

Rapport nr. 85.117

Refraksjonsseismiske målinger på
Surnas delta i Surnadalsfjorden,
Møre og Romsdal



Norges geologiske undersøkelse

Leiv Eirikssons vei 39, Postboks 3006, 7001 Trondheim - Tlf. (07) 92 16 11
Oslokontor, Drammensveien 230, Oslo 2 - Tlf. (02) 55 31 65

Rapport nr. 85.117	ISSN 0800-3416	Åpen/Forfremming	
Tittel: Refraksjonsseismiske målinger på Surnas delta i Surnadalsfjorden, Møre og Romsdal			
Forfatter: Jan Fredrik Tønnesen		Oppdragsgiver: NGU	
Fylke: Møre og Romsdal		Kommune: Surnadal	
Kartbladnavn (M. 1:250 000) Ålesund		Kartbladnr. og -navn (M. 1:50 000) 1420 IV Stangvik	
Forekomstens navn og koordinater: Surnadalsøra 32V 4820 69835		Sidetall: 14	Pris: kr. 60,-
		Kartbilag: 2	
Feltarbeid utført: 16.-20.07.84	Rapportdato: 30.12.1985	Prosjektnr.: 2197	Prosjektleder: J.F. Tønnesen
Sammendrag: De refraksjonsseismiske målingene er utført både på deltaflaten i tidevannssonen og nedover fjordbunnen utenfor. Målingene omfatter 7 profiler med samlet lengde vel 3 km. Undersøkelsen er gjennomført i forbindelse med oversiktskartlegging av sjøbunnsavsetningene ellers i Surnadalsfjorden (NGU rapport nr. 85.109). Målingene viser at en fjellrygg med lengderetning vestsydvest-østnordøst stikker opp midt under deltaflaten. Lengst øst er ryggen knapt 40 m under overflaten, men den skråner ned vestover til 80-90 m under ytre del av deltaflaten. Nordvest for ryggen øker dyp til fjell til rundt 150 m. Sydover mot Surnas nåværende utløp skråner fjelloverflaten nedover til mer enn 80-90 m øst på deltaflaten og til mer enn 120 m lenger vest på flaten. Fra Glæremsneset på nordsiden av fjorden og fra Surna kai på sydsiden skråner fjellet ned til mer enn 100 m under havnivå mindre enn 400 m fra strandkanten. Seismiske hastigheter rundt 2000 m/s i sedimentene utenfor Glæremsneset og Surna kai indikerer godt pakket materiale, trolig vesentlig morenemateriale. Også øvrig kartlegging indikerer at en randavsetning krysser fjorden i dette området. Østenfor er hastigheten 1500-1700 m/s som er vanlig for delta- og bassengsedimenter.			
Emneord	Geofysikk	Løsmasse	
	Seismikk	Mektighet	
	Refraksjonsseismikk	Marin geologi	
		Fagrapport	

Hydrogeologiske rapporter kan lånes eller kjøpes fra Oslokontoret, mens de øvrige rapportene kan lånes eller kjøpes fra NGU, Trondheim.

INNHold

	Side
1. INNLEDNING	4
2. UTFØRELSE	4
3. DATAKVALITET OG USIKKERHETER	6
4. TOLKNINGSRESULTATER	7
4.1. Profil 1 og 2 i fjorden ytterst på deltaet	7
4.2. Profil 3 og 4 på nordlige del av deltaet	8
4.3. Profil 5-7 sentralt på deltaflaten	9
5. REFERANSER	11

TEKSTBILAG

- Bilag 1: Beskrivelse av seismisk refraksjonsmetode
- 2: Seismiske hastigheter i løsmasser

KARTBILAG

- 85.117-01 Oversiktskart Surnadalsøra (1:20 000)
- 02 Tolkede refraksjonsseismiske profiler

1. INNLEDNING

De refraksjonsseismiske målingene er utført på Surnas delta i fjorden, både på deltaflaten i tidevannssonen og nedover fjordbunnen utenfor. Målingene omfatter 7 profiler med samlet lengde vel 3 km. Profilenes plassering er vist i kartbilag 85.117-01.

Formålet med målingene var å kartlegge sedimentmektigheter og sedimenttyper i deltaområdet og beregne fjelloverflatens forløp under deltaet.

Målingene er utført i forbindelse med kartlegging av sjøbunnsavsetningene i Surnadalsfjorden for øvrig. Hele fjordbassenget og ytre deler av deltaområdet er kartlagt ved hjelp av refleksjonsseismiske målinger fra båt (Bjerkli 1985). Det er tidligere utført kvartærgeologisk kartlegging på land (Follestad og Hamborg 1982 og Follestad 1984).

2. UTFØRELSE

Målingene ble utført etter vanlig seismisk refraksjonsmetode, se bilag 1. Som registreringsinstrument ble benyttet en ABEM Trio med 12 kanaler. Profil 4-7 ble målt ved lavvann på tørrlagt deltaoverflate med landseismisk kabel. Det ble gjennomgående brukt 200 m lange kabelutlegg. Avstanden mellom geofonene var 20 m, men ble innkortet til 10 m i hver ende av utlegget. Skuddpunkt ble som regel plassert 10 m ut fra hver endegeofon og ett ved midten av hvert utlegg, slik at skuddpunktavstanden langs profilene ble 110 m. I hvert av profilene 4-7 er det bare brukt ett kabelutlegg. Profilene 5-7 er forlenget ved bruk av fjernskudd. Profil 5 er forlenget mot nord med fjernskudd 130 m fra endeskuddet. Dette profilet er ufullstendig da både midtskudd og

søndre endeskudd er utelatt. Noe forsinkelse i måleopplegget medførte at området måtte evakueres på grunn av tidevannet før profilet var fullført. Profil 6 er forlenget med fjernskudd 125 m mot syd og 150 m mot nord mens midtskudd er utelatt. Profil 7 er forlenget med fjernskudd 110 m og 200 m mot vest.

For profil 1 og 2 er det benyttet en registreringskabel for bruk under vann. I hver ende av kablen er det to hydrofonavstander på 10 m, mens avstanden ellers er 20 m. Registreringskabel med tilførselsende på 50 m ble lagt ut fra land langs sjøbunnen ved hjelp av båt. Det ble detonert en dynamittladning 10 m fra hver endehydrofon, dvs. 20-40 m fra land og 200 m lenger ut. Dessuten ble fjernskudd plassert ca. 250 m ut fra ytre endeskudd i profil 1 og ca. 200 m fra endeskudd i profil 2. Ladningene ble plassert på sjøbunnen.

I profil 3 er det brukt ett landkabelutlegg fra begynnelsen av profilet og ett vannkabelutlegg fra 430 m i profilet. For landkabelutlegget er det bare benyttet endeskudd. For vannkabelutlegget er det foruten endeskudd plassert ett fjernskudd ved nærmeste endeskudd i landkabelutlegget og ett ca. 200 m fra det ytre endeskudd.

Profil 3 er stedfestet i forhold til fyllingen som er lagt opp fra industrikaien og utover langs ytre del av deltaflaten. Skuddpunkt ved 220 m er plassert like ved sydenden av fyllingen slik den var på det tidspunkt. Profillinjen følger østsiden av fyllingen mot nord fram til 380 m. Undervannskabelen er lagt ut fra fyllingen like etter at den dreier mot nordøst innover mot industrikaien.

Profil 6 krysser over kommunal avløpsledning 75 m fra sydenden av profilet. Skuddpunkt i østenden av profil 7 er plassert i overgangen mellom deltaflate og strandskråning.

Feltarbeidet ble utført av Kristian Bjerkli, Heidi A. Olsen og Jan Fredrik Tønnesen, alle fra NGU.

3. DATAKVALITET OG USIKKERHETER

Registreringene er av noe blandet kvalitet. Med undervannskabelen kom det inn uregelmessig høyfrekvent støy for en del av kanalene, spesielt nærmest skuddpunkt. Ved fjernskudd var som regel det meste av støyen borte. Med landseismisk kabel var det i enkelte tilfelle lignende støy, men gjennomgående var det lite støy. Når det sees bort fra disse støyproblemene er de registrerte signaler gode for profil 1-2 og 5-7. I profil 3 og 4 er det tildels svært dårlige signalforhold. Bølgeenergien fra en del skuddpunkt ble effektivt dempet i sedimentene. For bølgeutbredelse i sedimentene langs utleggene (direktebølger) ble de registrerte signalene svake og diffuse i forholdsvis kort avstand fra skuddpunkt. Refrakterte og eventuelt reflekterte bølger fra antatt fjelloverflate ga også gjennomgående svake og upresise signaler. I utlegg uten fjernskudd kom som regel ankomstene fra fjelloverflaten senere enn den direkte bølgen.

Terrenghøyden langs profilene er ikke oppmålt. For målingene som er gjort i tidevannssonen er det ved profilopptegningen regnet at terrengnivået er jevnt lik havnivå. Sjøbunnstopografien ellers langs profilene er tegnet vesentlig på grunnlag av dybdeverdier fra "Hydrografisk original" nr. VII-74 utarbeidet av Norges Sjøkartverk i 1974. Sjøbunnstopografien i fjorden er også gjengitt av Bjerkli (1985). Feil i sedimentoverflatens nivå vil også medføre feil i nivået av sjiktgrenser og fjelloverflate.

Dyp til fjell vil være best bestemt under kabelutleggene. Ved beregning av dyp til fjell under fjernskudd er det antatt at

seismisk hastighet bestemt i sedimentene under kabelutlegget også kan benyttes langs profilet utenfor utlegget.

4. TOLKNINGSRESULTATER

Resultatene av målingene er vist som profiltegninger i kartbilag 85.117-02.

4.1. Profil 1 og 2 i fjorden ytterst på deltaet

Profil 1. Langs det 450 m lange profilet som er målt fra Surna kai og nordnordøstover, skråner fjelloverflaten nedover fra rundt 30 m under havnivå til rundt 110 m. Sedimentmektigheten er knapt 30 m ved profilenden nærmest land. Mektigheten holder seg i området 40-50 m til midtveis i profilet og øker til 70-75 m mot ytterenden. Seismisk hastighet i sedimentene er bestemt til ca. 2000 m/s langs sydlige halvdel av profilet.

Profil 2. Det 390 m lange profilet er målt sydsydøstover fra Glæremsneset på motsatt side av fjorden. Fjelloverflaten er beregnet å ligge 45-50 m under havnivå de nordligste 180 m av profilet, men kan gå noe dypere ned mot nordenden. Sydover skråner fjellet steilt ned til mer enn 110 m under havnivå. I området 150-200 m fra nordenden skråner sjøbunnen også steilt nedover og sjødyppet øker fra 7-8 m til rundt 30 m. Sedimentmektigheten er minst midt under sjøbunnskråningen med i underkant av 35 m. Mektigheten øker mot land og er bortimot 50 m ved nordenden av profilet. Mot syd øker mektigheten til mer enn 80 m. Seismisk hastighet nede i avsetningen er anslått å være rundt 2000 m/s, men fra nordenden og utover til og med sjøbunnskråningen ser det

ut til å være lavere hastighet øverst. Hastigheten er anslått til 1500 m/s, men er dårlig bestemt. Sjiktgrensen i avsetningen er også usikkert bestemt. Usikkerhet i hastighetsfordelingen medfører også øket usikkerhet i beregningene av dyp til fjell.

Seismiske sedimenthastigheter rundt 2000 m/s i profil 1 og 2 indikerer godt pakket materiale og det antas å være vesentlig morenemateriale. Langs profildelene utenfor kabelutleggene kan det tenkes å ligge sedimenter med lavere hastighet øverst. Dette vil medføre at de beregnede fjelldyp der kan være noe for store.

Avsetningene som bygger opp Glæremsneset er kartlagt som breelv-materiale (Follestad 1984). Høye seismiske hastigheter i sjøbunnsedimentene og resultater fra refleksjonsseismiske målinger (Bjerkli 1985) viser at avsetningene på land utgjør nordenden av en større israndavsetning som går på tvers av fjordbassenget fra Glæremsneset og sydover mot Surna kai. Randavsetningen demmer opp for deltasedimentene østenfor og sjødypet øker brått vest for randavsetningen.

Materialet med lavere hastighet øverst i avsetningen utenfor Glæremsneset er trolig en lokal deltaavsetning fra bekken Gløna som har erodert i breelvmaterialet nordenfor. Dette grunne området kan imidlertid også utgjøre ytre del av den store deltaflaten. Den brå økningen i sjødypet mot syd kan skyldes at den opprinnelige deltaflaten der er fjernet ved et større flyteskred (jfr. Bjerkli 1985).

4.2. Profil 3 og 4 på nordlige del av deltaet

I profil 3, som er ca. 830 m langt, skråner fjelloverflaten ganske steilt nedover mot nord de sydligste 100 m fra 80 m til 120 m under havnivå. I området 220-460 m fra sydenden av profilet er fjelloverflaten anslått å ligge 140-150 m under havnivå.

De neste 150 m ser fjelloverflaten ut til å stige opp til 80-90 m under havnivå og videre slakt til 70 m de siste 200 m av profilet.

På deltaflaten i tidevannssonen vil sedimentmektigheten være lik dyp til fjell under havnivå, men utenfor flaten vil mektigheten være mindre på grunn av sjødyppet. I profil 3 øker vanddyppet fra 2-3 m til vel 25 m fra 480-620 m i profilet, og sedimentmektigheten avtar der fra 130 m til 60 m. Videre mot enden av profilet avtar mektigheten til knapt 50 m. Seismisk hastighet i sedimentene er beregnet å ligge i området 1500-1600 m/s.

Profil 4 har tilsvarende seismiske sedimenthastigheter, men i den nordlige delen av profilet er hastighetsfordelingen mer komplisert. Det ser ut til at sjiktet med hastighet 1500-1600 m/s tynner helt ut mot nordenden og at det under ligger en sone med hastighet rundt 900 m/s. Mektigheten av denne sonen er svært usikker, men det er antatt at den er forholdsvis begrenset og at underliggende materiale har hastighet som er "normal" for vannmettet sediment. Lavhastighetssonen kan skyldes høyt innhold av organisk materiale. Ved boring i området (Stokke 1984) ble det funnet en god del planterester i materialet.

På grunn av kompliserte hastighetsforhold, dårlige signalforhold og kort profillengde (220 m) er beregningen av dyp til fjell nokså usikker. Fjelloverflaten er anslått å ligge 60-70 m under havnivå ved nordenden av profilet og den skråner trolig ned til mer enn 100 m sydover langs profilet.

4.3. Profil 5-7 sentralt på deltaflaten

Målingene viser at en fjellrygg med lengderetning vestsydvest-østnordøst stikker opp under deltaflaten. Ryggen ligger grunnet ved nordenden av profil 5 og 6. I profil 5 som er 350 m langt,

øker dypet ned til fjell fra 45-50 m ved nordenden til rundt 120 m sydover. Østenfor, i profil 6 med lengde 495 m, er fjelloverflaten knapt 40 m under deltaflaten lengst nord i profilet, mens den skråner nedover mot syd til bortimot 90 m. Profil 7 som er målt normalt på profil 5 og 6, viser at fjellryggen også skråner nedover mot vest. Langs profilet øker dyp til fjell fra 50-55 m lengst øst på deltaflaten til 85-90 m vel 400 m lenger vest. Resultatene fra profil 3 indikerer at fjellet skråner steilt nedover nordvest for ryggen.

Seismisk hastighet i sedimentene sentralt på deltaflaten er bestemt til 1600-1700 m/s. Dette er noe høyere enn i profil 3 og 4 nordenfor. Forskjellen kan skyldes endringer i sedimentsammensetning, muligens at materialet er noe grovere sydover på deltaet.

Seismisk hastighet i fjell er anslått å variere i området 5000-5400 m/s, men for flertallet av profilene er hastigheten dårlig bestemt, og det er antatt en hastighet rundt 5000 m/s.

Trondheim, 30. desember 1985
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
Geofysisk avdeling

Jan Fredrik Tønnesen
Jan Fredrik Tønnesen
forsker

5. REFERANSER

- Bjerkli, K. 1985: Refleksjonsseismiske målinger i Surnadalsfjorden, Møre og Romsdal. NGU rapport nr. 85.109.
- Follestad, B.A. & Hamborg, M. 1982: SKEI, kvartærgeologisk kart BQR115116-20, Nor. geol. unders.
- Follestad, B.A. 1984: STANGVIK, kvartærgeologisk kart 1420 IV - M 1:50 000. Nor. geol. unders.
- Stokke, J.A. 1984: Deltaljundersøkelse av en sandforekomst ved Bøvrasrøtet i Surnadal kommune. NGU rapport nr. 84.126.

SEISMISK REFRAKSJONSMETODE.

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/sek i visse typer porøst overdekke til godt over 5000 m/sek i enkelte bergarter.

En "lydstråle" fra en sprengning i overflaten treffer en grense mellom 2 sjikt hvor lydhastigheten 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 $\frac{\sin i}{\sin R} = \frac{V_1}{V_2}$. Når R blir $= 90^\circ$, vil den

refrakterte stråle følge sjiktgrensen, og vi har $\sin i = \frac{V_1}{V_2}$

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

Lydforplantningen langs sjiktgrensen vil gi årsak til sekundærbølger som returnerer til terrengoverflaten under vinkelen i_c . I en viss kritisk avstand fra skuddpunktet vil disse refrakterte bølger nå frem 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 utnytter en ved å plassere seismometre langs en rett linje i terrenget og registrere de først ankomne bølger fra skudd i hensiktsmessig valgte posisjoner i samme linje. En får da bestemt de nødvendige data for å fastlegge dypene til sjiktgrensen. Dersom overdekket er homogent med hensyn på lydhastigheten langs profilet, kan en oppnå en god dybdebestemmelse for hver seismometerposisjon. Imidlertid vil det ofte være betydelige laterale variasjoner til stede, og overdekkeshastighetene 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. En får refrakterte bølger fra alle grenser når hastig-

heten 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 en gjerne få vanskeligheter når denne vinkel overstiger 25° .

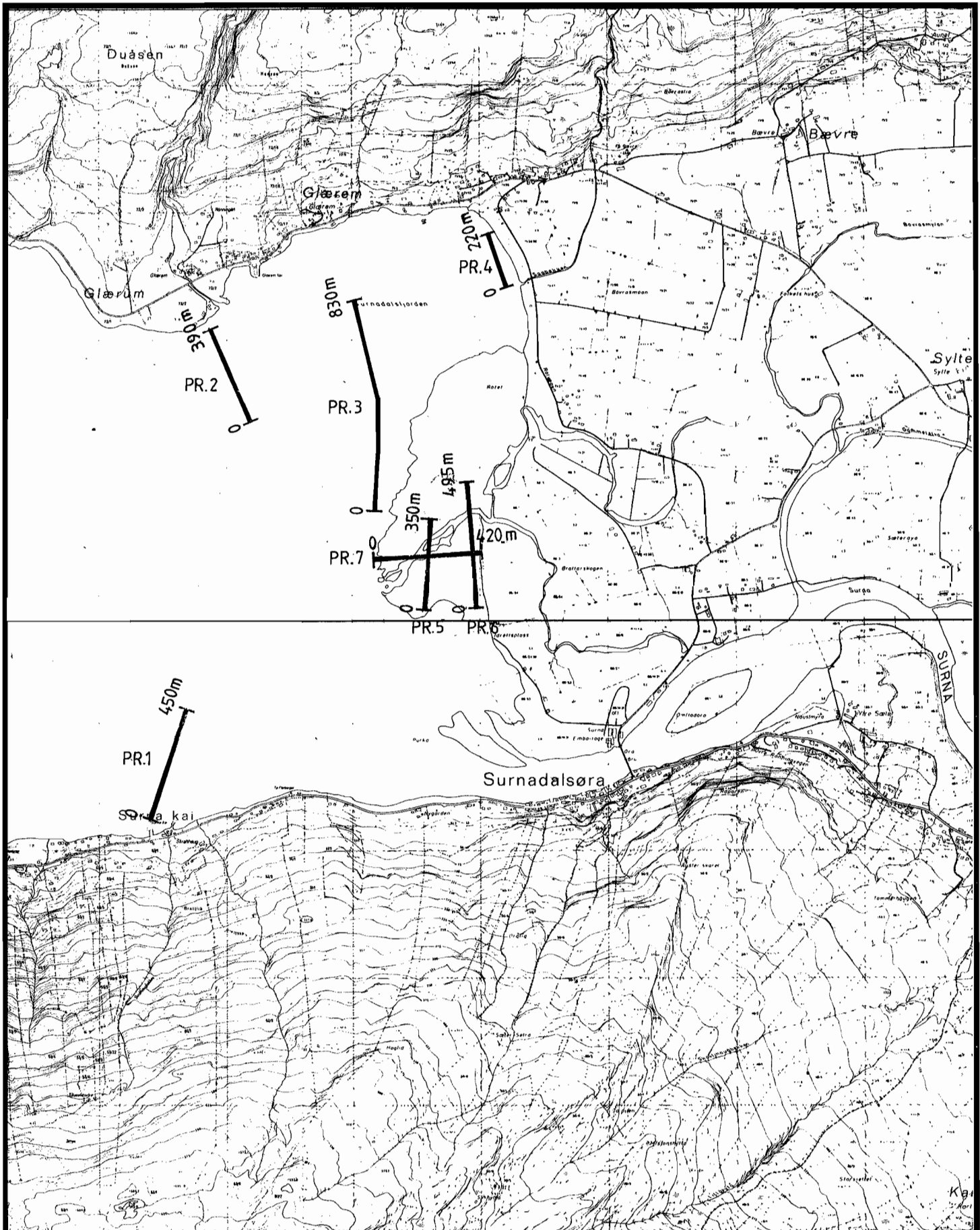
Det forekommer at en sjiktgrense ikke avspeiler seg i de opp- tegnede diagrammer, fordi de refrakterte bølger fra denne grense når overflaten senere enn fra en dypere grense. Det foreligger da en såkalt "blind sone", og de virkelige dybder kan være vesentlig større enn de beregnede. En annen feilkilde er til stede hvis lyden på sin vei nedover i jordskorpen treffer et sjikt med lavere hastighet enn det overliggende. Fra denne sjiktgrense vil det aldri komme refrakterte bølger opp igjen til overflaten, og lavhastighetssjiktet vil derfor ikke kunne erkjennes av måledataene. De virkelige dyp vil være mindre enn de beregnede. Generelt må en si at usikkerheten i de beregnede dyp øker med antall sjikt.

Med den anvendte apparatur vil en kunne bestemme bølgenes "løpetid" med en usikkerhet av 1 millisekund når seismogrammene har gjennomsnittlig kvalitet. Hvis overdekkehastigheten er 1600 m/sek, svarer dette til 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.

Når en oppnår førsteklases seismogrammer, kan tiden avleses med 0.5 millisekund nøyaktighet, men selv da mener vi det er urealistisk å regne med mindre enn 0.5 m usikkerhet i dybdeangivelsene. Ved meget små dyp til fjell - størrelsesorden 1 m - blir overdekkehastigheten dårlig bestemt, og en må regne med prosentvis store feil i dypene.

LYDHASTIGHETER I DE MEST VANLIGE LØSMASSETYPER

Organisk materiale		150 - 500 m/s
Sand og grus	- over grunnvann	200 - 800 "
Sand og grus	- under "	1400 - 1600 "
Morene	- over "	700 - 1500 "
Morene	- under "	1500 - 1900 "
Hardpakket bunnmorene		1900 - 2800 "
Leire		1100 - 1800 "



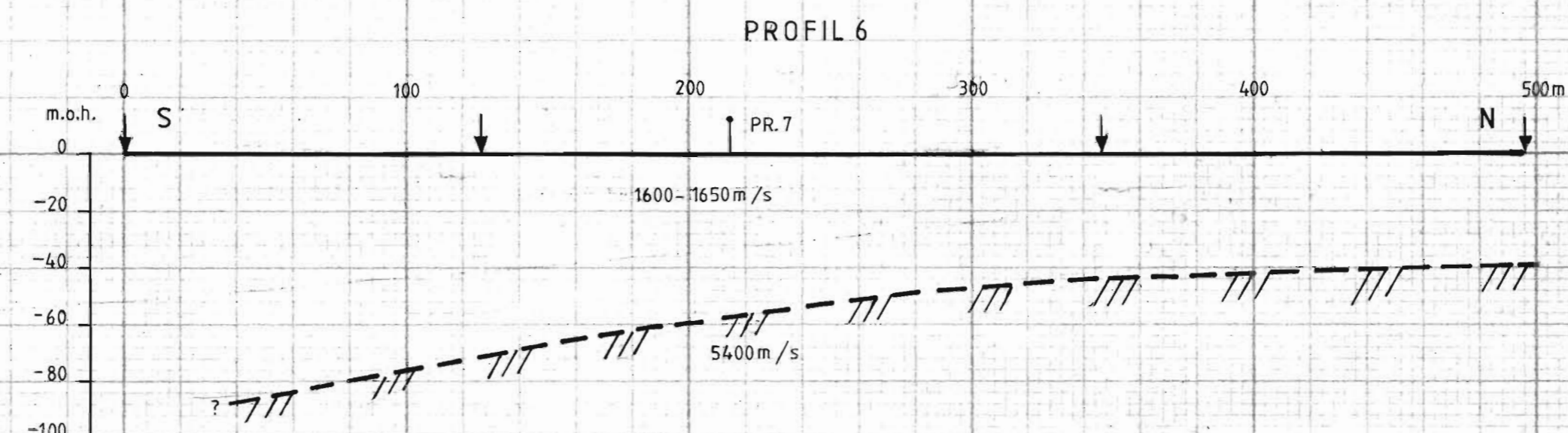
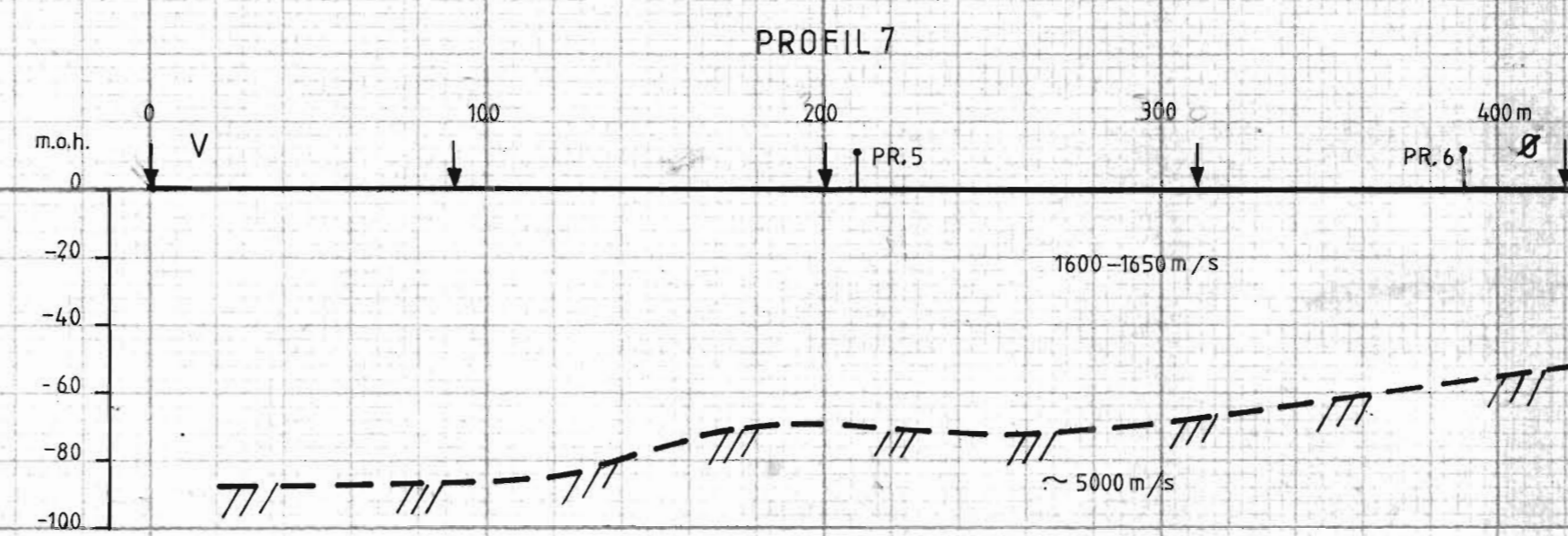
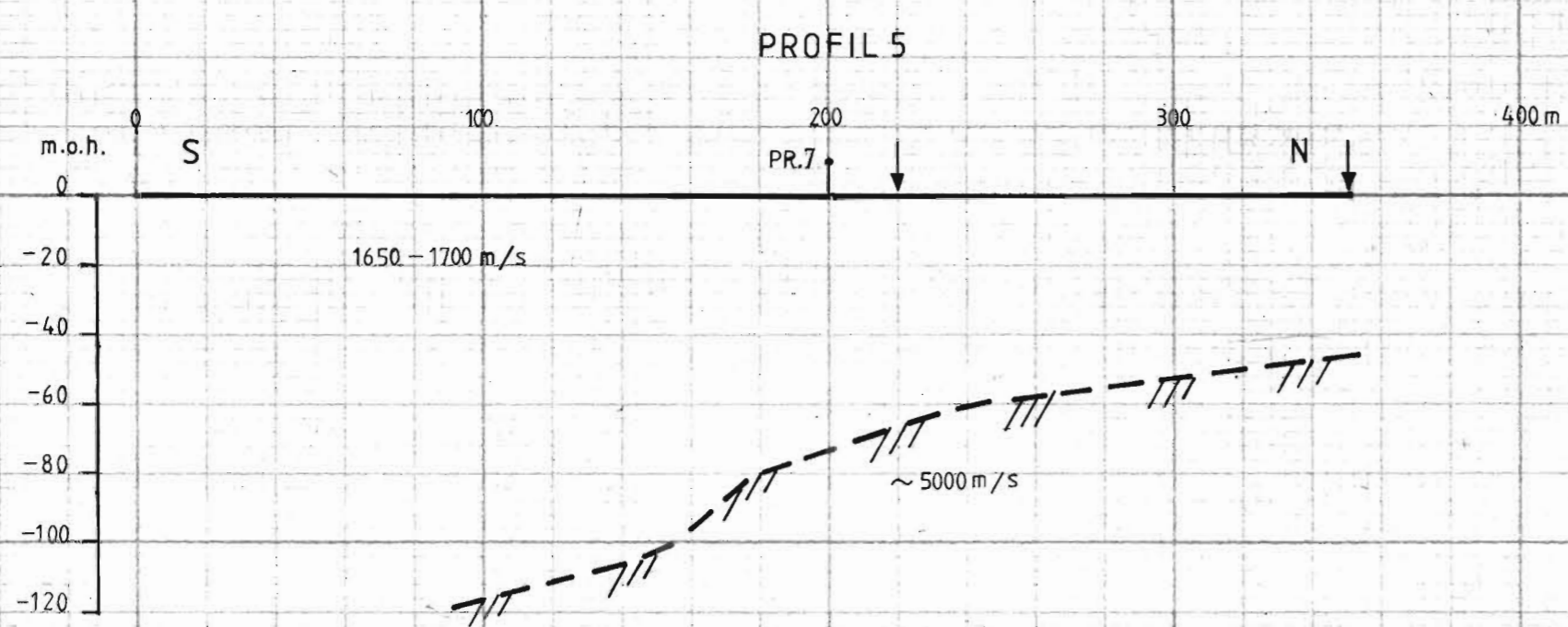
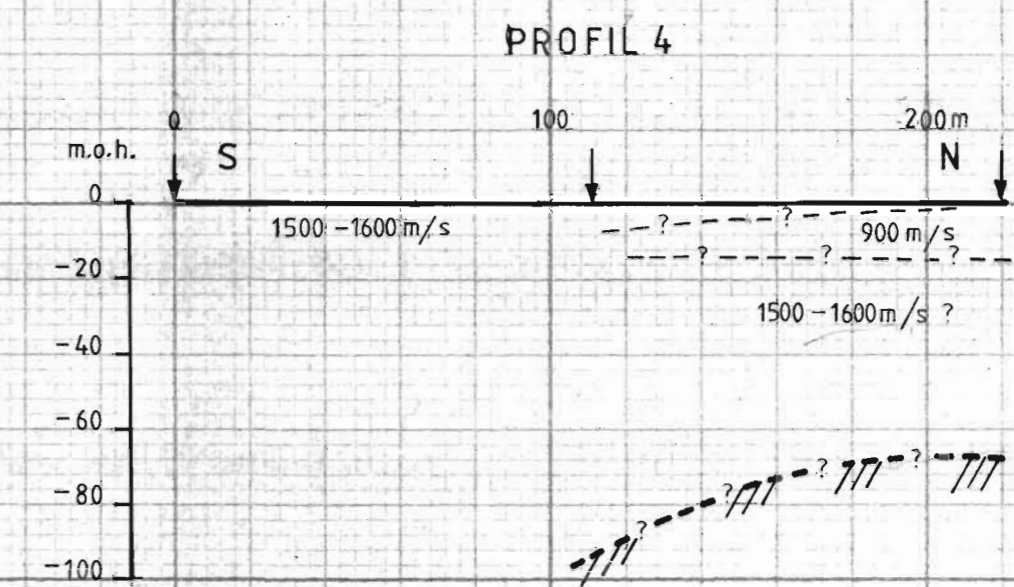
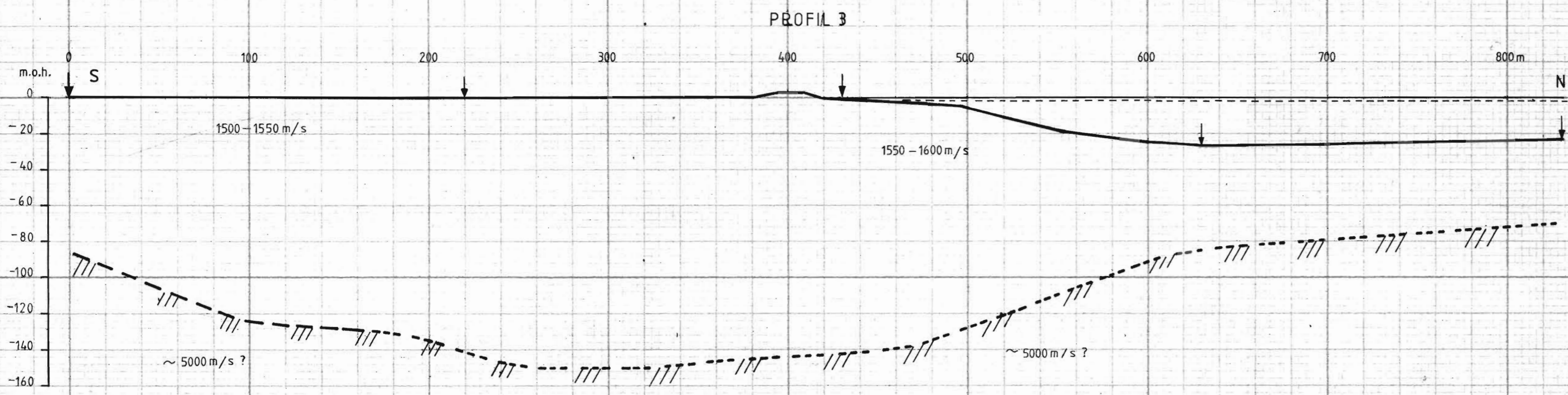
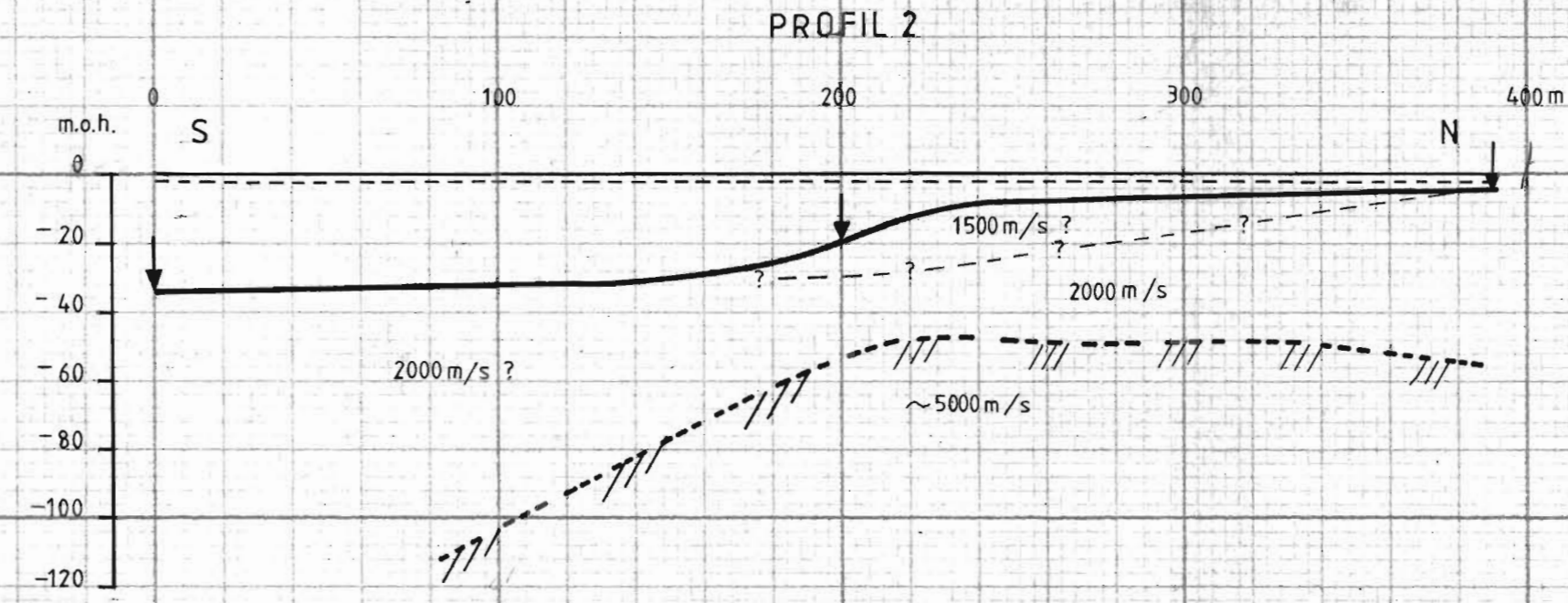
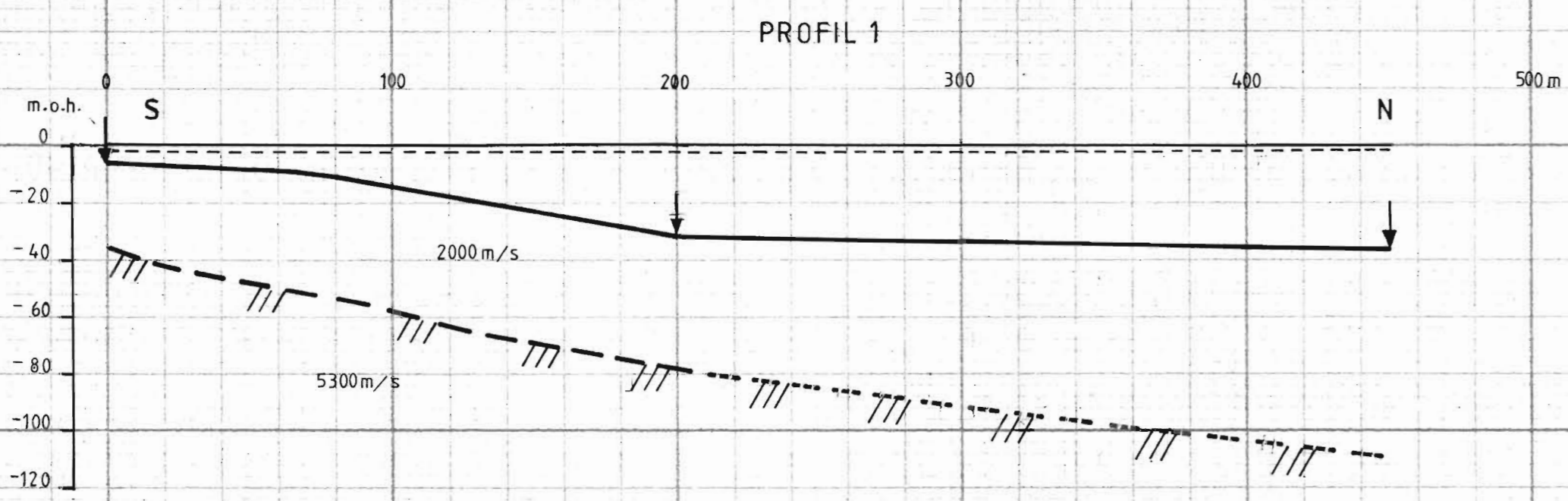
NGU
 REFRAKSJONSSEISMISKE MÅLINGER
 OVERSIKTSKART
SURNADALSØRA, SURNADAL, MØRE OG ROMSDAL

MÅLESTOKK 1 : 20000	MÅLT J.F.T	JULI 1984
	TEGN J.F.T	MAI 1985
	TRAC T.H.	JUNI 1985
	KFR. <i>755</i>	JAN. 1986

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

TEGNING NR.
 85.117-01

KARTBLAD NR.
 1420 IV



- TEGNFORKLARING**
- Havnivå
 - ↓ Terrengoverflate/sjøbunn med skuddpunkt
 - - - - - Sjiktgrense i sedimenter
 - /// Beregnet fjelloverflate
 - /// Usikker fjelloverflate

NGU REFRAKSJONSSEISMISKE MÅLINGER TOLKETE PROFILER SURNADALSØRA, SURNADAL, MØRE OG ROMSDAL	MÅLESTOKK:	MÅLT J.F.T.	JULI 1984
	1: 2000	TEGN J.F.T.	MAI 1985
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR.	TRAC T.H.	JUNI 1985
	85,117-02	KFR	JAN 1986
	KARTBLADIAISI	14-20-IV	