

NGU Rapport 2007.026

Geofysiske målinger på bakken ved
Åknes og ved Hegguraksla,
Stranda og Nordal kommuner,
Møre og Romsdal

Rapport nr.: 2007.026		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Geofysiske målinger på bakken ved Åknes og ved Hegguraksla, Stranda og Nordal kommuner, Møre og Romsdal.			
Forfatter: J. S. Rønning, E. Dalsegg, B.H. Heincke og J. Fr. Tønnesen		Oppdragsgiver: Åknes/Tafjord prosjektet	
Fylke: Møre og Romsdal		Kommune: Stranda og Nordal	
Kartblad (M=1:250.000) Ålesund		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1219 II Geiranger 1319 IV Valldal	
Forekomstens navn og koordinater: Åknes 32V 395800 6895800 Hegguraksla 32V 415750 6907700		Sidetall: 60 Kartbilag: 4	Pris: kr 260,-
Feltarbeid utført: 2006 - 2007	Rapportdato: 04.12.2008	Prosjektnr.: 300601	Ansvarlig: <i>Lars Heide Blin</i>
<p>Sammendrag:</p> <p>I forbindelse med Åknes/Tafjord-prosjektet, har NGU videreført de geofysiske bakkemålingene ved Åknes i Stranda kommune og Hegguraksla i Nordal kommune. Hensikten med dette var å få flere detaljer omkring utbredelsen av de ustabile områdene. Målingene var en oppfølging av målingene i 2004 og 2005 rapportert tidligere (Rønning m. fl. 2006), som ble vurdert å ha gitt et betydelig bidrag til forståelsen og utbredelsen av de rasutsatte områdene. Ved Åknes er det nå totalt målt 10 km 2D resistivitet fordelt på 10 profiler, vel 1800 meter refraksjonsseismikk fordelt på 4 profiler og ca 8 km georadar fordelt på 10 profiler. Ved Heggurdaksla er det totalt målt 2 resistivitetsprofiler på 800 meter og ett georadarprofil på 800 meter.</p> <p>De nye målingene i 2006 og 2007 har ikke kommet med vesentlig ny informasjon om utbredelse og tykkelse av det ustabile fjellpartiet ved Åknes, men har bekreftet konklusjonene fra forrige rapport (Rønning m.fl. 2006). Det er klare indikasjoner på at utbredelsen av det ustabile partiet er ca 500 x 1200 meter og at tykkelsen er fra 40 til ca 60 meter. Det finnes imidlertid indikasjoner på at tykkelsen av det ustabile fjellpartiet kan være opp mot 100 meter målt vinkelrett på fjellsiden. Resistivitetsmålingene og til dels refraksjonsseismikken indikerer et undulerende mønster på det ustabile fjellpartiet, og hvor det også indikeres enkelte mer eller mindre vertikale bruddsoner. Det er reist noen kritiske spørsmål til dette, men modellberegninger indikerer at de strukturer som vises er reelle. Georadar viser en opphopning av reflektorer der grunnvannet ligger dagnært, og enkelte reflektorer avspeiler grunnvannsnivå. Alternative tolkningsmetoder antyder at det oppsprukne fjellpartiet er mer inhomogent enn opprinnelig tolket. Dette er tema i et pågående forskningsprosjekt der 3D refraksjonsseismikk samtolkes med de andre datasettene fra Åknes.</p> <p>Et nytt resistivitetsprofil ved Hegguraksla i Tafjord bekrefter tidligere tolkning. Målinger med georadar indikerer stedvis stor oppsprekning.</p>			
Emneord: Geofysikk	Elektrisk måling	Refraksjonsseismikk	
Georadar	Ustabilt fjell	Fjellkvalitet	
		Fagrapport	

INNHold

1. INNLEDNING	7
2. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE	7
2.1 2D Resistivitet	7
2.1.1 Datainnsamling	7
2.1.2 Strømstyrke og datakvalitet	8
2.1.3 Inversjon	8
2.2 Seismikk	8
2.2.1 Refraksjonsseismisk profil S3	8
2.2.2 Refraksjonsseismisk profil S4	9
2.3 Georadar	9
3. RESULTATER OG VURDERINGER	10
3.1 2D Resistivitet	10
3.1.1 Åknes	10
3.1.2 Hegguraksla	11
3.2 Georadar	16
3.2.1 Åknes	16
3.2.2 Hegguraksla	17
3.3 Seismikk	32
3.3.1 Refraksjonsseismikk	32
3.3.2 Tomografisk inversjon av profilene S3 og S4	33
3.3.3 Vurdering av tolkningsmetode	34
4. DISKUSJON	42
4.1 Geologisk modell av det ustabile fjellpartiet ved Åknes	42
4.2 Tykkelse av det ustabile fjellpartiet ved Åknes	47
4.2.1 Tykkelse fra resistivitetmålinger	47
4.2.2 Tykkelse fra refraksjonsseismikk	47
4.3 Homogenitet av det ustabile fjellpartiet ved Åknes	48
5. KONKLUSJON	48
6. REFERANSER	49

FIGURER

<i>Figur 1. Åknes Profil 8. Beregnet resistivitet, Wenner og Dipol/Dipol (elektrodeavstand 10 meter) med radarreflektorer fra R6.</i>	<i>12</i>
<i>Figur 2. Åknes Profil 9. Beregnet resistivitet, Wenner og Dipol/Dipol (elektrodeavstand 5 meter).</i>	<i>13</i>
<i>Figur 3. Åknes Profil 10. Beregnet resistivitet, Wenner og Dipol/Dipol (elektrodeavstand 5 meter) med radarreflektorer fra R7.</i>	<i>14</i>
<i>Figur 4. Hegguraksla Profil 2. Beregnet resistivitet, Wenner og Dipol/Dipol (elektrodeavstand 10 meter).</i>	<i>15</i>
<i>Figur 5. Åknes. Georadartolking profi R3.</i>	<i>19</i>
<i>Figur 6. Åknes. Georadartolking profil R4, R5, R8 og R10.</i>	<i>21</i>
<i>Figur 7. Åknes. Georadartolking profil R6.</i>	<i>23</i>
<i>Figur 8. Åknes. Georadartolking profil R7 og R9.</i>	<i>25</i>
<i>Figur 9. Hegguraksla. Georadartolking profil R1.</i>	<i>27</i>
<i>Figur 10. Åknes Profil 1. Beregnet resistivitet, Wenner med radarreflektorer fra R1 og R9.</i>	<i>28</i>
<i>Figur 11. Åknes Profil 2. Beregnet resistivitet, Wenner med radarreflektorer fra R3.</i>	<i>28</i>
<i>Figur 12. Åknes Profil 3. Beregnet resistivitet, Wenner med radarreflektorer fra R4.</i>	<i>29</i>
<i>Figur 13. Åknes Profil 4. Beregnet resistivitet, Wenner med radarreflektorer fra R5.</i>	<i>29</i>

<i>Figur 14. Åknes Profil 5. Beregnet resistivitet, Wenner og Dipol/Dipol med radarreflektorer fra R10.....</i>	<i>30</i>
<i>Figur 15. Åknes Profil 7. Beregnet resistivitet, Wenner med radarreflektorer fra R8.</i>	<i>30</i>
<i>Figur 16. Hegguraksla Profil 1. Beregnet resistivitet, Wenner og Dipol/Dipol med radarreflektorer.....</i>	<i>31</i>
<i>Figur 17. Åknes. Refraksjonsseismisk tolkning profil S3.....</i>	<i>36</i>
<i>Figur 18. Åknes. Refraksjonsseismisk tolkning profil S4.....</i>	<i>38</i>
<i>Figur 19: Tomografisk inversjon av refraksjonsseismisk profil S3. Hvite sirkler angir geofonplassering, hvite kryss skuddpunkt. A) Hastighetsfordeling mot dypet, B) Rekonstruksjonstest, C) Strålegjennomgang og D) Hastighetsfordeling overlagret tradisjonell tolkning av refraksjonsseismikk.</i>	<i>40</i>
<i>Figur 20: Tomografisk inversjon av refraksjonsseismisk profil S4 (hastighet angitt i m/s). Hvite sirkler angir geofonplassering, hvite kryss skuddpunkt. A) Hastighetsfordeling mot dypet, B) Rekonstruksjonstest, C) Strålegjennomgang.</i>	<i>41</i>
<i>Figur 21: Resistivitet langs de to vertikale profilene P1 og P2 nedover Åkneslia. Både Wenner- og Dipol/Dipol-konfigurasjonen viser et undulerende forløp. I tillegg viser dipol/dipol mer eller mindre vertikale bruddstrukturer ofte knyttet til de steder der tolket bunn av det ustabile fjellpartiet bøyer ut mot overflaten.</i>	<i>42</i>
<i>Figur 22. Modellering av vertikale strukturer under horisontal lagdeling. Nederst vises syntetisk modell, over denne er responsen for Wenner- og Dipol/Dipol-konfigurasjon vist.</i>	<i>43</i>
<i>Figur 23: Modellering av undulerende lagfølge. Nederst vises syntetisk modell, over denne responsen for Wenner- og Dipol/Dipolkonfigurasjon.....</i>	<i>44</i>
<i>Figur 24: Modellering av stegvis bruddstruktur. Nederst vises syntetisk modell, over denne responsen for Wenner og Dipol/Dipolkonfigurasjon.</i>	<i>45</i>
<i>Figur 25: Modellering av stegvis bruddstruktur med vertikale bruddsoner under. Nederst vises syntetisk modell, over denne responsen for Wenner- og Dipol/Dipolkonfigurasjon. Resistiviteten i bruddsonene er satt til 5 kΩm (til venstre) og 1 kΩm (til høyre).....</i>	<i>46</i>

DATABILAG

Databilag 1: Koordinater for målte profiler og borehull.

KARTBILAG

Kartbilag 2007.026-01:	Åknes. Oversiktskart 1 :50 000.
Kartbilag 2007.026-02:	Hegguraksla. Oversiktskart 1 :50 000.
Kartbilag 2007.026-03:	Åknes. Oversiktskart med geofysiske profiler.
Kartbilag 2007.026-04:	Hegguraksla. Oversiktskart med geofysiske profiler.

1. INNLEDNING

I forbindelse med Åknes/Tafjord-prosjektet, har NGU videreført de geofysiske bakke-målingene ved Åknes i Stranda kommune og Hegguraksla i Nordal kommune. Hensikten med dette var å få flere detaljer omkring utbredelsen av de ustabile områdene. Målingene var en oppfølging av målingene i 2004 og 2005 (Rønning m. fl. 2006), som ble vurdert å ha gitt et betydelig bidrag til forståelsen og utbredelsen av de rasutsatte områdene. Ved Åknes ble det målt tre profiler 2D resistivitet, åtte profiler georadar, ett profil 2D refraksjonsseismikk samt ett område med 3D refraksjonsseismikk. Sistnevnte er delvis en del av et annet prosjekt (International Centre for Geohazard, Rockslope failure - modell and risk, rapporteres separat). Ved Hegguraksla ble det målt ett profil 2D resistivitet og ett profil georadar. Måleområdene og de samlede målte profiler (2004-2007) er vist i kartbilagene 01-04.

Einar Dalsegg har vært ansvarlig for utførelse og tolkning av resistivitet- og georadar-målingene, mens Jan Fredrik Tønnesen og Bjørn Heincke har vært ansvarlig for innsamling og tolkning av seismikken. Jan Steinar Rønning har hatt det overordnede faglige ansvar og har sammenstilt og vurdert alle resultater. Stian Græsdal fra Stranda kommune bidro sterkt til en vellykket gjennomføring av datainnsamlingen.

Målingene ble utført i perioden 07.08 til 31.08 2006, og 21.08 til 07.09. 2007. Beregningsmålinger som er gjennomført i 2006 og 2007 rapporteres separat (Elvebakk 2008).

2. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

Ved undersøkelsen har en benyttet metodene 2D resistivitet, georadar og seismikk. I det følgende blir metoder og utførelse kort beskrevet. En mer utførlig beskrivelse av metodene finnes på <http://www.ngu.no/no/hm/Norges-geologi/Geofysikk/Bakkegeofysikk/>.

2.1 2D Resistivitet.

For å avklare forløpet av en observert åpen sprekk i Åkneslia ble det besluttet å gjøre mer detaljerte resistivitetsmålinger.

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 ES 10-64) 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 og 5 meters elektrodeavstand, noe som gir en total kabellengde på henholdsvis 800 og 400 meter. Dybderekkevidden for de to elektrodeavstandene er ca 130 og 65 meter, med størst oppløsning i den øvre halvdel av dybderekkevidden. 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 detaljer og vertikale strukturer.

Det ble målt tre profiler med resistivitet i Åknes og ett i Hegguraksla. Disse ble stukket samtidig med målingene og er merket med trestikker/plastbånd med angitte koordinater for hver 50 meter. Profilene 8 og 9 i Åknes er målt langs samme profil, men med forskjellig elektrodeavstand (10 og 5 meter). Profilenes beliggenhet er innmålt med GPS (se databilag 1).

2.1.2 Strømstyrke og datakvalitet

Jordingsbetingelsene var på grunn av stein og ur flere steder meget dårlige, og det ble brukt en del ekstra tid på å forbedre elektrodene med svamper/mose og saltvann. Selv med disse forbedringene oppnådde en strømstyrke på bare 1 og 2 mA for enkelte målinger, men mesteparten lå i områdene 10 og 20 mA. Datakvaliteten var selv med de meget lave strømstyrkene gjennomgående meget god. Noen målinger var over akseptabelt støynivå (>20%), 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 2007). Det ble gjort forsøk med forskjellige 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 **Seismikk**

Supplerende refraksjonsseismiske målinger ved Åknes ble utført for å få mer informasjon om det ustabile områdets tykkelse og om mulig mer informasjon om sprekkemønster.

2.2.1 Refraksjonsseismisk profil S3.

For profil S3 ble det benyttet et registreringsinstrument av typen ABEM Terraloc MK6 med 24 kanaler. Måleutlegget bestod av to seismiske kabler plassert etter hverandre langs profilretningen og med 12 geofoner tilkoblet langs hver kabel. Hele måleprofilen som er 660 meter langt, er sammensatt av tre slike måleutlegg. Geofonavstanden langs utlegg 3 var gjennomgående 10 meter, men ble innkortet til 5 m i hver ende av hver kabel. Langs utlegg 1 og 2 er geofonene først plassert og tilkoblet kablene og deretter ble geofonavstandene nøyaktig innmålt med målebånd. Geofonavstandene varierer derfor gjennomgående fra 10,1 til 11,7 meter men med innkorting til 4,5-5,5 meter i hver ende av kablene.

I hvert måleutlegg ble det plassert skuddpunkt ca. 5 meter ut fra hver endegeofon og ved midten av utlegget. I utlegg 1 ble det også plassert skuddpunkt ved midten av den første kablens. For utlegg 1 ble det plassert fjernskudd i avstand 110, 220 og 330 m fra det østre

endeskuddet, mens det på grunn av ufremkommelig terreng ikke er fjernskudd vest for utlegget. Dette gjør tolkingen av data mer usikker. For utlegg 2 er det på samme måte plassert 3 fjernskudd mot øst, mens fjernskudd mot vest er plassert ved midtskudd og endeskudd i utlegg 1. For utlegg 3 er det tilsvarende 3 fjernskudd mot øst, mens fjernskudd mot vest er plassert ved midtskudd og endeskudd i utlegg 2 og ved midtskudd i utlegg 1.

Datakvaliteten på seismikkopptakene varierte betydelig og det var problematisk å avlese første ankomsttider fra enkelte fjernskudd. Det er derfor ikke benyttet data fra det østligste fjernskuddet i utlegg 1 og de to vestligste i utlegg 3 i tolkingen. Lokalisering av alle skuddpunktene er bestemt med håndholdt GPS.

2.2.2 Refraksjonsseismisk profil S4.

Profil S4 er et utplukk langs en målelinje fra et større 3D-måleopplegg (Heincke m. fl. 2008). Denne 3D undersøkelsen er utført i et samarbeid mellom Åknes/Tafjord-prosjektet, "International Center for Geohazard" (ICG) og NGU. Profilet har retning fra NNØ til SSV. Ved dette profilet ble det benyttet et registreringsinstrument av typen Geometrics Geode med 24 kanaler. Måleutlegget bestod av to seismiske kabler plassert etter hverandre langs profilretningen og med 12 geofoner tilkoblet langs hver kabel. Posisjonen av alle geofonene og skuddpunktene er bestemt med differensiell GPS. Horisontal utstrekning av måleutlegget fra første (øverst i NNØ) til siste geofon (nederst i SSV) er beregnet til 394 m, mens utstrekningen målt langs terrengoverflaten er beregnet til nær 444 m. Geofonavstanden langs profilet langs terrengoverflaten varierer mellom 17 og 22 m. Ut fra datamengden som finnes er det plukket ut avleste førsteankomster fra 10 skuddpunkt, 6 ligger innenfor geofonutlegget eller nær endene på utlegget. To fjernskudd i NNØ ligger henholdsvis 223 og 256 m fra øverste geofon og to fjernskudd nederst i SSV ligger henholdsvis 94 og 180 m fra nederste geofon. Som energikilde ble det benyttet dynamitt med ladninger fra 100 til 400 gram.

2.3 Georadar

Målingene ble utført med digital georadar av typen pulseEKKO 100 (Sensors & Software Inc., Canada). Det ble benyttet 50 MHz antenner og 1000V sender. Profilene er målt med total opptakstid på 2000 ns og samplingsintervall på 1.6 ns. Signalene er summert 4 ganger (4 stacks) i hvert målepunkt. Antenneavstand var 3 m og målepunktavstand 1 m. På grunn av det bratte og vanskelige terrenget ble antennene flyttet etter hverandre (Antennekonfigurasjonen "End-fire").

Det ble målt åtte profiler i Åknes og ett i Hegguraksla som alle følger tidligere målte resistivitetprofiler (se kartbilagene -03 og -04).

Penetrasjonsdypet (dybderekkevidden) for georadar er avhengig av massesammensetningen. Finstoff og spesielt leire vil dempe EM-bølgene raskt slik at underliggende lag ikke registreres. I Åknes og Hegguraksla er det lite overdekke (løsmasser) og undergrunnen består trolig for det meste av oppsprukket tørt fjell til det dyp georadaren rekker (maksimum 35 – 40 m).

Hensikten med georadarmålinger i Åknes og Hegguraksla var å se om metoden kunne gi et bidrag til å kartlegge størrelsen av de rasfarlige områdene. En var særlig ute etter å se om dypet ned til eventuelle glideplan (sprekker) kunne kartlegges.

3. RESULTATER OG VURDERINGER

Beliggenheten av de målte profilene i Åknes og Hegguraksla framgår av henholdsvis kartbilagene –03 og –04. I det følgende blir måleresultatene kommentert og vurdert.

3.1 2D Resistivitet

3.1.1 Åknes

De inverterte resistivitetsdata fra målingene i 2006 fra Åknes (profilene 8, 9 og 10) er vist på figurene 1,2 og 3. Det ble valgt å måle med både Wenner og Dipol/Dipol konfigurasjon for å ha best mulighet for å kartlegge både horisontale og vertikale strukturer. De viste seksjonene er produsert med standard inversjon og vertikal-/ horisontalfilter 0.5, noe som favoriserer horisontale strukturer. Begrunnelsen for å utvide resistivitetsmålingene med tre nye profiler var for å se om en kunne se forløp og eventuell utstrekning på dypet av sprekker påvist nord og øst for midtre boreplass (se kartbilag -03).

Profil 8 (figur 1) viser både for Wenner og Dipol/Dipol stor likhet i resistivitetvariasjoner med målingene utført i 2004 og 2005. Det indikeres et topplag med tykkelse flere ti-talls meter hvor resistiviteten stedvis er spesielt høy ($> 30 \text{ k}\Omega \text{ m}$). Dette er tolket som kraftig oppsprukket drenert fjell. Dette er mest markert i nedre halvdel av profilet. Under dette topplaget indikeres fra koordinat 400 et lag med resistiviteter under $10 \text{ k}\Omega \text{ m}$ (blå farge). Tykkelsen av dette laget varierer mellom 40 og 60 meter. Ut fra tidligere erfaring (Rønning m.fl. 2006) representerer dette sterkt oppsprukket og vannmettet fjell. Under dette nivået, og ovenfor baksprekken ved koordinat 350, øker resistiviteten til i størrelsesorden $15 - 30 \text{ k}\Omega \text{ m}$, verdier som er forenlig med mer kompakt krystallinsk fjell. Denne tolkningen er blitt bekreftet av de boringer som er foretatt i området.

Dipol/Dipol har vist seg å være best egnet for kartlegging av vertikale strukturer, og er vist i nedre del av figur 1. Profilet krysser den godt synlige sprekken like nord for midtre boreplass på koordinat 630. En åpen sprekk forventes å ha høy resistivitet i de øvre drenerte lag for så å ha lav resistivitet på dypet. Som nedre del av figur 1 viser er det variasjoner i resistivitetsbildet som kan ha sammenheng med den markerte sprekken. Det er ikke indikert noen markert sone og variasjonene i resistiviteten er markert som mulig sprekkesone på figuren.

For å få større oppløsning i det øvre partiet ved sprekkesonen, ble profil 9 (figur 2) målt med tettere elektrodeavstand (5 meter). Som figuren viser kommer det øvre drenerte topplaget her bedre fram, og dette har trolig en tykkelse på 15 til 20 meter. Under dette laget med høy resistivitet er det noe avvik i resistivitetsbildet med de to elektrodekonfigurasjonene. Dipol/Dipol er mest likt målingene med 10 meters elektrodeavstand (profil 8). Her er det også et brudd i resistiviteten på dypet som kan skyldes en sprekkesone, men denne ligger litt ovenfor den kjente sprekkesonen.

Forskjell i detaljer mellom målinger med elektrodeavstand 5 og 10 meter viser at det kan være meget inhomogene masser med store variasjoner i elektrisk motstand. Dette skyldes etter all sannsynlighet variasjoner i sprekkenes vanninnhold.

Profil 10 (figur 3) ble lagt like øst for midtre boreplass hvor det er indikasjoner i løsmassene på at det er en sprekkesone. Profilet er målt med 5 meters elektrodeavstand noe som gir god oppløsning nær dagen, men dybderekkevidden er halvert i forhold til profil 8. Resistivitetsbildet er mye likt de andre profilene, med et øvre topplag med høy resistivitet (oppsprukket og drenert fjell) over et lag med vesentlig lavere resistivitet (oppsprukket og vannmettet fjell). I likhet med tidligere profiler som går nedover lia, indikerer resistivitetsbildet også for dette profilet en undulerende form. I og med at dette har vært gjennomgående for alle profilene som er målt i Åknes er det sannsynlig at dette gjenspeiler geologien (se diskusjonen).

Det er her for begge elektrodekonfigurasjonene indikasjoner på mulige sprekkesoner. Disse er markert på figuren, men ingen ser ut til å ha direkte sammenheng med den sprekken som er indikert i terrenget.

3.1.2 Hegguraksla

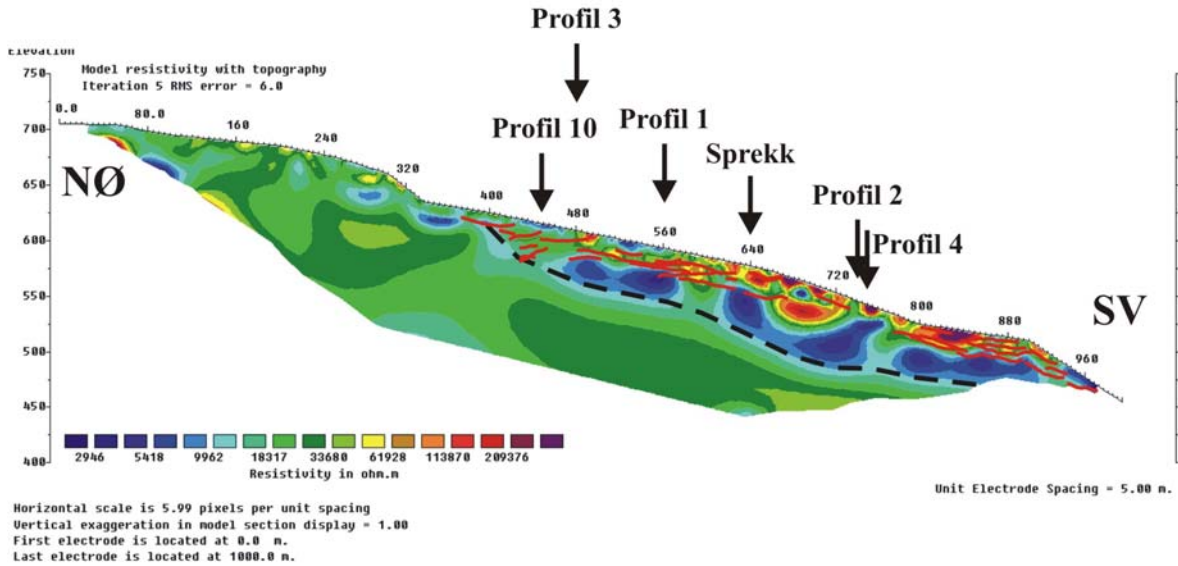
De inverterte resistivitetsdata fra profil 2 ved Hegguraksla er vist på figur 4. Profil 1 ble målt i 2005 (Rønning m. fl. 2006) og er vist med radarreflektorer fra årets målinger på figur 17. Den viste seksjonen er produsert med standard inversjon og vertikal-/ horisontalfilter 1, d.v.s. ingen favorisering av horisontale eller vertikale strukturer. Det er benyttet samme fargeskala som for Åknes, slik at resistivitetsverdiene lettere kan sammenlignes.

I likhet med målingene i 2005 er det også på dette profilet indikasjoner på markerte soner med relativt lav resistivitet. Det er noe forskjell på de to elektrodekonfigurasjoner, men begge indikerer en mulig sprekkesone ved koordinat 400. Dipol/Dipol målingene indikerer at denne sonen henger sammen med et lavresistivitetnivå som dreier mot vest på ca 70 meters dyp. Det er usikkert hva denne forskjellen skyldes, men Dipol/Dipol består av vesentlig mer måledata, og vil følgelig kunne fange opp flere detaljer. I tillegg indiker begge målekonfigurasjonene et grunnere lavresistivitetnivå vest for sprekkesonen. I den østlige delen er det under et topplag også et nivå med lavere resistivitet. Da det er tilnærmet samme bergarter her som i Åknes, er det forventet at måledata kan tolkes likt. Det vil si at det også her er partier med oppsprukket vannmettet fjell som kan være ustabil.

Åknes

Profil 8

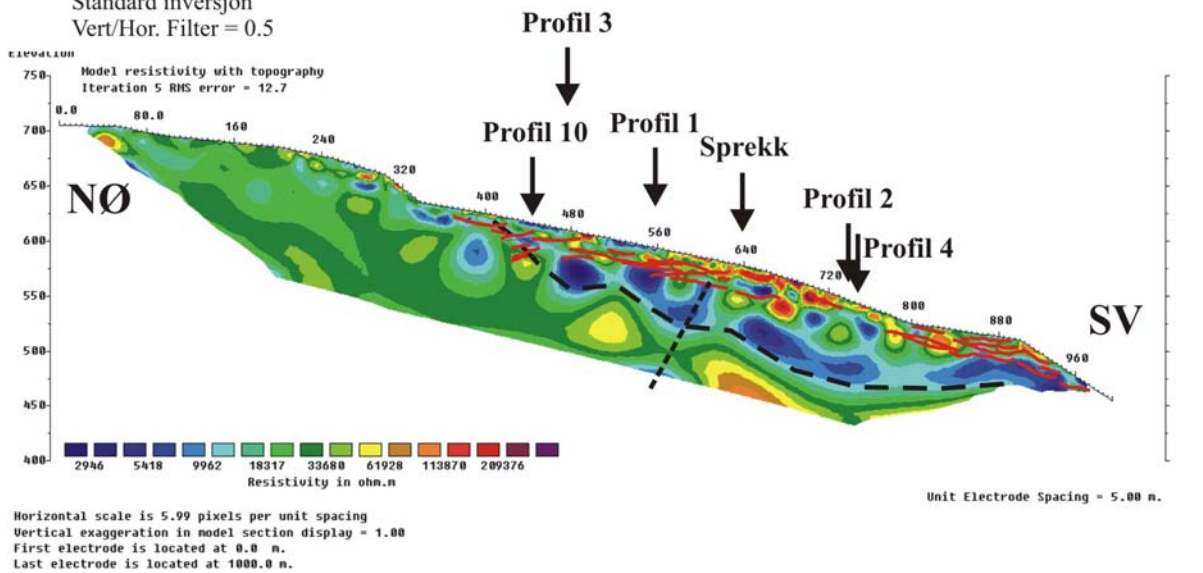
Wenner
Standard inversjon
Vert/Hor. Filter = 0.5



Åknes

Profil 8

Dipol/Dipol
Standard inversjon
Vert/Hor. Filter = 0.5

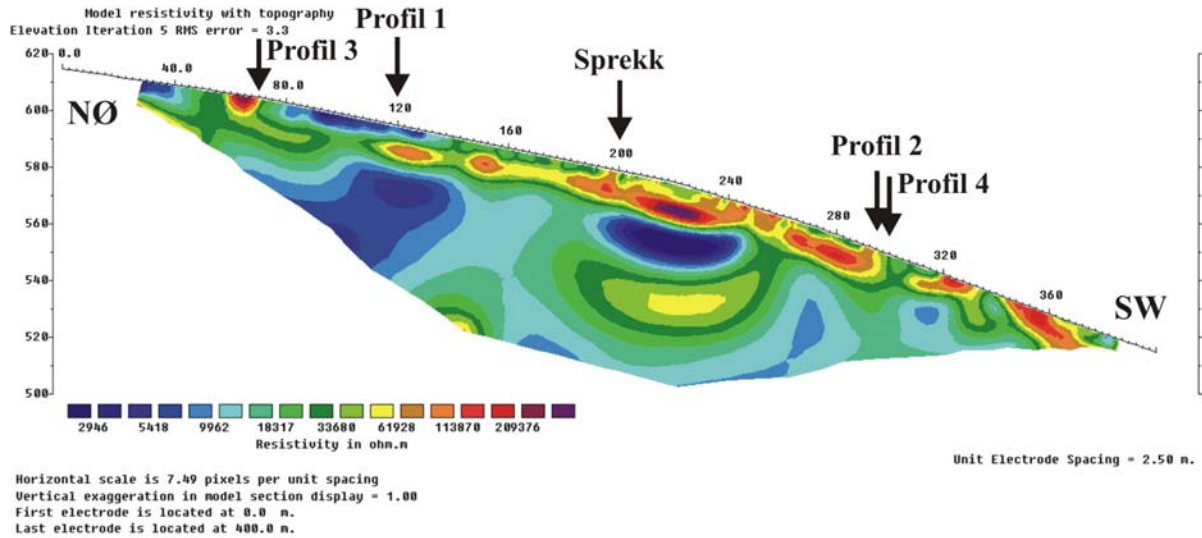


Figur 1. Åknes Profil 8. Beregnet resistivitet, Wenner og Dipol/Dipol (elektrodeavstand 10 meter) med radarreflektorer fra R6.

Åknes

Profil 9

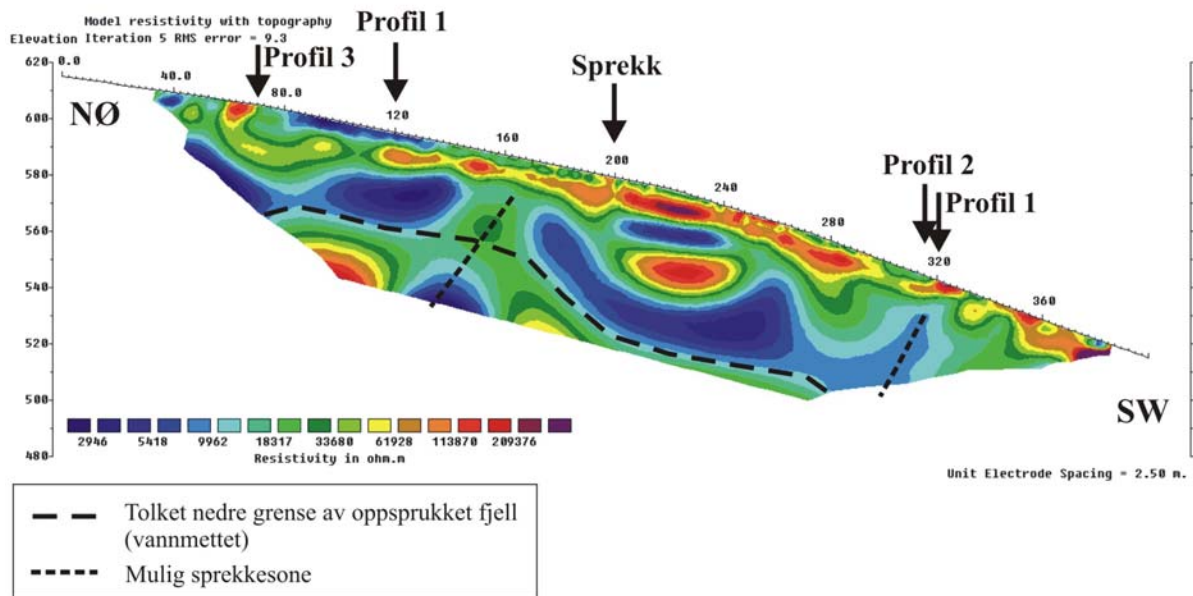
Wenner
Standard inversjon
Vert/Hor. Filter = 0.5



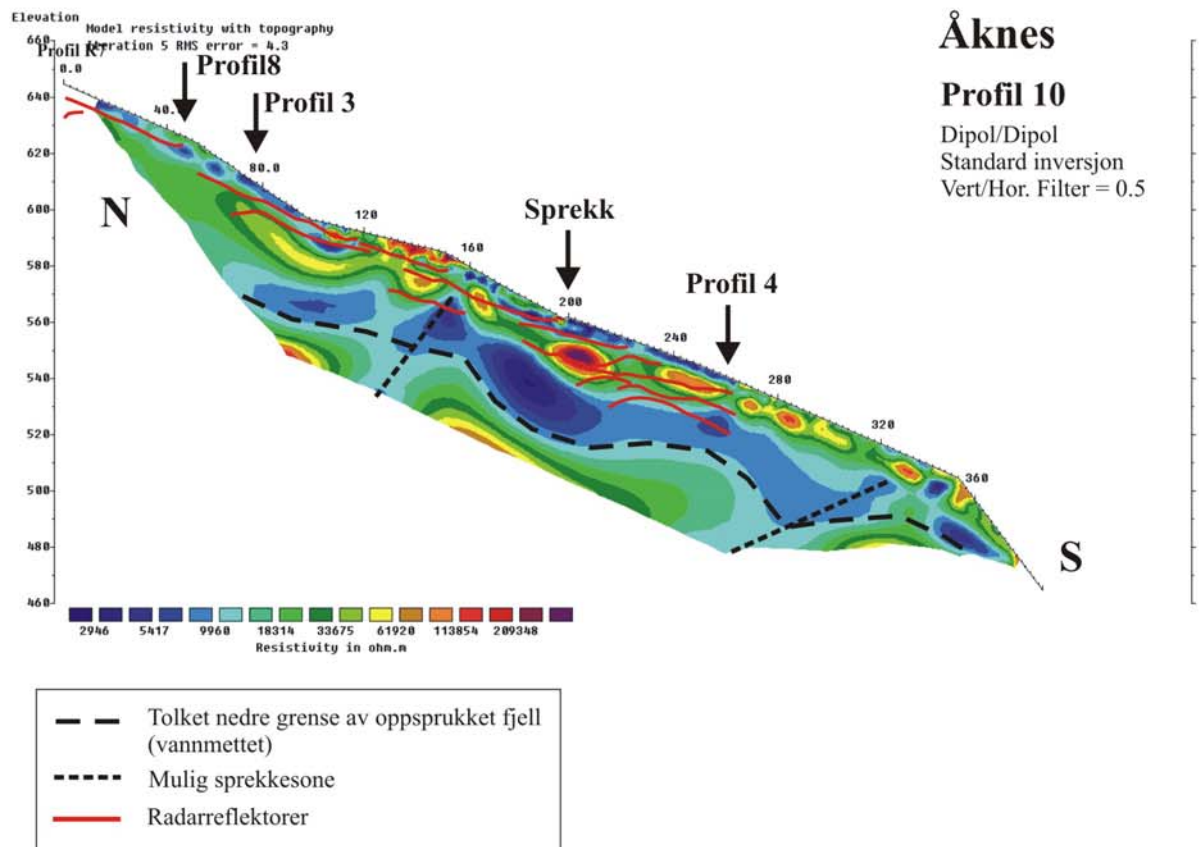
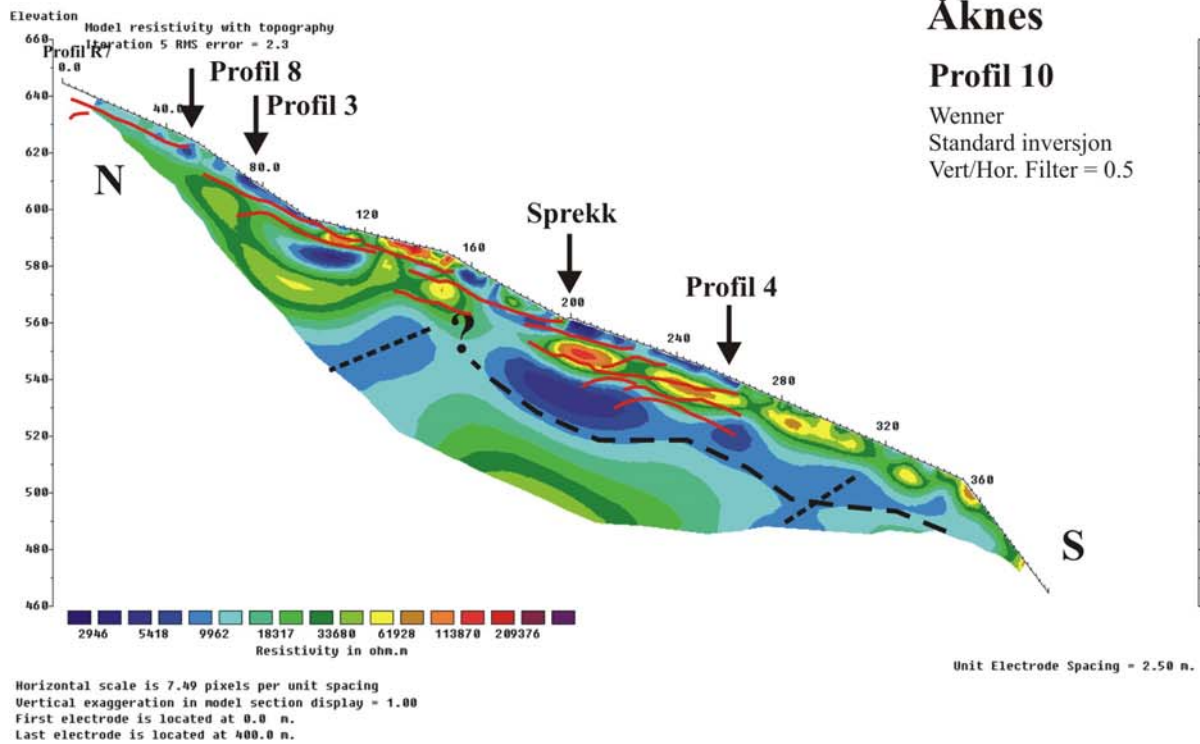
Åknes

Profil 9

Dipol/Dipol
Standard inversjon
Vert/Hor. Filter = 0.5



Figur 2. Åknes Profil 9. Beregnet resistivitet, Wenner og Dipol/Dipol (elektrodeavstand 5 meter).

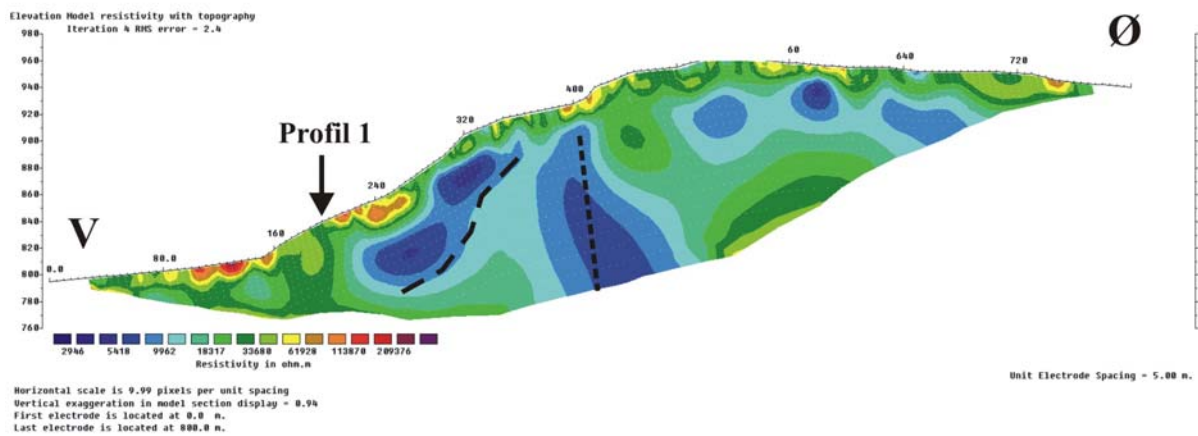


Figur 3. Åknes Profil 10. Beregnet resistivitet, Wenner og Dipol/Dipol (elektrodeavstand 5 meter) med radarreflektorer fra R7.

Hegguraksla

Profil 2

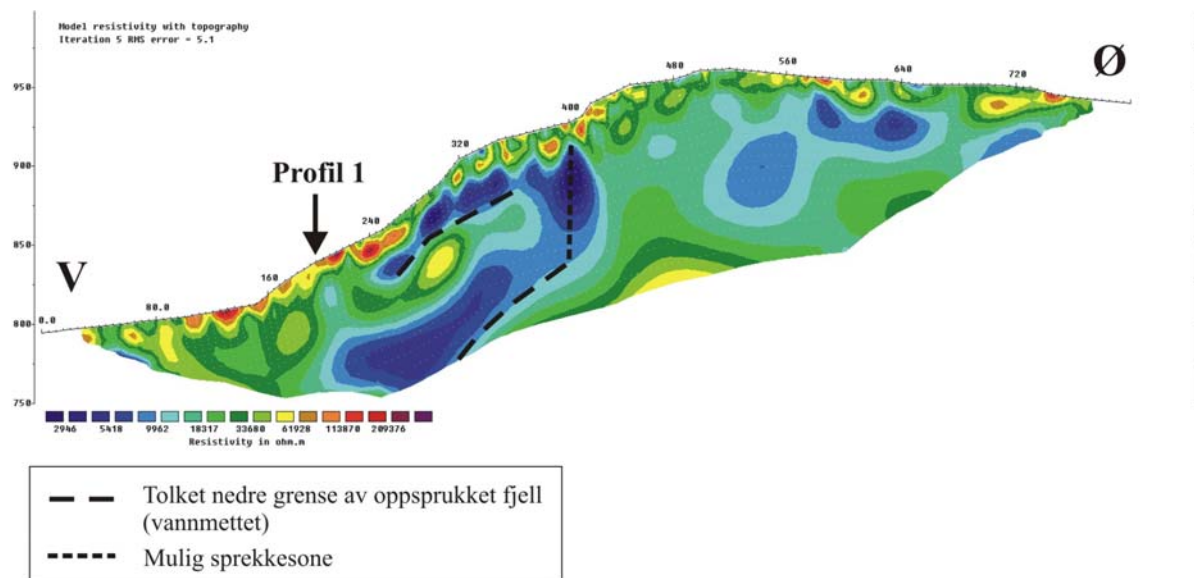
Wenner
Standard inversjon
Vert/Hor. Filter = 1



Hegguraksla

Profil 2

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



Figur 4. Hegguraksla Profil 2. Beregnet resistivitet, Wenner og Dipol/Dipol (elektrodeavstand 10 meter).

3.2 Georadar

3.2.1 Åknes

Resultatene fra georadarmålingene i Åknes er vist i figurene 5 til 8. Georadardata viser generelt lite sammenhengende reflektorer, og stedvis kryssende reflektorer. Refleksene er ellers generelt svake, og årsaken til dette er trolig at fjellet er sterkt oppsprukket og delvis drenert. De mest markerte reflektorene er angitt med rød strek på figurene. Måledata er vist i A3-format, men ønskes større format kan dette skaffes ved å kontakte NGU. Resistivitetsprofilene 1, 2, 3, 4, 5 og 7 fra målingene i 2004 og 2005 er også tatt med i denne rapporten, da tolkningen av radarmålingene foretatt langs disse profilene er lagt inn på de inverterte data (figurene 10 til 15). Som disse figurene viser ligger de påviste radarreflektorene oppe i høymotstandslaget, og maksimal dybderekkevidde for radaren ser ut til å være overgangen mellom drenert og vannmettet fjell. Det betyr at radaren ikke har gitt noen bidrag til å kartlegge strukturer i det oppsprukne og vannmettede nivået.

Profil R1 (langs deler av 2D Res P1) er sammenstilt og kommentert i NGU Rapport 2006.002 (Rønning m.fl. 2006). I figur 10 er tolkede refleksjoner fra georadar sammenstilt med resistivitetsdata (Wennerkonfigurasjon). Det indikeres en opphopning av georadarreflekser der resistivitetsdata enten indikerer at den vannmettede lagpakken nærmer seg dagen eller der denne lagpakken indikerer en ombøyning (resistivitetskoordinater 800, 1120, 1500 og 1640). Dette har delvis sammenheng med at vann er tilstede og kan gi reflekser, men kan også skyldes at bevegelser i berggrunnen har gitt opphav til mer finkornige masser (Gauge) som er i stand til å holde på vann i ett ellers drenerende miljø (koordinat 800 og 1500).

Profil R2 (deler av 2D Res P3) er sammenstilt og kommentert i NGU Rapport 2006.002 (Rønning m.fl. 2006).

Profil R3 (2D res. P 2) er vist på figurene 5 og 11. Figur 5 viser de tolkede reflektorene på radarplottet, mens figur 11 viser de tolkede reflektorene på 2D resistivitetsprofilen. Også her ser det ut til å være en økning i reflektorene der resistivitetsmålingene (figur 11) indikerer at vannmettet fjell kommer dagnært eller har en ombøyning. Dette er mest markert ved resistivitetskoordinater 750, 1150 og 1560 (Georadarkoordinater 250, 630 og 1000), men også ved resistivitetskoordinatene 1280 og 1680 antydes en opphopning av georadarreflekser. En kan også merke seg at indikert bruddsone ved resistivitetskoordinat 1400 også er forbundet med en opphopning av georadarreflekser, noe som forsterker tolkningen. Ellers viser radarplottet at penetrasjonsdypet er størst i den øvre delen av profilet, noe som trolig skyldes at fjellet i de nedre deler har et økt vanninnhold.

Profil R4 (2D res. P3) er vist på figur 6 og 12. Profil 4 er det øverste av tverrprofilene, og penetrasjonsdypet er her ca 20 til 30 meter. Dette profilet er det eneste hvor målingene gir grunnlag for å angi tykkelsen av ura. Mellom koordinat 150 og 225 er det tolket en reflektor på ca 3 til 5 meter som trolig indikerer tykkelsen av ura i dette området. Ellers viser radarplottet at de fleste reflektorene er meget utholdende og subhorisontale. Dette kan indikere liten oppsprekking i de øvre delene langs profilet. I området ved koordinat 550 til 620 går flere reflektorer ut i dagen. Dette faller sammen med den antatte østre avgrensning av det rasutsatte området. 2D res. profil 3 (figur 12) indikerte muligheten for et hengende vannspeil ved res. koordinatene 175 og 320 (lommer av materiale med relativt lav resistivitet). Nederste reflektor kan representere topp av et hengende vannspeil.

Profil R5 (2D res. P4) er vist i figur 6 og 13. Penetrasjonsdypet for dette profilet er tilnærmet likt profil 4. Reflektormønsteret er også ganske likt med flere horisontale reflektorer. En markert reflektor kommer ut i dagen ved koordinat 425. Dessverre er georadarmålingene avsluttet ved antatt østre grense av det ustabile fjellpartiet, og det er derfor ikke mulig å se på forskjeller i og utenfor.

Profil R6 (2D res. P8 og P9) er vist i figurene 1 og 7. Dette profilet krysser den åpne sprekken (koordinat 220) like nord for midtre boreplass. Som figur 7 viser, kommer sprekken fram på radarplottet ved at flere reflektorer ser ut til å stoppe ved denne koordinaten. Ellers viser radarplottet at det er i den øvre og nedre delen av profilet det er mest markerte reflektorer. Mellom koordinatene 250 og 350 er det bra penetrasjon, men vanskelig å se reflektorer av noen lengde.

Profil R7 og R9 (2D res. P10 og nedre del av P1) er vist i figurene 3, 8 og 10. Profil R7 går langs 2D res. profil P10 til koordinat 525, for så å fortsette langs 2D res. profil P1 derfra. R9 kommer inn på 2D res. profil P1 etter 75 meter, like nedenfor Bh3. Profil R7 krysser indikasjonen på en sprekke i løsmassene øst for midtre boreplass som primært skulle undersøkes. Profilet krysser denne sprekken ved koordinat 197, men som figur 8 viser kommer den ikke fram på radarmålingene. En reflektor ser ut til å ha utgående i sprekken, men på dypet er det tolket to gjennomgående reflektorer. Videre langs profilene hvor de går sammen med 2D res. profil P1 (figur10), viser radardata en klar konsentrasjon av reflektorer der hvor resistivitetsmålingene indikerer utgående strukturer.

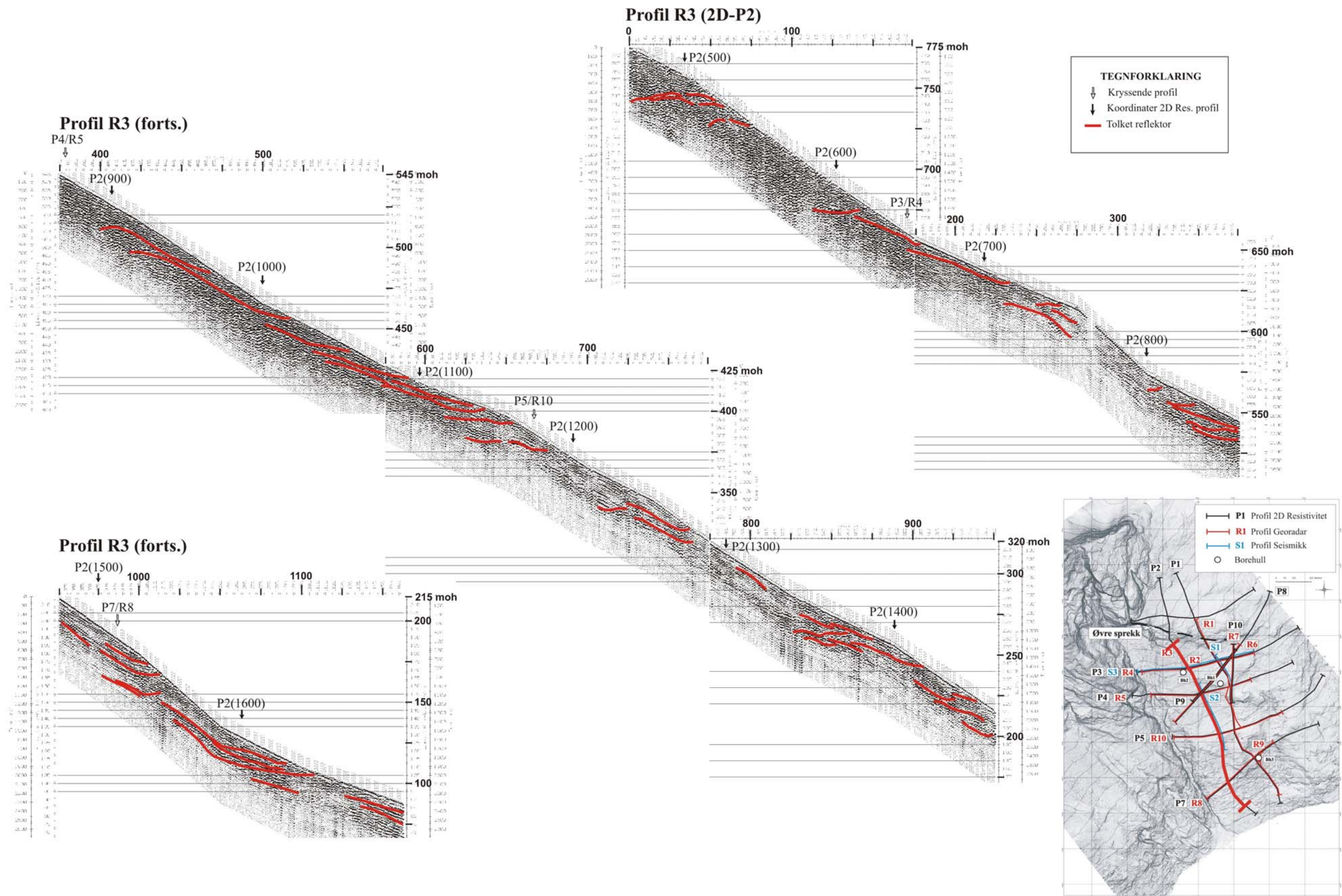
Profil R8 (2D res. P7) er vist i figurene 6 og 15. I likhet med de andre profilene ser de fleste reflektorene ut til å ligge i det øvre drenerte nivået. Ellers viser radarplottet liten penetrasjon og dermed få reflektorer i den sentrale delen av profilet.

Profil R10 (2D res. P5) er vist i figurene 6 og 14. Radarplottet viser at det er en del forskjeller i penetrasjonsdypet langs profilet. Flere av reflektorene er også på dette profilet utholdende, men det er og partier med korte reflektorer. Figur 14 viser at der resistivitetsmålingene indikerer den østlige avgrensingen av det rasutsatte områder er det en konsentrasjon av reflektorer. Også her er radarmålingene avsluttet ved antatt østlige begrensning av det ustabile området, og det er derfor ikke mulig på studere kontraster.

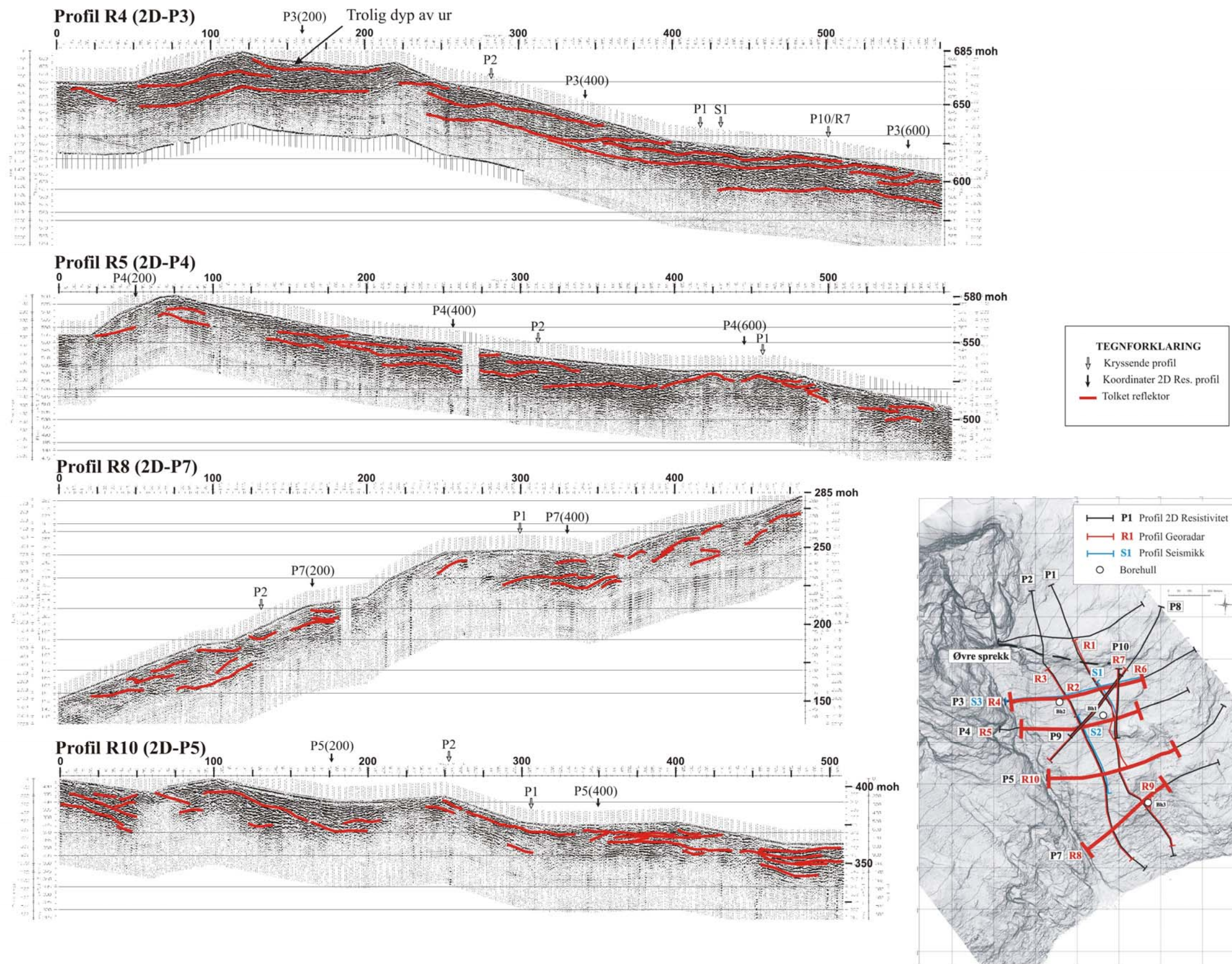
3.2.2 Hegguraksla

Ved Hegguraksla ble det målt ett profil med georadar som går langs hele resistivitetprofil P1. Profilet er vist på figur 9 og på figur 16, hvor radarreflektorene er lagt på resistivitetsprofil P1. I likhet med Åknes ligger de fleste påviste radarreflektorene oppe i høymotstands laget og maks dybderekkevidde for radaren ser ut til å være overgangen mellom drenert og vannmettet fjell. Det betyr at radaren heller ikke her har gitt noen bidrag til å kartlegge strukturer i det oppsprukne og vannmettede nivået.

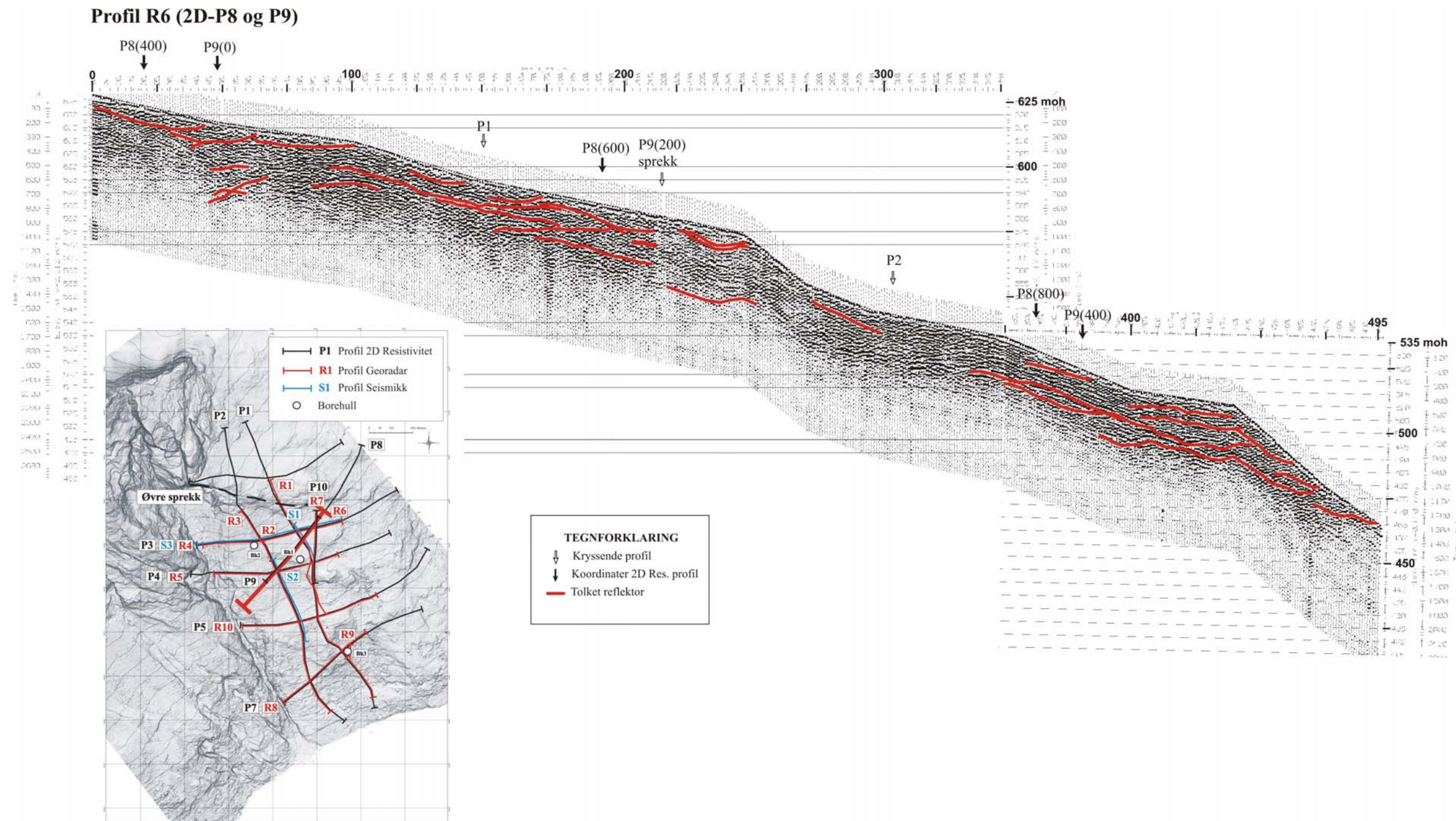
Som figur 9 viser, er det flest reflektorer i den øvre og nedre delen av profilet. Reflektormønsteret er varierende med reflektorer som både følger terrenget og er tilnærmet vannrette. Det er også flere reflektorer som går ut i dagen. I den nedre del av profilet er det i de første 100 meterne av profilet et betydelig antall reflektorer. Profilet starter på kanten av stupet, og radarmålingene indikerer at området like ovenfor er sterkt oppsprukket.



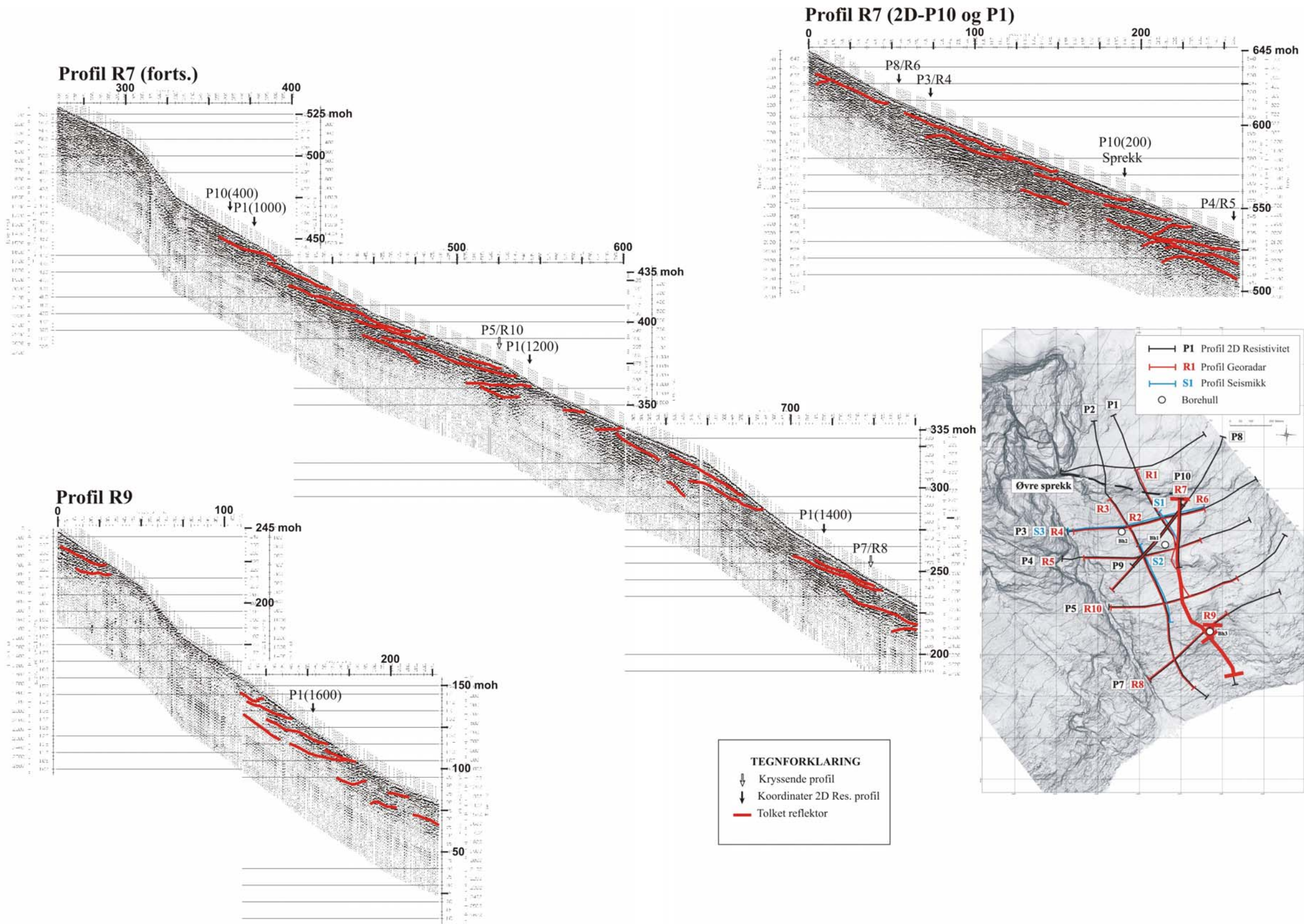
Figur 5. Åknes. Georadartolkning profi R3.



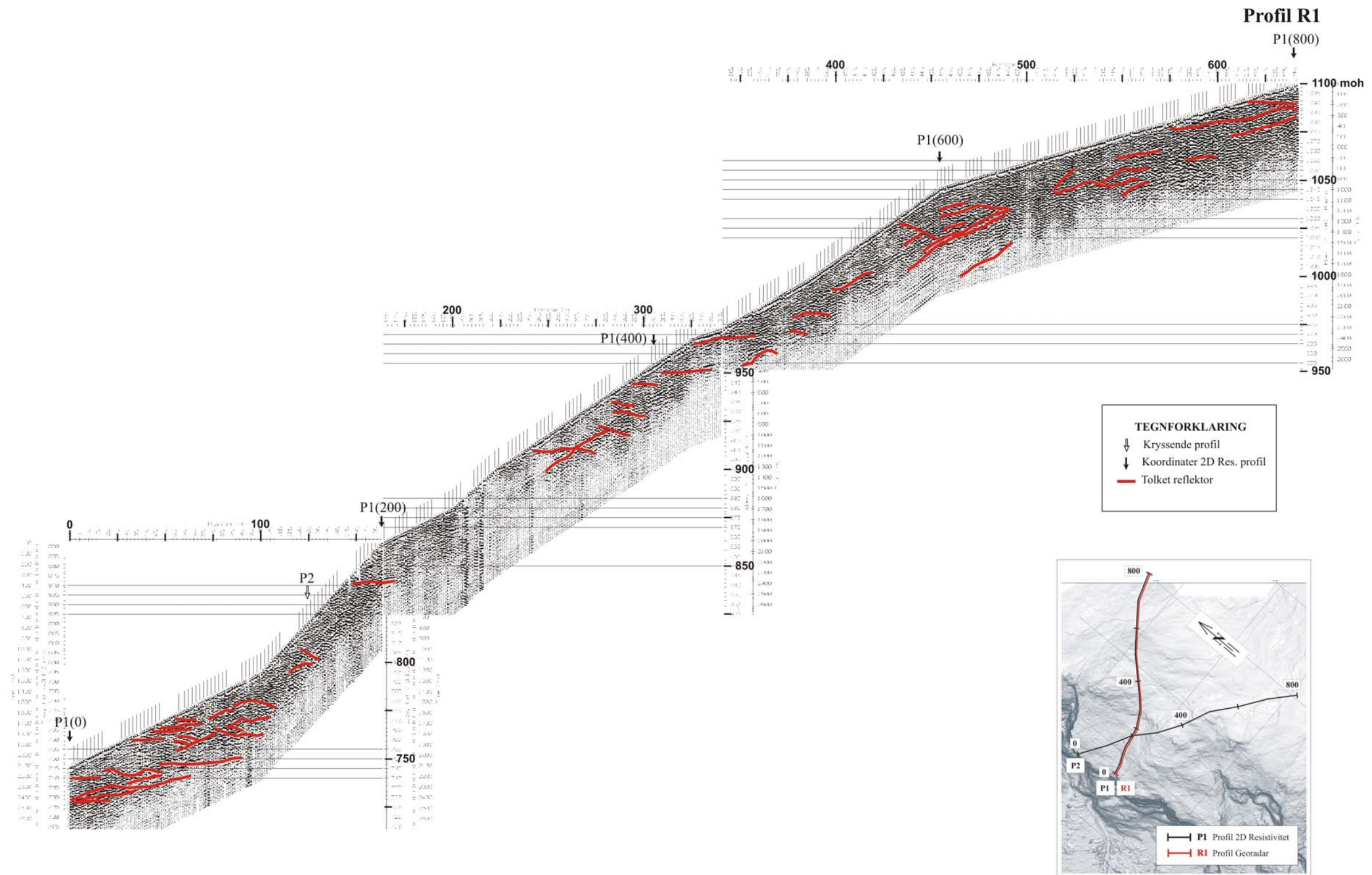
Figur 6. Åknes. Georadartolkning profil R4, R5, R8 og R10.



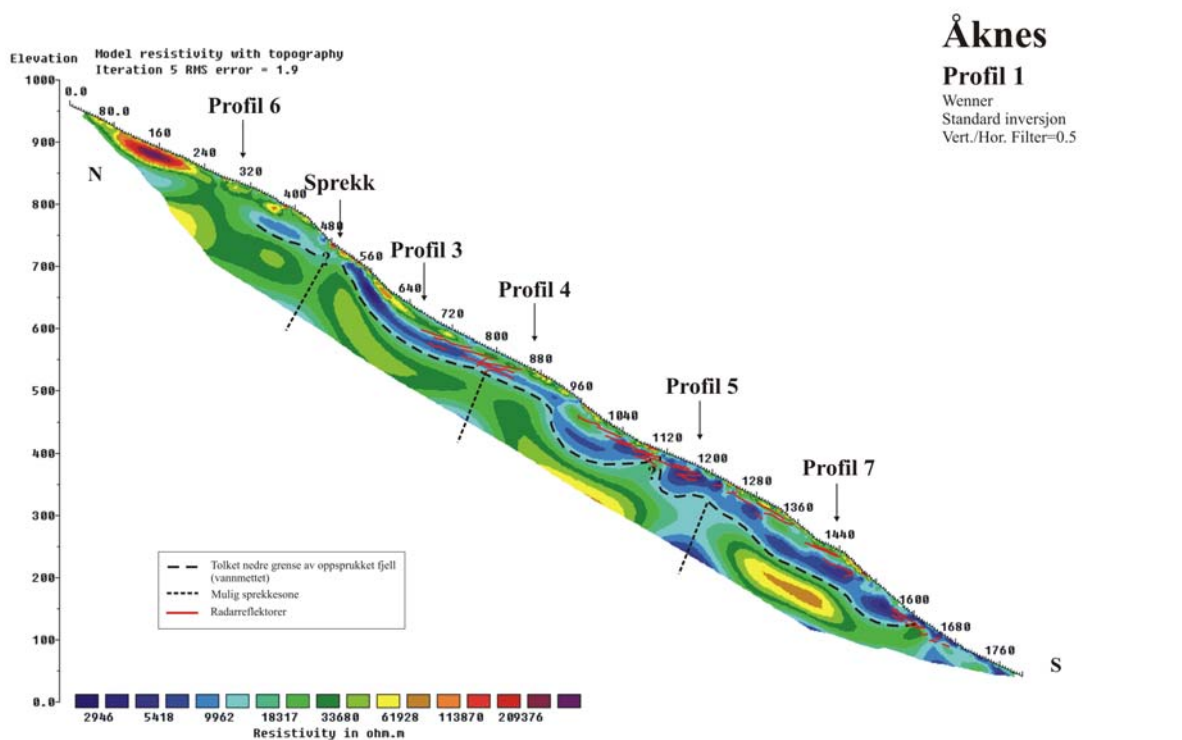
Figur 7. Åknes. Georadartolkning profil R6.



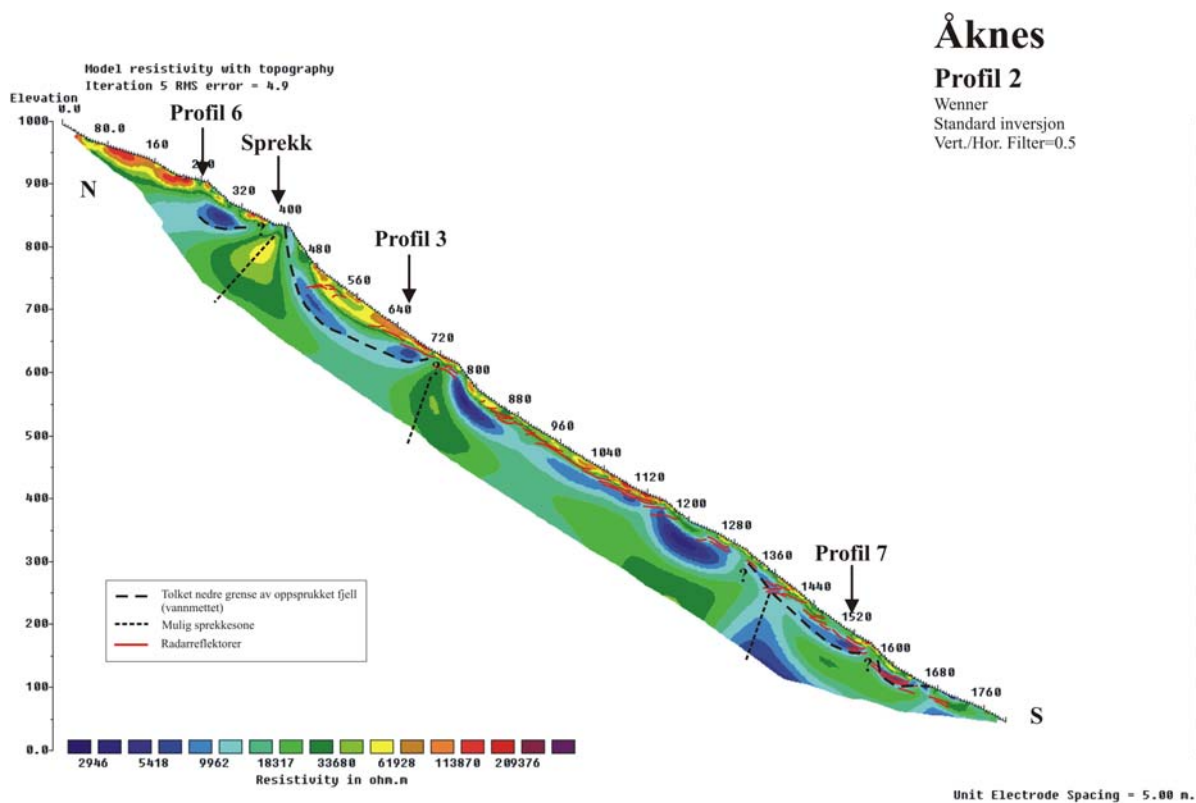
Figur 8. Åknes. Georadartolkning profil R7 og R9.



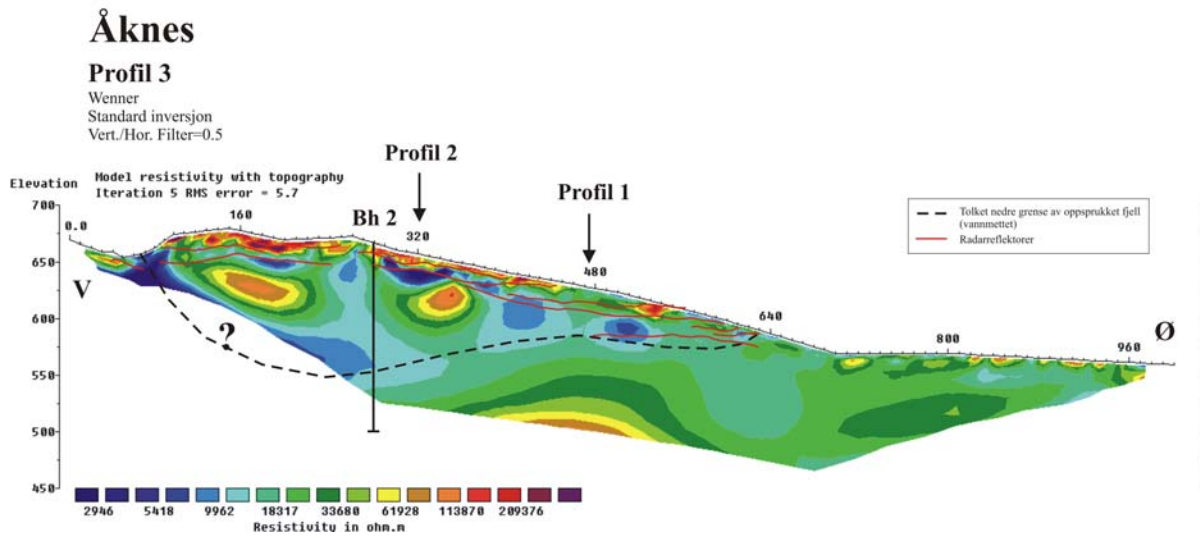
Figur 9. Hegguraksla. Georadartolking profil R1.



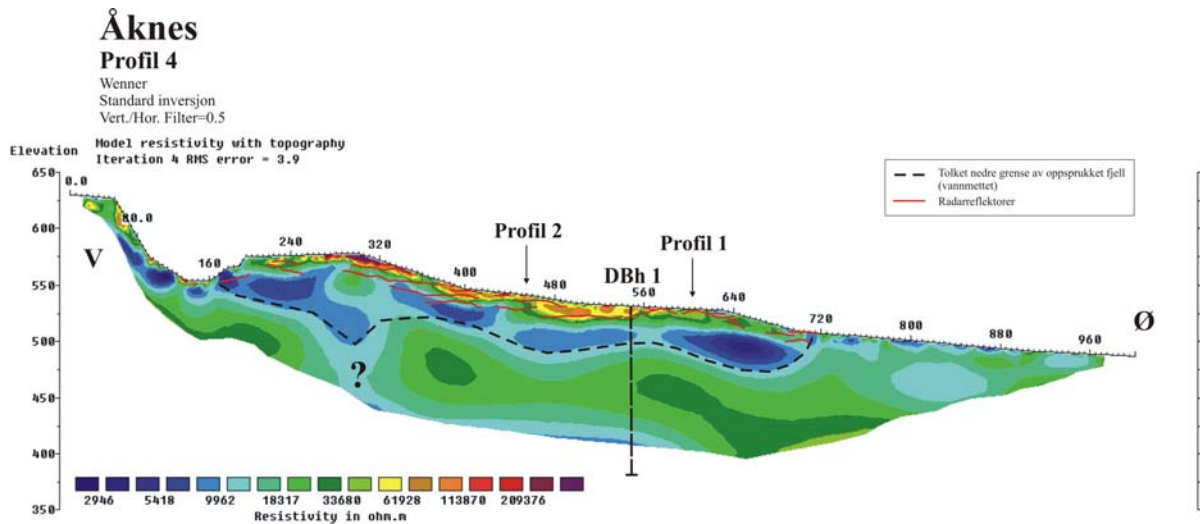
Figur 10. Åknes Profil 1. Beregnet resistivitet, Wenner med radarreflektorer fra R1 og R9.



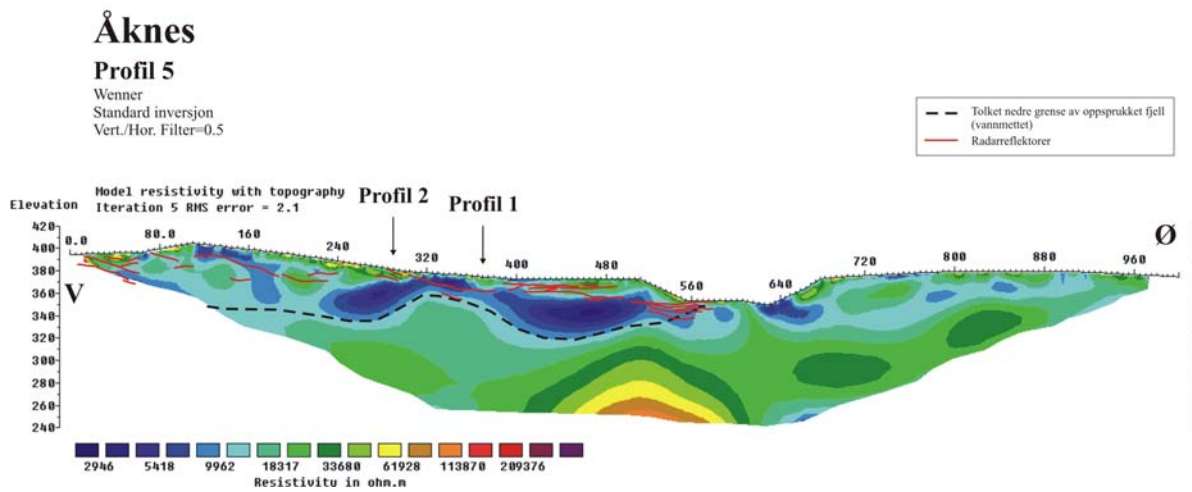
Figur 11. Åknes Profil 2. Beregnet resistivitet, Wenner med radarreflektorer fra R3.



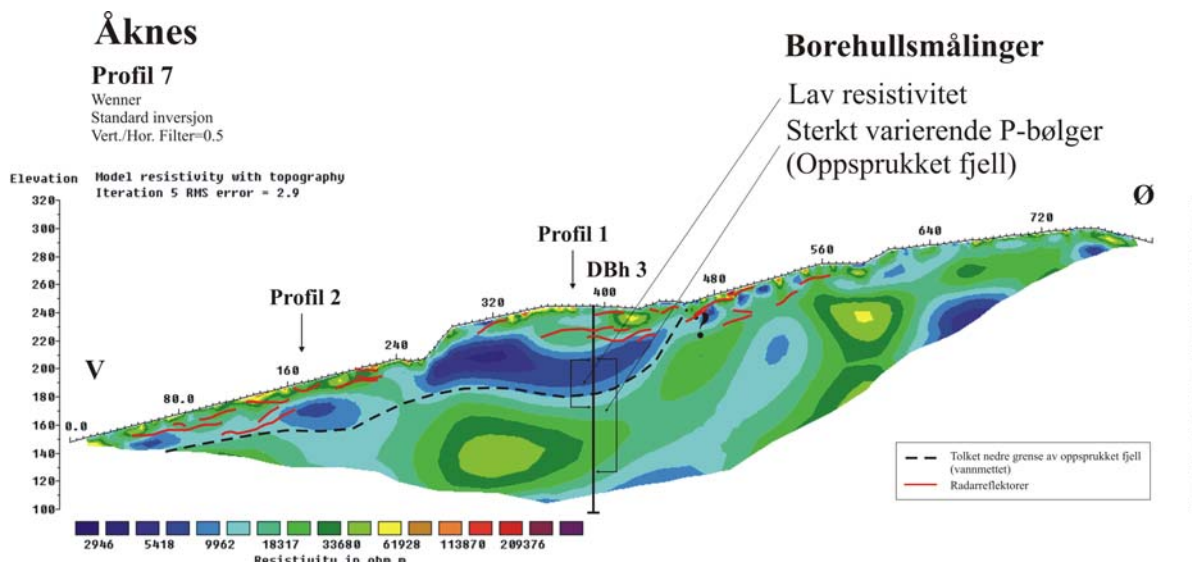
Figur 12. Åknes Profil 3. Beregnet resistivitet, Wenner med radarreflektorer fra R4.



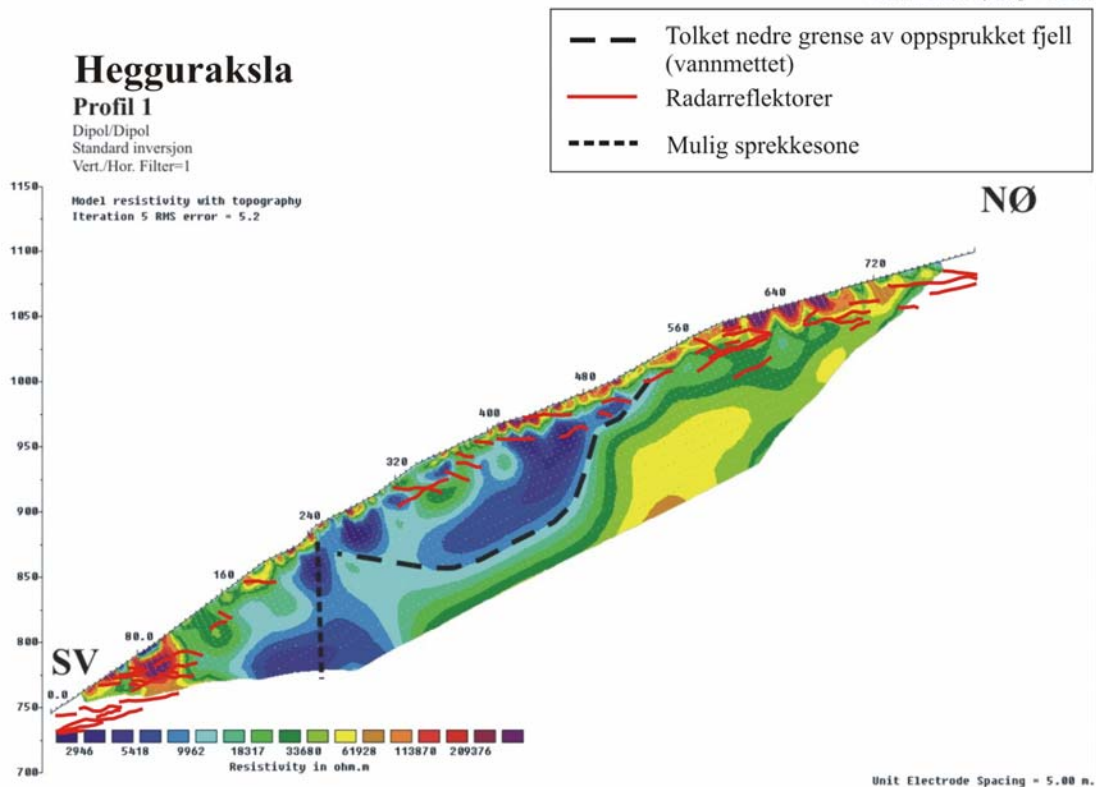
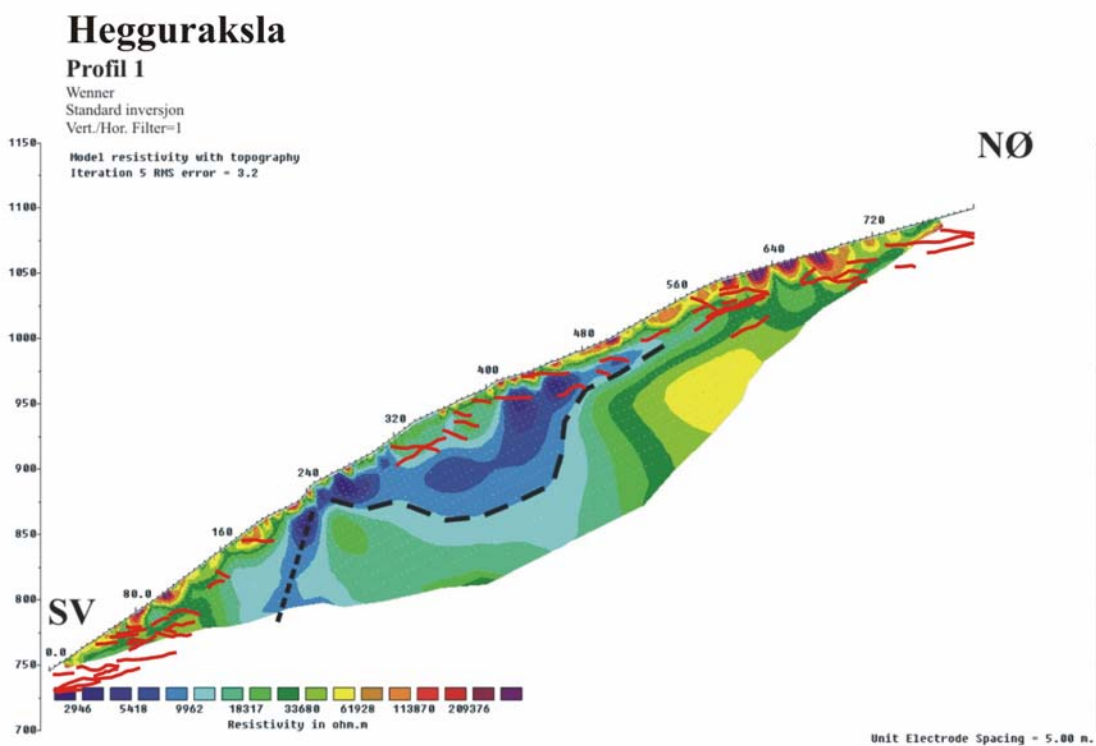
Figur 13. Åknes Profil 4. Beregnet resistivitet, Wenner med radarreflektorer fra R5.



Figur 14. Åknes Profil 5. Beregnet resistivitet, Wenner og Dipol/Dipol med radarreflektorer fra R10.



Figur 15. Åknes Profil 7. Beregnet resistivitet, Wenner med radarreflektorer fra R8.



Figur 16. Hegguraksla Profil 1. Beregnet resistivitet, Wenner og Dipol/Dipol med radarreflektorer.

3.3 Seismikk

De to første refraksjonsseismiske profilene NGU og Universitet i Grenoble målte ved Åknes (S1 og S2) er rapportert i NGU Rapport 2006. 002 (Rønning m.fl. 2006). Somrene 2006 og 2007 ble det målt to nye profiler som her beskrives (S3 og S4). Lokaliseringen av disse fremgår av kartbilag 2007.026-03.

3.3.1 Refraksjonsseismikk, tradisjonell tolkning

Den geofysiske tolkningen av det vel 700 m lange seismikkprofilet S3 er vist i figur 17. Det er registrert fire hastighetslag langs profilet. I overflatelaget varierer seismisk hastighet i området 350-650 m/s. Tykkelsen av laget er beregnet å variere stort sett mellom to og seks meter, men når opp i 10-12 m i området mellom pos. 90 og 160 m. Overflatelaget regnes å bestå av tørre ur/skredavsetninger.

I laget under er seismisk hastighet beregnet å ligge i området 1000-1200 m/s. Lagtykkelsen varierer fra 6 til 14 m med de største verdiene i området mellom pos. 90 og 280 m. Mot øst, fra pos. 490 til 590 m i profilet, kiler laget helt ut. Laget antas å bestå av tørt oppknust/kraftig oppsprukket fjell.

I lag 3 er seismisk hastighet beregnet til 2200 m/s, men kan være noe lavere (2000 m/s) i området pos. 120-220 m. Lagtykkelsen varierer fra 25 til vel 30 m langs vestlige del av profilet. Østover fra pos. 370 m kiler laget ut og forsvinner ved pos. 490 m. Laget regnes å representere betydelig oppsprukket fjell som er godt drenert (tørt). Observert vann-nivå i øvre borehull på 53 meter bekrefter dette (Rønning m.fl. 2006, figur 20).

I nederste registrerte lag er seismisk hastighet bestemt til 4800 m/s sentralt i profilet og trolig tilsvarende i vestlige del. Mot vest er hastigheten dårlig bestemt på grunn av at det ikke var mulig å skyte fjernskudd. Laget regnes å representere fjell som er mindre oppsprukket og som sannsynligvis er vannmettet. I østlige del av profilet, i området pos. 520-585 m, er det en sone med betydelig lavere hastighet (3100 m/s) og tolkes som en svakhetssone med betydelig oppsprukket fjell. I profilet er sonen antatt å være vertikal, da målingene ikke har kunnet angi noen fallretning for sonen. Østligst i profilet er hastigheten beregnet til 4700 og 4400 m/s. Med de grunnfjellsbergarter en har ved Åknes kan en forvente hastigheter i overkant av 5000 m/s. Ved borehullsloggingen er P-bølgehastigheten bestemt til ca 5000 m/s med partier som er oppe i 5500 m/s (Elvebakk 2008). Det er uklart om hastigheter rundt 4500 m/s representerer upåvirket fjell, eller om dette også er fjell som er moderat oppsprukket som en følge av bevegelser.

Ut fra beregningene vil totaldyp ned til vannmettet fjell med begrenset oppsprekking variere fra 40 til vel 50 m langs vestlige del av profilet (pos.0-340 m), men avtar mot øst til 20 m ved pos. 480 m og er 2 m eller mindre fra pos. 600 m og til østenden.

Den geofysiske tolkningen av seismikkprofilet S4 er vist i figur 18. Profilet er ca. 450 m langt målt langs terrengoverflaten, mens horisontal avstand mellom endepunktene er ca. 400 m. Det er registrert tre hastighetslag langs profilet. I overflatelaget er seismisk hastighet satt til 500 m/s, men hastigheten er dårlig bestemt og kan variere betydelig. Tykkelsen av laget er beregnet å variere mellom 3 og 9 m og er tynnast øverst ved nordenden av profilet. Overflate-laget regnes å bestå av tørre ur/skredavsetninger.

I laget under er seismisk hastighet anslått til å ligge rundt 2600 m/s. Laget regnes å representere betydelig oppsprukket fjell som er godt drenert (tørt). I det nederste laget er det beregnet at gjennomgående seismisk hastighet langs laget ligger på rundt 4600 m/s. Også her skulle en forvente seismisk hastighet på i overkant av 5000 m/s dersom det hadde bestått av upåvirket fjell. Laget regnes derfor å representere fjell som er mindre oppsprukket og som sannsynligvis er vannmettet. Dette er i overensstemmelse med borehullsloggingen ved mitre standplass (Elvebakk 2008). Totaldypet ned til det nederste laget (sammenlagt tykkelse av lag 1 og 2) øker fra 30 m ved nordenden av profilet til 55-58 m ved pos.190-220 m. Nedenfor terrengskrenten (pos. 240 m) ser totaltykkelsen ut til å øke fra 40-45 m til 55-58 m fram til pos. 290 m for derfra å tynne ut til ca. 25 m nederst ved sydenden av profilet.

Det regnes å være større usikkerhet i tolkningen av profil S4 enn S3. Dette skyldes blant annet at geofonavstandene er større langs S4. Dette medfører dårligere bestemmelse av hastighet i de øvre lagene og usikker definering av lag. I S4 er det ikke registrert noe lag med hastighet 1000-1200 m/s, men det kan stedvis opptre som et skjult lag pga. for stor geofonavstand. Det antas også større usikkerhet i avleste førsteankomster, noe som gjenspeiles i dårlig samsvar mellom resultater fra ulike skuddpunkt.

3.3.2 Tomografisk inversjon av profilene S3 og S4.

Tolkingen av de seismiske data vist i avsnitt 3.3.1 er gjort på tradisjonell måte der en forutsetter en viss lagdeling mot dypet. Disse data kan også tolkes ved en automatisk inversjon, hvor bakken deles inn i celler (pixler) der hastigheten i hver celle justeres inntil gangtider fra skudd til de enkelte geofoner fra denne hastighetsmodellen stemmer med de målte gangtider. Metoden kalles refraksjonsseismisk tomografi. En kortfattet beskrivelse av metoden finnes på

<http://www.ngu.no/upload/Norges%20geologi/Geofysikk/Bakkegeofysikk/Seismikk/REFR-tomografi.pdf>

Resultater fra tomografiske inversjonen av profil S3 er vist i figur 19. Pixelstørrelsen er her 5 x 5 meter. Øverst (delfigur A) vises den beregnede hastighetsfordeling mot dypet. Denne viser meget lave hastigheter (lavere enn 1000 m/s) i toppen med en gradvis overgang til over 4000 m/s mot dypet. Neste bilde (delfigur B) viser en rekonstruksjonstest. Her er det ut fra modellen i delfigur A beregnet syntetiske data disse er overlappet noe tilfeldig støy for å simulere reelle data, og disse data er så invertert på nytt. At delfigurene A og B er så like viser at datasettet er av god kvalitet, at inversjonen er stabil og at beregnet modell er pålitelig. Delfigur C viser tettheten av strålebaner i de forskjellige deler av seksjonen. Vi ser her at ved overgang til hastighet større enn 4000 m/s følger alle strålebanene toppen av dette laget, og alle hastigheter dypere enn dette er upålitelig om ikke direkte feil.

I delfigur 19 D er den tradisjonelle tolkningen av datasettet sammenlignet med den automatiske tomografiske inversjonen. Vi ser at i hovedsak stemmer dette meget godt overens. Dagnært påvises meget lave hastigheter som stedvis er betydelig lavere enn 1000 m/s. I et mellomsjikt indikeres hastigheter rundt 2000 m/s og noe dypere over 4000 m/s. De to tolkningene viser avvik på detaljnivå spesielt mellom 150 og 250 m der tomografien viser en lavhastighetszone. Lokalt innenfor de opprinnelige lagene opptrer variasjoner i hastigheten, noe som ikke er overraskende. I et så deformert fjellparti som ved Åknes må en forvente lokale variasjoner i oppsprekningsgrad og derved seismisk hastighet.

Resultater fra tomografiske inversjonen av profil S4 er vist i figur 20. Pixelstørrelsen er her 7,5 x 7,5 meter. Hastighetsfordelingen mot dypet viser et komplisert forløp (figur 20A). Rekonstruksjonstesten (figur 20 B) avviker fra hastighetsmodellen, noe som viser at inversjonen er noe ustabil på grunn av kompliserte forhold. Også rms-avvik fra observerte gangtider og gangtider bestemt fra den endelige modellen er forholdsvis stor (5.63 m/s), noe som indikerer at inversjonen hadde problemer å finne et egnet tilpasset modell, dette til tross for totalt 499 strålebaner (lydbaner fra skudd til geofoner). Strålegjennomgangen (figur 20 C) viser at en her kan få informasjon ned til relativt store dyp, opp til 130 meter sentralt i profilet. Krysning av mange strålebaner dagnært gir en god bestemmelse av hastighetene. Mot dypet ser vi at det finnes lommer med ingen strålegjennomgang eller strålebaner som er parallelle og her er hastighetene dårlig bestemt. For å kunne forklare gangtidene fra skuddene til de enkelte geofoner må det være materialer med lav hastighet i disse lommene, trolig kraftig oppsprukket fjell.

Som ved den tradisjonelle tolkningen indikeres svært lave hastigheter dagnært (< 1000 m/s). Under dette ligger en lagpakke med hastigheter i størrelsesorden 2500 m/s som tolkes som kraftig oppsprukket drenert fjell. Under dette igjen finner vi hastigheter opp mot 5000 m/s som tolkes som massivt fjell. Stedvis kan dette komme relativt grunt. Sentralt i profilet og ved nedre ende, finner vi markerte soner med lav hastighet. Som nevnt er disse relativt dårlig bestemt, men for å forklare hele hastighetsmodellen må det være lavhastighetssoner her. Dette bekreftes av de analyser som er gjort på resten av dette 3D-datasettet. Sentralt stikker sonen til en dybde av ca 130 meter, og ved nedre ende av profilet til ca 100 meter. Disse to sonene kan i prinsippet være sammenhengende på dypet uten at dette gjør seg tilkjenne, verken ved den automatiske inversjonen eller ved den tradisjonelle tolkningen (hastighetsinversjon).

En av grunnene for det forholdsvis ustabile resultatet av 2-D tomografien er kanskje at undergrunnen har en svært tredimensjonal hastighetsfordeling (variasjoner i alle retninger). Dessuten er tilpassning av modell begrenset på grunn av cellestørrelsen. Sprekkesoner har kanskje bare en bredde av 1-2 meter, men pixelstørrelsen har vært 7.5 meter. Også bruk av "smoothing constraints", som stabiliserer inversjonen, fører til jevne modeller. Sprekkesoner som fører til abrupt nedgang av hastigheten i bergarten, er derfor romlig oppløsning begrenset.

Som en konklusjon kan en si at refraksjonsseismisk profil S4 viser opp til 60 meter kraftig oppsprukket fjell, men at dette stedvis kan være grunnere. Den tomografiske inversjonen viser at hastighetene kan variere relativt mye, og at tradisjonell tolkning med lagdelt modell gir et forenklet bilde av virkeligheten. En kan ikke utelukke at det finnes kraftig oppsprukket fjell i dypere nivå, 120 til 130 meters dyp under bakken.

3.3.3 Vurdering av tolkningsmetode.

Tradisjonell tolkning med lagdelte modeller har begrensninger ved den type geologisk modell en har ved Åknes. Spesielt profil S4 viser store laterale variasjoner, og her vil tradisjonelle tolkninger gi et forenklet bilde av situasjonen. Tomografisk inversjon krever store datasett, og ideelt sett burde en hatt minst 20 strålingsgjennomganger i hver celle, og aller helst burde disse gå i forskjellig retning. I et område som Åknes, hvor det er så mye ur og vanskelige forhold både for plassering av geofoner og skudd, og hvor topografien setter store begrensninger, blir det svært tidkrevende og dyrt å gjennomføre ideelle undersøkelser. Dette

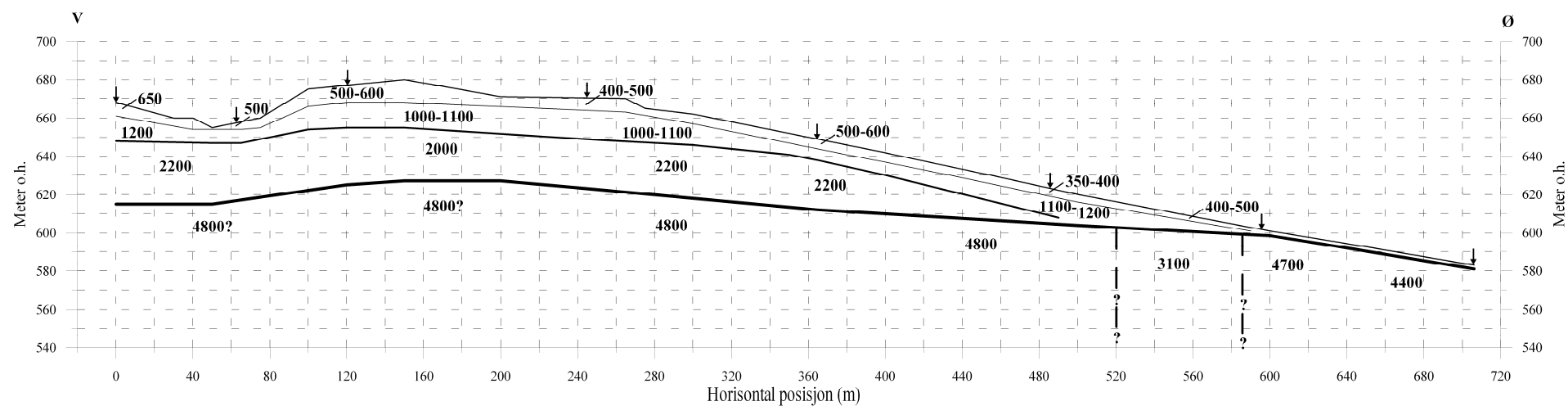
betyr at en ofte må gjøre kompromiss mellom hva som er faglig ønskelig og hva som er økonomisk forsvarlig å utføre.

Profil S3 ble målt primært for tradisjonelle tolkninger, og det ble benyttet relativt få geofoner og skudd. Profil S4 ble skutt som en del av en 3D-undersøkelse, og her var det et betydelig større antall skudd, og selv om det også her ble benyttet bare 24 geofoner, fikk en likevel et betydelig antall strålegjennomganger i de ulike deler av profilet. Likevel fikk en her lommer uten strålegjennomgang, og rekonstruksjonstesten viser faktisk at inversjonen av profil S3 var bedre enn innversjonen profil S4. Dette viser at kvaliteten av tolkningene er sterkt avhengig av kompleksiteten av geologien, og at en aldri kan komme i en situasjon der en gjør for grundige undersøkelser.

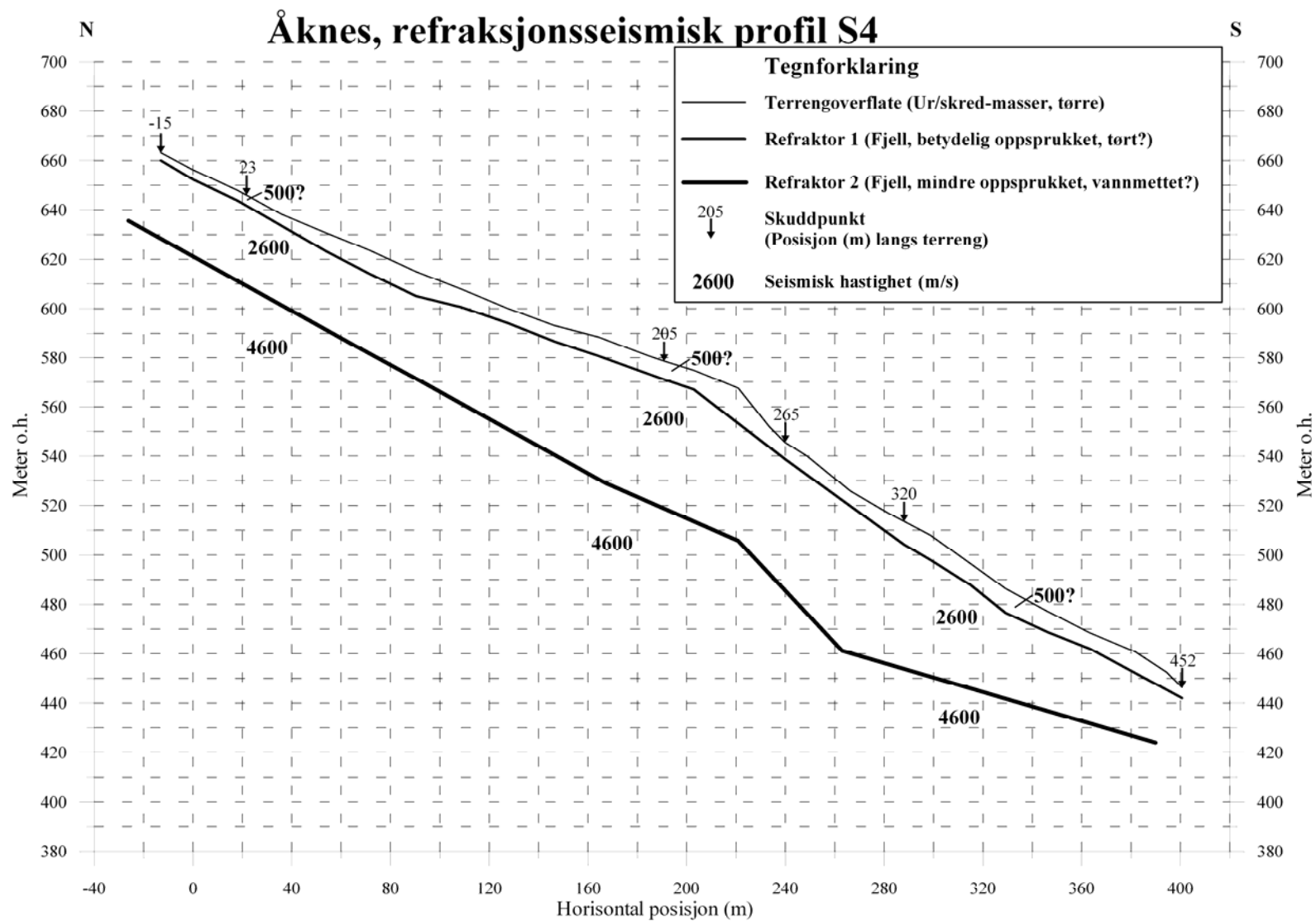
Ustabile fjellområder har alltid stor variasjoner i P-bølge hastighet og derfor er refrakjons-seismiske målinger generelt godt egnet til å avsløre oppsprukket fjell. Metoden kunne imidlertid vært enda bedre dersom en kunne benyttet senere ankomne bølger som stammer fra refleksjoner. Ved de første målingene i 2004 ble det gjort forsøk på å utnytte reflekterte bølger, men forsøket førte ikke frem, trolig på grunn av for lavt frekvensinnhold i signalet.

Åknes, refraksjonsseismisk profil S3

Tegnforklaring	
	Terrengoverflate (Ur/skred-masser, tørre)
	Refraktor 1 (Fjell, oppknust/kraftig oppsprukket, tørt)
	Refraktor 2 (Fjell, betydelig oppsprukket, tørt?)
	Refraktor 3 (Fjell, mindre oppsprukket, vannmettet?)
↓	Skuddpunkt
2200	Seismisk hastighet (m/s)

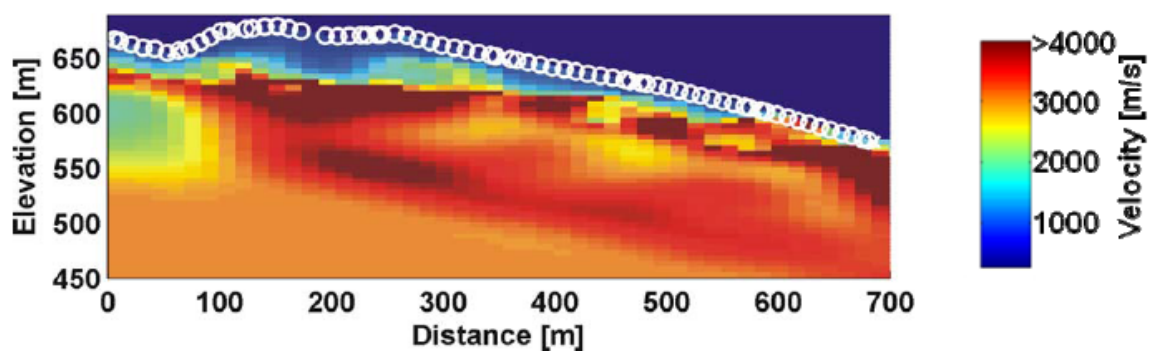


Figur 17. Åknes. Refraksjonsseismisk tolkning profil S3.

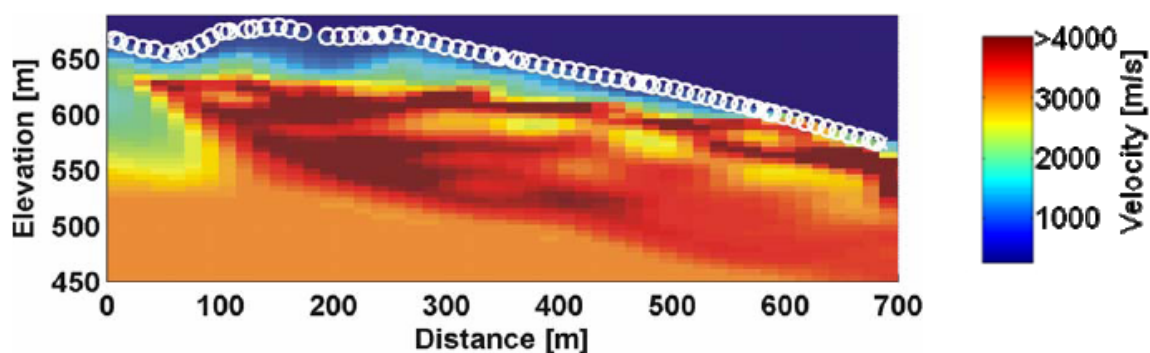


Figur 18. Åknes. Refraksjonsseismisk tolkning profil S4

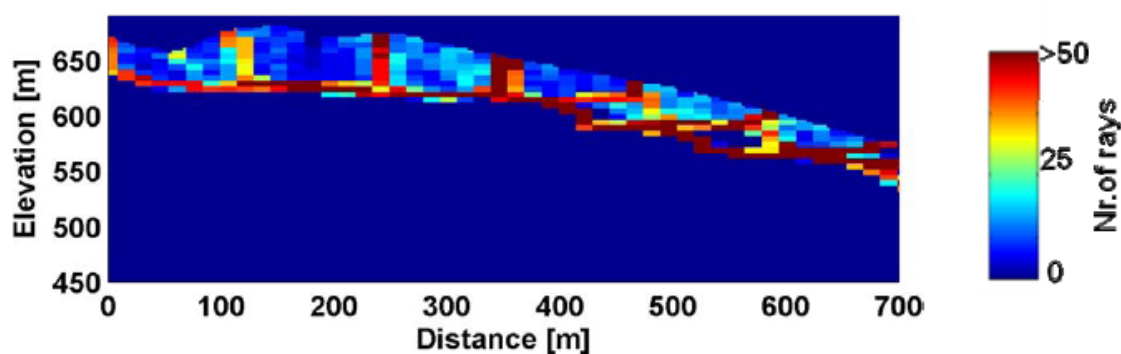
A.



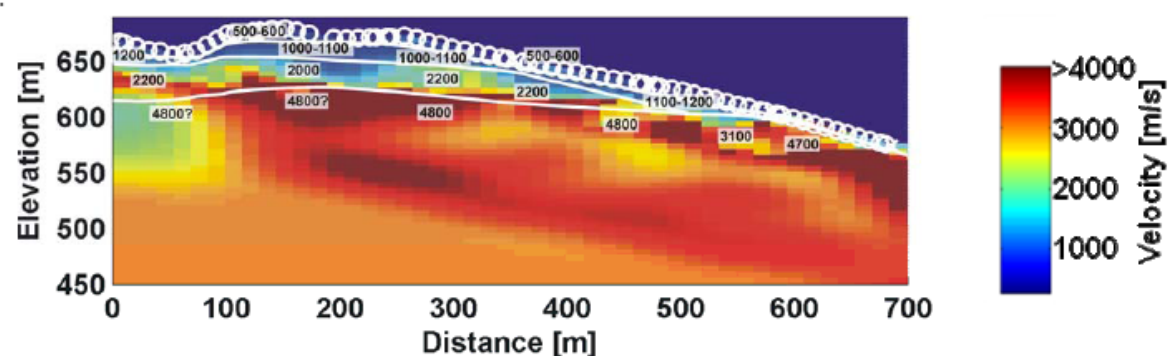
B.



C.

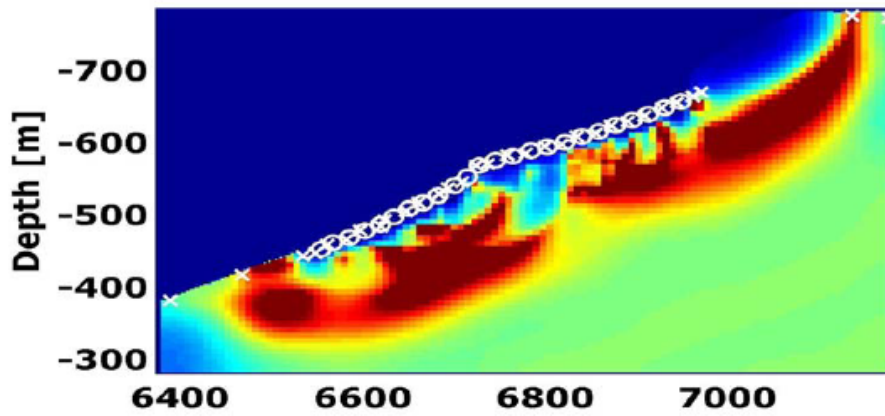


D.

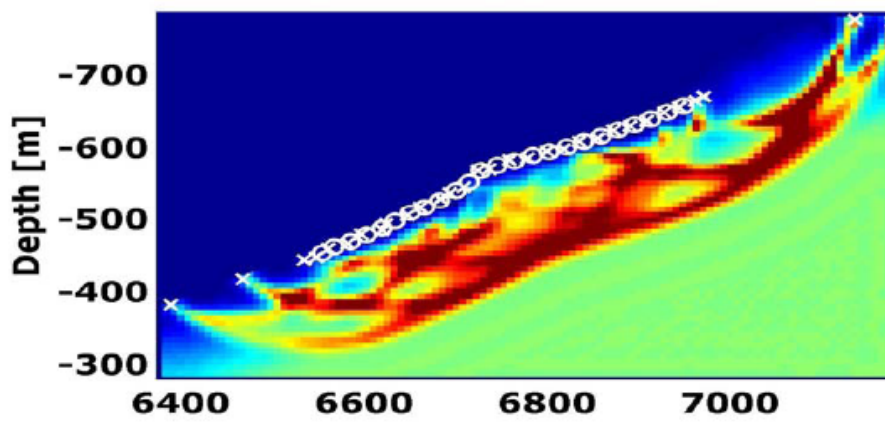


Figur 19: Tomografisk inversjon av refraksjonsseismisk profil S3. Hvite sirkler angir geofon-plassering, hvite kryss skuddpunkt. A) Hastighetsfordeling mot dypet, B) Rekonstruksjonstest, C) Strålegjennomgang og D) Hastighetsfordeling overlappet tradisjonell tolkning av refraksjonsseismikk.

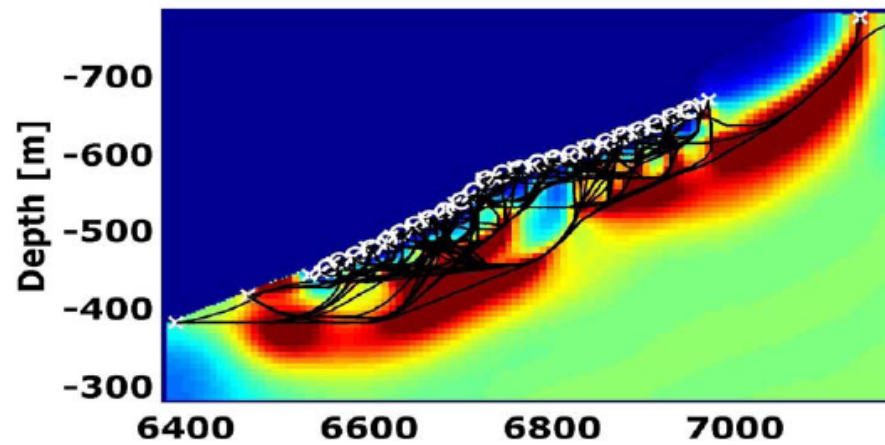
A.



B.



C.

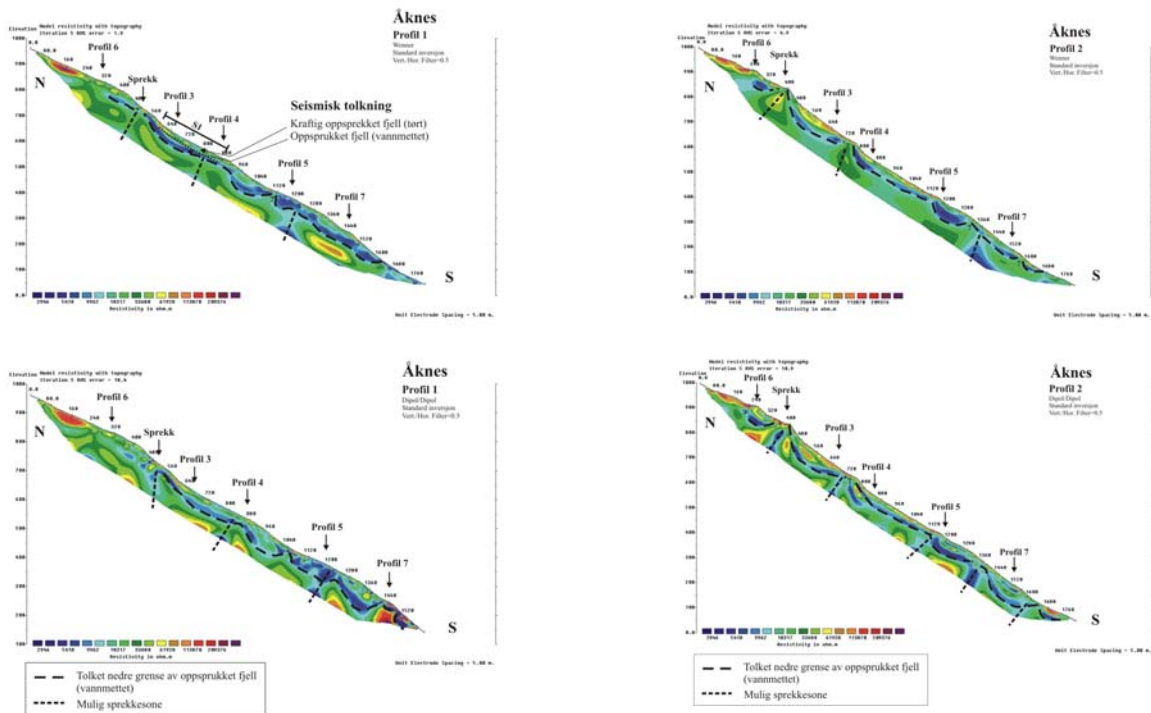


Figur 20: Tomografisk inversjon av refraksjonsseismisk profil S4 (hastighet angitt i m/s). Hvite sirkler angir geofonplassering, hvite kryss skuddpunkt. A) Hastighetsfordeling mot dypet, B) Rekonstruksjonstest, C) Strålegjennomgang.

4. DISKUSJON

4.1 Geologisk modell av det ustabile fjellpartiet ved Åknes.

På grunnlag av de to resistivitetsprofilene som går nedover lia ved Åkes, P1 og P2 (Figur 21, kartbilag 2007.026-03), er det foreslått en strukturgeologisk modell med et undulerende forløp av det ustabile fjellpartiet (Ganerød 2007, Ganerød 2008, Ganerød m.fl. 2008).



Figur 21: Resistivitet langs de to vertikale profilene P1 og P2 nedover Åkneslia. Både Wenner- og Dipol/Dipol-konfigurasjonen viser et undulerende forløp. I tillegg viser dipol/dipol mer eller mindre vertikale bruddstrukturer ofte knyttet til de steder der tolket bunn av det ustabile fjellpartiet bøyer ut mot overflaten.

Det er reist en del kritiske spørsmål omkring denne tolkingen, og for å avklare om andre geologiske modeller kan forklare resistivitetsforløpet er det fortatt modellberegninger. Spørsmålene som er stilt er:

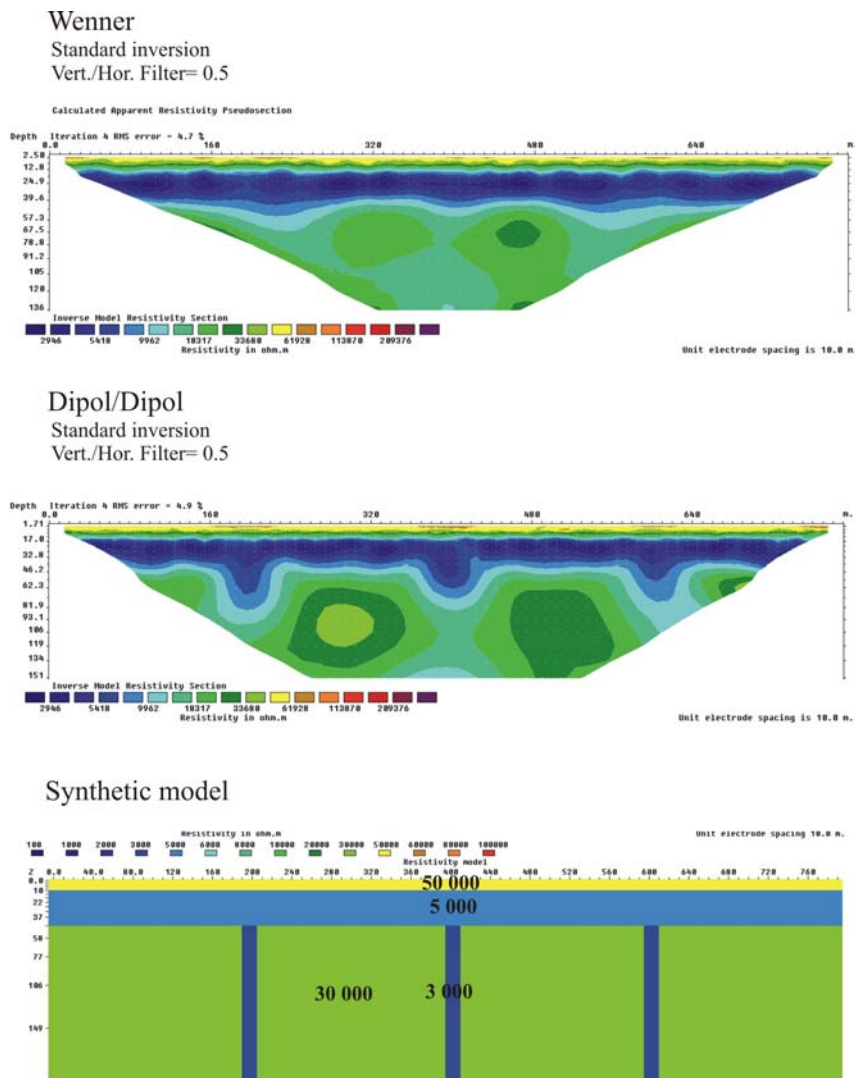
1. Kan det undulerende forløpet være en kunstig effekt av vertikale bruddstrukturer?
2. Kan de vertikale bruddstrukturene være en kunstig effekt av den undulerende strukturen?
3. Kan den undulerende strukturen forklares med en stegvis bruddstruktur?
4. Kan den undulerende strukturen forklares med en stegvis bruddstruktur med vertikale bruddsoner under?

De modellberegningene som er foretatt er vist i figurene 22, 23, 24 og 25. For å forenkle modelloppbyggingen, er terrenget lagt ned i horisontal stilling, og tynne bruddsoner er modellert delvis som en skrå ansamling av enkeltceller. Det er også gjort forenklinger i selve modellene for i det hele tatt å kunne utføre disse modelleringene. Selve modelleringen foregår ved at en ut fra en gitt modell lager syntetiske data. Disse overlages noe støy (5%) for å gi den samme usikkerhet som ved målinger. De syntetiske data blir så invertert som om det var målte data, og

på denne måten kan en få kontroll på kunstige effekter som kan oppstå ved inverteringen av måledata.

1. Kan det undulerende forløpet være en kunstig effekt av vertikale bruddstrukturer?

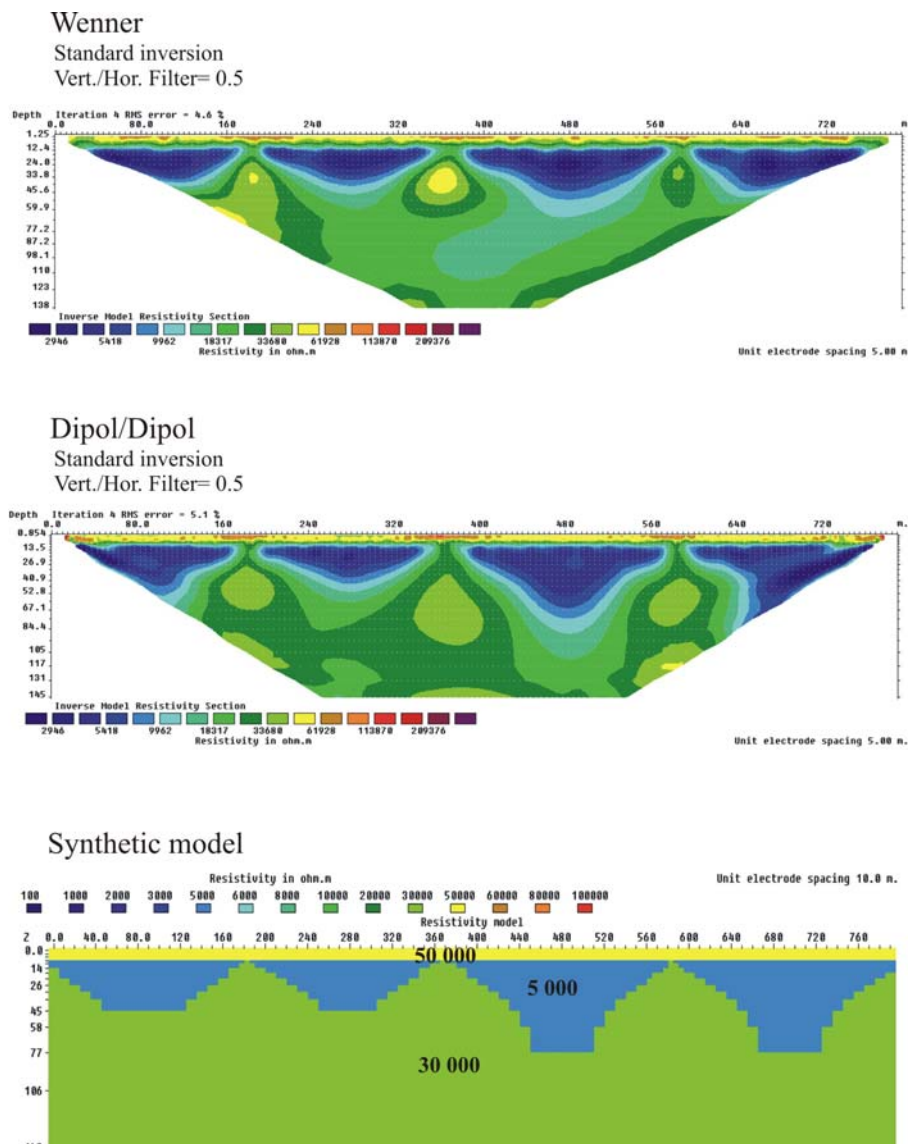
For å belyse dette spørsmålet, har en bygd opp en modell (se figur 22) bestående av horisontale lag med resistivitet 50 kΩm (10 meter drenert fjell/skredmasser), 5 kΩm (36 meter kraftig oppsprukket drenert fjell) og 30 kΩm (lite oppsprukket vannmettet fjell). I det nederste av disse lagene er det lagt inn vertikale strukturer med resistivitet 3 kΩm (vannmettede knusningssoner). Responsen både for Wenner- og Dipol/Dipol elektrodekonfigurasjoner viser en horisontal lagfølge som i modellen. I tillegg ser vi at Dipol/Dipol er i stand til å se de vertikale strukturene som her starter på 46 meters dyp, mens Wenner konfigurasjonen i praksis ikke gir respons på disse. Dette stemmer meget godt med det de målte profilene viser (se figur 21). Ut fra dette kan en konkludere at vertikale bruddsoner i dypet ikke kan forklare den undulerende strukturen som måledata viser.



Figur 22. Modellering av vertikale strukturer under horisontal lagdeling. Nederst vises syntetisk modell, over denne er responsen for Wenner- og Dipol/Dipol-konfigurasjon vist.

2. Kan de vertikale bruddstrukturene være en kunstig effekt av den undulerende strukturen?

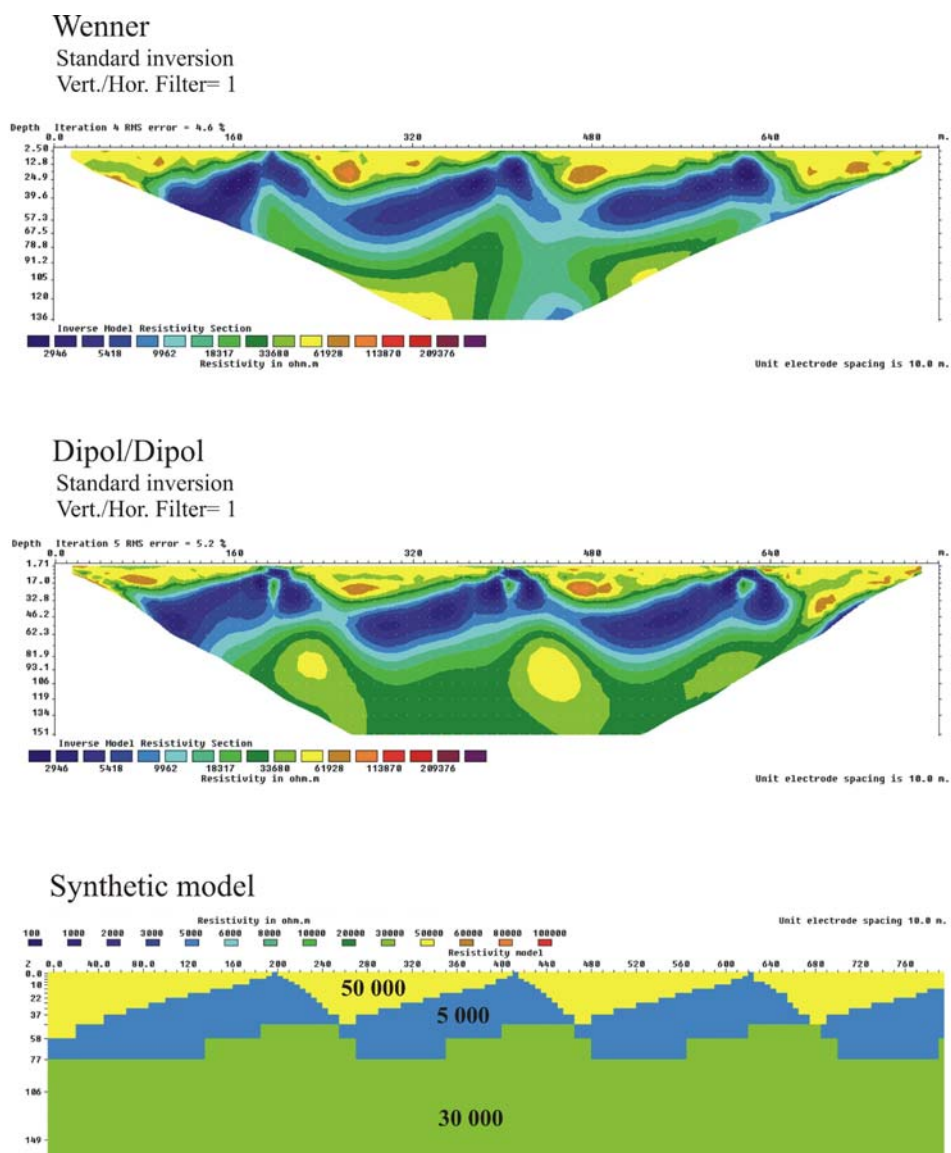
For å belyse dette spørsmålet, har en bygd opp en modell (se figur 23) bestående av et horisontalt lag med resistivitet 50 kΩm (10 meter drenert fjell/skredmasser), og under dette et undulerende lag med resistivitet 5 kΩm hvor maksimal tykkelse er 40 og 60 meter (vannmettet kraftig oppsprukket fjell), og under dette et nytt lag med resistivitet 30 kΩm (lite oppsprukket vannmettet fjell). Responsen både for Wenner- og Dipol/Dipol elektrodekonfigurasjoner viser et undulerende forløp, og i stedet for lavere motstand der det vannmettede kraftig oppsprukne laget kiler ut, indikeres høyere motstand. Ut fra dette synes det mindre sannsynlig at de vertikale strukturene som er spesielt fremtredende ved dipol/dipol-konfigurasjonen, er en kunstig effekt av et undulerende lag av vannmettet kraftig oppsprukket fjell.



Figur 23: Modelling av undulerende lagfølge. Nederst vises syntetisk modell, over denne responsen for Wenner- og Dipol/Dipolkonfigurasjon.

3. Kan den undulerende strukturen forklares med en stegvis bruddstruktur?

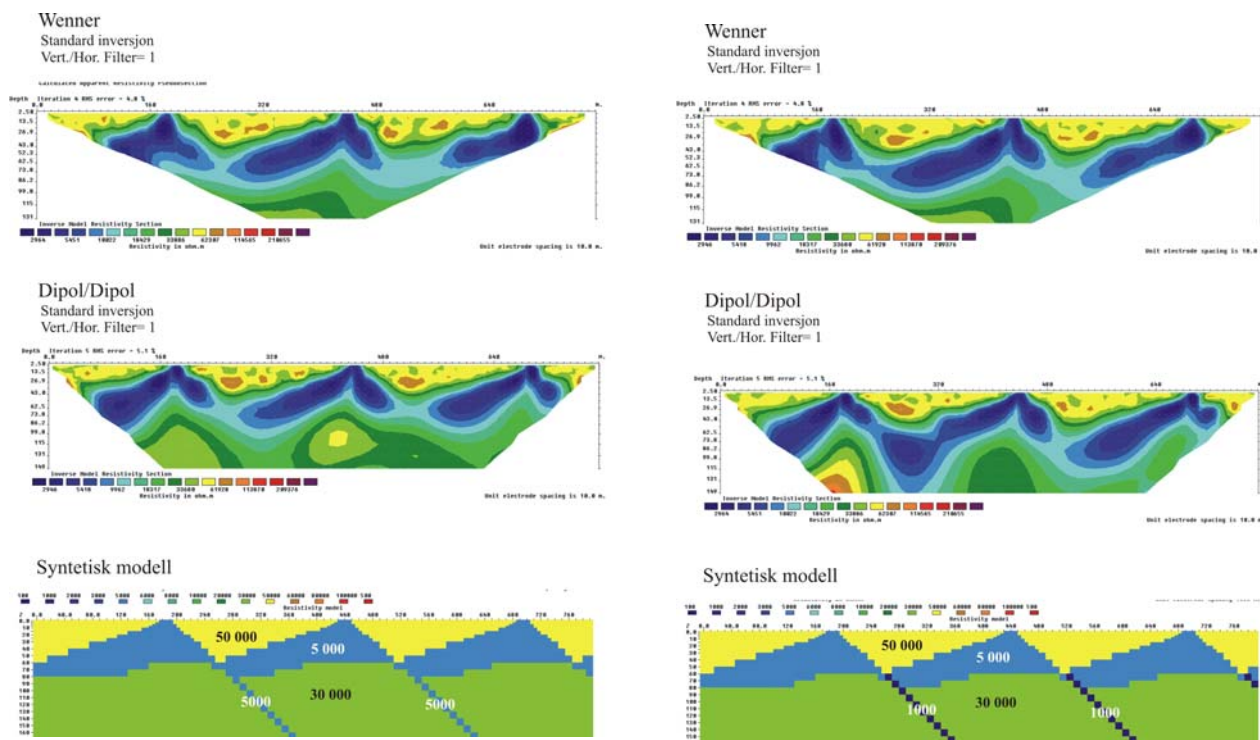
For å belyse dette spørsmålet, har en bygd opp en modell (se figur 24) bestående av den samme lagfølge som tidligere, drenert kraftig oppsprukket fjell (50 kΩm) over kraftig oppsprukket vannmettet fjell (5 kΩm) som igjen ligger over vannmettet lite oppsprukket fjell (30 kΩm). Den stegvise bruddstrukturen simuleres med en sagtannformet veksling i de to øverste lagene. Responsen både for Wenner- og Dipol/Dipol elektrodekonfigurasjon viser i hovedsak det samme forløpet. Den stegvise variasjonen i resistivitet bibeholdes under inverteringen både for Wenner og Dipol/Dipol, men med noen avrundinger for Dipol/Dipol. Ut fra dette synes det mindre sannsynlig at den undulerende strukturen måledata viser kan være en kunstig inversjonseffekt en stegvis bruddstruktur.



Figur 24: Modellering av stegvis bruddstruktur. Nederst vises syntetisk modell, over denne responsen for Wenner og Dipol/Dipolkonfigurasjon.

4. Kan den undulerende strukturen forklares med en stegvis bruddstruktur med vertikale bruddsoner under?

For å belyse dette spørsmålet, er modellen fra figur 24 supplert med vertikale bruddstrukturer som fortsetter mot dypet i det nederste laget (lite oppsprukket vannmettet fjell). Dersom en benytter samme resistivitet som i lagpakken med kraftig oppsprukket vannmettet fjell (5 kΩm) og en tykkelse av disse bruddsonene på i underkant av 10 meter, påvirkes ikke de inverterte seksjonene i særlig grad (figur 24 og 25 til venstre). Den stegvise formen fremstår også her, men med et noe lavere resistivitetsnivå mot dypet. Dersom resistiviteten i bruddsonene settes til 1 kΩm (figur 25 til høyre) indikeres en mer avrunding i strukturenes form, og en aner en kunstig effekt som ligner det undulerende mønsteret måledata viser. Målte resistivitetsverdier på sprekkesoner i borehullene viser sporadisk verdier ned mot 4 – 6 kΩm, men aldri så lavt som 1 kΩm, og tykkelsen av disse er sjeldent over 1 meter (Rønning m.fl. 2006, Elvebakk 2008). Dette betyr at en bruddsone opp mot 10 meters mektighet og en resistivitet på 5 kΩm er mer markert enn hva en kan forvente i feltet, og resistivitet 1 kΩm er urealistisk. Ut fra dette synes det mindre sannsynlig at den undulerende strukturen kan forklares som en kunstig effekt en stegvis bruddstruktur med vertikale bruddsoner under.



Figur 25: Modellering av stegvis bruddstruktur med vertikale bruddsoner under. Nederst vises syntetisk modell, over denne responsen for Wenner- og Dipol/Dipolkonfigurasjon. Resistiviteten i bruddsonene er satt til 5 kΩm (til venstre) og 1 kΩm (til høyre).

Konklusjon.

Som en konklusjon på dette arbeidet kan en si at det undulerende forløpet med indikasjoner på vertikale bruddsoner spesielt på Dipol/Dipolkonfigurasjonen synes reelle. De modeller som her er testet viser i alle fall ikke kunstige effekter som kan forklare forløpet.

4.2 Tykkelse av det ustabile fjellpartiet ved Åknes.

4.2.1 Tykkelse fra resistivitetmålinger.

Tykkelsen av det ustabile fjellpartiet er vanskelig å fastslå fra overflaten. Resistivitets-målingene indikerer en modell med kraftig oppsprukket drenert fjell over kraftig oppsprukket vannmettet fjell. Under dette kommer en lagpakke med resistivitetsverdier en kan forvente i massive grunnfjellsbergarter. Dersom en antar at det kraftige oppsprukne fjellet (både drenert og vannmettet) er en effekt av bevegelsene, kan en konkludere med at det ustabile fjellpartiet har en mektighet på 40 til 60 meter. Et av profilene ved øvre borehull indikerer imidlertid at det oppsprukne partiet har dybder på over 100m. Metoden har imidlertid ikke oppløsning til å si noe sikkert om resistivitetsverdiene på slike dyp, og mektigheten kan derfor være større også andre steder.

4.2.2 Tykkelse fra refraksjonsseismikk.

Dersom en har økende lyd hastighet mot dypet, vil refraksjonsseismikk som regel være en sikrere metode å bestemme mektighet av forskjellige lag. Det er målt fire refraksjonsseismiske profiler i feltet, og disse er tolket på tradisjonell måte med å anta en lagdelt modell, og delvis ved tomografisk inversjon. (Rønning m.fl. 2006, figur 18, 19, 20 og 21 i denne rapport). De tradisjonelle tolkningene viser ved alle profilene øverst meget lave p-bølge hastigheter (300 – 600 m/s). Dette tolkes som skredmasser/ur og tykkelsen varierer fra ca 1 meter til opp mot 10 – 12 meter. Under dette indikeres langs profil S3 (figur 17) et lag med hastighet 1000 – 1100 m/s, noe som klart indikerer drenerte masser. Dette laget kan ikke identifiseres ved noe annet profil, men kan opptre som et blindsonelag der tykkelsen er for liten til å kunne identifiseres. I alle profilene finner vi et lag med hastighet som varierer fra ca 1900 til 2600 m/s. Dette må representere kraftig oppsprukket fjell, og med støtte i resistivitetsdata og observasjoner i borehullene (Rønning m.fl. 2006, Elvebakk 2008) må dette laget være helt eller delvis drenert. Som lag nummer 3 i lagpakken indikeres hastigheter på 3800 – 3900 m/s (profil S2), 4000 m/s (profil S1), 4600 m/s (profil S4) og 4400 – 4800 m/s (profil S3). Det er uklart om dette representerer upåvirket fjell. Hastighet i størrelsesorden 4000 m/s i grunnfjell som her tolkes som moderat oppsprukket fjell. Langs profilene S3 og S4 hvor hastigheten i dette laget ligger i området 4400 til 4800 m/s er det noe mer usikkert. En skulle forvente noe høyere hastighet i massivt fjell, og profil S2 antyder en hastighet på 5500 m/s. Denne er imidlertid dårlig bestemt.

KH- 02 – øvre			KH- 03- Mitre			KH-2 Nedre		
Dyp (m)	Antall sprekker.	Spr.frek.	Dyp (m)	Antall sprekker.	Spr.frek.	Dyp (m)	Antall sprekker..	Spr.frek.
0 – 70	982	14,0	0 – 45	537	11,9	0 – 50	644	12,9
70 - 80	6	0,6	45 –104	483	8,2	50 –115	380	5,9
80 - 107	147	8,6	104-120	84	5,3	115-197	292	3.6
107-112	6	1,2	120-202	285	3,5			
112-155	236	5,5						
155-201	178	3,9						

Tabell 1: Antall sprekker og sprekkefrekvens i forskjellige dybdeintervall fra borehullene boret i 2006. Intervallene er bestemt ut fra en visuell evaluering av frekvenshistogram (Ganerød m.fl. 2007).

For å belyse om det kan være en sammenheng mellom stedvis relativt lave hastigheter mot dypet og en mulig dypere bevegelse, er oppsprekning i borehullene fra 2006 analysert i tabell 1. Alle tre borehullene viser en kraftig oppsprekning i de øvre deler (45 – 70 meter) der en finner sprekkefrekvenser i området 12 til 14 sprekker pr. meter. En ser også at det er relativt høye sprekkefrekvenser (5,9 til 8,6) ned til ca 100 meter i alle tre borehullene. Selv om noen av de påviste sprekkefrekvensene kan være skapt under boreprosessen, er dette unormalt høye sprekkefrekvenser, og disse kan forklare stedvis lave gjennomsnittshastigheter på større dyp. Selv om dette ikke er noe bevis for noe som helst, bør en være åpen for at det kan være bevegelser på dyp opp mot 100 meter, og at dette har påvirket oppsprekningsgraden i bergarten.

4.3 Homogenitet av det ustabile fjellpartiet ved Åknes.

På grunn av størrelsen på det ustabile ved Åknes, er de fleste geofysiske målingene utført for å få et bilde av store strukturene i området. Resistivitetmålinger med Wenner elektrodekonfigurasjon er mer følsom overfor horisontale lag, og gir derfor et forenklet bilde av resistivitetsforholdene i bakken. Dersom en sammenligner disse målingene med resultatene fra Dipol/Dipol, ser en at disse data viser flere detaljer. Forsøk på å invertere alle data fra de to konfigurasjonene samlet viste enda flere detaljer, og tilpasningen ble ikke så god. Dette viser at det ustabile fjellpartiet ved Åknes er mer inhomogent enn hva Wenner-data viser.

Den tradisjonelle tolkningen av de refraksjonsseismiske profilene gir også et forenklet bilde av geologien. Sammenligningen av tradisjonelle tolkninger og tomografisk inversjon langs profil S3 (se figur 19) viser at de to tolkningene i grove trekk stemmer, men at det kan være betydelig avvik på detaljnivå. Tomografisk inversjon av profil S4 viste dårlig samsvar med opprinnelig tolkning ved rekonstruksjonstest. Dette er også indikasjoner på inhomogene masser.

NGU samarbeider med Leibnitz Institute for Applied Geosciences i Hannover (GGA) om en samlet inversjon og tolkning av alle resistivitetsdata og de nevnte 3D refraksjonsseismiske data som ble samlet inn høsten 2007. Disse tolkningene vil bli rapportert separat (vitenskapelig publikasjon).

5. KONKLUSJON

I løpet av somrene 2006 og 2007 er det foretatt supplerende geofysiske målinger ved Åknes og ved Heggurdaksla i Tafjord. Ved Åknes er det nå totalt målt 10 km 2D resistivitet fordelt på 10 profiler, vel 1800 meter refraksjonsseismikk fordelt på 4 profiler og ca 8 km georadar fordelt på 10 profiler. Ved Heggurdaksla er det totalt målt 2 resistivitetsprofiler på 800 meter og ett georadarprofil på 800 meter.

De nye målingene i 2006 og 2007 har ikke kommet med vesentlig ny informasjon om utbredelse og tykkelse av det ustabile fjellpartiet ved Åknes, men har bekreftet konklusjonene fra forrige rapport (Rønning m.fl. 2006). Det er klare indikasjoner på at utbredelsen av det ustabile partiet er ca 500 x 1200 meter og at tykkelsen er fra 40 til ca 60 meter. Det finnes imidlertid indikasjoner på at tykkelsen av det ustabile fjellpartiet kan være opp mot 100 meter målt vinkelrett på fjellsiden. Resistivitetmålingene og til dels refraksjonsseismikken indikerer et undulerende mønster på det ustabile fjellpartiet, og hvor det også indikeres enkelte mer eller mindre vertikale bruddsoner. Det er reist noen kritiske spørsmål til dette, men modellberegninger indikerer at de strukturer som vises synes reelle. Georadar viser en

opp hopning av reflektorer der grunnvannet ligger dagnært, og enkelte reflektorer avspeiler grunnvannsnivå. Alternative tolkningsmetoder antyder at det oppsprukne fjellpartiet er mer inhomogent enn opprinnelig tolket. Dette er tema i et pågående forskningsprosjekt der 3D refraksjonsseismikk samtolkes med de andre datasettene fra Åknes.

Et nytt resistivitetsprofil ved Hegguraksla i Tafjord bekrefter tidligere tolkning. Målinger med georadar indikerer stedvis stor oppsprekning.

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.

Elvebakk, H. 2008: Borehullslogging, Åknes, Stranda kommune. NGU Rapport 2008.030, 35 sider.

Ganerød, G.V. 2007: Applied Structural Geology – Case Studies of underground Constructions and Rockslides. Ph.D Thesis, 3rd paper. Department of Earth Science, University of Bergen.

Ganerød, G.V., Grøneng, G., Aardal, I.B. & Kveldsvik, V. 2007: Logging of drill cores at Åknes, Stranda municipality, Møre and Romsdal County. NGU Report 2007.020, 202 pp. + pictures.

Ganerød, G.V. 2008: Structural mapping of the Åknes Rockslide, Møre and Romsdal County, Western Norway. NGU Report 2008.042, 34 pp.

Ganerød, G.V., Grøneng, G., Rønning, J.S., Dalsegg, E., Elvebakk, H., Tønnesen, J.F., Kveldsvik, V., Eiken, T., Blikra, L.H. & Braathen, A., in press 2008: Geological model of the Åknes Rockslide area, western Norway. Engineering Geology. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.01.018>

Heincke, B., Günther, T., Dalsegg, E., Rønning, J.S., Ganerød, G.V. & Elvebakk, H. 2008: Three-dimensional structural joint inversion of electric and seismic tomography data from the Åknes rockslide in western Norway. Publikasjon under utarbeidelse.

Loke, M.H. 2007: RES2INV ver. 3.56. 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, 66 sider.

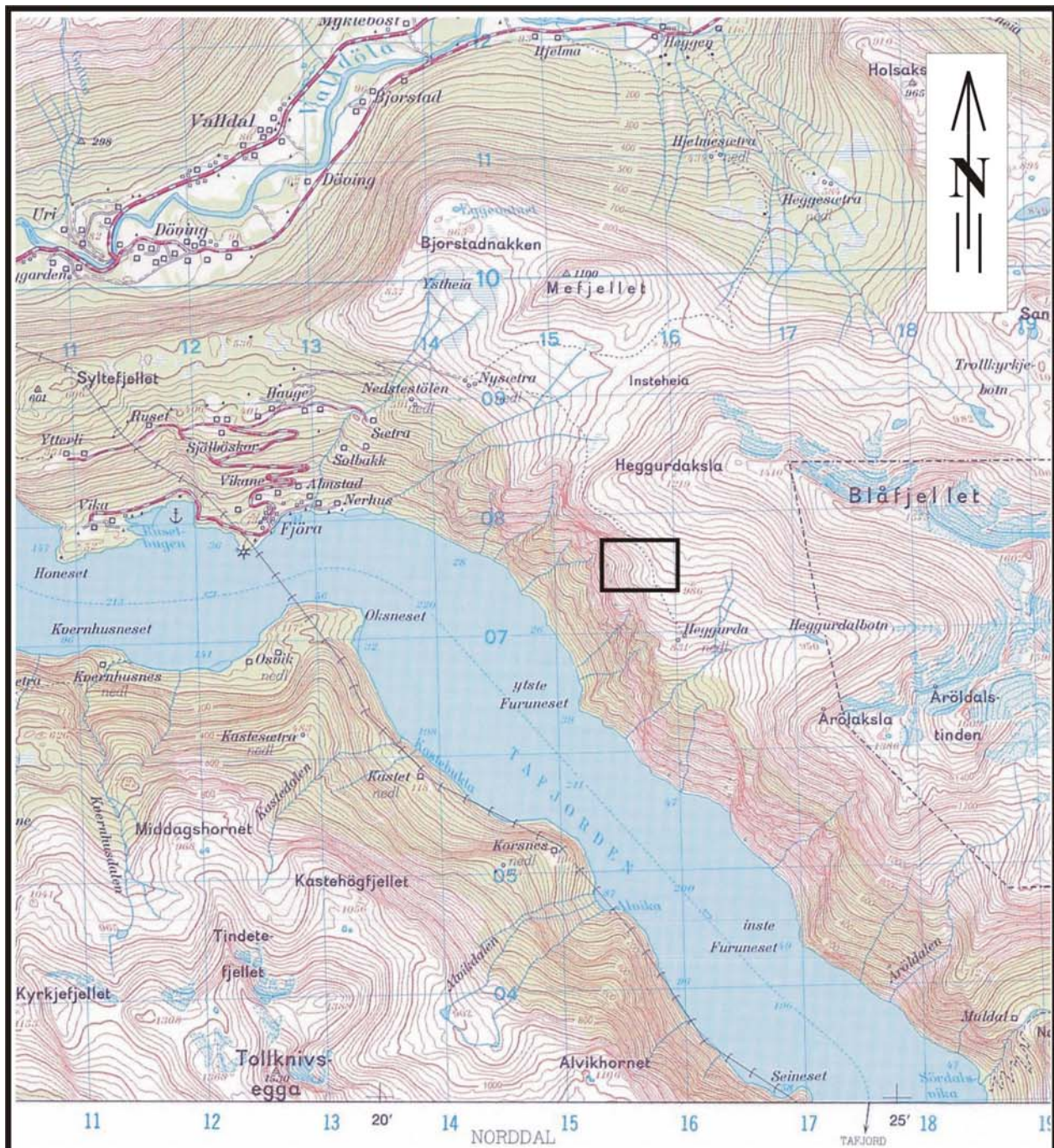
Innmålte profiler (WGS-84)

Profil	Koordinat	UTM-øst (WGS-84)	UTM-nord (WGS-84)
P 1 (2D Res.)	0	395374	6896360
	50	395384	6896318
	100	395403	6896280
	150	395423	6896237
	200	395446	6896200
	250	395465	6896159
	300	395475	6896114
	334	395482	6896083
	350	395488	6896071
	400	395499	6896029
	450	395516	6895995
	492	395533	6895980
	500	395539	6895967
	547	395529	6895938
	600	395564	6895904
	665	395599	6895865
	682	395608	6895852
	700	395617	6895839
	800	395666	6895771
	P 2 (2D Res.)	870	395675
920		395667	6895650
1000		395672	6895611
1070		395691	6895560
1160		395697	6895491
1200		395703	6895453
1320		395743	6895362
1400		395800	6895334
1590		395893	6895204
1695		395949	6895138
1785		395957	6895060
0		395281	6896325
100		395296	6896242
200		395320	6896149
300		395338	6896058
320		395343	6896035
470		395371	6895961
500		395379	6895939
600		395430	6895868
700		395475	6895799
800	395504	6895727	
900	395544	6895654	
1000	395575	6895590	
1200	395627	6895424	
1400	395644	6895267	
1520	395672	6895172	
1600	395710	6895111	
1800	395799	6894986	
P 3 (2D Res.)	0	395157	6895796
	100	395254	6895804
	200	395347	6895809
	260	395404	6895815
	300	395438	6895821
	400	395532	6895848

	500	395629	6895864
	600	395726	6895884
	700	395819	6895910
	800	395906	6895960
	900	395976	6895999
	1000	396061	6896044
P 4 (2D Res.)	0	395132	6895660
	100	395208	6895670
	150	395245	6895668
	200	395289	6895666
	400	395477	6895666
	455	395526	6895680
	500	395575	6895690
	600	395669	6895705
	700	395748	6895732
	800	395844	6895778
	900	395941	6895806
	1000	396036	6895840
P 5 (2D Res.)	0	395355	6895429
	100	395444	6895433
	200	395544	6895425
	300	395630	6895460
	400	395738	6895469
	500	395816	6895510
	600	395906	6895559
	700	395990	6895588
	780	396061	6895633
	800	396076	6895642
	900	396153	6895696
	1000	396195	6895780
P 6 (2D Res.)	0	395122	6896840
	100	395212	6896106
	200	395292	6896115
	300	395379	6896100
	400	395471	6896101
	500	395566	6896115
	600	395653	6896153
	700	395734	6896203
	800	395802	6896249
P 7 (2D Res.)	0	395552	6895076
	170	395679	6895187
	295	395758	6895264
	400	395834	6895326
	590	395977	6895444
	620	396002	6895437
	745	396110	6895482
	800	396150	6895525
P 8 (2D Res)	0	395901	6896269
	100	395869	6896180
	200	395825	6896093
	300	395780	6896010
	400	395722	6895930
	500	395662	6895861
	600	395609	6895778
	700	395541	6895716
	800	395423	6895575
	900	395482	6895644
	1000	395363	6895507
P 9 (2D Res)	0	395704	6895908
	100	395646	6895835

	200	395592	6895759
	300	395524	6895695
	400	395459	6895625
P 10 (2D Res)	0	395695	6895951
	100	395691	6895870
	200	395686	6895783
	300	395670	6895689
	400	395667	6895620
R 3 (GPR)	0	395370	6895959
	følger P 2		
	slutt		
R 4 (GPR)	0	395197	6895814
	følger P 3		
	krysser P 1		
	slutt		
R 5 (GPR)	0	395240	6895679
	følger P 4		
	krysser P 2		
	slutt		
R 6 (GPR)	0	395735	6895945
	følger P 8		
	slutt		
R 7 (GPR)	0	395695	6895951
	følger P 10 til 400		
	følger P 1 derfra		
	slutt		
R 8 (GPR)	0	395837	6895301
	følger P 7		
	slutt		
R 9 (GPR)	0	395552	6895076
	følger P1 fra koord. 71		
	slutt		
R 10 (GPR)	0	395846	6895340
	følger P 5		
	slutt		
S 1 (Seismikk)	0	395935	6895121
	120	395910	6895578
	240	395346	6895444
S 3 (Seismikk)	Skuddpunkt 1	395346	6895444
	65	395564	6895904
	110	395645	6895820
	220	395695	6895719
	330	395153	6895808
	440	395219	6895801
	550	395262	6895811
	660	395381	6895805
	770	395483	6895830
	880	395586	6895853
	990	395695	6895875
Bh 1		395813	6895917
Bh 2		395917	6895961
Bh 3		396006	6896011
P 1 Hegguraksla (2D Res.)	0	396092	6896073
	200	395619	6895736
	300	395427	6895815
	340	395839	6895312
	400	415444	6907534
	430	415598	6907569
	430	415659	6907615
	430	415684	6907628
	430	415722	6907665
	430	415742	6907685
	500	415788	6907728

	600	415854	6907781
	700	415931	6907838
	800	416016	6907878
P2 (Hegguraksla)	0	415412	6907655
	100	415485	6907606
	200	415564	6907556
	300	415621	6907510
	400	415701	6907463
	500	415790	6907426
	600	415862	6907359
	700	415938	6907303
	800	416013	6907234



UNDERSØKT OMRÅDE

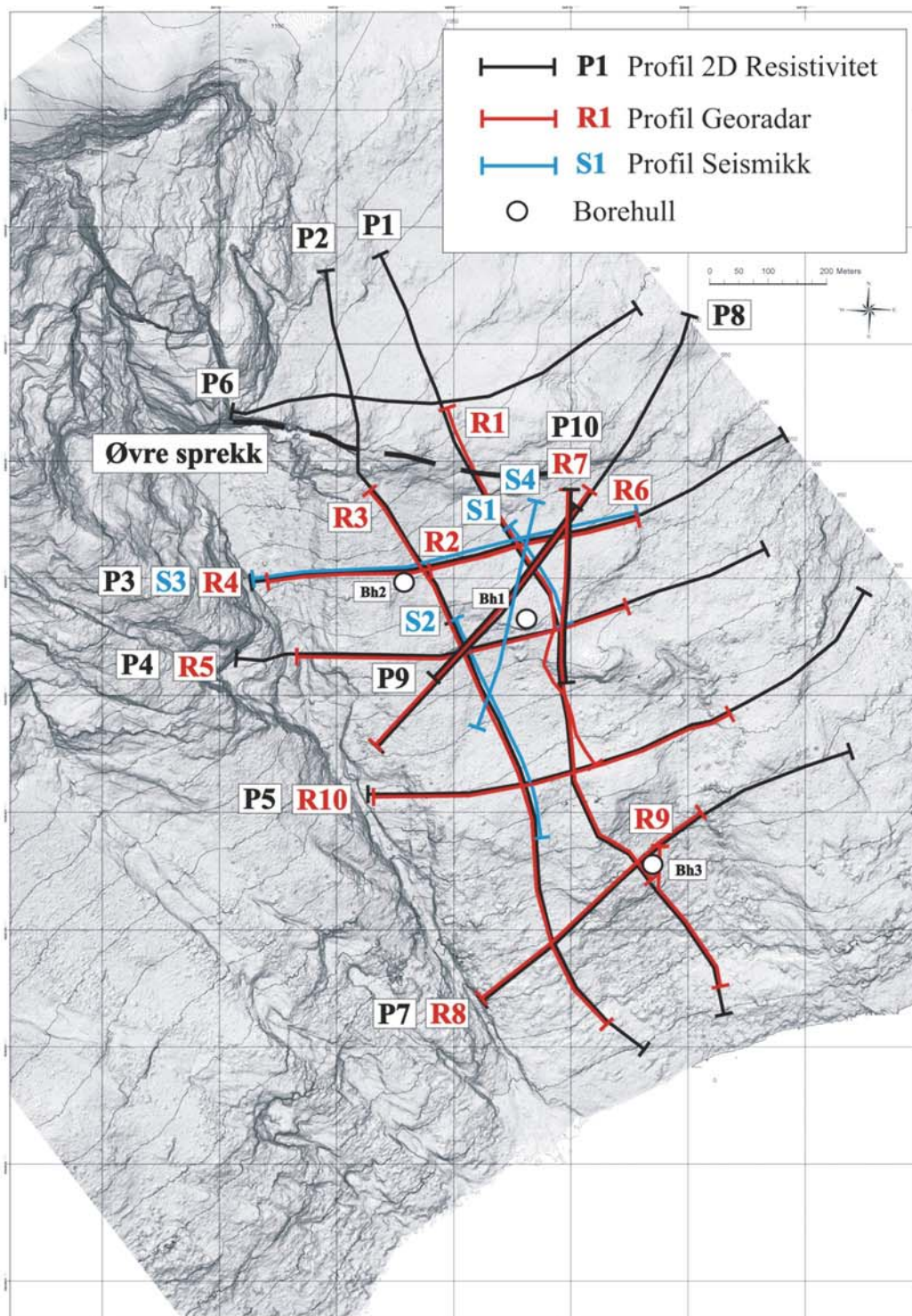
ÅKNES/TAFJORD PROSJEKTET
 OVERSIKTSKART
HEGGURAKSLA
 NORDDAL, MØRE OG ROMSDAL

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

MÅLESTOKK 1:50 000	MÅLT E.D.	2005 og 2006
	TEGN E.D.	April 2007
	TRAC	
	KFR	

KARTBILAG NR
2007.026-02

KARTBLAD NR
1319 IV



ÅKNES/TAFJORD PROSJEKTET
 OVERSIKTSKART MED GEOFYSISKE PROFILER
ÅKNES
 STRANDA, MØRE OG ROMSDAL

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

MÅLESTOKK

1 : 10 000

MÅLT ED-HE 2004/2005/2006

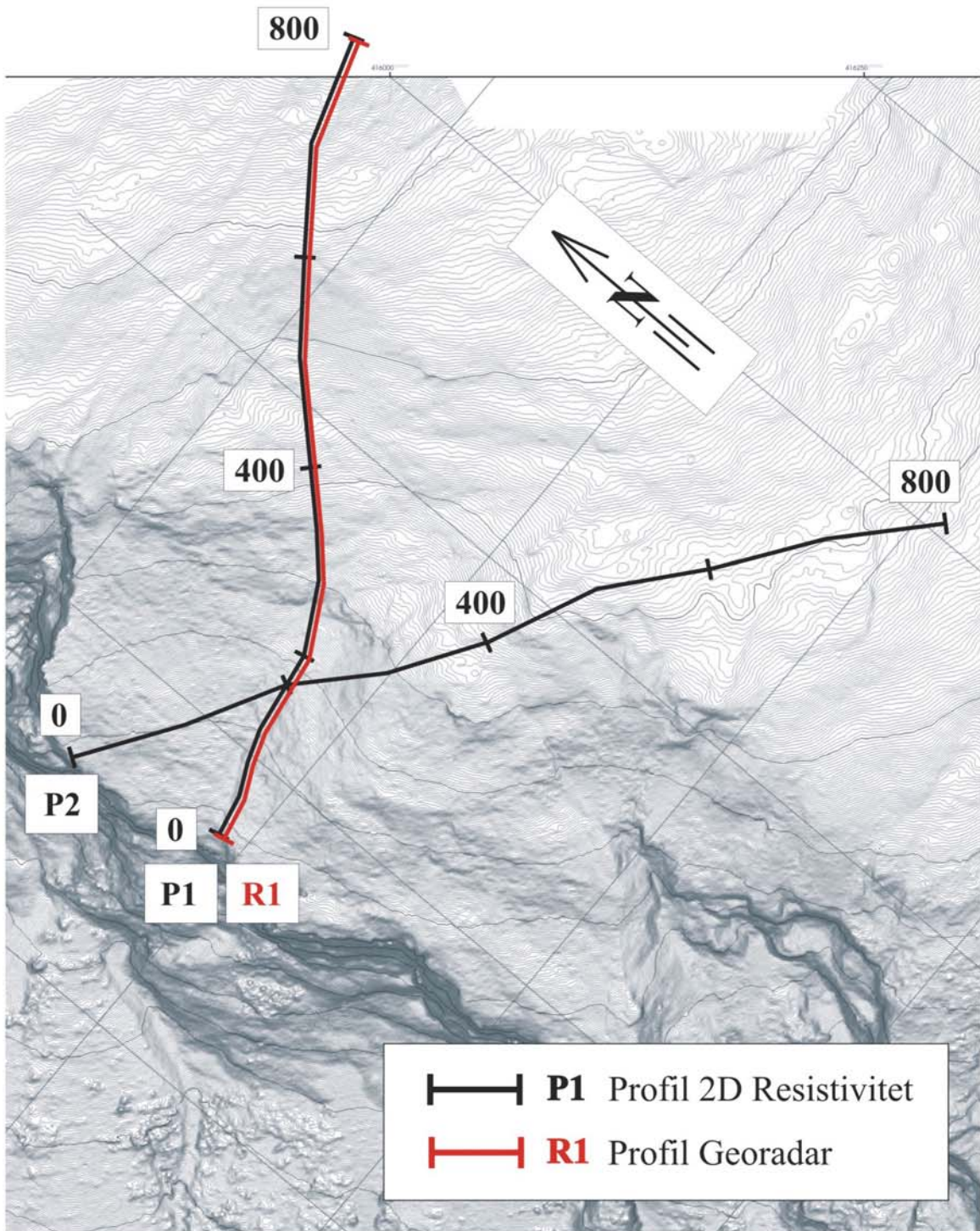
TEGN E.D. April 2007

TRAC

KFR

KARTBILAG NR
 2007.026-03

KARTBLAD NR
 1219 II



ÅKNES/TAJFORD PROSJEKTET
 OVERSIKTSKART MED GEOFYSISKE PROFILER
HEGGURAKSLA
 NORDAL, MØRE OG ROMSDAL
 NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

MÅLESTOKK 1:5 000	MÅLT E.D.	2005-2006
	TEGN E.D.	April 2007
	TRAC	
	KFR	
KARTBILAG NR 2007.026-04	KARTBLAD NR 1319 IV	