


NGU Rapport 2001.004

Georadarundersøkelser av fjellskred ved  
Fjærland, Sogn og Fjordane.

Rapport nr.: 2001.004		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Georadarundersøkelser av fjellskred ved Fjærland, Sogn og Fjordane.				
Forfatter: Torleif Lauritsen og Harald Elvebakk		Oppdragsgiver: NGU/Fylkeskommunen i Sogn & Fjordane/Høgskulen i Sogn og Fjordane		
Fylke: Sogn og Fjordane		Kommune: Balestrand		
Kartblad (M=1:250.000) Årdal		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1317 I Fjærland		
Forekomstens navn og koordinater: Bøyaøyri 38030/681185, 32V WGS84		Sidetall: 9	Pris: 140,-	
Feltarbeid utført: Oktober 2000	Rapportdato: 19.02.2001	Prosjektnr.: 2689.01	Ansvarlig: 	
Sammendrag:				
<p>I samarbeid med Høgskulen i Sogn og Fjordane, har NGU utført georadarmålinger langs 3 profiler på Bøyaøyri ved Fjærland i Balestrand kommune. Hensikten med målingene var å kartlegge skredmasser og deformasjoner i primære løsmassestrukturer i tilknytning til tidligere tiders fjellskred.</p> <p>Tross salt grunnvann og stedvis liten penetrasjon har georadarmålingene gitt verdifull informasjon om massesammensetning (avsetningstyper) og rasutbredelse. Hovedinntrykket fra opptakene er typiske deltastrukturer med klare skrålag og overliggende topplag. Forstyrrelser av disse strukturene indikerer rasmateriale. I profil 1 kan rasmasser følges i en lengde av 250-260 m. Depresjoner i skredoverflata er trolig gjenfylt av elvemateriale. En tilnærmet strukturløs lagpakke kan indikere at strukturer er forstyrret av rystelser i forbindelse med et eventuelt ras. Opptak P2 indikerer et ca. 110 m bredt område i sørvest som kan representere rasmasser. Profil 3 viser mulige rasmaterialer i 200 meters bredde i sørvest.</p>				
Emneord: Geofysikk	Kvartærgeologi		Georadar	
Skredavsetninger				
			Fagrapport	

## **INNHold**

1. INNLEDNING .....	4
2. TIDLIGERE UNDERSØKELSER .....	4
3. MÅLEMETODE, UTFØRELSE OG PROSESSERING .....	4
4. RESULTATER .....	4
5. DISKUSJON OG KONKLUSJON .....	6
6. REFERANSER .....	7

## **TEKSTBILAG**

Georadar – metodebeskrivelse

## **KARTBILAG**

- 2001.004-01: Oversiktskart, Bøyaøyri (M 1:50 000)
- 02: Georadaropptak, profil 1 (M 1: 5 000)
- 03: Georadaropptak, profil 2 (M 1: 5 000)
- 04: Georadaropptak, profil 3 (M 1: 5 000)
- 05: Tolningskart for utbredelse av rasmasser (M 1: 5 000)

## **1. INNLEDNING**

I samarbeid med Høgskulen i Sogn og Fjordane, har NGU utført georadarmålinger langs 3 profiler på Bøyaøyri ved Fjærland i Balestrand kommune. Den undersøkte lokalitetens beliggenhet er vist i kartbilag –01. Hensikten med målingene var å kartlegge skredmasser og deformasjoner i primære løsmassestrukturer i tilknytning til tidligere tiders fjellskred.

Målingene ble utført 05.10.2000 av Harald Elvebakk (NGU) og studentene Trond Vernang og Roger Andersen (HSF).

## **2. TIDLIGERE UNDERSØKELSER**

Den undersøkte lokaliteten ligger innenfor kvartærgeologisk kart Fjærland M 1:50 000 (Aa og Sønstegaard 1995). NGU har tidligere ikke utført georadarmålinger i området som omfattes av denne rapporten.

## **3. MÅLEMETODE, UTFØRELSE OG PROSESSERING**

En generell beskrivelse av georadarmetoden er gitt i tekstbilag 1. Målingene ble utført med digital georadar av typen pulseEKKO 100 (Sensors & Software Inc., Canada). Det ble benyttet 100 MHz-antenner og 1000 V sender. Profilene er målt med total opptakstid på 800 og 1000 ns. Samplingsintervallet var 0.8 ns og signalene ble summert 8 ganger ved hvert målepunkt (posisjon). Antenneavstanden var 1 m og målepunktavstanden 0.25 m. Merknader nederst på opptakene angir kryssing av veier, bekker og profiler, samt passering av gjerder og lignende. Posisjonene som er angitt øverst på opptakene forteller hvilken vei profilene er målt. Avstandsmålingene er utført med odometer slik at posisjonsangivelsene angir virkelig meteravstand i terrenget.

Ved utplotting av georadarprofilene ble det benyttet AGC-forsterkning (Automatic Gain Control) med en vindusbredde på 4 pulser. Denne forsterkningen er invers proporsjonal til styrken av reflekterte signaler, men med en vindusbredde på bare 4 pulser vil sterke refleksjoner likevel kunne skilles fra svake refleksjoner. AGC-forsterkning er effektiv for å avbilde svake refleksjoner som ofte er vanlig ved sedimentære strukturer. Radarbølgenes gjennomsnittlige vertikale hastighet ble satt til 0.07 m/ns. Denne hastigheten er benyttet ved beregning av dyp under terrengoverflata (dybdekonvertering) og representerer et erfaringstall for materiale i mettet sone.

## **4. RESULTATER**

Opptakene er presentert med opptakstider på henholdsvis 500 ns (kartbilag –02), 600 ns (kartbilag –03) og 700 ns (kartbilag –04). Målingene har ikke avdekket reflektorer nedenfor disse nivåene. Penetrasjonen (dybderekkevidden) av EM-bølgene er avhengig av den elektriske ledningsevnen i undergrunnen. Saltvannsinnregning fra Fjærlandsfjorden har ført til økt ledningsevne og dermed redusert penetrasjon i deler av opptakene. Dette har vanskeliggjort tolkingen. Tolking av georadaropptakene er gjort i samarbeid med forsker Lars H. Blikra.

Det ser ut til at målingene i Fjærland var vellykkede på tross av salt grunnvann og liten dybderekkevidde enkelte steder. En kan skille mellom det som trolig er rasmasser og primære

breelvsedimenter. Tolkingene av georadaropptakene er sammenstilt i kartbilag –05. Kartet viser antatt ytre utbredelse av rasmasser under deltaets overflate.

### P1

Profilen er målt på tvers av deltaet, fra fjellsiden mellom Kloppabakken og Svalunden i nordvest til Stølen i sørøst. Opptaket og profilers beliggenhet er presentert i kartbilag –02. Opptaket viser et topplag med tilnærmet horisontale lag ned til ca. 2-3 m dyp. Dette laget representerer sannsynligvis elveavsatt materiale. Under topplaget indikeres trolig rasmasser fram til posisjon ca. 250-260 m. Overflata på skredmassene viser meget varierende topografi. Mellom posisjonene 45 m og 100 m danner rasoverflata trolig en trauforn med maksimalt dyp på ca. 10 m. Saltvannsinntregning mellom posisjonene 85 m og 100 m gjør det vanskelig å fastslå traufornens avgrensning mot sørøst. Traufornen ser ut til å være gjenfylt med elvemateriale. Også mellom posisjonene 190 m og 215 m sees utholdende skrålagsstrukturer som kan indikere innfylt elvemateriale i en trauforn over eventuelle skredmasser. Diffraksjoner i reflektormønsteret kan skyldes blokker. Eksempler på dette sees ved posisjonene 43 m, 104 m, 252 m, 300 m og 305 m. Fra posisjon 340 m til ca. 435 m sees en tilnærmet strukturløs lagpakke mellom nivåene 2 til 5 m dyp. Reflektormønsteret her kan skyldes at strukturene er forstyrret av rystelser i forbindelse med et eventuelt ras, men kan også avspeile ensgradert materiale. Opptaket viser ellers typiske deltastrukturer i form av skrålag. I siste del av opptaket sees bølgete eller tilnærmet horisontale reflektorer som er typiske for opptak som er gjort på tvers av deltautbyggingen.

### P2

Profilen starter sør for Øyane og går mot Fjærlandsfjorden i sørvest. Opptak og profilers beliggenhet er vist i kartbilag –03. Opptaket er plottet reversert, dvs fra sørvest mot nordøst (0 lengst til høyre på opptaket). Mellom posisjonene 490 m og 534 m samt mellom posisjonene 577 m og 618 m sees redusert penetrasjon som skyldes saltvannsinntregning fra fjorden. Ellers var opptaket sterkt preget av støy fra en radio-/telesender. Noe av støyen er filtrert bort uten at det har påvirket reelle signaler. Fra posisjon 0 m til ca. 85 m indikeres et 2-3 m tykt horisontalt topplag over skrålag. Skrålagene representerer delta-avsetninger. Fra posisjon 85 m sees uryddige strukturer ned til ca. 7-8 m dyp. Topplaget blir her også noe mer uregelmessig, og det observeres antydninger til diffraksjoner f.eks. mellom posisjonene 115 m og 135 m samt ved posisjon 238 m. Hva som har skjedd rent geologisk i dette området er vanskelig å si. Det uryddige reflektormønsteret kan skyldes oppskyvninger og forstyrrelser av skrålagene. Det er forøvrig ingen indikasjoner på rasmasser i naboopptak P3 i dette området (se under). Under 7-8 m dyp sees en markert overgang til meget svake skrå reflektorer fram mot ca. posisjon 155 m. Disse kan representere finstoffdominerte masser (silt). Fra posisjon 240 m observeres igjen skrålag under et 2-5 m tykt topplag. Fra posisjon 300 ser skrålagene ut til å bøye av mot overliggende horisontale lag. Dette indikere at toppen av skrålagene representerer den tids havnivå. Fra posisjon 470-475 m begynner diffraksjoner og et mer kaotisk reflektormønster å opptre under topplaget. Dette kan tyde på at det er rasmasser eller masser påvirket av ras som indikeres. Disse uryddige strukturene kan trolig følges fram mot posisjon 575-580 m (110 m bredt). En ser også at deler av topplaget er påvirket for eksempel mellom 492 m og 530 m, selv om penetrasjonen her er minimal, samt mellom posisjonene 537 m og 575 m.

### P3

Profil 3 starter ved bekk sørøst for Kloppabakken. De første 20 m av opptaket er tydelig påvirket av salt grunnvann. Mellom posisjonene 20 m til 45 m observeres upåvirkede skrålag med et 2-3 m tykt topplag. Fra posisjon 60 sees en rekke diffraksjoner og stedvis er også

topplaget påvirket. Dette kan tyde på rasmasser med mye stor blokk. Det kan se ut som om rasmassene kiler ut ved ca. posisjon 260 m (ca. 200 m bredt). Under det utkilte skredmaterialet sees et mulig eldre topplag som løper sammen med dagens topplag ved posisjon 265 m. Dette kan indikere at rasmaterialet har presset deltaavsetningen ned. Fra posisjon 260 m, og ut profilet, indikeres igjen skrålag med overliggende topplag. Stedvis kan en observere diffraksjoner som tyder på innslag av enkeltblokker (314 m, 339 m, 411 m, 439 m og 481 m). Skrålagene kan registreres ned til maksimum 23 m (posisjon 297 m). Fra posisjon 360 m og ut profilet er penetrasjonsdypet nokså konstant på 10-12 m. Her sees stedvis en tilnærmet horisontal reflektor som sannsynligvis markerer overgang til underliggende marine avsetninger. Det er for øvrig mye støy også på dette profilet.

## **5. DISKUSJON OG KONKLUSJON**

Tross salt grunnvann og stedvis liten penetrasjon har georadarmålingene gitt verdifull informasjon om massesammensetning (avsetningstyper) og rasutbredelse. Hovedinntrykket fra opptakene er typiske deltastrukturer med klare skrålag og overliggende topplag. Forstyrrelser i disse strukturene indikerer rasmateriale.

I profil 1 kan rasmasser følges i en lengde av 250-260 m. Depresjoner i skredoverflata er trolig gjenfylt av elvemateriale. En tilnærmet strukturløs lagpakke kan indikere at strukturer er forstyrret av rystelser i forbindelse med et eventuelt ras. Opptak P2 indikerer et ca. 110 m bredt område i sørvest som kan representere rasmasser. Profil 3 viser mulige rasmaterialer i 200 meters bredde i sørvest.

Rasmassene og forstyrrelser av skrålag og topplag indikerer at havnivået før den store skredhendelsen, ikke kan ha vært særlig høyere enn i dag. Dette viser at skredet trolig er yngre enn 2000 år. Georadarpptakene vil være et godt utgangspunkt for lokalisering av graving for eventuelt å kunne aldersbestemme sedimentene som ligger over fjellskredet.

## **6. REFERANSER**

Aa, A.R. og Sønstegaard, E. 1995: FJÆRLAND 1317 I. Kvartærgeologisk kart M 1: 50 000 med beskrivelse. Norges geologiske undersøkelse.

## 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;

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

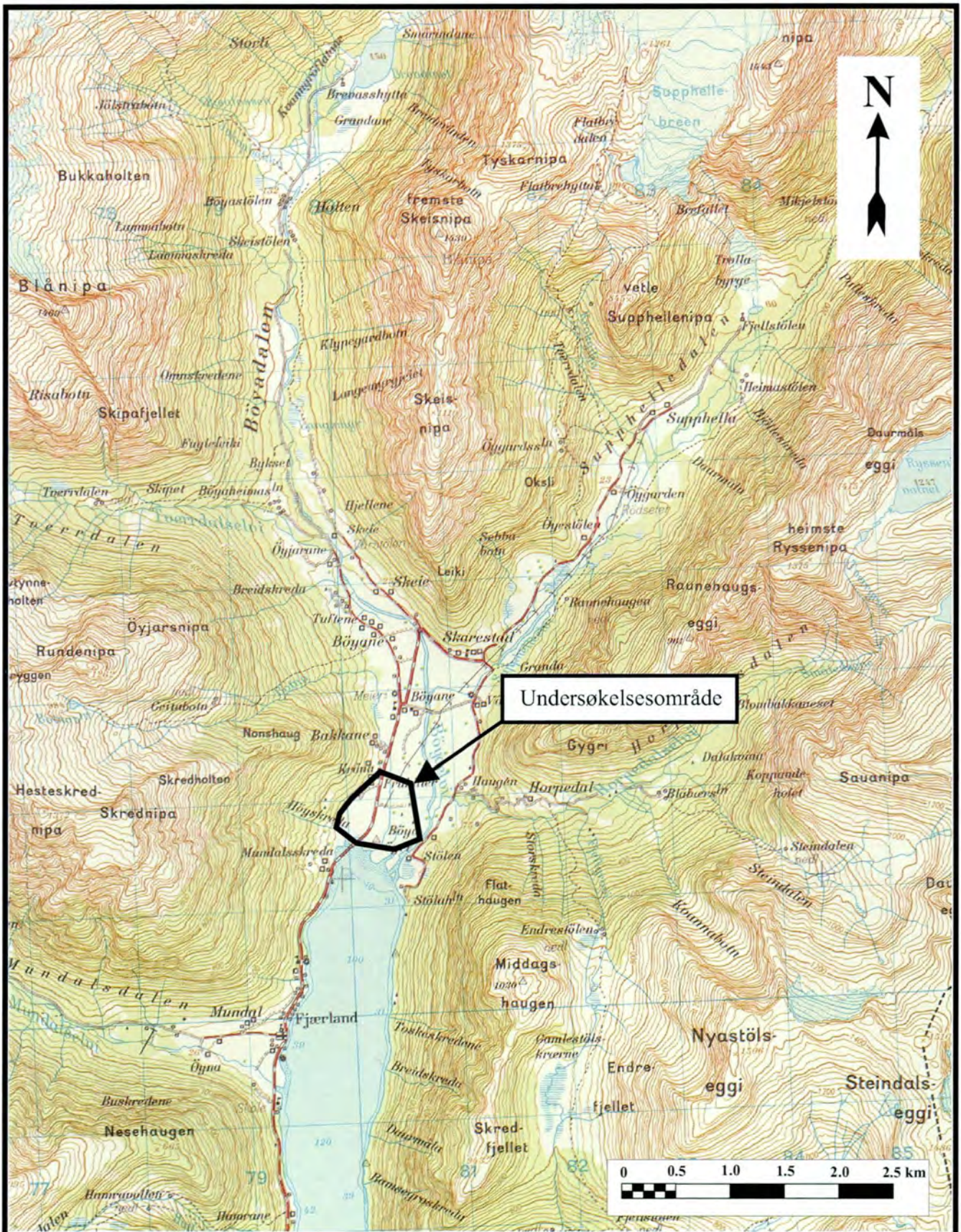
hvor  $\epsilon_r$  er det relative dielektrisitetstallet.  $\epsilon_r$ -verdien for et materiale vil derfor være en bestemmende faktor for beregning av dyp til reflektorer. I tabellen på neste side er det gitt en oversikt over erfaringstall for  $\epsilon_r$  i en del materialtyper. Tabellen viser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



Dybderekkevidden for georadarmålinger er i stor grad avhengig av elektrisk ledningsevne i grunnen og av den utsendte antennefrekvens. Både økende ledningsevne og en økning i antennefrekvens vil føre til hurtigere 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><math>\epsilon_r</math></u>	<u><math>v</math> (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.

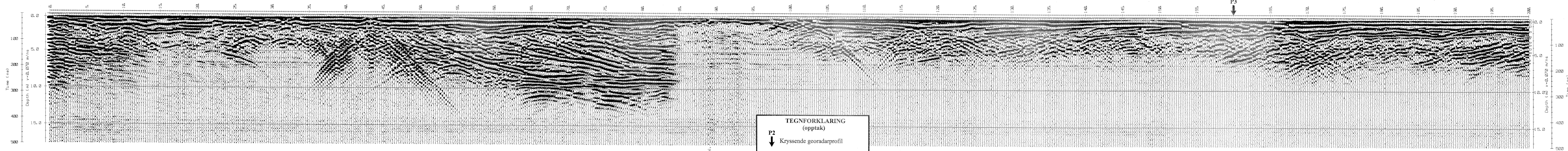


NGU/Høgskulen i Sogn og Fjordane  
 Oversiktskart  
**BØYAØYRI**  
 BALESTRAND KOMMUNE, SOGN OG FJORDANE

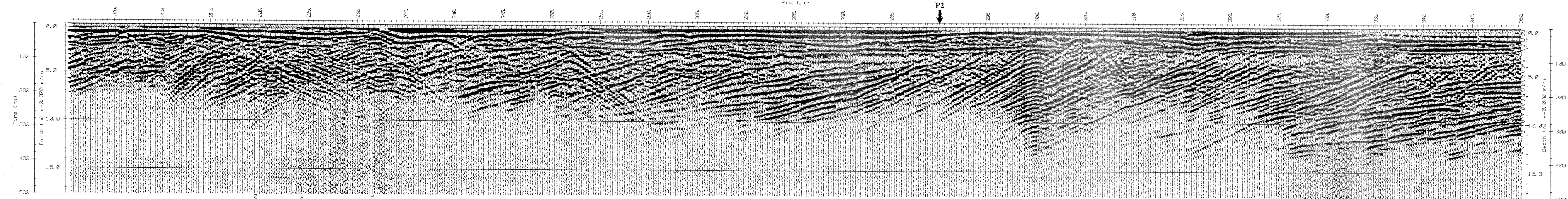
MÅLESTOKK  1 : 50000	MÅLT H.E.	Oktober 2000
	TEGN T.L.	Januar 2000
	TRAC	
	KFR	
KARTBILAG NR 2001.004-01		KARTBLAD NR 1317 I

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE  
 TRONDHEIM

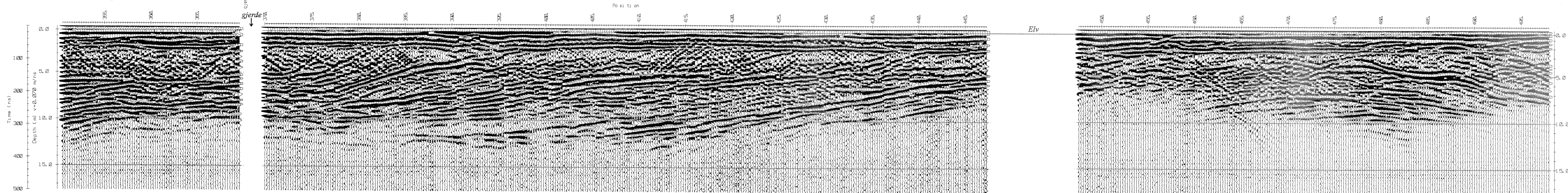
**PROFIL 1**



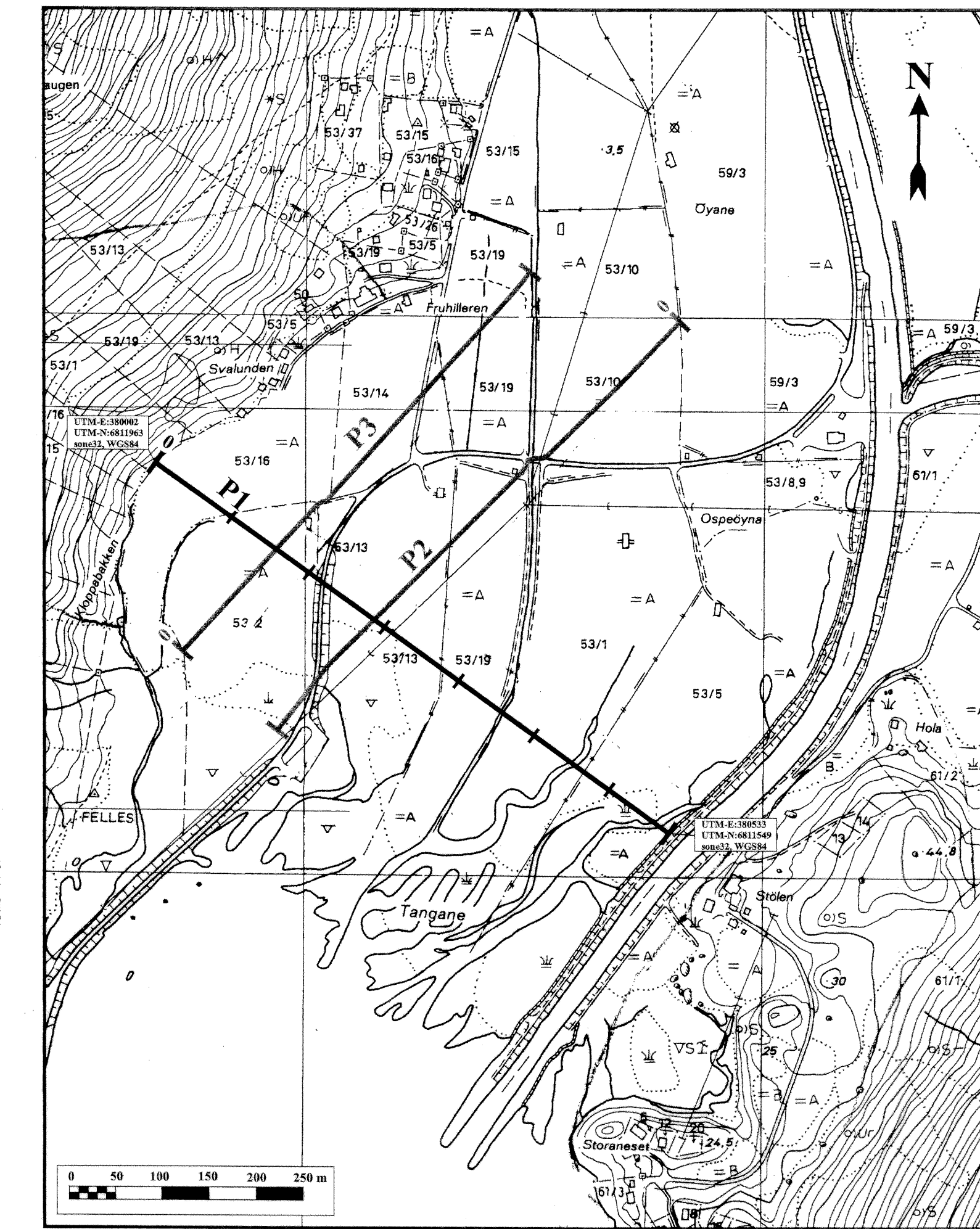
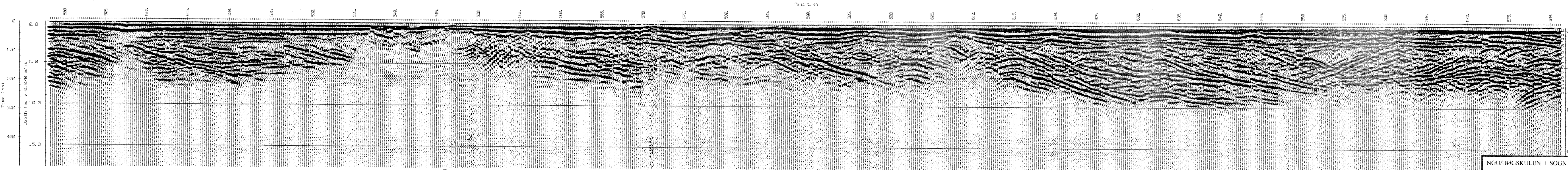
**PROFIL 1, forts.**



**PROFIL 1, forts.**



**PROFIL 1, forts.**

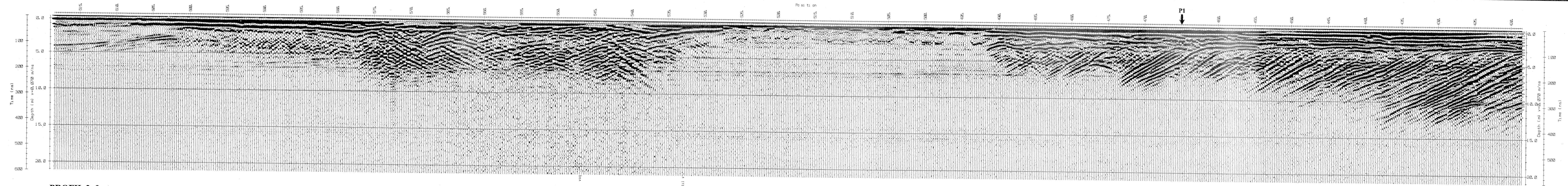


**TEGNFORKLARING (Kart)**

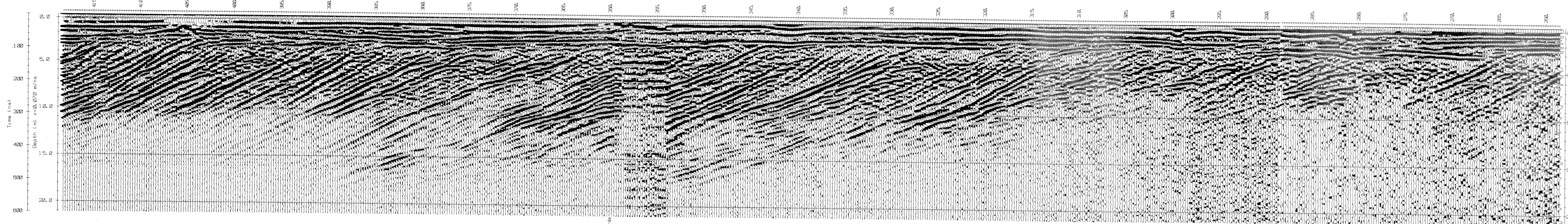
- P1** Georadarprofil m/startpunkt og markering for hver 100 m
- P2** Georadarprofil presentert i annet kartbilag
- UTM-Koordinater for startpunkt og endepunkt

NGU/HOGSKULEN I SOGN OG FJORDANE		
GEORADAROPPTAK, P1		
<b>BØYAØYRI</b>		
BALESTRAND KOMMUNE, SOGN OG FJORDANE		
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE		
TRONDHEIM		
MÅLSTOKK (Kart)	MÅLT H.E.	Oktober 2000
1 : 5000	TEGN T.L.	Januar 2001
	TRAC	
	KFR	
KARTBILAG NR	KARTBLAD NR	
2001.004-02	1317 I	

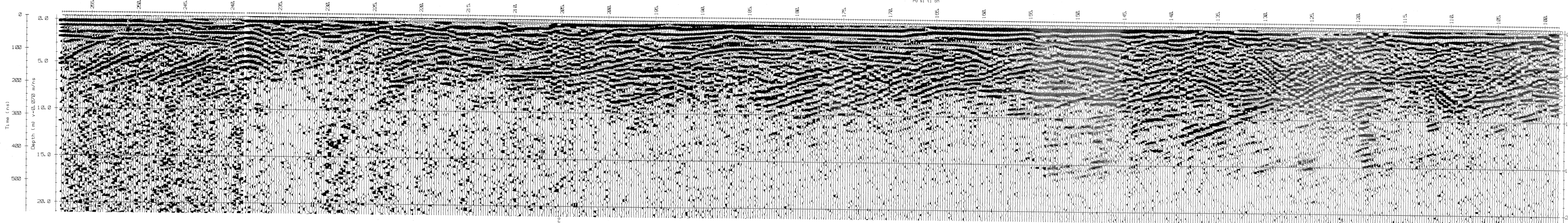
**PROFIL 2**



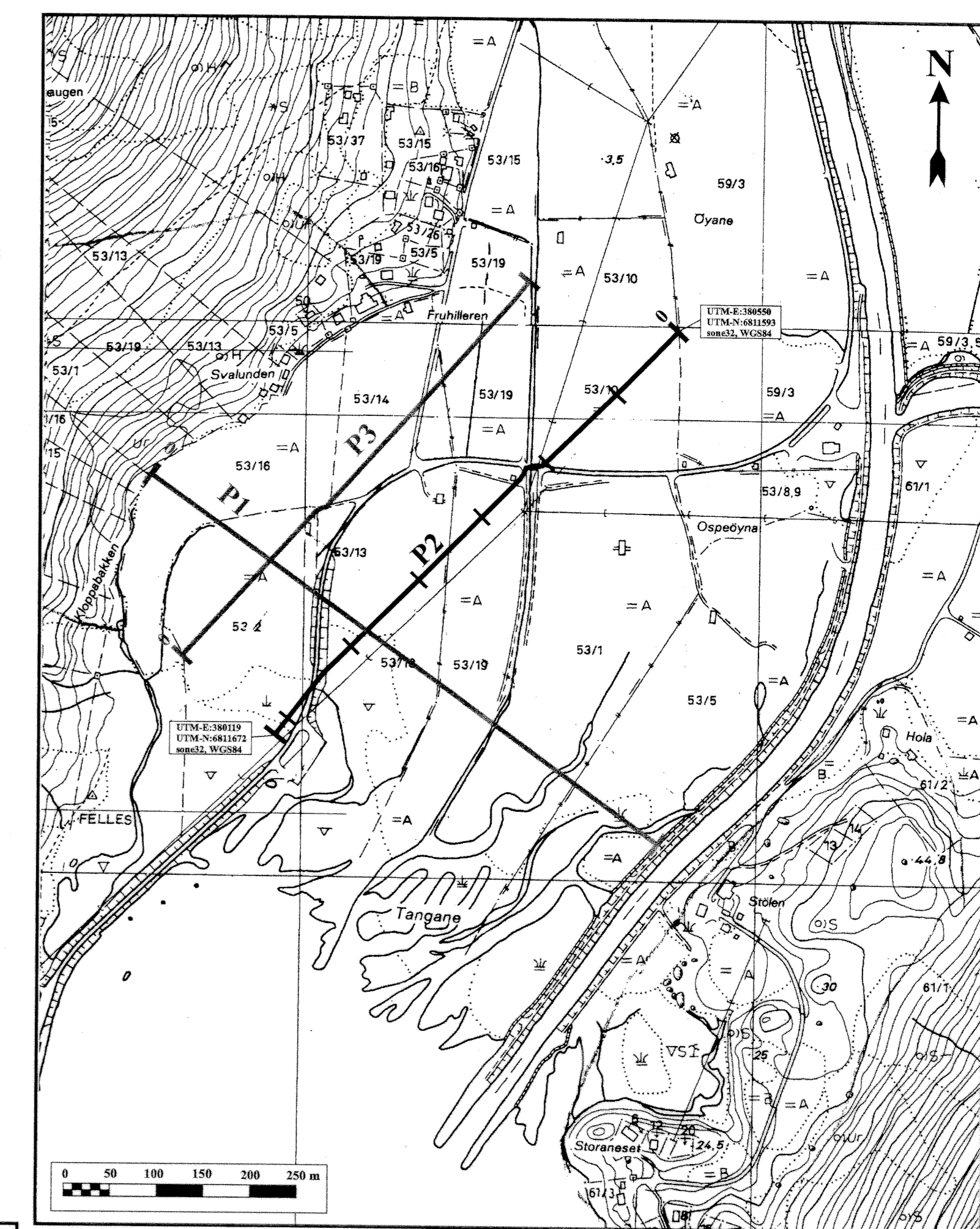
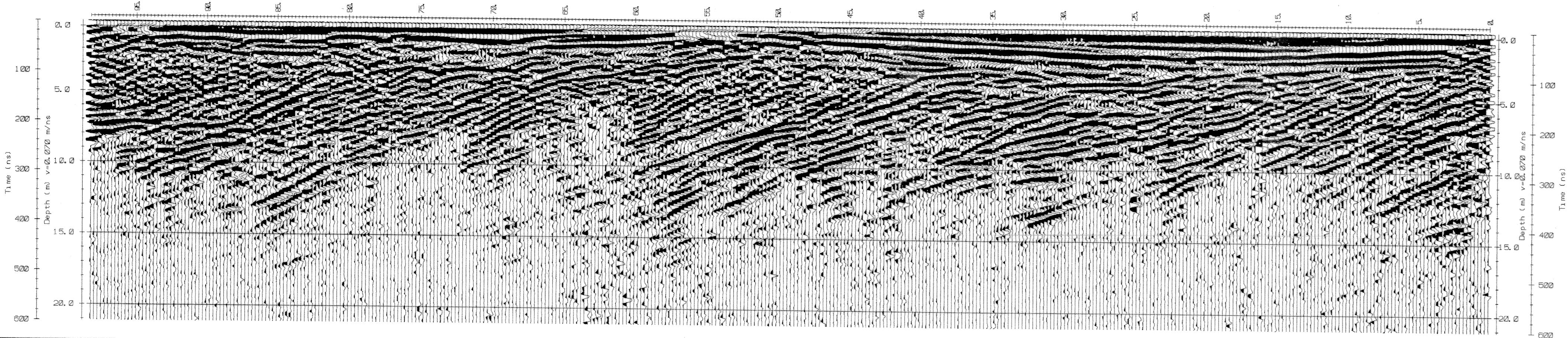
**PROFIL 2, forts.**



**PROFIL 2, forts.**



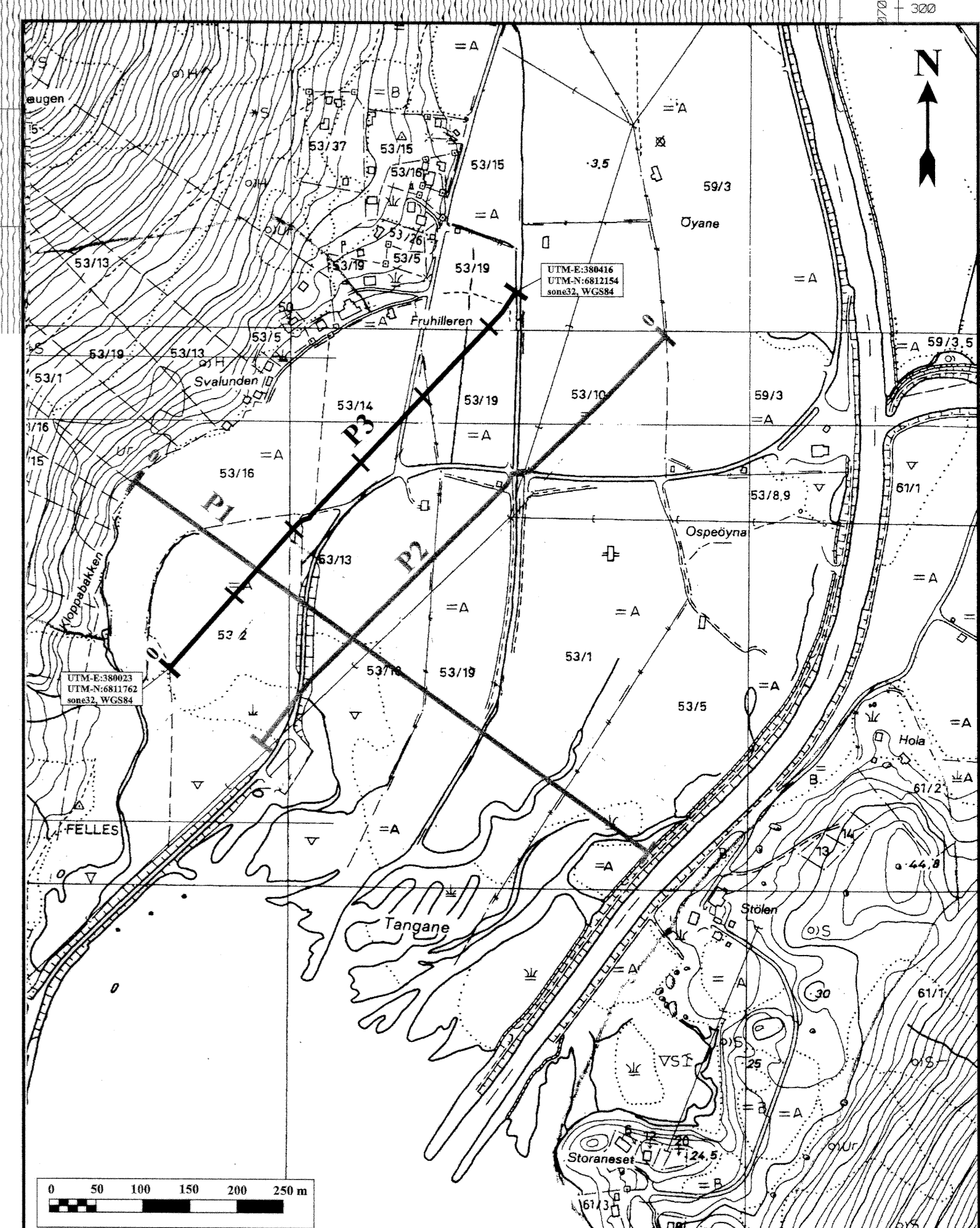
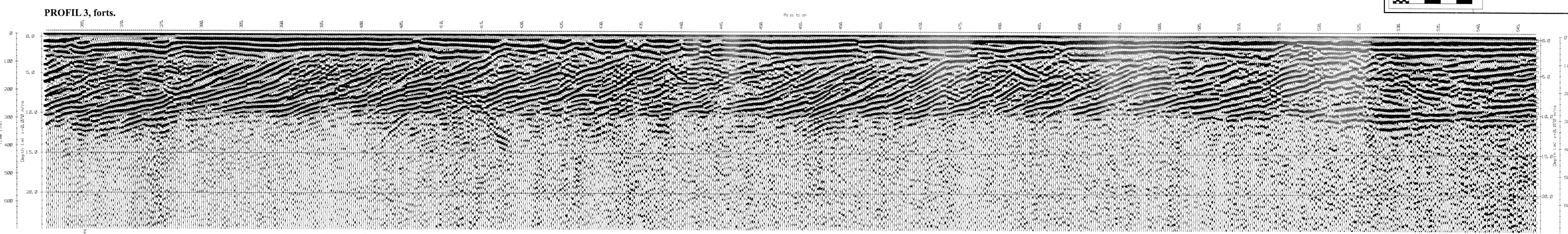
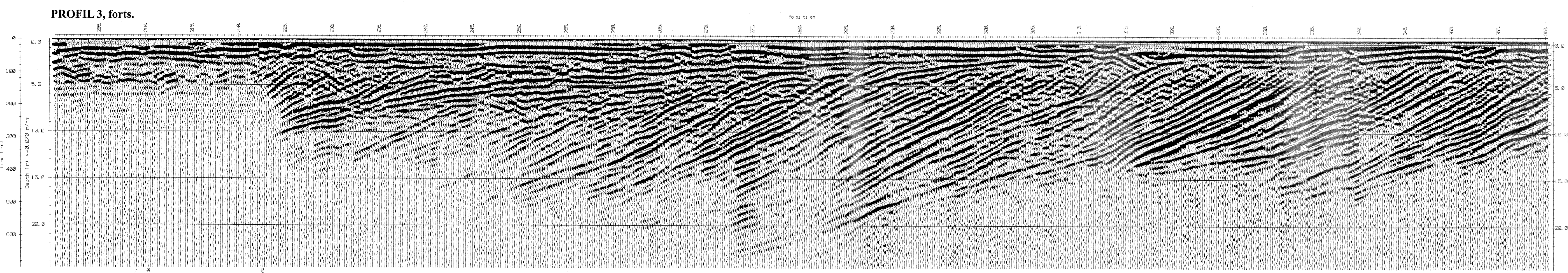
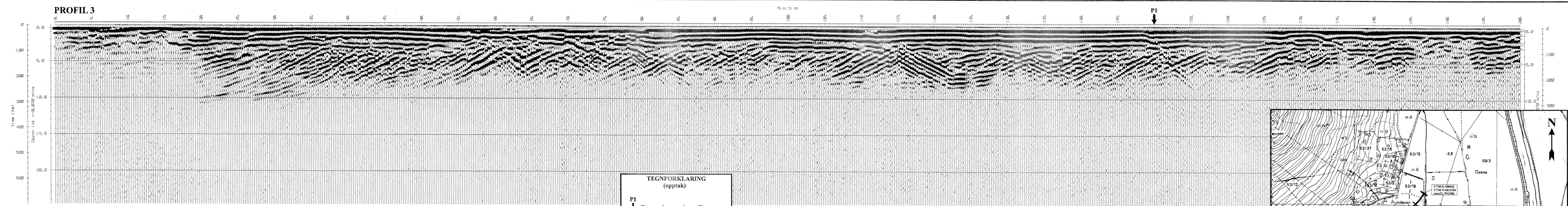
**PROFIL 2, forts.**



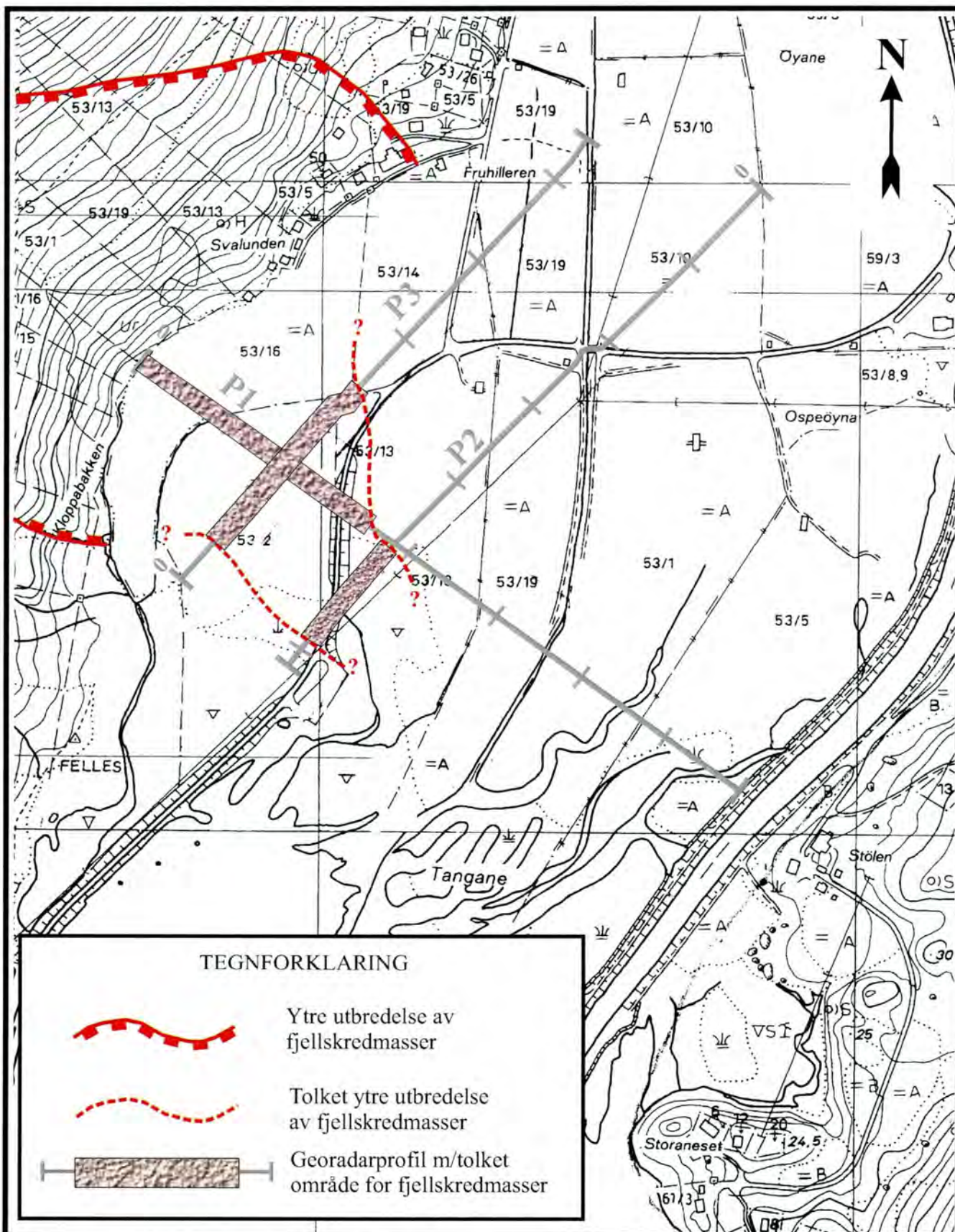
**TEGNFORKLARING (opptak)**  
 P1 ↓ Krystende georadarprofil

**TEGNFORKLARING (Kart)**  
 P2 — Georadarprofil m/ startpunkt og markering for hver 100 m  
 P3 — Georadarprofil presentert i annet kartbilag  
 UTM-koodinater for startpunkt og endepunkt

NGU/HØGSKULEN I SOGN OG FJORDANE GEORADAROPPTAK, P2 <b>BØYAØYRI</b> BALESTRAND KOMMUNE, SOGN OG FJORDANE NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	MÅLESTOKK (Kart) 1 : 5000	MÅLT H.E. TEGN T.L. TRAC KFR	Oktober 2000 Januar 2001
	KARTBILAG NR 2001.004-03	KARTBLAD NR 1317 I	



NGU/HØGSKULEN I SOGN OG FJORDANE			MÅLESTOKK (Kart)	MÅLT H.E.	Oktober 2000
GEORADAROPPTAK, P3			1 : 5000	TEGN T.L.	Januar 2001
<b>BOYAØYRI</b>			TRAC		
BALESTRAND KOMMUNE, SOGN OG FJORDANE			KFR		
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE			KARTBILAG NR	KARTBLAD NR	
TRONDHEIM			2001.004-04	1317 I	



TEGNFORKLARING



Ytre utbredelse av fjellskredmasser



Tolket ytre utbredelse av fjellskredmasser



Georadarprofil m/tolket område for fjellskredmasser

NGU/HØGSKULEN I SOGN OG FJORDANE

TOLKINGSKART

**BØYAØYRI**

BALESTRAND KOMMUNE, SOGN OG FJORDANE

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE  
TRONDHEIM

MÅLESTOKK

1 : 5000

MÅLT H.E.

TEGN T.L.

TRAC

KFR

Oktober 2000

Januar 2001

KARTBILAG NR  
2001.004-05

KARTBLAD NR  
1317 I