


NGU Rapport 2012.024

Geofysiske målinger på Mannen i  
Rauma kommune, Møre og Romsdal

Rapport nr.: 2012.024		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Geofysiske målinger på Mannen i Rauma kommune, Møre og Romsdal				
Forfatter: Einar Dalsegg og Jan S. Rønning		Oppdragsgiver: Åknes/Tafjord Beredskapssenter IKS		
Fylke: Møre og Romsdal		Kommune: Rauma		
Kartblad (M=1:250.000) Ålesund		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1319 I Romsdalen		
Forekomstens navn og koordinater: Mannen (32 V 436580 6925670)		Sidetall: 18	Pris: 80,-	
Feltarbeid utført: August 2011		Rapportdato: 04.05.2012	Prosjektnr.: 336700	Ansvarlig: 
Sammendrag:				
<p>På oppdrag fra Åknes/Tafjord beredskapssenter har NGU utført 2D resistivetsmålinger langs ett 800 m langt profil på det ustabile fjellpartiet Mannen i Rauma kommune i Møre og Romsdal. Hensikten med dette var å få fram informasjon om strukturgeologien og fjellkvaliteten på det ustabile fjellpartiet.</p> <p>Resistivetsmålinger på Mannen har avdekt til dels ekstremt høy resistivitet dagnært, høy resistivitet mot dypet og ellers soner med moderat resistivitet. Inversjon av måledata med forskjellig inversjonsmetoder og –parametre viser uvanlig store variasjoner. Tolkningen av resistivetsdata er ikke entydig. Ekstremt høy resistivitet kan skyldes meget god drenering av fjellet, men en kan heller ikke se bort fra permafrost. Boringene, logging og senere instrumentering viser at sprekkene i fjell ved borepunktene ikke er fylt med vann. Soner med moderat resistivitet kan være vannmettet fjell i et drenert miljø.</p> <p>For å kunne gi mer entydige tolkninger burde en gjort forsøk på å måle temperaturen i fjellet og prøvetatt grunnvannet for analyse av elektrisk ledningsevne dersom det er mulig.</p>				
Emneord: Geofysikk	Elektrisk måling		2D resistivitet	
			Fagrappport	

## **INNHold**

1. INNLEDNING .....	4
2. RESISTIVITETMÅLINGER.....	4
2.1 Målemetode og utførelse .....	4
2.2 Datainnsamling.....	4
2.3 Strømstyrke og datakvalitet .....	5
2.4 Inversjon. ....	5
3. RESULTATER .....	5
4. DISKUSJON.....	6
5. KONKLUSJON OG ANBEFALINGER.....	15
6. REFERANSER .....	16

## **TEKSTBILAG**

For tekstbilag for metoden(e) som er anvendt, vennligst gå til våre nettsider [www.ngu.no/geofysiske](http://www.ngu.no/geofysiske) metoder

## **DATABILAG**

Databilag 1: Innmålte koordinater langs resistivitetsprofil.

## **KARTBILAG**

Kartbilag -01: Oversiktskart over undersøkt område 1 : 50 000.

## 1. INNLEDNING

På oppdrag fra Åknes/Tafjord beredskapssenter har NGU utført 2D resistivitetsmålinger langs ett 800 m langt profil på det ustabile fjellpartiet Mannen i Rauma kommune i Møre og Romsdal. Hensikten med dette var å få fram informasjon om strukturgeologien og fjellkvaliteten på det ustabile fjellpartiet. NGU har tidligere utført detaljerte geologiske undersøkelser (Henderson og Saintot 2007) og borehullslogging og kjernelogging av borehull 1 på Mannen (Saintot et al. 2011). Logging av borehull 1 med akustisk televiwer og kjernelogging av dette borehullet rapporteres separat (Elvebakk 2012, Oppikofer & Bunkholt 2012).

NGU har tidligere gjort 2D resistivitetsmålinger ved kartlegging av flere ustabile fjellparti: Åknes og Hegguraksla i Stranda og Stordal kommuner (Rønning m. fl. 2006, Rønning m. fl. 2007), Nordnesfjellet i Kåfjord kommune (Tønnesen & Dalsegg 2004 og Rønning m. fl. 2008) og Gikling i Sunndal kommune (Dalsegg m. fl. 2010). 2D resistivitetsmålinger har ved disse undersøkelsene vist seg å gi et meget nyttig bidrag til forståelsen av strukturgeologien og fjellkvaliteten i de enkelte områdene.

Målingene på Mannen ble utført i august 2011 av Einar Dalsegg fra NGU med assistanse av Lene Kristiansen, Steffen Häger og Lars Harald Blikra fra Åknes/Tafjord beredskapssenter.

## 2. RESISTIVITETMÅLINGER

### 2.1 Målemetode og utførelse

Ved denne undersøkelsen ble det foretatt måling av **2D resistivitet**. En mer utførlig beskrivelse av metoden finnes på <http://www.ngu.no/no/hm/Norges-geologi/Geofysikk/Bakkegeofysikk/Elektriske-metoder/>.

### 2.2 Datainnsamling

Måledata ble innsamlet med et kabelsystem utviklet ved den tekniske høyskolen i Lund (LUND-systemet, Dahlin 1993). Systemet består av en relèboks (Electrode Selector ES10-64C) og to eller fire multielektrodekabler. Måleprosessen styres av et ABEM Terrameter SAS 4000 (ABEM 1999). Ved denne undersøkelsen ble det benyttet fire kabler med 10 meters elektrodeavstand og Gradient elektrodekonfigurasjon. Dybderekkevidden er ca 120 meter. Oppløsningen, og dermed nøyaktigheten, er størst i den øvre halvdel av seksjonen. Hele systemet kan flyttes langs profilet slik at utstrekningen av et profil er ubegrenset. Profilenes beliggenhet er innmålt med GPS (databilag 1).

Strøm ble sendt i pulser på 1 sekund og alternerende polaritet. Dette gir en målesyklus på 3.8 sekund. Målingen av resistivitet (enhet ohmm eller  $\Omega m$ ) startet 0,3 sekund etter at strømmen ble slått på og måletiden var 0,5 sekund. Vanligvis måles også induisert polarisasjon sammen med resistiviteten. Dette gjøres for å skille ledende soner som skyldes sulfider fra

sprekkesoner som er bedre ledende på grunn av innslag av vann og leire. I dette tilfellet ble dette droppet da det ikke var mulig å få ut nok strøm til å få gode nok IP-data.

### 2.3 Strømstyrke og datakvalitet

Strømstyrken for mesteparten av målingene lå i områdene 2 og 5 mA. Dette er en meget lav strømstyrke, men på grunn av lite elektrisk støy og høy resistivitet i området var datakvaliteten meget god, og kun et fåtall måledata måtte fjernes før inversjon.

### 2.4 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 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 2010). Det ble gjort forsøk med forskjellige inversjonsmetoder (Least Square og Robust) og det ble eksperimentert med forskjellige inversjonsparametre, dempningsfaktorer og forskjellige filtre. På grunn av uvanlig store variasjoner i resistivitetsbildet ved de forskjellige inversjonene, blir flere alternativer presentert.

## 3. RESULTATER

Resultater fra forskjellige inversjoner av det samme datasettet langs profil 1 er vist i figurene 1 til 6. Det øvre borehullet (KH-01-10) og det nedre borehullet (KH-02-11) er på figurene angitt som Bh 1 og Bh 2. Tabell 1 angir hvilke filtre og inversjonstype som er benyttet ved de presenterte resistivitetsplottene.

FIGUR NR.	VERT./HOR. FILTER	INVERSJONS-TYPE	KOMMENTAR
1	0,5	Standard	Fremhever horisontale strukturer
2	0,5	Robust	Fremhever horisontale strukturer
3	1,0	Standard	”Nøytral”
4	1,0	Robust	”Nøytral”
5	1,5	Standard	Fremhever vertikale strukturer
6	1,5	Robust	Fremhever vertikale strukturer

Tabell 1: Inversjonsparametre for de presenterte resistivitetsprofiler.

## 4. DISKUSJON

Terrenget på Mannen er meget utfordrende og det var lenge uklart om det var mulig å utføre resistivetsmålinger her. Etter nøye vurdering og med vante fjellklatrere for etablering av sikring, ble det besluttet å gjøre et forsøk. Det bratte terrenget førte imidlertid til at det ene profilet som ble målt ble plassert etter hvor det var mulig å komme frem, og ikke optimalt med hensyn på det en visste om strukturgeologien i området på forhånd. Dette kompliserer tolkingen av det målte resistivetsprofilet ved at profilet kan gå ut til side for det ustabile partiet.

Resistiviteten i alle geologiske materialer styres i prinsippet av flere forskjellige parametre. Disse er:

- Porøsitet
- Vannmetning i porene
- Porevannets ledningsevne
- Permafrost
- Økt ledningsevne på mineralenes overflate (bl.a. leirmineraler)
- Elektronledende mineraler (sulfider, oksyder og grafitt).

På Mannen var det som nevnt ikke mulig å måle IP-effekt (Indusert Polarisasjon) på grunn av dårlige jordingsforhold og derved lave strømstyrker. IP-data ville ha avklart om elektronledende mineraler gir bidrag til resistiviteten. Det generelt høye resistivetsnivået på Mannen tilsier at en kan se bort fra elektronledende mineraler som vesentlig bidragsyter til den målte resistiviteten. Leire på sprekker kan bidra til lavere resistivitet ved at enkelte leirmineraler har god elektrisk ledningsevne på overflaten, og ellers ved at finkornig materiale kan bedre holde på vann. Det siste krever at de sonene dette gjelder er forholdsvis tykke spesielt mot dypet for å gi målbar respons. De fire første parametrene anses som klare kandidater for styring av resistiviteten på Mannen.

Det er påvist uvanlig store variasjoner ved inversjon av de målte data med forskjellig inversjonsmetoder og  $\rho$ -parametre. Dette kan være et uttrykk for inhomogene resistivetsforhold langs profilet. På grunn av disse uvanlige store avvik mellom de forskjellige inversjonene presenteres flere varianter. Det er imidlertid klare fellestrekk som går igjen og som her diskuteres.

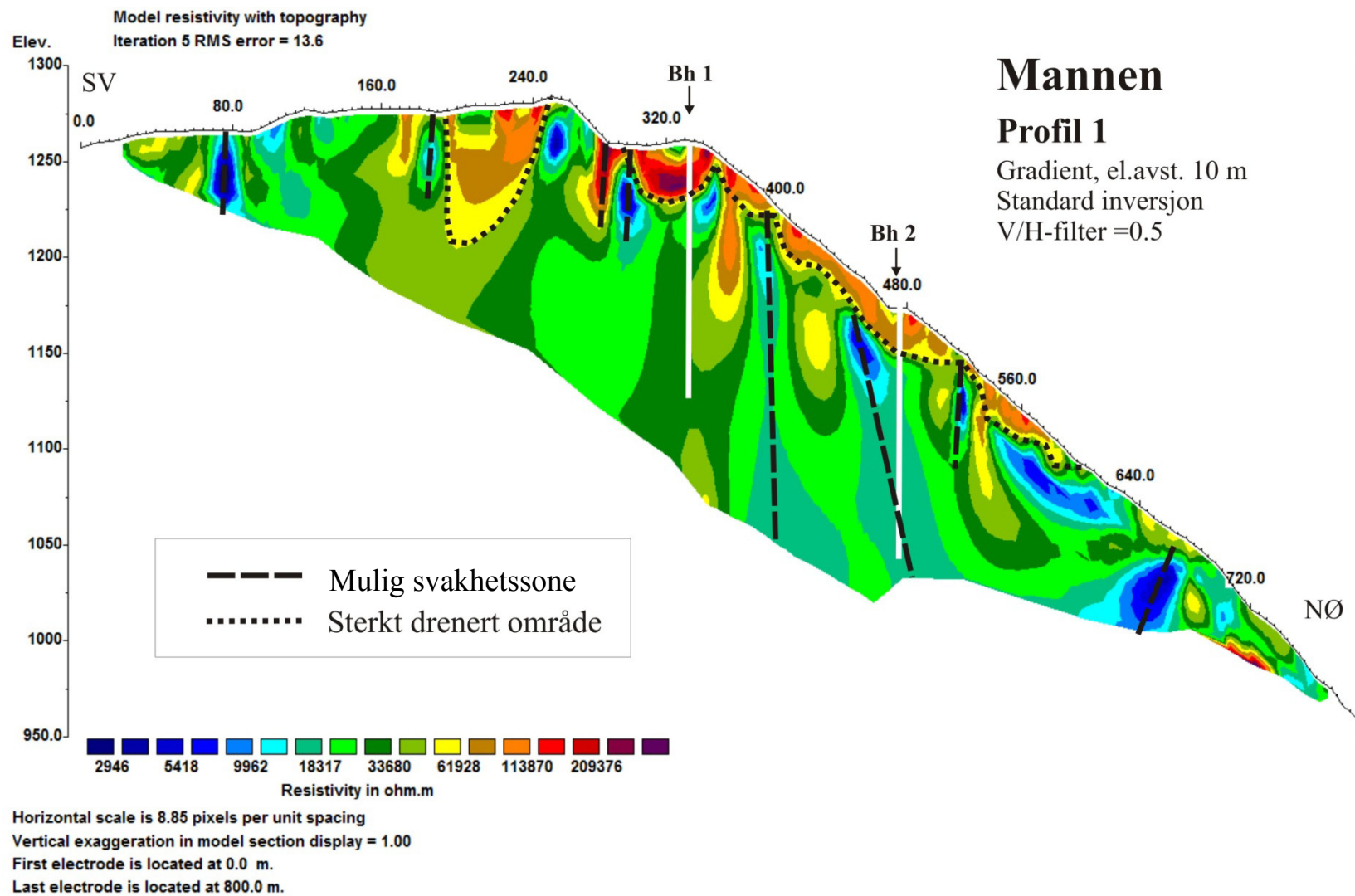
Øverst finnes et mer eller mindre sammenhengende parti med spesielt høy resistivitet ( $> 60$  k $\Omega$ m og stedvis over 100 k $\Omega$ m). Dette er klart over det en kan forvente i en gneisbergart (Elvebakk 2011). Resistivetsnivået er sammenlignbart med det en finner i permafrost-områder, bl.a. på Breitind (1700 moh, ca. 1 km mot nordvest for Mannen) (Dalsegg & Tønnesen 2004). Selv om det undersøkte området ligger lavere enn den generelle permafrostgrensen, kan forhold som den nordlige eksponeringen, store åpne sprekkeparti og snøforhold gjøre at permafrost kan opptre lokalt. Temperaturmålinger i sprekker, korte borehull og i borehull 1 indikerer imidlertid at det ikke er permafrost i området (Lars Harald Blikra, personlig meddelelse). I baksprekken ved koordinat 280 – 300 finnes de høyeste resistivetsverdiene ( $> 100$  k $\Omega$ m), og også her kan det skyldes enten høy oppsprekking eller permafrost. Det kan tenkes at fjellpartiet med spesielt høy resistivitet er ekstremt oppsprukket og nær 100 % fritt for vann. Tilvarende forhold hadde en på Åknes, men resistiviteten var ikke fullt så høy (Rønning m. fl. 2007). På toppen av fjellet, mellom koordinatene 200 og 250 finnes også disse ekstremt høye resistivetsverdiene.

Under den ekstremt høye resistiviteten finnes stort sett resistivitetsverdier i området 20 til 60 k $\Omega$ m. Også dette er i overkant av hva vi kan forvente i gneiser (Elvebakk 2011). En mulig forklaring her er at fjellet er vannmettet, men at porevannet er spesielt ionefattig. Sistnevnte er selvsagt mulig da en har en tungt oppløselig bergart og steile forhold med hurtig gjennomstrømning. De to borehullene var imidlertid i hovedsak tørre under logging med optisk televiever (Saintot et al. 2001, Elvebakk 2012), men dette kan skyldes at borehullene punkterer vannmettede soner. Det er mest sannsynlig at fjellet også her er relativt godt drenert, noe som gir høy resistivitet.

Det tredje fellestrekket er soner med moderat resistivitet i området 3 til 20 k $\Omega$ m. Dette er mer hva en finner i norske gneiser (Elvebakk 2011). Den lavere delen av dette intervallet kan være oppsprukket og vannmettet, mens den øvre del av intervallet kanskje kan virke noe høyt. Ionefattig porevann kan gi høy resistivitet opp mot 20 k $\Omega$ m, selv om fjellet er vannmettet. Dersom dette er den rette tolkningen finnes det altså lommer av vannmettet fjell i en ellers sterkt oppsprukket bergart som er drenert. Som nevnt innledningsvis, kan også nedknusing av fjell til finkornig materiale gi bedre evne til å holde på vann. Logging med Optisk televiever og logging av kjernene i borehull KH-01-10 viste flere soner med til dels sterk nedknusing/nedmaling av fjellet (Saintot et al. 2011). Dersom dette opptrer i store mengder, kan også dette være en årsak til resistivitetsverdier i området 3 til 20 k $\Omega$ m.

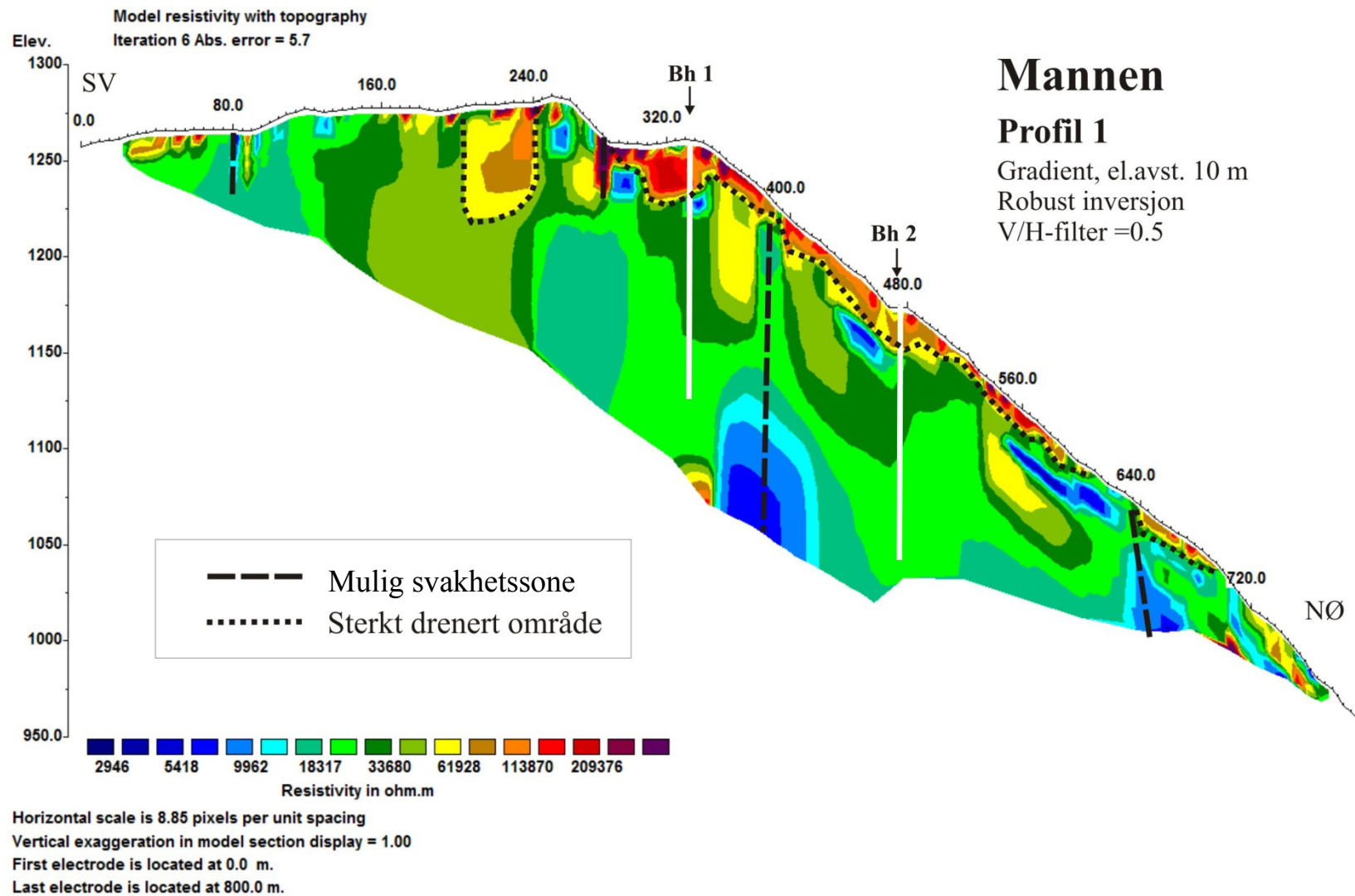
På de inverterte profilene (figur 1 til 6) er det tolket inn flere mer eller mindre steile svakhetssoner. Ved robust inversjon indikeres bare halvparten så mange soner som ved standard inversjon. Modelleringer har vist at standard inversjon er godt egnet for kartlegging av svakhetssoner i fjell (Reiser et al. 2009) og erfaring tilsier at dette er tilfellet under mer vanlige resistivitetsforhold. Med den spesielt høye resistiviteten vi har på Mannen kan det se ut som at standard inversjon indikerer flere soner enn hva som virkelig finnes. De indikerte sonene i figur 7 må derfor betraktes som et maksimumsantall.

Dersom en ser på inversjoner som favoriserer horisontale strukturer (vertikal/horisontal-filter lik 0.5), viser det seg at soner som ellers ser steile ut forvandles til overflateparallele soner. Dette kommer klart frem ved robust inversjon (figur 2). Disse er ikke kontinuerlige nedover langs lia som ved Åknes (Rønning m. fl. 2006 og 2007), men de ligger på et mer eller mindre konstant vertikalt dyp på ca 25 til 35 meter. Dette dypet tilsvarer et parti med meget intens nedknusing i fra 23.6 til 29.6 meter i borehull Bh 2 (KH-02-11, Elvebakk 2012). Dette nivået ser ut til å ha utgående i bunn av en brattskrent ved koordinat 720.

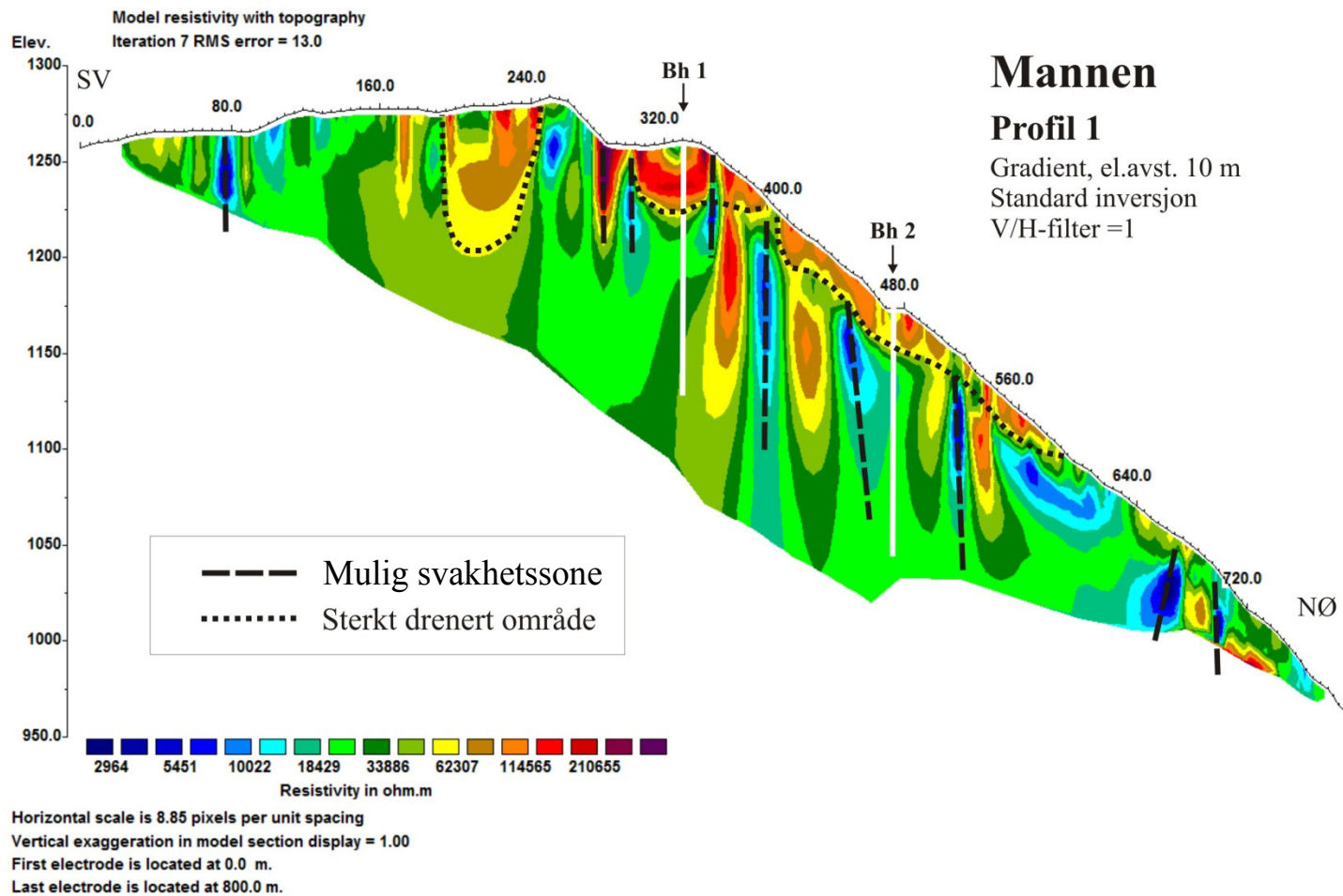


Figur 1. Profil 1. Invertert resistivitet med tolkede svakhetssoner (Standard inversjon, V/H.filter=0,5).

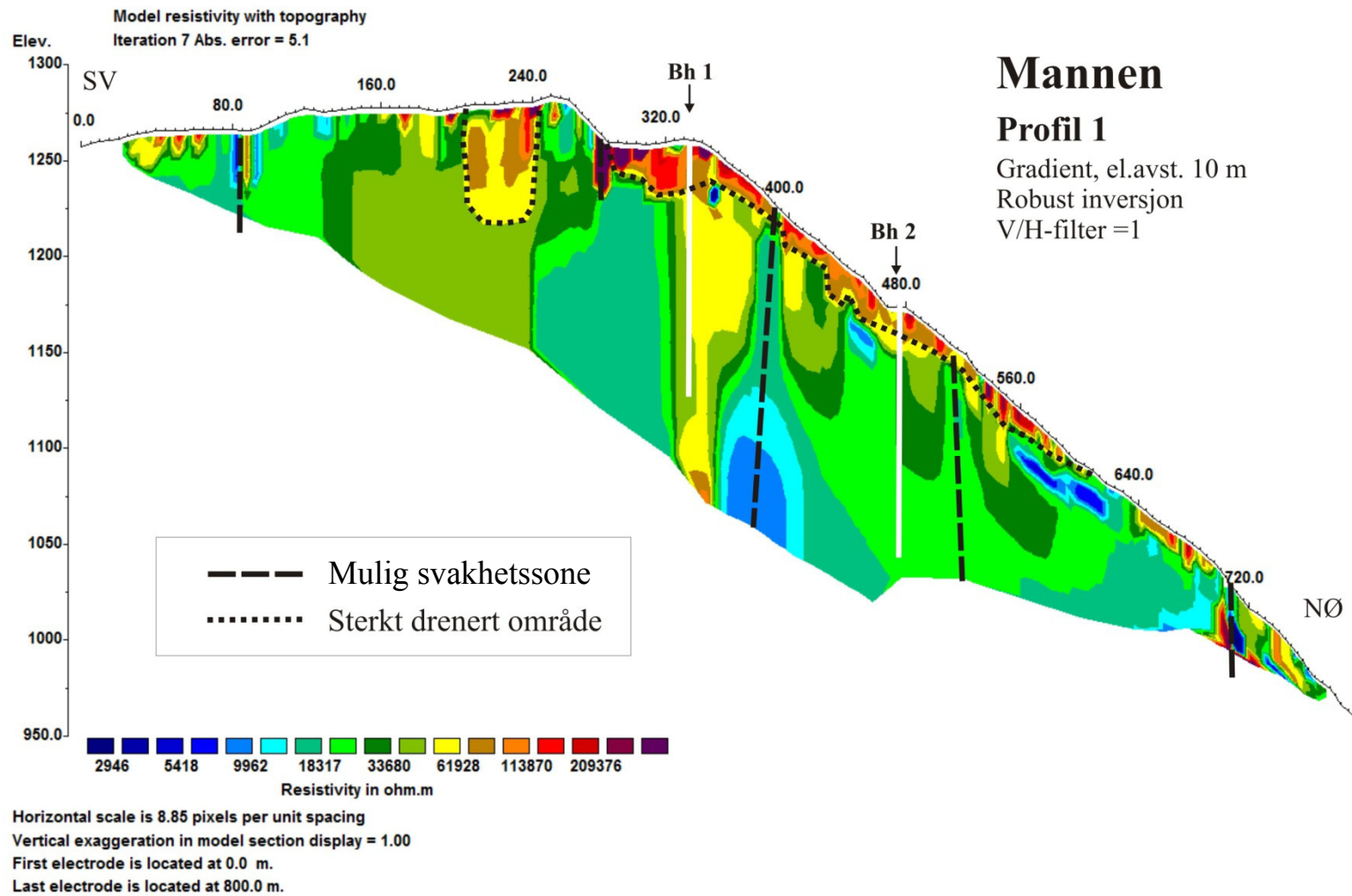




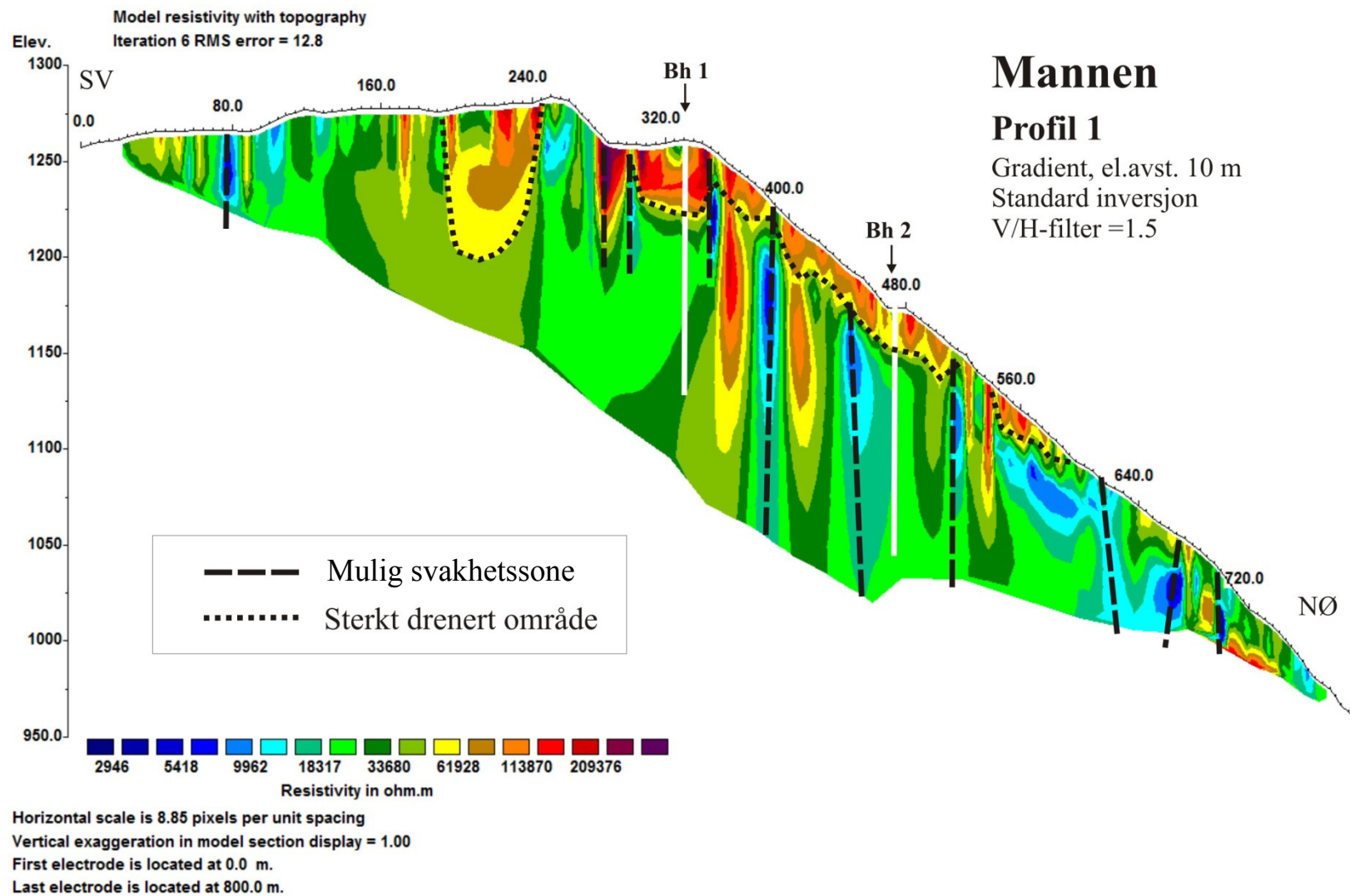
Figur 2. Profil 1. Invertert resistivitet med tolkede svakhetssoner (Robust inversjon, V/H.filter=0,5).



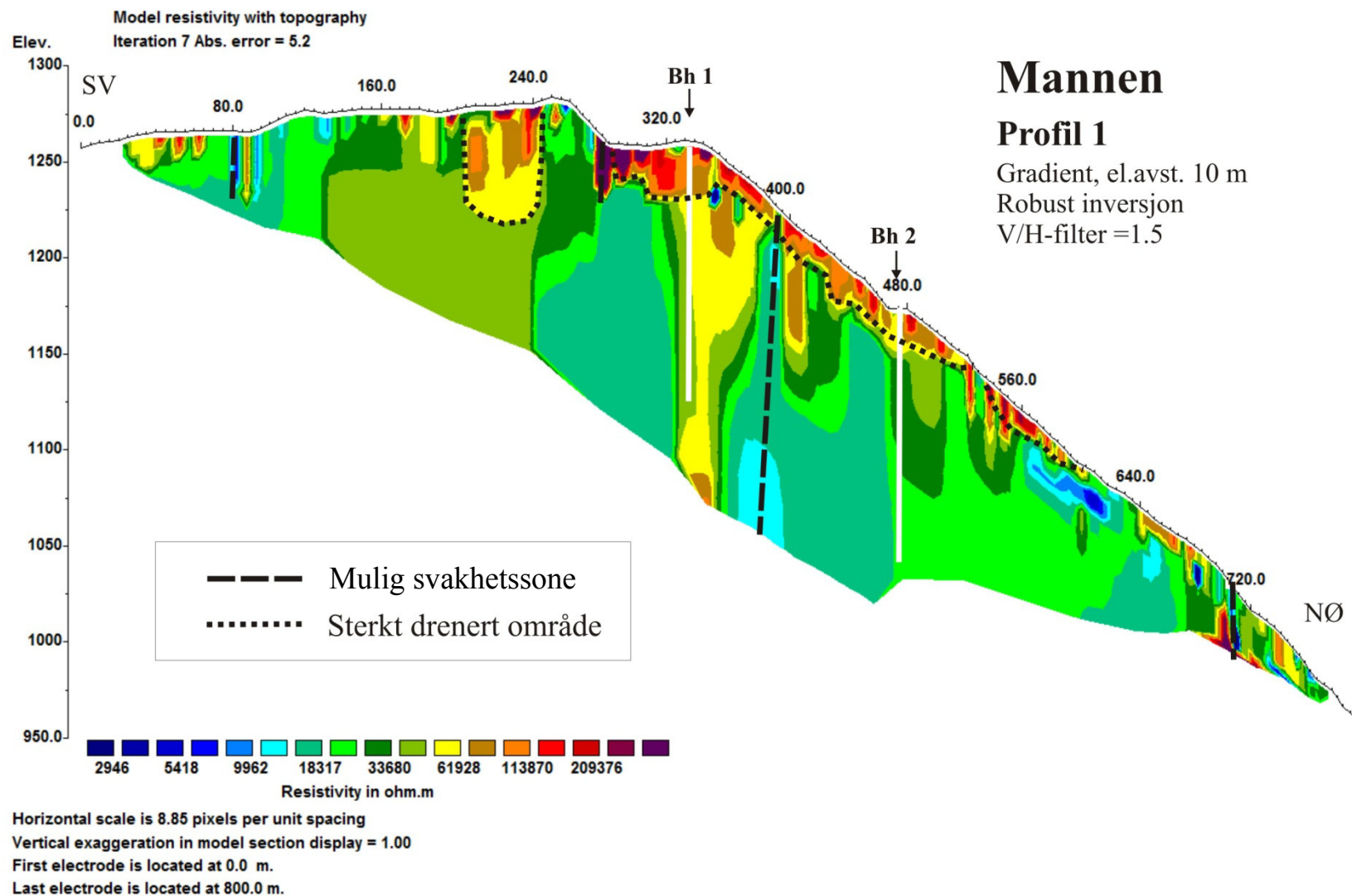
Figur 3. Profil 1. Invertert resistivitet med tolkede svakhetssoner (Standard inversjon, V/H.filter=1,0).



Figur 4. Profil 1. Invertert resistivitet med tolkede svakhetssoner (Robust inversjon, V/H.filter=1,0).

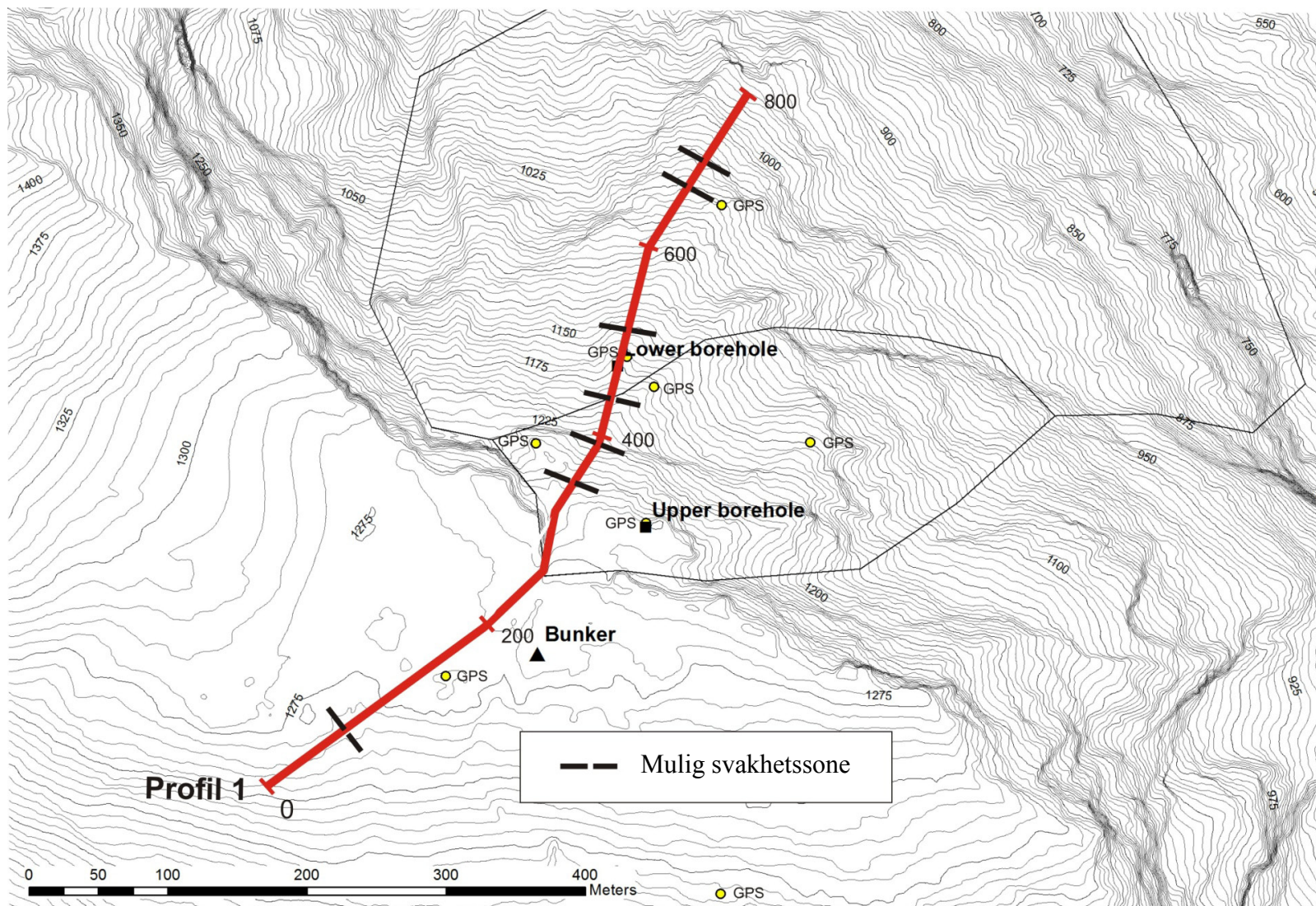


Figur 5. Profil 1. Invertert resistivitet med tolkede svakhetssoner (Standard inversjon, V/H.filter=1,5).



Figur 6. Profil 1. Invertert resistivitet med tolkede svakhetssoner (Robust inversjon, V/H.filter=1,5).





Figur 7. Oversiktskart med resistivetsprofil og tolkede svakhetssoner. Sorte polygon angir ulike scenarier for det ustabile fjellpartiet (Saintot et al.2011).

## 5. KONKLUSJON OG ANBEFALINGER

Resistivitetmålinger på Mannen har avdekt til dels ekstremt høy resistivitet dagnært, høy resistivitet mot dypet og ellers soner med moderat resistivitet. Inversjon av måledata med forskjellig inversjonsmetoder og  $\rho$ -parametre viser uvanlig store variasjoner. Tolkningen av resistivitetsdata er ikke entydig. Ekstremt høy resistivitet kan skyldes meget god drenering av fjellet, men en kan heller ikke se bort fra permafrost. Boringene, logging og senere instrumentering viser at sprekke i fjell ved borepunktene ikke er fylt med vann. Soner med moderat resistivitet kan være vannmettet fjell i et drenert miljø.

For å kunne gi mer entydige tolkninger burde en gjort forsøk på å måle temperaturen i fjellet og prøvetatt grunnvannet for analyse av elektrisk ledningsevne dersom det er mulig.

## 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.

Dalsegg E. & Tønnesen, J.F 2004: Geofysiske målinger Breitind og Børs, Rauma kommune, Møre og Romsdal. NGU Rapport 2004.008 (21 sider).

Dalsegg, E., Rønning, J.S., Tønnesen, J.F., Saintot, A. og V. Ganerød, G. 2010: Geologisk og geofysisk kartlegging av Gikling, et ustabilt fjellparti i Sunndalen, Møre og Romsdal. NGU Rapport 2010.050.

Elvebakk, H. 2011: Sammenstilling av resistivitet, seismiske hastigheter og naturlig gammastråling i norske bergarter. NGU Rapport 2011.042.

Elvebakk, H. 2012: Borhullslogging med optisk televiwer KH-02-11, Mannen, Rauma kommune, Møre og Romsdal. NGU Rapport 2012.032.

Loke. M.H. 2010: RES2INV ver. 3.59.70. Geoelectrical Imaging 2D & 3D. Instruction manual. [www.geoelectrical.com](http://www.geoelectrical.com).

Oppikofer, T. & Bunkholt, H. i prep.: Geological and engineering geological logging of drill core KH-02-11, Mannen unstable rock slope (Møre og Romsdal). NGU Rapport.

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 Hegguraksla, Stranda og Nordal kommuner, Møre og Romsdal. NGU Rapport 2007.026 (57 s.).

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

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

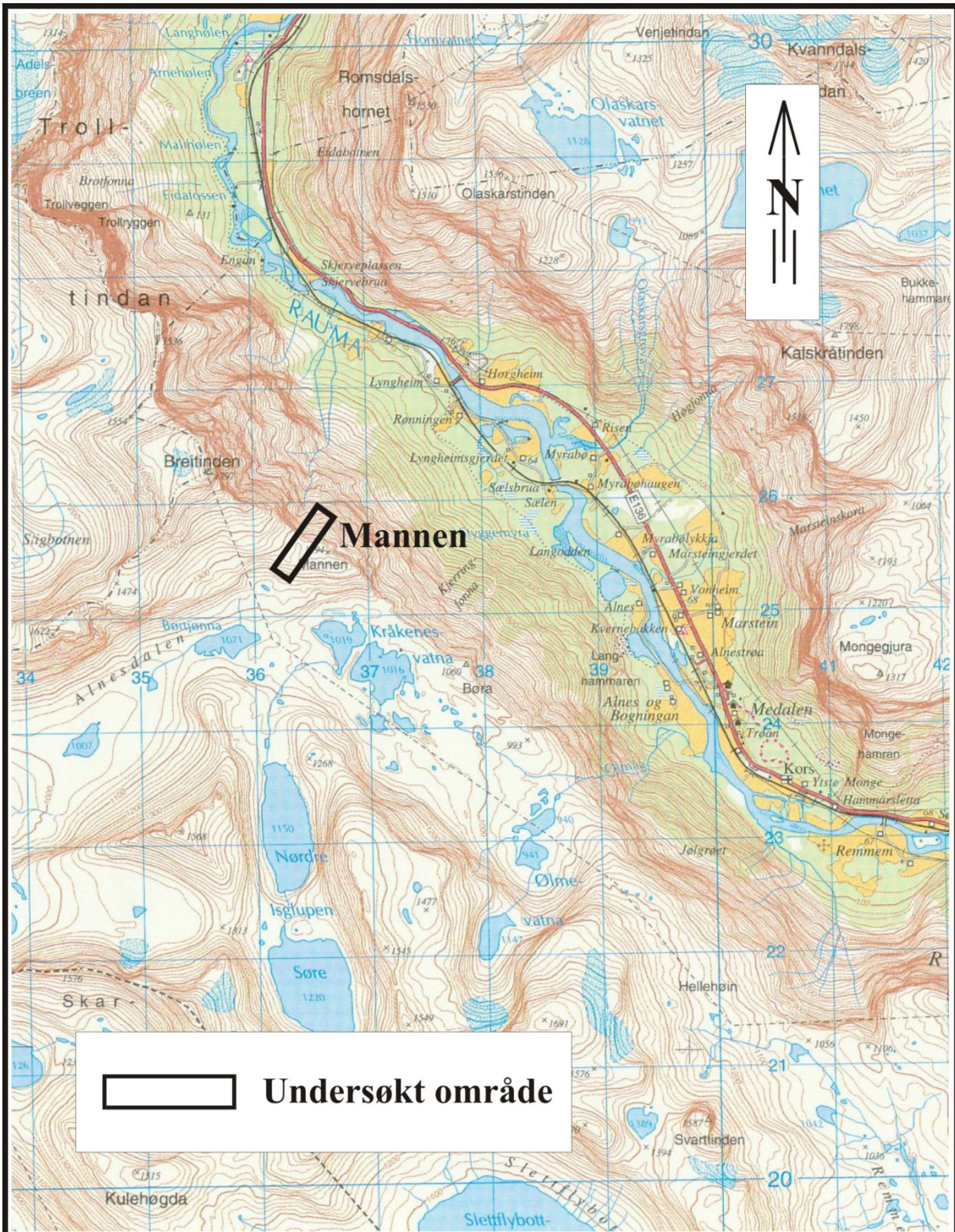
Saintot, A., Elvebakk, H., Oppikofer, T., V. Ganerød, G. og Farsund, T.Ø. 2011: Mannen unstable rock slope (Møre & Romsdal): Logging of borehole and drill core KH-01-10, geomorphologic digital elevation model interpretation & displacement analysis by terrestrial laser scanning. NGU Rapport 2011.026.



**Innmålte koordinater langs resistivetsprofi**

**WGS-84, Sone 32 V**

<b>Profil</b>	<b>Koordinat</b>	<b>UTM-øst</b>	<b>UTM-nord</b>
Profil 1	0	436692	6925927
Profil 1	200	436621	6925816
Profil 1	400	436587	6925676
Profil 1	600	436502	6925543
Profil 1	800	436347	6925429



 **Undersøkt område**

ÅKNES/TAFJORD BEREDSKAPSSENTER IKS OVERSIKTSKART <b>MANNEN</b> RAUMA, MØRE OG ROMSDAL	MÅLESTOKK	MÅLT ED-HE	Aug. 2011
	1 : 50 000	TEGN E.D.	Mars 2012
		TRAC	
		KFR	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	KARTBILAG NR 2012.024-01	KARTBLAD NR 1319 I	