

NGU Rapport 2006.012

Geofysiske målinger Oppstadhornet,
Midsund kommune, Møre og Romsdal

Rapport nr.: 2006.012		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Geofysiske målinger Oppstadhornet, Midsund kommune, Møre og Romsdal.			
Forfatter: Einar Dalsegg, Harald Elvebakk og Jan Fredrik Tønnesen		Oppdragsgiver: NGU	
Fylke: Møre og Romsdal		Kommune: Midsund	
Kartblad (M=1:250.000) Ålesund		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1220 II Vestnes	
Forekomstens navn og koordinater: Oppstadhornet 32V 38950 6953750		Sidetall: 18 Kartbilag: 2	Pris: kr. 88.-
Feltarbeid utført: Juni 2005	Rapportdato: 26.02.2007	Prosjektnr.: 309900	Ansvarlig:
Sammendrag: <p>I forbindelse med prosjektet "ROS – analyse for fjellskred i Møre og Romsdal", har NGU utført resistivitet og refraksjonsseismiske målinger ved Oppstadhornet . Oppstadhornet ligger på sørsiden av Otrøya i Midsund kommune og deler av fjellet er sterkt oppsprukket og med fare for at et større fjellparti skal rase ut i fjorden. Hensikten med de geofysiske målingene var å se om de kunne bidra til å kartlegge områder med sterk oppsprekking.</p> <p>De geofysiske målingene har påvist flere områder/soner med lav resistivitet og lav seismisk hastighet. Ut fra de erfaringer en har fra Åknes, hvor det er samme bergarter, skyldes disse trolig oppsprukket og vannmettet fjell. Den meget markert sprekkesonen nær toppen av Oppstadhornet kommer tydelig fram på profil 1, og er trolig også indikert på profil 3. Videre nedover lia på sørsida av fjellet er det på profil 1 indikert flere soner og partier med oppsprukket fjell. På profil 3 er det påvist en ny sone som også ligger helt på kanten av Oppstadhornet. Sonen har i likhet med den markerte sonen lengre vest fall mot sørøst. På nordsida av fjellet indikeres flere store områder med oppsprukket fjell. Det mest markerte området ligger i enden av profilene, noe som gjør at det ikke er tilstrekkelig kartlagt. En fullstendig kartlegging av dette området vil kreve nye målinger ved at profilene forlenges.</p>			
Emneord: Geofysikk	Elektrisk måling	Refraksjonsseismikk	
		Fagrapport	

INNHold

1. INNLEDNING	4
2. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE	4
2.1 2D Resistivitet	4
2.1.1 Datainnsamling	4
2.1.2 Strømstyrke og datakvalitet	5
2.1.3 Inversjon	5
2.2 Refraksjonsseismikk	5
3. RESULTATER OG VURDERINGER	6
3.1 2D Resistivitet	6
3.2 Refraksjonsseismikk	11
4. KONKLUSJON	13
5. REFERANSER	14

FIGURER

Figur 1. Profil 1. Modellert resistivitet, Wenner og Dipol/Dipol	8
Figur 2. Profil 2. Modellert resistivitet, Wenner og Dipol/Dipol	9
Figur 3. Profil 3. Modellert resistivitet, Wenner og Dipol/Dipol	10
Figur 4. Refraksjonsseismisk tolkning profil S1	12

DATABILAG

Databilag 1: Koordinater for målte profiler .

TEKSTBILAG

Tekstbilag 1: Metodebeskrivelse for refraksjonsseismikk.

KARTBILAG

Kartbilag 2006.012-01: Oversiktskart 1 :50 000.
Kartbilag 2006.012-02: Oversiktskart med geofysiske profiler 1 :10 000.

1. INNLEDNING

I forbindelse med prosjektet "ROS – analyse for fjellskred i Møre og Romsdal", har NGU utført resistivitet og refraksjonsseismiske målinger ved Oppstadhornet . Oppstadhornet ligger på sørsiden av Otrøya i Midsund kommune og deler av fjellet er sterkt oppsprukket og med fare for at et større fjellparti skal rase ut i fjorden. Hensikten med de geofysiske målingene var å se om de kunne bidra til å kartlegge områder med sterk oppsprekking. For kartlegging av oppsprukket og ustabil fjell var det i Norge gjort lite av denne type målinger tidligere. Det eneste var på Børa i Møre og Romsdal (Dalsegg og Tønnesen 2004) og på Nordnesfjellet i Troms (Tønnesen og Dalsegg 2004). I ettertid er det utført resistivitetsmålinger ved Åknes og Tafjord (Rønning m. fl. 2006). Resistivitetsmålinger ble her vurdert til å ha gitt et viktig bidrag til kartleggingen av de rasutsatte områdene. Refraksjonsseismikk har i lang tid vært benyttet for vurdering av fjellkvalitet i Norge.

Det er målt tre profiler med 2D resistivitet (3 km) og ett profil refraksjonsseismikk (440 m). Beliggenheten av det undersøkte området og profilene er vist i oversiktskartene -01 og -02.

Målingene ble utført av Einar Dalsegg og Harald Elvebakk fra NGU i juni 2005 med assistanse fra Midsund og Molde kommune. Jan Fredrik Tønnesen har tolket de refraksjonsseismiske data.

2. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

I det følgende blir metoder og utførelse kort beskrevet.

2.1 2D Resistivitet.

2.1.1 Datainnsamling.

Måledata ble innsamlet med et kabelsystem utviklet ved den tekniske høyskolen i Lund (LUND-systemet, Dahlin 1993). Systemet består av en releboks (Electrode Selector ES464) og to eller fire multi-elektrode kabler. Måleprosessen styres fra en datafil som er lagt inn i måleinstrumentet, ABEM Terrameter SAS 4000 (ABEM 1999). Ved denne undersøkelsen ble det benyttet 4 kabler med 10 meters elektrodeavstand, noe som gir en total kabellengde på 800 meter. Dybderekkevidden er med denne elektrodeavstanden ca. 130 meter, med størst oppløsning i de øverste 50 – 60 meterne. Det ble valgt å benytte både Wenner og Dipol/Dipol elektrodekonfigurasjoner, da Wenner har vist seg å være best egnet til å kartlegge horisontale strukturer mens Dipol/Dipol er best egnet til kartlegging av vertikale strukturer.

Profilene ble stukket samtidig med målingene og er merket med trestikker/plastbånd med angitte koordinater for hver 50 meter. Profilenes beliggenhet er innmålt med GPS (databilag 1).

2.1.2 Strømstyrke og datakvalitet

Jordingsbetingelsene var generelt brukbare, men stein og ur enkelte steder gjorde at de stedvis var meget dårlige. Strømstyrken var for mesteparten av målingene 20 og 50 mA, men nede i 5 mA der elektrodeforholdene var dårligst. Datakvaliteten var selv med en del meget lave strømstyrker gjennomgående meget god. Noen målinger var over akseptabelt støynivå, og disse ble slettet før prosessering.

2.1.3 Inversjon.

Ved alle resistivitetsmålinger måles en tilsynelatende resistivitet. Denne representerer et veid middel av alle resistiviteter som er innenfor målingens influensområde. For å finne den spesifikke resistivitet i ulike deler av undergrunnen må data inverteres. Dette utføres ved at bakken deles opp i blokker som tilordnes en bestemt resistivitetsverdi. Denne blir så justert i flere trinn (iterasjoner) inntil responsen fra den teoretiske modellen blir mest mulig lik de målte data.

Resistivitetsmålingene ble invertert ved bruk av dataprogrammet RES2DINV (Loke 2001). Det ble gjort forsøk med forskjellig inversjonsmetoder (Least Square og Robust) og det ble eksperimentert med forskjellige inversjonsparametere, dempningsfaktorer og forskjellige filtre. Dette ga ikke noen endringer i hovedtrekkene i de inverterte profilene, men mindre avvik i detaljer.

2.2 Refraksjonsseismikk

En generell beskrivelse av refraksjonsseismiske målinger er vist i tekstbilag 1. Som registreringsinstrument ble benyttet en ABEM Terraloc MK6 med 24 kanaler. Måleutlegget bestod av to seismiske kabler plassert etter hverandre langs profilet og med 12 geofoner tilkoblet langs hver kabel. Hele måleprofilet (S1) er sammensatt av to slike måleutlegg. Geofonavstanden langs kablene var gjennomgående 10 meter, men ble innkortet til det halve i hver ende av utlegg 1 og ved slutten av utlegg 2.

For hvert utlegg ble det avfyrt 5 skudd, hvorav ett i hver ende av utlegget, 5 m fra første og siste geofon (10 m fra siste geofon i utlegg 2), og ett ved midten av utlegget. To fjernskudd er plassert i større avstand fra utleggsendene. I utlegg 1 ble ett plassert 175 m før første geofon og ett på samme sted som endeskuddet ved slutten av utlegg 2. I utlegg 2 ble ett plassert ved midtskudd i utlegg 1 og ett 125 m fra siste geofon i utlegg 2. For energisering ble det brukt dynamitt med elektriske momenttennere.

Måledekningen langs terrengoverflaten for de to utleggene til sammen (målt fra første til siste endeskudd) gir en profillengde på 470 m. Profilet går langs resistivitetsprofil P3 (se kartbilag -02). På grunn av til dels bratt terreng langs profilet vil den horisontale måledekningen vist på kartet være på ca. 440 m.

Datakvaliteten på seismikkopptakene kan sies å variere fra god til mindre god. De beste opptakene er fra de tre skuddpunktene lengst nordvest og er best langs utlegg 2 i nordvest.

3. RESULTATER OG VURDERINGER

Beliggenheten av de målte profilene er vist i kartbilag -02. I det følgende blir måleresultatene diskutert.

3.1 2D Resistivitet

De inverterte resistivitetsdata fra profilene er vist på figurene 1 til 3. De viste seksjonene er produsert med standard inversjon og vertikal-/ horisontalfilter 1, noe som ikke favoriserer verken horisontale eller vertikale strukturer. Det er noe forskjell i resistivitetsmønsteret mellom Wenner og Dipol/Dipol, men hovedtrekkene er de samme. I det følgende blir måledata tolket som ved Åknes-prosjektet. Resistivitetsverdier lavere enn $10 \text{ k}\Omega\text{m}$ representerer oppsprukket vannmettet fjell. Ekstremt høye verdier indikerer drenert oppsprukket fjell, men kan også være en effekt av at en har åpne vertikale sprekker som hindrer strømgjennomgang.

Plasseringen av Profil 1 (figur 1) ble valgt for å se om en med resistivitetsmålinger kunne kartlegge utstrekningen mot dypet av en meget markert sprekkesone nær toppen av Oppstadhornet. Måledata viser at sonen kommer fram med meget lave resistivitetsverdier ved koordinat 830. Ut fra erfaringer fra Åknes/Tafjord-prosjektet, som har tilsvarende bergarter, indikerer disse resistivitetsverdiene oppsprukket og vannmettet fjell. Resistivitetsbildet er noe forskjellig for de to elektrodekonfigurasjonene. Ut fra målingene med Dipol/Dipol ser sonen ut til å ha fall mot sørøst, mens Wenner-målingene derimot indikerer at lavresistivetsområdet ved koordinat 830 henger sammen med et lavresistivetsområde på baksiden av Oppstadhornet. Etter som Dipol/Dipol har vist seg å være best egnet for kartlegging av vertikale strukturer er det grunn til å feste mest lit til resultatene fra denne metoden. Videre nedover lia mot sørøst er det indikasjoner på en sprekkesone ved koordinatene 680, 570? og 480. Sprekkesonen ved koordinat 480 ser ut til å henge sammen med et område med oppsprukket og vannmettet fjell på dypet som fortsetter ut profilet. På baksiden av Oppstadhornet indikeres en sprekkesone ved koordinat 900 med indikert fall mot nordvest. Mot enden av profilet indikeres meget lav resistivitet fra koordinat 1000 med en mulig sprekkesone ved denne koordinaten. Dette viser at i tillegg til den kjente sprekkesonen ved koordinat 830, har en indikasjoner på flere sprekkesoner langs profilet, også i bakkant av Oppstadhornet.

På profil 2 (figur 2) er det bare noen få områder med resistiviteter under $10 \text{ k}\Omega\text{m}$. Dette indikerer at fjellet for det meste er lite oppsprukket. I vest er det to soner med lav resistivitet som faller sammen med to søkk ved koordinat 115 og 240. Sonen ved koordinat 115 ligger i flanken av profilet, og er følgelig usikker mot dypet. I øst er det fra koordinat 660 og videre østover indikasjoner på et lavresistivetsområde. Der profilet krysser profil 1 er dette området på begge profilene indikert til å ligge på ca 30 meters dyp. Det er godt samsvar mellom Wenner og Dipol/Dipol på dette profilet. Høye resistivitetsverdier mellom koordinat 300 og 480 kan skyldes to vertikale åpne tørre sprekker i hver ende. Disse kan strekke seg ned til flere 10-talls meter.

Profil 3 (figur 3) indikerer i likhet med profil 1 flere store områder med lav resistivitet. Fra toppen og mot sørøst indikeres en lavresistivetsone på ca 30 meters dyp. Denne er mest markert med Dipol/Dipol. De seismiske målingene (figur 4) indikerer flere soner med lav

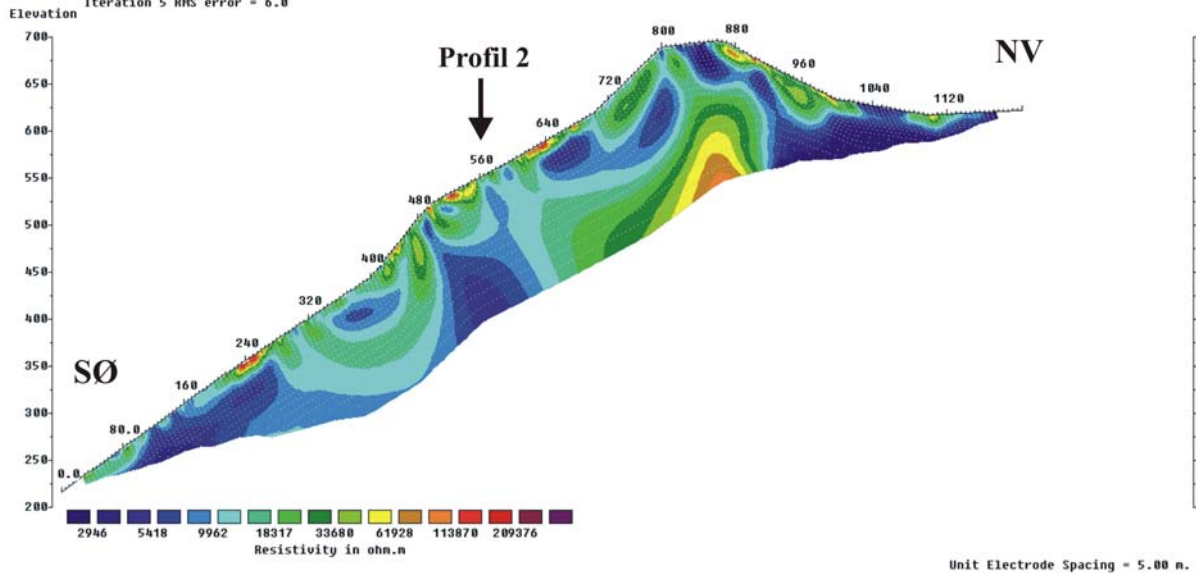
hastighet, og en av disse faller sammen med denne lavresistivitetssonen. Fra toppen og mot nordvest er det under et topplag med høy resistivitet indikasjoner på meget lav resistivitet langs hele profilet. Ned til koordinat 500 er det på dypet indikert meget høy resistivitet (Dipol/Dipol). Dette representerer trolig kompakt stabilt fjell. Den markerte avslutningen av dette høyresistivitetsområdet ved koordinat 500 faller sammen med forlengelsen av den markerte forkastningen/svakhetssonen som krysser profil 1 (koordinat 830). Den er også svakt synlig i terrenget ved profil 3. De seismiske målingene (figur 4) har ikke påvist noen laggrens på dypet i dette området. Grunnen til dette er at opptakene fra fjernskudd ved koordinat -175 for utlegg 1 var så dårlige at en ikke hadde tilstrekkelig dybderekkevidde til å detektere denne laggrensen. Videre mot nordvest er det meget lave resistivitetsverdier både dagnært og mot dypet. Dette samsvarer med verdiene på profil 1 og viser at i bakkant av Oppstadhornet indikeres meget lave resistivitetsverdier (oppsprukket fjell) i berggrunnen. I følge berggrunnskart Ålesund (Tveten m. fl. 1998) ligger dette området i en kvartsdiorittisk/granittisk gneis, en bergart som forventes å gi høy resistivitet. Det at målingene viser forholdsvis lav resistivitet indikerer at bergarten her trolig er oppsprukket og vannfylt. En annen sammensetning av gneisen (innslag av ledende mineraler), vil også kunne forklare de lave resistivitetsverdiene. Det er ikke sett mineraliseringer i området, og dersom sulfider hadde bidratt ville trolig resistiviteten vært enda lavere. Området ligger helt i flanken på de to profilene og er følgelig ikke tilstrekkelig kartlagt. Dette gjelder både i utstrekning langs bakken og mot dypet. En tilstrekkelig kartlegging vil kreve at profilene forlenges.

Oppstadhornet

Profil 1

Wenner
Standard inversjon
Vert./Hor. Filter=1

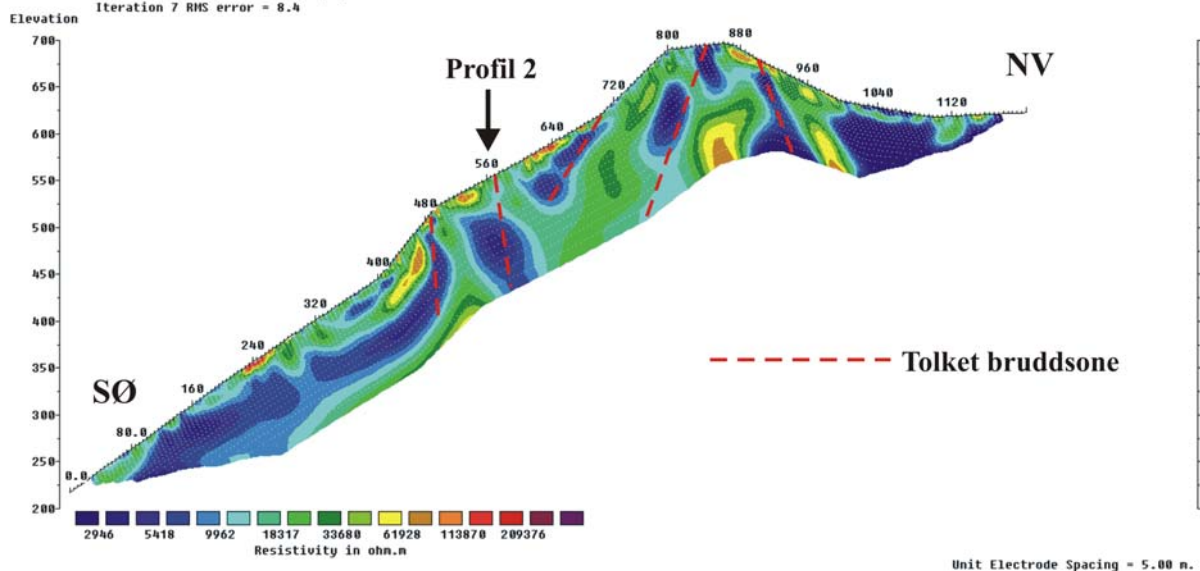
Model resistivity with topography
Iteration 5 RMS error = 6.0



Profil 1

Dipol/Dipol
Standard inversjon
Vert./Hor. Filter=1

Model resistivity with topography
Iteration 7 RMS error = 8.4

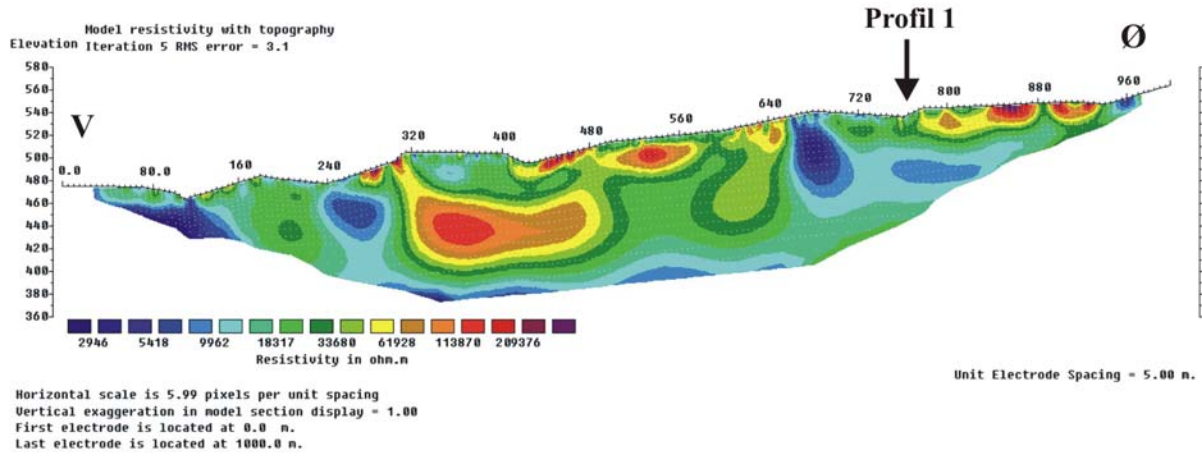


Figur 1. Profil 1. Modellert resistivitet, Wenner og Dipol/Dipol.

Oppstadhornet

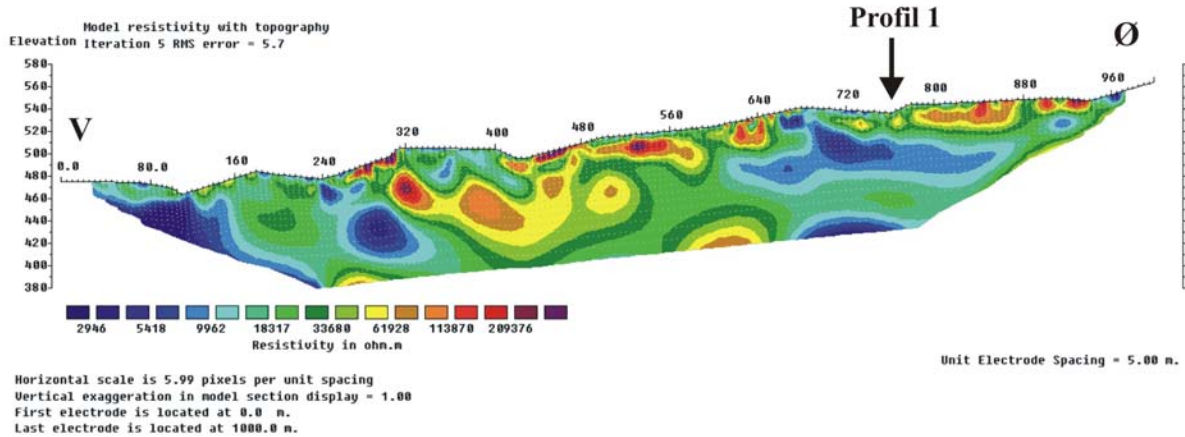
Profil 2

Wenner
Standard inversjon
Vert./Hor. Filter=1



Profil 2

Dipol/Dipol
Standard inversjon
Vert./Hor. Filter=1

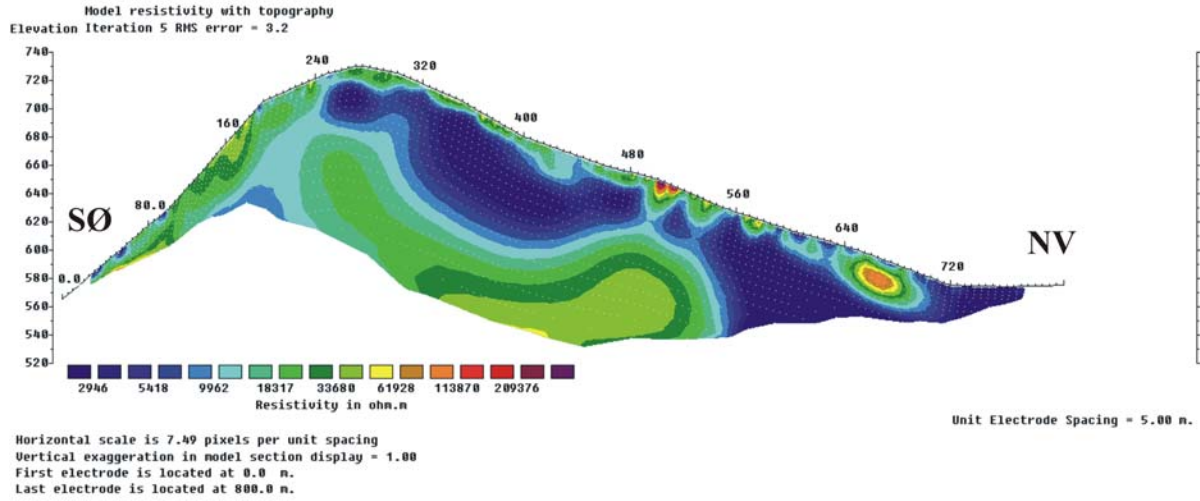


Figur 2. Profil 2. Modellert resistivitet, Wenner og Dipol/Dipol.

Oppstadhornet

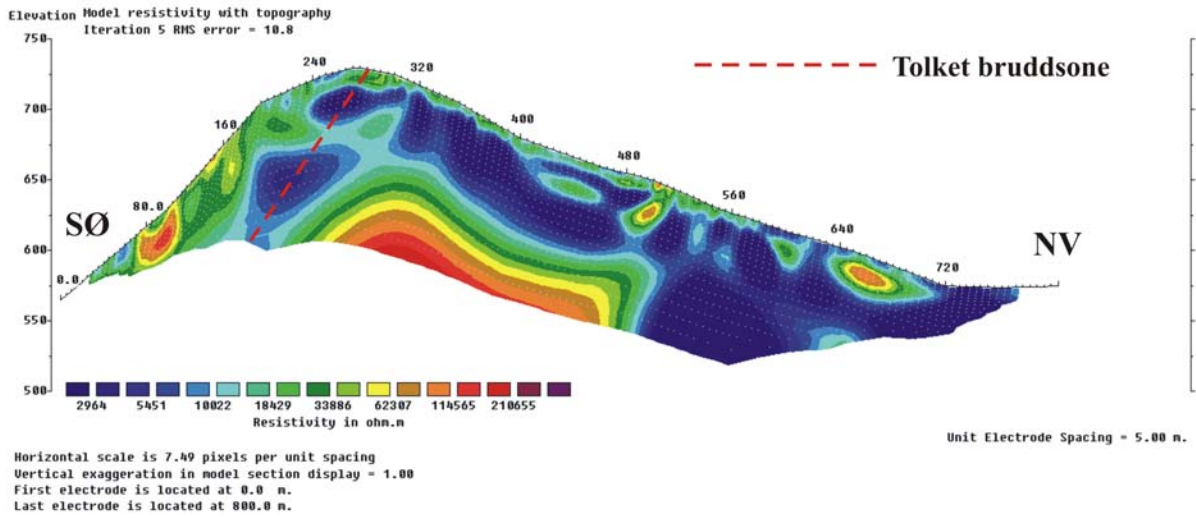
Profil 3

Wenner
Standard inversjon
Vert./Hor. Filter=1



Profil 3

Dipol/Dipol
Standard inversjon
Vert./Hor. Filter=1



Figur 3. Profil 3. Modellert resistivitet, Wenner og Dipol/Dipol.

3.2 Refraksjonsseismikk

Den geofysiske tolkningen av seismikkprofil S1 er vist i figur 4. For posisjonsangivelse langs profilet benyttes horisontal akse hvor 0-punktet er sammenfallende med 1. geofon i utlegg 1.

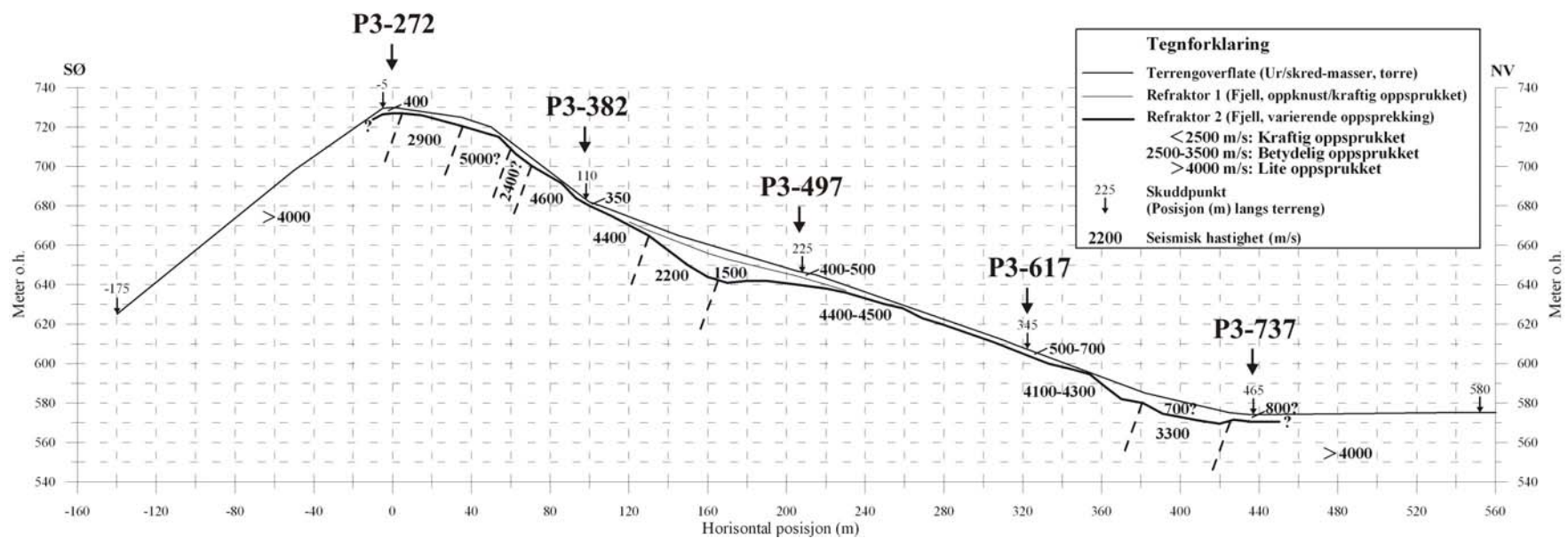
Et 0,5-4,0 m tykt overflatelag med seismisk hastighet 350-500 m/s opptrer i området pos. -5-320 m. Videre mot nordvest er seismisk hastighet i overflatelaget 500-800 m/s, og tykkelsen er 5-8 m mellom pos. 370 og 420 m. I området pos. 120-230 m er det under overflatelaget et lag med seismisk hastighet rundt 1500 m/s. Total tykkelse av disse to lagene kan være opptil 15-17 m ved pos. 160-170 m. Overflatelaget regnes å bestå av tørt, oppsprukket/oppknust og forvitret fjell og eventuelt løsmasser over fjellgrunnen. Underliggende lag sentralt i området representerer trolig oppknust/kraftig oppsprukket fjell.

Langs hele profilet er det i underliggende fjellgrunn funnet at seismisk hastighet varierer betydelig, fra 2200 til 5000 m/s. Den laveste hastigheten er observert i et ca. 35 m bredt område sentralt i profilet (pos. 130-165 m), dvs. under sørøstlige del av området med størst tykkelse av overliggende materiale. Denne sonen regnes å være en markert svakhetssone med meget kraftig oppsprekking/oppknusning. Sonens helning mot dypet er ikke bestemt, i tolkningen er avgrensningen tegnet normalt på den gjennomsnittlige helningen av måleutleggene. Dette gjelder også for de øvrige hastighetsgrensene indikert langs profilet.

Sørøstover fra svakhetssonen til pos. 70 m er seismisk hastighet 4400-4600 m/s og nordvest for sonen fram til pos. 380 m er hastigheten 4100-4500 m/s. Dette regnes å være fjell som har begrenset eller liten oppsprekking. Under brattkanten nordvest for toppen av fjellet kan det være en ca. 10 m bred svakhetssone med anslått hastighet 2400 m/s (pos. 60-70 m). Under toppen av fjellet (pos. 5-35 m) er hastigheten beregnet til 2900 m/s og indikerer at fjellet også der trolig er betydelig oppsprukket. I nordøstligste del av profilet (pos. 380-425 m) er det en sone med anslått seismisk hastighet 3300 m/s og kan indikere betydelig oppsprekking. Fra de to fjernskuddene utenfor selve måleutleggene kan det anslås at gjennomsnittlig seismisk hastighet langs fjellgrunnen fram til første geofon og tilbake til siste geofon er større enn 4000 m/s, noe som kan indikere at det ikke opptrer noen brede svakhetssoner i disse områdene.

De seismiske målingene har påvist store variasjoner i den seismiske hastigheten langs profilet, men mot dypet er det ikke påvist noen endringer i hastigheten. Den markerte økningen i resistiviteten på ca 75 m. dyp fra koordinat 300 til 500, kommer ikke fram på de seismiske målingene, noe som kan skyldes dårlig forplantning av seismisk energi fra fjernskudd (-175m).

Opstadhornet, refraksjonsseismisk profil S1



Figur 4. Refraksjonsseismisk tolkning profil S1.

4. KONKLUSJON

De geofysiske målingene har påvist flere områder/soner med lav resistivitet og lav seismisk hastighet. Ut fra de erfaringer en har fra Åknes, hvor det er samme bergarter, skyldes disse trolig oppsprukket og vannmettet fjell. Den meget markert sprekkesonen nær toppen av Oppstadhornet kommer tydelig fram på profil 1, og er trolig også indikert på profil 3. Videre nedover lia på sørsida av fjellet er det på profil 1 indikert flere soner og partier med oppsprukket fjell. På profil 3 er det påvist en ny sone som også ligger helt på kanten av Oppstadhornet. Sonen har i likhet med den markerte sonen lengre vest fall mot sørøst. På nordsida av fjellet indikeres flere store områder med oppsprukket fjell. Det mest markerte området ligger i enden av profilene, noe som gjør at det ikke er tilstrekkelig kartlagt. En fullstendig kartlegging av dette området vil kreve nye målinger ved at profilene forlenges.

5. REFERANSER

ABEM 1999: ABEM Terrameter SAS 4000/SAS 1000. Instruction Manual. ABEM Printed Matter 93101. ABEM, Sverige.

Dalsegg, E. & Tønnesen, J. F. 2004: Geofysiske målinger Breitind og Børa, Rauma kommune Møre og Romsdal. NGU Rapport 2004.008.

Dahlin, T. 1993: On the Automation of 2D Resistivity Surveying for Engineering and Environmental Applications. Dr. Thesis, Department of Engineering Geology, Lund Institute of Technology, Lund University. ISBN 91-628-1032-4.

Loke, M.H. 2001: RES2INV ver. 3.4. Geoelectrical Imaging 2D & 3D. Instruction manual. www.geoelectrical.com.

Rønning, J. S., Dalsegg, E., Elvebakk, H., Ganerød, G. & Tønnesen, J. F. 2006: Geofysiske målinger Åknes og Tafjord, Stranda og Nordal kommuner Møre og Romsdal. NGU Rapport 2006.002.

Tveten, E., Lutro, O. & Thorsnes, T. 1998: Geologisk kart over Noreg, berggrunnskart Ålesund, M 1 : 250 000. Noregs geologiske undersøking.

Tønnesen, J. F. & Dalsegg, E. 2004: Geofysiske målinger Nordnesfjellet, Kåfjord kommune Troms. NGU Rapport 2004.012.

Innmålte profiler (WGS-84)

Profil	Koordinat	UTM-øst (WGS-84)	UTM-nord (WGS-84)	
P 1 (2D Res.)	0	6953245	389574	
	200	6953399	389514	
	400	6953543	389426	
	500	6953678	389344	
	600	6953748	389309	
	800	6953817	389281	
	860	6953869	389254	
	900	6953894	389233	
	1000	6953974	389192	
	1100	6954064	389147	
	1200	6954150	389094	
	P 2 (2D Res.)	0	6953422	388673
		110	6953435	388779
200		6953445	388864	
240		6953454	388902	
300		6953456	388958	
400		6953475	389050	
600		6953561	389216	
680		6953605	389284	
760		6953631	389352	
800		6953656	389384	
900		6953695	389472	
940		6953711	389510	
1000		6953729	389566	
P 3 (2D Res.)	0	6953724	389820	
	100	6953796	389783	
	200	6953860	389740	
	300	6953931	389691	
	400	6954003	389645	
	500	6954087	389600	
	600	6954160	389552	
	700	6954231	389490	
	800	6954316	389436	
S 1 (seismikk)	Fjernskudd	6953789	389788	
	0	6953903	389707	
	120	6953989	389656	
	240	6954182	389604	
	Fjernskudd	6954268	389479	
	360	6954169	389545	
	480	6954258	389474	
	Endeskudd	6954269	389467	
	Fjernskudd	6954357	389398	

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 tilfredsstillers 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 overdekke hastighetene 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° .

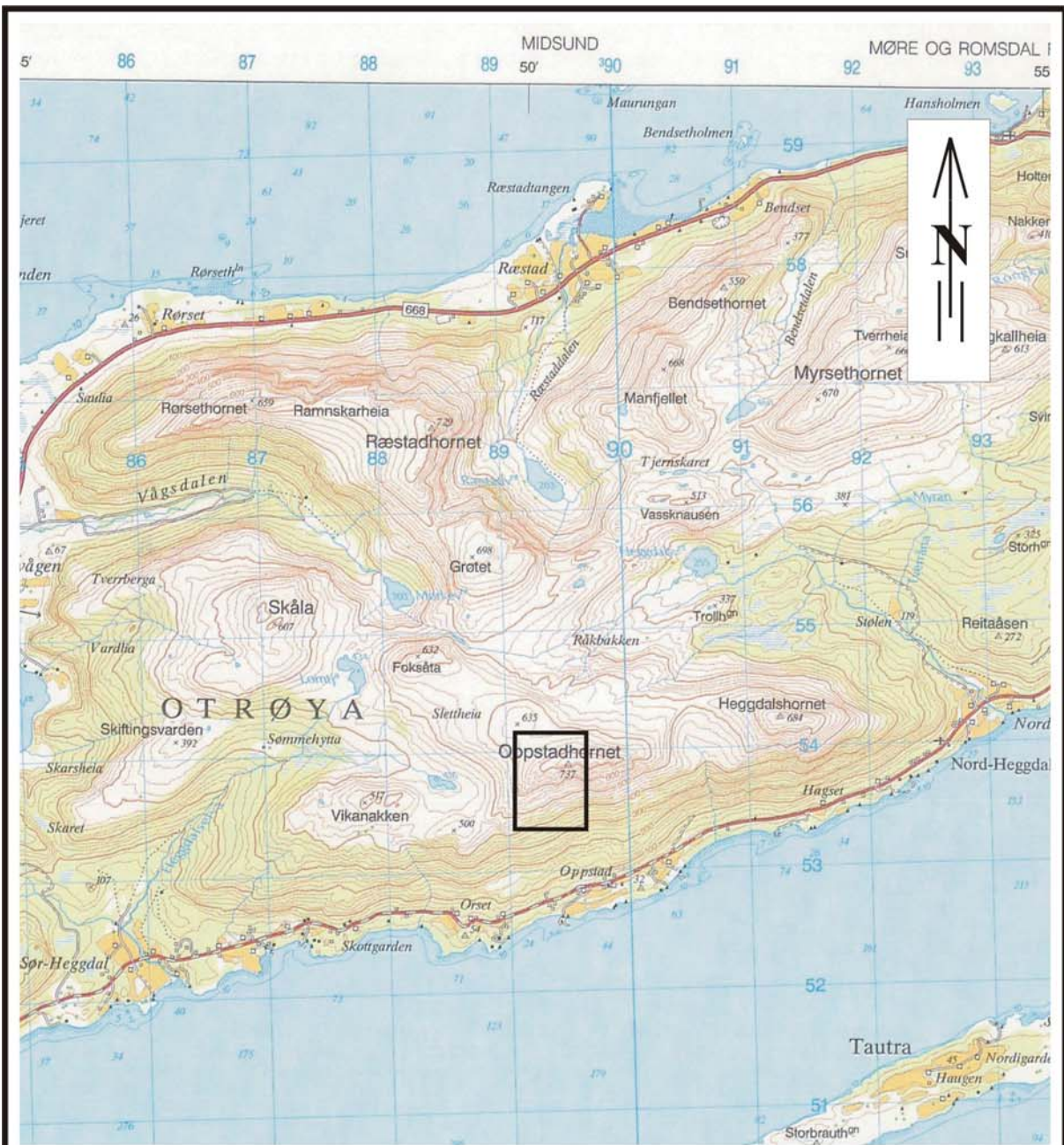
Det forekommer at en sjiktgrense ikke avspeiler seg i gangtidsdiagrammene, fordi de refrakterte bølger fra denne grense når overflaten seinere enn fra en dypere grense. Det foreligger da en såkalt 'blind sone', og de virkelige dyp kan være vesentlig større enn de beregnede. En annen feilkilde er til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

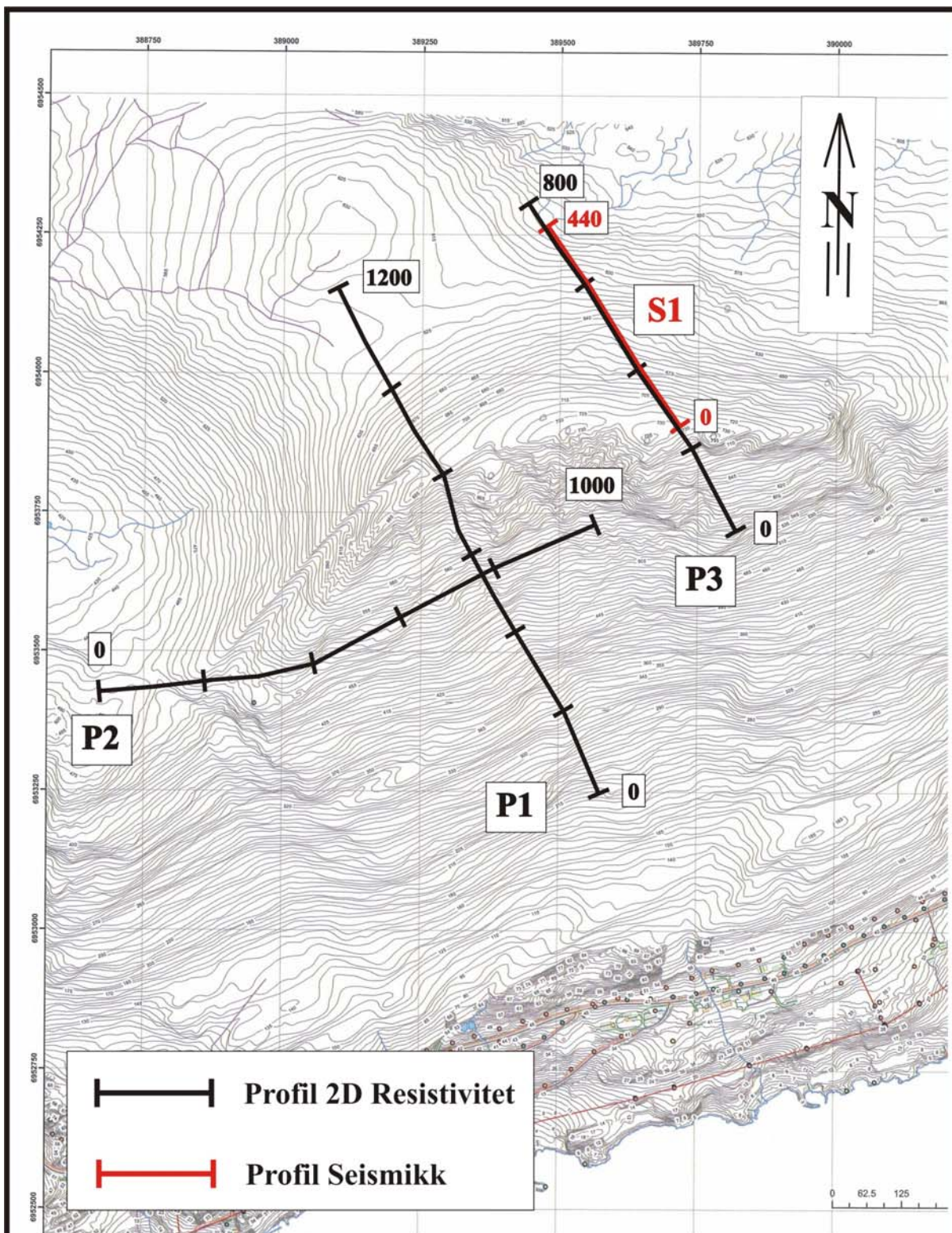
P-BØLGEHASTIGHET I NOEN MATERIALTYPER

<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</i>



 UNDERSØKT OMRÅDE

NGU OVERSIKTSKART OPPSTADHORNET MIDSUND, MØRE OG ROMSDAL	MÅLESTOKK	MÅLT ED-HE	Juni 2005
	1:50 000	TEGN E.D.	Des. 2005
		TRAC	
		KFR	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	KARTBILAG NR 2006.012-01	KARTBLAD NR 1220 II	



NGU OVERSIKTSKART MED GEOFYSISKE PROFILER OPPSTADHORNET MIDSUND, MØRE OG ROMSDAL	MÅLESTOKK 1 : 10 000	MÅLT ED-HE	Juni 2005
		TEGN E.D.	Jan. 2006
		TRAC	
		KFR	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	KARTBILAG NR 2006.012-02	KARTBLAD NR 1220 II	