

NGU Rapport 92.297

Geofysiske undersøkelser
i Åfjord kommune,
Sør-Trøndelag

Rapport nr. 92.297		ISSN 0800-3416		Gradering: Åpen	
Tittel: Geofysiske grunnvannsundersøkelser i Åfjord kommune					
Forfatter: Janusz Koziel Jan Fr. Tønnesen Bernt Hilmo			Oppdragsgiver: Åfjord kommune		
Fylke: Sør-Trøndelag			Kommune: Åfjord		
Kartbladnavn (M=1:250.000) Trondheim			Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1622 IV Åfjord		
Forekomstens navn og koordinater:			Sidetall: 12		Pris: 160,-
			Kartbilag: 8		
Feltarbeid utført: Sept. 92		Rapportdato: 18.01.1993		Prosjektnr.: 63.2509.92	Ansvarlig: <i>Jan S. Kvernøy</i>
Sammendrag:					
<p>I forbindelse med grunnvannsundersøkelser i Åfjord kommune har NGU utført geofysiske målinger ved fem lokaliteter innen kommunen. Formålet med undersøkelsene var å finne egnede områder for uttak av ferskt grunnvann fra løsmasser.</p> <p>Ved fire områder (Elvemo, Melan Ø., Einlia og Rømme) er det kartlagt forholdsvis store mektigheter av løsmasser. Måleresultatene, samt senere utførte borer viser at bare området ved Elvemo er egnet til uttak av grunnvann.</p>					
Forekomstens navn og koordinater:					
Elvemo			UTM 32V 5607 70937		
Melan Ø.			UTM 32V 5608 70936		
Einlia			UTM 32V 5714 70972		
Rømme			UTM 32V 5718 70969		
Kvennelva			UTM 32V 5716 70961		
Emneord:		Refraksjonsseismikk		Løsmasse	
Geofysikk		Georadar		Grunnvannsforsyning	
Hydrogeologi		Grunnvann		Fagrapport	

INNHold

	Side
1	INNLEDNING 4
1.1	Formål med undersøkelsen 4
1.2	Andre undersøkelser i området 4
2	MÅLEMETODER OG UTFØRELSE 5
2.1	Georadar 6
2.2	Refraksjonsseismikk 7
3	RESULTATER 8
4	KONKLUSJON11
5	REFERANSER12

TABELLER

Tabell 1.	Et utdrag av resultater fra boringer som ble utført ved Elvemo høst 1991
Tabell 2.	Oversikt over utførte georadarprofiler
Tabell 3.	Hastigheter etter CMP - opptak og hastighetsanalyse
Tabell 4.	Oversikt over utførte refraksjonsseismiske profiler

TEKSTBILAG

1. Georadar - metodebeskrivelse
2. Refraksjonsseismikk - metodebeskrivelse

DATABILAG

1. CMP - opptak og hastighetsanalyse
2. Tolkning av seismiske profiler

KARTBILAG

- 92.297-01 Oversiktkart; Elvemo, Melan Ø.
- 92.297-02 Oversiktkart; Rømme, Einlia
- 92.297-03 Oversiktkart; Kvennelva
- 92.297-04 Georadarprofiler P1A,P1B,P1C,P2,P3; Elvemo
- 92.297-05 Georadarprofiler P4A,P4B,P4C; Melan Ø.
- 92.297-06 Georadarprofiler P5A,P5B,P5C,P6; Einlia
- 92.297-07 Georadarprofiler P7,P8; Rømme
- 92.297-08 Georadarprofiler P9A,P9B,P10; Kvennelva

1 INNLEDNING

1.1 Formål med undersøkelsen

Rapporten inngår i prosjektet: "Grunnvannsundersøkelser i Åfjord".

På oppdrag fra Åfjord kommune har NGU vurdert grunnvannsforekomster som kan være egnet for eksport av drikkevann og for vannforsyning til Åfjord sentrum.

Ut fra feltbefaring og tidligere boringer ble det besluttet å gjøre geofysiske undersøkelser på breelv/elveavsetningen ved Elvemo og Melan Ø. nær Åfjord sentrum og i tillegg ved Einlia, Rømma og Kvennelva. Undersøkelsene er basert på georadar og refraksjonsseismikk.

Formålet med undersøkelsene var å få en oversikt over løsmassefordeling og materialtyper mot dypet. Ved Elvemo og Melan Ø. ble det til sammen utført 6 georadarprofiler med en samlet lengde på 1102 m og et seismisk profil på 210 m, mens ved Einlia, Rømma og Kvennelva ble det utført 9 georadarprofiler med en samlet lengde på 2701 m og 4 seismiske profiler på til sammen 430 m. Målingene ble utført av Janusz Koziel og Jan Fredrik Tønnesen i september 1992.

1.2 Andre undersøkelser i området

I forbindelse med programmet Grunnvann i Norge (GiN) ble grunnvannsmuligheter på 4 forskjellige steder i Åfjord kommune vurdert (NGU -rapport 91.115). Vurderingene ble hovedsakelig gjort ut fra befaring og bearbeiding av eksisterende data.

Som en oppfølging av disse undersøkelsene ble det i september 1991 gjennomført en del sonderboringer. Blant annet ble tre boringer utført på Elvemo ved Åfjord sentrum. Tabell 1 inneholder et utdrag av boreresultatene.

Tabell 1. Et utdrag av resultater fra boringer som ble utført ved Elvemo høst 1991.

borpunkt nr	materialtype	dyp [m]	refer. til profil	posisjon
2	stein og sand	2,5	P1A	195
	fjell	>2,5		
3	stein,grus,sand	1,5	P1A	115
	grusig sand	3,5		
	sand	7,5		
	fjell	>7,5		
4	stein,grus,sand	3,5	P1A	45
	sand-finsand,grusig	5,5		
	sand, grus (tett)	9,5		
	finsand	10		
	fjell	>10		

I tilknytning til det pågående prosjektet har NGU høsten 1992 utført flere sonderboringer. Resultater fra disse boringene ble brukt ved tolkning av georadar og seismiske profiler. Rapport fra disse sonderboringene (Klemetsrud, T.: Hydrogeologiske undersøkelser i Åfjord kommune) er under utarbeidelse.

2 MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

De målte profilene er vist i kartbilag -01 til -03. Profilnummer med prefiks 'P' angir georadarprofiler, mens profilnummer med prefiks 'S' angir refraksjonsseismiske profiler. Kartgrunnlag i målestokk 1:5000 ble benyttet ved opptegning av profilene.

2.1 Georadar

Beskrivelse av georadarmålinger og teoretiske prinsipper er vedlagt i tekstbilag 1. Georadaren som ble benyttet er digital og av typen PulseEKKO IV (produsert av Sensors & Software Inc., Canada). Det ble benyttet 400 V sender og 50 MHz antenner. Samplingsintervallet var 0.8 ns og opptakstiden 1024 ns. Signalene ble stacket 32 ganger ved hvert målepunkt. Avstanden mellom sender og mottaker var 1 m og flyttavstanden var også 1 m. I alt ble det målt 17 georadarprofiler. Datakvaliteten var god. Profilnummer, sted og profillengde framgår av Tabell 2. I tillegg ble det utført ett CMP-opptak ved Elvemo for hastighetsanalyse (se databilag 1). Tabell 3 viser profilnummer, posisjon og andre opptaksparametre for utført CMP-måling.

Tabell 2. Oversikt over utførte georadarprofiler.

Profil	Sted	Lengde [m]
P1A	Elvemo	452
P1B	Elvemo	138
P1C	Elvemo	21
P2	Elvemo	40
P3	Elvemo	80
P4A	Melan Ø.	660

P4B	Melan Ø.	100
P4C	Melan Ø.	201
P5A	Einlia	266
P5B	Einlia	143
P5C	Einlia	62
P6	Einlia	144
P7	Rømme	205
P8	Rømme	427
P9A	Kvennelva	553
P9B	Kvennelva	68
P10	Kvennelva	243
	Samlet lengde:	3803

Datakvaliteten ved CMP - målingen var god og ga mulighet til å bestemme gjennomsnittshastighet (V_{RMS}) til ulike reflektorer.

Tabell 3. Hastigheter etter CMP - opptak og hastighetsanalyse.

Databilag	Profil	Posisjon [m]	Reflektor	Tid [ns]	V_{RMS} [m/ns]	Dyp ved $V=0,08$ m/ns
1	P1B	40	direkte bølge		0,07	
			1	50	0,08	2
			2	90	0,08	3,7
			3	145	0,08	5,7
			4	170	0,08	7
			5	230	0,08	9

Resultater fra de målte georadarprofilene er plottet i kartbilag 92.297-04 til -8. Dybdeangivelsen er enten basert på denne hastighetsanalysen eller etter antatt materialtype og dens vanninnhold, samt resultater fra boringer og refraksjonsseismiske målinger.

Topografisk justering og høydeangivelse som er benyttet ved plotting av georadarprofiler (kartbilag 92.297-04 til -08) er basert på kart i målestokk 1:5000 og feltobservasjoner.

2.2 Refraksjonsseismikk

En beskrivelse av metoden er vedlagt i tekstbilag 2. Lokalisering av profilene er vist i kartbilag 92.297-01 (Melan Ø.) og 92.297-02 (Einlia og Rømma). Profilenes plassering ble valgt etter resultater fra georadar. Som måleinstrumenter ble benyttet en 24-kanals digital seismograf av typen Scintrex S-2 'Echo' og en 24-kanals analog seismograf av typen ABEM 'Trio'. De viktigste utleggsparametrene framgår av Tabell 4.

Tabell 4. Oversikt over utførte refraksjonsseismiske profiler.

Profil	Sted	Lengde	Antall geofoner	Avstand mellom geofoner	Måle-instrument
S1	Melan Ø.	110	24	5	S-2 Echo
S2	Einlia	55	12	5	S-2 Echo
S3	Einlia	55	12	5	S-2 Echo
S4	Rømma	110	12	10	ABEM Trio

Energiseringen var dynamitt, og skuddpunkt ble plassert i midten og ved endene av profilene. Det ble i tillegg plassert skuddpunkt i større avstand fra endene av profilene for å få bedre kartlegging av fjellrefraktoren. Gefonavstanden ble innkortet til det halve ved endene av utleggene for å få bedre hastighetsoppløsning i øvre lag.

3 RESULTATER

3.1 Elvemo

Georadarmålinger ble utført på terrassene ved Elvemo. Georadarprofilene P1A, P1B, P1C, P2, P3 og et CMP-opptak (CMP1) ble utført her. Kartbilag 92.297-01 viser lokalisering av profiler og kartbilag 92.297-04 viser georadarprofiler. Utført CMP måling viser bølgehastighet ca 0,08 m/ns (se databilag 1). Denne hastigheten ble benyttet ved dybdekonvertering i området. Dette er elektromagnetisk bølgehastighet for løsmasser i vannmettet sone.

Størst penetrasjonsdyp i profil P1A er ca 18 m (mellom pos. 50 og 110) og avtar til ca 8-10 m langs øvrige deler av profilet. Stort penetrasjonsdyp indikerer masser med lav ledningsevne. Blant annet har grovkornige løsmasser slike egenskaper. Grovkornige masser (sand og grus) forutsettes for uttak av grunnvann fra løsmasser. Grunnvannsspeilet følger vannivået i elva, men er vanskelig å identifisere på georadaropptaket. Opptaket fra profil P1A viser flere tydelige reflektorer mellom posisjon 20 og 180 ned til 12-18 m dyp. En gjennomgående reflektor ca 5 m.o.h. i pos. 20 og 2-3 moh fra pos. 160 til 300 representerer trolig fjelloverflaten. Sonderboring nr 2 ved profil P1A pos. 195 (tabell 1) viser fjell på 2,5 m dyp. Hele profil P1B er preget av samme type reflektorer som overnevnte. Opptakene for profilene P1C, P2 og P3 viser 'tverrsnitt' av profilene P1A og P1B. Opptakene av profil P2, som er lokalisert hvor penetrasjonen langs P1A og P1B er størst, viser at sonen med de tydelige reflektorer er tynnere når man beveger seg fra elvekanten og mot nordvest. Etter georadaropptakene kan man anta forholdvis grove løsmasser i dette området. Senere utført sonderboring plassert ved krysningspunktet mellom P1B og P2 viser grus ned til 2,5 m dyp, grus/sand ned til 13,5 m og videre fjell. Området mellom profil P1C og P3 er vurdert som egnet til grunnvannsuttak.

3.2 Melan Ø.

Tre georadarprofiler (P4A, P4B og P4C) og et seismisk profil (S1) ble målt ved Melan Ø. Kartbilag 92.297-01 viser lokalisering av profilene. Kartbilag 92.297-05 viser georadaropptakene og databilag 2 viser tolkningsresultater for refraksjonsseismisk profil S1. Georadarbølgehastighet 0,12 m/ns ble benyttet ved dybdekonvertering. Dette er en vanlig hastighet i tørre løsmasser. Opptakene fra profil P4C og P4A er dominert av mer eller mindre horisontale reflektorer. Skråsjikting er vist i profil P4A mellom posisjon 100 og 230. Penetrationsdypet som er ca 20 m gjennom hele profil P4C, øker til ca 30 m i profil P4A mellom posisjon 15 og 140 og er deretter ca 20 m i profil P4A fra posisjon 160 til profilslutt.

Seismikken indikerer tørr sand/grus ned til 10-12 m med seismisk hastighet 600-700 m/s.

Hastigheten i østre halvdel av profilet er dårlig bestemt pga et høyhastighetslag (seismisk hastighet 1200 m/s) like under overflaten. Dette regnes å være et steinrikt morenelignende materiale. Under laget med seismisk hastighet 600-700 m/s ser det ut til å være materiale med høyere hastighet (1200 m/s). Denne er imidlertid dårlig bestemt. Dette materialet regnes å være mer kompakt (morenisert) og/eller ha høyere vanninnhold. Ut fra tolket hastighetsfordeling vil fjelloverflaten ligge rundt 30 m under terrengoverflaten, dvs at avsetningen kan nå noen meter under elvenivået. Dypet er beregnet som korteste avstand til fjell fra overflaten. Fjelloverflaten har helning på tvers av profilet. Vertikalt dyp til fjell under profilet kan derfor være noe større.

3.3 Einlia

Georadarmålinger (profil P5A, P5B, P5C, P6) og refraksjonsseismiske målinger (profil S2 og S3) ble utført sør for Einlia og vest for Stordalselva. Kartbilag 92.297-02 viser plassering av profilene og kartbilag -06 viser georadarprofilene. Breelv/elveavsetninger dominerer i hele området. Opptaket av profil P5A viser skrålag som heller mot sørvest. Penetrasjonsdypet varierer og er ca 20 m mellom pos. 0 og 15, ca 15 m fra pos. 15 til 80 og ca 8-10 m langs resten av profilet. Fra pos. 0 til 20 finnes mer reflektivt materiale i forhold til resten av profilet. En skrå reflektor sees mellom pos. 0 på ca 4 m dyp til pos. 60 på ca 12 m dyp. Resten av profilet er dominert av korte skrå reflektorer i lite reflektivt materiale.

Profil P5B viser et penetrasjonsdyp på ca 10 m. Skrålag med helning mot sør er tydelig påvist i sørlige halvdel. Tverrprofil P5C som krysser profil P5A i pos. 147 og P5B i pos. 110 viser skrålag med helning mot vest-nordvest. Penetrasjonsdypet er 8-10 m. Profil P6 viser et penetrasjonsdyp på ca 18 m i pos. 0. Derfra avtar det til ca 12 m ved pos. 60 og holder samme nivå til pos.127. Etter pos. 127 øker penetrasjonen til ca 20 m. En reflektor skrå oppover fra posisjon 0 på ca 18 m dyp til posisjon 80 på ca 2 m dyp. Mellom denne reflektoren og overflaten sees reflektivt materiale. Alle de målte georadarprofilene fra dette området viser horisontale lag fra overflaten og ned til ca 2 m dyp.

De to refraksjonsseismiske profilene S2 og S3 som ble målt i området viser lydbølgghastigheter på ca 300 m/s ned til 1-2 m dyp og ca 1600 m/s under. Større lydbølgghastigheter ble ikke indikert. Fjelloverflaten er ikke registrert, så i tolkningen er bare minimumsdyp til fjell angitt. Hendelser på både georadar og refraksjonsseismiske opptak tyder på at materialet i området er en skråsiktet breelveavsetning med et ca 2 m tørt topplag av sand/grus. Variabel og forholdsvis begrenset penetrasjon indikerer trolig variabelt innhold av finstoffmateriale og at finstoffinnholdet øker mot dypet. Sonderboringene 5A, 5B og 5C indikerer at avsetningen er for finkornig til å være egnet for vannuttak.

3.4 Rømma

To georadarprofiler (P7 og P8) og et refraksjonsseismisk profil (S4) ble målt ved Rømma. Bølgehastighet 0,12 m/ns (tørr materiale) ble benyttet ved dybdekonvertering.

Georadarprofil P7 viser tydelig skrålagning med helning mot sør langs profilet, spesielt mellom pos. 40 og 130. En kraftig reflektor som krysser skrålagningen ca 40 moh mellom pos. 50 og 100 må regnes å være grunnvannsspeilet. Penetrasjonen i vannmettet materiale under er variabel men når opp i 8-12 m. Grunnvannsspeilet stiger opp mot nord samtidig med at penetrasjonen blir liten. Dette indikerer mer finkornig materiale mot nord. Mot sør fra pos. 50 kan det se ut til å være en forhøyning i grunnvannsnivået, noe som kan skyldes infiltrasjon fra bekk øst for profilet. Sonderboring 5D ved profil P7 pos. ca 40 indikerer at materialet under grunnvannsnivået er for finstoffrikt til å være egnet for vannuttak.

Georadarprofil P8 viser store variasjoner i penetrasjon og reflektivitet. Dette kan skyldes variabel materialsammensetning, men kan for en vesentlig del også forklares ut fra endringer i overflateforholdene. Størst penetrasjon og kraftigst reflektivitet er oppnådd langs driftsvei mellom pos. 133 og 230 og på grusoverflate fra pos. 330 og langs bunn av grustak fram til enden av profilet. Området imellom er dels målt langs komåker og dels på forsumpet grasmark. De to lavere elveterrassene i vest er kulturbeitemark med til dels dårlig drenert overflate. Profilet er dominert av nær horisontale reflektorer, men skrålagning opptrer også, som oftest med helning nedover mot vest langs profilet.

Seismisk profil S4 (fra ca pos. 120 til 230 i P8) indikerer at grunnvannsnivået skråner nedover fra ca 10 m under terrengoverflaten ved østenden til ca 18 m ved vestenden. Materialet over er tørr sand og grus med seismisk hastighet på ca 600 m/s, mens underliggende vannmettet materiale har hastighet på ca 1600 m/s. Fjelloverflaten er indikert å ligge fra vel 30 m til ca 40 m under overflaten, og dypest i øst. Grunnvannsnivået i dette området kan antydes også i P8, hvor materialet under har noe svakere reflektivitet. Det regnes at grunnvannsnivået videre mot øst ligger i jevn høyde ca 40 m.o.h. fram mot enden av profilet og mot profil P7. Vest for seismikkprofilet antas det at grunnvannsspeilet har meget liten helning ned mot elvenivået. I de to områdene med best penetrasjon er det refleksjoner fra 8-15 m under grunnvannsnivå. Det opptrer derfor ikke godt elektrisk ledende materiale (marin leire) ned til dette dypet. Under elveterrassen nærmest elva er det bare noen få meter penetrasjon under elvenivået, noe som tyder på at finstoffrikt materiale ligger relativt grunt. Under terrassen østafør er det 8-10 m penetrasjon under grunnvannsnivået. Sonderboring 5E på denne elveterrassen indikerer likevel at materialet er for finkornig til å være egnet for vannuttak.

3.5 Kvennelva

Tre georadar profiler (P9A, P9B og P10) ble utført ved Kvennelva. Databilag 92.297-03 viser lokalisering av profilene og kartbilag 92.297-08 viser opptaket fra de målte georadarprofilene. Hastighet 0,08 m/ns ble brukt ved dybdekonvertering. Penetrasjonen langs alle disse tre profilene er begrenset til noen få meter bortsett fra to steder i profil P9A: mellom posisjon 0 og 50 og posisjon 230 og 300 er den ca 15 m. I profil P9B og P10 er penetrasjonen ca 5 m. Dårlig penetrasjon tyder på masser med relativt god ledningsevne, dvs. finere løsmasser som finsand, silt iblandet leire. Ut fra georadarmålingene er området vurdert som ikke egnet til uttak av grunnvann.

4. KONKLUSJON

Det ble utført georadar og refraksjonssesmiske målinger i Åfjord kommune ved 5 lokaliteter. Hensikten var å finne egnete områder for uttak av grunnvann fra løsmasser. I alt ble det profilert 3,8 km med georadar og 430 m med refraksjonsseismikk. Et område ved Elvemo er vurdert som egnet til grunnvannsuttak. I de fire øvrige områdene er det små muligheter for store grunnvannsuttak pga. for finkornige løsmasser under grunnvannsnivået. Denne konklusjonen er trukket ut fra en samlet vurdering av geofysiske målinger og sonderboringer.

5 REFERANSER

Arnevik, O., 1988: Vannforsyning i Åfjord kommune. *Åfjord kommune, teknisk etat, 4/05-88.*

Grønlie A., Soldal O., 1991: Grunnvann i Åfjord kommune. *NGU Rapport 91.115.*

Reite, A.J., 1990: Sør-Trondelag fylke. Kwartærgeologisk kart - M 1:50.000; *NGU.*

Sensors & Software, 1989: PulseEKKO IV User's Guide. *Sensors & Software Inc., Canada. Technical Manual 12.*

Sensors & Software, 1989: PulseEKKO IV Velocity Analysis User's Guide. *Sensors & Software Inc., Canada. Technical Manual 15.*

Thorsnes, T., Grønlie, A., 1990: Åfjord berggrunnskart 1622-4 - M 1:50.000, foreløpig utgave, *NGU.*

Thorsnes, T. og Reite, A.J., 1991: Geologisk kart over Åfjord kommune - M 1: 80.000, *NGU.*

Wolden, K., 1986: Åfjord, sand- og grusressurskart 1622-4 M 1:50.000, *NGU.*

Wolff, F.C., 1976: Geologisk kart over Norge, berggrunnskart Trondheim - M 1:250.000, *NGU.*

GEORADAR - METODEBESKRIVELSE

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

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

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

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

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

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

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

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

REFRAKSJONSSEISMIKK - METODEBESKRIVELSE

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

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

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

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

$$\sin i = V_1 / V_2$$

Den bestemte innfallsvinkel som 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 lyd hastigheten langs profilet, kan det oppnås en god dybdebestemmelse for hver seismometerposisjon. Imidlertid vil det ofte være betydelige laterale variasjoner til stede, og overdekkehastighetene blir ved små dyp bare bestemt i nærheten av skuddpunktene. Ofte vil det derfor være naturlig å legge størst vekt på dybdebestemmelsen under skuddpunktene.

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

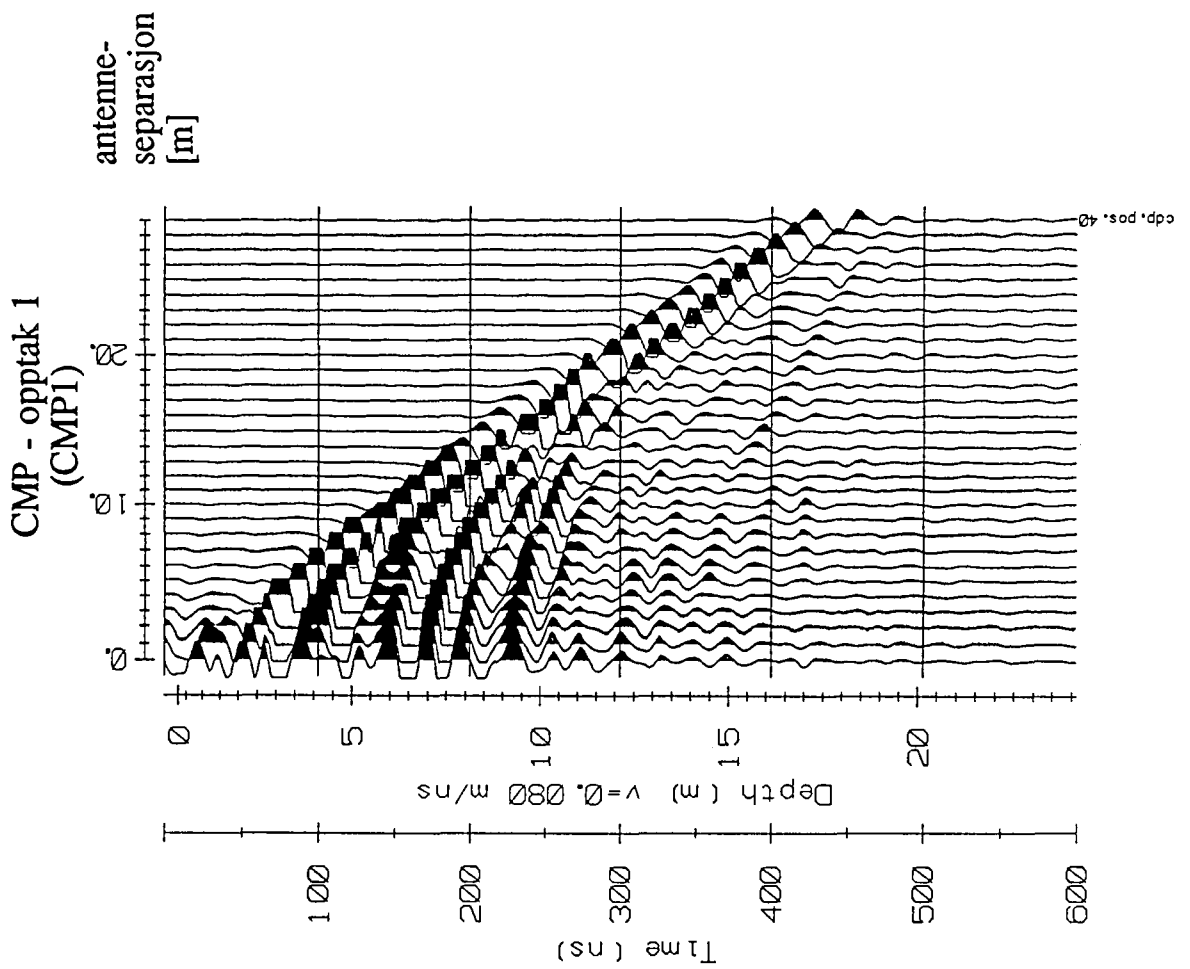
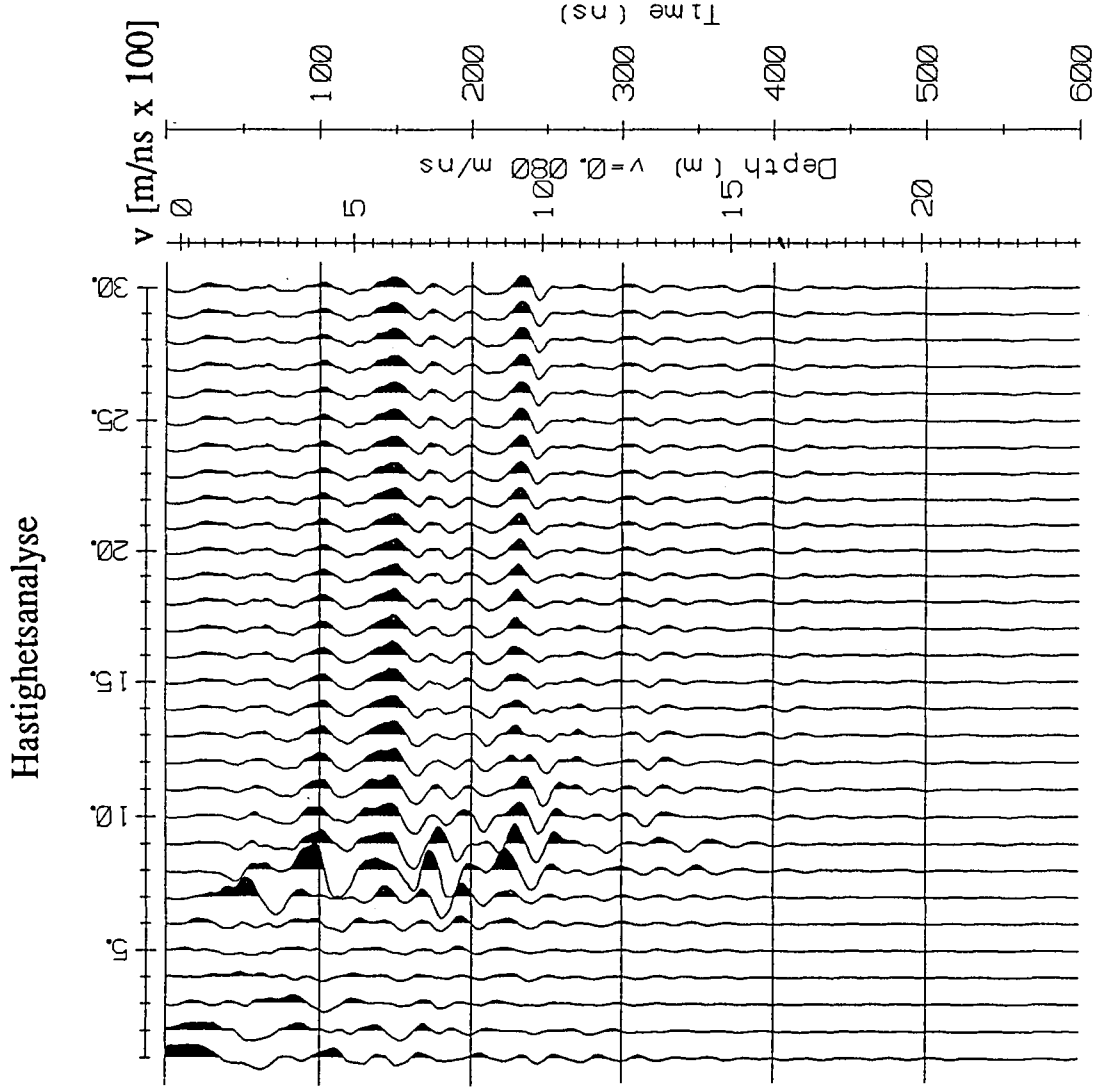
Det forekommer at en sjiktgrense ikke avspeiler seg i gangtidsdiagrammene, fordi de refrakterte bølger fra denne grense når overflaten seinere enn fra en dypere grense. Det foreligger da en såkalt 'blind sone', og de virkelige dyp kan være vesentlig større enn de beregnede. En annen feilkilde er til stede hvis man har et sjikt med lavere hastighet enn det

overliggende. Fra denne sjiktgrense vil det ikke komme refrakterte bølger til overflaten, og lavhastighetssjiktet vil ikke kunne erkjennes av måledata. Generelt kan det sies at usikkerheten i de beregnede dyp øker med antall sjikt. Med analog apparatur vil en kunne bestemme første ankomsttid med en usikkerhet på 1 millisekund ved middels god opptaks kvalitet. Hvis overdekkehastigheten er 1600 m/s, tilsvarer dette en usikkerhet på ca. 0.8 m i dybdebestemelsen på grunn av avlesningsfeil. I tillegg kommer eventuelle feil på grunn av at forutsetningene om isotropi og homogenitet ikke gjelder fullt ut.

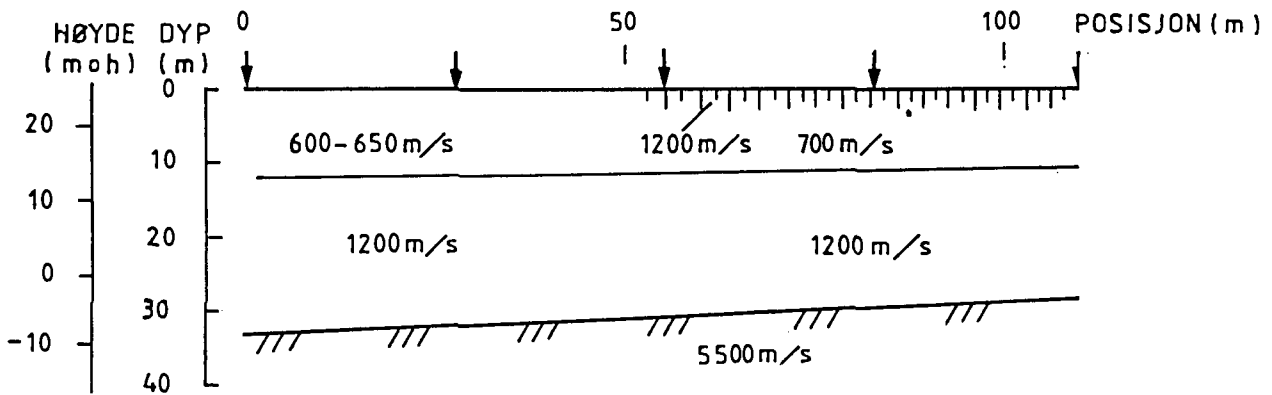
Ved meget god datakvalitet kan første ankomsttid avleses med 0.5 millisekunders nøyaktighet. Med denne nøyaktigheten er det allikevel urealistisk å regne med mindre enn 0.5 m usikkerhet i dybdeangivelsene. Ved meget små dyp til fjell (mindre enn én meter) blir overdekkehastigheten dårlig bestemt, og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

P-BØLGEHASTIGHET I NOEN MATERIALTYPER

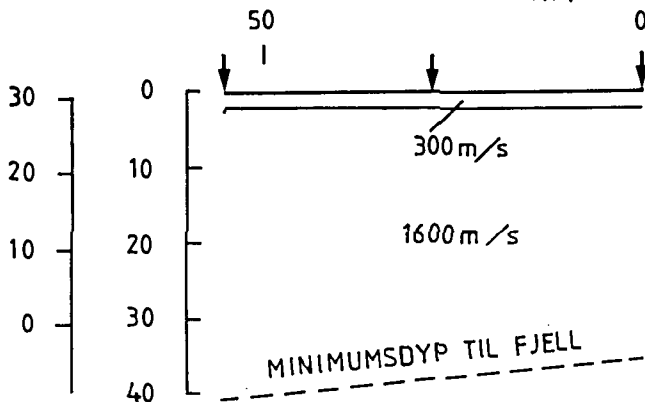
<i>Luft</i>		<i>330 m/s</i>
<i>Vann</i>		<i>1400-1500 m/s</i>
<i>Organisk materiale</i>		<i>150-500 m/s</i>
<i>Sand og grus</i>	<i>- over vannmettet sone</i>	<i>200-800 m/s</i>
<i>Sand og grus</i>	<i>- i vannmettet sone</i>	<i>1400-1700 m/s</i>
<i>Morene</i>	<i>- over vannmettet sone</i>	<i>700-1500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



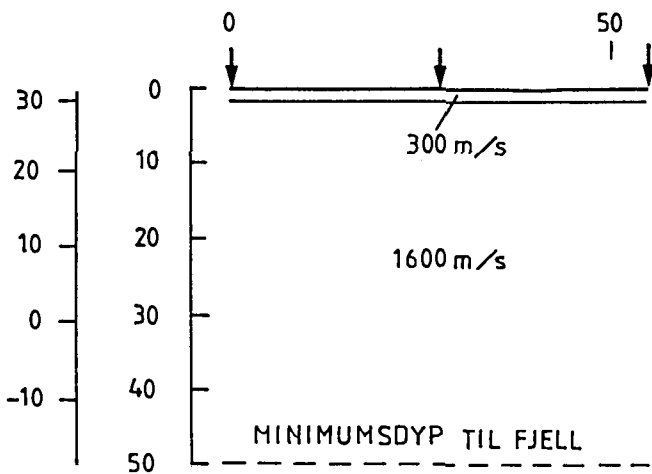
PROFIL S1-MELAN



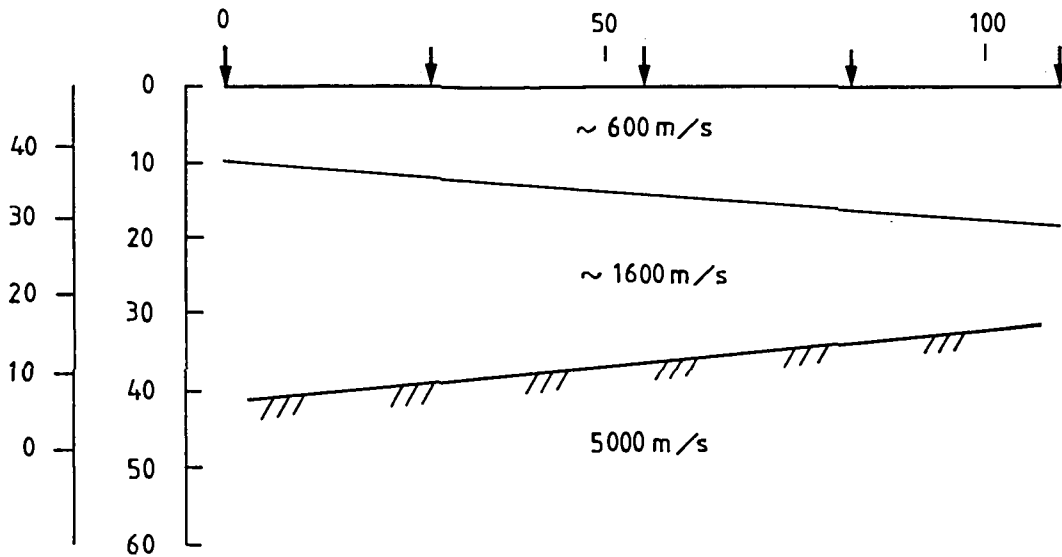
PROFIL S 2-EINLIA

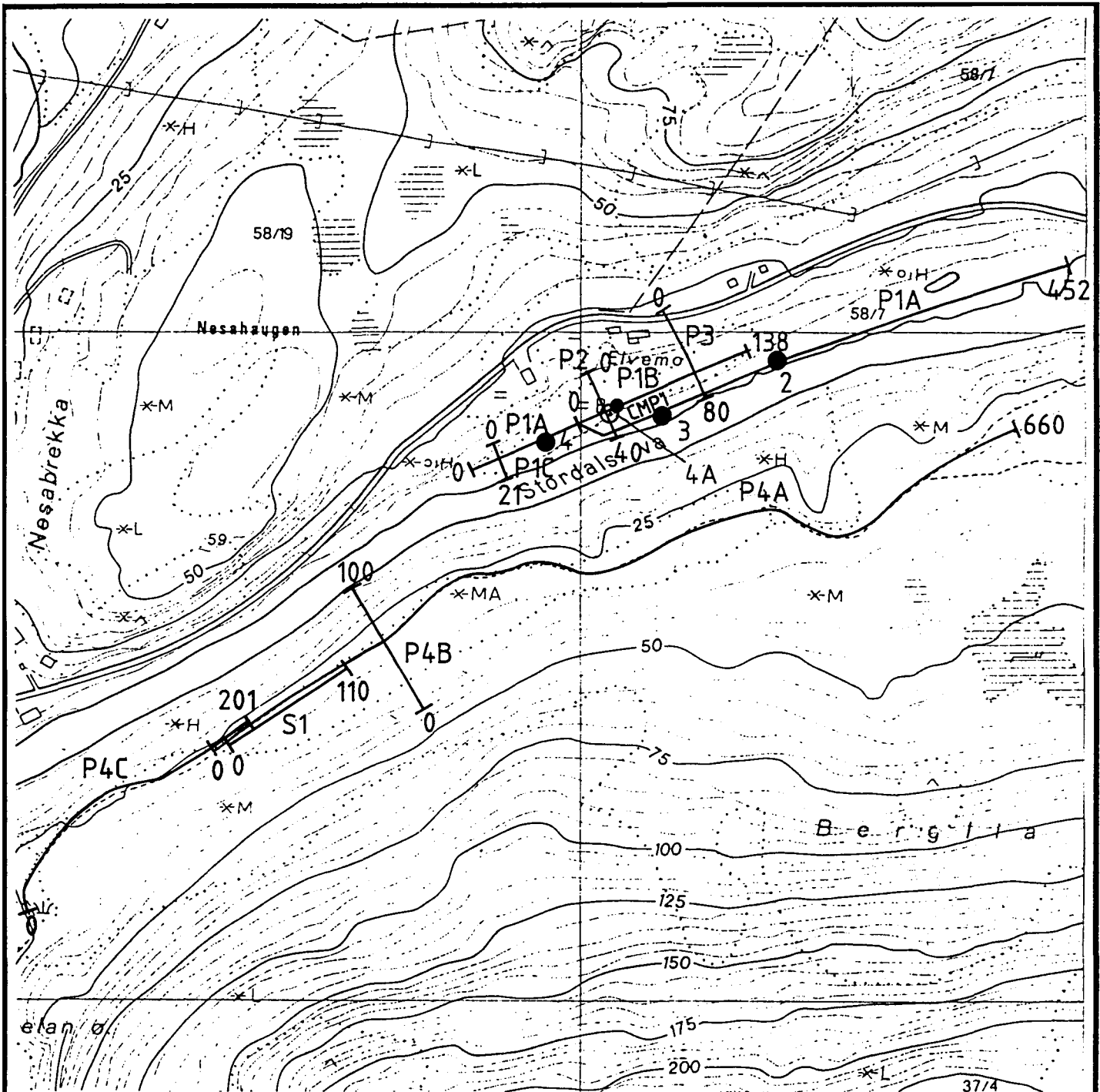


PROFIL S3-EINLIA

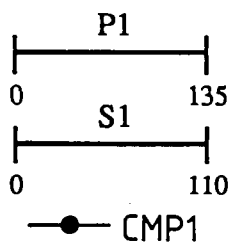


PROFIL S4-RØMMA





TEGNEFORKLARING



GEORADAR PROFIL MED ANGIVELSE AV
PROFILNUMMER OG ENDEPOSISJONER

SEISMISK PROFIL MED ANGIVELSE AV
PROFILNUMMER OG ENDEPOSISJONER

CMP OPPTAK

● SONDERBORINGER
HØST 1991

⊙ SONDERBORING
HØST 1992

NGU/Åfjord Kommune
OVERSIKTKART, Elvemo, Melan Ø.

ÅFJORD

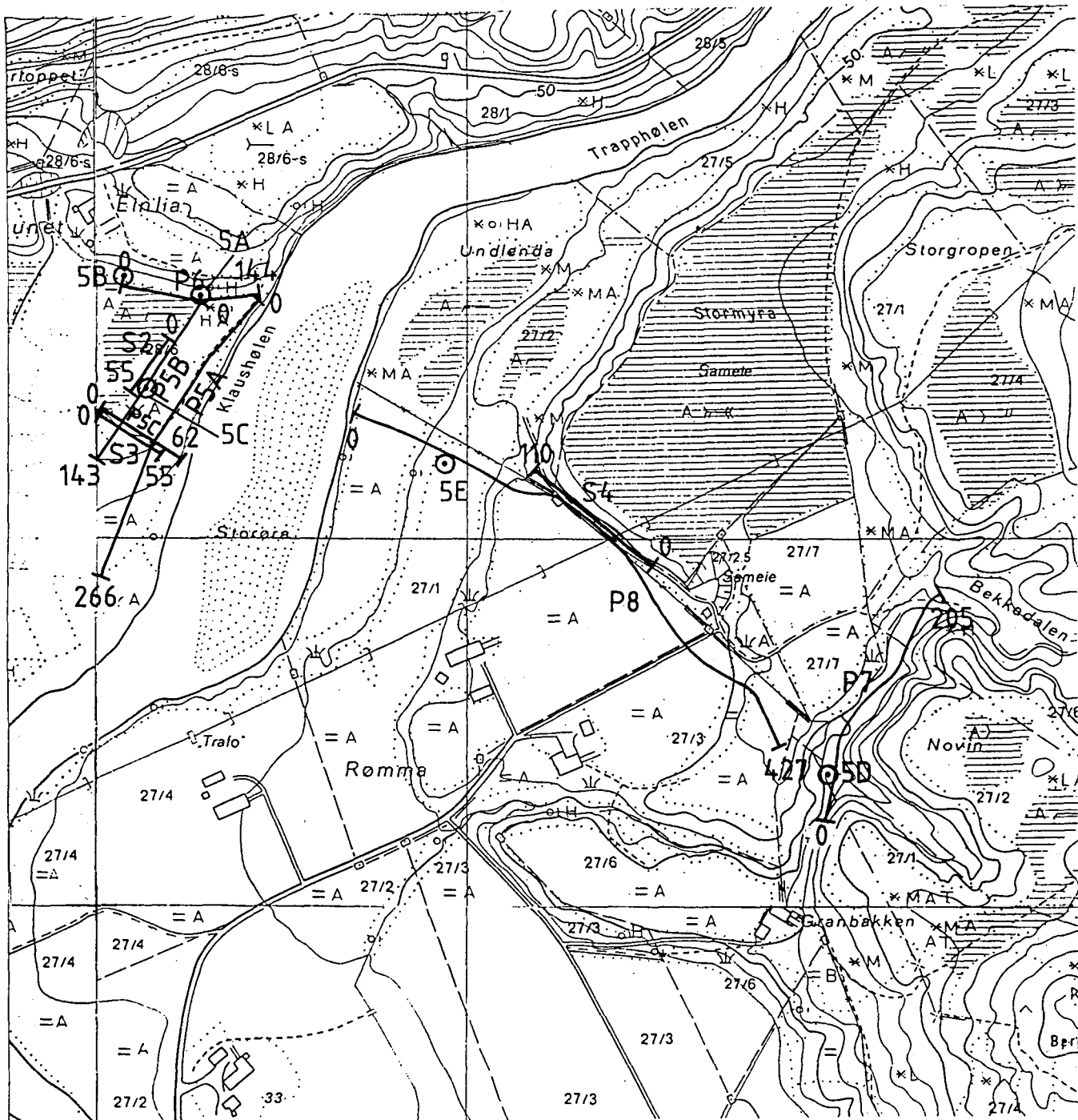
ÅFJORD KOMMUNE, SØR-TRØNDELAG

MÅLESTOKK 1 : 5000	MÅLT. JFT/JK	AUG 92
	TEGN. JK	NOV 92
	TRAC. RB	JAN 93
	KFR.	

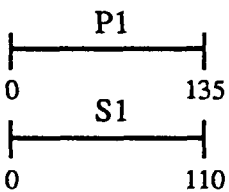
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

TEGNING NR
92.297-01

KARTBLAD NR
1622 IV



TEGNEFORKLARING

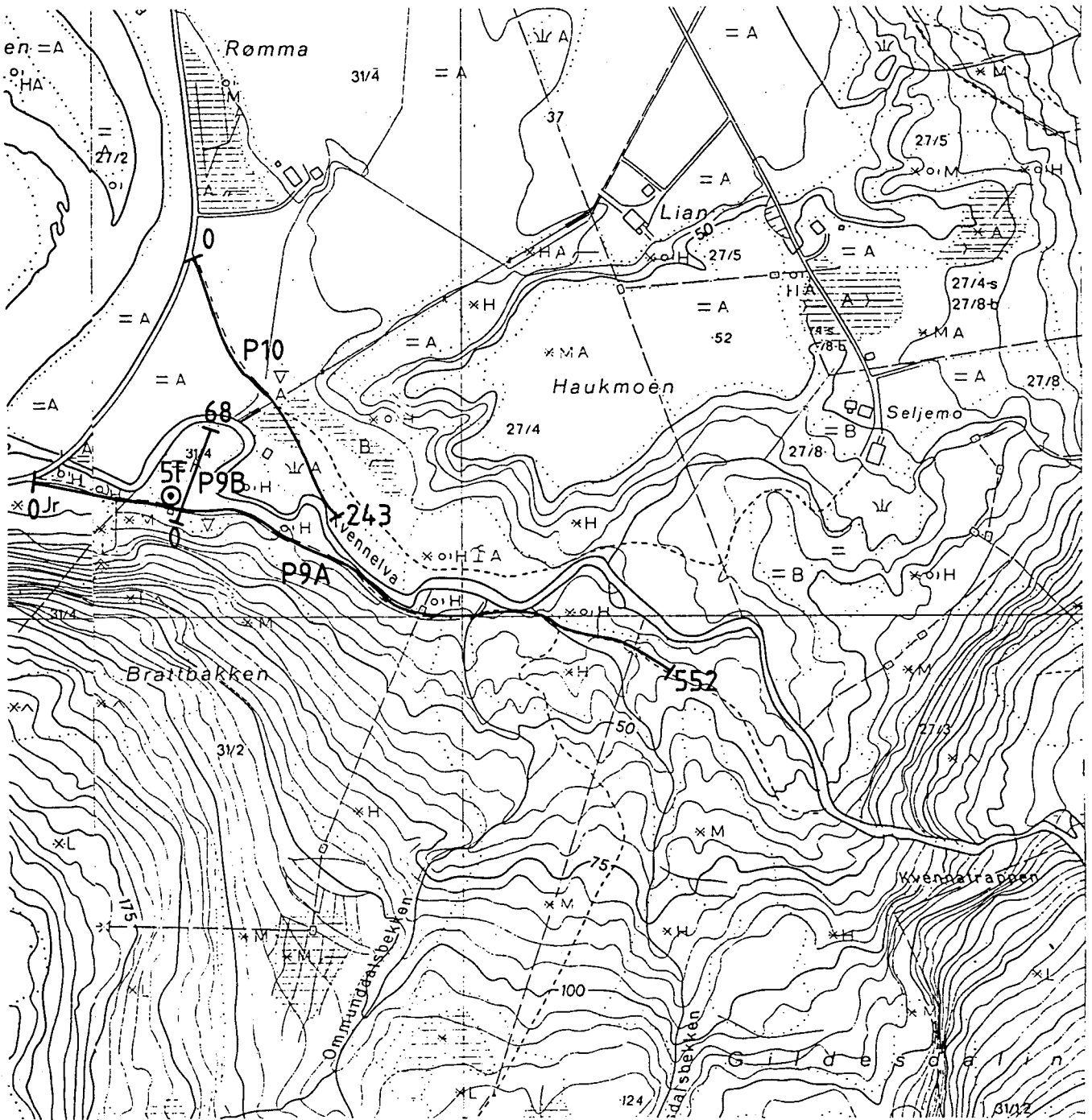


GEORADAR PROFIL MED ANGIVELSE AV PROFILNUMMER OG ENDEPOSISJONER

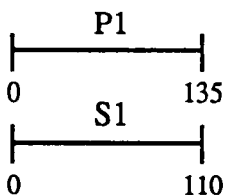
SEISMISK PROFIL MED ANGIVELSE AV PROFILNUMMER OG ENDEPOSISJONER

⊙ SONDERBORINGER HØST 1992

NGU/Åfjord Kommune OVERSIKTKART, Rømme, Einlia ÅFJORD ÅFJORD KOMMUNE, SØR-TRØNDELAG	MÅLESTOKK	MÅLT. JFT/JK	AUG 92
	1 : 5000	TEGN. JK	NOV 92
		TRAC. RB	JAN 93
		KFR.	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR 92.297-02	KARTBLAD NR 1622 IV	



TEGNEFORKLARING



GEORADAR PROFIL MED ANGIVELSE AV
PROFILNUMMER OG ENDEPOSISJONER

SEISMISK PROFIL MED ANGIVELSE AV
PROFILNUMMER OG ENDEPOSISJONER

⊙ SONDERBORING
HØST 1992

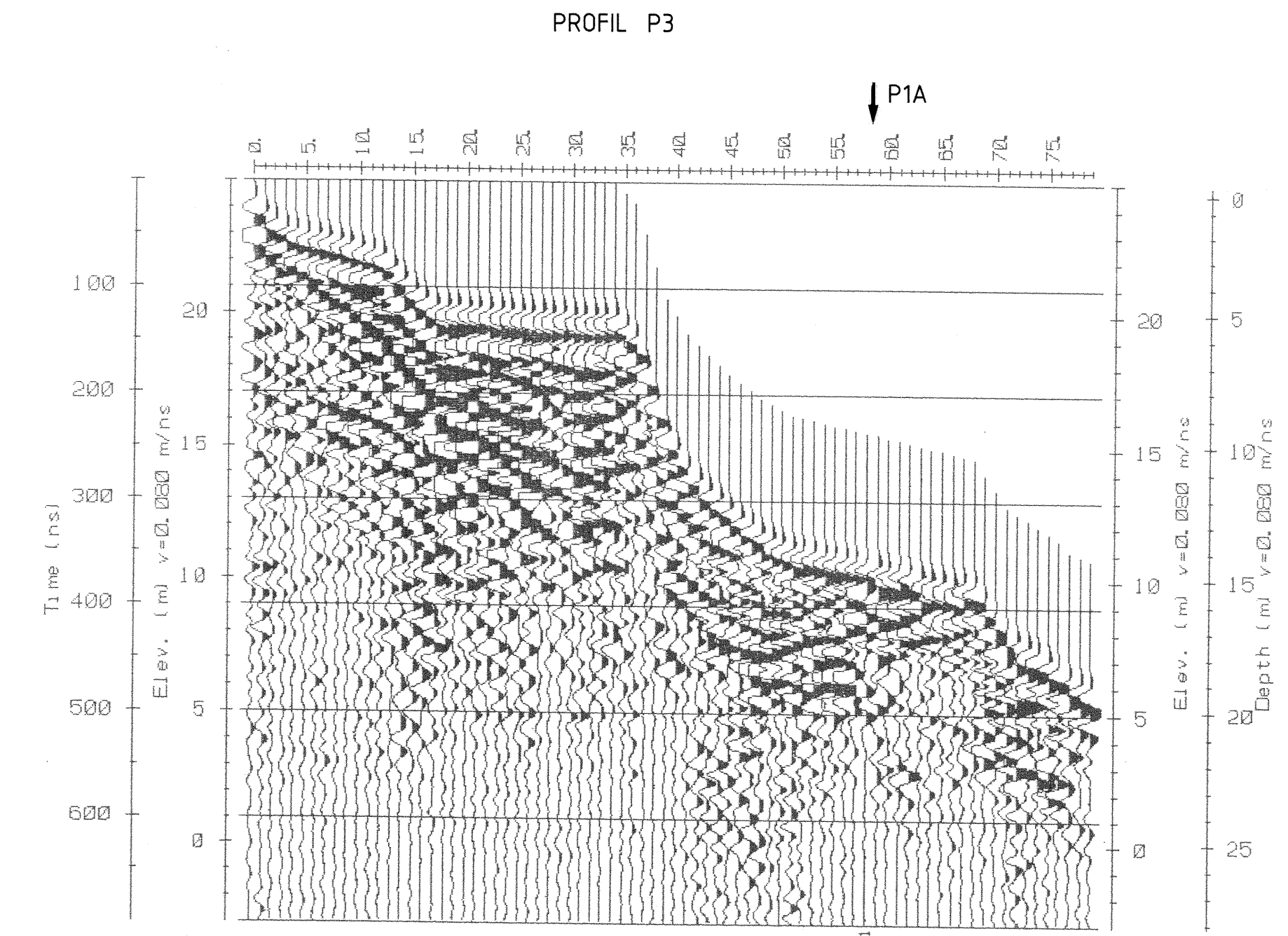
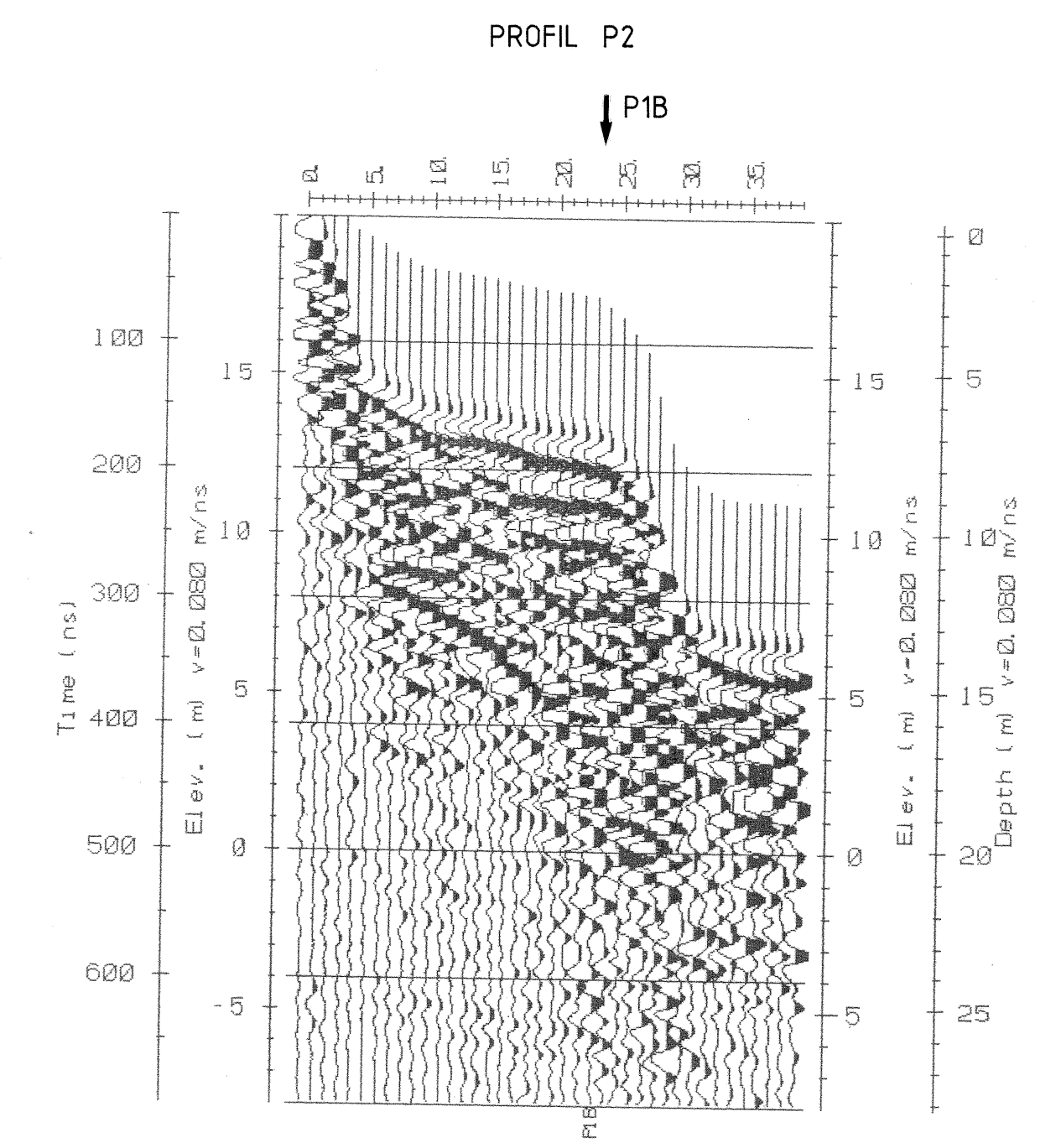
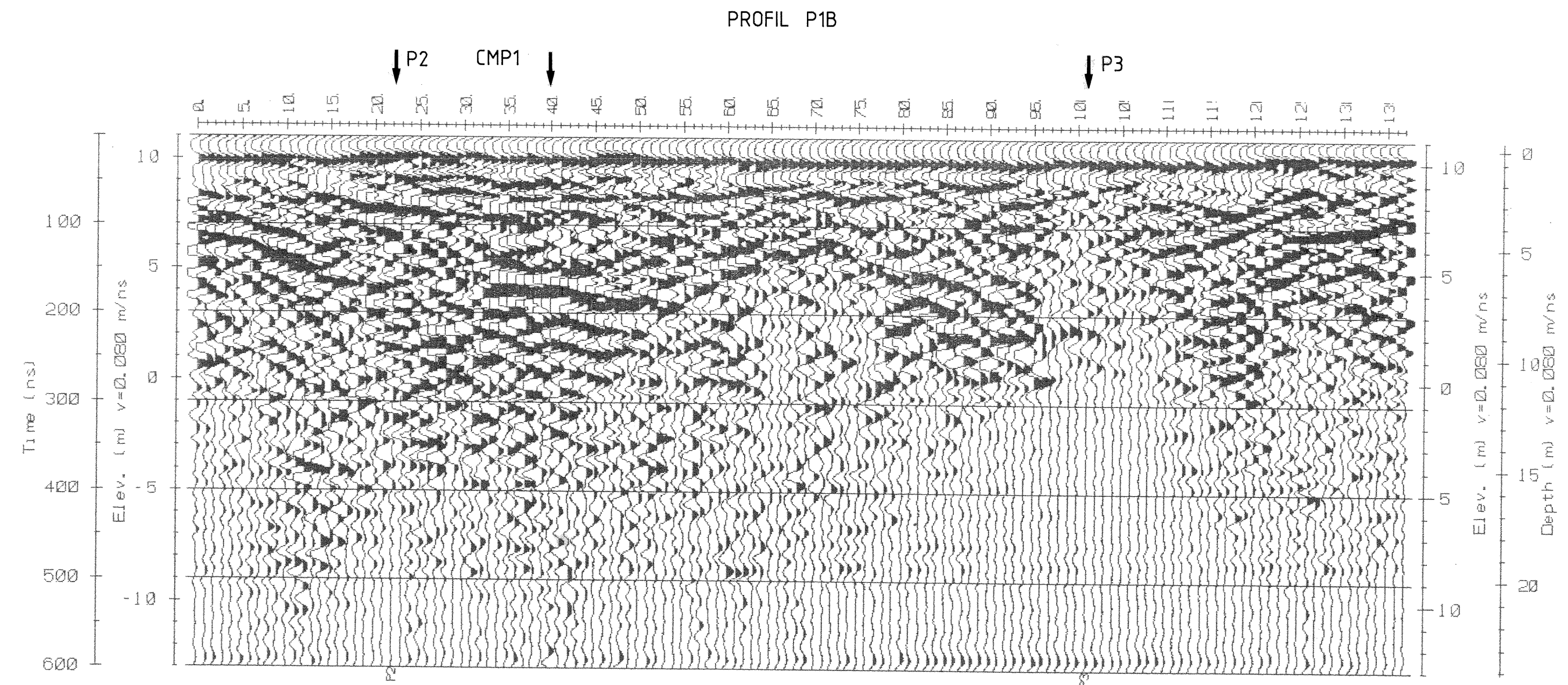
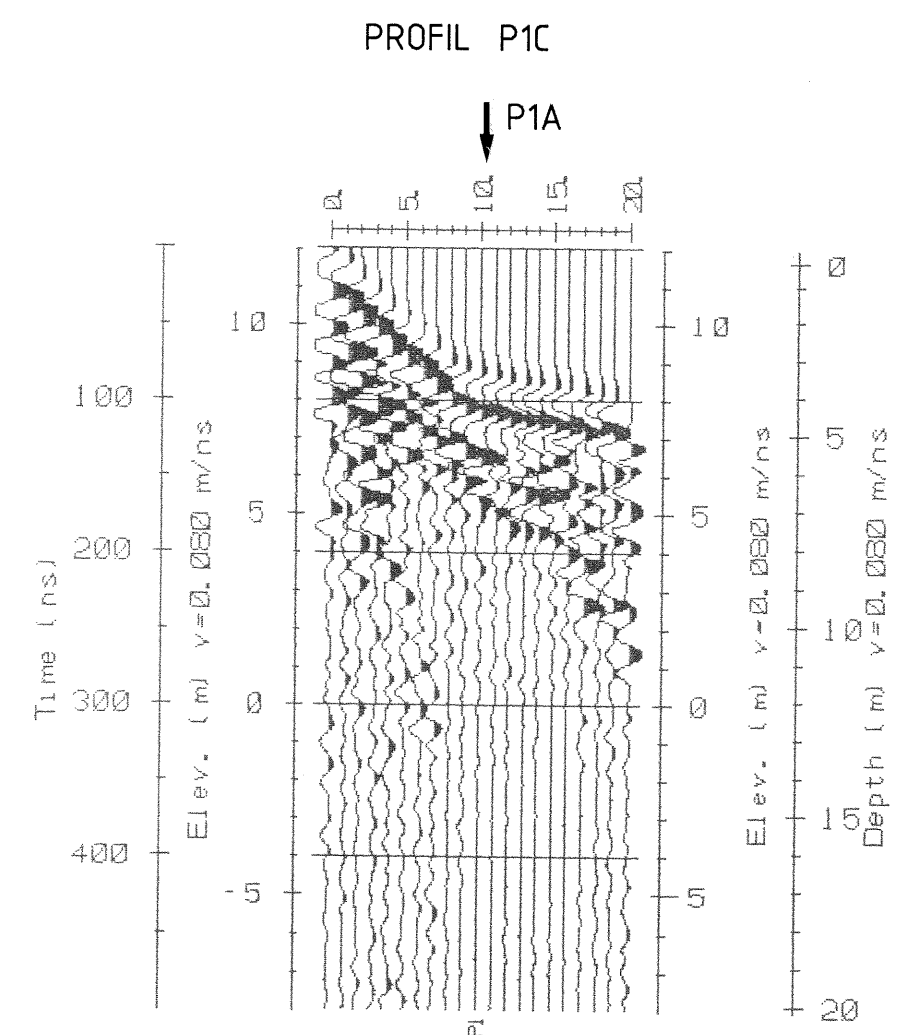
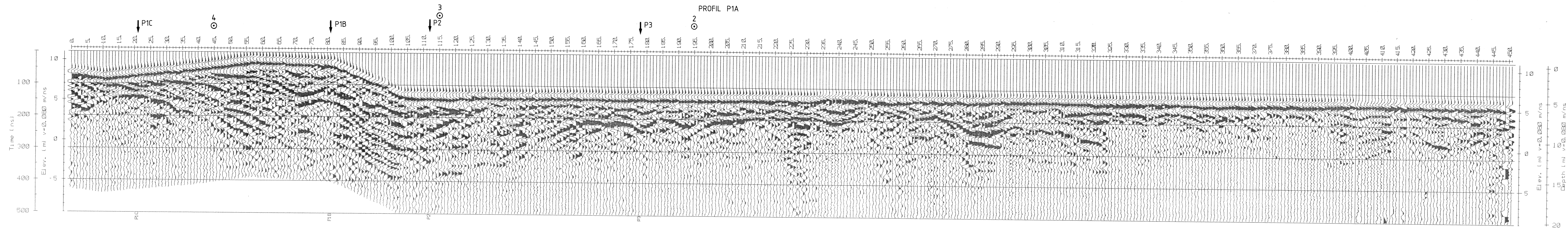
NGU/Åfjord Kommune
OVERSIKTKART, Kvinnelva
ÅFJORD
ÅFJORD KOMMUNE, SØR-TRØNDELAG

MÅLESTOKK 1 : 5000	MÅLT. JFT/JK	AUG 92
	TEGN. JK	NOV 92
	TRAC. RB	JAN 93
	KFR.	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

TEGNING NR
92.297-03

KARTBLAD NR
1622 IV



TEGNFORKLARING

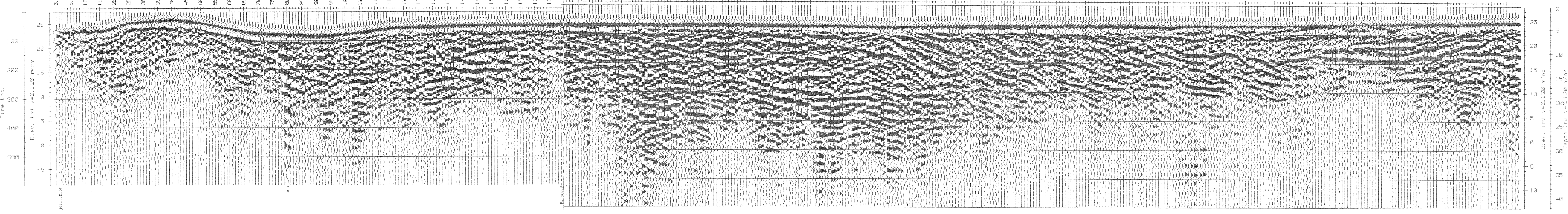
- ↓ P KRYSSENDE PROFIL
- ↓ CMP1 COMMON MID-POINT OPPTAK
- 2 SONDERBORING UTFØRT HØSTEN 1991 MED BORPUNKTNUMMER

NGU/ÅFJORD KOMMUNE GEORADARPROFILER, ELVEM ÅFJORD ÅFJORD KOMMUNE, SØR-TRØNDELAG FYLKE	MÅLESTOKK	MÅLT DB/JR	DKT 1991
	HM=1: 1000	TEGN JK	AUG 1992
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	VM=1: 2000	TRAC RB	NOV 1992
		KFR.	JAN 1993
TEGNING NR	KARTBLAD NR		
92.297 - 04	1622 IV		

PROFIL P4C

PROFIL P4A (POS. 0 - 330)

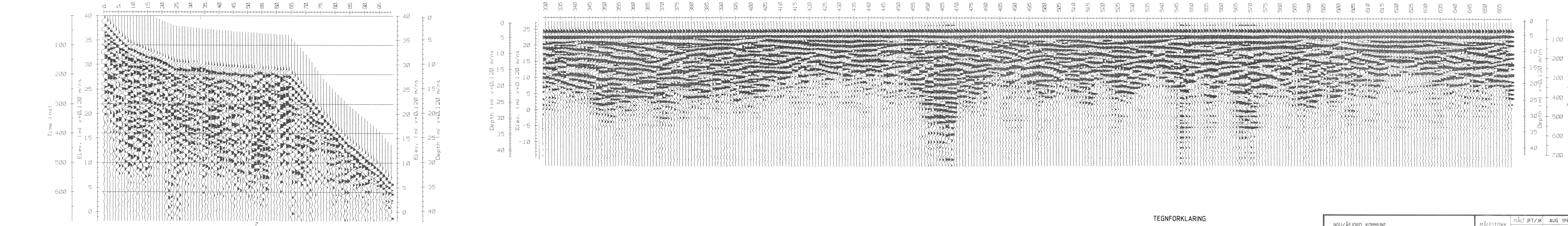
↓ P4B



PROFIL P4B

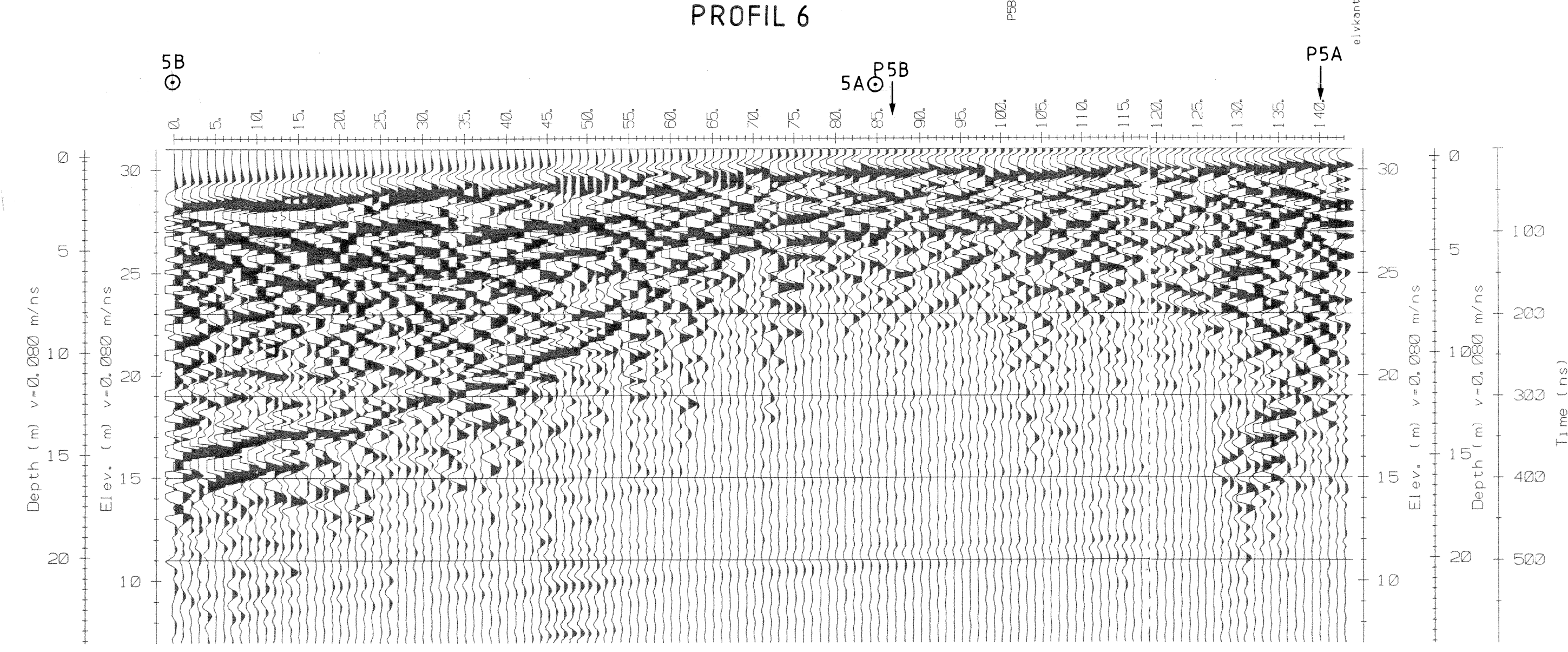
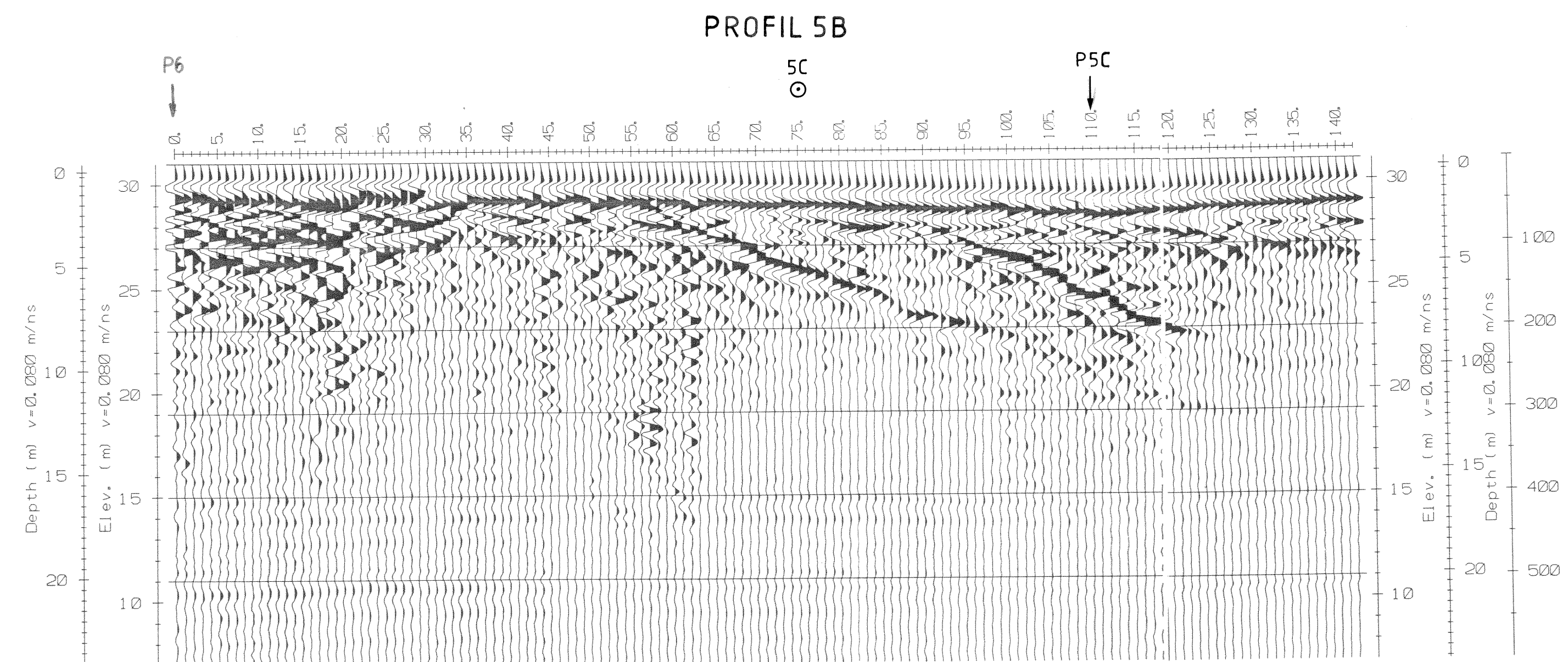
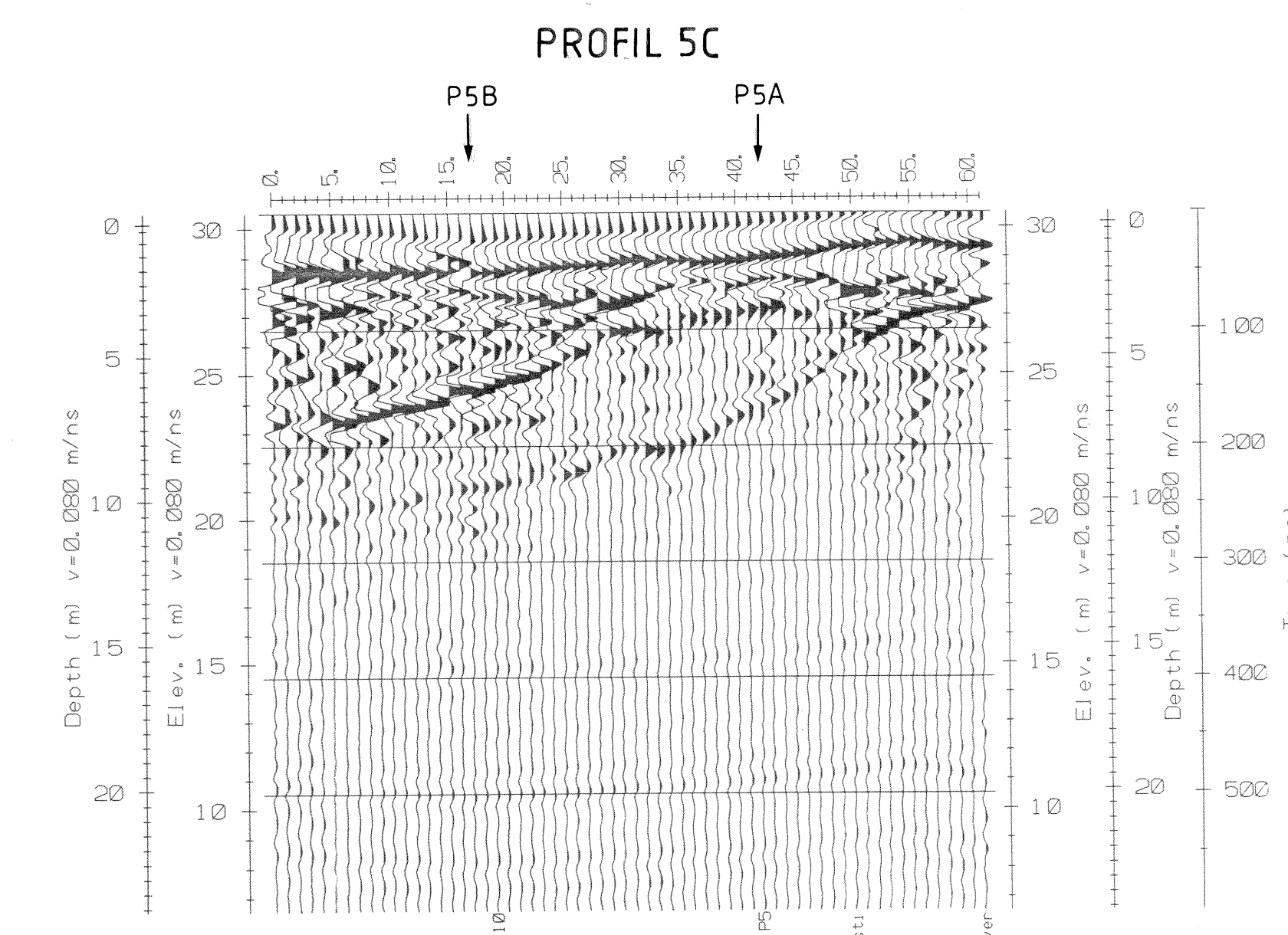
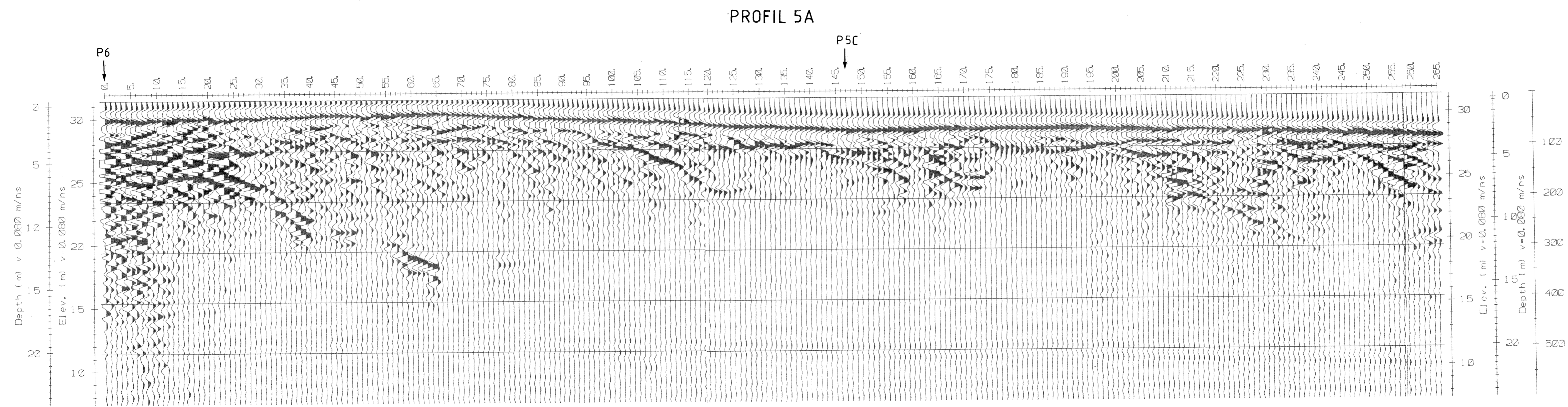
PROFIL P4A (POS. 330 - 470)

↓ P4A



TEGNFORKLARING
↓ P KRYSSENDE PROFIL

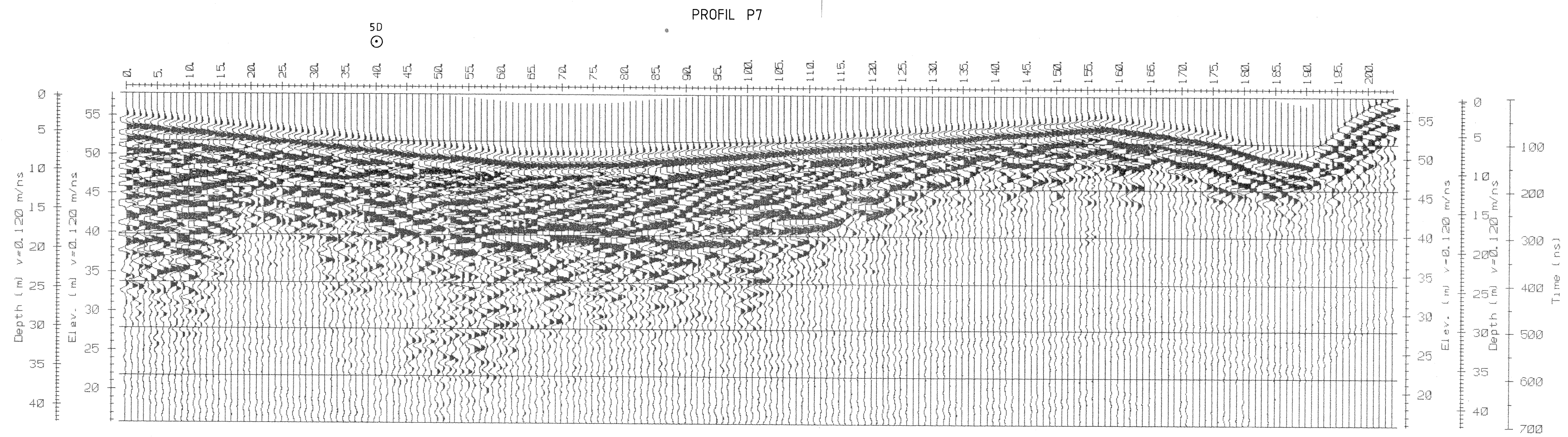
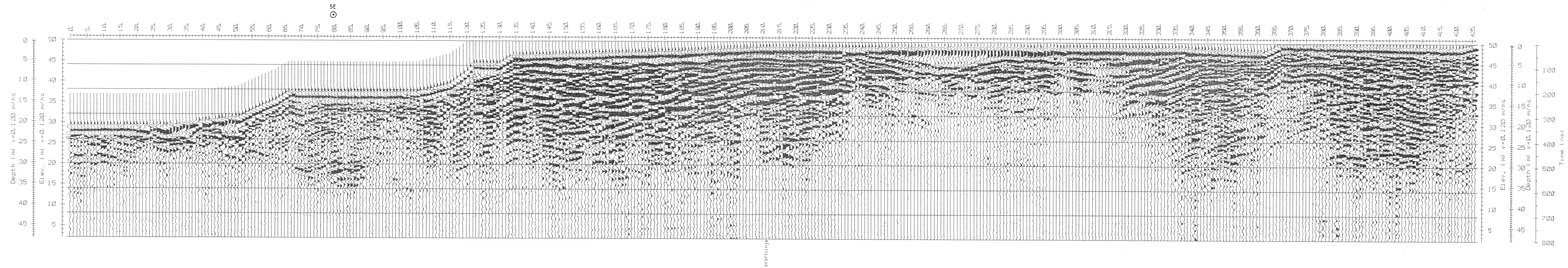
NGU/ÅFJORD KOMMUNE GEORADARPROFILER, MELAN Ø. ÅFJORD ÅFJORD KOMMUNE, SØR-TRØNDELAG FYLKE	MÅLESTOKK	MÅLT JFT./JK	AUG 1992
	HM=1: 500	TEGN JK	NOV 1992
	VM=1: 300	TRAC RB	JAN 1993
	KFR		
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR 92.297 - 05	KARTBLAD NR 1622 IV	



TEGNFORKLARING

- P ↓ KRYSSENDE PROFIL
- 5A ○ SONDERBORINGER UTFØRT HØSTEN 1992 MED BORPUNKTNUMMER

NGU/ÅFJORD KOMMUNE GEORADARPROFIL, EINLIA ÅFJORD ÅFJORD KOMMUNE, SØR-TRØNDELAG	MÅLESTOKK HM=1:500 VM=1:200	MÅLTJ.E.T.J.K. TEGN J.K. TRAC KFR.	AUG.-92 NOV.-92
	NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR. 92.297-06	KARTBLAD NR. 1622 IV



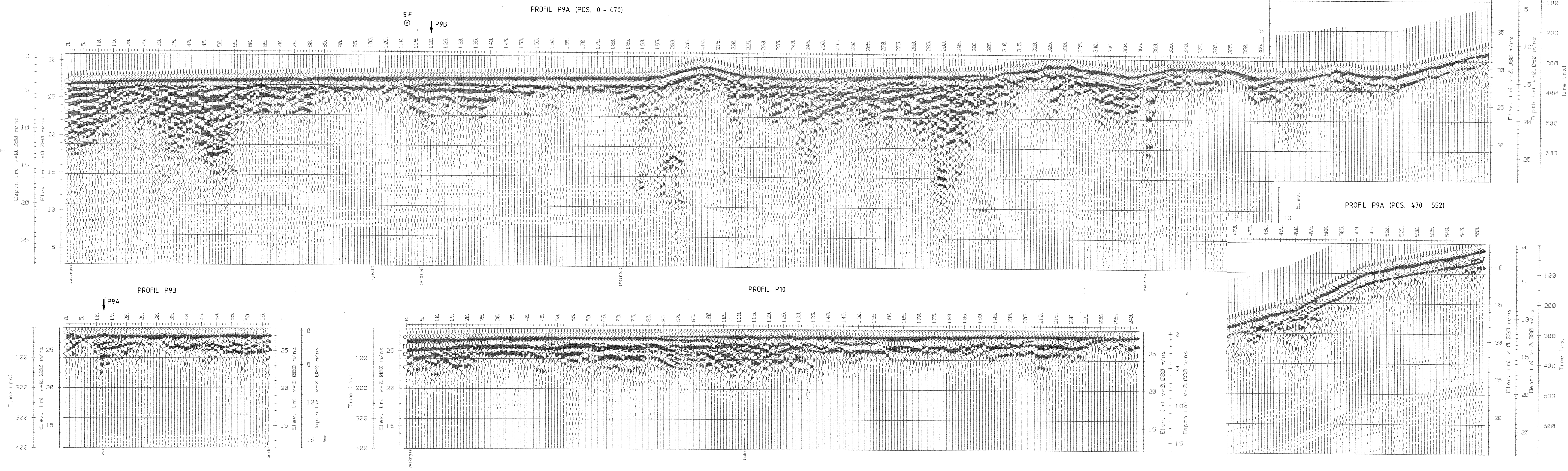
PROFIL P8

PROFIL P7

TEGNFORKLARING

SE
50
SONDERBORINGER UTFØRT HØSTEN 1992
MED BØRPUNKTNUMMER

NGU/ÅFJORD KOMMUNE GEORADARPROFILER, RØMMA ÅFJORD ÅFJORD KOMMUNE, SØR-TRØNDELAG FYLKE	MÅLESTOKK	MÅLT JFT./JK	AUG 1992
	HM=1: 500	TEGN JK	NOV 1992
	VM=1: 400	TRAC	
	KFR		
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR	KARTBLAD NR.	
	92.297 - 07	1622 IV	



TEGNFORKLARING

- ↓ P KRYSSSENDE PROFIL
- ⊙ 5F SONDERBORING UTFØRT HØSTEN 1992 MED BORPUNKTNUMMER

NGU/ÅFJORD KOMMUNE GEORADARPROFILER, KVENNELVA ÅFJORD ÅFJORD KOMMUNE, SØR-TRØNDELAG FYLKE	MÅLESTOKK	MÅLT JFT/JK	AUG 1992
	HM=1: 500	TEGN JK	NOV 1992
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	VM=1: 200	TRAC RB	JAN 1993
	TEGNING NR 92.297 - 08	KFR.	KARTBLAD NR 1622 IV