

NGU-rapport 91.270

Georadar og refleksjonsseismiske
målinger på Haslemoen,
Våler kommune, Hedmark

Rapport nr. 91.270		ISSN 0800-3416		Åpen/Forholdig til	
Tittel: Georadar og refleksjonsseismiske målinger på Haslemoen					
Forfatter: Jan S. Rønning & Eirik Mauring			Oppdragsgiver: NGU/NVE/NTNF		
Fylke: Hedmark			Kommune: Våler		
Kartbladnavn (M. 1:250 000) Hamar			Kartbladnr. og -navn (M. 1:50 000) 2016 II Flisa		
Forekomstens navn og koordinater: Haslemoen 6570 67275			Sidetall: 24		Pris: kr 200,-
Feltarbeid utført: 05.91-08.91		Rapportdato: 13.12.1991		Prosjektnr.: 62.2186.01	
				Seksjonssjef: <i>Jan S. Rønning</i>	
Sammendrag:					
<p>I et NTNFF-finansiert samarbeid mellom NGU og NVE er det utført georadar og refleksjonsseismiske målinger på Haslemoen. Hensikten med dette var å kartlegge løsmassene i detalj til hjelp ved modellering av grunnvannsstrømning. Av spesiell interesse var å se om georadaren kunne påvise et forhøyet nitratinhold i grunnvann p.g.a. overdreven gjødsling.</p> <p>I et av tre profiler viste refleksjonsseismikken 6 reflektorer hvorav den siste ved ca. 80 meters dyp representerer fjell. De to andre profilene var mislykket p.g.a. for lite dyp til fjell og porøse masser som absorberer energien.</p> <p>Georadaren har stedvis gjort meget detaljert avtegning av løsmassenes mektighet og oppbygning. Største angitte dyp til fjell er ca. 30 meter. Grunnvannspeil er ikke alltid like lett å identifisere på grunn av interferens med direkte puls fra sender til mottager. Georadarmålingene påviser forhøyet nitratinhold i grunnvannet ved at penetrasjonen under grunnvannspeil reduseres til et minimum. Det er nødvendig med oppfølgende undersøkelser for å finne årsak til manglende informasjon i deler av det undersøkte område.</p>					
Emneord		Refleksjonsseismikk		Grunnvann	
Geofysikk		Georadar		Forurensning	
		Løsmasse		Fagrapport	

INNHold

	Side
1. INNLEDNING	4
2. TIDLIGERE UNDERSØKELSER	4
3. METODER OG UTFØRELSE	4
3.1 Georadar	4
3.2 Refleksjonsseismikk	5
4. RESULTATER OG KOMMENTARER	6
4.1 Georadar, hastighetsanalyser	6
4.2 Georadar, profileringer	6
4.3 Refleksjonsseismikk	9
5. SLUTTBEMERKNINGER	10
6. REFERANSER	11

Tekstbilag

1. Georadar - metodebeskrivelse
2. Refleksjonsseismikk - metodebeskrivelse

Databilag

1. Hastighetsanalyser, georadar
2. Prosesseringsparametre, CDP
3. Refleksjonsseismisk profil 3

Kartbilag

- | | |
|------------|-------------------------|
| 91.270-01: | Oversiktskart M 1:25000 |
| 91.270-02: | Georadar, profil A |
| 91.270-03: | Georadar, profil B |
| 91.270-04: | Georadar, profil C |
| 91.270-05: | Georadar, profil D og E |
| 91.270-06: | Georadar, profil F |
| 91.270-07: | Georadar, profil G |
| 91.270-08: | Georadar, profil H og I |

1. INNLEDNING

I et samarbeid mellom NGU og NVE er det utført georadar og refleksjonsselsmiske målinger på Haslemoen i Våler kommune, Hedmark. Gjennom et NTNFinansiert prosjekt skulle grunnvannsstrømningen i avsetningen modelleres (Kitterød, NVE). Som bakgrunnsdata for denne modelleringen var det av interesse å få en detaljert kartlegging av avsetningen, ikke bare dyp til grunnvann og fjell, men også detaljer som kunne si noe om sedimentasjonen. Parallelt med georadar- og refleksjonsselsmiske målinger ble det utført en test med elektriske målinger for å følge grunnvannsstrøm og -hastighet under et saltforsøk. Resultatene fra denne testen rapporteres separat.

I denne rapporten presenteres data fra georadar- og refleksjonsselsmiske målinger. En mer detaljert samtolkning med resultater fra boringer vil bli foretatt seinere. Feltmålingene ble utført i to perioder av Torleif Lauritsen og Jan S. Rønning (uke 18/91) og Jan R. Johannesen og Jan S. Rønning (uke 32/91). Nils Otto Kitterød fra NVE var tilstede i begge periodene.

2. TIDLIGERE UNDERSØKELSER

Bakgrunnen for interessen om Haslemo-avsetningen ligger i påvisning av en nitrat-plum forårsaket av overdreven gjødsling (GREGR 1989). I denne sammenheng er det utført en rekke forskningsarbeider (Einan 1989, Englund m.fl. 1985, Englund & Haldorsen 1986, Englund m.fl. 1990, Haldorsen m.fl. 1986, Høye & Sand 1983, Jakobsen 1987, Jakobsen m.fl. 1990, Nordal 1986, Sæland 1987). Av spesiell interesse var å se om metoden kunne påvise nitrat-plumen. Høsten 1990 ble det utført georadarmålinger av NGU på Haslemoen. Foreløpige resultater fra disse viste tendenser til strukturer i løsmassene (Kitterød, personlig meddelelse), og det var av interesse å teste NGU's refleksjonsselsmiske metode for å se om denne kunne gi tilsvarende eller supplerende data. I mellomtiden hadde NGU anskaffet georadar, og en test med denne metoden ble tatt med i prosjektet.

3. METODER OG UTFØRELSE

Efter en del innledende forsøk med refleksjonsselsmikk kom det fram at denne metoden fungerte dårlig i materialtypene en finner på Haslemoen (se seinere). Georadaren ga til dels særdeles gode resultater, og en valgte derfor å konsentrere undersøkelsene om denne metoden. Georadarprogrammet ble utvidet maksimalt innenfor den gitte økonomiske ramme.

3.1 Georadar

En generell beskrivelse av metoden er vedlagt (tekstbilag 1). I alt ble det profilert ca. 15 km og foretatt 6 CMP-målinger ('common midpoint') for analysering av radarbølgenes hastighet. Lokaliseringen av disse framgår av kartbilag -01. Georadaren som ble benyttet var av typen

'pulseEKKO IV' (Sensors & Software Inc., Canada). Det ble benyttet 400 V sender, og senterfrekvens på antennene var 50 Mhz. Samplingsintervallet var 0.8 ns. Profilene ble målt som kortere enkeltprofiler som senere ble satt sammen. Spesifikke opptaksparametre for delprofilene er vist i tabell 1. Ved CMP-mållingene var flyttavstand for hver antenne 0.5 m.

<u>Profil</u>	<u>Posisjon (m)</u>	<u>Flyttavst. (m)</u>	<u>Stacks</u>	<u>Opptakstid (ns)</u>	<u>Målt</u>
A	0 -1768	4.0	128	1024	Uke 32
A	1768-2578	1.8	32	1024	Uke 18
B	0 -1678	1.8	32	1024	Uke 18
C	0 -2315	1.8	128	1024	Uke 32
D	0 - 578	1.8	128	1024	Uke 32
E	0 - 408	4.0	128	1024	Uke 32
E	410 - 960	1.8	128	1024	Uke 32
F	0 - 100	1.0	32	512	Uke 18
F	100 -1024	1.0	32	1024	Uke 18
F	1024-1993	1.8	32	1024	Uke 18
G	0 -3420	4.0	128	1024	Uke 32
H	0 - 403	1.8	32	1024	Uke 18
I	0 - 270	1.8	32	1024	Uke 18

Tabell 1: Opptaksparametre og måletidspunkt for georadar-profilene.

3.2 Refleksjonsseismikk

Ved utførelsen av de refleksjonsseismiske mållingene ble det benyttet en teknikk kalt 'common depth-point' (CDP). Denne teknikken er beskrevet i tekstbilag 2. Ved å registrere på 12 kanaler ble det oppnådd 6-fold (600%) dekning. 'Common offset'-opptak ble senere konstruert ved å plukke ut første trase (offset 10 m) fra suksessive opptak.

Som registreringsinstrument ble det benyttet en 24-kanals digital seismograf av typen S-2 'Echo' (Scintrex, Canada). Det ble anvendt geofoner med 50 Hz egenfrekvens. Energiseringskilden var 12-kalibers haglskudd avfyrt fra en spesiellagde bøsse.

<u>Parameter</u>	<u>Verdi</u>
Antall kanaler	12
Geofon- og skuddavstand (m)	5
Offset (m)	10
Analogt lavkuttfilter (Hz)	100
Analogt høykuttfilter (Hz)	800
Opptakstid (ms)	300

Tabell 2: Opptaksparametre for refleksjonsseismisk profil 3.

Det ble målt tre profiler (S1, S2 og S3). Kun profil S3 ga gode refleksjonsseismiske data. Plassering og retning av profilene er vist i kartbilag -01. Lengden på S3 var 150 m. Viktige opptaksparametre er listet i tabell 2. Datakvaliteten for dette profilet var meget god.

4. RESULTATER OG KOMMENTARER

I det følgende blir resultater fra georadar- og refleksjonsseismiske målinger på Haslemoen presentert og kommentert. En mer detaljert samtaling med data fra boringer vil bli foretatt seinere (Kitterød, NVE).

4.1 Georadar, hastighetsanalyser

Opptaksdata og prosesserte data for hastighetsanalysene (CMP1-CMP6) er vist i databilag 1, side 1 til 6. Datakvaliteten er her jevnt over meget bra. På alle opptak, bortsett fra CMP5, indikeres flere reflektorer. CMP5 er lokalisert til sentrale deler av forurensningsplumen, og i dette området har en kun penetrasjon ned til grunnvannsspeil. Årsaken til dette ligger trolig i absorpsjon av energien i relativt godt elektrisk ledende grunnvann. Tabell 3 gir en oversikt over gjennomsnittlig hastighet ned til forskjellige reflektorer (RMS-hastighet).

	CMP1	CMP2	CMP3	CMP4	CMP5	CMP6
		F-1840	C-2068			
Posisjon	F-525	B-1180	G-572	H-100	D-100	A-584
Grunnvann	50/0.12?	100/0.13	60/0.13		80/0.14	50/0.12?
Reflektor A	180/0.07	200/0.07	320/0.08	100/0.09		150/0.085
Reflektor B	400/0.07	400/0.07	450/0.075	200/0.09		250/0.08
Reflektor C		450/0.07	520/0.075	380/0.07		320/0.08
Reflektor D		550/0.07	600/0.075	480/0.07		500/0.08
Fjell	550/0.06	700/0.07				

Tabell 3: Tidspunkt for refleksjon (ns)/tolket gjennomsnittlig hastighet (m/ns) ned til reflektor (RMS-hastighet).

4.2 Georadar, profileringer

Radargram for de sammensatte profilene er vist i kartbilag -03 til -08. Det ble også foretatt georadamålinger rundt brønn 73, hvor det i løpet av høsten -91 skulle foretas saltingsforsøk, men disse data gikk tapt på grunn av diskettfeil.

Profil A

Profilen er vist i kartbilag -02. Dypeste reflektor mellom posisjon 0 og 1850 representerer sannsynligvis fjell. Ved posisjon 1858 ser det ut som om fjellet stikker mot dypet og at markerte reflektorer ved 500 og 600-650 ns representerer lagdeling i sedimentene. Vannspeilet ligger for grunt til at refleksjoner fra dette klart kan skilles fra direktepuls. Ved posisjon 460 blir horisontale reflektorer skåret over av en skrå reflektor. Dette representerer trolig en endring i sedimentasjonsforløpet. Legg for øvrig merke til forskyvning av nullpunkt i området 588 til 1388 og 2406 til 2578.

Profil B

Profilen er vist i kartbilag -03. Fra posisjon 0 til 500 og 1320 til 1674 er det mye reflektert energi i opptakene uten at det kan skilles ut noen reflektorer. Dette gjentar seg også på andre profiler. Forsøk på framstilling med andre plottparametre og båndpassfiltrering ga ikke mer informasjon. Under måling kunne denne effekten korreleres med meget fuktig overflate på grunn av tele i bakken, men senere ommåling (august -91) ga samme effekt. Forsøk med større avstand mellom antennene (2 og 4 m) ga heller ikke noe bedre data. Effekten kan være geologisk betinget, men dette synes lite sannsynlig. Det er nødvendig med oppfølgende undersøkelser for å prøve å forklare effekten. I området 520 til 1300 er data av meget god kvalitet. Markert reflektor ved 650 til 750 ns (ca. 25-30 m dyp) representerer fjell (se profil F).

Profil C

Profilen er vist i kartbilag -04. Fra starten og fram til ca. posisjon 450 viser profilen kun sporadisk reflektorer under grunnvannspeil. Om dette skyldes manglende strukturer i løsmassene eller metodiske problemer er uklart. Disse målingene er utført i uke 32 når bakken var tørr. Fuktige overflatemasser kan derfor utelukkes som årsak til manglende informasjon.

Fra posisjon 450 til posisjon 950 kan en reflektor ved tidsdyp 700 til 550 ns (dyp på ca. 26-19 m) identifiseres. Sammenholdt med profil F representerer dette trolig fjell. I området mellom posisjon 950 og 1520 er bildet igjen noe uklart, men det kan identifiseres reflektorer ned til tidsdyp 650 ns (ca. 24 m) mellom posisjon 1450 og 1510. Ved profils slutt kan en identifisere reflektorer ned til tidsdyp 550 ns (ca. 20 m) ved posisjon 2220. I et mellomliggende område (1540-2100) reduseres penetrasjonen betydelig idet en passerer jordstykket som har vært utsatt for overdreven gjødsling. Kun sporadisk kan reflektorer her identifiseres under grunnvannspeil. Dette skyldes trolig økt elektrisk ledningsevne på grunn av forhøyet nitratinnhold i grunnvannet. Georadaren har i så fall påvist og kartlagt forurenset område.

Profil D

Profilen er framstilt nederst i kartbilag -05. I likhet med deler av profil C kan det ikke identifiseres reflektorer av betydning under grunnvannspeil, og siden profilen ligger ved enden av jordstykket, antas årsaken til redusert penetrasjon å være den samme som for profil C. Gjennomgående horisontale hendelser ved ca. 500 ns og etter 700 ns representerer støy.

Profil E

Profil E går parallelt med profil D (ca. 100 m lenger mot sør) og er vist øverst i kartbilag -05. Her er forsterkningen på plottet økt for om mulig å identifisere dypere reflektorer, uten at dette ga nevneverdig bedre resultat. Det eneste som ble oppnådd med dette var at refleksjon fra grunnvannsspeil ble mer diffus.

Profil F

Profilen er vist i kartbilag -06. Første del av profilen (posisjon 0-1024) er målt med flyttavstand 1 m, mens resten av profilen har flyttavstand 1.8 m. Ved starten av profilen (posisjon 0-200) ligger fjellet så grunt at refleksjon fra fjell ikke kan skiller fra direktepuls. Fra posisjon 210 stikker fjellet mot dypet og når maksimalt dyp på ca. 21 m ved posisjon 550, for deretter å ligge grunnere. I tillegg til antatt refleksjon fra grunnvannsspeil (ca. 50-80 ns), indikeres flere reflektorer i løsmassene i dette området. En hendelse ved tidsdyp ca. 500 ns som skrår mot dypet mellom posisjon 330 og 360, er åpenbart en multippel av fjellreflektoren. I området mellom posisjon 680 og 1020 synes fjellet å ligge på ca. 200 ns. Dette tilsvarer ca. 8 m dyp. Fra posisjon 900 øker den reflekterte energien og etter hvert reduseres oppløsningen. Dette skjer ved overgangen fra tørr og godt kultet veg til oppgravde og planerte masser der fuktinnholdet dagnært var større. Om dette er årsak til signaturoendringen er uklart.

I området rundt posisjon 1550 indikerer de seismiske målingene et fjelldyp på ca. 25 m (se pkt. 4.3). En mer eller mindre sammenhengende reflektor fra posisjon 1400 (ca. 300 ns) til posisjon 1900 (720 ns) representerer derfor trolig fjell. Maksimalt dyp til fjell blir da ca. 30 m.

Profil G

Profilen er vist i kartbilag -07. Ved starten av profilen framtrer klart en reflektor ved 550 ns (ca. 20 m dyp) og denne representerer ut fra tolkningen i profil A en lagdeling i sedimentene. Reflektorens amplitude varierer noe, men fra posisjon 700 svekkes den gradvis og drukner i støy ved posisjon 900. Årsaken til dette er trolig også her redusert penetrasjon på grunn av økt nitratinnhold i grunnvannet (jfr. profil C). Dette betyr i så fall at nitrat-plumen ikke bare går mot Glomma i sør (GREGR 1989) men har også en komponent mot Hasla i øst.

I den siste delen av profil G (posisjon 1600-3420) er plotteforsterkningen økt for om mulig å kunne identifiseres reflektorer under grunnvannsspeil. Bortsett fra et klart større dyp til grunnvannsspeil kan det ikke identifiseres noen klare, sammenhengende reflektorer.

Profil H

Profilen er vist i kartbilag -08. Dette profilen, som går langs veg parallelt med Glomma, viser flere horisontale reflektorer, hvorav den dypeste ligger på ca. 500 ns (ca. 16 m dyp). Den kan klart skiller fra støy ved at tidsdypet ned til reflektoren varierer og at reflektoren går oppover ved slutten av profilen. Sistnevnte forhold er en effekt av at terrenget her heller nedover mot elva. En hendelse ved tidsdyp ca. 600 ns (ca. 22 m dyp) kan være støy, men kan eventuelt representere samme hendelse som framtrer i 'common offset'-opptak (S3, se 4.3) ved ca. 17 m dyp. Dette stemmer relativt bra med Innbyrdes høydeforskjell mellom de to profilene. Det

er interessant å se at i dette området oppnås en betydelig penetrasjon under grunnvannsspeil, og det er heller ikke påvist økt nitratinnhold i dette området (Kitterød, pers. medd.) Alle hendelser etter 700 ns representerer støy.

Profil I

Profilen er vist i kartbilag -08. I dette profilen er topografien lagt inn, og i dybdeberegningene er hastigheten 0.07 m/ns under grunnvannsspeil og hastigheten 0.12 m/ns over grunnvannsspeil benyttet. Ut fra dette indikeres i hovedsak en nær horisontal lagdeling. Reflektor ved 350 til 400 ns i profil G ligger ved høyde 141 m.o.h. i profil I. Fra posisjon 135 og videre mot nordvest indikeres skråstilte reflektorer, hvorav én kan følges ned til 125 m.o.h. (40 m dyp). Denne kan ikke umiddelbart tilskrives et geologisk fenomen, men ut fra datagrunnlaget er den meget klar og kan heller ikke skyldes prosesseringseffekter.

4.3 Refleksjonsseismikk

Ved prosesseringen er den PD-baserte programpakken Interpex/Selstrix-2 benyttet. Prosesseringsrekkefølge og -parametre er listet i databilag 2. Ferdig prosessert seismisk tidsseksjoner er presentert i databilag 3 (CDP og 'common offset'). Her vises kun halve opptakstiden, fordi hendelser etter 150 ms representerer multipler.

Selv om det ikke kunne tolkes refleksjoner langs profil S1 og S2 (se kartbilag -01), var det mulig å se refraksjoner i enkeltopptak. På bakgrunn av knekkpunktavstander ble dyp til fjell bestemt under enkelte skuddpunkt. Disse beregningene er dog lite nøyaktige på grunn av manglende motskudd, og derfor benyttes bare tilsynelatende hastigheter ved beregningene. Ved starten av S1 er det ca. 9 m til fjell. Det grunne dypet til fjell forklarer hvorfor refleksjonsseismikk ikke kan anvendes her. Slike målinger kan kun kartlegge reflektorer som ligger dypere enn 15-20 m. Dyp til fjell langs S2 ligger på ca. 25 m. Her ble anvendelsen av refleksjonsseismikk begrenset av løst pakket, uelastisk materiale i overflaten. Dette medfører demping av høyfrekvent energi, slik at refleksjoner fra grunne reflektorer ikke så lett kan påvises.

Fra 'common offset'-opptaket sees flere horisontale reflektorer. De mest markante opptrer ved 20 ms, 50 ms, 75 ms, 90 ms, 95 ms og 110 ms. Ingen av disse reflektorene kan identifiseres som multipler av andre. Reflektor på 110 ms representerer fjell. Dette er bekreftet ved refraksjonsseismiske målinger, som ga dyp til fjell på ca. 80 m. Seismisk hastighet i fjell ble ved refraksjonsseismikk funnet å være 5000 m/s, mens hastighet i løsmassene var 1500 m/s. CDP-seksjonen viser stort sett de samme reflektorer som 'common offset'-opptaket, men amplitudeutslaget for reflektorene varierer langs profilen, dessuten viser CDP-opptaket en tendens til 'ringing' som gjør det vanskelig å skille de mest markante reflektorene fra hverandre. Gjennomsnittlig seismisk hastighet i løsmassene ble ved hastighetsanalyser funnet å være ca. 1480 m/s. Denne hastigheten er litt lavere enn hastighet funnet ved refraksjonsseismikk. Dette skyldes et tynt lavhastighetslag øverst som reduserer gjennomsnittlig seismisk hastighet. Hastigheten 1480 m/s er benyttet ved opptegning av dybdeskala på seksjonene i databilag 2. En grunnreflektor på 20 ms trer ikke så klart fram i CDP-seksjon på grunn av interferens med direktebølgen for store

skudd-geofonavstander. Sett under ett gir 'common offset'-opptaket mest informasjon i dette tilfellet.

5. SLUTTBEMERKNINGER

Refleksjonsseismiske målinger har bare ved ett av de tre profiler gitt informasjon, men til gjengjeld fikk en svært gode data i dette profilet (profil S3, nede ved Glomma). Her ble det påvist ialt 6 reflektorer, der den nederste representerer fjell på ca. 80 m dyp. Årsaken til at metoden mislyktes ved de to andre profilene kan tilskreves for lite dyp til fjell (ved S1) og stor demping av energien i løsmassene (ved S2).

Georadarprofileringen har stedvis gitt meget detaljert avtegning av løsmassenes mektighet og oppbygning. Største angitte dyp til fjell er på ca. 30 m, men det er påvist en refleksor som kan følges ca. 40 m ned i løsmassene. Grunnvannsspill er ikke alltid like lett å identifisere på grunn av interferens med direktepuls fra sender til mottaker. Ved profilering over jordstykket som har vært utsatt for overdreven gjødsling viser georadarmålingene redusert penetrasjon. Dette indikerer at georadaren kan påvise og kartlegge meget svake forurensninger. I deler av enkeltprofil har en mye energi uten at det kan identifiseres reflektorer. Det er nødvendig med utvidete undersøkelser for å finne årsak til denne effekten.

Trondheim, 12/12-91
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
Geofysisk avdeling


Jan S. Rønning
Forsker


Eirik Mauring
Forsker

6. REFERANSER

Einan, B.S. 1989: En modellering av grunnvannets bevegelse på Haslemoen ved endelige elementers metode. Hovedoppgave ved Institutt for Geofysikk, Universitetet i Oslo.

Englund, J.O., Bjerklund, E. & Meyer, K.F. 1985: Nitrogen i grunnvann fra endel områder i sydøst-Norge. Institutt for geologi, Norges landbrukshøgskole, rapport nr. 23, 4 pp.

Englund, J.O. & Haldorsen, S. 1986: Profiles of nitrogen species in a sand-silt aquifer at Haslemoen, Solør, South Norway. Nordic Hydrology 17, pp. 295-304.

Englund, J.O., Hongve, D. & Sæland, S. 1990: Areal use - groundwater quality, particularly with respect to nitrate. Case studies from southeastern Norway. Norwegian national institute of public health. SIFF Rapport nr. 78 (ISSN 0801-3519).

GREGR 1989: Groundwater REsearch GRoup, Oslo, Norway. Annual report 1989.

Haldorsen, S., Deinboll Jensen, P. & Samuelsen, J.M. 1986: Hydrogeological properties of the fine sand-coarse silt ('Koppjord') in Solør, Southeastern Norway, Norsk geologisk tidsskrift 66, pp. 223-233.

Høye, T. & Sand, M. 1983: Geofysiske undersøkelser av kvartære sedimenter ved Haslemoen og Flisa, Hedmark. Hovedoppgave ved Institutt for geologi, Universitetet i Oslo, 123 pp.

Jakobsen, B. 1987: Grunnvannsdannelse, Haslemoen. Et modellstudium. Hovedoppgave ved Institutt for geofysikk, Universitetet i Oslo, 67 pp.

Jakobsen, B., Gottschalk, L., Haldorsen, S. & Høstmark, A.K.S. 1990: Groundwater recharge studies of fluvial deposits at Haslemoen, Solør, Southeastern Norway. Norsk geologisk tidsskrift vol. 70 nr. 1.

Nordal, O. 1986: Grunnvannsbalanse - en modellstudie fra Haslemoen. Hovedoppgave ved Institutt for geologi, Norges landbrukshøgskole.

Sæland, S. 1987: Arealbruk - nitratbelastning på grunnvatn. Hovedoppgave ved Institutt for Jordfag, Norges landbrukshøgskole, 100 pp.

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 tovels gangtid (t_{2v}) til de forskjellige reflektorene avleses. For å bestemme virkelig dyp til en refleksor må bølgehastigheten (v) i overliggende medium være kjent eller kunne bestemmes.

Bølgehastigheten kan bestemmes ved CMP-målinger ('common mid-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 refleksor som er planparallell med overflaten. Når antenneavstanden øker, vil reflekterte bølger få lenger gangvei og økning i gangtid. Denne økning i gangtid kan det ved digitale opptak kompenseres for ved å utføre NMO-korreksjon ('normal move-out'). Størrelsen på korreksjonen er avhengig av antenneavstand, tovels gangtid og bølgehastighet i materialet over reflektoren. Et CMP-opptak korrigeres med forskjellige hastigheter, og den hastighet som etter NMO-korreksjon gir best amplitude etter summering av trasene, angir radarbølgehastigheten i mediet.

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

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

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

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

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

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

antennefrekvens vil føre til hurtigere demping 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.

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

Tabell over relativt dielektristetstall, 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

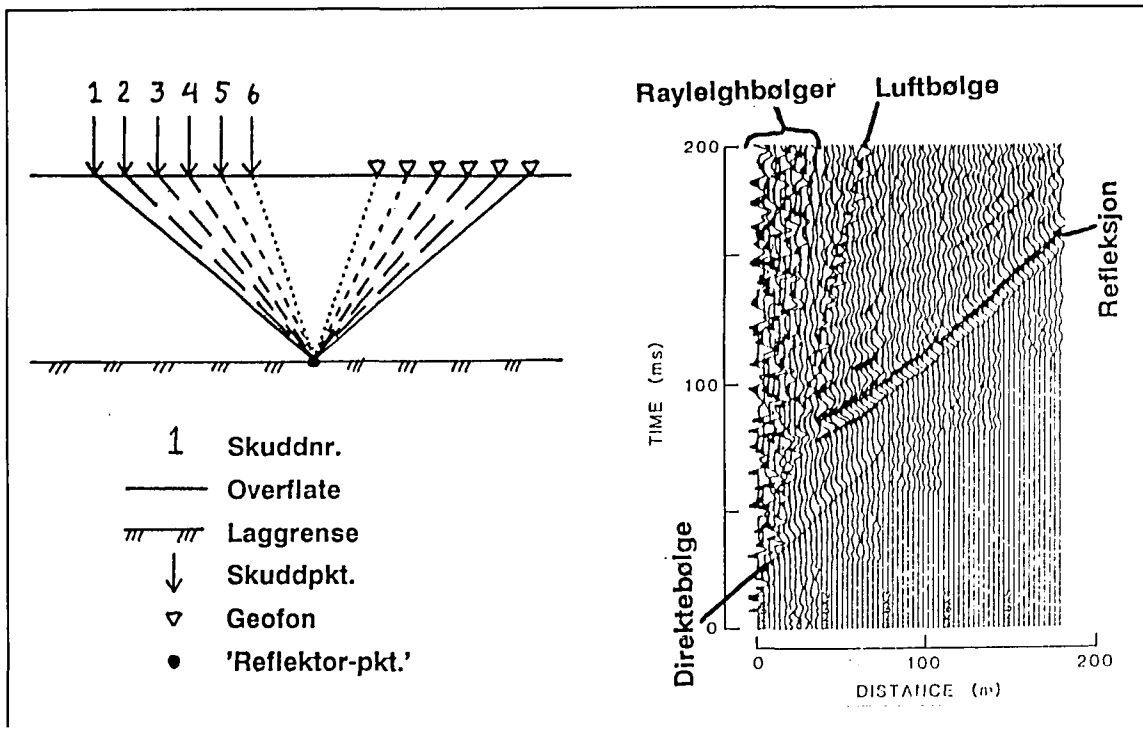
I løpet av de siste årene har det skjedd en utvikling av digitalt refleksjonsseismisk utstyr i retning av høyere oppløsning og mindre tidkrevende prosessering. Oppløsningen er proporsjonal med registrerte signalers frekvensinnhold og seismisk hastighet. Man anvender derfor energikilder som gir høyfrekvent energi. Et eksempel på en slik kilde er haglpatroner avfyrt fra en spesiellagde bøsse. 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 'reflektorpunkt'. 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 senere 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.



stre viser et opplegg for målinger ved 'common depth point'-teknikken. Figuren til høyre viser et utvalg av selsmske hendelser som er vanlig 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 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/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 dekonvolving 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 dekonvolving 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 selsmsk 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 selsmiske 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 selsmisk 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 selsmisk seksjon blir detaljer om oppdrag, opptaksparametre og prosessering skrevet ut.

Tolkning

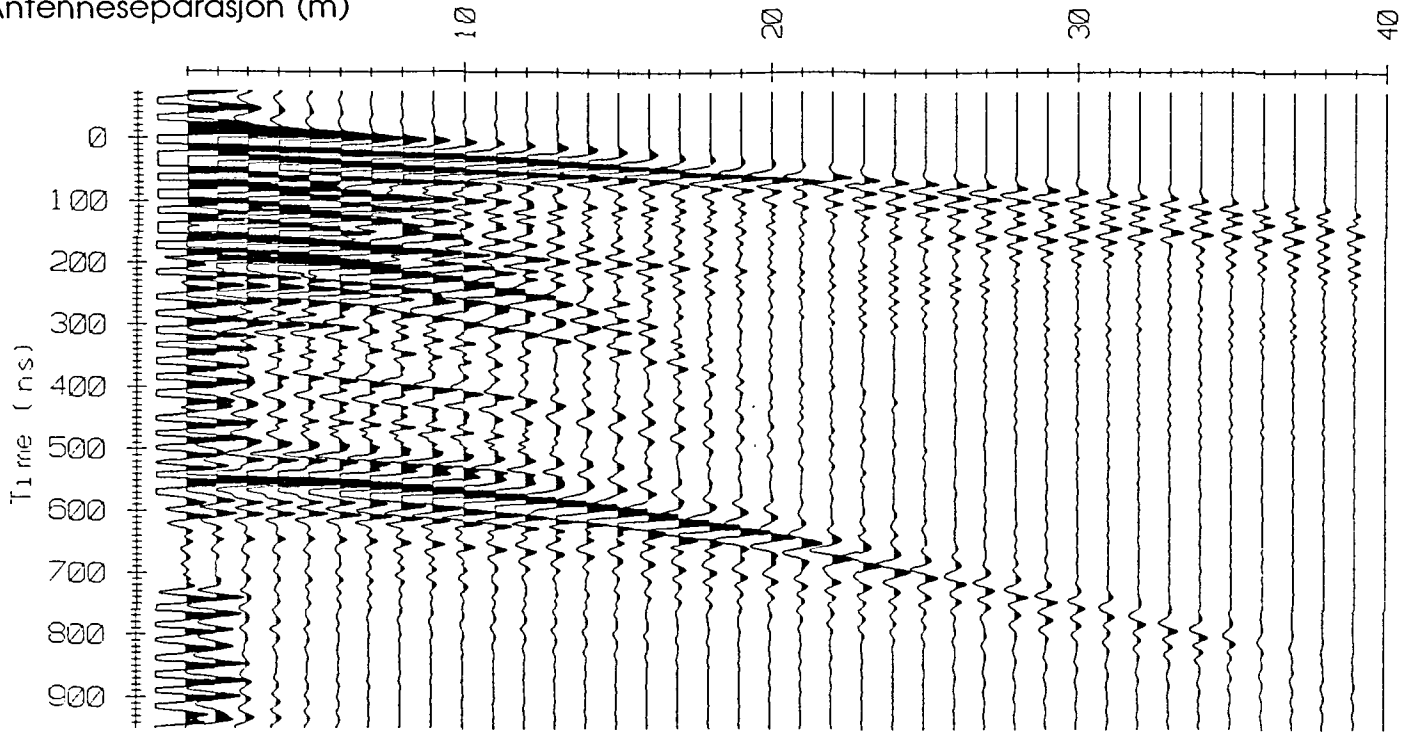
Tolkning av ferdig prosessert selsmisk seksjon baserer seg på gjenkjenning og sammenknytning av refleksjoner. Sammenholdt med opplysninger om selsmiske hastigheter avledes en geologisk modell, der man også trekker inn resultater fra eventuelle andre undersøkelser.

P-BØLGEHASTIGHET I NOEN MATERIALTYPER

Luff		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

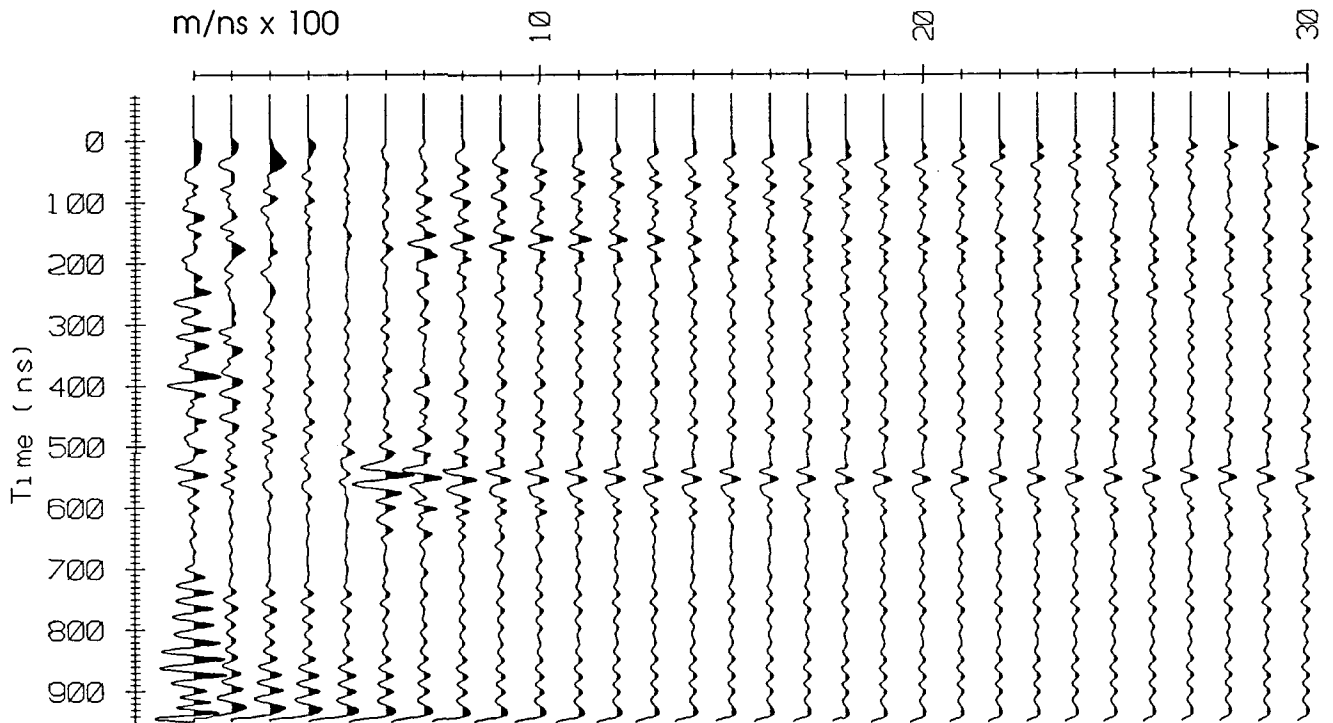
Opptak

Antenneseparasjon (m)

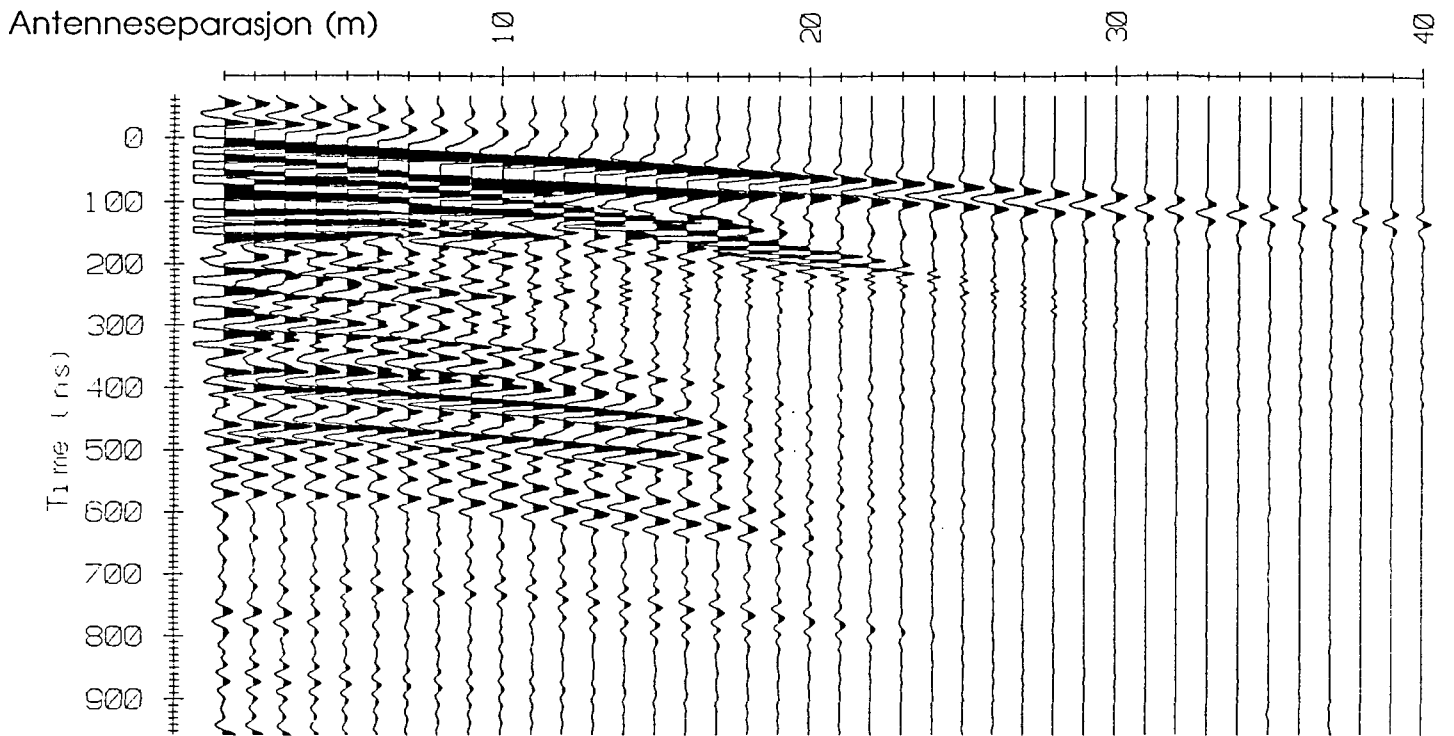


RMS-hastighet

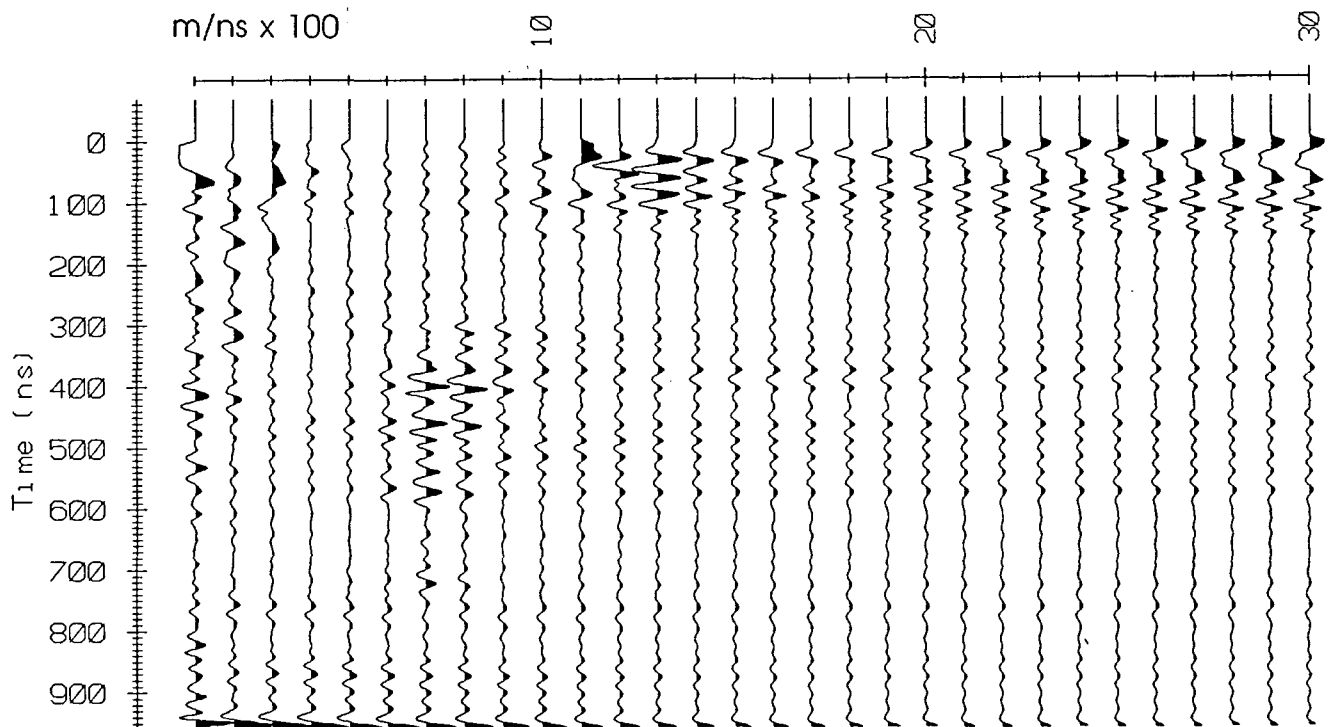
m/ns x 100



Opptak :

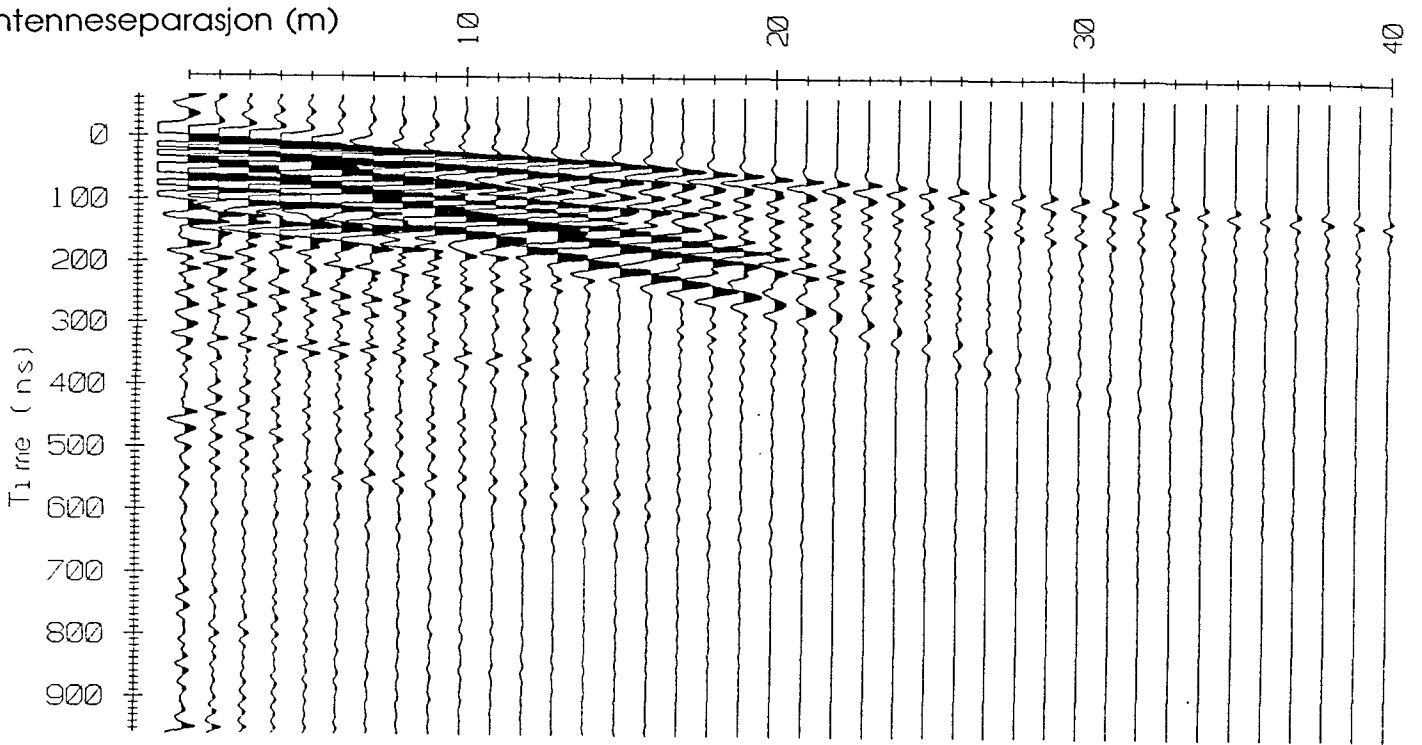


RMS-hastighet



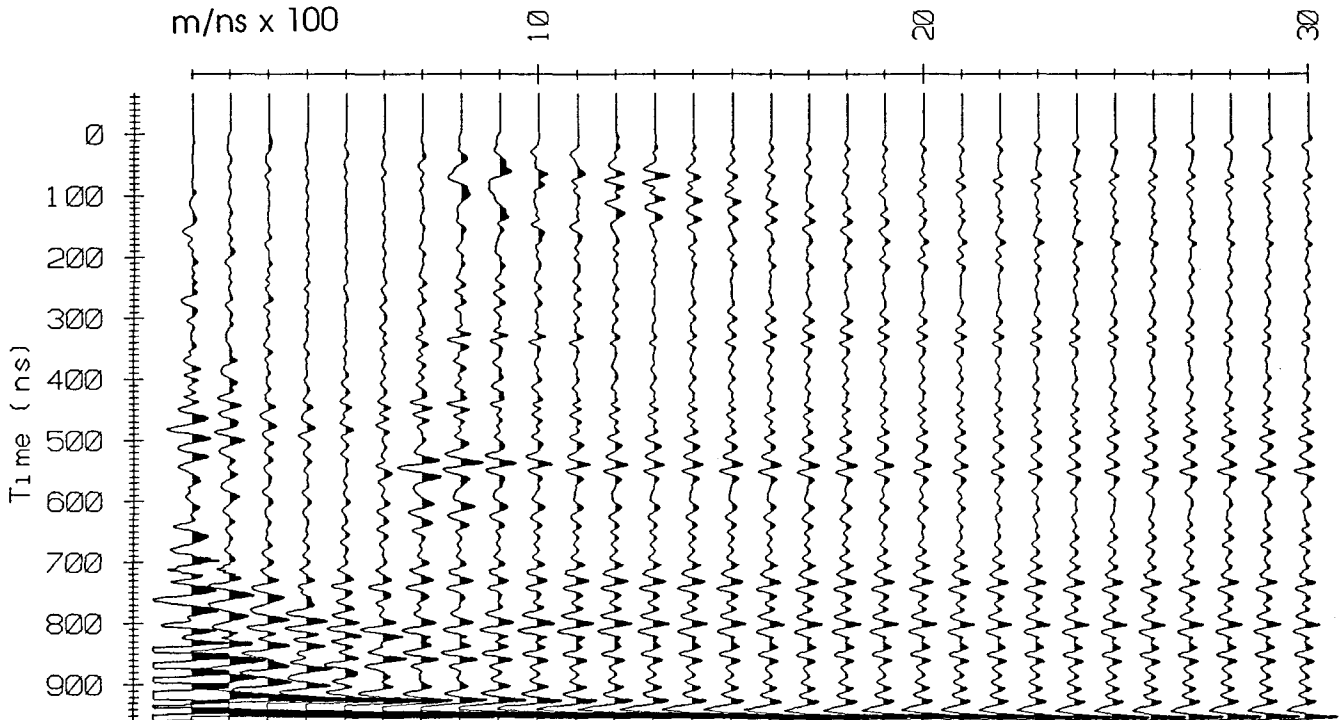
Opptak

Antenneseparasjon (m)

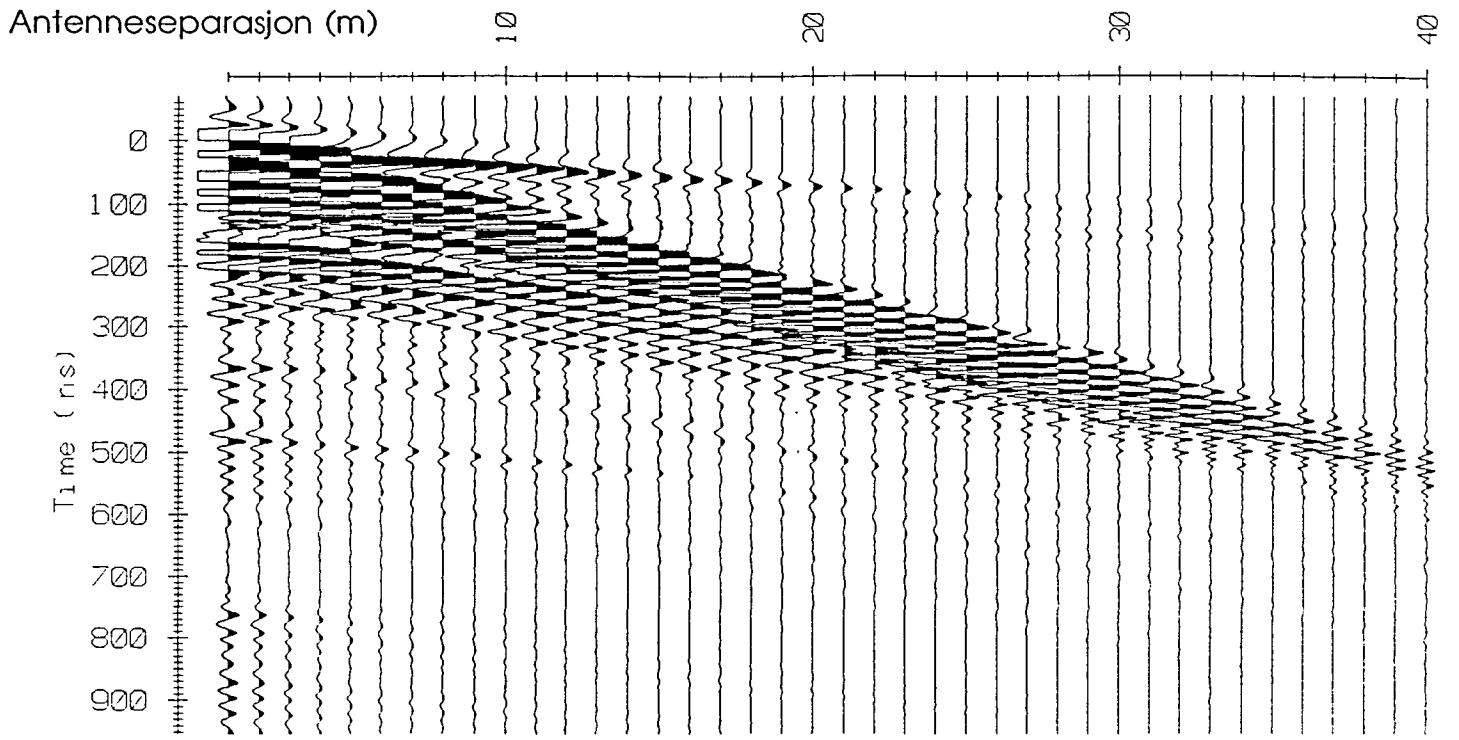


RMS-hastighet

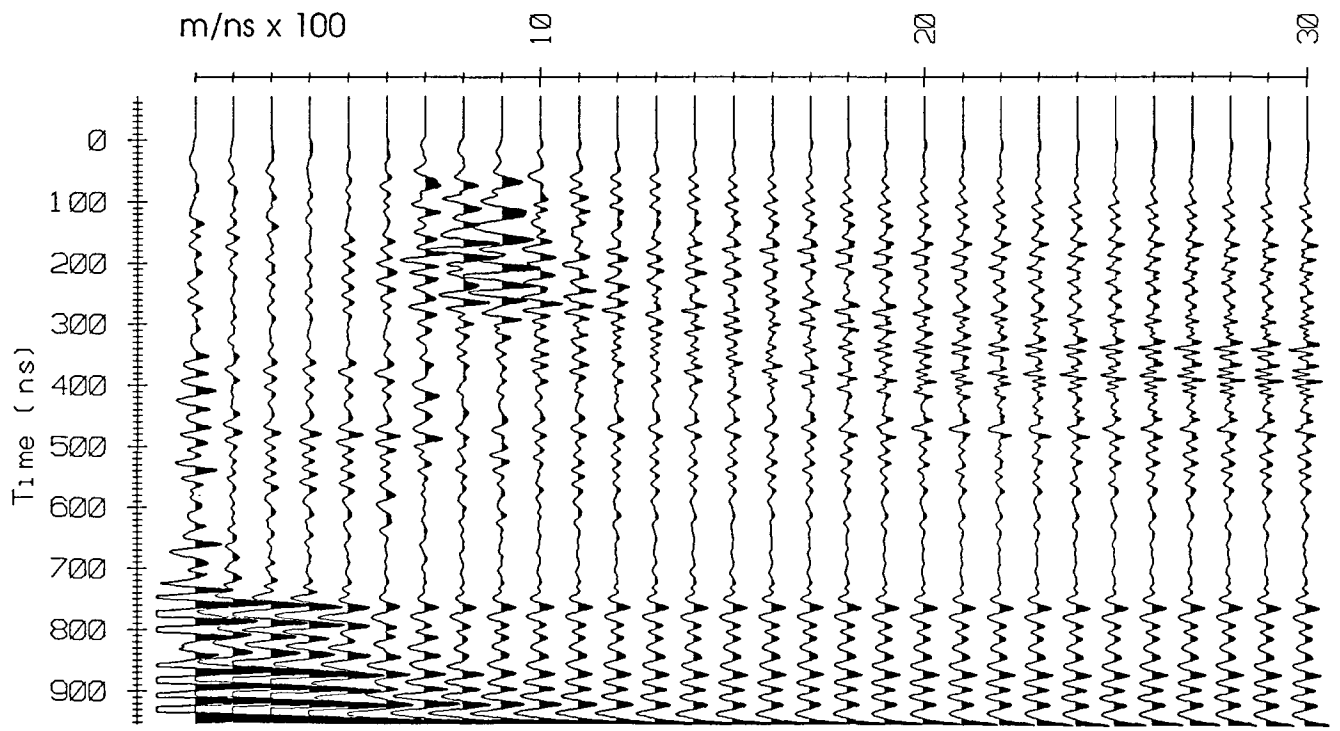
m/ns x 100



Opptak

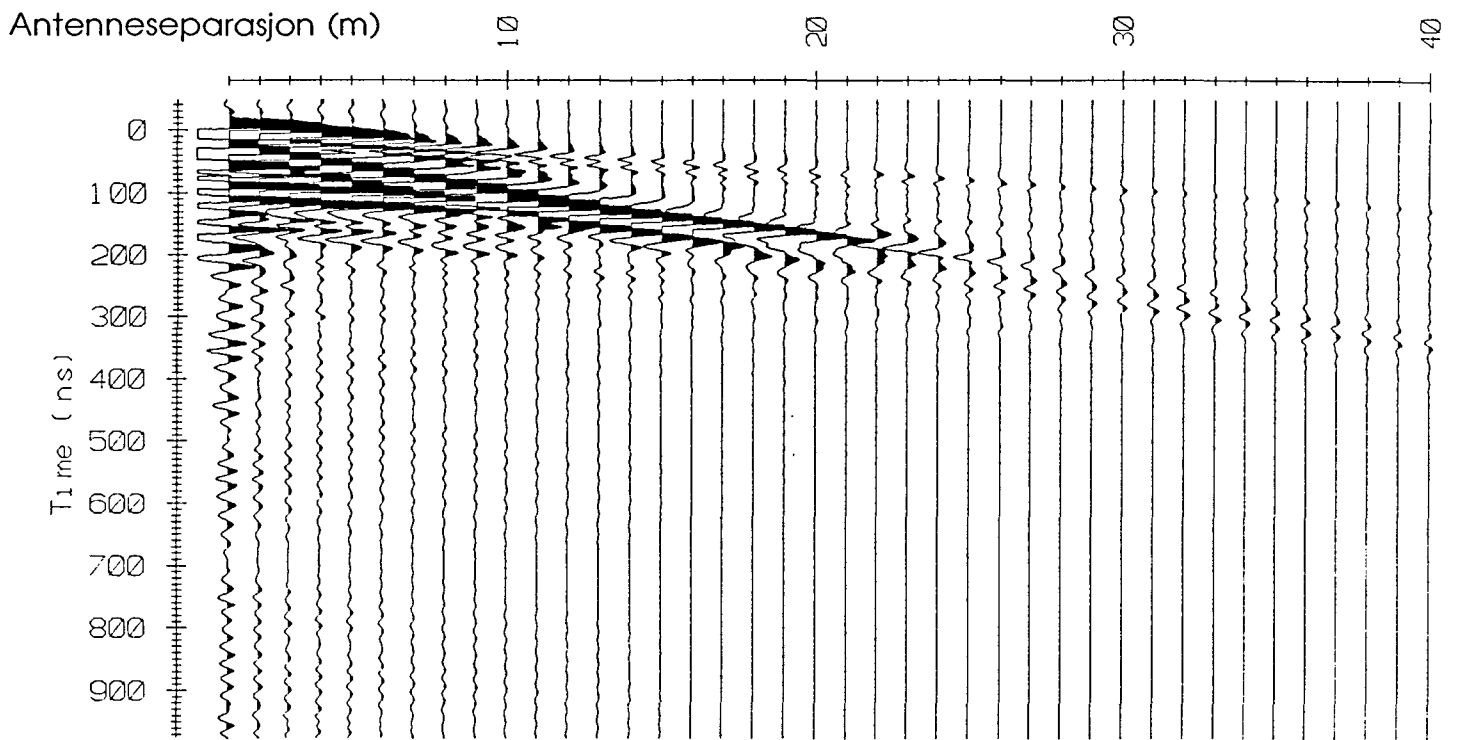


RMS-hastighet

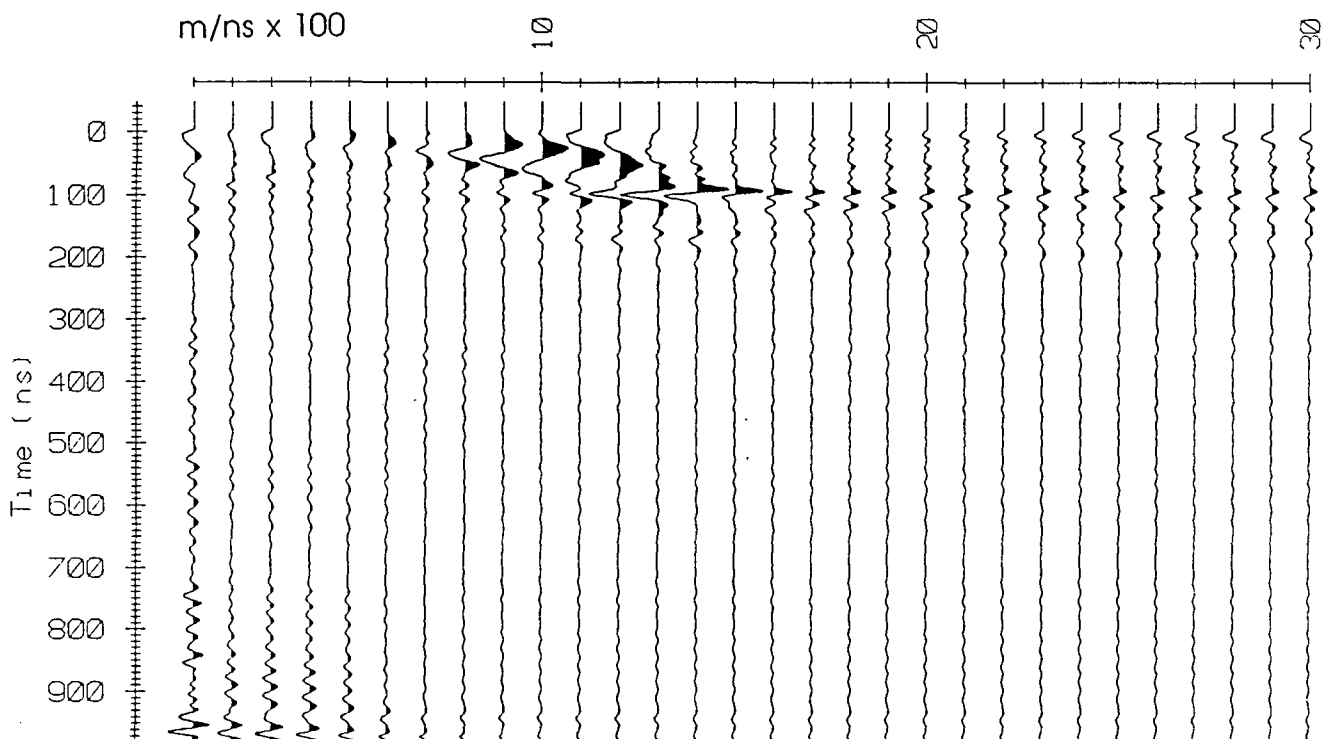


CMP5

Opptak

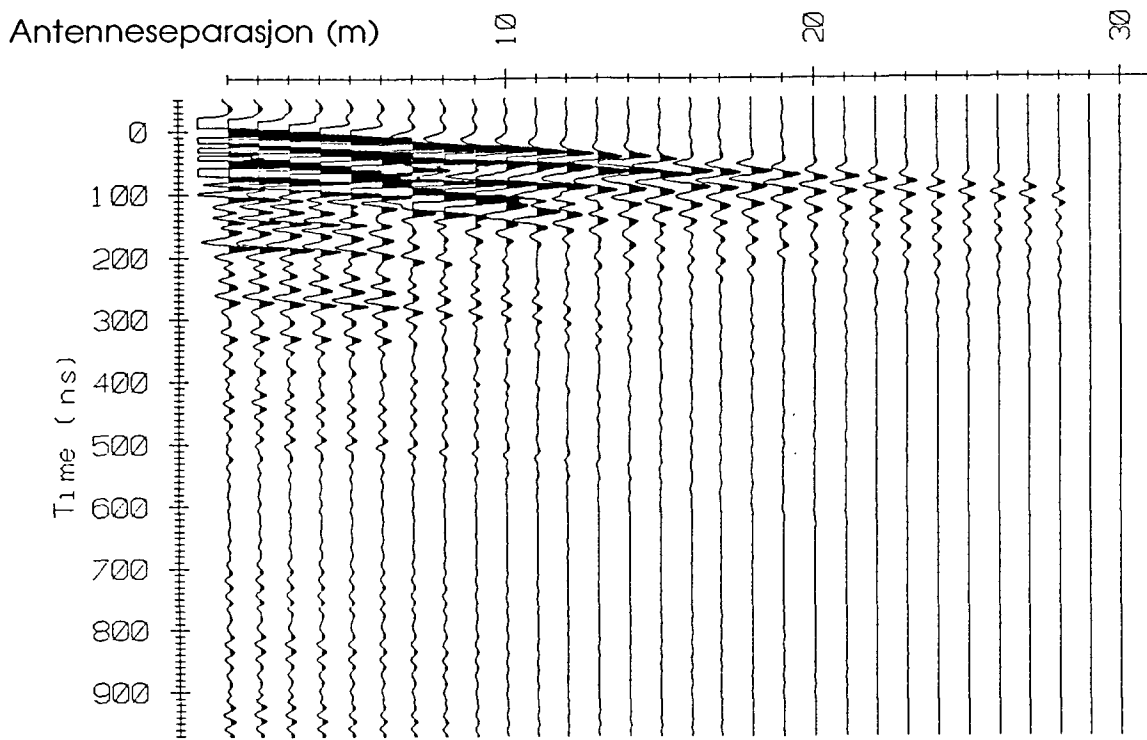


RMS-hastighet

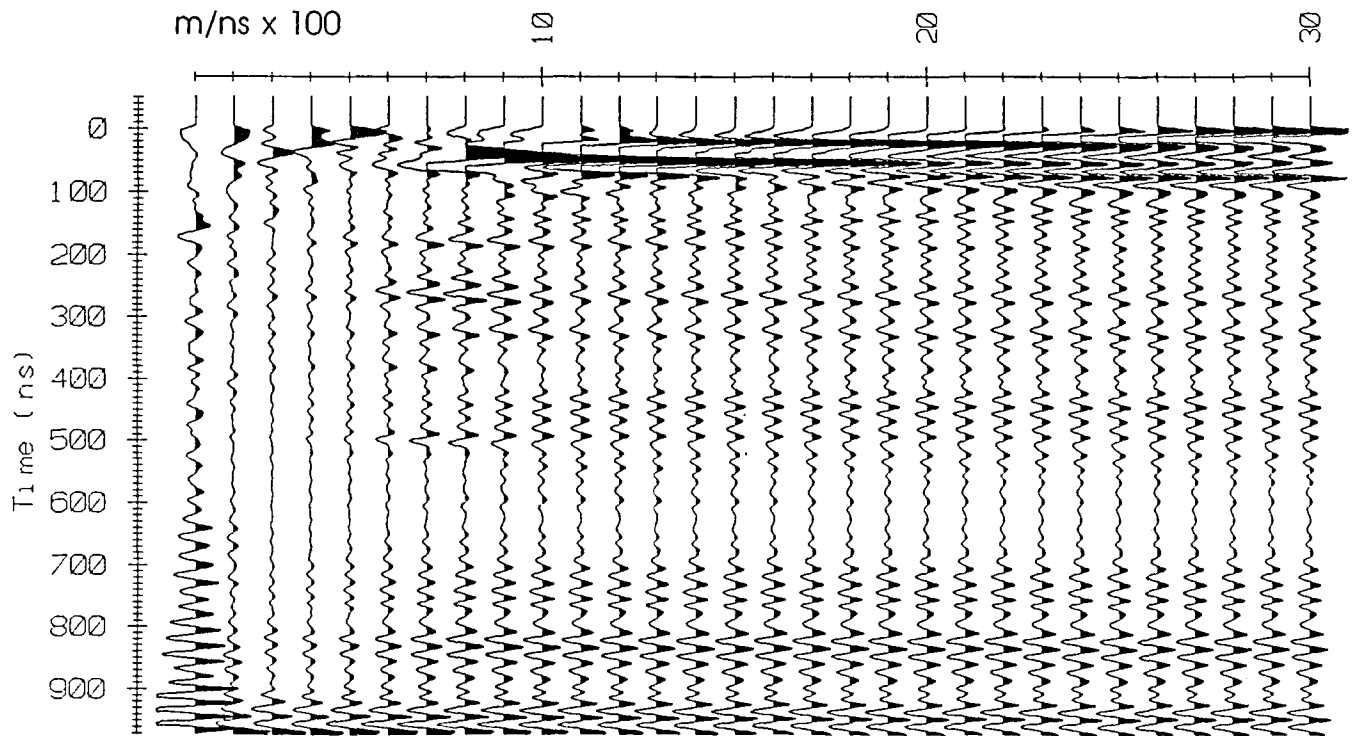


CMP6

Opptak



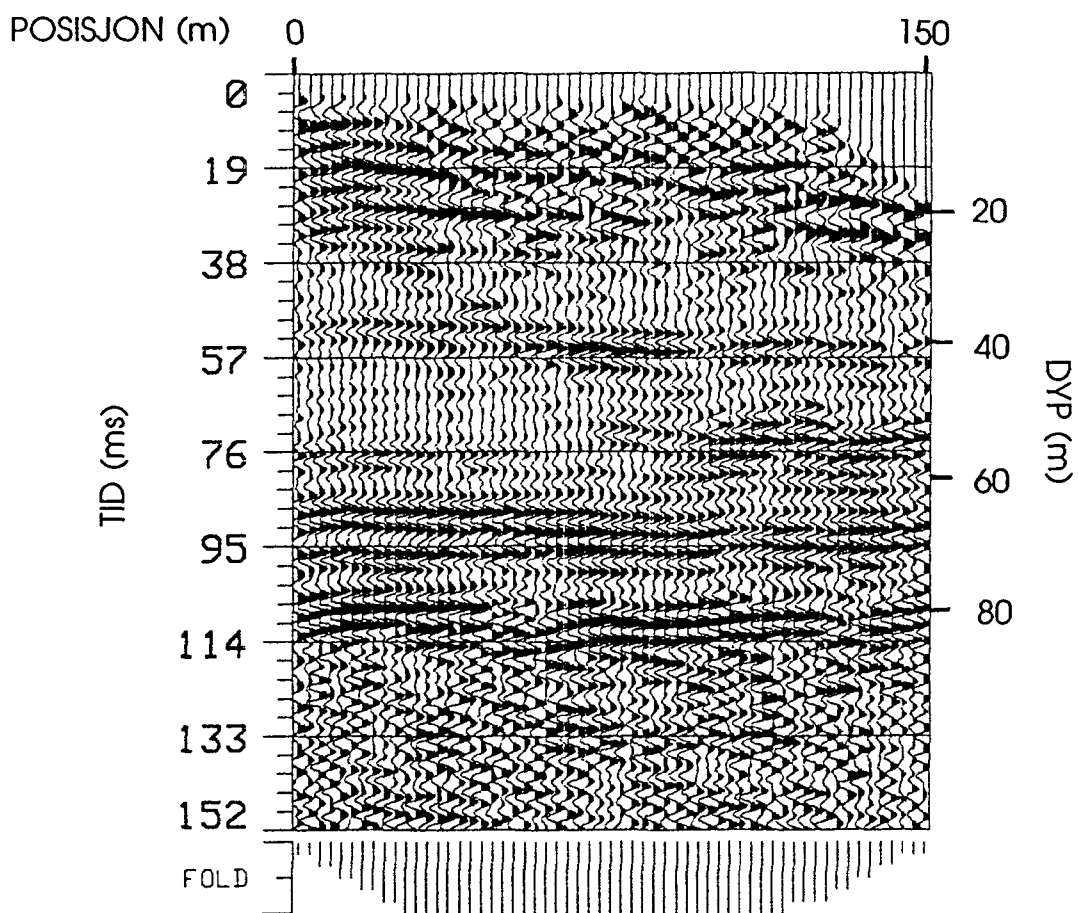
RMS-hastighet



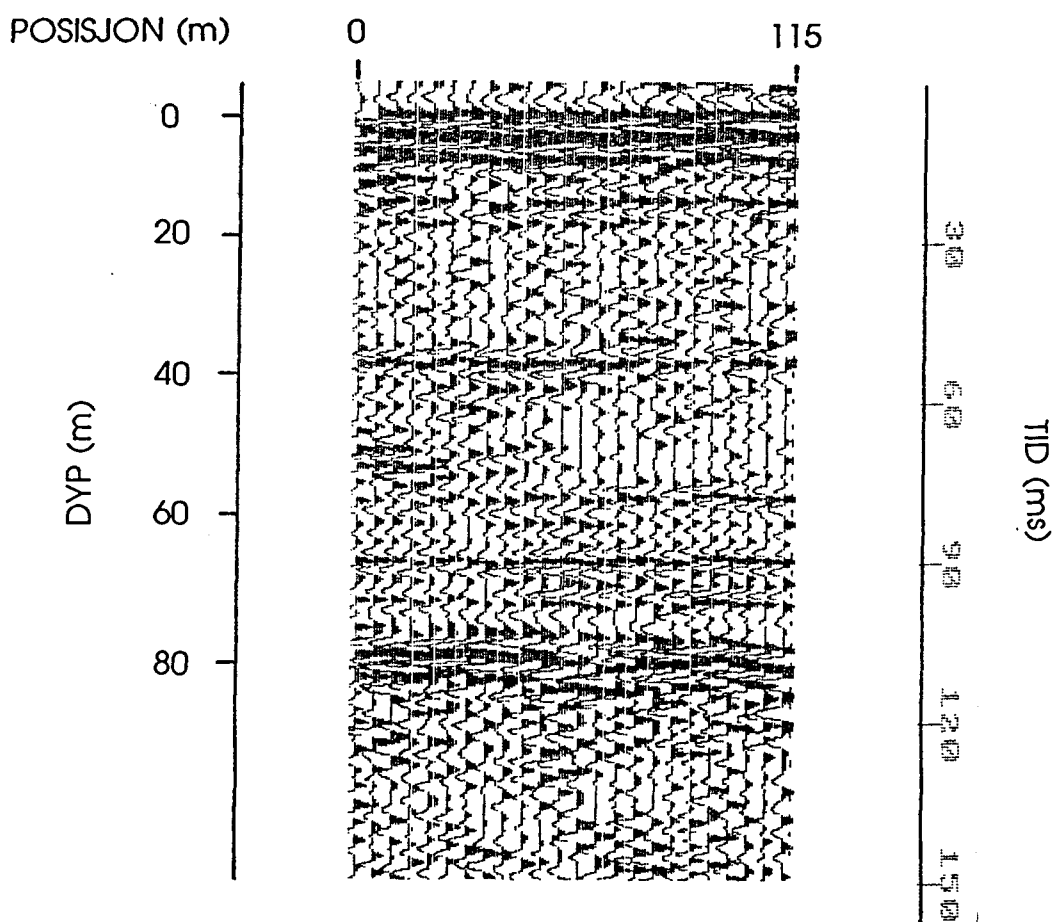
Prosesseringsparametre, CDP

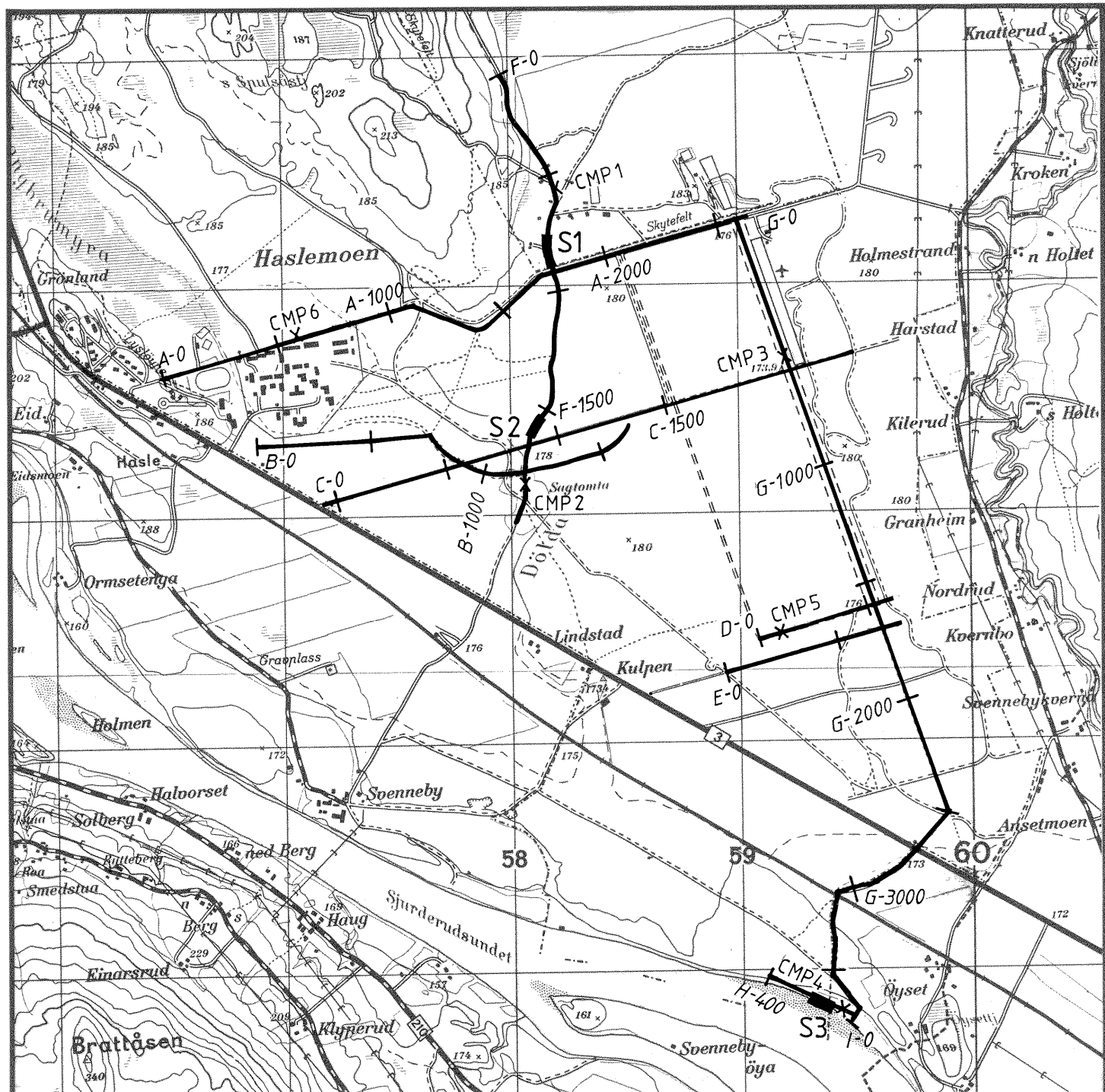
<p>LINE: Profil 3</p> <p>Hedmark</p> <p>Haslemoen</p> <p>CLIENT: NGU</p> <p>FOLD: 6</p> <p>BY: Geological Survey of Norw</p>	<p>SEQUENCE</p> <p>DATUM STATICS</p> <p>TRACE EDITING</p> <p>BANDPASS FILTER</p> <p>CDP SORT</p> <p>VELOCITY ANAL.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>CDP</th> <th>VEL< M/S></th> <th>T0<MS.></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9</td> <td>1489</td> <td>105</td> </tr> <tr> <td>29</td> <td>1478</td> <td>110</td> </tr> <tr> <td>49</td> <td>1467</td> <td>105</td> </tr> </tbody> </table> <p>RESIDUAL STATICS</p> <p>NORMAL MOVEOUT STACK</p> <p>TRACE SCALING</p>	CDP	VEL< M/S>	T0<MS.>	9	1489	105	29	1478	110	49	1467	105	<p>PROCESSING PARAMETERS</p> <p>Flat</p> <p>VELOCITY 1 < M/S></p> <p>DATUM 0 M</p> <p>209 TO 400 HZ.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>CDP</th> <th>VEL< M/S></th> <th>T0<MS.></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>19</td> <td>1489</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>39</td> <td>1500</td> <td>105</td> </tr> </tbody> </table> <p>WINDOW 6. MS</p> <p>MAX. SHIFT 3. MS</p> <p>STRETCH .5</p> <p>STRAIGHT STACK</p> <p>SCALAR 1.</p> <p>RMS AMPLITUDE AGC</p> <p>TIME GATE 46 MS</p> <p>AMPLITUDE 375.</p> <p>TRACE BALANCING</p>	CDP	VEL< M/S>	T0<MS.>	19	1489	100	39	1500	105
CDP	VEL< M/S>	T0<MS.>																					
9	1489	105																					
29	1478	110																					
49	1467	105																					
CDP	VEL< M/S>	T0<MS.>																					
19	1489	100																					
39	1500	105																					
<p>RECORDING PARAMETERS</p> <p>RECORDED BY Jan S. Ronning</p> <p>ENERGY SOURCE 12 gauge shot gun</p> <p>INTERVAL GROUP: 5 SOURCE: 5 M</p> <p>TRACES 12 RECORD LENGTH 307. MS.</p> <p>RECORDING FILTER 100 800 HZ</p> <p>INSTRUMENT Scintre</p> <p>SAMPLE RATE .3 MS. DELAY 0 MS.</p> <p>GEOPHONE GROUP LENGTH 0 M</p> <p>SPREAD-Offend 0 - 10 -65</p> <p>DATE RECORDED 4 /5 /91</p> <p>DATE PROCESSED 12/5 /1991</p>																							

Profil 3, CDP

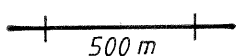


Profil 3, 'Common offset'





TEGNFORKLARING



— S1

X CMP

MÅLT PROFIL GEORADAR

MÅLT PROFIL REFLEKSJONSSEISMIKK

LOKALITET FOR HASTIGHETSANALYSE

NGU - NVE - NTNF
 OVERSIKTSKART
HASLEMOEN
 VÅLER, HEDMARK

MÅLESTOKK

1 : 25000

MÅLT JSR/TL 05 og 08.91

TEGN JSR 12.91

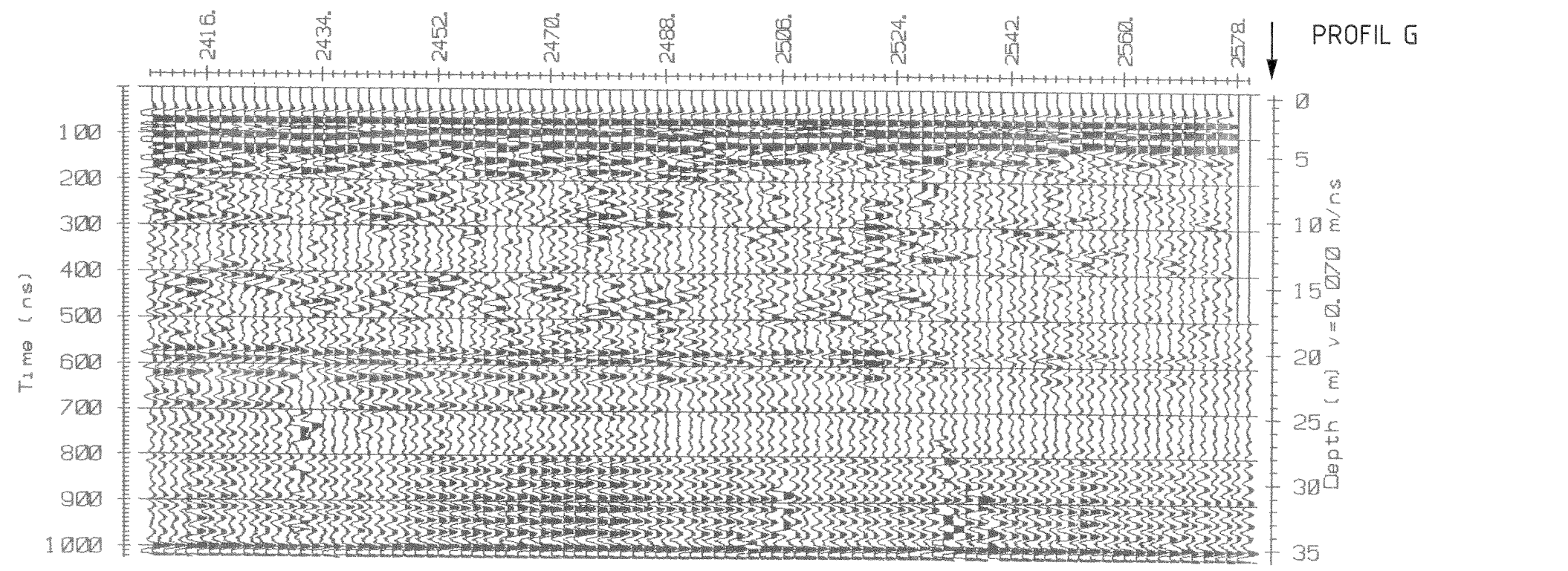
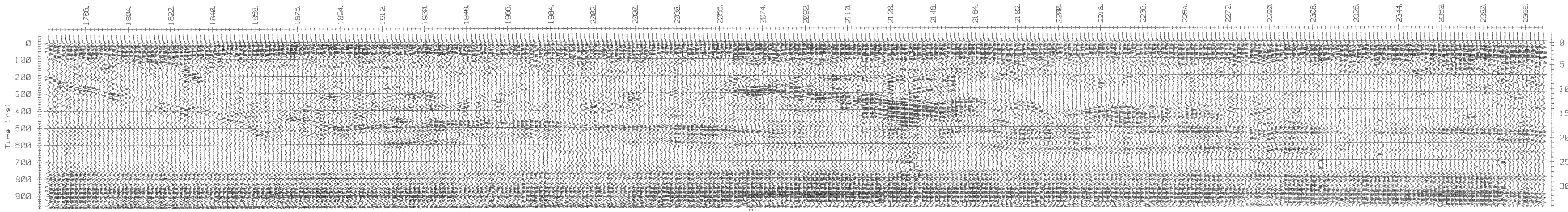
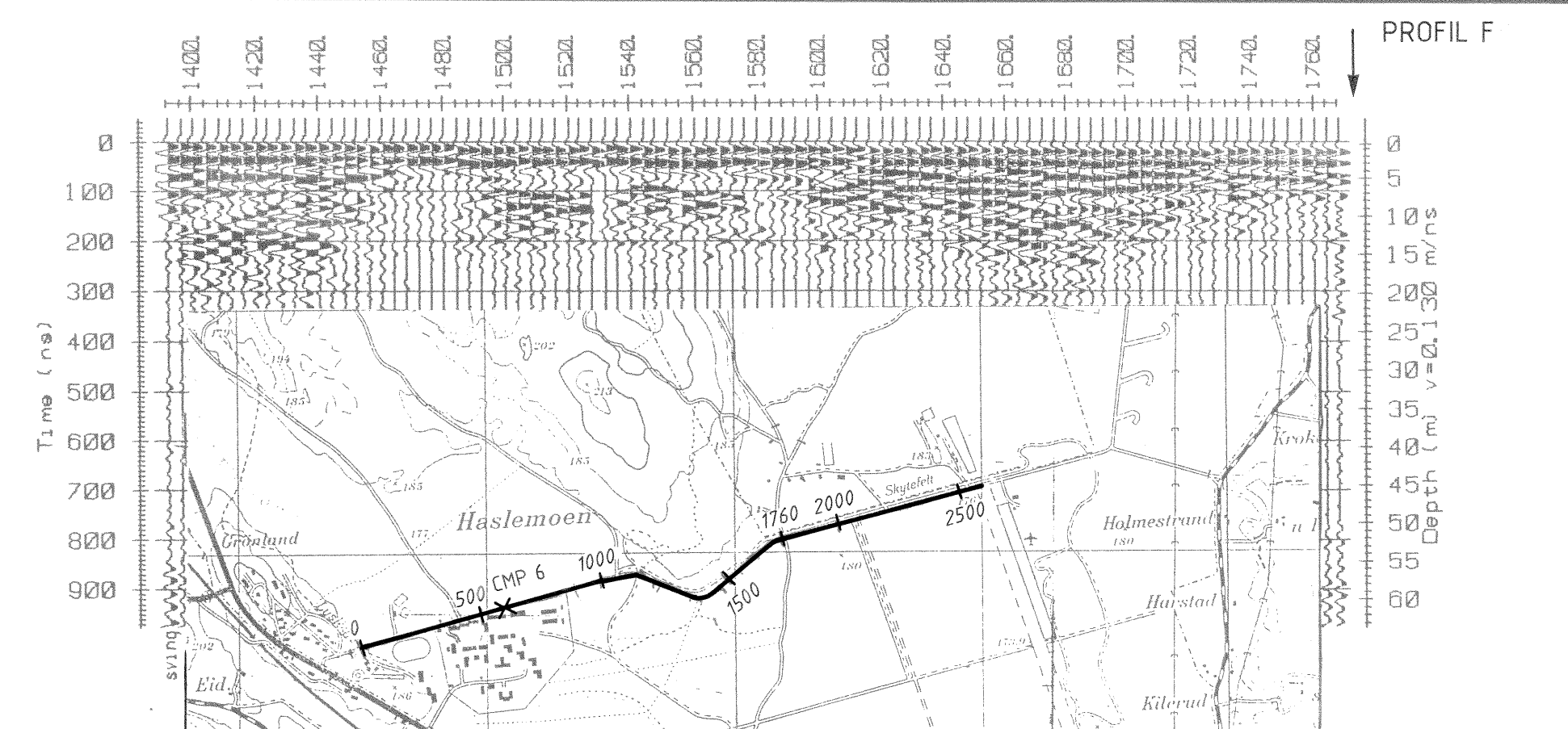
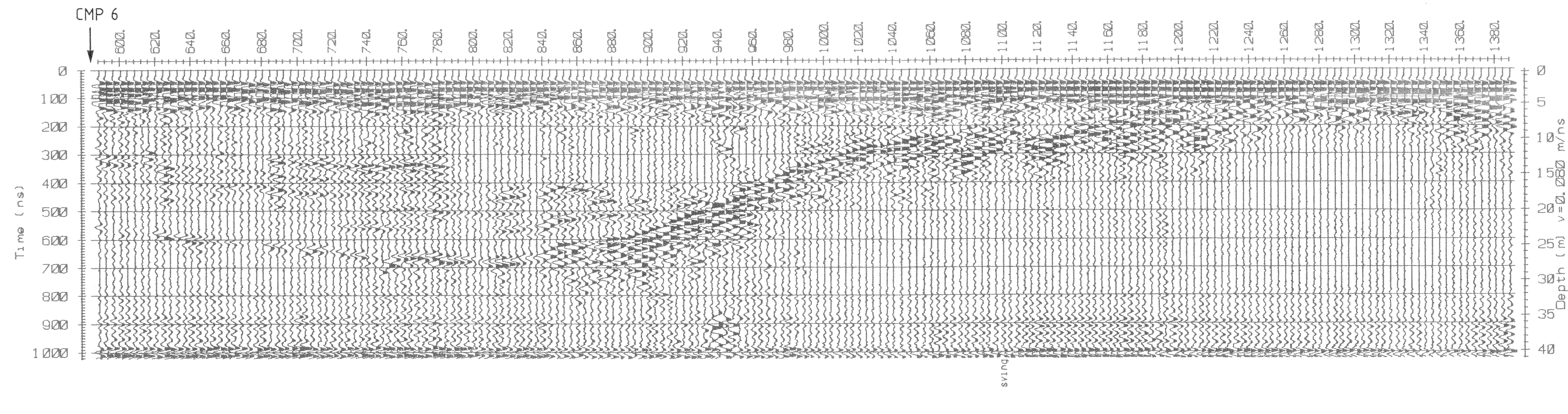
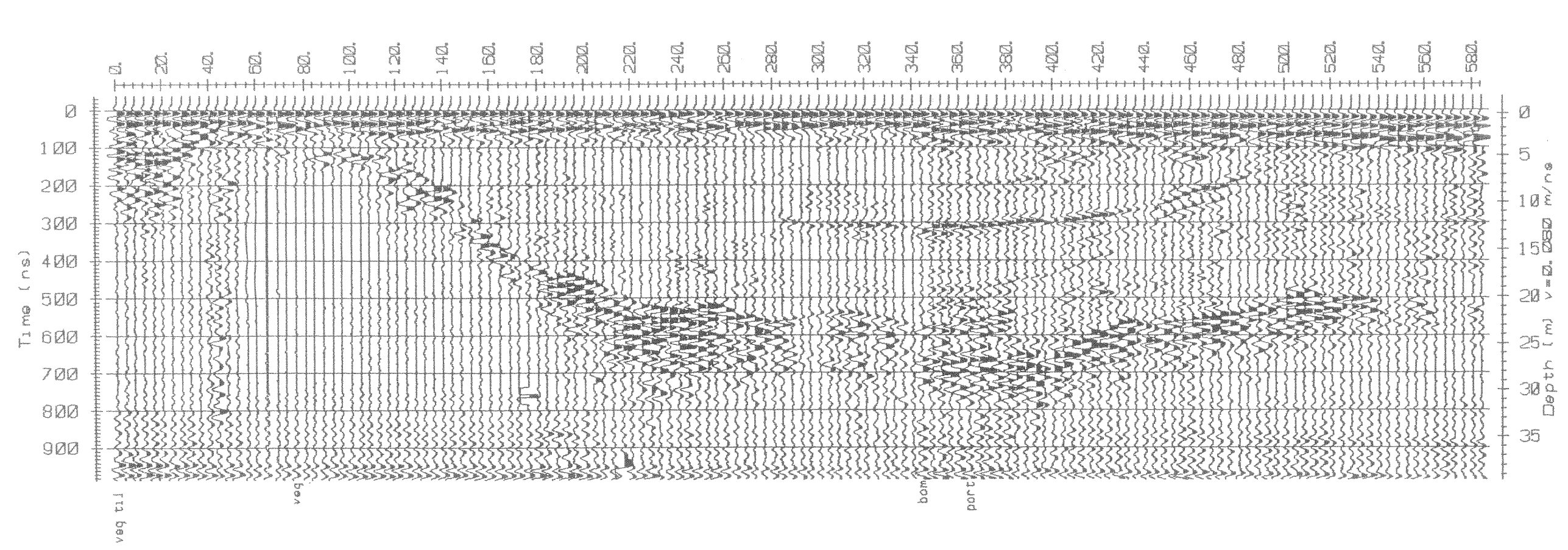
TRAC

KFR.

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

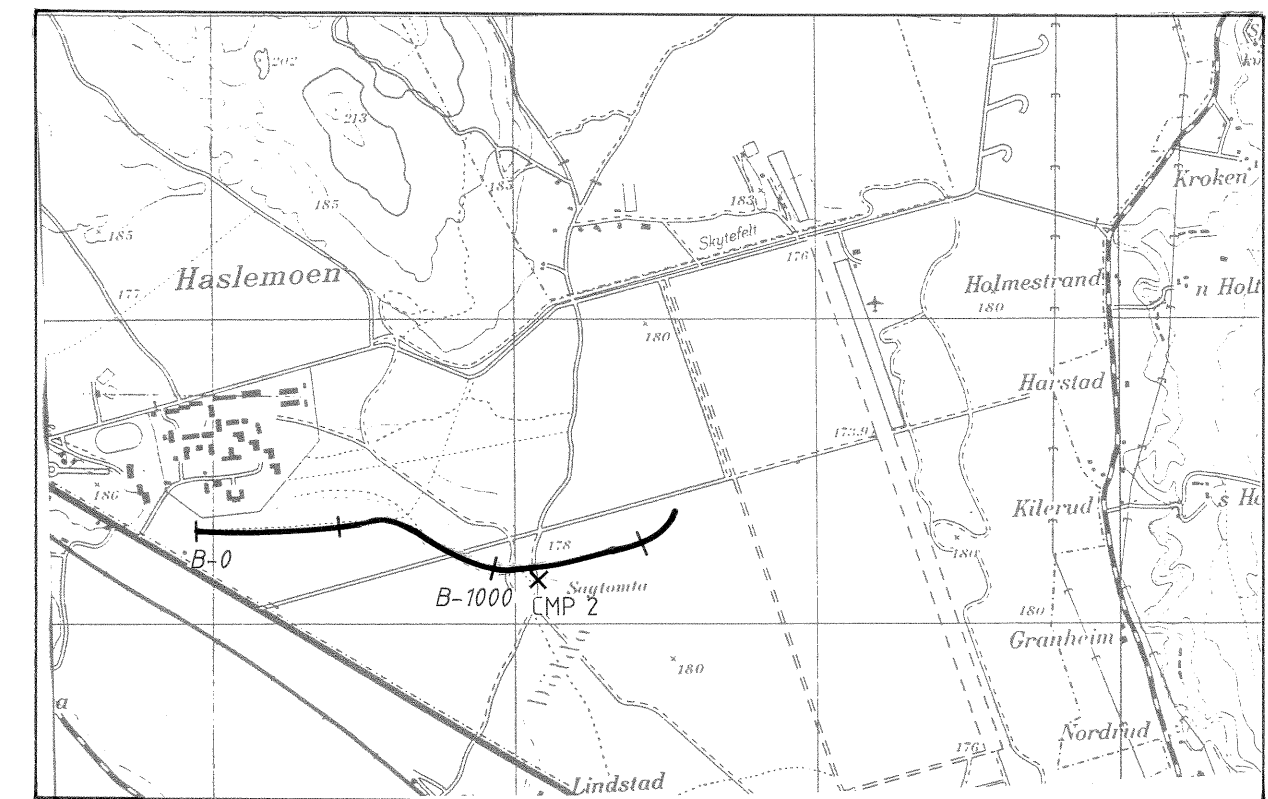
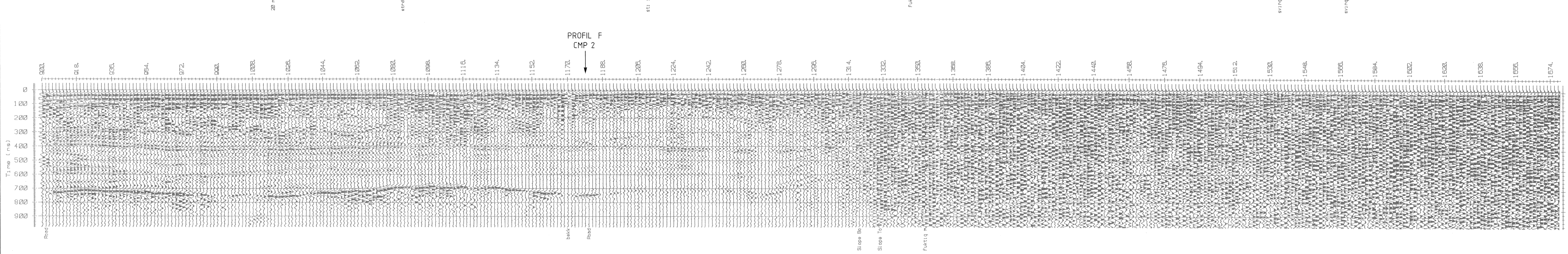
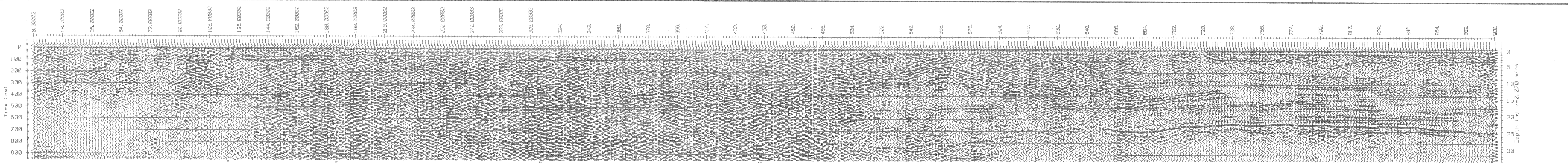
TEGNING NR.
 91.270-01

KARTBLAD NR.
 2016 II



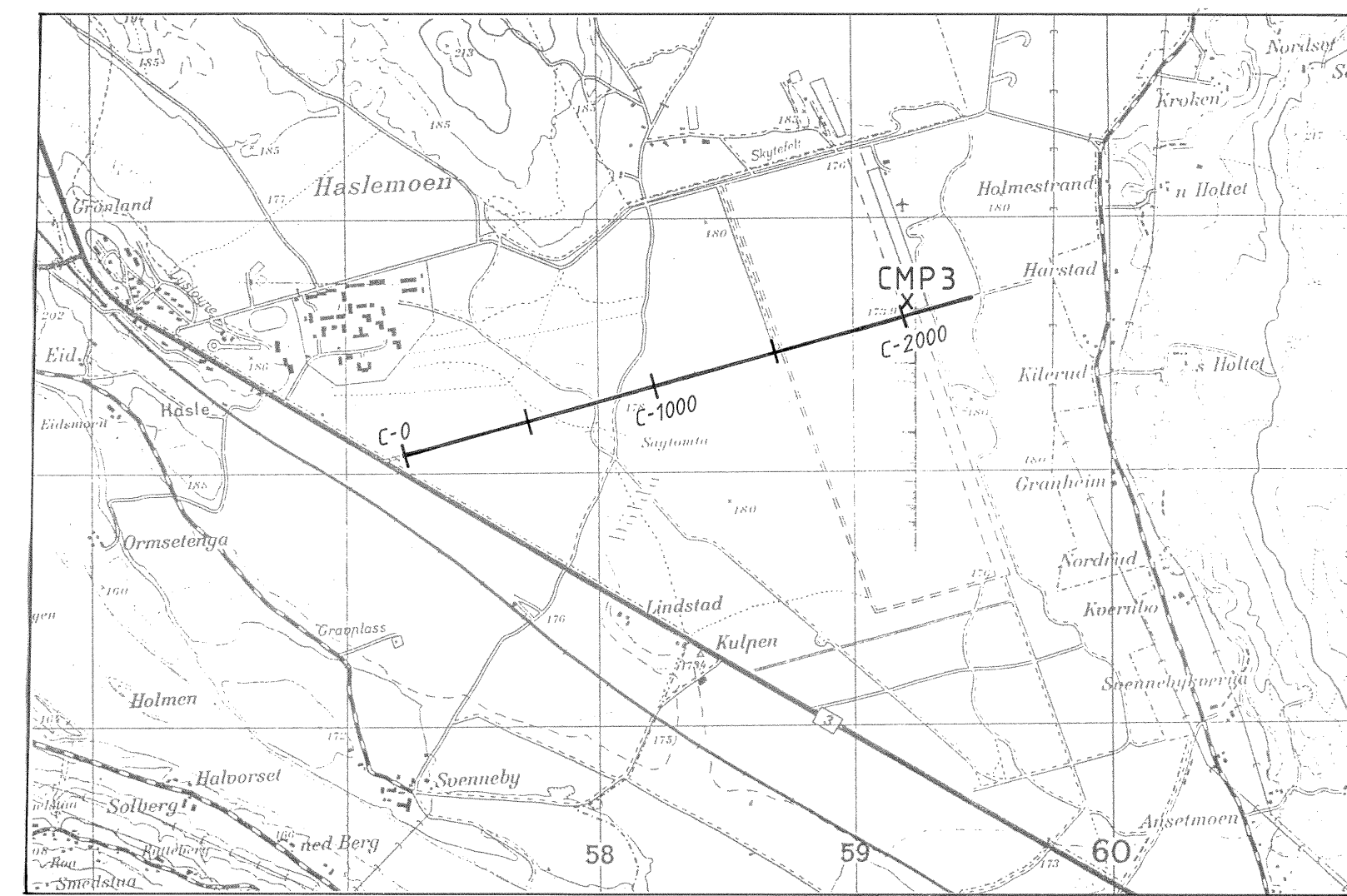
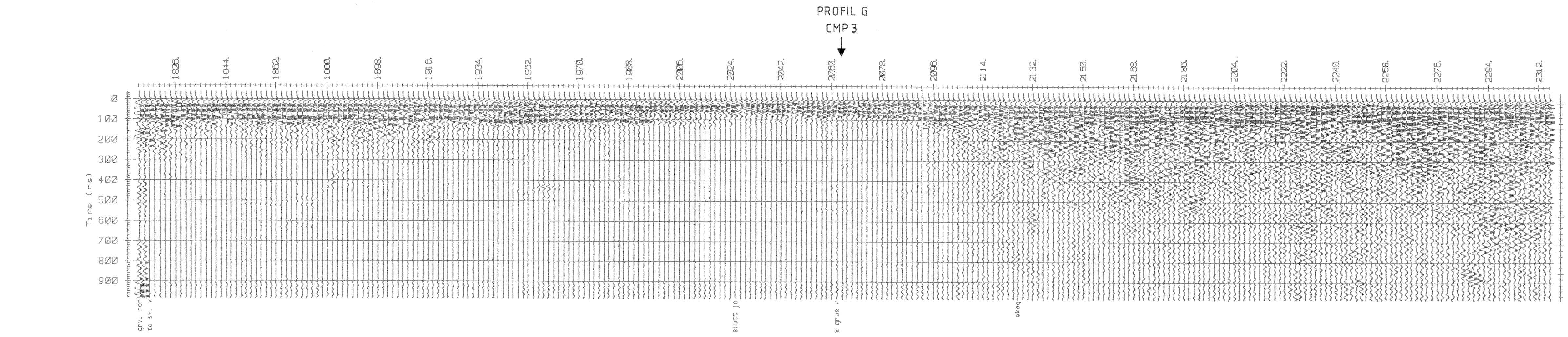
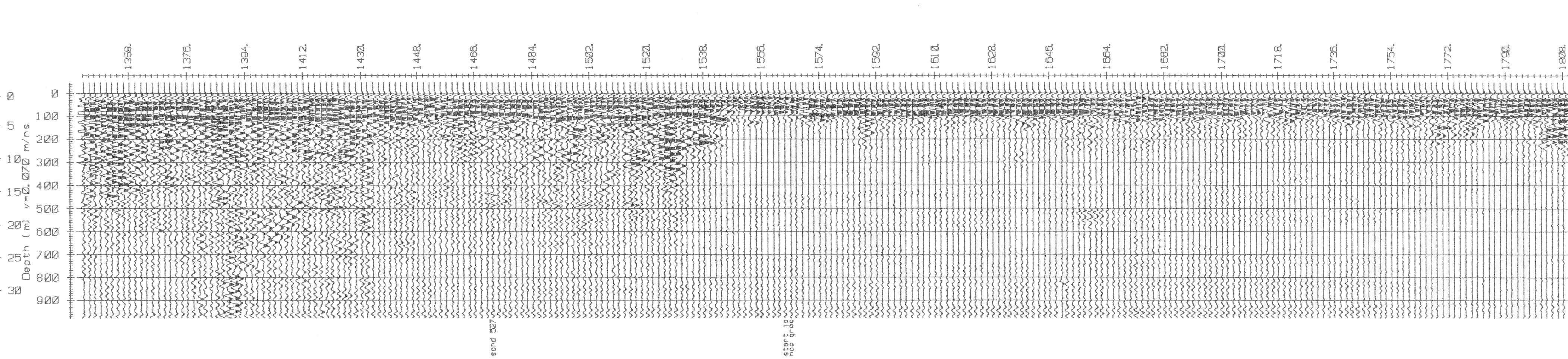
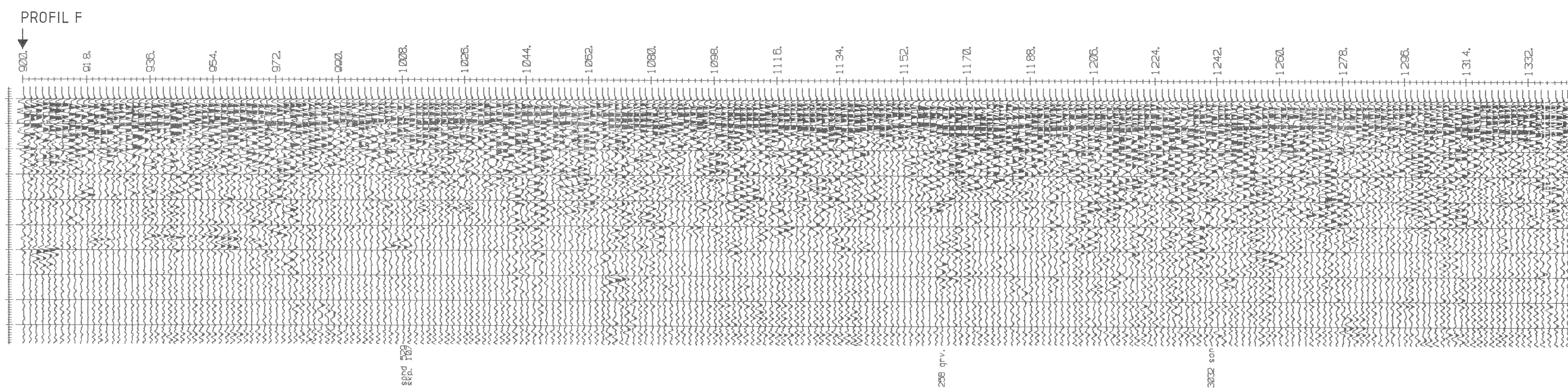
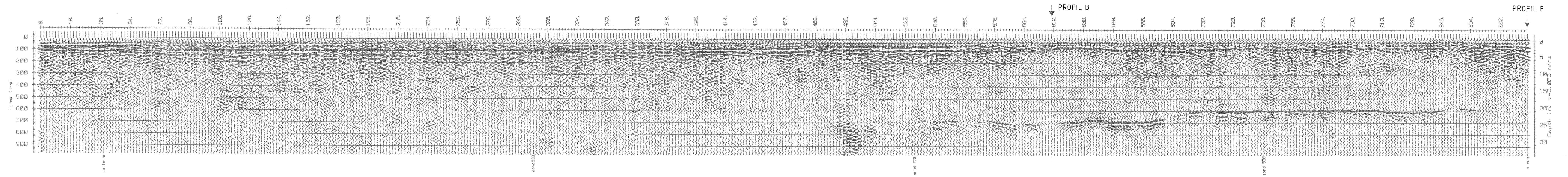
↓ CMP 6 : HASTIGHETSANALYSE NR 6

NGU - NVE - NTF GEORADAR PROFIL A HASLEMOEN VÅLER KOMMUNE, HEDMARK	MÅLSTOKK	MÅLTJSR/TL	MALOGAUG -91
	1: 25 000	TEGN. JSR	DES -91
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TRAC RB	KFR	
	TEGNING NR 91.270 - 02	KARTBLAD NR 2016 II	



X CMP 2 : HASTIGHETSANALYSE NR 2

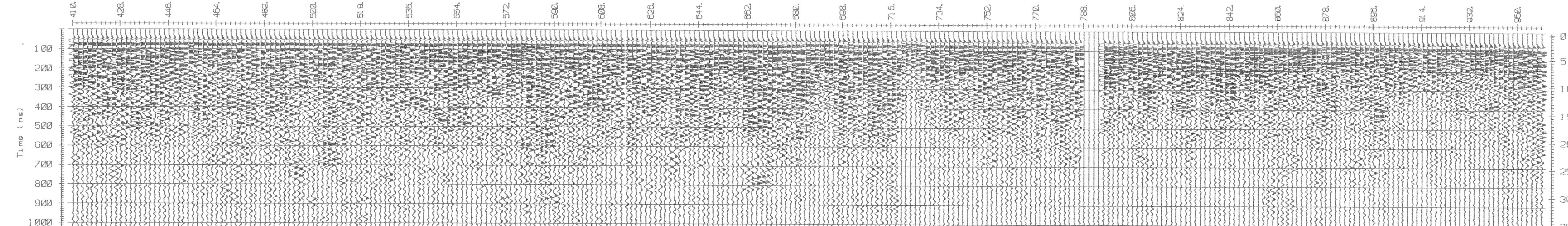
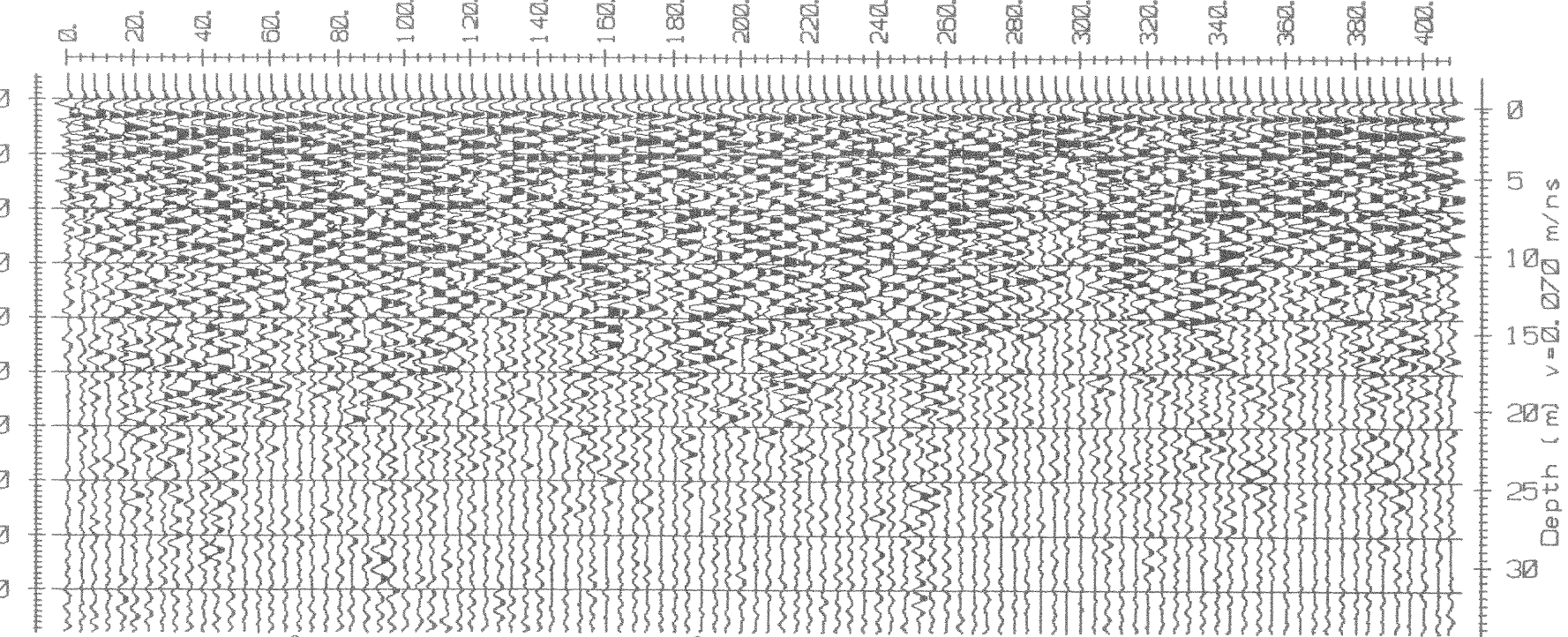
NGU - NVE - NTN GEORADAR PROFIL B HASLEMOEN VÅLER KOMMUNE, HEDMARK	MÅLSTOKK KART 1: 25 000	MÅLSTOKK/TL TEGN. JSR TRAC RB KFR.	MÅLSTOKK -91 DES -91 DES -91
	NORGE'S GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 91270 - 03	KARTBLAD NR. 2016 II



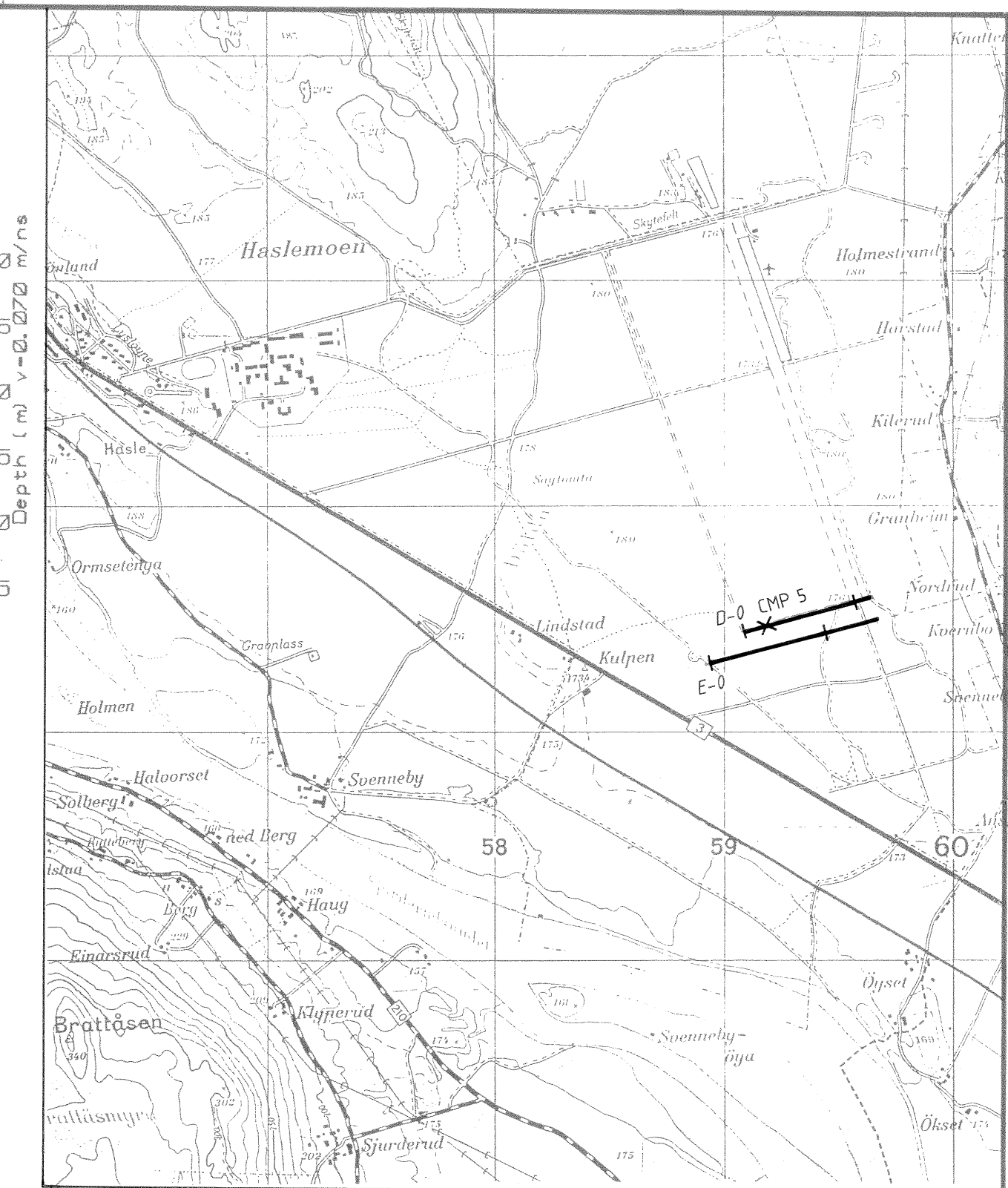
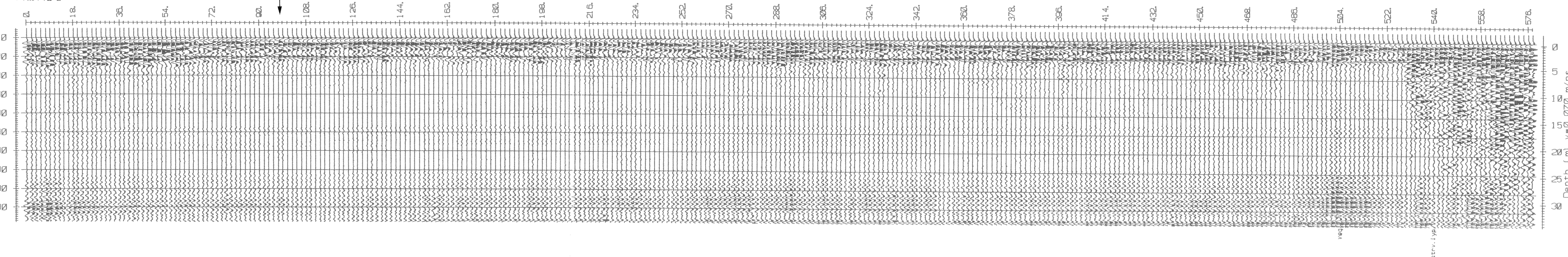
x CMP 3 : HASTIGHETSANALYSE NR.3

NGU - NVE - NTN GEORADAR PROFIL C HASLEMOEN VÅLER, HEDMARK	MÅLESTOKK	HÅLT JSR/TL	05 og 08.91
	KART	TEGN JSR	12.91
	1:25000	TRAC	
		KFR	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR	KARTBLAD NR	
	91.270-04	2016 II	

PROFIL E

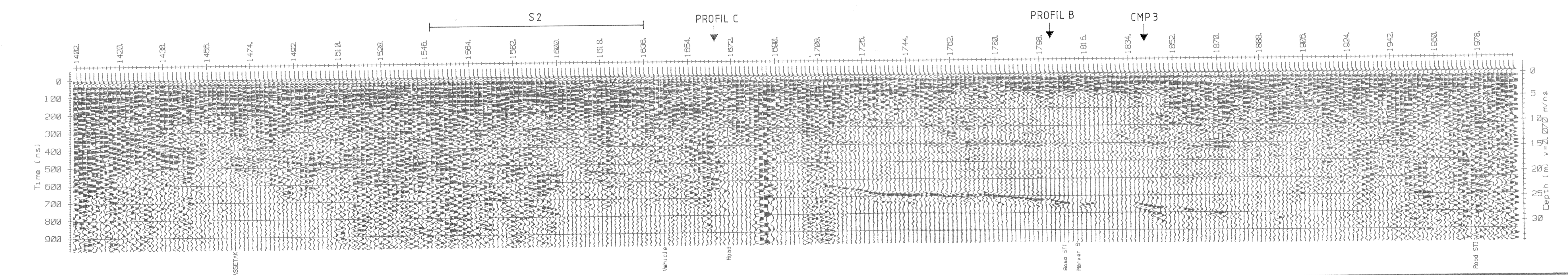
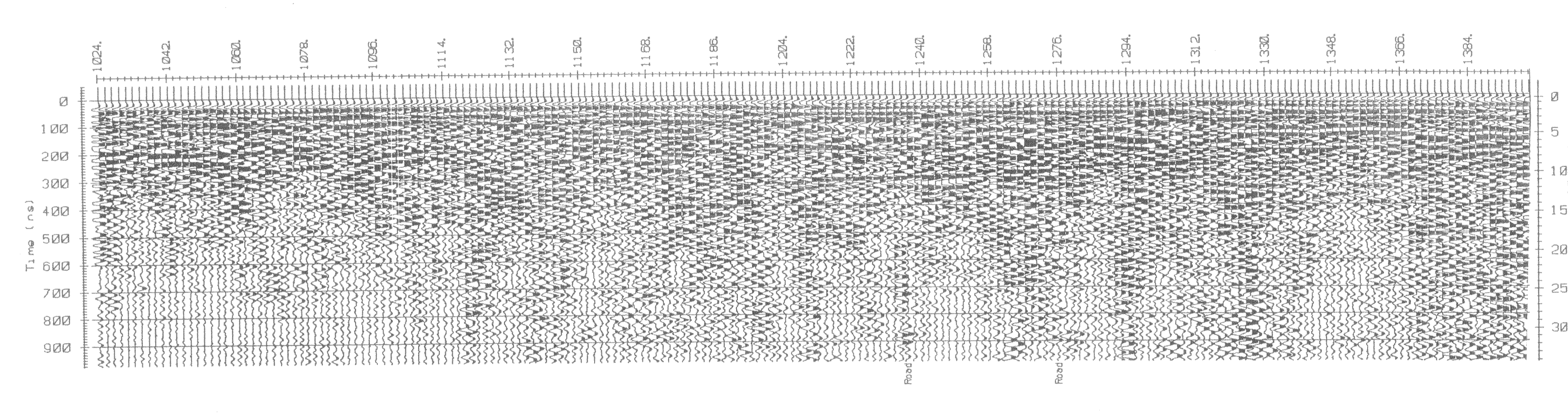
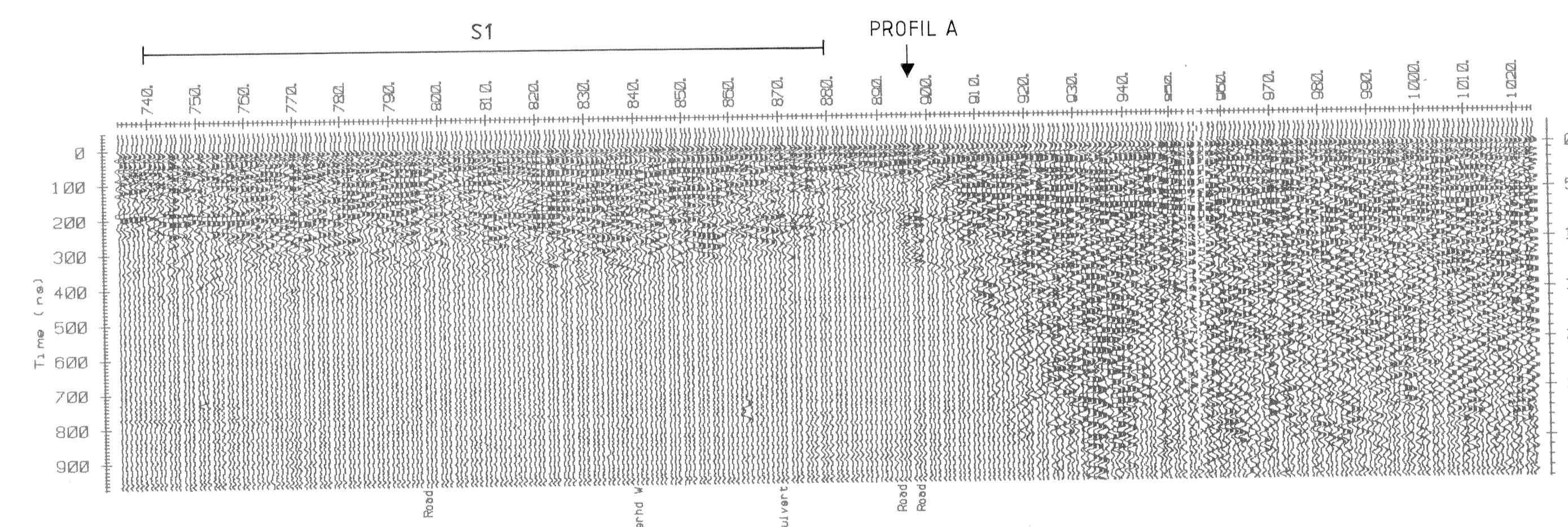
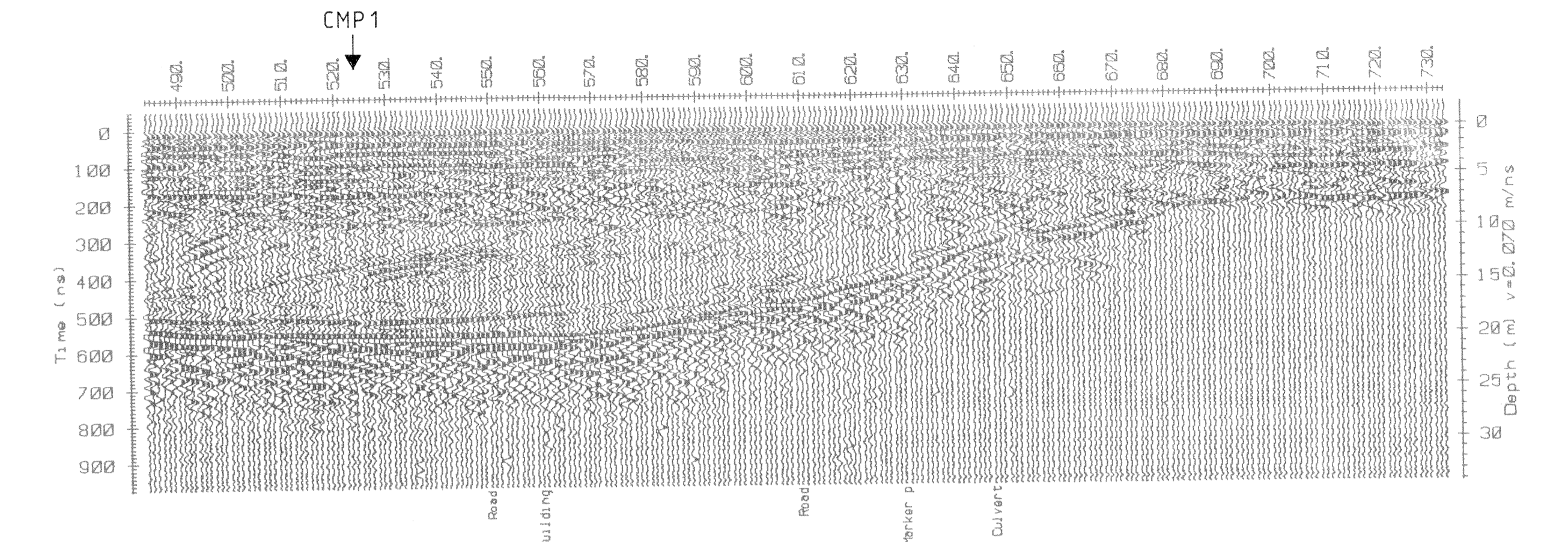
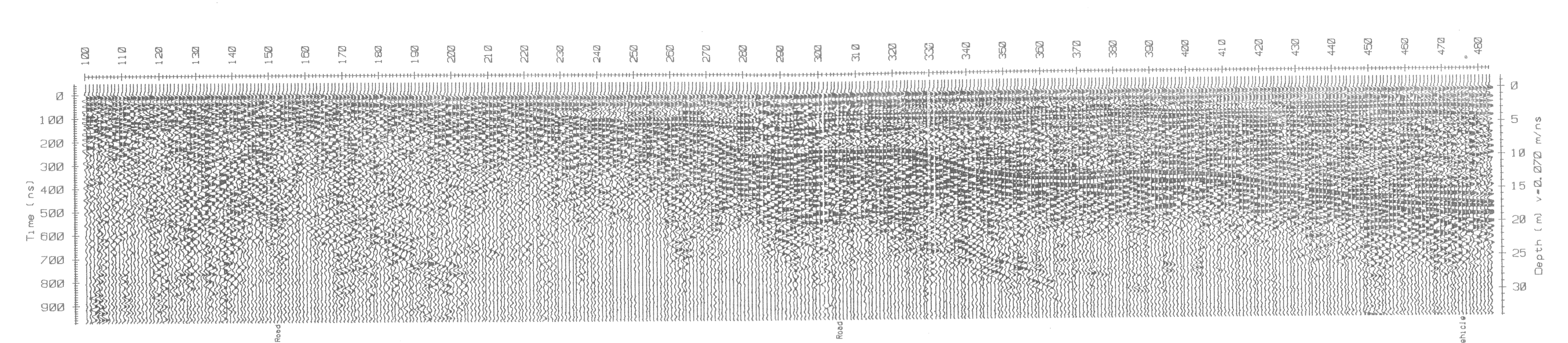
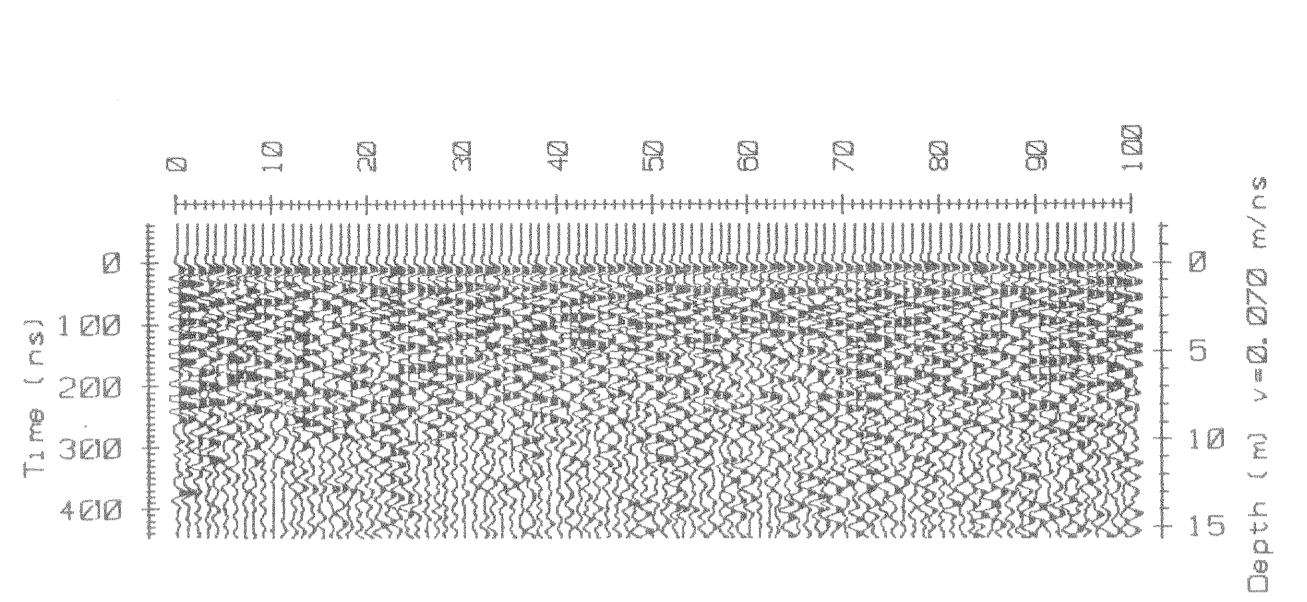


PROFIL D

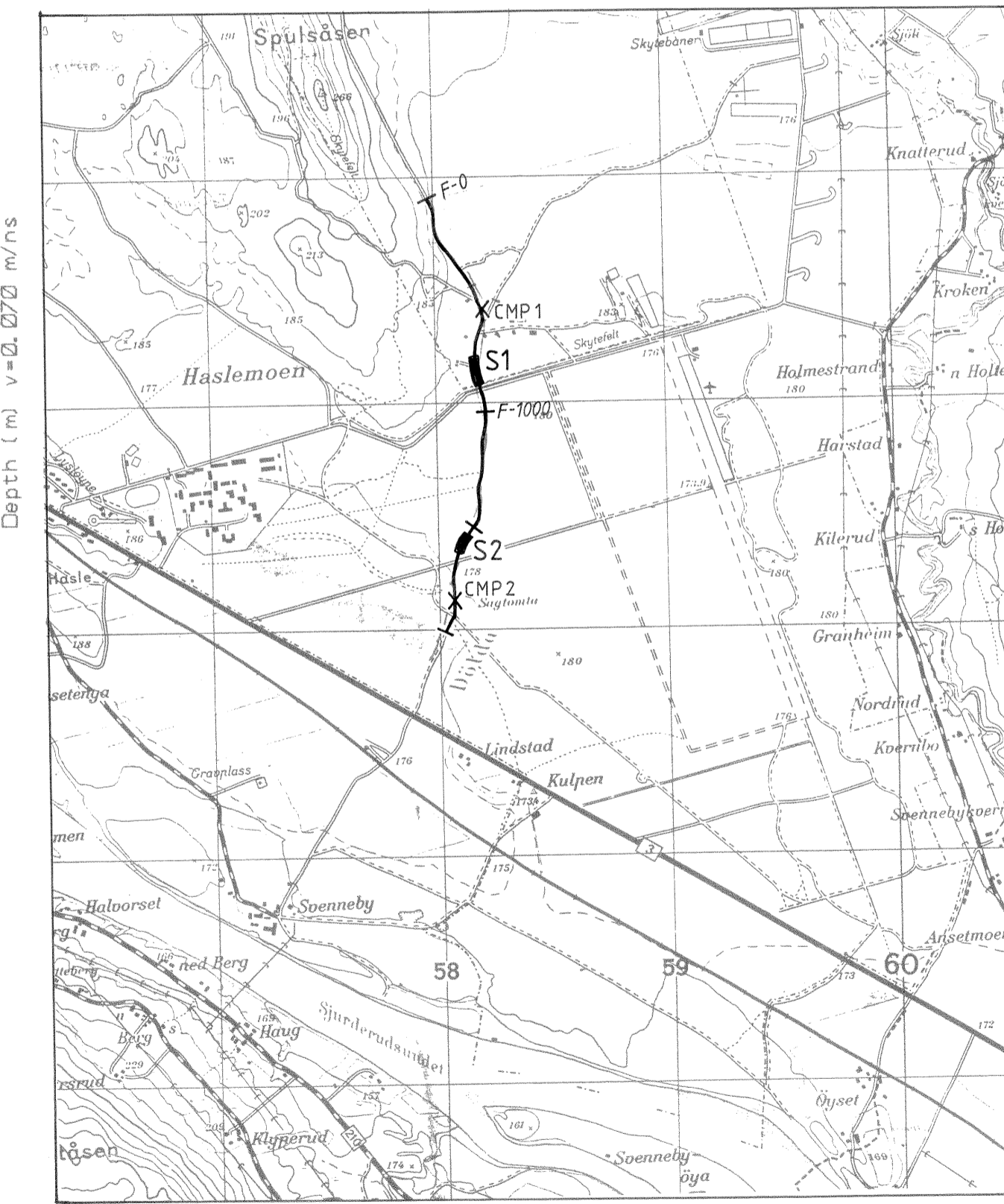


X CMP 5 : HASTIGHETSANALYSE NR 5

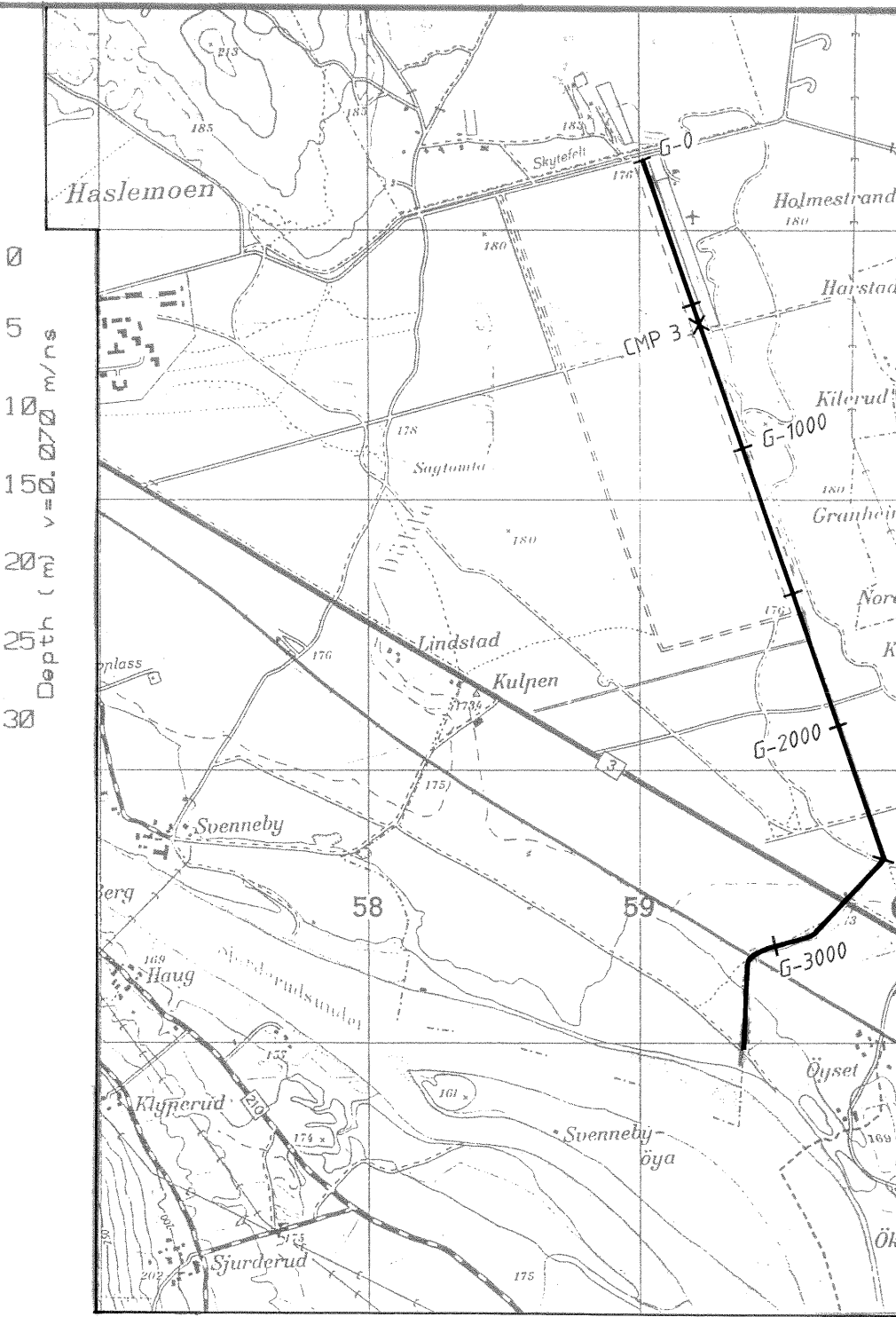
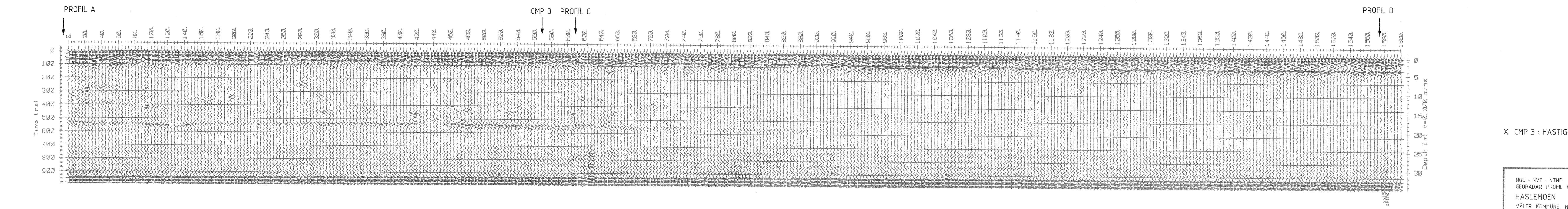
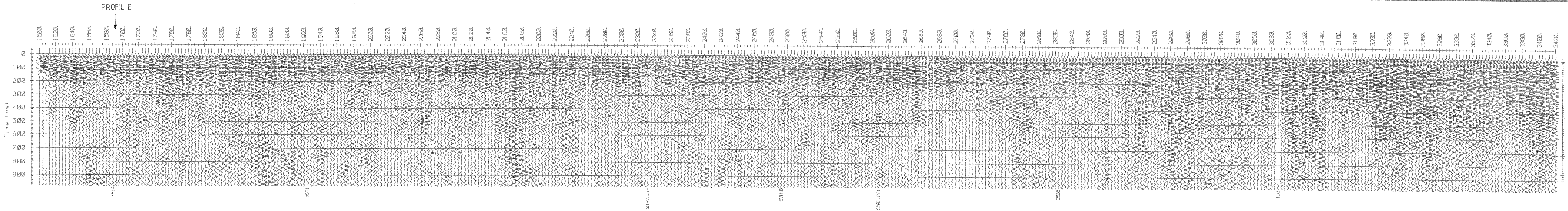
NGU - NVE - NTNf GEORADAR PROFIL D OG E HASLEMOEN VÅLER KOMMUNE, HEDMARK	MÅLSTOKK KART 1: 25 000	MÅLTJSR/TL TEGN. JSR TRAC RB KFR	MÅLSTOKK MÅLTJSR/TL DES -91
	TEGNING NR. 91.270 - 05	KARTBLAD NR. 2016 II	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM			



x CMP 1: HASTIGHETSANALYSE NR. 1
S1 REFLEKSJONSSEISMIKK



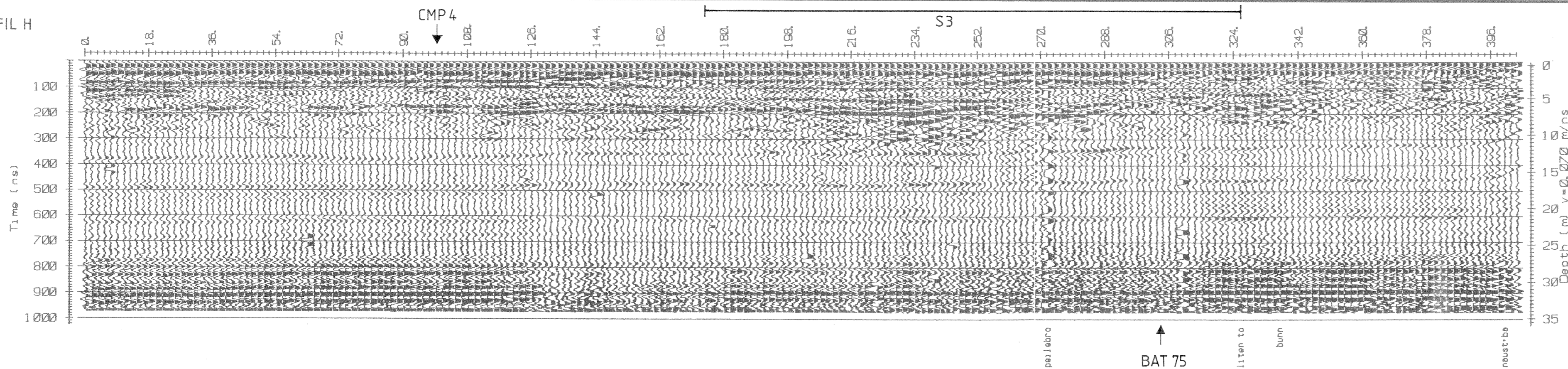
NGU - NVE - NTF GEORADAR PROFIL F HASLEMOEN VÅLER, HEDMARK	MÅLESTOKK KART 1:25000	HÅLT JSR/TL 05 og 08.91 TEGN 12.91 TRAC KFR
	NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR 91.270-06



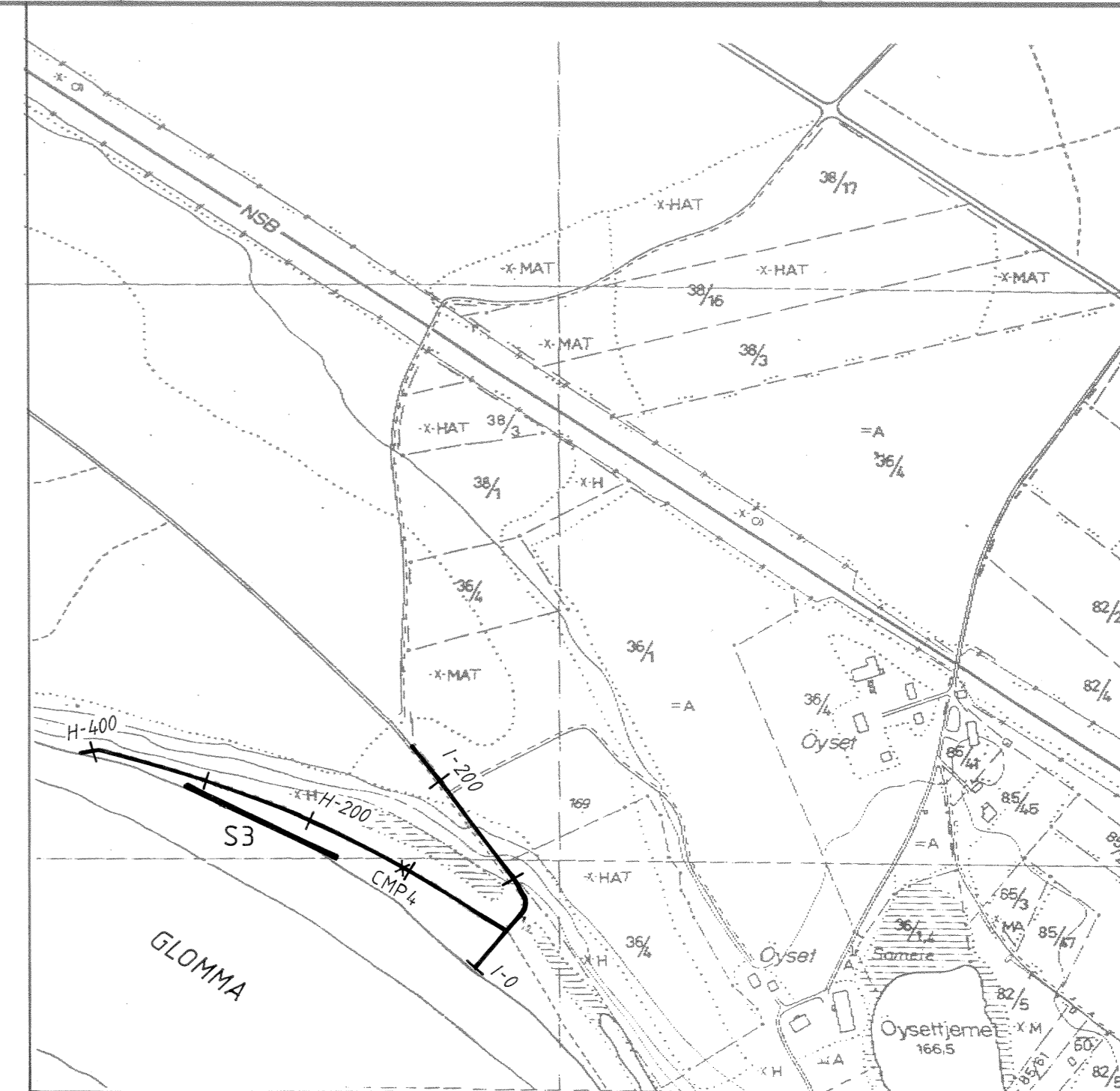
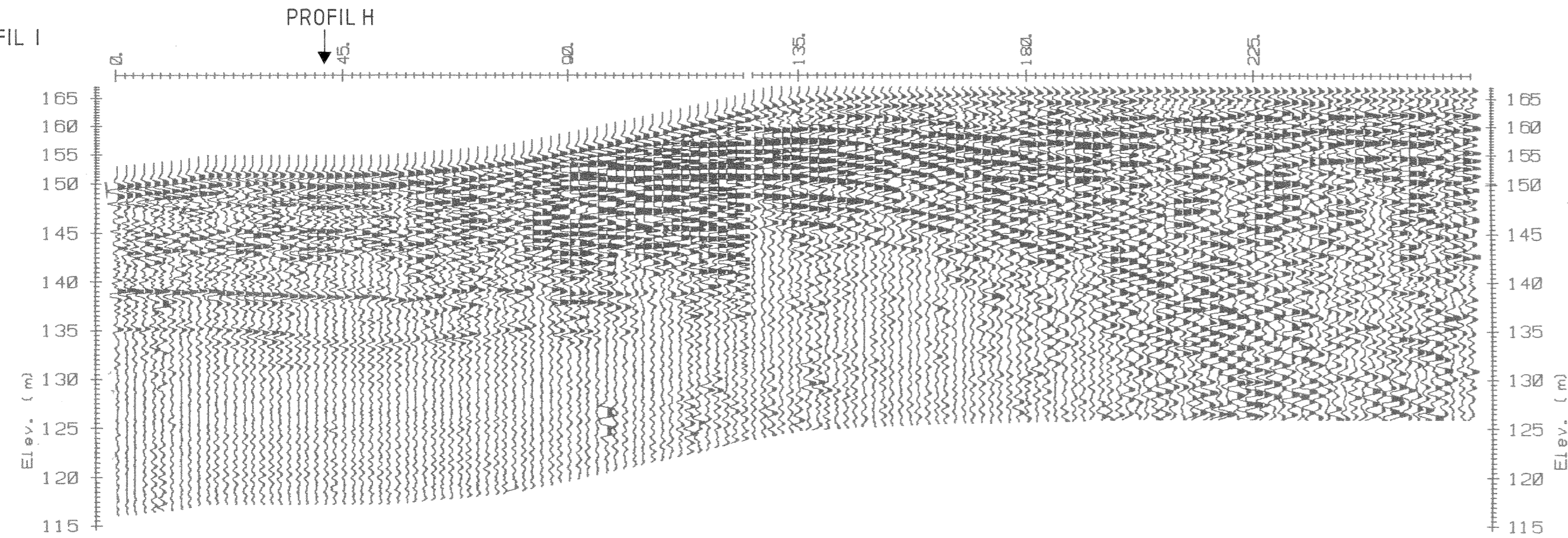
X CMP 3 : HASTIGHETSANALYSE NR 3

NGU - NVE - NTN GEORADAR PROFIL G HASLEMOEN VÅLER KOMMUNE, HEDMARK	MÅLSTOKK KART 1: 25 000	MÅLT JSR/TL TEGN. JSR TRAC RB KFR	MÅLSTOKK MÅLT JSR/TL TEGN. JSR TRAC RB KFR
	NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 91.270 - 07	KARTBLAD NR. 2016 II

PROFIL H



PROFIL I



- x CMP 4 HASTIGHETSANALYSE
- BAT 75 BAT - SONDE 75
- +—+—+—+— GEORADAR - PROFIL
- REFLEKSJONSSEISMISK PROFIL NR.3

NGU - NVE - NTN GEORADAR PROFIL H OG I HASLEMOEN VÅLER, HEDMARK	MÅLESTOKK	MÅLTTLJSR	05.91
	KART	TEGN. JSR	12.91
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	1:5000	TRAC.	
		KFR.	
TEGNING NR.	91.270-08	KARTBLAD NR.	2016 II

næsten flatt

start bakke

sving

topp bakke

ende av vegkryss

peil bbro

BAT 75

liten to

bunn

neust:bb