

NGU Rapport 2010.050

Geologisk og geofysisk kartlegging av Gikling,  
et ustabil fjellparti i Sunndalen, Møre og  
Romsdal



Rapport nr.: 2010.050		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Geologisk og geofysisk kartlegging av Gikling, et ustabil fjellparti i Sunndalen, Møre og Romsdal			
Forfatter: Einar Dalsegg, Jan Steinar Rønning, Jan Fredrik Tønnesen, Aline Saintot og Guri V. Ganerød		Oppdragsgiver: NVE- M&R FK - NGU	
Fylke: Møre og Romsdal		Kommune: Sunndal	
Kartblad (M=1:250.000) Ålesund		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1420 II Romfo	
Forekomstens navn og koordinater: Gikling 32V 492800 - 6946400		Sidetall: 31 Kartbilag:	Pris: 120,-
Feltarbeid utført: 2008	Rapportdato: 13.12.2010	Prosjektnr.: 309900	Ansvarlig: <i>Dyrdain Nordgulen</i>
Sammendrag:			
<p>Gikling ligger i Sunndalen i Møre og Romsdal. Dalen har VNV-ØSØ retning, bratte dalsider og U-form dannet av iserosjon. I Sunndalen har 11 historiske fjellskred forekommet og 5 nye potensielle fjellskred er identifisert (Figur 1, Saintot et al., 2008). Et av de nye potensielle fjellskredene er den ustabile gravitasjonsskråningen Gikling, som først ble kartlagt av Henderson &amp; Saintot (2007) og senere mer detaljert kartlagt av Saintot et al. (2008, NGU rapport 2008.049). For å få et klarere bilde av det ustabile fjellpartiets dimensjoner og oppbygning, er det utført geofysiske undersøkelser med 2D resistivitet og seismikk. Det er målt to profiler resistivitet med samlet lengde 3800 meter og ett refraksjonsseismisk profil på 1440 meter.</p> <p>Ut fra de geofysiske data ser det ut til at det ustabile fjellpartiet ved Gikling har noe større utbredelse enn tidligere antatt. Geofysikken viser videre at det ustabile fjellpartiet er lagdelt hvor en øverst finner et intenst oppsprukket lag med meget høy resistivitet (<math>&gt; 60 \text{ k}\Omega\text{m}</math>) og til dels meget lav seismisk hastighet (<math>&lt; 900 \text{ m/s}</math>). Laget tykkelse varierer mellom 20 og 30 meter. Den ekstremt høye resistiviteten viser at laget er drenert. Under dette finnes en ny lagpakke som også er oppsprukket (seismisk hastighet 2000 til 2500 m/s) men dette laget er trolig vannmettet med normalt resistivitetsnivå. Gjennomsnittlig tykkelse av oppsprukket fjell er tolket til ca. 50 meter langs det øst-vest-gående profilet. Tykkelsen i nord-sør-retning er usikker på grunn av manglende data. Ut fra foreliggende data tolkes arealet av det ustabile partiet til ca. 925000 m<sup>2</sup>. Det totale volum av ustabil fjell blir ut fra dette ca. 46 Mm<sup>3</sup>.</p>			
Emneord:	Kartlegging	Geofysikk	
Skred	Strukturgeologi	Resistivitet	
Refraksjonsseismikk		Fagrapport	



## INNHold

1. INTRODUKSJON .....	7
2. GEOLOGISK BESKRIVELSE AV OMRÅDET .....	7
3. TIDLIGERE ARBEID .....	8
4. GEOFYSIKK .....	16
5. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE .....	16
5.1 Resistivitetsmålinger .....	16
5.2 Refraksjonsseismiske målinger .....	17
6. RESULTATER .....	18
6.1 2D resistivitet.....	18
6.2 Seismikk .....	22
7. NYTT KART OG KONKLUSJON.....	26
8. REFERANSER .....	27
VEDLEGG .....	28

## FIGURER

Figur 1. Kart over Sunndalen som viser både historiske og nye potensielle fjellscred. ....	7
Figur 2. Geologisk berggrunnskart over Sunndalen i Møre og Romsdal fylke .....	8
Figur 3. Flyfoto som viser de tre forskjellige områdene i nærheten av Gikling og profil av potensielle geometri av skredområder A og B .....	9
Figur 4. Område C på Gikling sett fra luften. ....	10
Figur 5. Det ustabile fjellpartiet Gikling område A og B.....	12
Figur 6. Detaljert kartlegging av strukturer i det ustabile fjellpartiet Gikling. ....	13
Figur 7. Berggrunnsgeologisk kart over Gikling .....	15
Figur 8. Oversiktskart over plassering av 2D resistivetsprofil og seismikkprofil .....	18
Figur 9. Profil 1 viser en kompakt og lite oppsprukket bergart i dypet. ....	20
Figur 10. Det øvre partiet i Profil 2 viser drenert og oppsprukket materiale. ....	21
Figur 11. Refraksjonsseismikk for Gikling i V-Ø retning .....	24
Figur 12. Sammenstilling av refraksjonsseismikk og resistivitet langs profil 2 .....	25
Figur 13. Nytt kart over plassering av 2D resistivetsprofil, seismikkprofil og resistivetsanomaliene på Gikling .....	26

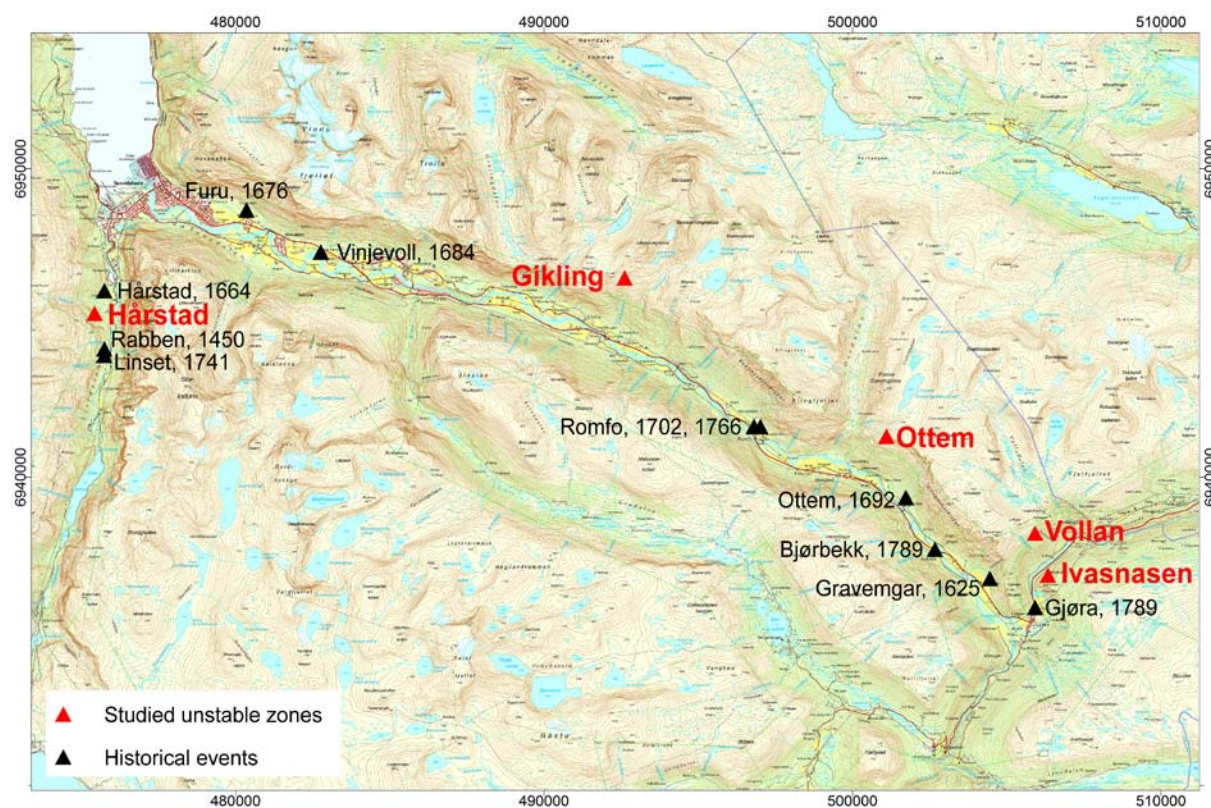
## VEDLEGG

Tabell 1. GPS-posisjoner (WGS-84-32V). ....	28
Oversiktskart over Gikling (Kartbilag 2010.050-01)	
Resistivetsprofil 1 uten tolkning	
Resistivetsprofil 2 uten tolkning	



## 1. INTRODUKSJON

Gikling ligger i Sunndalen som er en ca. 35 km lang dal. Dalen har VNV-ØSØ retning, bratte dalsider og U-form dannet av iserosjon. I Sunndalen og omegn har 11 historiske fjellskred forekommet og 5 nye potensielle fjellskred er identifisert (Figur 1, Saintot et al., 2008). Et av de nye potensielle fjellskredene er den ustabile gravitasjonsskråningen Gikling, som først ble kartlagt av Henderson & Saintot (2007) og senere mer detaljert kartlagt av Saintot et al. (2008). Den geologiske kartleggingen er fulgt opp med geofysiske undersøkelser med 2D resistivitet og seismikk henholdsvis i 2008 og 2009. Denne rapporten presenterer resultatene fra disse undersøkelsene.

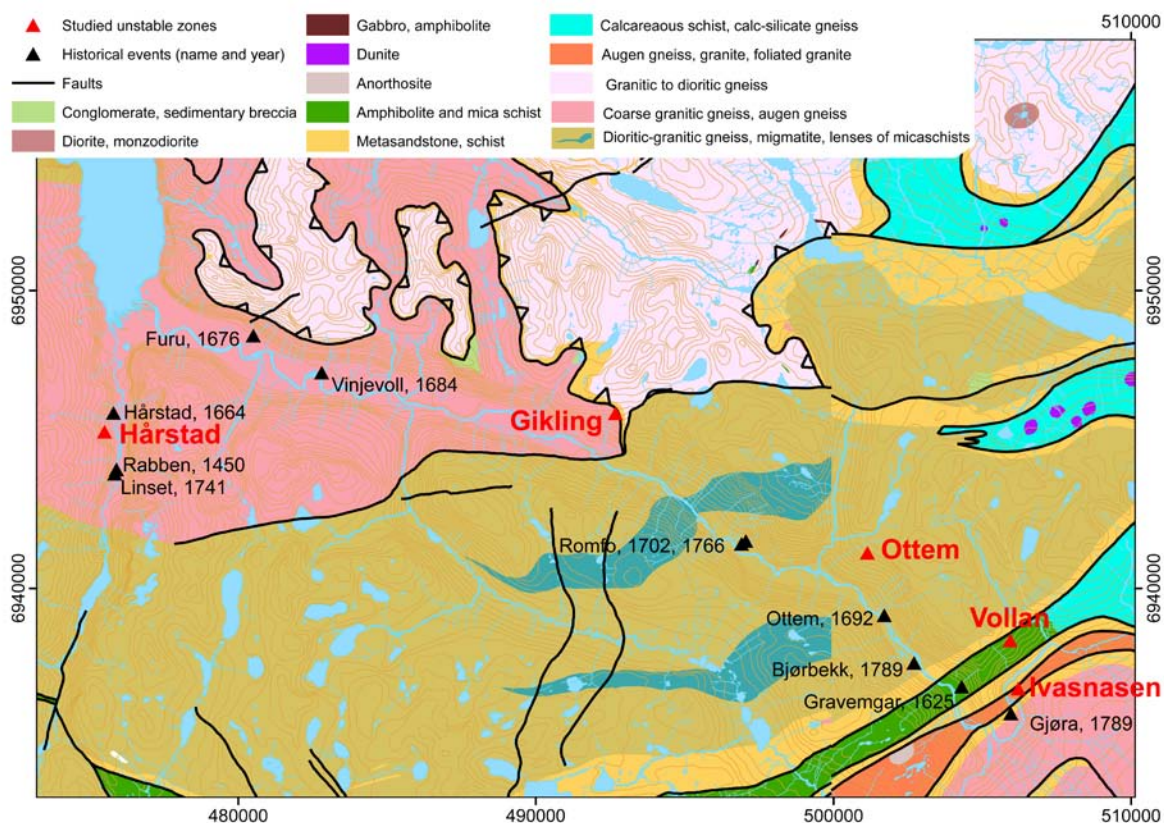


Figur 1. Kart over Sunndalen som viser både historiske fjellskred (skrednett.no) og nye potensielle fjellskred, deriblant Gikling (Saintot et al., 2008).

## 2. GEOLOGISK BESKRIVELSE AV OMRÅDET

Området ved Sunndalen består av tre tektoniske enheter som hovedsakelig inneholder gneis (Figur 2). Sunndalen er erodert ned i to prekambriske gneisenheter i det autoktone (stedegne) grunnfjellet, som i dag er adskilt av en steil tektonisk kontakt. Den autoktone enheten i østlige del av dalen består av linser med glimmerskifer som lokalt går på tvers av dalen. I nord til nordvest ligger enheter fra midtre allocton som består av prekambriske granittisk til diorittisk

gneiser. Kontakten mellom den underliggende autoktone enheten og den øvre alloktone enheten er en nær horisontal skyvesone som ligger i et tynt lag av metasandstein og skifer (Figur 2). I den østligste delen av studieområdet forekommer et smalt bånd av 4 forskjellige, svært strekte tektoniske enheter som tilhører den autoktone enheten, samt den midtre og øvre alloktone enheten. Kontakten mellom disse enhetene er store forkastningssoner (Figur 2, Saintot et al., 2008).



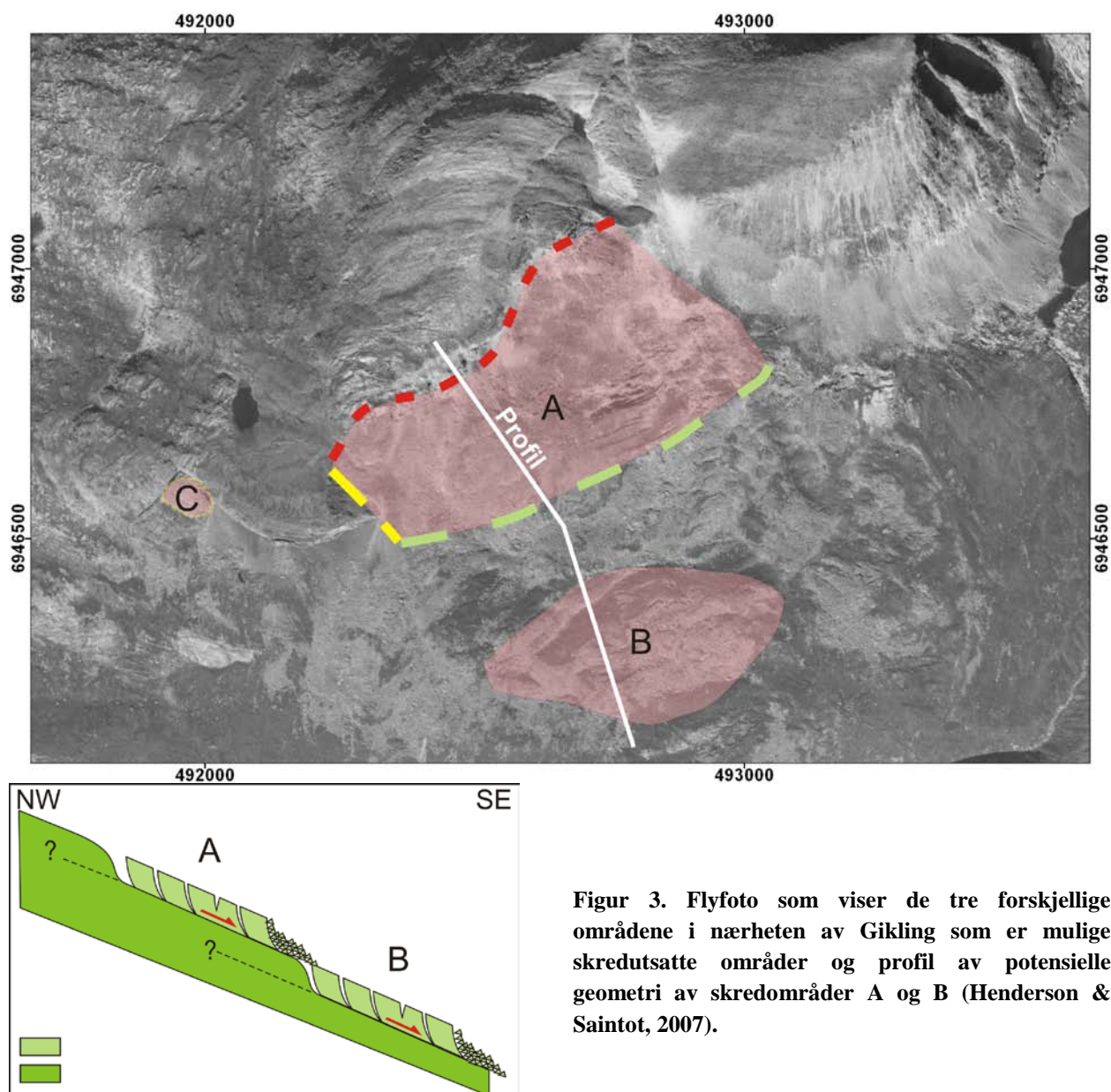
Figur 2. Geologisk berggrunnskart over Sunndalen i Møre og Romsdal fylke (Saintot et al., 2008), hvor de historiske fjellskredene er markert med svart trekant og skrift, mens de nye potensielle fjellskredene er markert med rød trekant og skrift (Berggrunnsgeologien fra Tveten et al., 1998).

### 3. TIDLIGERE ARBEID

Arbeidet med fjellskredområdet Gikling i Sunndalen, Møre og Romsdal, begynte i 2006 med et rekognoseringsarbeid av Henderson & Saintot (2007). Dette området viste seg å være komplekst med flere forskjellige områder og størrelser på de skredutsatte områdene. Disse områdene vises klart på flybildet (Figur 3). Flybildet viser at det er to store områder med VSV-ØNØ - gående sprekker i område A og område B. Begge områdene har store sprekker over hele sin bredde og disse strukturene er stort sett gjennomgående i strøklengden. Sprekkene kan være opp til flere meter brede og mange

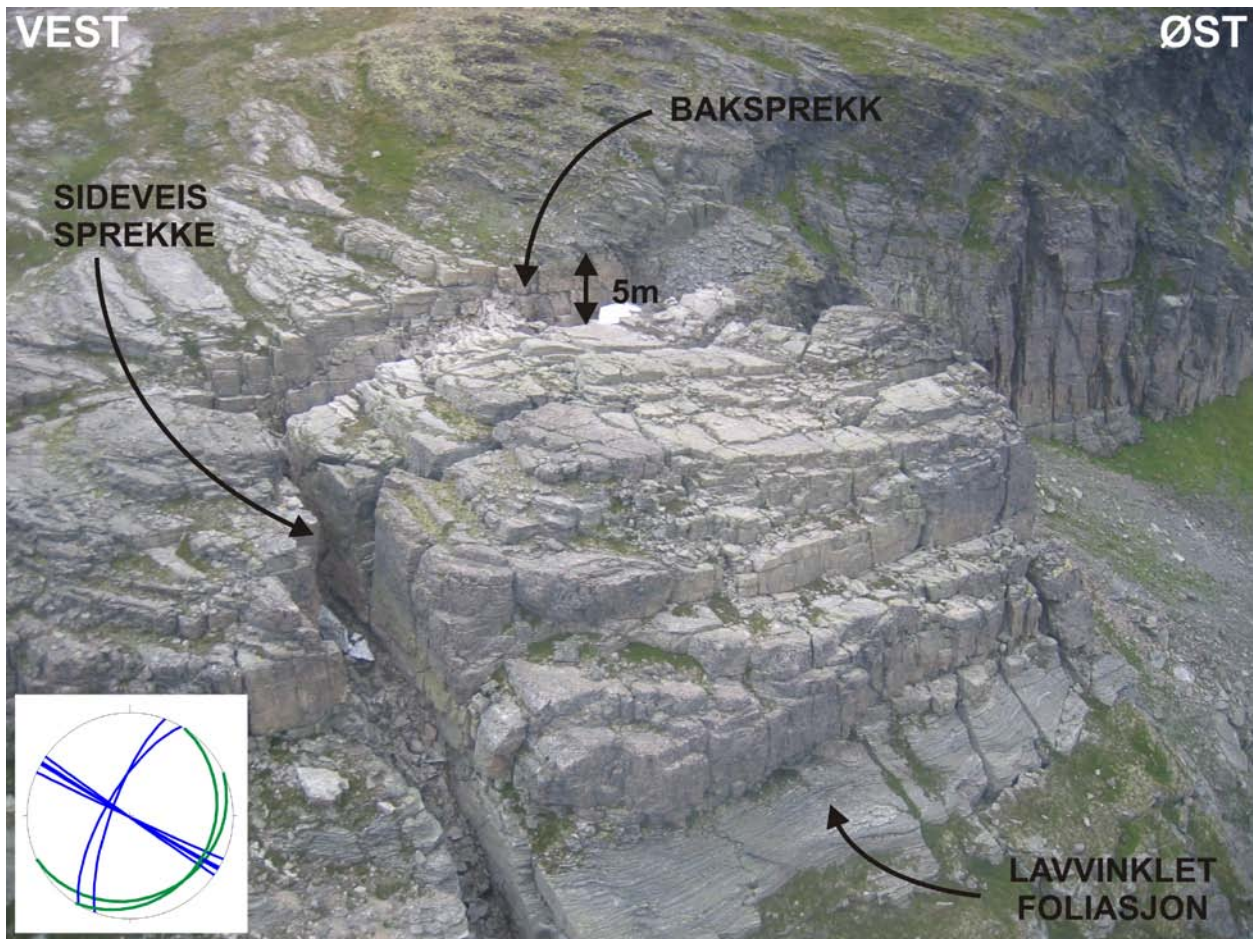


meter dype. **Område A** er det største og er avgrenset øverst med en stor sprekk med betydelig bevegelse. Den vestlige begrensningen av område A er definert av en sideveis forkastning. Den nedre begrensningen av område A er sannsynligvis et lavvinklet glideplan som ligger under (Figur 3). **Område B** har mindre areal, men de samme retninger og typer av sprekker er observert (Figur 3). **Område C** ligger noen hundre meter mot vest og er betydelig mindre i areal enn områdene A og B. Her er det mer synlig tegn på nylig bevegelse enn i noen av de andre, større områdene, fordi det her er observert ferske vegger på forkastningene og ikke like mye gjengrodde overflater. Her er det en stor baksprekk med flere meter bevegelse nedover mot dalen (Figur 4). Selve blokken er meget oppsprukket med åpne sprekker med NNØ-SSV og Ø-V til NV-SØ retning. Alt tyder på at en utglidning har skjedd langs den lavvinklede foliasjonen som faller ut mot dalen (Figur 4, Henderson & Saintot, 2007).



Figur 3. Flyfoto som viser de tre forskjellige områdene i nærheten av Gikling som er mulige skredutsatte områder og profil av potensielle geometri av skredområder A og B (Henderson & Saintot, 2007).

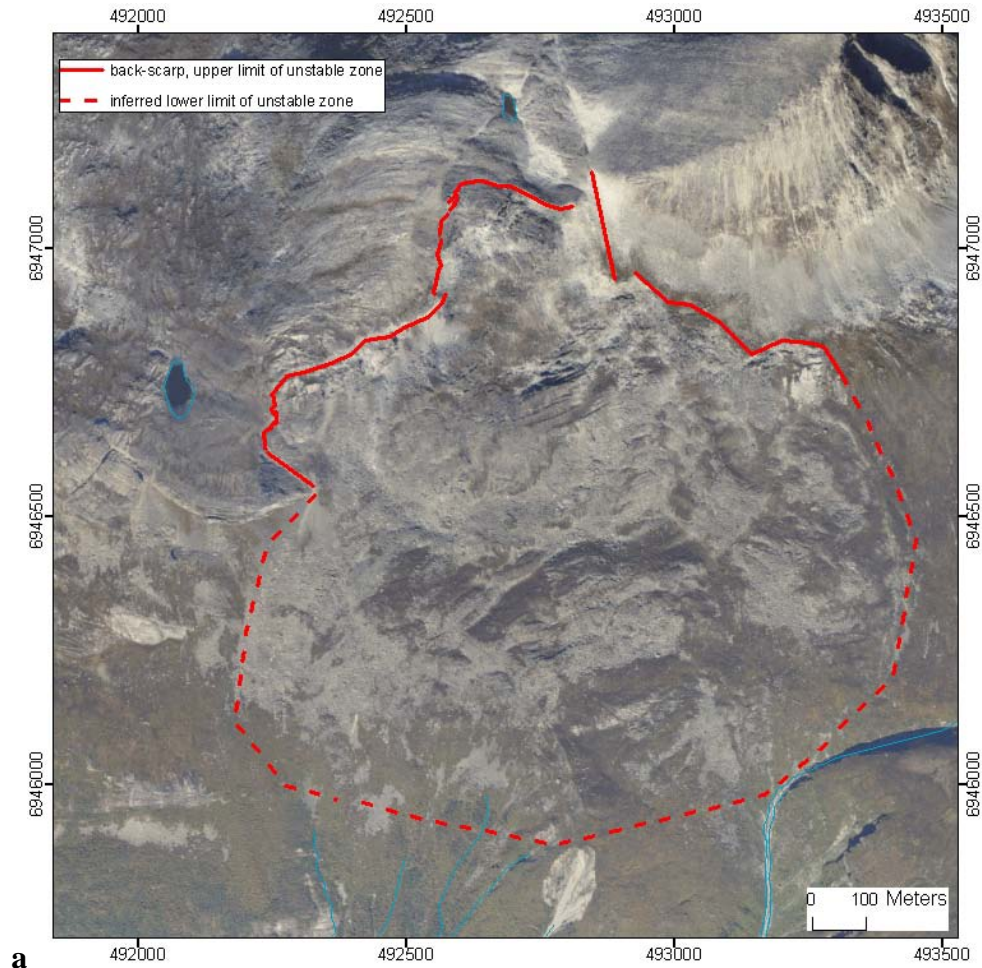
Selv om det har blitt gjort bare noen få observasjoner på de tre områdene på Gikling, er det mulig å fastslå noen mulige volumer på de tre forekomstene. Vår erfaring fra resten av Norge viser at det geometriske mønster som er sett på alle tre områder er like og ligner mange av de store utglidningsfenomener som er observert andre steder i Norge. Vi foreslår derfor en enkel geometrisk modell, hvor de store sprekkefeltene ligger over et lavvinklet glideplan som faller mot dalen. Hvis vi antar nøkternt en dybde til glideplanene på 50 m, vil område A ha et volum på ca.  $10,5 \text{ Mm}^3$  og område B ca.  $4,0 \text{ Mm}^3$ . Område C er beregnet til et volum på  $125.000 \text{ m}^3$  med en antatt dybde på 50 m (Henderson & Saintot, 2007). Etter videre studie er volumestimatet av område C økt til  $0,7 \text{ Mm}^3$  (Saintot et al., 2008).

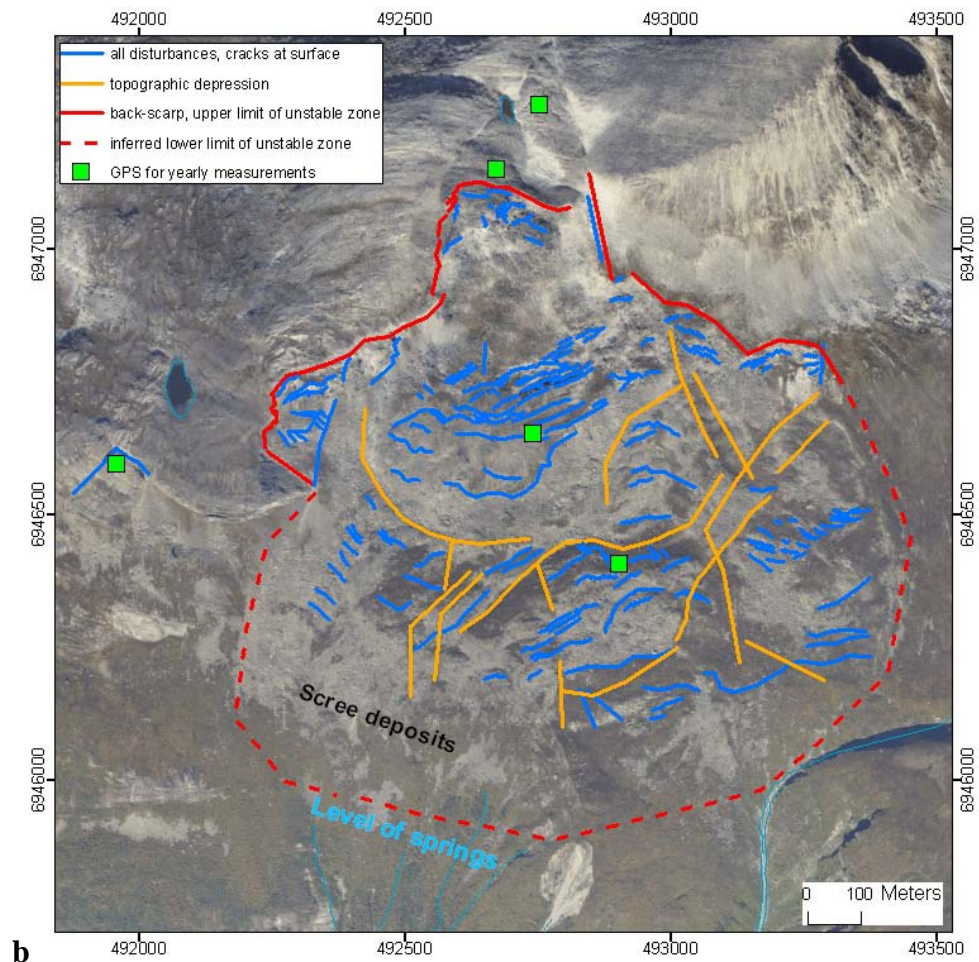


Figur 4. Område C på Gikling sett fra luften. Blokken er ca. 100 m lang og 25 m bred. Høyden av blokken er hittil ukjent. Det er sannsynligvis en lavvinklet foliasjon i bergarten som har forårsaket utglidning og utvikling av sprekkemønstrene (Henderson & Saintot, 2007). Tre dominerende sprekkesett er senere kartlagt ved denne blokken; et sprekkesett som er parallelt med foliasjonen med slakt fall mot dalen, og to steile sprekkesett med NNØ-SSV og NV-SØ retning. Volumet på blokken er estimert til ca  $0,7 \text{ Mm}^3$  (Saintot et al, 2008).

En mer detaljert kartlegging ble utført av Saintot et al. (2008), hvor blant annet område A og B som er beskrevet ovenfor ble slått sammen og utvidet (Figur 5). Det ustabile fjellpartiet Gikling

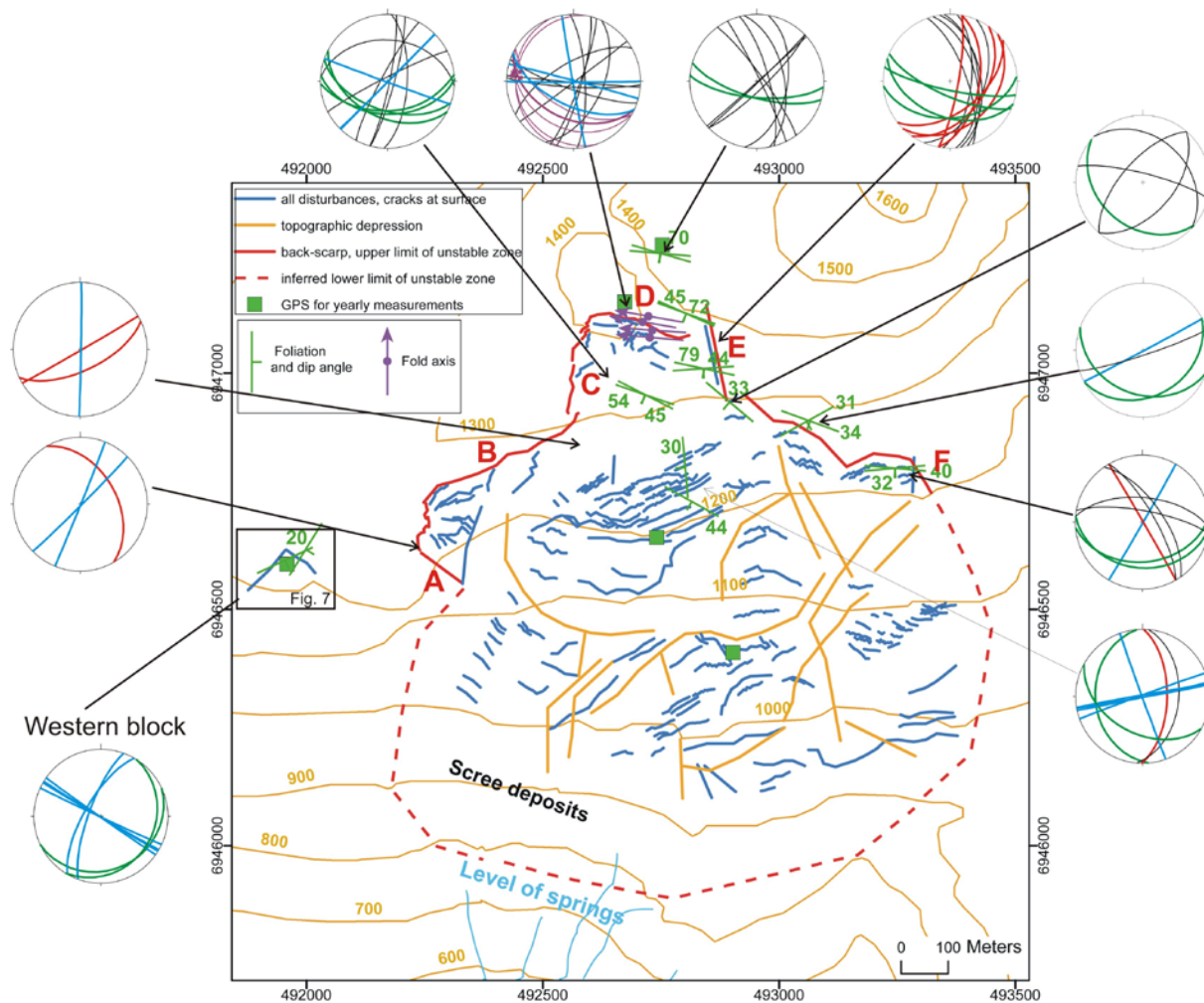
er ca 1 km<sup>2</sup> i utstrekning (Figur 5), og terrenget har en gjennomsnittlig helning på 25°. Bakre skrent av fjellskredet ligger på ca 1400 m.o.h., og nedre grense er estimert til å ligge under ca 900 m.o.h. Det ustabile fjellpartier består av flere blokker hvor fjellet er svært, men systematisk oppsprukket og mellom blokkene er det innsynkning i terrenget (Figur 5). Et volumestimat av Gikling kan gi et ustabil fjellparti på mer enn 100 Mm<sup>3</sup>. Fem GPS punkt for måling av bevegelse i fjellpartiet ble etablert i 2007 (Figur 5, Saintot et al., 2008). Ingen store bevegelse er detektert til nå, men målinger hvert, eller annet hvert år, bør fortsette. Området har en intens gravitativ defomasjon og bevegelser kan utløses med en liten endring i grensefaktorer av nåværende stabilitet. Det må derfor vises stor aktsomhet.





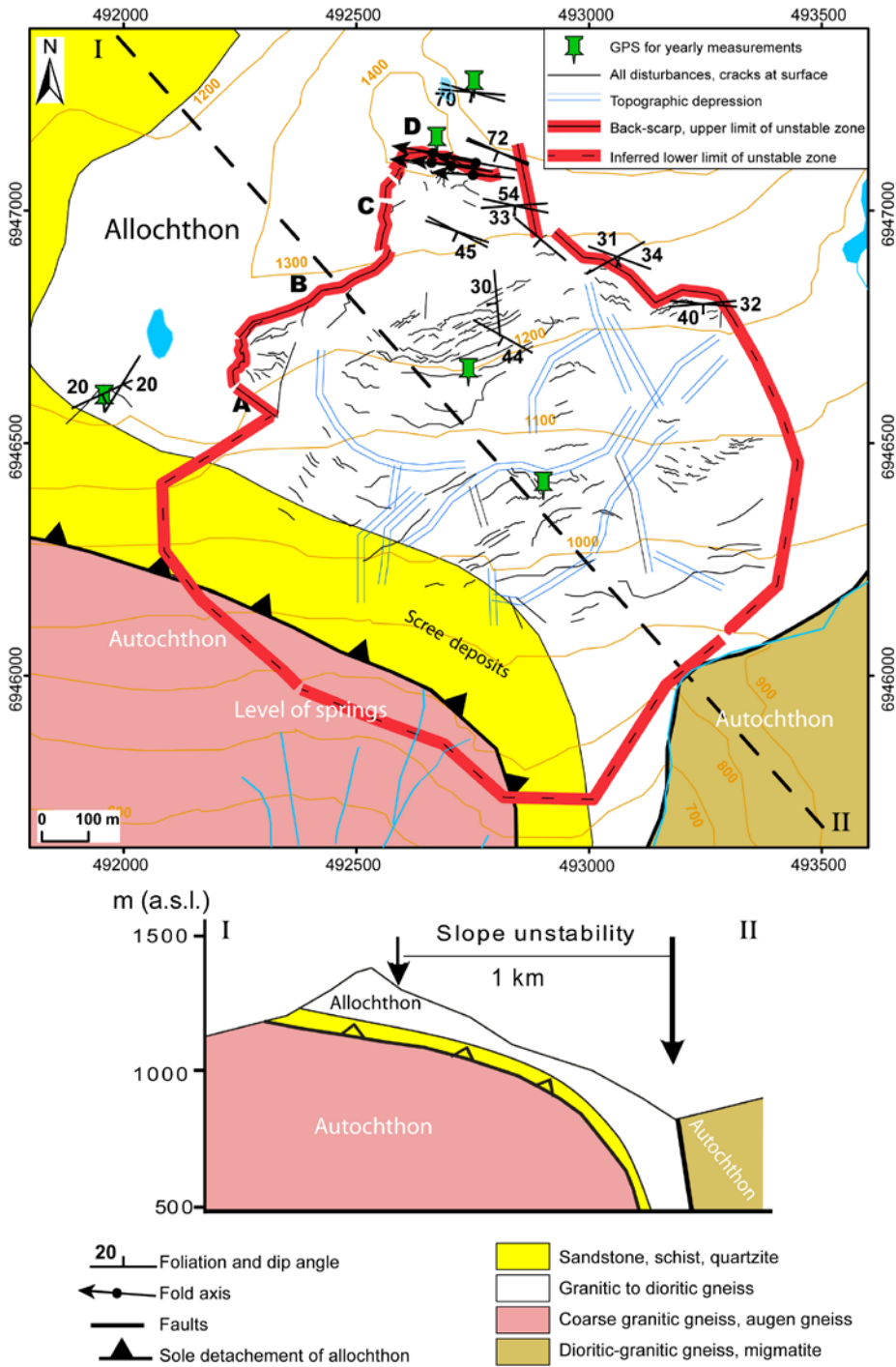
Figur 5. Det ustabile fjellpartiet Gikling er område A og B, beskrevet over (Figur 3), slått sammen samt utvidet (ortofoto fra [www.norgebilder.no](http://www.norgebilder.no)). Bakkanten av skredet er markert med rød strek i (a) og (b), mens utstrekningen av det ustabile partiet er markert med stiplet rød linje. Område C (Figur 3) ligger vest for hovedområdet Gikling. GPS punkt for måling av bevegelse er markert med grønne firkanter i (b). De blå linjene er store, åpne sprekker, mens de oransje linjene er innsynkninger i terrenget. (c) Oversiktsbilde (til N) av det ustabile fjellpartiet med Sunndalen nedenfor. (d) bilde av åpne sprekker med ØNØ-VSV retning som er i øvre del av det ustabile fjellpartiet (Saintot et al., 2008).

Foliasjonen i gneisen har generelt slakt fall mot sør, og stedvis sammenfaller den med skråningen på terrenget (Figur 6). Bakkanten til det ustabile fjellpartiet er lagt til overgangen fra intakt og stabilt fjell til oppsprukket og ustabil fjell (rød linje i Figur 6). Bakre skråning sammenfaller med flere pre-eksisterende forkastninger som er markert A, B, E og F i Figur 6. Gneisen er lokalt svært foldet og i øvre del av fjellpartiet er det åpne sprekker som er parallele med foldeaksen, som kartlagt langs segment D (Figur 6). Segment C er en uregelmessig, åpen og vid sprekk, som er styrt av N-S og steile sprekker og trinnvis forskjøvet langsetter foliasjonen som har ca Ø-V retning og fall mot S (Figur 6, Saintot et al., 2008). Nedre del av det ustabile fjellpartiet er en antatt nedre begrensning, som vil bli kartlagt ved hjelp av geofysikk.



Figur 6. Detaljert kartlegging av strukturer i det ustabile fjellpartiet Gikling. Stereoplott til strukturene er vist til tilhørende område, rød linje er bakre skredkant, stiplet rød linje er antatt utstrekning av ustabile fjellparti (Saintot et al. 2008), oransje linje er innsynkning i terrenget og blå linje er åpne sprekker som er synlig i terrenget. I stereoplottene er grønn farge metamorf foliasjon, blå er åpne og store sprekker, rød er preeksisterende forkastninger, foldeplan og foldeakser i lilla, og sprekker er vist med svart.

Det ustabile fjellpartiet Gikling går over flere geologiske enheter (Figur 7), som fra nord til sør består av granittisk til diorittisk gneis, med overgang til metasandstein (skifer) som er en del av den alloktone (ikke stedegen) enheten. I SV har den alloktone enheten tektonisk overgang til en autokton (stedegen) enhet som består av grov, granittisk gneis og overgangen er beskrevet som en såleforkastning eller et glideplan (Figur 7). Såleforkastningen kan være utviklet i et svakt lag, og utgjør sålen av det ustabile fjellpartiet og som er lettere motagelig for bevegelse (Figur 7). I SØ har den alloktone enheten tektonisk overgang til en ny autokton enhet som består av diorittisk til granittisk gneis, hvor overgangen er beskrevet som en forkastning med steilt fall (Figur 7). Denne forkastningen utgjør østlige grense for fjellskredet. Den geologiske situasjonen ved Gikling kan være årsaken til at fjellpartiet er ustabil, med eksisterende svake lag som er motakelig for bevegelse på grunn av gravitasjon, som igjen øker oppsprekningen i fjellet (Saintot et al., 2008).



Figur 7. Berggrunnsgeologisk kart over Gikling (Tveten et al., 1998). Stiplet svart linje viser plassering av tvversnittet. Tversnittet viser den antatte tektoniske situasjonen ved Gikling fjellskred (Saintot et al. 2008).

## 4. GEOFYSIKK

I 2008 ble det utført 2D resistivitetmålinger langs to profiler over det rasutsatte området ved Gikling i Sunndalen, Møre og Romsdal. Hensikten med målingene var å kartlegge strukturer, utbredelse og tykkelse av det ustabile fjellpartiet. Resistivitetmålinger har vært benyttet med gode resultater ved lignende undersøkelser tidligere på Åknes og Heggurdaksla i Møre og Romsdal (Rønning m.fl. 2006 og 2007), og på Nordnesfjellet i Troms (Rønning m.fl. 2008).

I 2009 ble de geofysiske undersøkelsene supplert med refraksjonsseismiske målinger langs det ene av resistivitetprofilene.

## 5. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

I det følgende blir utførelsen av de geofysiske målingene beskrevet. En mer utfyllende beskrivelse finnes på <http://www.ngu.no/no/hm/Norges-geologi/Geofysikk/Bakkegeofysikk/>

### 5.1 Resistivitetmålinger

#### Datainnsamling.

Måledata ble samlet inn med et kabelsystem utviklet ved den Tekniske Høgskolen i Lund (LUND-systemet, Dahlin 1993). Systemet består av fire multielektrodekabler og en relé boks (Electrode Selector ES 10-64). Måleprosessen styres av et ABEM Terrameter SAS 4000 (ABEM 1999). Datainnsamlingen ble utført i løpet av to uker sommeren 2008 av Einar Dalsegg og student Håvard Reitan som assistent.

Målingene av resistiviteten starter 0,3 sek. etter påslått strøm og måletiden er 0,5 sek. Dette gir en målesyklus på 3,8 sek.

Ved de undersøkelsene som her rapporteres, ble det benyttet gradient elektrodekonfigurasjon og elektrodeavstand 10 meter. Med fire kabler gir dette et utlegg på 800 meter, og dybderekkevidden blir da ca. 120 meter. På de ytterste kablene benyttes bare annenhver elektrode. Oppløsningen blir derved størst sentralt i profilet, og i den øverste halvdel. Profilenes beliggenhet er innmålt med GPS (se databilag 1).

#### Strømstyrke og datakvalitet.

Jordingsforholdene i måleområdet var meget vanskelige, da store partier bestod av rasmateriale med mye grove masser/blokk. Dette var mest utpreget på profil 1. Strømstyrken var derfor for mesteparten av målingene meget lav og varierte stort sett fra 1 til 20 mA, med overvekt av målinger i området 10 mA og lavere. Datakvaliteten var likevel god, og kun et fåtall måledata måtte fjernes før inversjon.



## Inversjon.

Ved alle resistivitetsmålinger måles en tilsynelatende resistivitet. Denne representerer et veid middel av alle resistivitetsverdier som er innenfor målingens influensvolum. For å finne den spesifikke resistiviteten 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.

Resistivitetsmålinger ble invertert ved bruk av dataprogrammet RES2DINV (Loke 2007). Det ble gjort forsøk med forskjellige inversjonsparametre, dempningsfaktorer og forskjellige filtre. Dette ga ikke noen endringer i hovedtrekkene i de inverterte profilene, men mindre avvik i detaljer.

## **5.2 Refraksjonsseismiske målinger**

Målingene omfatter ett refraksjonsseismisk profil (S1) som krysser over det ustabile fjellpartiet. Lokaliseringen av profilet er vist i figur 8 og følger resistivitetsprofil 2 med startpunkt ved pos. 160 m og slutt punkt ved pos. 1600 m i dette profilet.

Feltarbeidet ble gjennomført av Einar Dalsegg og student Kenneth A. Olsen i perioden 3-8. juli 2009. Bearbeiding og tradisjonell geofysisk tolkning av data er utført av Jan Fredrik Tønnesen.

For innsamling av måledata 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 måleprofilet er sammensatt av seks slike måleutlegg. Geofonavstanden langs profilet var gjennomgående 10 meter.

I hvert måleutlegg ble det plassert skuddpunkt 5 meter ut fra hver endegeofon, dvs. at avstanden mellom disse to endeskuddene var 240 m. Inne i utlegget ble det plassert skuddpunkter for hver 60 meter, dvs. mellom geofon nr. 6 og 7, 12 og 13, og 18 og 19. For å få best mulig dekning av refraksjoner fra dyptliggende lag ble det i tillegg plassert 3 eller 4 fjernskudd i begge retninger i større avstand fra måleutlegget. De to nærmeste skuddene ble for alle utleggene plassert i en avstand på 60 og 120 m fra endeskuddene. Fjernskudd 3 er for de to østligste utleggene plassert 180 m fra endeskuddene, mens det for de øvrige utleggene er plassert 240 m fra endeskuddene. Fjernskudd 4 er bare benyttet for utlegg 2 og 3 vestfra og er plassert 360 m fra endeskuddene. Lengden av måleprofilet (S1) fra første til siste endeskudd er 1440 m.

Det ble benyttet dynamitt med elektrisk tenning som energikilde og det ble brukt 1-3 dynamittgubber (ca 100-300 gram) for hvert skudd. De ble plassert i grunnen enten i håndspettet hull eller i boret hull i steinblokk/fjell. I blokkrike områder var det nødvendig å bore små hull i fastliggende stein eller blokk for å få godt feste for geofonene.

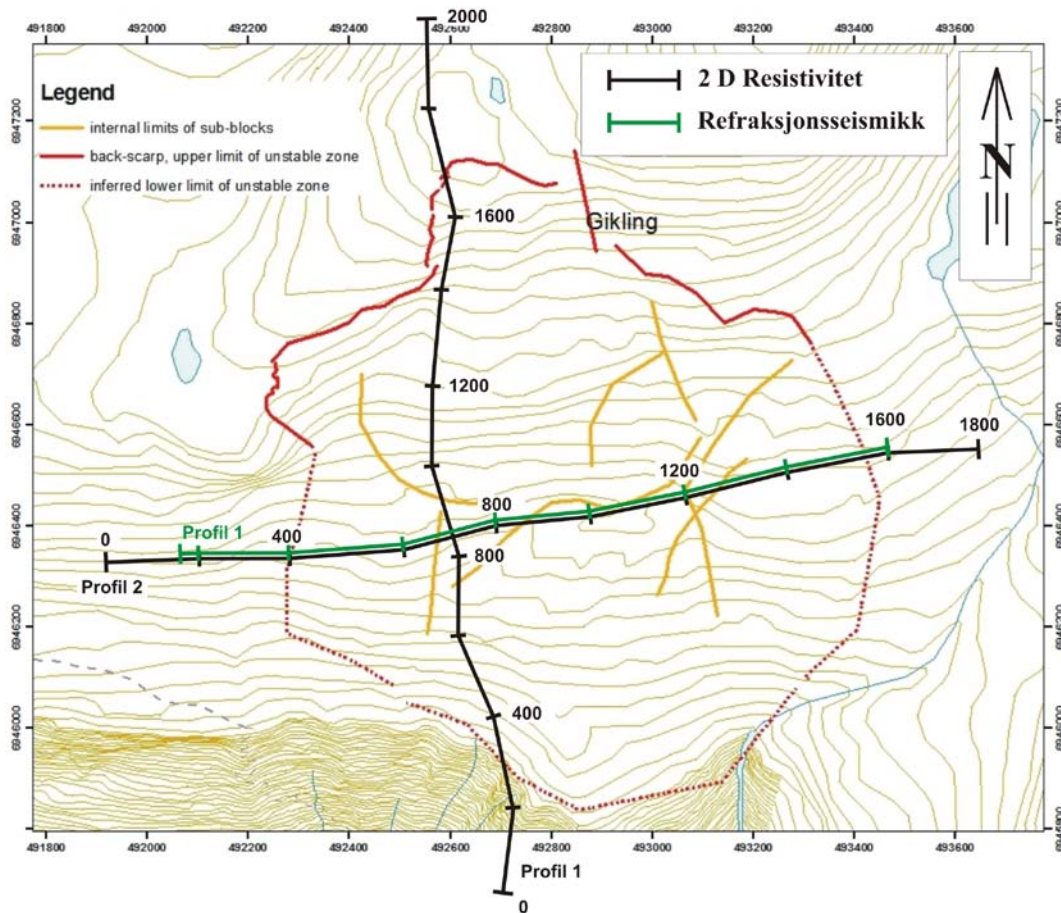
Datakvaliteten på seismikkopptakene varierte en god del, men for de fleste opptakene har det vært mulig å avlese førsteankomster for de fleste av geofonene. Problemene er naturlig nok størst for opptak fra fjernskuddene, og i utlegg tre fra vest er det ikke benyttet data fra to fjernskudd i øst og ett i vest.

## 6. RESULTATER

Beliggenheten av de målte profilene framgår av Figur 8. I det følgende blir måleresultatene kommentert og vurdert.

### 6.1 2D resistivitet

Det ble målt to profiler med 2D resistivitet. Profil 1 går tilnærmet sør-nord og er 2000 m langt, mens profil 2 går tilnærmet vest – øst og er 1800 m langt. Profil 1 var meget arbeidskrevende på grunn stor høydeforskjell (ca. 800m), og mye ur som gjorde at elektroarbeidet tok vesentlig lengre tid enn normalt. Som Figur 8 viser, krysser begge profilene de antatte yttergrensene for det tidligere kartlagte ustabile fjellpartiet.



Figur 8. Oversiktskart over plassering av 2D resistivitetsprofil og seismikkprofil på Gikling.

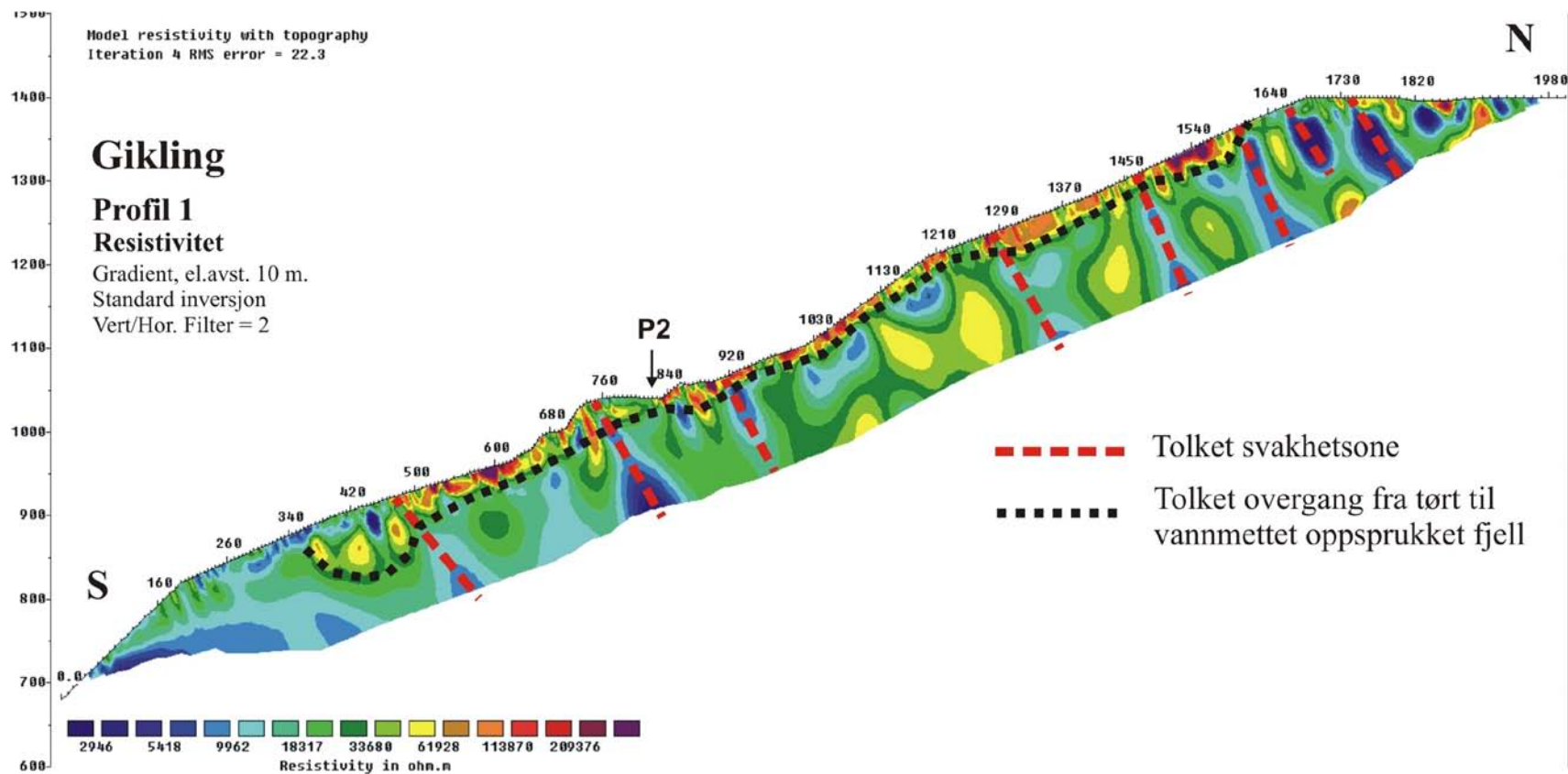
Profil 1 viser at den generelle resistiviteten på dypt ser ut til å være i området 15-30 k $\Omega$ m, noe som indikerer en kompakt og lite oppsprukket bergart. Fra ca koordinat 460 og opp til koordinat 1610 indikeres et øvre lag med meget høy resistivitet (> 100 k $\Omega$ m). Dette tilsier at bergarten her

må være sterkt oppsprukket og drenert, og stedvis kan dette representere skredmasser. Tykkelsen av dette oppsprukne og drenerte laget ser ut til å være 20-30 meter.

Under dette drenerte laget indikerer målingene noen lommer med forholdsvis lav resistivitet (blå farge, lavere enn 10  $\Omega\text{m}$  ). Dette kan være partier hvor bergarten fortsatt er oppsprukket, men vannmettet. Det mest markerte av disse partier er helt nederst på profilet. Det er langs profilet også flere tilnærmet vertikale soner med lav resistivitet. Dette indikerer at det i den ellers homogene bergarten er flere dype svakhetssoner. Det er verdt å merke seg at ved den øvre grensen av det ustabile partiet fra koordinatene 1600 til 1740, er indikasjoner på tre markerte svakhetssoner. Den nederste avslutningen av det øvre oppsprukne laget ser også ut til å falle sammen med en svakhetszone ved koordinat 475.

Profil 2 går på tvers av skredområdet i V-Ø retning og viser at den generelle resistiviteten også her ligger i området 15-30  $\text{k}\Omega\text{m}$ . Det øvre partiet med drenert oppsprukket materiale synes å være noe tykkere her, noe som er naturlig da dette profilet går langs en utflating i terrenget. Tykkelsen varierer noe langs profilet, men er i midtpartiet mellom koordinatene 790 og 970, indikert til å være ca 40 meter. Den østlige avgrensingen av dette området faller sammen med den østlige grensen av det som tidligere er kartlagt som ustabil område. I vest derimot, er det indikasjoner på et drenert øvre parti helt vest til koordinat 150, mens den vestligste avgrensingen av det ustabile partiet er tidligere antatt å gå ved koordinat 400.

Det er langs profilet fire markerte dype soner med lav resistivitet. I tillegg er det et parti med lav resistivitet på dypet ved koordinat 300 og ved den østlige flanken. Dette er trolig partier hvor bergarten er oppsprukket og vannmettet. Den østligste av de markerte svakhetssonene (koordinat 1560) faller sammen med den tidligere kartlagte østlige begrensningen av det ustabile fjellpartiet. Målingene indikerer at sonen har et slakt fall mot vest. I vest er avgrensingen av dette partiet kartlagt til å gå ved ca. koordinat 400. Det indikeres en svakhetszone i dette området ved koordinat 485. Da det er mye ur i dette området vil overflatekartleggingen her være usikker, og denne svakhetssonen kan derfor representere den vestlige avgrensningen av det ustabile fjellpartiet.



Figur 9. Profil 1 viser en kompakt og lite oppsprukket bergart i dypet. Fra ca koordinat 460 og opp til koordinat 1610 indikeres et øvre lag med meget høy resistivitet ( $> 100 \text{ k}\Omega\text{m}$ ) som indikerer sterkt oppsprukket og drenert materiale. Tykkelsen av dette oppsprukne og drenerte laget er antatt til 20-30 meter.

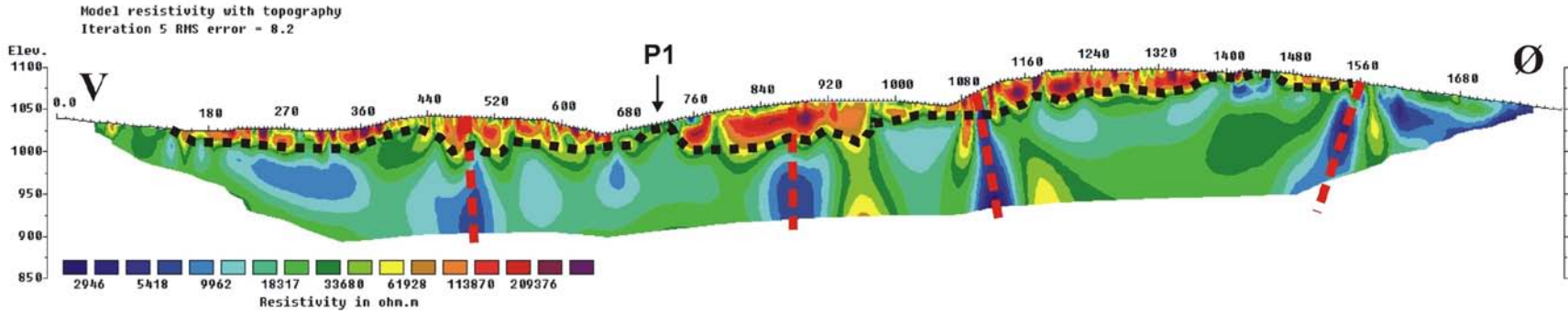
# Gikling

## Profil 2

### Resistivitet

Gradient, el.avst. 10m.  
Standard inversjon  
Vert/Hor. Filter = 2

- Tolket svakhetsone
- Tolket overgang fra tørt til vannmettet oppsprukket fjell



Figur 10. Det øvre partiet i Profil 2 viser drenert og oppsprukket materiale. Tykkelsen varierer noe langs profilet, men er i midtpartiet mellom koordinatene 790 og 970, indikert til å være ca 40 meter. Den østlige avgrensingen av dette området faller sammen med den østlige grensen av det som tidligere er kartlagt som ustabil område. I vest derimot er det indikasjoner på et drenert øvre parti helt vest til koordinat 150, mens den vestligste avgrensingen av det ustabile partiet er tidligere antatt å gå ved koordinat 400.

## 6.2 Seismikk

Det refraksjonsseismiske profilet er totalt 1440 meter langt og går parallelt med resistivetsprofil 2 (Figur 8 og Figur 10). Den geofysiske tolkningen av seismikkprofilet er vist i figur 11. Horisontal posisjon langs profilet er identisk med posisjonene gitt i resistivetsprofil 2. Det er registrert fire hastighetslag langs profilet, men ikke alle lagene er gjennomgående. Det er også registrert store laterale hastighetsvariasjoner, noe som indikerer at lagene slett ikke er homogene.

I overflatelaget varierer seismisk hastighet stort sett i området 500-900 m/s. Tykkelsen av laget er beregnet å variere fra 10 til over 20 m i 3 områder langs profilet, pos. 210-630 m, pos. 880-1020 m og pos. 1180-1380 m. Ellers i profilet er overflatelaget tynt (1-5 m). Overflatelaget regnes vesentlig å bestå av tørre ur/skred-avsetninger.

I laget under er seismisk hastighet beregnet å variere innenfor området 1100-1600 m/s. Laget er ikke gjennomgående og i tolkningsprofilet er det beregnet at laget opptrer i tre avgrensede lommer, dvs. i områdene pos. 160-510 m, pos. 560-900 m og pos. 1000-1190 m. I det vestligste området er lagtykkelsen stort sett 10-25 m, i det midtre området 25-45 m og i det østligste området 15-25 m. Laget antas å bestå av tørt kraftig oppsprukket fjell.

I lag 3 er seismisk hastighet beregnet å være i området 2000-2500 m/s og det er indikert at laget opptrer fra pos. 350 m og ut profilet. Lagoverflaten har et undulerende forløp og dypet ned til dette laget varierer i området 25-50 m i området pos. 350-900 m, 10-25 m videre til pos. 1370 m, mens laget langs den østligste del av profilet ligger rett under det tynne overflatelaget. Lagtykkelsen er over 50 m i området pos. 440-620 m med maksimumsverdi på ca. 90 m rundt pos. 540 m. I området pos. 820-1030 er det et lokalt maksimum hvor lagtykkelsen er 40-60 m, mens den for øvrig og fram til pos. 1250 m stort sett er i området 20-30 m. I østligste del (fra posisjon 1300m) er laget bare 8-15 m tykt. Ut fra erfaringer fra andre undersøkte lokaliteter (for eksempel Åknes (Rønning m.fl. 2007)) regnes seismisk hastighet i laget å representere betydelig oppsprukket fjell som i hovedsak er vannmettet.

I nederste registrerte lag er seismisk hastighet beregnet å variere i området 4100-5300 m/s. Laget regnes å representere fjell som er mindre oppsprukket og som sannsynligvis er vannmettet. De høyeste hastighetene er registrert langs de to østligste måleutleggene (pos. 1120-1600 m) og indikerer at det her er fjell med liten eller ubetydelig oppsprekking. I måleutlegget vestafor (pos. 880-1120 m) og langs vestligste utlegg (pos. 160-400 m) er hastigheten beregnet til 4900 m/s, noe som antyder noe mer oppsprekking. Langs de to mellomliggende måleutleggene er det indikert seismisk hastighet på 4400 m/s i vestlige del og 4100 m/s i østlige del og indikerer at fjellet kan ha betydelig større oppsprekking her enn ellers langs profilet.

De seismiske hastighetene i nederste lag må regnes som en gjennomsnittshastighet langs hvert måleutlegg, dvs. at det er foretatt en "konservativ" beregning uten spesiell indikasjon for lokale variasjoner. En mer dristig tolkning vil kunne antyde visse partier som kan ha lavere hastigheter og derfor representere soner med kraftigere oppsprekking. Sone med seismisk hastighet ned mot 3500 m/s kan opptre i området pos. 400-500 m og muligens også i området pos. 995-1050 m. Seismisk hastighet kan også se ut til å kunne være under 4000 m/s lengst vest i profilet (pos. 160-

220 m). Den første av disse er sammenfallende med en sone med lav resistivitet. I østlige del av profilet (pos.1100-1600 m) er det ingen klare indikasjoner på soner med lavere seismisk hastighet.

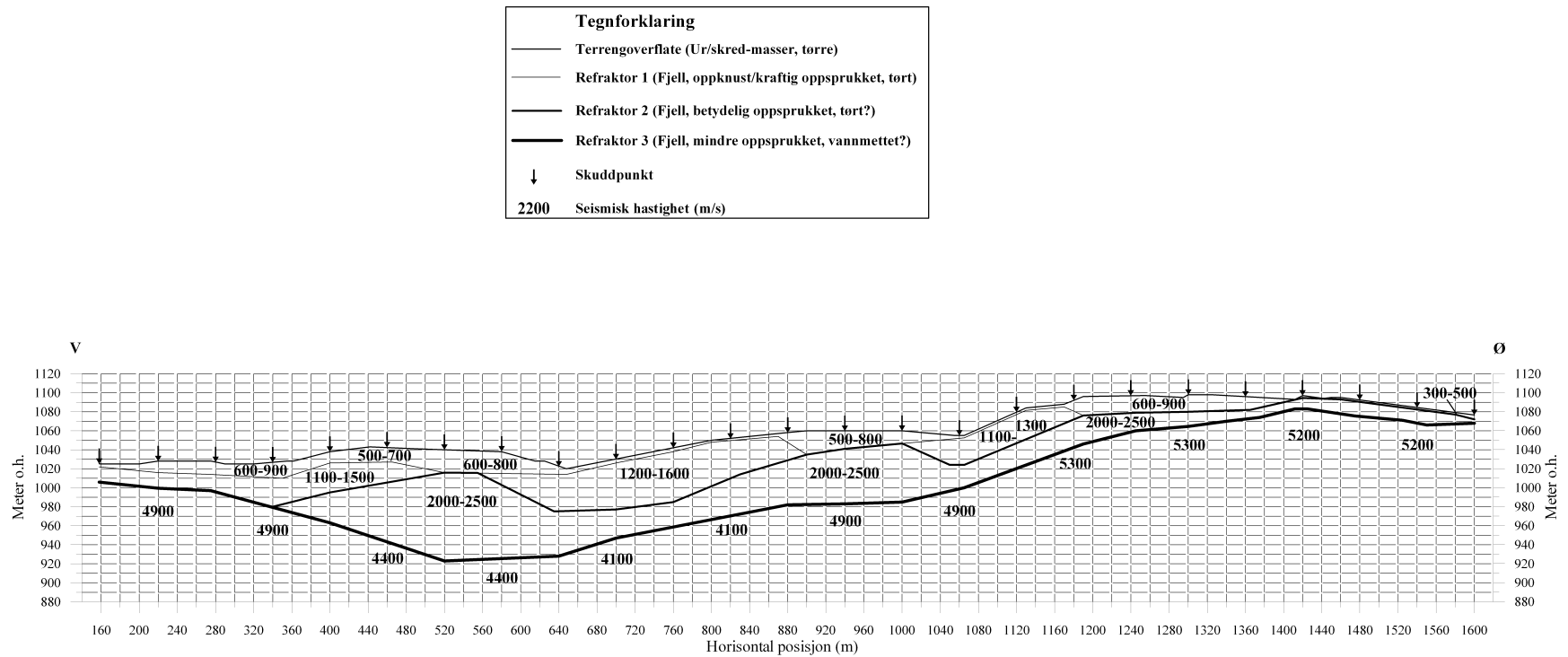
Ut fra beregningene vil totaldyp ned til vannmettet fjell med begrenset oppsprekking være større enn 70 m i området pos. 400-1000 m med største dyp på 110-115 m i området pos. 500-580 m. Totaldypet grunner opp til mindre enn 30 m vest for pos. 280 m og øst for pos. 1300 m. Øst for pos.1380 m er dypet redusert til 8-18 m. Gjennomsnittlig dybde til fastere masser ( $V_p > 4000$  m/s) beregnet for hver 80 meter langs hele profilet er på 52 meter. Det er selvsagt uklart hvordan dette varierer i nord-sør-retning siden det her ikke er utført refraksjonsseismikk.

De meget variable seismiske hastighetene både lateralt og vertikalt i profilet medfører større usikkerhet i tolkningene enn normalt og vil gi et forenklet bilde av hastigheter i lag og dyp ned til laggrenser. Det er f. eks. mulig at lag 2 kan være mer sammenhengende i profilet, men at det er for tynt til at det vil kunne sees i dataene. Det regnes at tolkningen grovt sett gir et riktig bilde av dypet ned til antatt vannmettet fjell med begrenset eller liten oppsprekking.

### **6.3 Sammenstilling av geofysiske data**

En sammenstilling av resistivitetsdata og den seismiske tolkningen langs profil 2 er vist i figur 12. I hovedsak er det sammenfall mellom ekstremt høye resistivitetsverdier og seismiske hastigheter lavere enn 900 m/s. Begge disse forhold indikerer sterkt oppsprukne tørre masser. I områder som mellom koordinatene 720 og 1060 er resistiviteten meget høy mens den seismiske hastigheten ligger i intervallet 1200 – 1600 m/s. Dette kan skyldes stor oppsprekking som gir drenering og meget høy resistivitet samtidig som de ulike delene i avsetningen er relativt godt lagret. Under den sterkt oppsprukne lagpakken finnes ”grønne” resistivitetsverdier i intervallet 15 til 30 k $\Omega$ m, men hvor seismiske hastigheter ligger i intervallet 2000 – 2500 m/s. Det siste indikerer også sterk oppsprekking, men her er trolig fjellet vannmettet. Overgangen til moderat eller ingen oppsprekking, seismisk hastighet større enn 4000 m/s viser ingen markert kontrast i resistivitet. Dette kan tolkes som at oppsprekkingen gir liten porøsitet kombinert med lav elektrisk ledningsevne i porevannet. Markerte vertikale soner tolket fra resistivitetsdata viser ingen respons på seismisk hastighet. Dette er forenlig med at resistiviteten kan være delvis styrt av mineralogi og ikke store oppknusninger.

## Gikling, refraksjonsseismisk profil S1



Figur 11. Refraksjonsseismikk for Gikling i V-Ø retning. Dette profilet går parallelt med resistivetsprofil 2 (Figur 10).



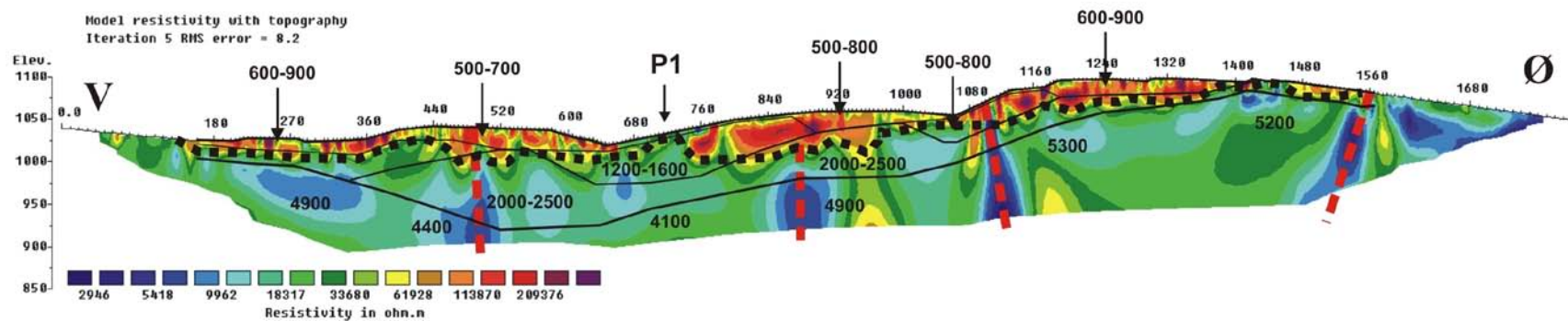
# Gikling

## Profil 2

### Resistivitet

Gradient, el.avst. 10m.  
Standard inversjon  
Vert/Hor. Filter = 2

- Tolket svakhetszone
- Tolket overgang fra tørt til vannmettet oppsprukket fjell



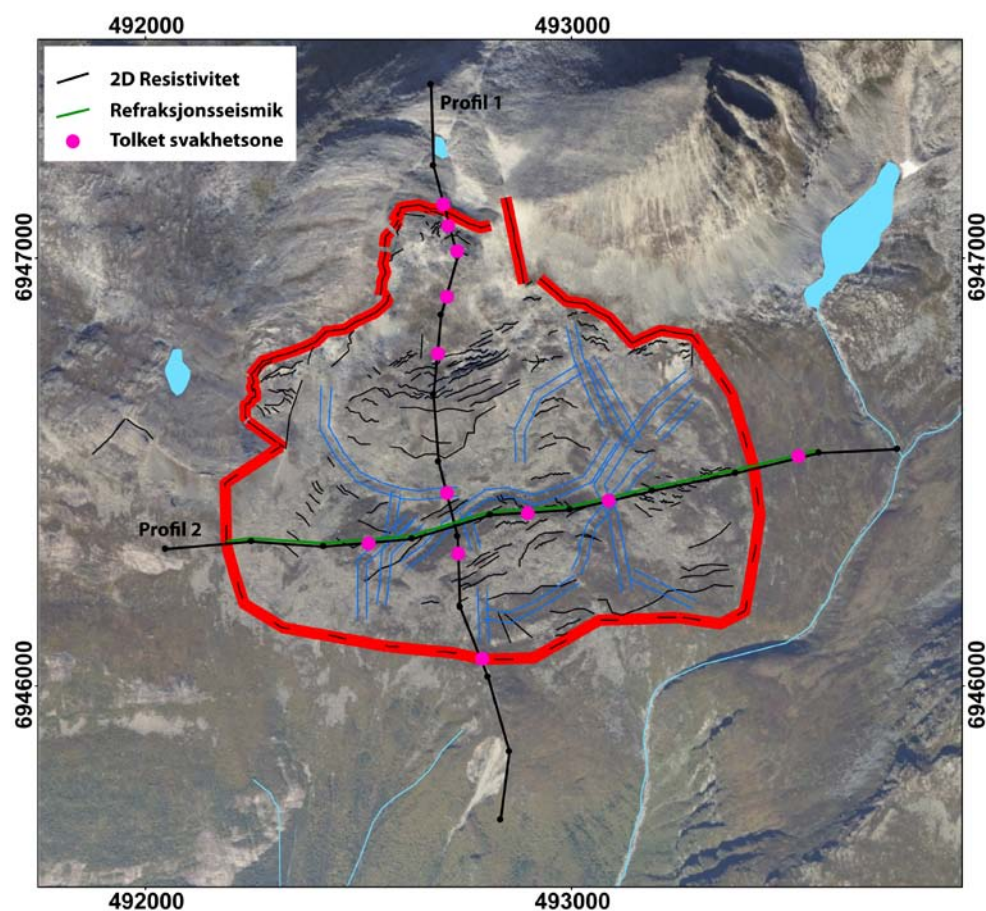
Figur 12. Sammenstilling av refraksjonsseismikk og resistivitet langs profil 2

## 7. NYTT KART OG KONKLUSJON

Ut fra de geofysiske data ser det ut til at det ustabile fjellpartiet ved Gikling har noe større utbredelse enn tidligere antatt. Oppdaterte omriss er vist i figur 13. Geofysikken viser videre at det ustabile fjellpartiet er lagdelt hvor en øverst finner et intenst oppsprukket lag med meget høy resistivitet ( $> 60 \text{ k}\Omega\text{m}$ ) og til dels meget lav seismisk hastighet ( $< 900 \text{ m/s}$ ). Lagets tykkelse varierer mellom 20 og 30 meter. Den ekstremt høye resistiviteten viser at laget er drenert. Under dette finnes en ny lagpakke som også er oppsprukket (seismisk hastighet 2000 til 2500 m/s) men dette laget er trolig vannmettet med normalt resistivetsnivå. Gjennomsnittlig tykkelse av oppsprukket fjell er tolket til ca. 50 meter langs det øst-vest-gående profilet. Tykkelsen i nord-sør-retning er usikker på grunn av manglende data. Ut fra foreliggende data tolkes:

- Nytt areal med den røde grensen (figur 13):  $925000 \text{ m}^2$
- Nytt volum:  $925000 \text{ m}^2 * 50 \text{ m tykk maks} = 46 \text{ Mm}^3$

Dette volumet er klassifisert som potensielt ”meget stort fjellskred” og rekkevidden (utløp) kan være fra 3 til 7 km lang (ca. 3 - 7 ganger fallhøyden, Høst 2006). I praksis betyr dette at et fremtidig fjellskred fra Gikling kan fylle opp dalen og lage en større demning.



Figur 13. Nytt kart over plassering av 2D resistivetsprofil, seismikkprofil og resistivetsanomaliene på Gikling (bakgrunn med strukturene som Figur 7).

## 8. 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.

Høst, J. 2006: Store fjellskred i Norge: Utredning for Landbruks- og matdepartementet på vegne av 6 departementer, Utarbeidet av: Norges geologiske undersøkelse, Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, Statens landbruksforvaltning, Statens vegvesen, Jernbaneverket og Statens kartverk. 87 p.

[http://www.regjeringen.no/upload/kilde/lmd/rap/2006/0004/ddd/pdfv/295307-fjellskred\\_i\\_norge2.pdf](http://www.regjeringen.no/upload/kilde/lmd/rap/2006/0004/ddd/pdfv/295307-fjellskred_i_norge2.pdf)

Loke, M.H. 2007: RES2INV ver. 3.56. Geoelectrical Imaging 2D & 3D. Instruction manual. [www.geoelectrical.com](http://www.geoelectrical.com).

Henderson, I.H.C. og Saintot, A., 2007: Fjellskredundersøkelser i Møre og Romsdal. NGU rapport 2007.043.

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.

Rønning, J.S., Dalsegg, E., Heincke, B.H. & Tønnesen, J.F. 2007: Geofysiske målinger på bakken ved Åknes og ved Heggurdaksla, Stranda og Nordal kommuner, Møre og Romsdal. NGU Rapport 2007.026.

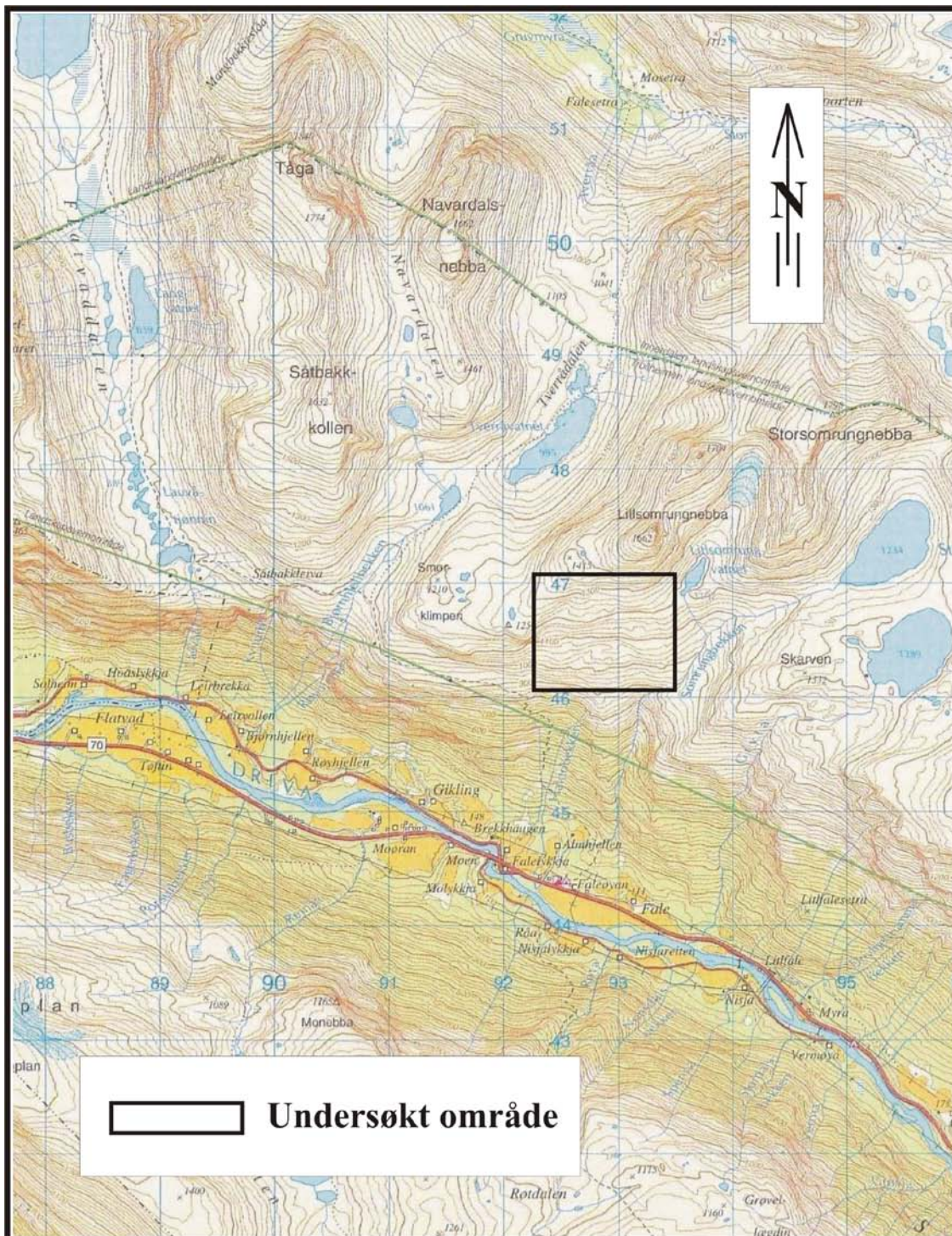
Rønning, J.S., Dalsegg, E., Heincke, B.H., Juliussen, H. & Tønnesen, J.F. 2008: Geofysiske målinger på Nordnesfjellet sommeren 2007, Kåfjord kommune, Troms. NGU Rapport 2008.024.

Saintot, A., Bohme, M., Redfield, T., Dahle, H., 2008: Field studies of unstable slopes in Sunndalen Valley. NGU report 2008.049, ISSN 0800-3416

Tveten, E, Lutro, O & Thorsnes, T., 1998: Geologisk berggrunnskart Ålesund Målestokk 1: 250.000. NGU

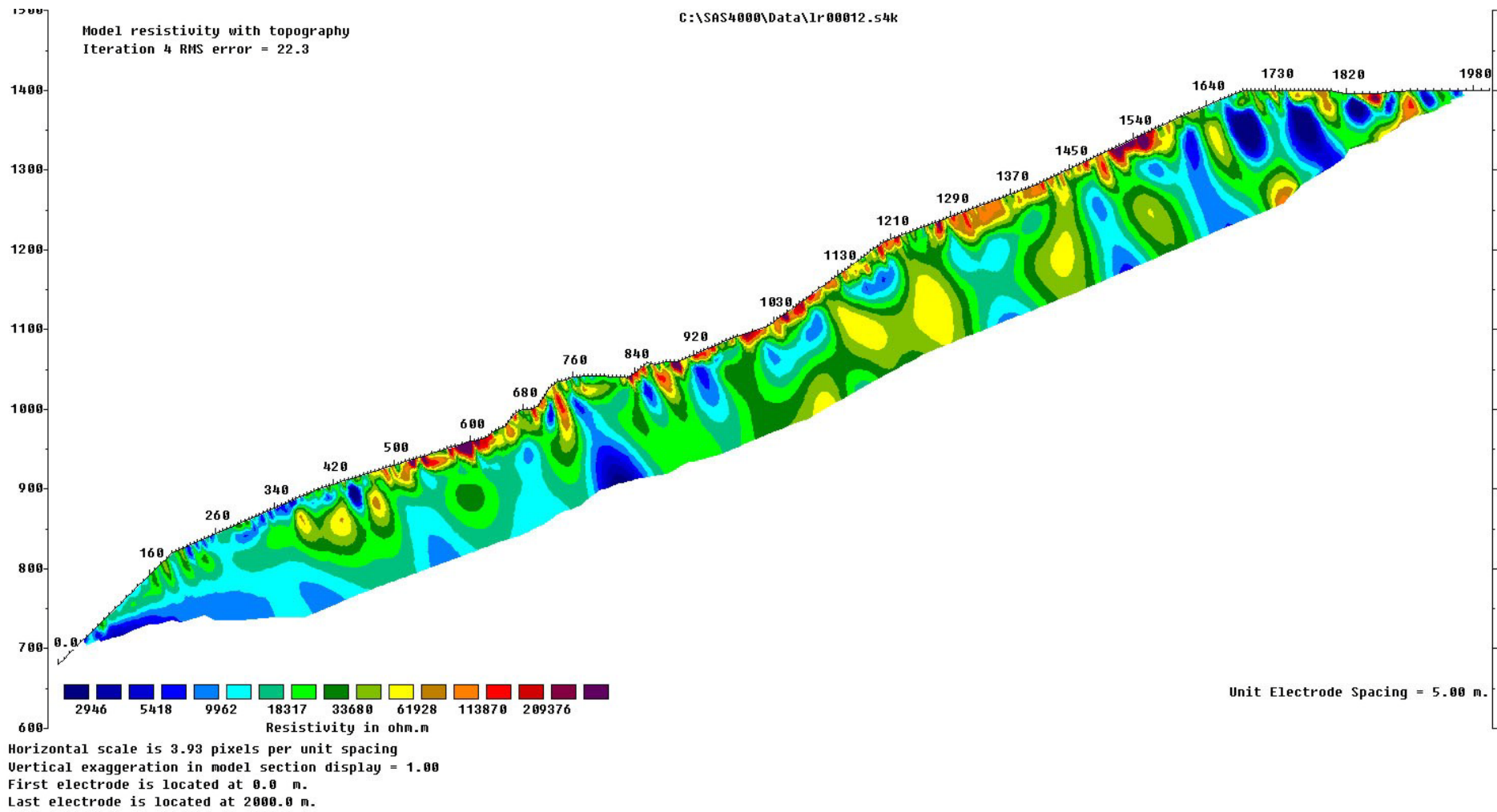
**VEDLEGG 1: Tabell 1. GPS-posisjoner (WGS-84-32V).**

<b>UTM-øst</b>	<b>UTM-nord</b>	<b>Profil</b>	<b>Koordinat</b>
492833	6945686	Res. P1	0
492854	6945846		200
492803	6946020		400
492738	6946184		600
492733	6946350		800
492689	6946523		1000
492676	6946682		1200
492695	6946868		1400
492732	6947004		1600
492677	6947218		1800
492672	6947406		2000
492050	6946320	Res. P2	0
492249	6946339		200
492420	6946325		400
492627	6946344		600
492811	6946399		800
492998	6946412		1000
493188	6946456		1200
493385	6946498		1400
493580	6946546		1600
493765	6946555		1800
492050	6946320	Seism. S1	0
492249	6946339		200
492420	6946325		400
492627	6946344		600
492811	6946399		800
492998	6946412		1000
493188	6946456		1200
493385	6946498		1400
493580	6946546		1600
493765	6946555		1800

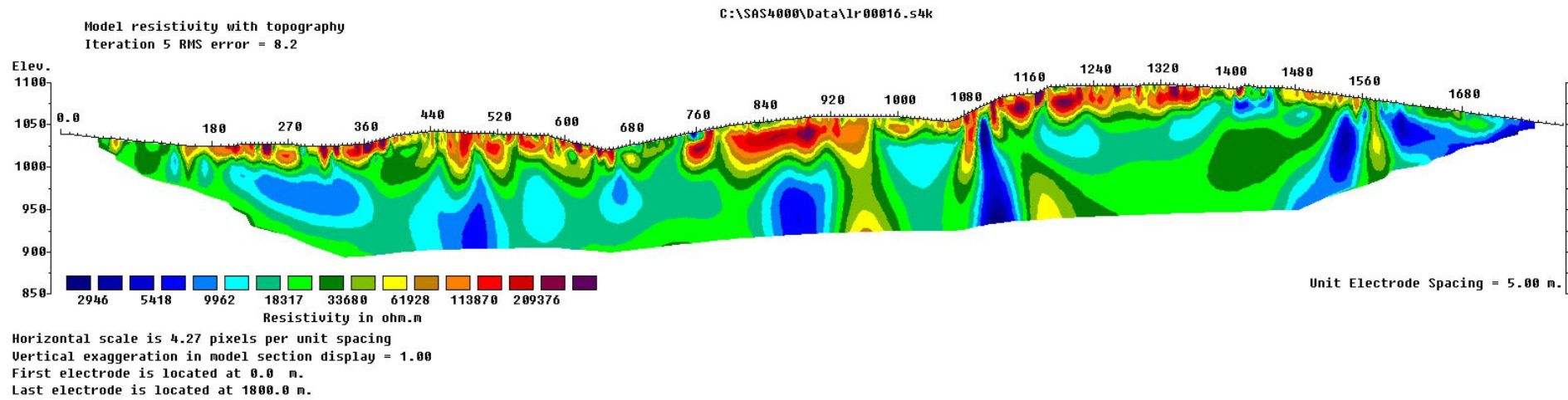


**Undersøkt område**

NGU OVERSIKTSKART <b>GIKLING</b> SUNNDAL, MØRE OG ROMSDAL	MÅLESTOKK	MÅLT E.D.	2008 - 2009
		TEGN E.D.	Feb. 2010
	1 : 50 000	TRAC	
		KFR	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	KARTBILAG NR 2010.050-01	KARTBLAD NR 1420 II	



Vedlegg 2: 2D resistivetsprofil langs skråningen fra N-S uten tolkning.



Vedlegg 3: 2D resistivetsprofil på tvers av skråningen fra Ø-V uten tolkning.