

Rapport nr.: 2004.028		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Geofysiske undersøkelser av fjellskredavsetninger ved Byrkjelo				
Forfatter: Jan Fredrik Tønnesen		Oppdragsgiver: NGU / HSF		
Fylke: Sogn og Fjordane		Kommune: Gloppen		
Kartblad (M=1:250.000) Årdal		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1318 III Breim		
Forekomstens navn og koordinater: Byrkjelo, 32V 369500 6847800		Sidetall: 18	Pris: 140,-	
Feltarbeid utført: 05.-09.11.2003		Rapportdato: 14.05.2004	Prosjektnr.: 300600	Ansvarlig:
<p>Sammendrag:</p> <p>Undersøkelsene er utført for å kartlegge utbredelsen og tykkelsen av de store fjellskredavsetningene mellom Bjørnarheim og Sanddalsvatnet nordøst for Byrkjelo sentrum. Undersøkelsene har omfattet georadar-målinger og refraksjonsseismikk. Målingene er utført langs fylkesvegen gjennom skredområdet og langs en ny skogsbilveg nord for fylkesvegen. Langs hver veg er det utført kontinuerlig georadarprofilering med lengder henholdsvis 2475 m og 1230 m. Refraksjonsseismikken er begrenset til 3 profiler, hver med en lengde på 220 m. To er lokalisert langs fylkesvegen, ett i vestre del og ett lengst øst, mens ett ligger sentralt i området langs skogsbilvegen.</p> <p>Refraksjonsseismikken viser at dyp til fjell er 30-37 m langs det vestre profilet, 57-62 m langs det østre profilet og 17-35 m i det nordlige profilet. I løsmassene er det gjennomgående registrert to hastighetslag. I det øverste laget varierer seismisk hastighet i området 500-1100 m/s, mens hastigheten i laget under er på 2000-2300 m/s. Overflatelaget er 5-13 m tykt langs fylkesvegen og øker fra 3 til 18 m mot SØ langs skogsbilvegen. Det regnes at overflatelaget vesentlig består av tørre og løst lagrete fjellskredavsetninger. Hastigheten i det nedre laget kan representere massive og sannsynligvis vannmettede skredavsetninger, men massiv bunnmorene vil også vise tilsvarende hastighet. Dersom det ligger morenemateriale eller muligens også bedre sorterte avsetninger under de massive skredavsetningene, kan tykkelsen av skredavsetningene ikke bestemmes. Eventuelle sorterte avsetninger med lavere seismisk hastighet vil medføre at dyp til fjell er noe mindre enn beregnet.</p> <p>Georadarmålingene indikerer den vestlige og nordvestlige utstrekning av skredavsetningene. Lengst vest langs fylkesvegen er det trolig breelvdominerte avsetninger, muligens med mer morenemateriale mot dypet, og fjelloverflaten kan ligge på vel 20 m dyp. Lengst nordvest langs skogsbilvegen er avsetningstype mer usikker, materialet kan være morenedominert, men kan dels også bestå av breelv/bresjø-dominert materiale. Dyp til fjelloverflaten kan øke fra 10 til over 15 m mot sørøst langs de nordvestligste 100 m av profilet. Utenfor området i nordvest og lengst vest regnes fjelloverflaten å ligge i nedkant av eller dypere enn dybderekkevidden av georadarsignalene (20-30 m). Tykkelsen av skredavsetningene er meget usikker. En endring i refleksjonsmønster, som muligens kan skyldes overgang fra skredmateriale til underliggende løsmasser, ligger stort sett på rundt 10 m dyp, men varierer fra 5 til 15 m dyp.</p>				
Emneord: Geofysikk	Refraksjonsseismikk		Georadar	
Fjellskred	Løsmasse			
			Fagrapport	

INNHold

1. INNLEDNING	4
2. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE.....	4
2.1 Refraksjonsseismikk.....	4
2.2 Georadar	5
3. RESULTATER	5
3.1 Refraksjonsseismikk.....	5
3.1.1 Profil S1.....	5
3.1.2 Profil S2.....	6
3.1.3 Profil S3.....	6
3.2 Georadarprofiler	7
3.2.1 Profil G1	7
3.2.2 Profil G2.....	8
4. SAMMENFATNING.....	8

TEKSTBILAG

1. Refraksjonsseismikk - metodebeskrivelse
2. Georadar - metodebeskrivelse

DATABILAG

1. Kartkoordinater for geofysiske måleprofiler (UTM(WGS84) og NGO1948(Akse 1))
2. Tolkning refraksjonsseismisk profil S1
3. Tolkning refraksjonsseismisk profil S2
4. Tolkning refraksjonsseismisk profil S3
5. Georadar - Hastighetsanalyse (CMP1)

KARTBILAG

- 2004.028-01 Oversiktskart Byrkjelo (M 1:50 000)
- 2004.028-02 Utskrift georadaropptak G1 (pos. 0-1250), lokalkart (M 1:5 000)
- 2004.028-03 Utskrift georadaropptak G1 (pos. 1250-2475), lokalkart (M 1:5 000)
- 2004.028-04 Utskrift georadaropptak G2, lokalkart (M 1:5 000)

1. INNLEDNING

De geofysiske undersøkelsene er utført i forbindelse med kartlegging av de store fjellskredavsetningene i området mellom Bjørnarheim og Sanddalsvatnet nordøst for Byrkjelo sentrum (se kartbilag -01). Fjellskredavsetningene stammer fra det høye fjellpartiet Vora langs sørsiden av dalen. Undersøkelsene er utført av NGU i samarbeid med Høgskulen i Sogn og Fjordane (HSF).

På grunn av vanskelig framkommeligheten i skredterrenget er målingene plassert langs fylkesvegen gjennom området og langs en ny skogsbilveg nord for Lonevatnet. Det er utført både refraksjonsseismikk og georadarmålinger. Det er utført kontinuerlig georadarprofilering langs begge vegene med profil-lengder på henholdsvis 2475 m og 1230 m.

Refraksjonsseismikk er målt langs tre kortere profiler, hvert med en lengde på 220 m. To av disse er lokalisert langs fylkesvegen, mens ett er langs skogsbilvegen. Lokalisering av alle måleprofilene er vist i kartbilag -02. Profilene er posisjonsbestemt med GPS-instrument og kartkoordinatene framgår av databilag 1.

Feltarbeidet ble gjennomført i tiden 5.-9. november 2003 av forsker Jan Fredrik Tønnesen (NGU) og førsteamanuensis Asbjørn Rune Aa (HSF).

2. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

2.1 Refraksjonsseismikk

En generell beskrivelse av refraksjonsseismiske målinger er vist i tekstbilag 1. Som registreringsinstrument ble benyttet en ABEM Terraloc MK6 digital seismograf med 24 kanaler. I alle de tre profilene er det brukt kabler med 12 geofoner langs hver og med seismografen koblet til ved midtpunkt mellom kablene. Det er gjennomgående brukt en geofonavstand på 10 m langs kabelutleggene, men ved endene av hver kabel er geofonavstanden halvert for å oppnå bedre kontroll med seismiske hastigheter i overflatematerialet. Skuddpunkt ble plassert 5 m ut fra endegeofon ved hver kabelende og ved midtpunkt av hver kabel slik at gjennomgående skuddpunktavstand ble 55 m. I tillegg ble det for alle profilene plassert skuddpunkt i større avstand fra profilendene for å få best mulig dekning av fjellrefraktoren. Dynamitt ble brukt for energisering. Datakvaliteten var noe variabel men stort sett god. Detaljert informasjon om profilene er vist i tabell 1.

Tabell 1: Detaljert informasjon om de refraksjonsseismiske profilene.

Profil	Lengde (m)	Skuddpunkt plassering (m)	Posisjon langs georadarprofil (m)
S1	220	-98, 0, 55, 110, 165, 220, 300	G1 pos. 485 - 705
S2	220	-95, 0, 55, 110, 165, 220, 298	G1 pos. 2123 - 2343
S3	220	-71, 0, 53, 110, 167, 220, 324	G2 pos. 589 - 809

2.2 Georadar

Georadar er en elektromagnetisk målemetode som kan benyttes til undersøkelse av lagdeling og strukturer i grunnen. Metoden er basert på registrering av reflekterte elektromagnetiske bølgepulser fra grenseflater i jorda. En mer detaljert beskrivelse av målinger med georadar er vedlagt i tekstbilag 2. Georadaren som ble benyttet er digital og av typen pulseEKKO 100 (Sensors & Software Inc., Canada).

For alle profilene ble det benyttet en sender på 1000V og antenner med senterfrekvens 100 MHz. Opptakstiden var på 1200 ns (nanosekunder) med samplingsintervall på 0,8 ns. Signalene ble summert ('stacket') 8 ganger ved hvert målepunkt. For å lette gjennomføringen av profilmålingene ble antennene plassert på en håndtrukket spesialvogn med en fast antenneavstand på 1,0 m. Et tilhørende målehjul registrerte avstand langs profilet, og fra en kontrollenhet ble målepunktavstanden forhåndsinnstilt slik at radaren automatisk utførte måling for hver 0,5 m. Underveis langs profilet ble det skrevet inn kommentarer ved passering av kryssende veier, stier, kraft- og telefonlinjer, foruten vegsving, bakker, topper og andre terrengdetaljer for å få sikrest mulig profilposisjonering.

Ved utskrift av georadaropptakene (kartbilag -02, -03 og -04) ble det benyttet egendefinert forsterkning. Ved denne type forsterkning settes bestemte forsterkningsverdier ved bestemte tidspunkt. Ved utskrift blir forsterkningen lineært interpolert mellom forsterkningsverdiene. Terreng høyden langs profilene er hovedsakelig lagt inn ut fra kartgrunnlaget, men også ut fra visuell vurdering samtidig med målingene. Kartgrunnlag er økonomisk kartverk (M 1:5 000) med 5 m koteavstand.

I tillegg til profilmålingene er det utført en CMP-måling (CMP1) for å bestemme radarbølge-hastigheten i grunnen. Denne er lokalisert ved posisjon 170 m i georadarprofil G2 (se kartbilag -02 eller -04). Hastighetsanalysen vist i databilag 5 er noe upresis, men indikerer at radarbølgehastigheten ligger rundt 0,1 m/ns. Denne hastigheten er benyttet for beregning av høydeskalaen i profilutskriftene i kartbilagene -02, -03 og -04.

3. RESULTATER

De refraksjonsseismiske profiltolkningene (S1, S2, og S3) er framstilt i databilag 2, 3 og 4, mens utskrift av georadaropptakene (G1 og G2) er vist i kartbilag -02, -03 og -04. Lokalisering av alle profilene framgår av kartbilag -01 og likeså av kartutsnitt i kartbilag -02.

3.1 Refraksjonsseismikk

3.1.1 Profil S1

Profilet er målt langs sørkant av fylkesvegen i vestlige del av skredområdet (kartbilag -02). Profiltolkningen i databilag 2 viser at dypet ned til fjelloverflaten varierer fra 30 til 37 m, og fjelloverflaten stiger opp fra 215 m o.h. ved vestenden til 229 m o.h. ved pos.150-160 m i profilet, men kan gå noe ned igjen mot østenden til 224 m o.h. Seismisk hastighet i fjell på 5500 m/s indikerer massivt fjell.

Tykkelse av tørre/umettede løsmasser (antatt fjellskred-masser) øker fra knapt 5 m ved vestenden til rundt 10 m ved midten og er 12-13 m de østligste 70 m. Seismisk hastighet i

dette laget varierer i området 550-640 m/s i vestlige halvdel av profilet. Videre vel 60 m østover er laget delt i et 2-7 m tykt overflatelag med lavere hastighet (440-450 m/s) mens hastighet i underliggende materiale er usikkert bestemt til 950 m/s. I østligste del av profilet er hastigheten beregnet til 990 m/s.

I løsmassene under er seismisk hastighet beregnet å være i området 2000-2200 m/s og med de høyeste verdiene sentralt i profilet. Tykkelsen av dette laget er da vel 30 m i vestligste del avtagende til 18-20 m der fjellet ligger høyest og øker noe på mot østenden.

Hastigheten i det nedre laget kan representere massive og sannsynligvis vannmettede skredavsetninger, men massiv bunnmorene vil også vise tilsvarende hastighet. Dersom det ligger morenemateriale eller muligens også bedre sorterte avsetninger under de massive skredavsetningene, kan tykkelsen av skredavsetningene ikke bestemmes. Eventuelle sorterte avsetninger med lavere seismisk hastighet vil medføre at dyp til fjell er noe mindre enn beregnet.

3.1.2 Profil S2

Profilet er målt langs vestkanten av fylkesvegen over fjellskredavsetningene like vest for Sanddalsvatnet (kartbilag 2 eller 3). Profiltolkningen i databilag 3 viser at dypet ned til fjelloverflaten er i området 57-62 m med størst dyp under toppen av skredryggen ved posisjon 150 m i profilet. Fjelloverflaten skråner slakt opp fra 258 m o.h. ved sørenden og ligger jevnt rundt 261 m o.h. fra 100 m og ut langs resten av profilet. Seismisk hastighet i fjell er forholdsvis dårlig bestemt, men ser ut til å ligge rundt 5000 m/s.

Tykkelsen av tørre/umettede løsmasser (antatt fjellskredmasser) øker fra 6 m ved sørenden til 13 m under toppen av ryggformen og avtar til 8-9 m ved nordenden. Seismisk hastighet i dette materialet er i området 640-770 m/s langs sørlige halvdel av profilet og ved nordenden. Under toppen av ryggformen (pos. 105-190 m) er det et 1-2,5 m tykt overflatelag med seismisk hastighet 380-550 m/s, mens materialet under ser ut til å ha hastighet rundt 1100 m/s.

Overgang til avsetninger med seismisk hastighet rundt 2300 m/s ser ut til å ligge rundt 209-210 m o.h. og kan representere grunnvannsspeil. Dette samsvarer bra med høyden på Sanddalsvatnet som ut fra kartet ligger 208 m o.h. Tykkelsen av vannmettede avsetninger vil være rundt 50 m.

3.1.3 Profil S3

Profilet er målt nedover langs nordkanten av skogsbilvegen i retning NV-SØ (kartbilag -04). Profiltolkningen i databilag 4 viser at dypet ned til fjelloverflaten øker fra 17 m ved starten i NV til 35 m mot midten av profilet og varierer i området 32-36 m langs sørøstlige del. Fjelloverflaten skråner da nedover fra 312 m o.h. ved starten til 290 m o.h. fra midtveis av profilet. Ved sørøstenden når den ned til 285 m o.h. Seismisk hastighet i fjell er beregnet til 5300 m/s de nordvestligste 60 m og rundt 5000 m/s de sørøstligste 55 m. I mellomliggende område er hastigheten betydelig lavere og er anslått til 3700 m/s. Fjellet i dette området regnes derfor å ha enn betydelig oppsprekking.

Tykkelsen av tørre/umettede løsmasser (antatt fjellskredmasser) øker fra 3 m ved starten av profilet til 13 m ved midten, derfra brått til rundt 18 m, og er ca. 16 m ved sørøstenden.

Seismisk hastighet i materialet øker fra 610 til 770 m/s langs nordvestlige halvdel av profilet og er beregnet til 910 m/s sørøst for midten og 810 m/s i sørøstligste del.

Seismisk hastighet i løsmassene under ligger på rundt 2000 m/s, men er dårlig bestemt langs sørøstlige halvdel av profilet da laget der ligger delvis i blindsonen. Overflaten av laget skråner nedover fra 326 m o.h. ved nordvestenden og ligger rundt 305 m o.h. de sørøstligste 80 m av profilet. Tykkelsen av laget varierer mellom 13 og 22 m og er størst rundt midten av profilet.

3.2 Georadarprofiler

3.2.1 Profil G1

Utskrift av georadaropptakene fra profil G1 målt langs fylkesvegen er vist i kartbilag -02 for vestlige del av profilet og i -03 for østlige del. Dybderekkevidden for reflekterte georadar-signaler ser ut til å variere mellom 20 og 30 m. Tolkning av lagdeling og materialtype mot dypet er problematisk og usikker. Hovedinntrykket fra utskriftene er et kaotisk refleksjonsmønster som skyldes diffraksjoner av signalene fra store steinblokker overflatenært i skredavsetningene.

Skredavsetningene avgrenses mot vest ved pos. ca. 125 m i profilet. Vestafør er det indikasjoner på skrålagning med fall mot vest langs profilet og avsetningen kan her være breelvdominert. Grunnvannspeil kan der ligge på bortimot 8 m dyp, mens mulig fjelloverflate kan ligge på vel 20 m dyp.

Østover fram til pos. 250 m kan fjelloverflaten ligge på 10-15 m dyp men dette dyp kan også representere overgang fra skredmateriale til underliggende løsmasseavsetninger. Videre langs profilet er det ikke funnet sikre indikasjoner på fjellreflektor og det regnes at fjelloverflaten kan ligge i nedkant av dybderekkevidden, dvs. minst 20-30 m dypt, eller ligge dypere. Seismikkprofil S1 viser at fjellet ligger noe dypere enn dybderekkevidden i georadaropptaket (pos. 485-705 m i G1), mens S2 i området pos. 2123-2343 i G1 viser fjelldyp på 57-62 m, atskillig dypere enn dybderekkevidden for georadarsignalene.

Refleksjonsmønsteret endres en god del mot dypet fra å være dominert av diffraksjons-hyperbler overflatenært til mer nær horisontale men usammenhengende reflektorer mot dypet. Dette kan skyldes overgang fra skredmateriale til underliggende eldre løsmasseavsetninger, men kan også skyldes at større dyp til diffraksjonskildene vil medføre en utsmøring av reflekterte signaler. Overgangen ligger gjennomgående på stort sett rundt 10 m dyp, men varierer en del. Den ligger grunnest (5-8 m) i områdene pos. 420-500 m, 750-900 m og 1200-1540 m og dypest (12-15 m) i områdene pos. 230-330 m, 2150-2230 m og 2380-2420 m.

Grunnvannspeilet er vanskelig å identifisere. Langs deler av områdene som dekkes av begge målemetodene er det indikasjoner på reflektor som kan tilsvare overflaten av antatt grunnvannsmettet materiale fra refraksjonsseismikken, men fra georadaropptaket alene er det stedvis flere reflektorer som kan representere grunnvannsmetning. Vestafør S1 er det indikert mulig grunnvannspeil i nivå 223-224 m o.h. (pos. 260-290) og 230 m o.h. (pos. 340-360) med et diffust sprang i området i mellom. Øst for S1 er det indikasjon på grunnvannspeil 266 m o.h. i området pos. 880-1030 og muligens 269-270 m o.h. pos. 1140-1170. Fra pos. 1230 til 1480 er det antydning at grunnvannspeil ligger i nivå 278-280 m o.h., dvs. mindre enn 5 m under terrengoverflaten. Videre mot S2 er grunnvannsnivået mer usikkert.

3.2.2 Profil G2

Utskrift av georadaropptakene fra profil G2 målt nedover langs skogsbilvegen er vist i kartbilag -04. Dybderekkevidden for reflekterte georadarsignaler er stort sett i området 25-30 m. Tolkning av lagdeling og materialtype mot dypet er også her usikker med noe tilsvarende refleksjonsmønster som i G1.

Skredavsetningene avgrenses mot nordvest ved pos. ca. 115 m i profilet. Nordvest for skredavsetningene er løsmassene preget av overflateparallele eller nær horisontale reflektorer, men med enkelte diffraksjoner fra antatt blokk overflatenært. Avsetningene kan her være morenedominert, men kan dels også bestå av breelv/bresjø-dominert materiale.

Fjelloverflaten er usikker helt i starten på profilet, men regnes å ligge på 10-12 m dyp fram til pos. 50 m, dypet øker til ca. 20 m fram mot pos. 140 m, kan ligge noe grunnere pos. 210-230 m for derfra å skråne ned mot 25-30 m dyp fram mot 290 m i profilet (rundt østre sving i profilet). Videre vestover mot pos. 490 m er fjelloverflaten anslått å ligge 20-25 m dypt, men avtar videre og er 13-15 m rundt vestre sving (pos. 510-560 m). Seismikkprofilet S3 viser at fjelldypet er 17-18 m i området pos. 590-610 m og øker på sørøstover til 30-35 m dyp fra pos. 700 m, dvs. dypere enn dybderekkevidden for georadarsignalene. Fjelloverflatens videre forløp er uviss, men regnes å ligge i nedkant av dybderekkevidden (25-30 m) eller dypere.

Som i G1 er det usikkert og vanskelig å skille ut skredavsetningene fra underliggende opprinnelige løsmasseavsetninger, eventuelt overgang til vannmettede avsetninger. Det kan ikke gjenkjennes noen klare reflektorer som er sammenfallende med lagdelingen funnet i seismikkprofil S3. Lengst sørøst (pos. 1160-1195 m) kan reflektor på 12-13 m dyp representere grunnvannspeil og/eller overgang til morene/mer kompakt skredmateriale. Generelt regnes det at skredavsetningene vil ha størst mektighet i de sørøstlige områder langs G2, dvs. pos. 200-450 m og fra pos. 700-1200 m.

4. SAMMENFATNING

Fjellskredavsetningene mellom Bjørnarheim og Sanddalsvatnet nordøst for Byrkjelo sentrum er undersøkt med georadarmålinger og refraksjonsseismikk. Undersøkelsene er utført langs fylkesvegen gjennom skredområdet og langs en ny skogsbilveg nord for fylkesvegen. Langs hver vei er det utført kontinuerlig georadarprofilering med lengder henholdsvis 2475 m og 1230 m. Refraksjonsseismikken er begrenset til 3 profiler, hver med en lengde på 220 m. To er lokalisert langs fylkesvegen, ett i vestre del og ett lengst øst, mens ett ligger sentralt i området langs skogsbilvegen.

Refraksjonsseismikken viser at dyp til fjell er 30-37 m langs det vestre profilet, 57-62 m langs det østre profilet og 17-35 m i det nordlige profilet. I løsmassene er det gjennomgående registrert to hastighetslag. I det øverste laget varierer seismisk hastighet i området 500-1100 m/s, mens hastigheten i laget under er på 2000-2300 m/s. Overflatelaget er 5-13 m tykt langs fylkesvegen og øker fra 3 til 18 m mot SØ langs skogsbilvegen. Det regnes at overflatelaget vesentlig består av tørre og løst lagrete fjellskredavsetninger. Hastigheten i det nedre laget kan representere massive og sannsynligvis vannmettede skredavsetninger, men massiv bunnmorene vil også vise tilsvarende hastighet. Dersom det ligger morenemateriale eller muligens også bedre sorterte avsetninger under de massive skredavsetningene, kan tykkelsen av skredavsetningene ikke bestemmes. Eventuelle sorterte avsetninger med lavere seismisk hastighet vil medføre at dyp til fjell er noe mindre enn beregnet.

Georadarmålingene indikerer den vestlige og nordvestlige utstrekning av skredavsetningene. Lengst vest langs fylkesvegen er det trolig breelvdominerte avsetninger, muligens med mer morenemateriale mot dypet, og fjelloverflaten kan ligge på vel 20 m dyp. Lengst nordvest langs skogsbilvegen er avsetningstype mer usikker, materialet kan være morenedominert, men kan dels også bestå av breelv/bresjø-dominert materiale. Dyp til fjelloverflaten kan øke fra 10 til over 15 m mot sørøst langs de nordvestligste 100 m av profilet. Utenfor området i nordvest og lengst vest regnes fjelloverflaten å ligge i nedkant av eller dypere enn dybderekkevidden av georadarsignalene på 20-30 m. Tykkelsen av skredavsetningene er meget usikker. En endring i refleksjonsmønster som muligens kan skyldes overgang fra skredmateriale til underliggende løsmasser ligger stort sett på rundt 10 m dyp, men varierer fra 5 til 15 m dyp.

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 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 innfallslodden, slik at

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

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

$$\sin i = V_1 / V_2$$

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

Lydforplantningen langs sjiktgrensen vil gi opphav til sekundærbølger som returnerer til terrengoverflaten under vinkelen i_c . I en viss kritisk avstand fra skuddpunktet vil disse refrakterte bølger nå fram før de direkte bølger som har fulgt terrengoverflaten. Den kritiske avstand er proporsjonal med dypet til sjiktgrensen og forøvrig bare avhengig av forholdet mellom de to hastigheter. Denne sammenheng utnyttes ved å plassere seismometre (geofoner) langs en rett linje i terrenget og registrere de først ankomne bølger fra skudd i hensiktsmessig valgte posisjoner langs samme linje. Man får da bestemt de nødvendige data for å fastlegge dypene til sjiktgrensen. Dersom overdekket er homogent med hensyn på lydhastigheten 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 opptakskvalitet. Hvis overdekkehastigheten er 1600 m/s, tilsvarer dette en usikkerhet på ca. 0.8 m i dybdebestemmelsen på grunn av avlesningsfeil. I tillegg kommer eventuelle feil på grunn av at forutsetningene om isotropi og homogenitet ikke gjelder fullt ut.

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

P-BØLGEHASTIGHET I NOEN MATERIALTYPER

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

GEORADAR - METODEBESKRIVELSE

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

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

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

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

**Kartkoordinater for geofysiske måleprofiler ved Byrkjelo 2003.
UTM-koordinater (WGS84, sone 32) er bestemt med GPS-instrument, disse
er omregnet til NGO-koordinater (NGO1948, Akse-1)**

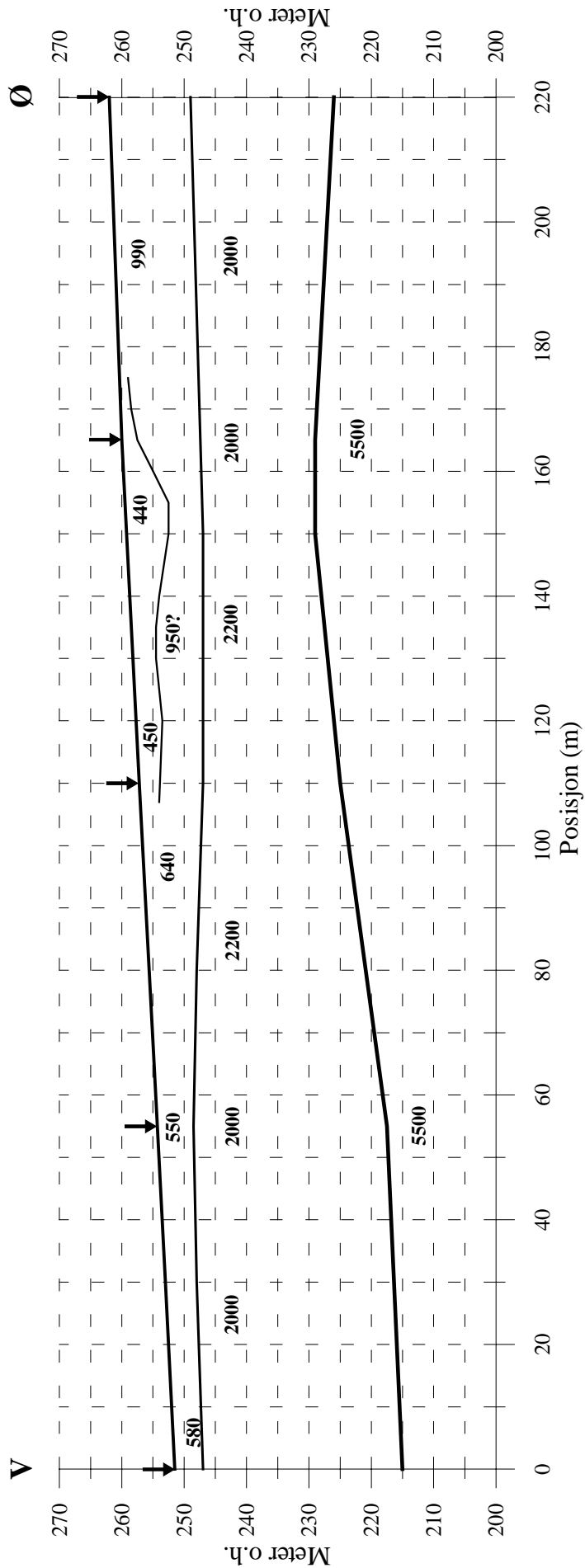
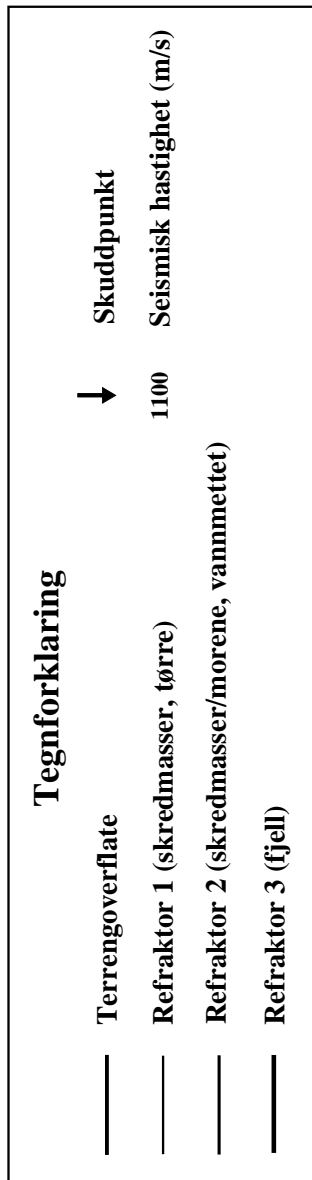
Refraksjonsseismiske profiler

Profilxposisjon	UTM-N	UTM-E	NGO1948-N	NGO1948-Ø
S1x0	6847704	369130	416661	24862
S1x110	6847730	369230	416691	24960
S1x220	6847741	369338	416707	25068
S2x0	6847722	370648	416748	26377
S2x110	6847815	370695	416843	26420
S2x220	6847923	370717	416951	26437
S3x0	6848105	369403	417074	25116
S3x110	6848019	369472	416991	25189
S3x220	6847932	369540	416907	25261

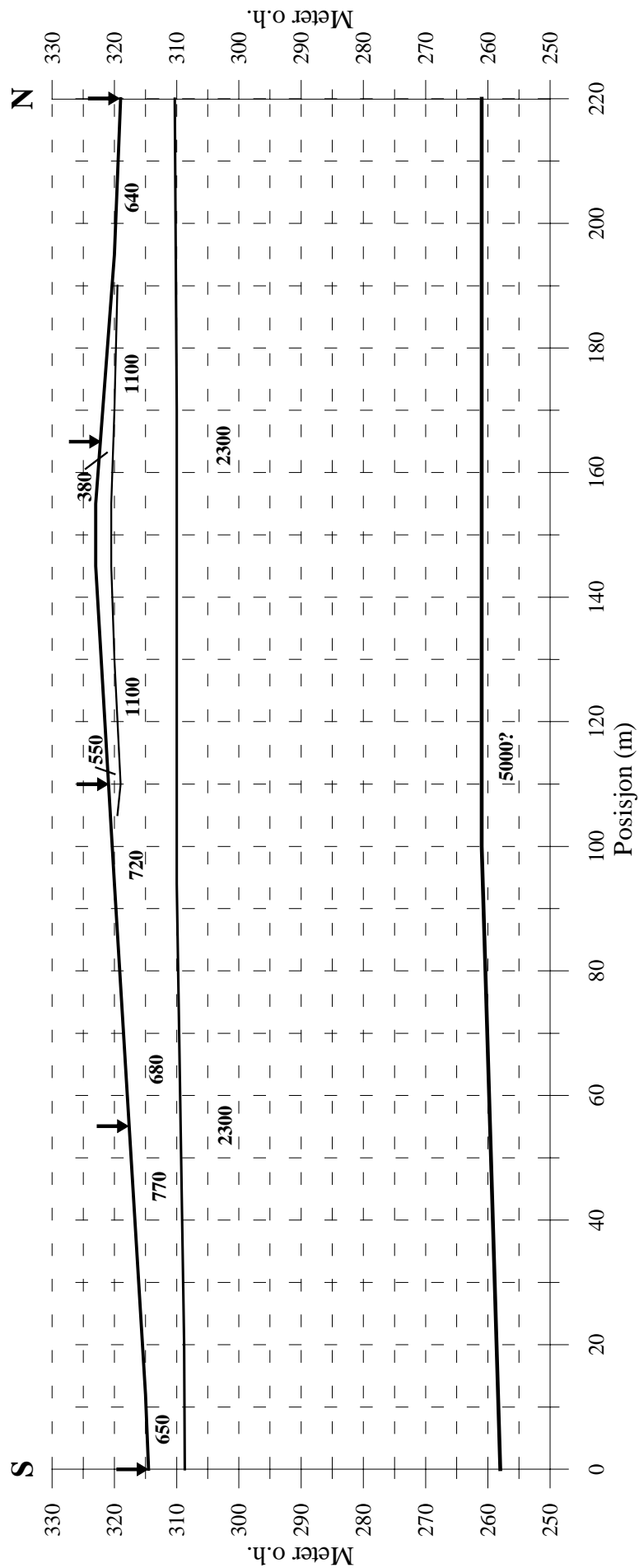
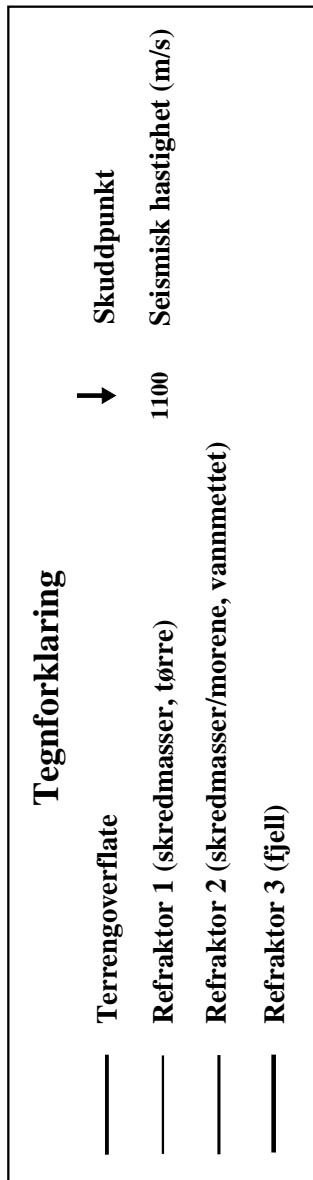
Georadar-profiler

Profilxposisjon	UTM-N	UTM-E	NGO1948-N	NGO1948-Ø
G1x0	6847716	368687	416653	24418
G1x1000	6847651	369555	416627	25289
G1x2272	6847843	370709	416871	26433
G1x2475	6848041	370759	417071	26474
G2x0	6848313	369527	417287	25231
G2x170(CMP1)	6848195	369642	417175	25351
G2x222	6848177	369692	417159	25402
G2x255	6848151	369703	417133	25414
G2x466	6848126	369496	417099	25208
G2x509	6848137	369457	417108	25169
G2x896	6847870	369596	416848	25320
G2x1000	6847798	369676	416779	25403
G2x1230	6847675	369838	416664	25570

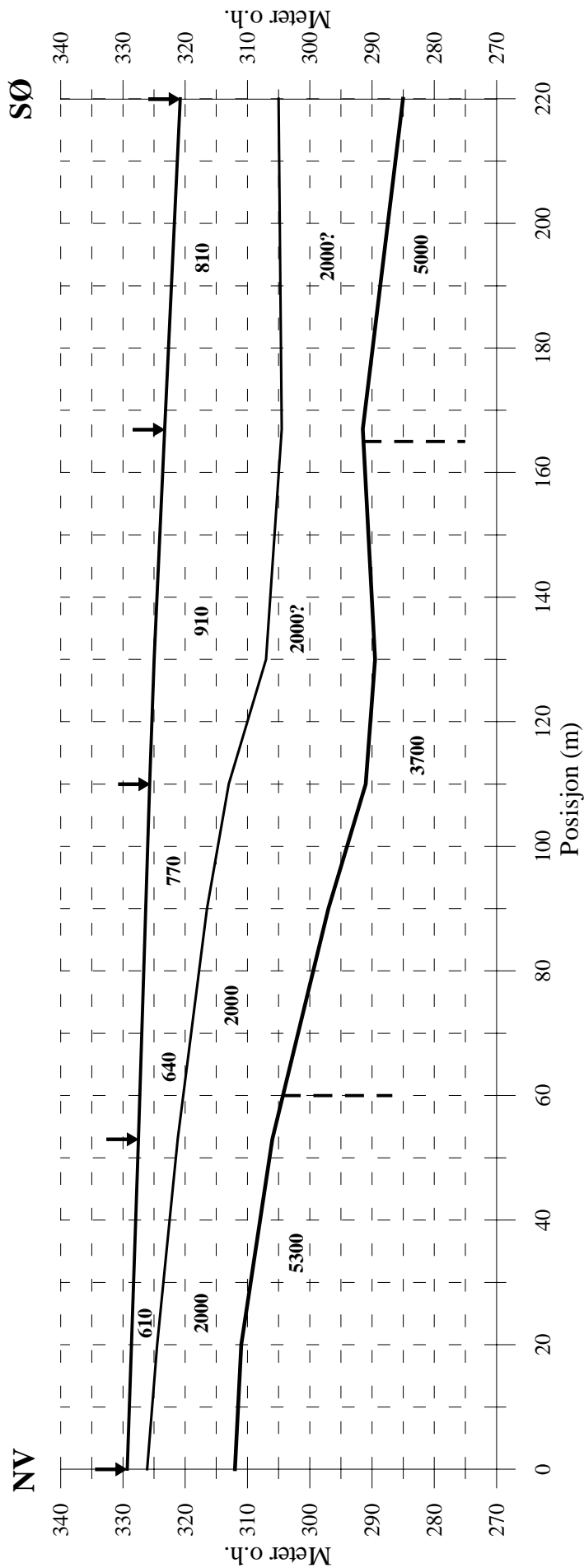
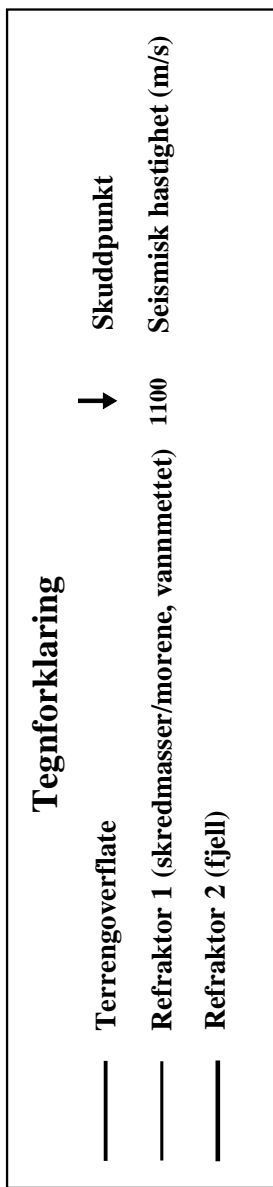
BYRKJELO, refraksjonsseismisk profil S1



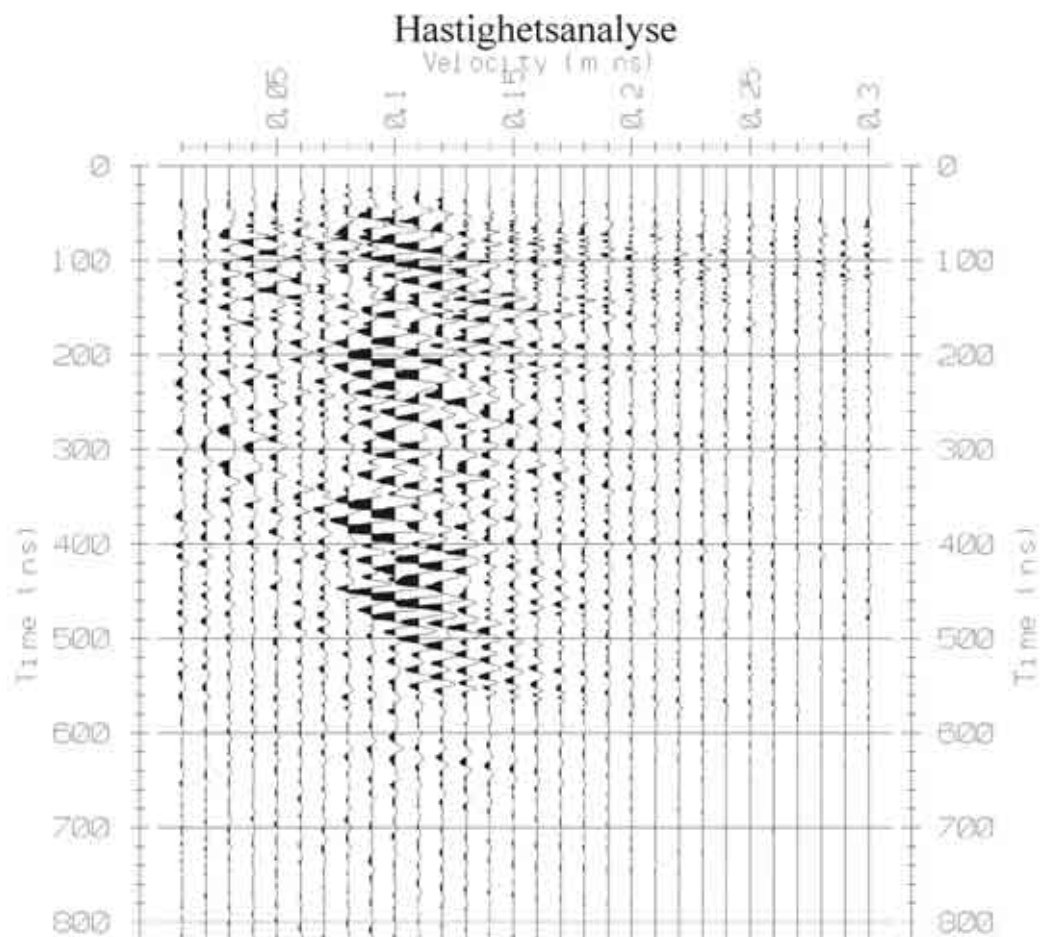
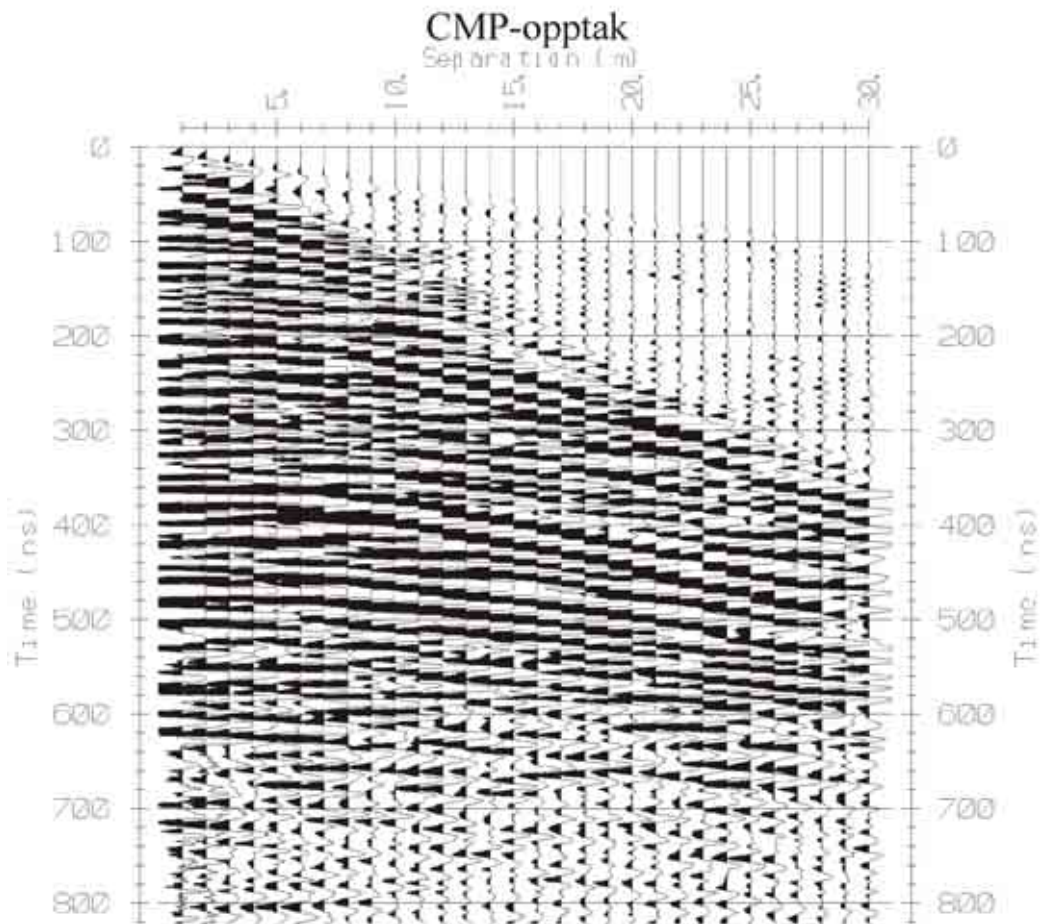
BYRKJELO, refraksjonseismisk profil S2

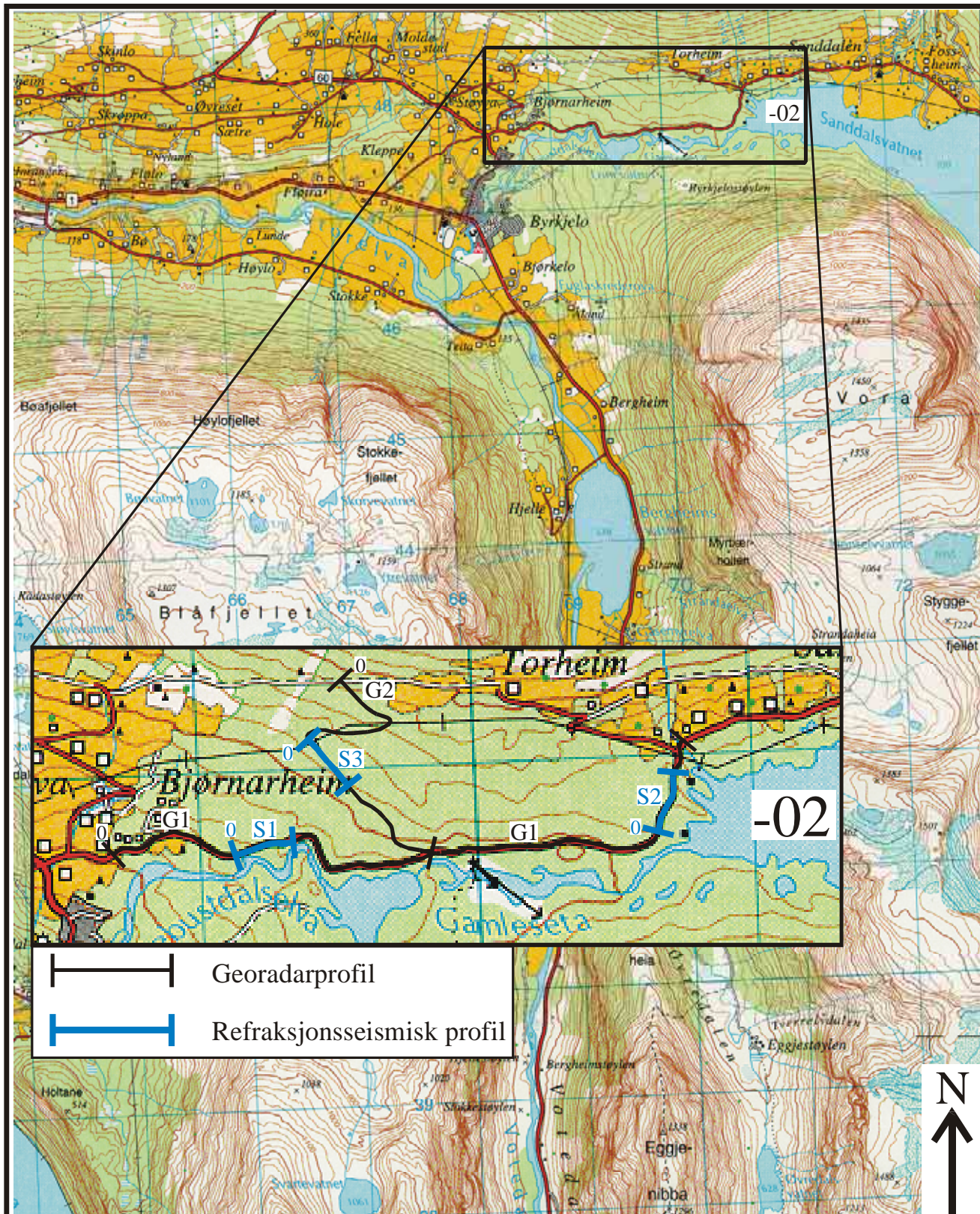


BYRKJELO, refraksjonsseismisk profil S3



Byrkjelo, CMP1, lokalisert ved pos. 170 m i G2





Innrammet: Lokalkart over undersøkt område vist i kartbilag -02

NGU / HSF
OVERSIKTSKART

BYRKJELO

GLOPPEN KOMMUNE, SOGN OG FJORDANE

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

MÅLESTOKK

1:50 000

MÅLT JFT

TEGN JFT

TRAC

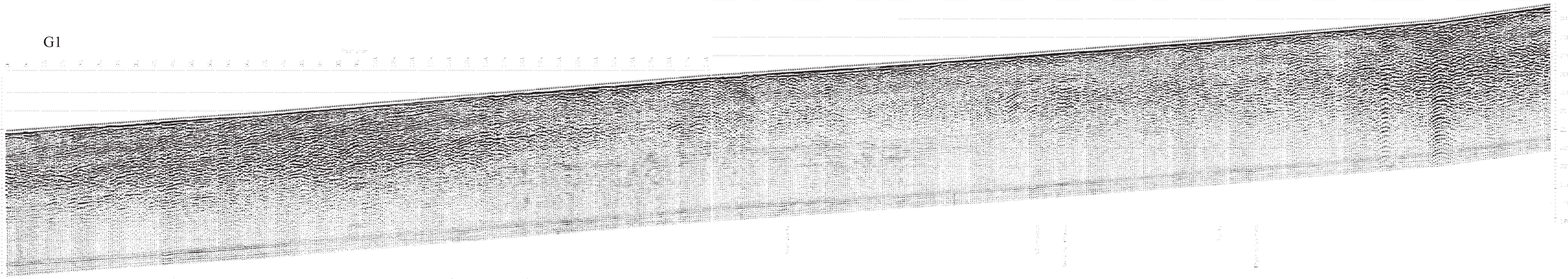
NOV. 2003

APRIL 2004

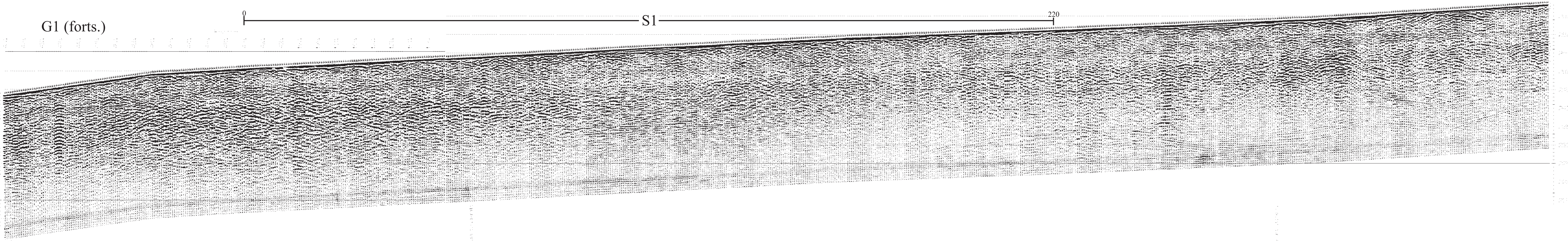
KARTBILAG NR
2004.028-01

KARTBLAD NR
1318 III

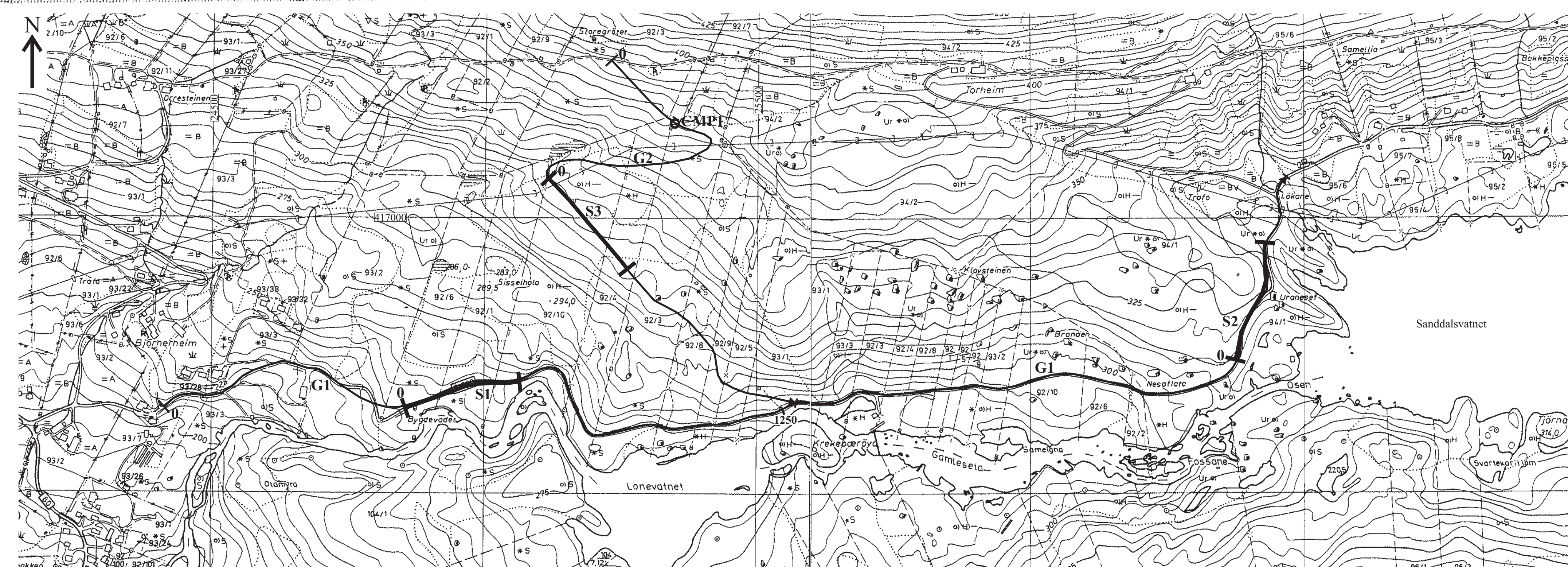
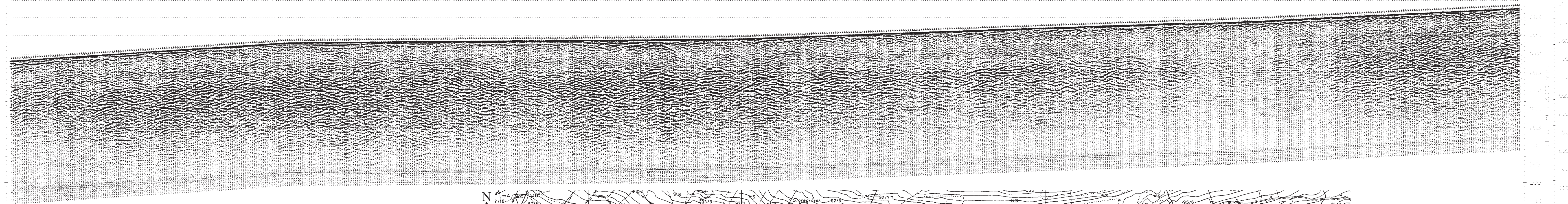
G1



G1 (forts.)



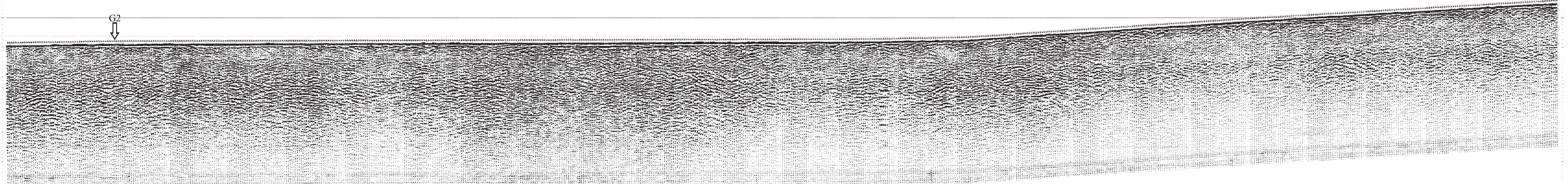
G1 (forts.)



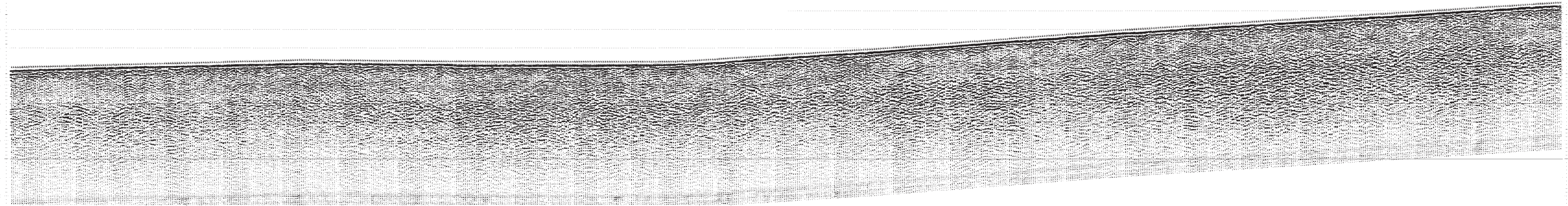
- TEGNFORKLARING KART
- Georadarprofil (0 angr startpunkt)
 - CMP1 CMP måling georadar
 - Refraksjonsseismisk profil (0 angr startpunkt)

NGU / HSP GEORADAROPPTAK G1 (POS. 0 - 1250) BYRKJELO GLOPPEN KOMMUNE, SOGN OG FJORDANE NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	MALESTOKK	MAÅT JFT	NOV. 2003
	1:5 000 (KART)	TEGN JFT	APRIL 2004
		TRAC	
		KFR	
	KARTBLAG NR 2004.028-02	KARTBLAD NR 1318 III	

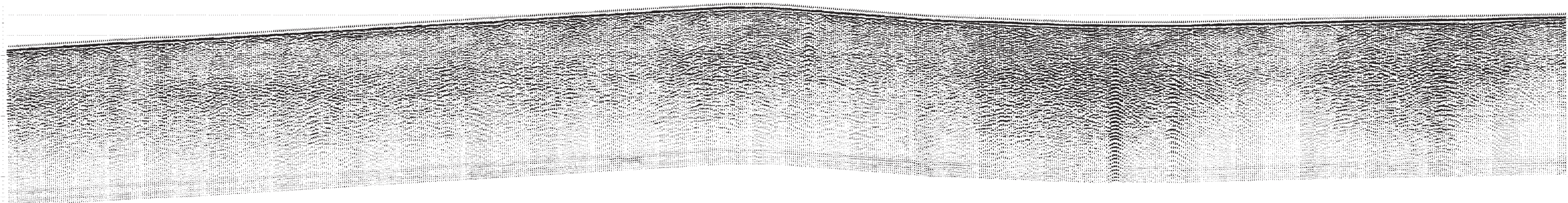
G1 (forts.)



G1 (forts.)

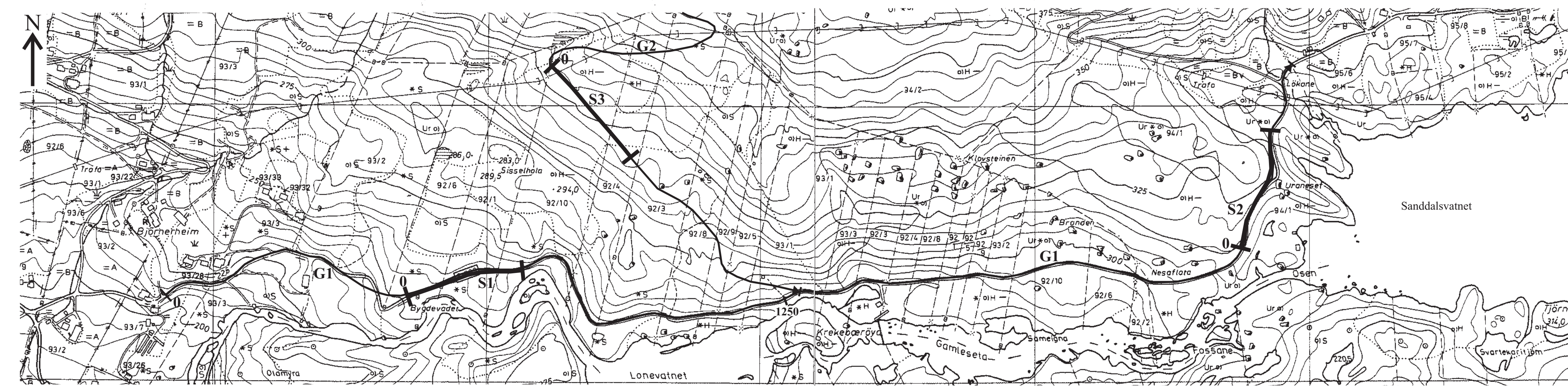


G1 (forts.)



TEGNFORKLARING PROFIL

G2
Kryssende profil



TEGNFORKLARING KART

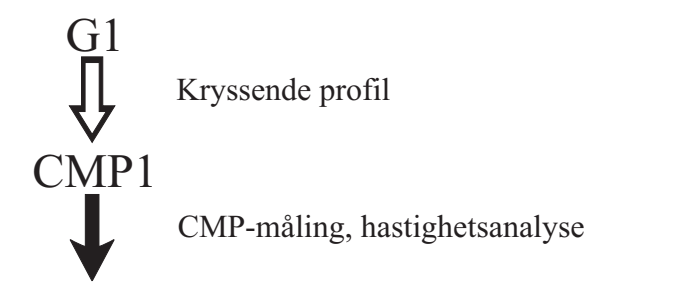
- Georadarprofil (0 angir startpunkt)
- Refraksjonsseismisk profil (0 angir startpunkt)

NGU / HSF
 GEORADAROPPTAK G1 (POS. 1250 - 2475)
BYRKJELO
 GLOPPEN KOMMUNE, SOGN OG FJORDANE
 NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

MALESTOKK	MÅLT JFT	NOV. 2003
1:5 000 (KART)	TEGN JFT	APRIL 2004
	TRAC	
	KFR	
KARTBLAG NR 2004.028-03	KARTBLAD NR 1318 III	

G2

TEGNFORKLARING PROFIL



CMP1

G2 (forts.)

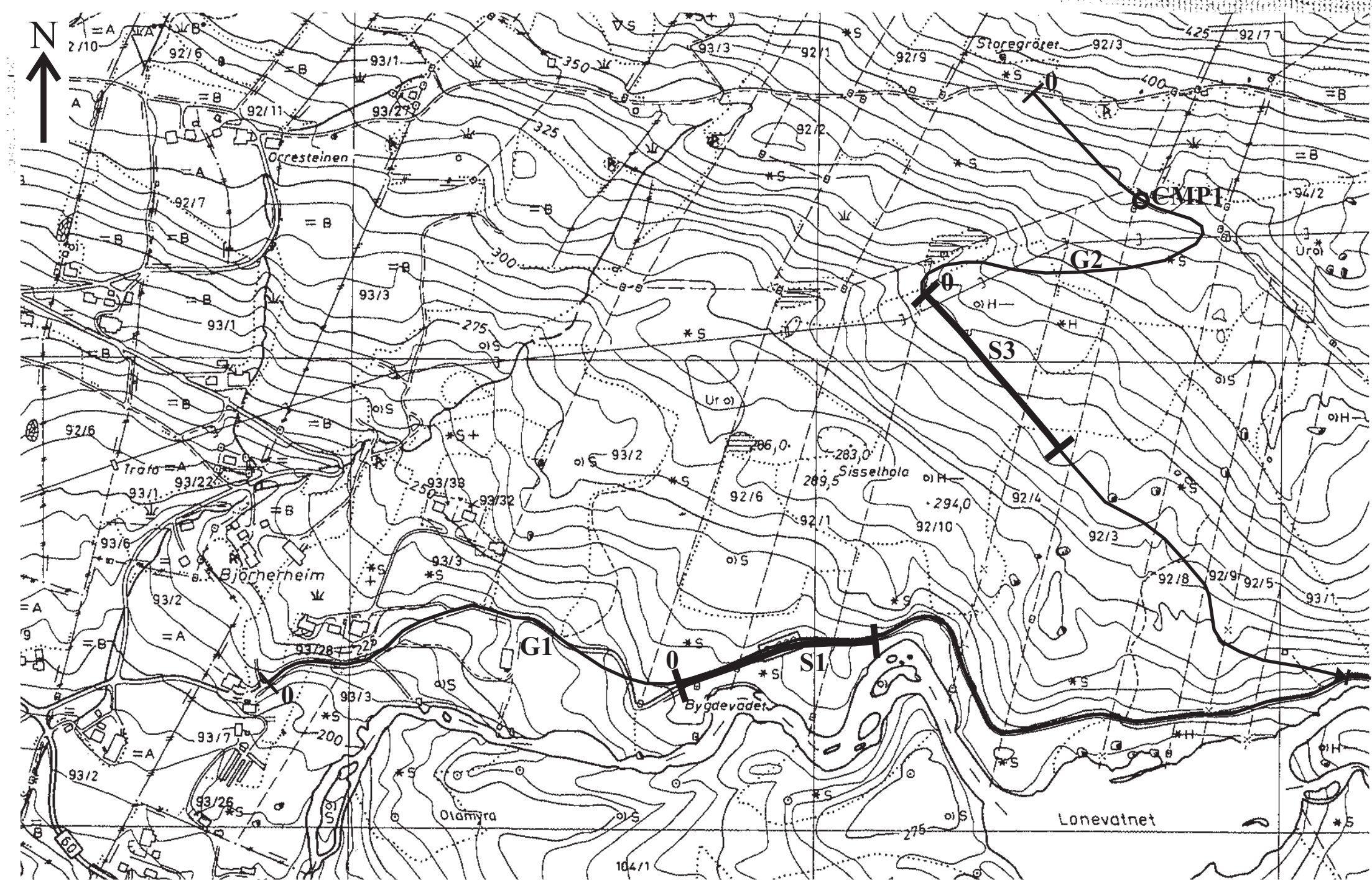
0

S3

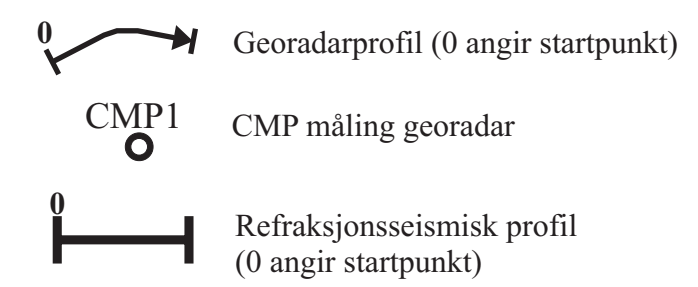
220

G2 (forts.)

G1



TEGNFORKLARING KART



NGU / HSF GEORADAROPPTAK G2 BYRKJELO GLOPPEN KOMMUNE, SOGN OG FJORDANE	MÅLESTOKK	MÅLT JFT	NOV. 2003
	1:5 000 (KART)	TEGN JFT	APRIL 2004
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	KARTBLAG NR 2004.028-04	KARTBLAD NR 1318 III	