

Rapport nr.: 2004.008	ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Geofysiske målinger Breitind og Børa, Rauma kommune Møre og Romsdal.			
Forfatter: Einar Dalsegg og Jan Fredrik Tønnesen		Oppdragsgiver: NGU	
Fylke: Møre og Romsdal		Kommune: Rauma	
Kartblad (M=1:250.000) Ålesund		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1319 I Romsdal	
Forekomstens navn og koordinater: Breitind 32V 535300 6926200 Børa 32V 537500 6924500		Sidetall: 21 Kartbilag: 2	Pris: 110.-
Feltarbeid utført: September 2002 og august 2003	Rapportdato: 06.12.2004	Prosjektnr.: 300600	Ansvarlig: <i>Jan S. Røed</i>
Sammendrag: <p>I forbindelse med prosjektet Fjellskredkartlegging, har NGU utført geofysiske målinger på Breitind og Børa i Romsdalen. Hensikten med undersøkelsene var å se om en med geofysiske målinger kunne påvise permafrost og sprekkesoner i de to aktuelle områdene. Området på Breitind ligger på vel 1700 moh, mens Børa ligger en del lavere (vel 1000 moh) og er et ustabil område med flere markerte større sprekker.</p> <p>Ved Breitind indikeres et ca. 1.5 meters tykt "aktivt lag" over et ca. 5 meters tykt lag med isrik permafrost. Mest trolig har også den underliggende berggrunnen permafrost, selv om de geofysiske målingene ikke kan bekrefte dette.</p> <p>Ved Børa har ikke de geofysiske målingene bekreftet permafrost, men det kan heller ikke ut fra målingene utelukkes at det er permafrost i området. De områdene som har indikert resistivitet tilsvarende isrik permafrost, representerer trolig meget sterkt oppsprukket fjell. Målingene har kartlagt morenedekket og indikert meget høy resistivitet i den østligste delen av plataet. Denne høye resistiviteten skyldes trolig ikke permafrost men sterkt oppsprukket drenert fjell. Den bakre store sprekkesonen indikeres å være tilnærmet steil med et svakt fall mot nordøst.</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	4
2.1.3 Inversjon	5
2.2 Refraksjonsseismikk	5
3. RESULTATER	5
3.1 2D Resistivitet	6
3.1.1 Breitind	6
3.1.2 Børa	6
3.2 Refraksjonsseismikk	11
4. DISKUSJON/TOLKNING	15
4.1 Breitind	15
4.2 Børa	15
5. KONKLUSJON	16
6. REFERANSER	17

FIGURER

Figur 1. Breitind. Modellert resistivitet profil 1	7
Figur 2. Børa. Modellert resistivitet profil 1.	8
Figur 3. Børa. Modellert resistivitet profil 1 - øst.	9
Figur 4. Børa. Modellert resistivitet profil 2.	10
Figur 5. Børa. Refraksjonsseismisk tolkning profil S1.	13
Figur 6. Børa. Refraksjonsseismisk tolkning profil S2.	14

DATABILAG

Databilag 1: Koordinater for målte profiler.

TEKSTBILAG

Tekstbilag 1: Metodebeskrivelse for refraksjonsseismikk.

KARTBILAG

Kartbilag 2004.008-01: Oversiktskart 1 :50 000.
Kartbilag 2004.008-02: Resistivitet og seismikk, tolkningskart 1: 4000.

1. INNLEDNING

I forbindelse med prosjektet Fjellskredkartlegging, har NGU utført geofysiske målinger på Breitind og Børa i Romsdalen. Hensikten med undersøkelsene var å se om en med geofysiske målinger kunne påvise permafrost og sprekkesoner i de to aktuelle områdene. Området på Breitind ligger på vel 1700 moh, mens Børa ligger en del lavere (vel 1000 moh) og er et ustabil område med flere markerte større sprekkesoner. Berggrunnen i områdene består av gneiser med varierende sammensetning (Tveten m. fl. 1998)

Målingene på Breitind ble utført av Einar Dalsegg den 04.09.2002, mens målingene på Børa ble utført av Einar Dalsegg og Jan Fredrik Tønnesen i tiden 27.08 til 28.08 2003.

Beliggenheten av de undersøkte områdene framgår av kartbilag –01.

2. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

De målingene som ble foretatt var 2D resistivitet og refraksjonsseismikk. 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 høgskolen i Lund (LUND-systemet, Dahlin 1993). Systemet består av en releboks (Electrode Selector ES464) og to eller fire multi-elektrode kabler som styres av et ABEM Terrameter SAS 4000 (ABEM 1999). Ved denne undersøkelsen ble det benyttet kabler med både 2 og 10 meters elektrodeavstand. På Breitind ble det benyttet 40 meters kabler med 2 meters elektrodeavstand. På Børa ble profil 1 og 2 først målt med 200 meters kabler med 10 meters elektrodeavstand. Dybderekkevidden er med denne elektrodeavstanden 130 til 140 meter, med størst oppløsning i de øverste 50 – 60 meterne. For å få bedre oppløsning i de grunne partier ble deler av profil 1 målt med en elektrodeavstand på 2 meter for de to innerste kablene og 4 meter for de to ytterste (fire kabler på 40 meter). Dybderekkevidden er da redusert til 20 – 25 meter. Den elektrokonfigurasjon som ble benyttet på begge områdene var Wenner.

Profilene ble stukket samtidig med målingene og er merket med trestikker med angitte koordinater for hver 20 meter. Profilenes beliggenhet er innmålt med GPS (se databilag 1).

2.1.2 Datakvalitet

På Breitind var jordingsbetingelsene på grunn av stein og ur meget dårlige, og det ble brukt betydelig tid på å forbedre elektrodene (svamper med saltvann). Selv med disse forbedringene

oppnådde en ikke mer strøm enn 5 og 10 mA, med overvekt av målinger i det laveste området. Datakvaliteten var her noe varierende med en del målinger over akseptabelt støynivå. Disse ble slettet før prosessering.

På Børa var strømstyrken ved de fleste målingene i områdene 10 eller 20 mA. Datakvaliteten var meget god. Noen få data 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, og i profil-målingene er det benyttet to målekabler med 12 geofoner langs hver kabel. Gefonavstanden langs kablene var gjennomgående 10 meter, men ble innkortet til det halve i hver ende av kabelutleggene for å få bedre kontroll på seismisk hastighet overflatenært. Skuddpunkt ble plassert 5 m fra hver endegeofon på kablene slik at skuddpunktavstanden langs profilene gjennomgående ble 110 m. Ett slikt dobbelt kabelutlegg gir en måledekning på 220 m langs profiloverflaten. Det ble også plassert skuddpunkt i større avstand fra kabelendene (fjernskudd) for å få sikrere måledekning av dypereliggende refraktorer langs måleutlegget. For energisering ble det brukt dynamitt med elektriske momenttennere.

Målingene omfatter 2 refraksjonsseismiske profiler (S1 og S2), hver med en lengde på 220 m. Målingene er utført langs deler av 2D-resistivitetsprofilene P1 og P2. S1 er målt langs P2 og dekker området mellom posisjon -20 m og 200 m. S2 er målt langs P1 og dekker området mellom posisjon 480 m og 700 m (se kartbilag -02).

3. RESULTATER

Lokalisering av målte profiler framgår av kartbilag -01 og -02. I det følgende blir måleresultatene kommentert, mens forslag til tolkning blir diskutert i avsnitt 4 (Diskusjon/Tolkning).

3.1 2D Resistivitet

3.1.1 Breitind

De inverterte resistivitetsdata fra profil 1 er vist på figur 1. Den viste seksjonen er produsert med Robust inversjon og vertikal-/horisontalfilter 0.5 (favoriserer horisontale lag).

Som figuren viser indikerer målingene at området består av horisontale lag med markete resistivitetsforskjeller. Øverst framkommer et tynt topplag (ca 1.5 meter) med resistiviteter i området 20 –40 kΩm. Under dette indikeres et lag på ca 5 meter med resistiviteter på over 100 kΩm. Videre mot dypet viser målingene at berggrunnen stort sett har en resistivitet på 25 – 40 kΩm. Målingene indikerer i den sentrale delen av profilet horisontale variasjoner i resistiviteten uten indikasjoner på større sprekkesoner. I den nordøstlige delen av profilet er det ved koordinat 100 til 110 markert lavere resistivitet på dypet. Dette kan skyldes en sprekkesone.

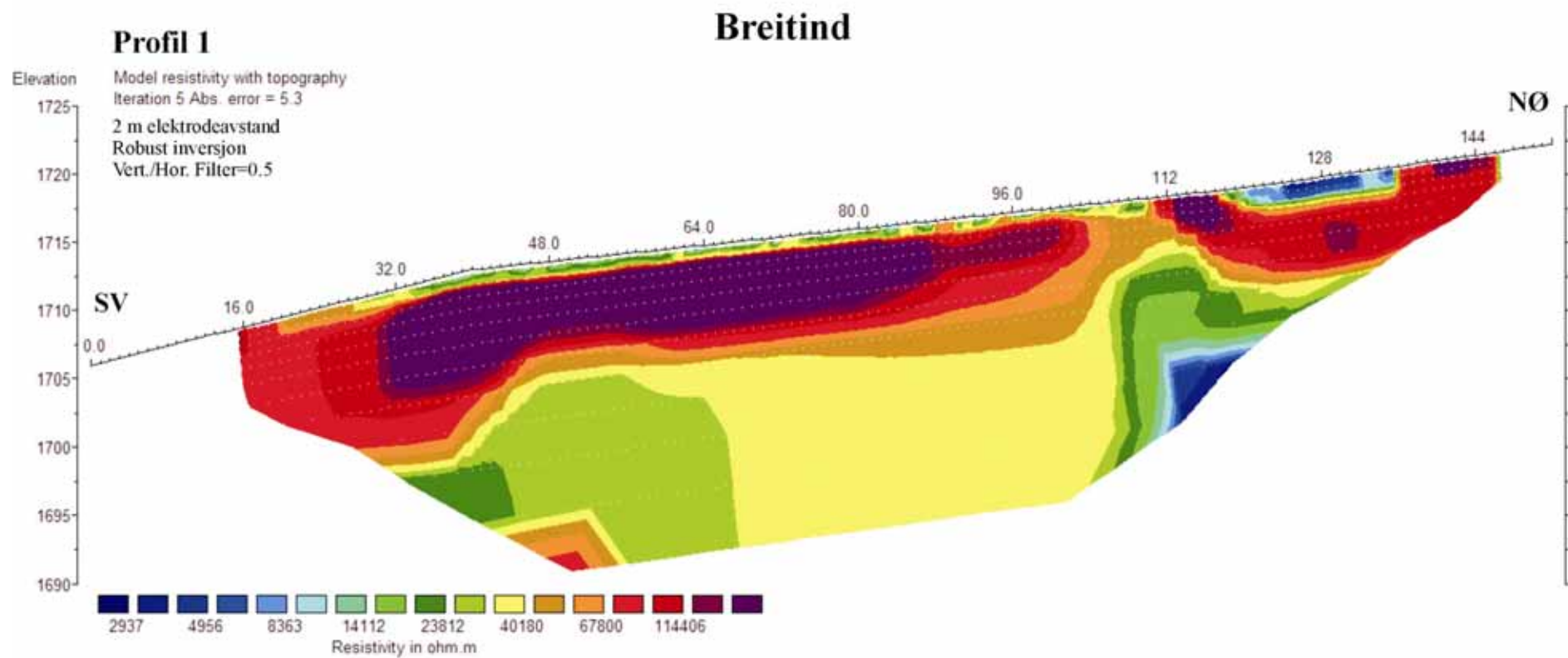
3.1.2 Børa

De inverterte resistivitetsdata fra profilene 1 og 2 er vist på figurene 2, 3 og 4. De viste seksjonene er produsert med Standard inversjon og vertikal-/horisontalfilter 1. Det er tatt hensyn til topografien under inversjonen, noe som avspeiles i varierende dybderekkevidde.

Figur 2 viser profil 1 med 10 meters elektrodeavstand, og som figuren viser er det store variasjoner i resistiviteten. Øverst indikeres et lag på ca 20 meter med resistivitet under 7 kΩm i de vestlige delene, mens resistiviteten øker og blir meget høy (100 kΩm) i den østlige delen av profilet. Under dette laget framtrer to større partier med meget høy resistivitet (over 100 kΩm) med et mellomliggende parti med lav resistivitet (<10 kΩm).

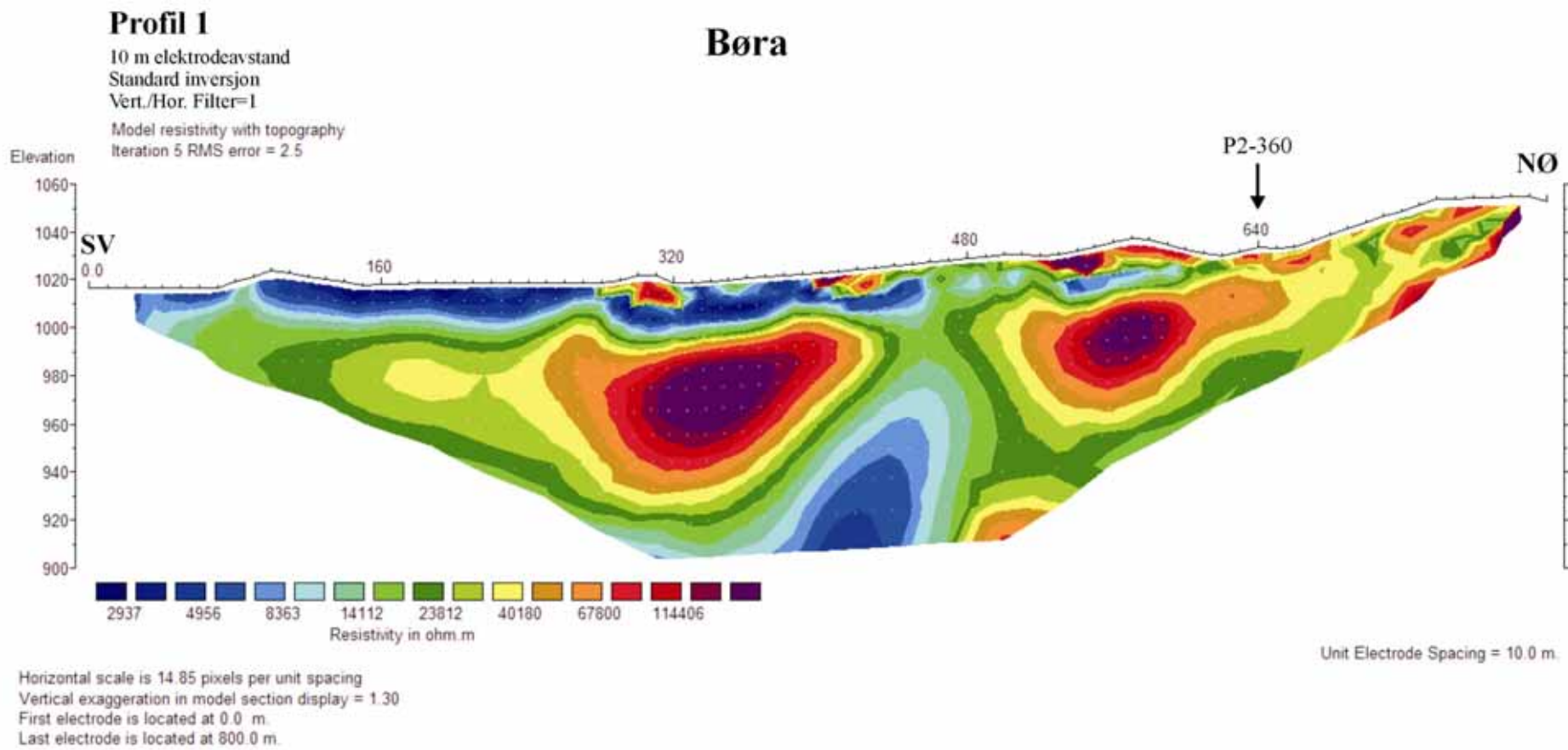
Lengst øst der området var mest oppsprukket ble det også målt med kabler med 2 meters elektrodeavstand (figur 3). Da oppløsningen her er vesentlig større kommer det fram flere detaljer, men i store trekk stemmer resistivitetsbildet med profilet med full dybderekkevidde. De mest markerte trekkene i resistivitetsbildet er et oppkuttet topplag på ca fem meter med resistiviteter fra 20 - 100 kΩm.) Under dette er det i den vestlige delen av profilet et nivå på 10 – 30 kΩm over et part med meget høy resistivitet. Dette partiet med meget høy resistivitet samsvarer med det som ble påvist med 10 meters elektrodeavstand (figur 2). I de sentrale delene av profilet ligger resistiviteten mot dypet i området 25 – 50 kΩm, mens den øker igjen ut mot flanken av profilet i øst. Her er de verdier som er fremkommet meget tvilsomme på grunn av manglende data mot dypet.

Målingene langs profil 2 (figur 4) viser forholdsvis små variasjoner i resistiviteten. Under et tynt topplag med store variasjoner i resistiviteten, ligger de fleste verdiene i området 25 – 50 kΩm. Profilet krysser skrått en større åpen sprekke ved koordinat 545, uten at denne kommer fram som noen markert anomali i resistiviteten.

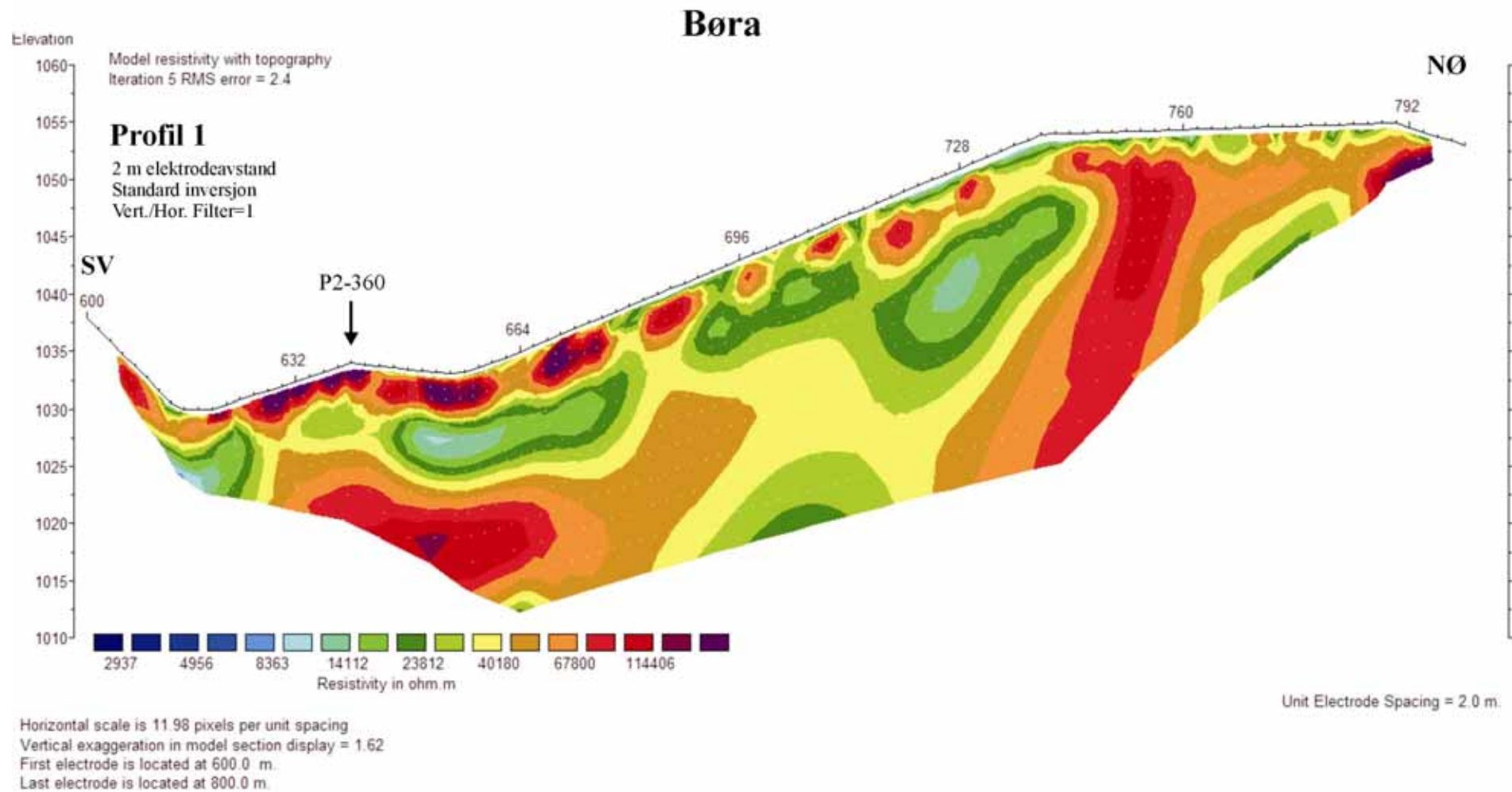


Horizontal scale is 7.82 pixels per unit spacing
 Vertical exaggeration in model section display = 1.41
 First electrode is located at 0.0 m.
 Last electrode is located at 152.0 m.

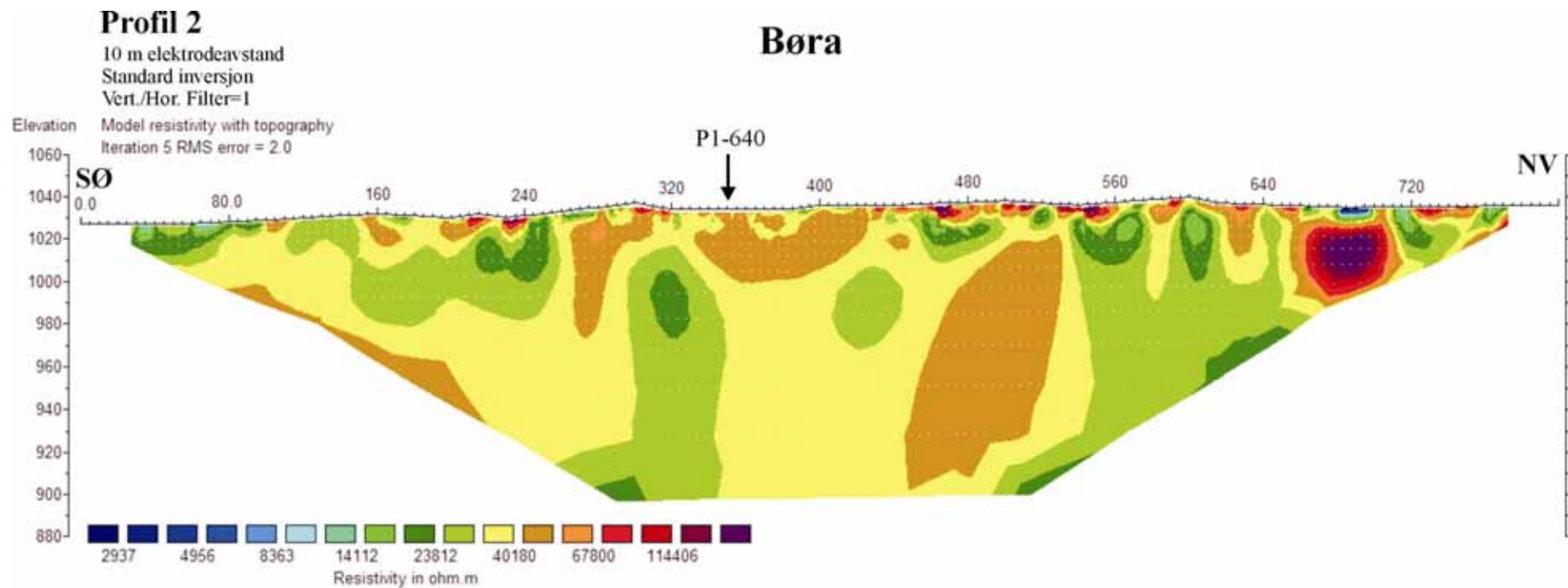
Figur 1. Breitind. Modellert resistivitet profil 1.



Figur 2. Børa. Modellert resistivitet profil 1.



Figur 3. Børa. Modellert resistivitet profil 1 - øst.



Horizontal scale is 7.49 pixels per unit spacing
 Vertical exaggeration in model section display = 1.15
 First electrode is located at 0.0 m.
 Last electrode is located at 800.0 m.

Figur 4. Børa. Modellert resistivitet profil 2.

3.2 Refraksjonsseismikk

S1

Profilet er målt i retning SØ-NV langssetter sørøstligste del av 2D-resistivitetsprofilet P2 (posisjon -20 m til 200 m), men målelinjen ligger 10-20 m øst for 2D-profilet (se kartbilag -02). Geofysisk tolkning av seismikkprofilet er vist i figur 5. Langs horisontal akse er angitt posisjonsbetegnelsen fra 2D-profilet.

Det er indikert 3 hastighetslag langs profilet. Det øverste har seismisk hastighet i området 370-440 m/s. Hastighetene er bare bestemt ved skuddpunktene. Overflatelaget representerer løsmasser av antatt noe variabel sammensetning, men for det meste tørre og løst lagrete avsetninger. Lagtykkelsen varierer fra rundt 2m og opp til 4 m.

I laget under er seismisk hastighet i området 1000-1300 m/s, men hastigheten er dårlig bestemt de sørøstligste 140 m på grunn av forholdsvis liten lagtykkelse. Den er der beregnet å variere mellom 3 og 9 m. Mot nordvest øker lagtykkelsen til 22 m ved enden av profilet. Hastigheten i laget regnes å kunne representere ikke vannmettet materiale, antagelig vesentlig morene men muligens også sterkt oppknust fjell.

Nederste registrerte lag har seismisk hastighet 3500-4000 m/s, men med 2 soner med lavere hastighet (1900-2000 m/s) som opptrer i områdene mellom posisjon 50-80 m og 140-170 m. Hastighetene indikerer fjell med betydelig oppsprekking/oppknusning i lavhastighetssonene og antatt forholdsvis begrenset oppsprekking langs profilet ellers. Overflaten av laget ligger 1022-1025 m o.h. fram til posisjon 120 m og skråner derfra ned til 1007 m o.h. ved nordvestenden. Målingene gir ingen klare indikasjoner på eventuell helning av svakhetssonene og heller ikke hvor dypt de går.

S2

Profilet er målt i retning NØ-SV langs nordøstlige del av 2D-resistivitetsprofilet P1 og dekker dette i området posisjon 480-700 m (se kartbilag -02). Geofysisk tolkning av seismikkprofilet er vist i figur 6. Langs horisontal akse er vist posisjonsangivelsen fra 2D-profilet.

Det er indikert 4 hastighetslag langs profilet. Det øverste har seismisk hastighet i området 300-590 m/s med høyeste verdi lengst nordøst. Hastighetene er bare bestemt ved skuddpunktene. Overflatelaget representerer løsmasser av antatt noe variabel sammensetning, men for det meste tørre og løst lagrete avsetninger. Lagtykkelsen varierer stort sett fra 2 til 4 m men kiler ut mot sørvestenden.


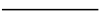


I laget under er seismisk hastighet 850-950 m/s, også her med høyest verdi i nordøst. Lagtykkelsen varierer i området 7-12 m de nordøstligste 100 m av profilet (posisjon 600-700 m). Lenger sørvest har den et maksimum på 22-25 m i området posisjon 540-580 m, mens den er rundt 14 m de sørvestligste 40 m (posisjon 480-520 m). Hastigheten i laget regnes å kunne representere ikke vannmettet materiale, antagelig vesentlig morene men muligens også sterkt oppknust fjell.

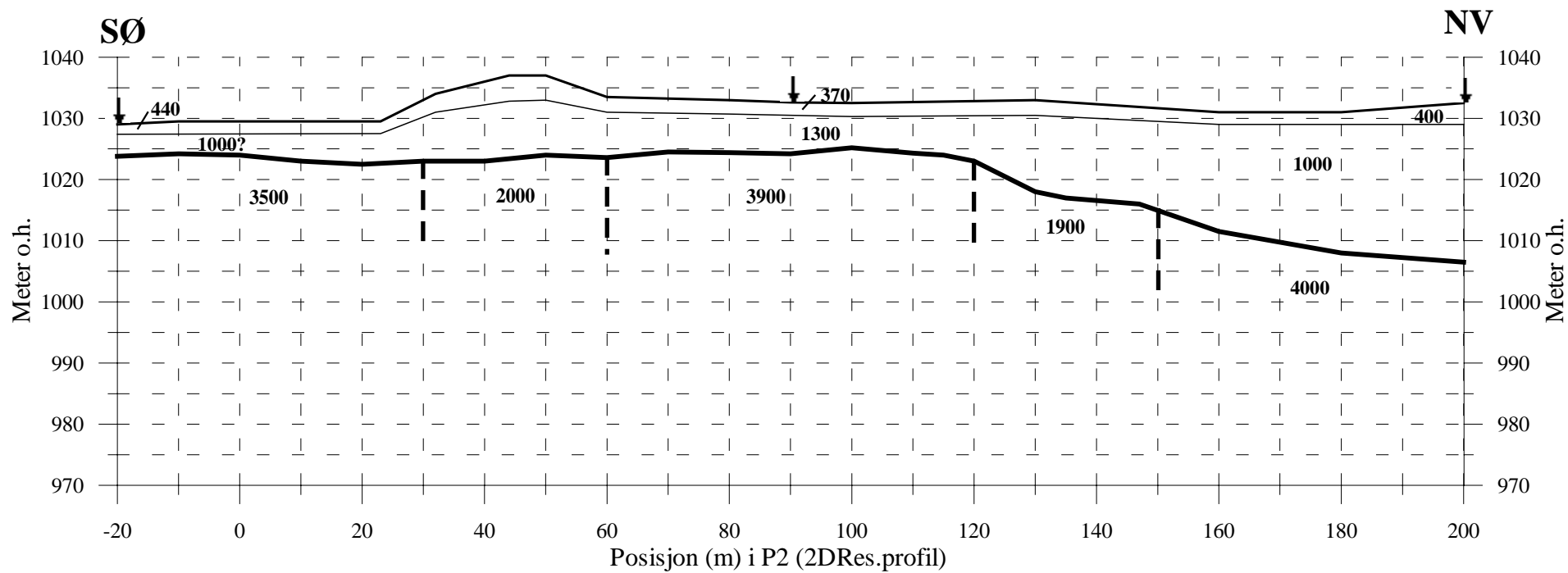
Underliggende lag (lag 3) ser stort sett ut til å ha seismisk hastighet rundt 1600 m/s. Hastigheten regnes å representere kraftig oppsprukket eller oppknust fjell. Overflaten av laget ligger lavest rundt posisjon 550 m hvor den når ned til 1007 m o.h., mens den de sørvestligste

30 m ligger rundt 1015 m o.h. og mot nordøst mellom posisjon 600 og 660 m ligger den 1018-1020 m. o.h. Mot nordøstenden skråner den opp til 1034 m o.h.

Underste indikerte refraktor ser ut til å ligge i nivå 990 m o.h i sørvestligste del, men kan skråne slakt ned mot nordøst til 975-980 m o.h. Dypet fra terrengoverflaten og ned til refraktoren vil da være ca. 40 m sørvestligst i profilet, varierende rundt 50 m sentralt i profilet og økende til 60-65 m mot nordøstenden. Seismisk hastighet i underste lag er noe usikkert bestemt. Den synes stort sett å ligge rundt 4000 m/s, men i området posisjon 510-565 m ser det ut til å være meget lav hastighet tilsvarende hastigheten i laget over. Det ser derfor ut til å være en kraftig oppknust sone i dette området, mens det for øvrig langs profilet synes å være fjell med forholdsvis lite oppsprekking. Målingene gir ingen klar indikasjon på eventuell helning av svakhetssonen og heller ikke hvor dypt den går.

Børa
 Profil S1
 Refraksjonsseismisk tolkning

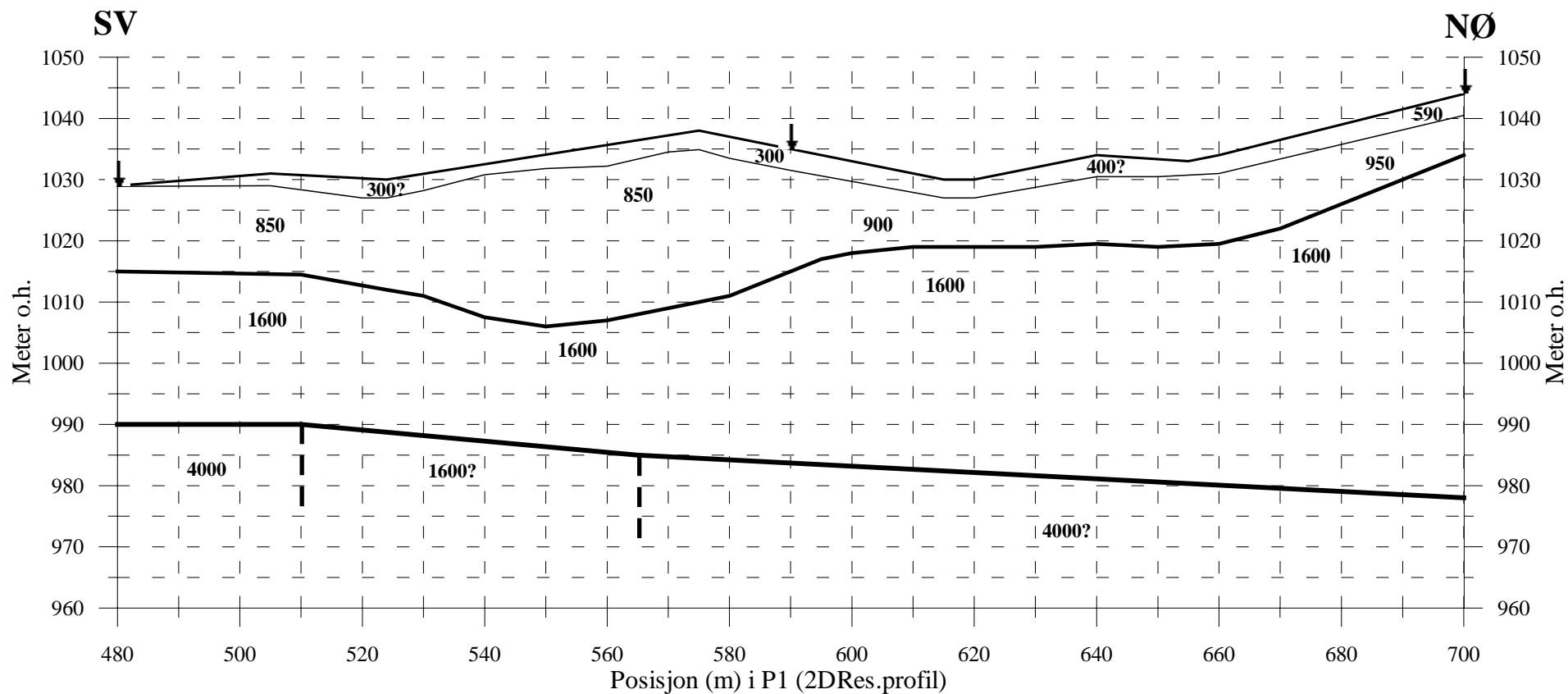
Tegnforklaring		
	Terrengoverflate	
	Refraktor 1 (morene/oppknust fjell)	1300
	Refraktor 2 (fjell, stedvis oppsprukket)	
	Skuddpunkt	
	Seismisk hastighet (m/s)	



Figur 5. Børa. Refraksjonsseismisk tolkning profil S1.

Børa
 Profil S2
 Refraksjonsseismisk tolkning

Tegnforklaring			
	Terrengoverflate		Skuddpunkt
	Refraktor 1 (morene/oppkust fjell)	1300	Seismisk hastighet (m/s)
	Refraktor 2 (fjell, oppkust)		
	Refraktor 3 (fjell, stedvis oppkust)		



Figur 6. Børa. Refraksjonsseismisk tolkning profil S2.

4. DISKUSJON/TOLKNING

I det følgende blir resultatene fra resistivitetsmålingene og refraksjonsseismikken diskutert.

4.1 Breitind

På Breitind er det sannsynlig at det meget høye resistivitetslaget (over 100 k Ω m) representerer isrik permafrost. Tidligere målinger av resistivitet i alpine strøk (Hauck 2001) viser at dette er typiske verdier for isrik permafrost. Undersøkelser av permafrost i Norge viser også tilsvarende resultater (Hauck et.al.,2001 og Isaksen et al.,2002). Det at permafrosten indikeres å være isrik tyder på at berggrunnen her er oppsprukket (forvittringslag). Tolkningen av at det her er påvist permafrost støttes av de klimatiske forhold (1700 m.o.h.), temperaturmålinger fra området og sammenligninger fra Dalsnibba og Juvasshøe (K. Isaksen, personlig meddelelse). Det tynne øverste laget (ca 1.5 meter) med lavere resistivitet representerer trolig det "aktive laget" av permafrosten.

Den underliggende berggrunn har ut fra målingene en resistivitet fra 25 – 40 k Ω m. Det berggrunnsgeologiske kartet (Tveten 1998) viser at berggrunnen her består av lagdelte gneiser av varierende sammensetning. Ifølge litteraturen har gneisbergarter store variasjoner i resistiviteten, avhengig av sammensetning og vanninnhold. Dette gjør at en ikke ut fra bare resistivitetsnivået kan si om den underliggende berggrunnen har permafrost, selv det ut fra de forhold som er nevnt tidligere er mest sannsynlig. En måling av resistiviteten over tilsvarende berggrunn hvor det på grunn av de klimatiske forhold ikke kan være permafrost ville trolig kunne avklart dette.

4.2 Børa

I de laveste delene av profil 1 opp til koordinat 460 representere trolig de forholdsvis lave resistivetsverdier morenemateriale. Videre mot øst øker resistiviteten i dette laget, noe som indikerer at morenen blir tørrere og mer blokkrik. Dette støttes av seismikken (figur 6) som her indiker morene/oppkust fjell (ikke vannmettet). Under morenen ble det som figur 2 viser påvist to områder med meget høy resistivitet. Dette er samme nivå som det som er tolket som isrik permafrost på Breitind. De seismiske målingene dekker det østligste av disse områdene og ut fra de indikerte hastigheter (1600 m/s), er dette tolket til oppkust fjell. Isrik permafrost skal ifølge (Hauck 2001) gi vesentlig høyere hastigheter, noe som tyder på at høyresistivetsområdene ikke skyldes permafrost, men trolig meget sterkt oppsprukket og drenert fjell (ikke vannmettet fjell).

I det vestligste området er det ingen synlige tegn på overflaten til sterkt oppsprekking, noe som gjør tolkningen av sterkt oppsprekking på dypet vanskeligere å forklare. Området ligger også i nær tilknytning til flere tjern på overflaten, noe som tilsier at underliggende sterkt oppsprukket fjell burde samle store mengder vann. Økt vanninnhold vil jo gi lav resistivitet, så i tilfellet området her er sterkt oppkust, må vannet være drenert bort på en eller annen måte. Problemet er at så høy resistivitet ikke er normalt for homogene bergarter. Det synes heller ikke sannsynlig at det her er en lomme med isrik permafrost, når seismikken viser at tilsvarende område litt lenger øst i samme dyp ikke er permafrost.

Mellom disse høyresistivitetsområdene framkommer et parti med resistiviteter under 10 kΩm. En tolkning kan være at dette representerer en fortsettelse av den bakre store sprekkesonen (koordinat 515) mot dypet, som i tilfellet må ha et fall på ca 35 ° mot vest. Dette er lite trolig da de seismiske målingene (figur 6) indikerer en svakhetssone på dypet fra koordinat 510 til 565. Dette representerer trolig den bakre store sprekkesonens fortsettelse mot dypet, noe som tilsier at sonen er tilnærmet steil, eller faller svakt mot nordøst. Resistivitetsmålingene viser forholdsvis høye verdier i dette nivået, noe som tyder på at sprekkesonen trolig er drenert i de øverste hundre meterne. En tolkning av den forholdsvis lave resistiviteten kan være at den skyldes en ny større sprekkeson som er vannfylt, eller at dette representerer den generelle resistiviteten i gneis med stort vanninnhold.

Langs profil 2 (figur 4) indikerer resistivitetsmålingene mer ensartede forhold. I likhet med profil 1 tyder målingene på at morenelaget på toppen i dette området består av tørre og blokkrike masser. Under morenedekket ligger resistiviteten i området 25 – 50 kΩm, noe som er samme nivå som på Breitind. Selv om dette nivået kan representere permafrost på Breitind er det lite trolig at det gjør det her. Som den geologiske kartleggingen viser (kartbilag-02) er dette området gjennomført av større og mindre sprekker og mest trolig er hele dette partiet av Børa godt drenert. Dette tilsier lavt vanninnhold i bergartene noe som gjør at de forholdsvis høye resistivetsverdiene kan være normale for denne type bergart. De seismiske målingene (figur 7) dekker den sydøstligste flanken av resistivetsprofilen, og viser at det ikke kan være permafrost i morenen. Når det gjelder den underliggende berggrunnen gir ikke måledata klart svar på om det stedvis kan være permafrost eller ikke. Den generelle hastigheten som er påvist i bergarten ligger innenfor området for både permafrost og gneis. Hastighetsverdiene i de indikerte lavhastighetssonene er imidlertid for lave til å kunne representere isrik permafrost.

5. KONKLUSJON

Det er foretatt geofysiske målinger ved Breitind og Børa vest for Romsdalen. Ved Breitind indikeres et ca. 1.5 meters tykt ”aktivt lag” over et ca. 5 meters tykt lag med isrik permafrost. Mest trolig har også den underliggende berggrunnen permafrost, selv om de geofysiske målingene ikke kan bekrefte dette.

Ved Børa har ikke de geofysiske målingene bekreftet permafrost, men det kan heller ikke ut fra målingene utelukkes at det er permafrost i området. De områdene som har indikert resistivitet tilsvarende isrik permafrost, representerer trolig meget sterkt oppsprukket fjell. Målingene har kartlagt morenedekket og indikert meget høy resistivitet i den østligste delen av plataet. Denne høye resistiviteten skyldes trolig ikke permafrost men sterkt oppsprukket drenert fjell. Den bakre store sprekkesonen indikeres å være tilnærmet steil med et svakt fall mot nordøst.

6. REFERANSER

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

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.

Hauck, C. 2001: Geophysical methods for detecting permafrost in high mountains. Swiss Federal Institute of Technology, Zurich. Paper for the degree of Doctor of Natural Sciences.

Hauck, C., Vonder Muhll, D., Russil, N. & Isaksen, K. 2000: An integrated geophysical study to map mountain permafrost: A case study from Norway. 6th EEGS Conference, Proceedings (Bochum, 3-6 September 2000). Extended Abstracts, CH01, 4pp.

Isaksen, K., Hauck, C., Gudevang, E., Ødegård, R.S. & Sollid, J.L. 2001: Mountain permafrost distribution in Dovrefjell and Jotunheimen, southern Norway, based on BTS measurements and 2-D tomography data. Norsk Geografisk Tidsskrift Vol. 56, 122-136.

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

Tveten, E., Lutro, O. & Thorsnes, T. 1998: Berggrunnskart Ålesund 1: 250 000. NGU-kartserie.

Innmålte profiler (WGS-84)

	Koordinat	UTM-øst	UTM-nord
Profil 1 (Børa)	0	437144	6924258
”	100	437250	6924285
”	200	437345	6924310
”	300	437440	6924336
”	400	437534	6924365
”	500	437616	6924423
”	600	437702	6924465
”	700	437790	6924507
”	800	437877	6924540
Profil 2 (Børa)	0	437984	6924249
”	100	437919	6924303
”	200	437851	6924372
”	300	437783	6924442
”	500	437632	6924540
”	600	437536	6924599
”	700	437466	6924661
”	800	437393	6924743
Profil 1 (Breitind)	0	435274	6926099
”	40	435313	6926093
”	80	435349	6926108
”	120	435380	6926133
”	160	435403	6926154

REFRAKSJONSSEISMIKK - METODEBESKRIVELSE

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

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

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

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

$$\sin i = V_1 / V_2$$

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

Lydforplantningen langs sjiktgrensen vil gi opphav til sekundærbølger som returnerer til terrengoverflaten under vinkelen i_c . I en viss kritisk avstand fra skuddpunktet vil disse refrakterte bølger nå fram før de direkte bølger som har fulgt terrengoverflaten. Den kritiske avstand er proporsjonal med dypet til sjiktgrensen og forøvrig bare avhengig av forholdet mellom de to hastigheter. Denne sammenheng utnyttes ved å plassere seismometre (geofoner) langs en rett linje i terrenget og registrere de først ankomne bølger fra skudd i hensiktsmessig valgte posisjoner langs samme linje. Man får da bestemt de nødvendige data for å fastlegge dypene til sjiktgrensen. Dersom overdekket er homogent med hensyn på lyd hastigheten langs profilet, kan det oppnås en god dybdebestemmelse for hver seismometerposisjon. Imidlertid vil det ofte være betydelige laterale variasjoner til stede, og overdekkehastighetene blir ved små dyp bare bestemt i nærheten av skuddpunktene. Ofte vil det derfor være naturlig å legge størst vekt på dybdebestemmelsen under skuddpunktene.

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

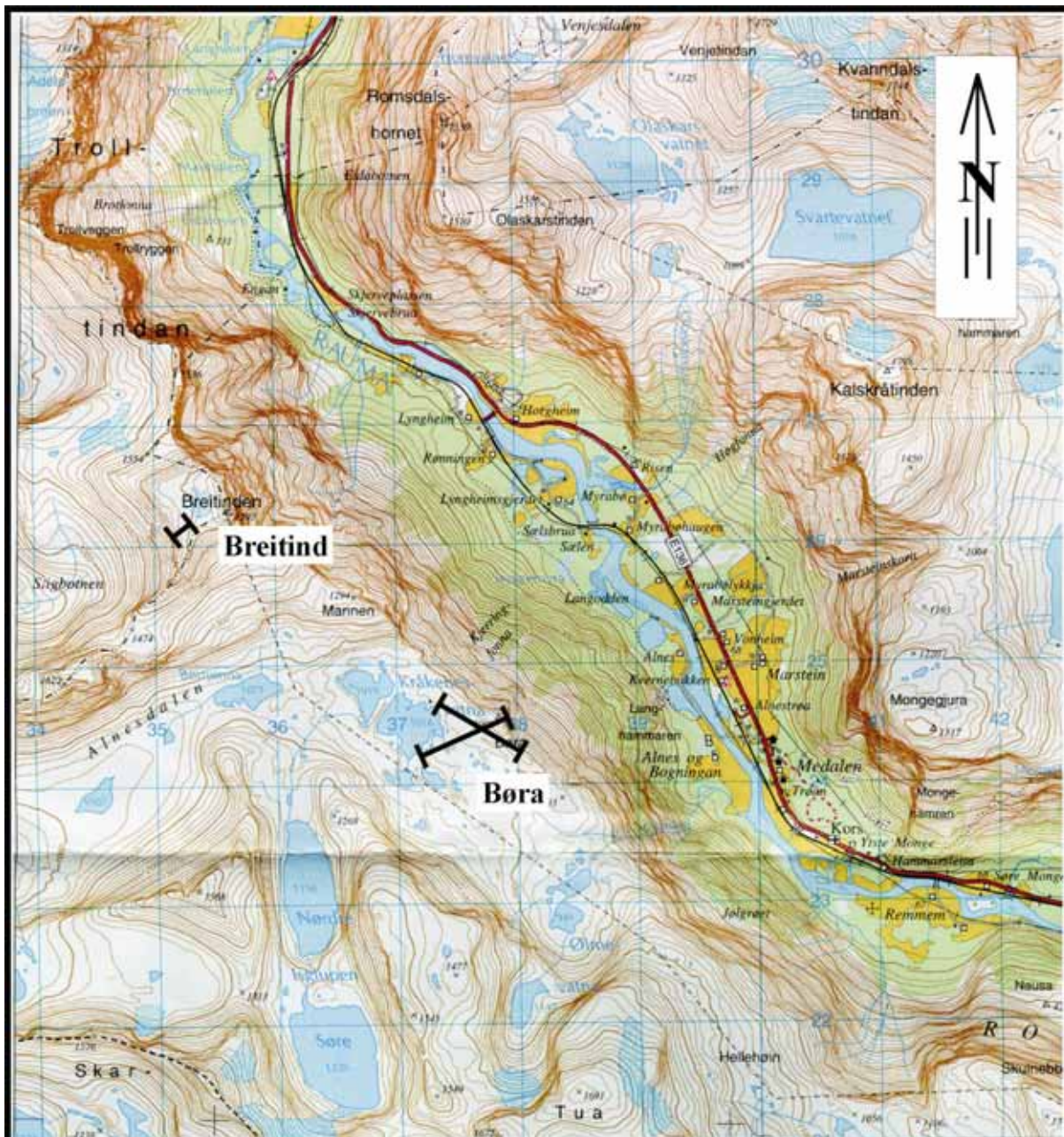
Det forekommer at en sjiktgrense ikke avspeiler seg i gangtidsdiagrammene, fordi de refrakterte bølger fra denne grense når overflaten seinere enn fra en dypere grense. Det foreligger da en såkalt 'blind sone', og de virkelige dyp kan være vesentlig større enn de beregnede. En annen feilkilde er til stede hvis man har et sjikt med lavere hastighet enn det overliggende. Fra denne sjiktgrense vil det ikke komme refrakterte bølger til overflaten, og lavhastighetssjiktet vil ikke kunne erkjennes av måledata. Generelt kan det sies at usikkerheten i de beregnede dyp øker med antall sjikt. Med analog apparatur vil en kunne bestemme første ankomsttid med en usikkerhet på

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



—|— MÅLTE PROFILER

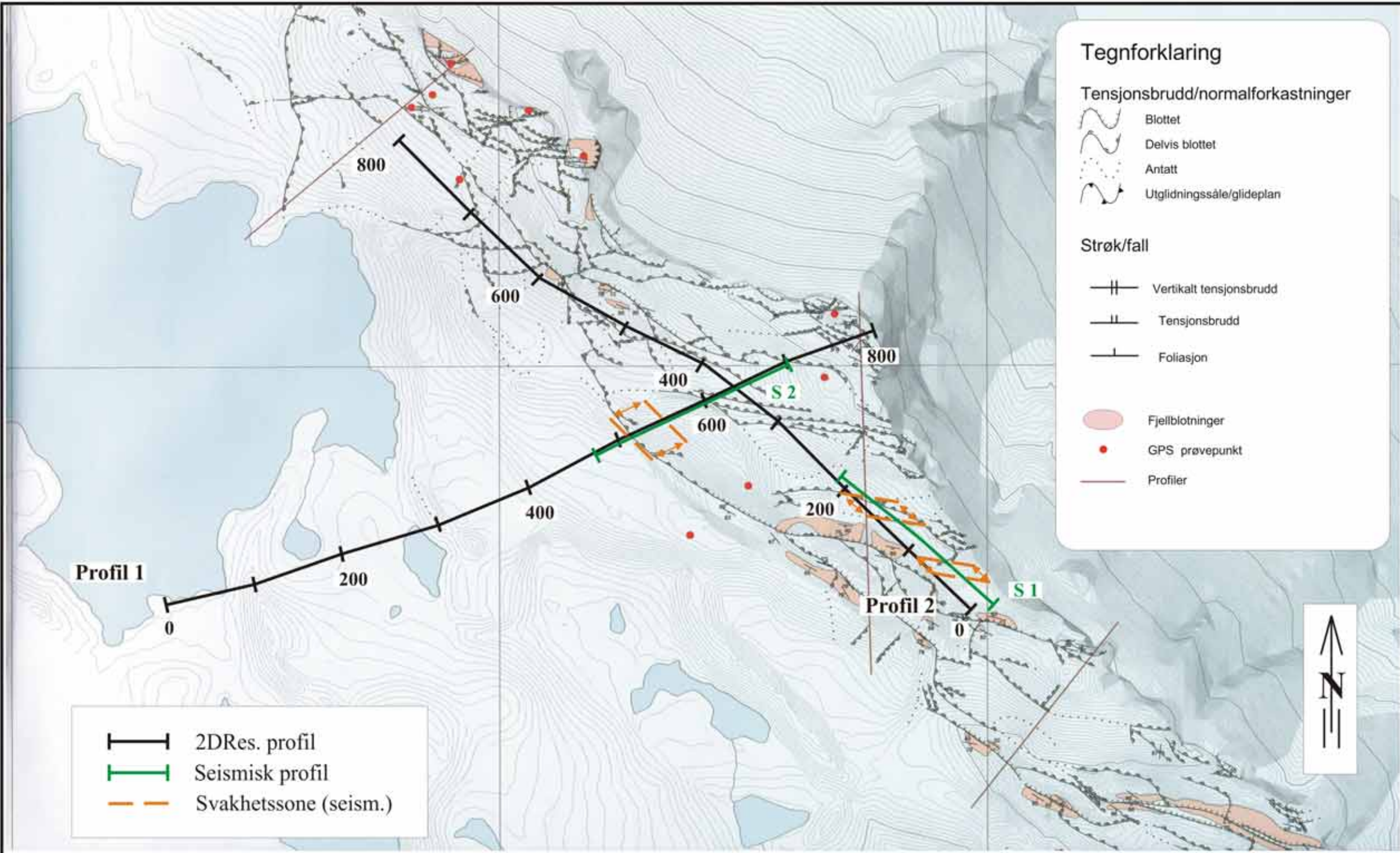
NGU
 OVERSIKTSKART
BREIÐIND OG BØRA
 RAUMA, MØRE OG ROMSDAL

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

MÅLESTOKK 1:50 000	MÅLT ED-JFT.	2002 og 2003
	TEGN E.D.	Januar 2004
	TRAC	
	KFR	

KARTBILAG NR
 2004.008-01

KARTBLAD NR
 1319 I



Tegnforklaring

Tensjonsbrudd/normalforkastninger

- Blottet
- Delvis blottet
- Antatt
- Utglidningssåle/glideplan

Strøk/fall

- Vertikalt tensjonsbrudd
- Tensjonsbrudd
- Foliasjon

- Fjellblotninger
- GPS prøvepunkt
- Profiler

- 2DRes. profil
- Seismisk profil
- Svakhetsone (seism.)

NGU
 RESISTIVITET OG SEISMIKK, TOLKNINGSKART
BØRA
 RAUMA, MØRE OG ROMSDAL

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

MÅLESTOKK 1 : 4 000	MÅLT ED-JFT	Aug. 2003
	TEGN E.D.	Sept. 2003
	TRAC	
	KFR	
TEGNING NR 2004.008-02	KARTBLAD NR 1319 1	