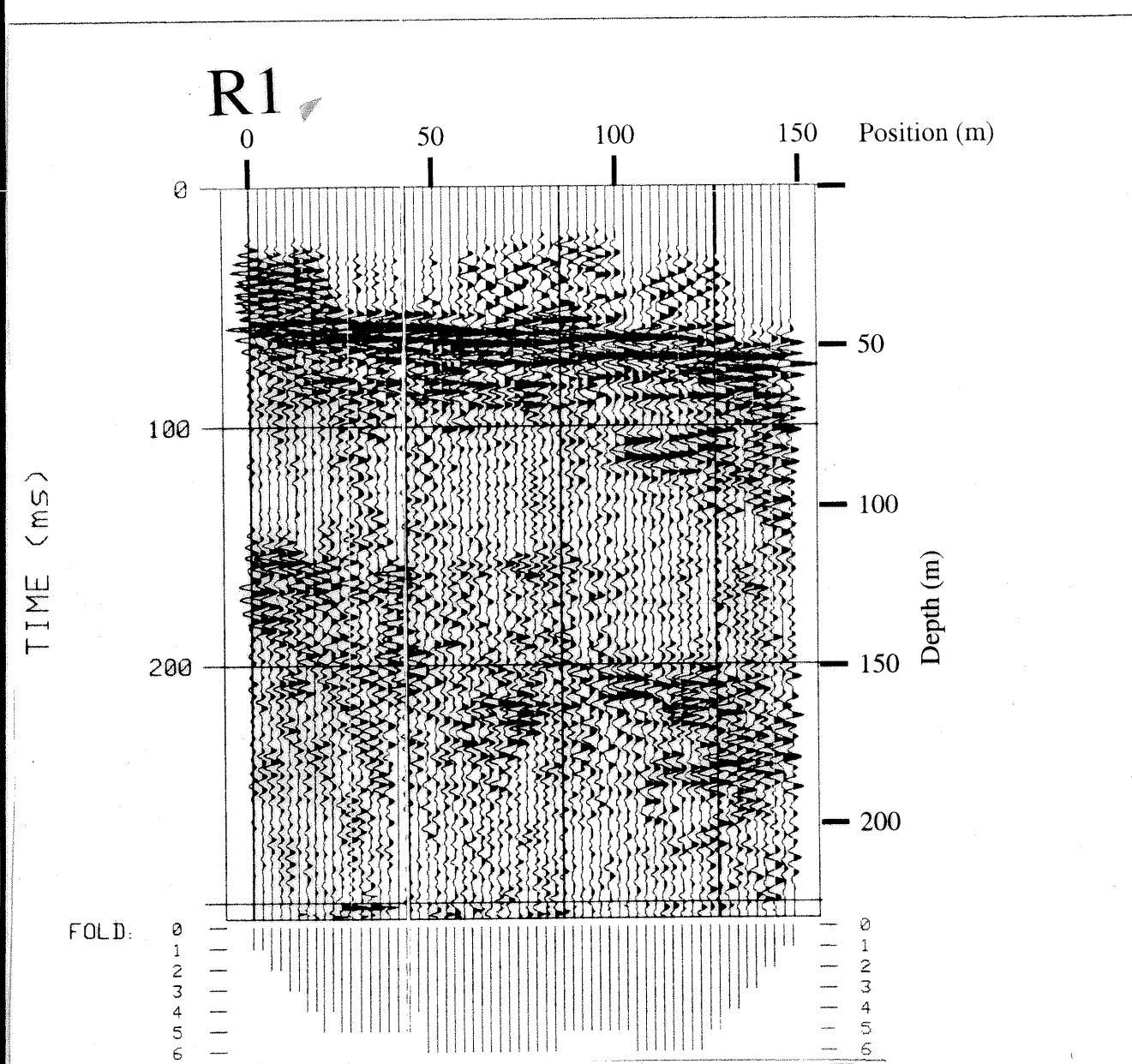
**TEGNFORKLARING**

- Stein/sand/grus
- Grus
- Sand/grus
- Sand
- Usortert materiale (morene?)

NGU/Sel kommune		MÅLSTOKK	OBS. IFT/JSR	Juni, aug. '95
GEORADAROPPTAK G3, G4, G5, G5b & G6		1:10 000	TEGN. EM	Feb. '96
<b>SEL</b>			TRAC.	
SEL KOMMUNE, OPPLAND			KFR.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM		TEGNING NR. 96.031-05	KARTBLAD NR. 1718 IV	



NGU/Sel kommune GEORADAROPPTAK G7, G8, G9, G9a & G9b	MÅLESTOKK Kart 1:10 000	OBS. JFT/JSR TEON. EM TRAC. KFR.	Jun. aug. '95 Feb. '96
SEL SEL KOMMUNE, OPPLAND	TEGNING NR. 96.031-06	KARTBLAD NR. 1718 IV	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM			



NGU/Sel kommune	MÅLSTOKK	MÅLT JFT/JSR	Juni. aug. -95
REFLEKSJONSSEISMISK PROFIL R1 & R2	Kart 1:5000	TEGN EM	Feb. -96
<b>SEL</b>		TRAC	
SEL KOMMUNE, OPPLAND		KFR.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 96.031-07	KARTBLAD (AMS)	1718 IV