



# **GEOLOGI FOR SAMFUNNET**

SIDEN 1858



**NORGES  
GEOLOGISKE  
UNDERSØKELSE**  
· NGU ·



<b>Rapport nr.:</b> 2023.018	<b>ISSN:</b> 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)	<b>Gradering:</b> Åpen	
<b>Tittel:</b> Resistivitetsundersøkelser Kristiansand kommune, Agder			
<b>Forfatter:</b> Bjørn Eskil Larsen og Jomar Gellein		<b>Oppdragsgiver:</b> NGU	
<b>Fylke:</b> Agder		<b>Kommune:</b> Kristiansand	
<b>Kartblad (M=1:250.000):</b> Arendal		<b>Kartbladnr. og -navn (M1:50.000):</b> 1511-3 Kristiansand og 1511-2 Høvåg	
<b>Forekomstens navn og koordinater:</b> Kristiansand X: 447690, Y: 6448520, UTM S32		<b>Sidetall:</b> 11	<b>Pris:</b> kr 35,-
<b>Feltarbeid utført:</b> 30. sept – 3. okt 2022		<b>Rapportdato:</b> 07.12.23	<b>Prosjektnr.:</b> 379100
		<b>Ansvarlig:</b> <i>Marco Brønner</i>	

## Sammendrag

NGU har utført undersøkelser med bakkegeofysikk i Kristiansand kommune for å følge opp enkelte områder som kan inneholde jarositt. Valgt metodikk er ERT, en metode som NGU har god erfaring med for å påvise forvitret fjell. Basert på områder hvor det påvist jarositt ble det valgt ut fire områder for videre oppfølging. Disse ble valgt basert på resultatet fra prøvetaking gjort i tidligere undersøkelser. Områdene ble i tillegg sammenliknet med NGU sitt AMAGER-kart for området. Dette er et produkt av topografi og magnetiske data hvor resultatet er et aktsomhetskart som viser potensielle områder med oppsprukket fjell eller forvitring.

Resultatet fra ERT-undersøkelsene viser i liten grad nedsatt resistivitet som kan knyttes til forvitring eller annen omvandling av fjell. Hvis det er utbredt omvandling av fjellet i målområdet så gir det i hvert fall ikke nevneverdig utslag på den elektriske ledningsevnen.

## Emneord

Resistivitet	Forvitring	

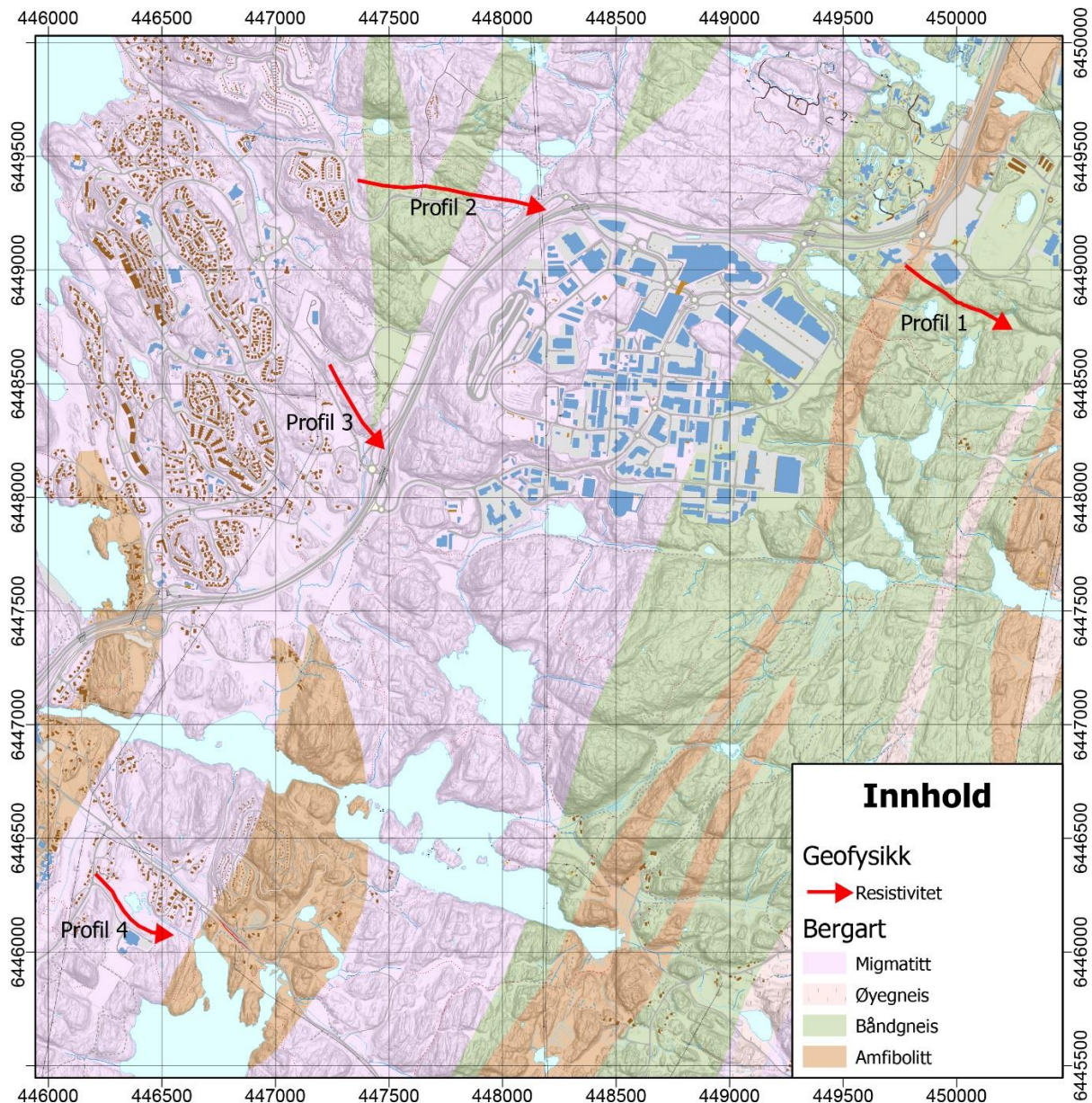
## **Innhold**

1. Innledning	4
2. Metodikk og datafangst	6
3. Resultater og tolkning	7
4. Oppsummering	8
5. Referanser	11



## 1. INNLEDNING

I forbindelse med NGU sin berggrunnskartlegging i Kristiansand kommune har det blitt utført fire resistivetsprofiler (ERT). Denne metoden ble valgt siden den kan være nyttig under identifisering av potensielle områder med forvitring, spesifikt jarositt. Fire områder ble valgt til videre oppfølging basert på resultater fra geologisk prøvetaking gjort i området. Spesielt områder med potensielt syredannende gneiss ble valgt til nærmere oppfølging. Figur 1 viser oversiktskart over området med de fire målte ERT-profilene, bakgrunnskart er NGU N250 berggrunnskart.

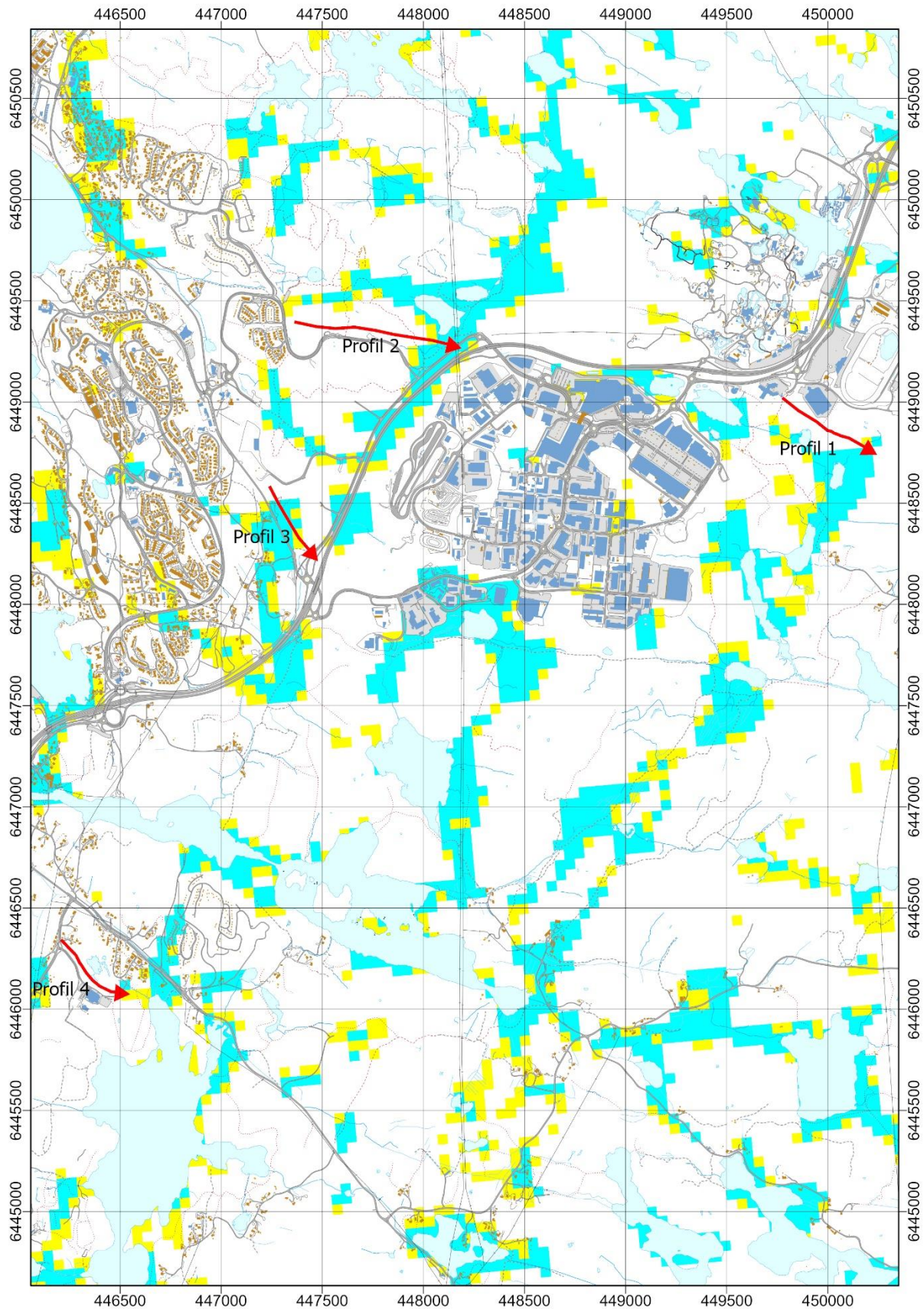


Figur 1: Oversiktskart med alle resistivetsprofiler. Bakgrunnskart er N250 NGU berggrunnskart.

Som en del av forundersøkelsene ble de utvalgte profilene plottet sammen med AMAGER-kart (Figur 2, (Baranwal, et al., 2017)). Dette er en metode som finner potensielle områder med svakhetsoner i fjell og dypforvitring basert på topografi og magnetisk signatur fra helikopterdata innsamlet av NGU. Områder med høyt potensiale for forvitring er blått, mens lavere sannsynlighet



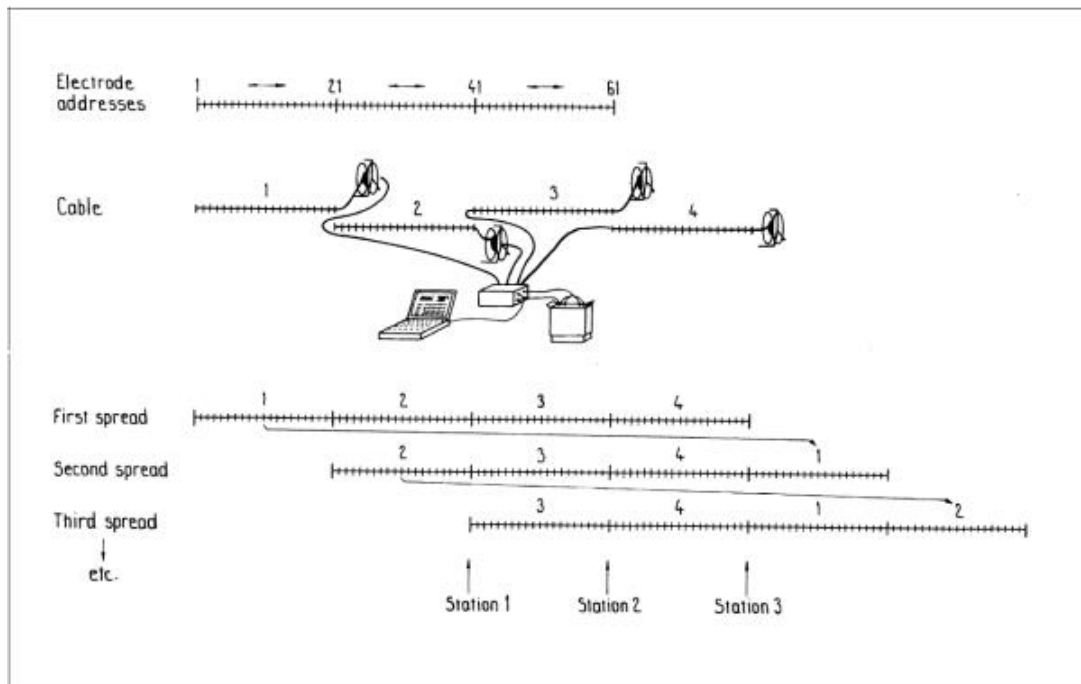
er gult. Profil 1 og 2 avslutter i en slik anomali og det forventes da nedsatt resistivitet i disse områdene. Profil 3 går gjennom en AMAGER-sone i sentrale deler.



Figur 2: AMAGER-kart med de fire ERT-linjene.

## 2. METODIKK OG DATAFANGST

Elektrisk Resistivitet Tomografi (ERT) utføres ved å sende strøm mellom et elektrodepar samtidig som det måles potensiale og motstand mellom et annet elektrodepar. Basert på strømstyrke, målt spenning og elektrodernes posisjon i forhold til hverandre (geometrisk faktor) beregnes tilsynelatende resistivitet. Utstyret brukt i undersøkelsene er utført med Lund kabelsystem (Dahlin, 1993) og ABEM Terrameter LS (ABEM, 2012). Som vist i Figur 3, kobles fire multielektrode-kabler med 21 elektroder hver til instrumentet, så kjøres en protokollfil med elektrodekonfigurasjoner. I denne undersøkelsen ble elektrodekonfigurasjonen Gradient Plus (Dahlin & Zhou, 2006) brukt.



Figur 3: LUND-systemet med 4 multi-elektrode kabler. Figuren viser også hvordan roll-along systemet fungerer.

Oppløsning på datasettet styres av elektrodeavstanden. Tett elektrodeavstand gir høyere oppløsning, men det er på bekostning av dybdepenetrasjon. Ved 5 m elektrodeavstand vil fullt utlegg være 400 m langt og pålitelig dybdepenetrasjon være ca. 50 m. Tabell 1 viser lengde og elektrodeavstand for alle profiler.

Tabell 1: Lengde og elektrodeavstand for målte profiler.

Navn	Lengde	Elektrodeavstand	RMS Error	Sted
ERT Profil 1	500m	5m	5,3%	Sørlandshallen
ERT Profil 2	800m	5m	7,2%	Lauvåsen
ERT Profil 3	400m	5m	4,3%	Buråsen
ERT Profil 4	400m	5m	10,2%	Sukke vannshallen

Målte verdier er *tilsynelatende resistivitet* som må inverteres for å få sann resistivitet. All data er invertert med Res2DInv (Loke, 2017) med robust databegrensing. Ved bruk av ERT kan det forventes å avdekke sprekker, løsmassetykkelse, grunnvannstand samt grenser mellom geologiske enheter (både løsmasser og bergarter) hvor det forekommer en forskjell i elektriske egenskaper. Tabell 2 viser resistivitetsverdier i utvalgte geologiske materialer. Det tas et forbehold om nøyaktigheten langs dybde dimensjonen. Nøyaktigheten vil minske med dypet, men generelt er nøyaktigheten i øverste halvdel av profilet bedre enn elektrodeavstanden. NGU har i tidligere arbeid

utviklet en karakterisering av ulike løsmasser og bergarter basert på ERT-målinger (Reynolds, 2011), denne er vist i Tabell 2.

Tabell 2: Resistivitetsverdier i utvalgte materialer. (Reynolds, 2011) og (Olesen, et al., 2020).

Material	Resistivity ( $\Omega\text{m}$ )
Sand (vannmettet)	30 - 800
Sand (tørr)	100 - 3000
Morene	10 - 5000
Krystallint fjell	< 2000
Forvitret fjell	500 - 2000

### 3. RESULTATER OG TOLKNING

Det ble målt fire profiler med lengde på mellom 400 m og 800 m. Jordingsforhold var generelt gode, noe som ga lav overgangsmotstand som igjen gir god datakvalitet. Ved Profil 1 og Profil 4 var det andre faktorer enn jordingsforhold som påvirket kvaliteten på data. Dette er nærmere beskrevet under. Generelt forventes det resistivitet på  $>2000 \Omega\text{m}$  i friskt fjell, så kun områder under disse verdiene vil bli vurdert som potensiell forvitring.

Profil 1 (Figur 4) er 500 meter langt og starter i vest ved parkeringsplass og går østover forbi Sørlandshallen. Den ender opp i et myrområde med mye overvann i øst. Dette er det eneste våtområdet profilet passerer gjennom, ellers er det et tynt organisk dekke over fjell. Resistiviteten er høy i overflaten gjennom hele profilen, men fra 100 meter og videre østover vises lavere resistivitet under den overflatenære høye resistiviteten. Spesielt fra 100 til 200 m er det verdier ned mot  $100 \Omega\text{m}$ , noe som kan forklares med en elektrisk ledende mineralisering. Men i dette tilfellet skyldes det nok heller nærhet til idrettshall, denne delen av profilet ligger nærmest hallen og blir nok påvirket av elektrisk ledende komponenter. Videre østover er det også lav resistivitet under et 20 meter tykt lag med høy resistivitet. Her er verdiene mellom  $1000$  og  $2000 \Omega\text{m}$ , noe som kan passe med forvitret fjell, men også her kan det være forstyrrende respons fra nærliggende infrastruktur som gir den lave resistiviteten. Helt i øst er det veldig lav resistivitet i overflaten, helt ned mot  $100 \Omega\text{m}$ .

Profil 2 (Figur 4) er 800 meter langt og starter i vest ved Lauvåsen og går rett øst og ender opp like sør for Ravnåstjørna. Stort sett hele profilet går gjennom skog med tynt organisk overdekke over fjell, deler av profilet passerer gjennom myr og våtmark.

Resistiviteten langs profilet er gjennomgående høy. Det er over  $5000 \Omega\text{m}$  hele veien bortsett fra noen overflatenære områder som kan knyttes til myr. Det eneste området som har nedsatt resistivitet er ved ca. 730 meter langs profilet. Her er det også myr i overflaten, men det virker å være nedsatt resistivitet under myra også. Dette stemmer godt med AMAGER-anomali tidligere beskrevet. Resistivitetsverdier på  $<1000 \Omega\text{m}$  tyder på fjell med høy porøsitet som gjerne er forårsaket av forvitring og/eller oppsprekking i forbindelse med forkastninger.

Profil 3 (Figur 5) er 400 meter lang og starter ved industritomt ved enden av Silurveien og ender opp ved Lauvåsen hovedvei. Profilen går gjennom skog med tynt organisk overdekke til fjell, men det er også noen områder som har mektigere sedimenter.

Resistiviteten langs profilen er i likhet med Profil 2 høy, dette er også forventet i fast fjell. Ved ca. 60, 75 og 90 meter langs profilet fins det små overflatenære lommer med nedsatt resistivitet. Dette kan enten skyldes lommer med sedimenter. Det er også lavere resistivitet ved ca. 110-140 meter, her er resistiviteten såpass lav,  $<250 \Omega\text{m}$ , at det må være enten marine sedimenter eller forstyrrelser fra infrastruktur som leder strøm. Det samme gjelder området ved ca. 220 meter. Kvartærgeologisk kart bekrefter Hav- og fjordavsetninger i området.



Profil 4 (Figur 5) starter i vest og går langs tursti, parallelt med Dvergsnesveien og ender opp nordøst for Sukkevannshallen. Nord for store deler av profilet er et veldig vått myrområde og et lite vann. Resistiviteten i overflaten er lav både ved de første og de siste 100 metere. Her er verdiene mellom 100  $\Omega$ m og 200  $\Omega$ m, over en skarp gradient hvor resistiviteten øker til  $>3000$   $\Omega$ m. Dette tolkes som marine sedimenter over fjell. Det kvartærgeologiske kartet viser marine avsetninger i nordre del av profilet, men ikke ved sørlig ende, men siden resistiviteten viser de samme verdier tolkes begge områder til å være marine avsetninger over fjell.

Sentrale deler av profilet viser høy resistivitet over et område med lav resistivitet. Denne delen av profilet går over en liten fjellknaus og beveger seg litt bort fra det våte myrområdet. Resultatet blir da at den høye resistiviteten til fjellet kommer riktig frem nær overflaten, mens den lave resistiviteten til myrområdet da blir plottet under fjellområdet siden strømmen heller følger denne i stedet for å gå i fjellet under. Det er dermed ingen lomme med lav resistivitet under friskt fjell, kun en 3D-effekt av å måle nær områder som «stjeler» strømmen.

#### 4. OPPSUMMERING

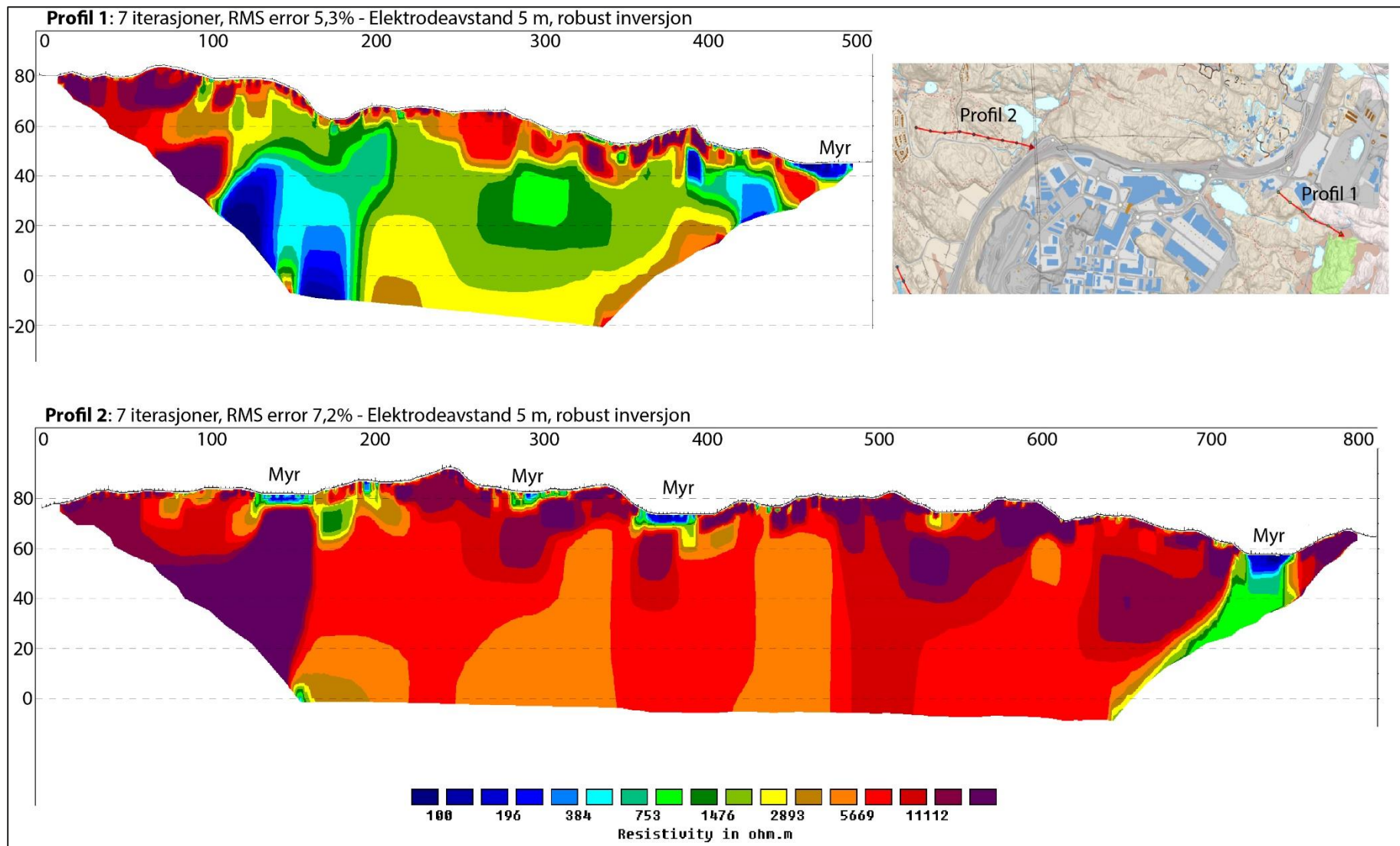
**Profil 1** viser fjell med høy resistivitet ved overflaten langs hele profilet, bortsett fra de siste 50 metere som er myr. Hele profilet er preget av lav resistivitet under et lag som er tolket som fjell, noe som kan bety enten en endring til en mer elektrisk ledende bergart eller at samme bergart som vises i overflaten har andre egenskaper mot dypet som gir høyere ledningsevne. Men aller helst skyldes nok dette forstyrrelser fra nærliggende infrastruktur som leder strøm.

**Profil 2** består stort sett av fjell med høy resistivitet. Det er ingen områder dekket med løsmasser, kun noen områder med myr som kan være noen meter tykk. Det er kun ett område som viser en mulig forvitringssone og det er helt øst under en myr. Denne sonen passer også godt med AMAGER-anomali.

**Profil 3** består også i stor grad av fjell med høy resistivitet. De eneste områdene som viser lavere resistivitet er overflatenære områder som er tolket som marine avsetninger.

**Profil 4** viser veldig lav resistivitet i overflaten de første og siste 100 metere. Dette tolkes som marine løsmasser. Den sentrale delen viser to områder med høy resistivitet som er to bergknauser hvor det ikke er løsmasser til stede. Ellers er den lave resistiviteten knyttet til myrområde nord for profilet.





Figur 4: ERT profil 1 og 2.



## 5. REFERANSER

- ABEM, 2012. *ABEM Terrameter LS. Instruction Manual, release 1.11*, Sundbyberg: ABEM Instrument AB, Sweden.
- Baranwal, V. C., Brønner, M., Olesen, O. & Nazuti, A., 2017. *Rock construction awareness map from South Norway*, Trondheim: Norges geologiske undersøkelse, Rapportnr 2017.048.
- Dahlin, T., 1993. *On the automation of 2D resistivity surveying for engineering and environmental applications..* Lund: Department of Engineering Geology, Lund Institute of Technology, Lund University. 187pp, ISBN 91-628-1032-4.
- Dahlin, T. & Zhou, B., 2006. Multiple-gradient array measurements for multichannel 2D. *Near Surface Geophysics, Vol 4, No 2*, April, pp. 113-123.
- Loke, M. H., 2017. *Geoelectrical Imaging 2D & 3D. Instruction Manual. Res2DInv 4.07.* <http://www.geotomosoft.com/>.
- Olesen, O. et al., 2020. *Coop Phase 3 Crustal Onshore-Offshore Project, NGU Report 2019.036*, Trondheim: NGU.
- Reynolds, J. M., 2011. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. 2nd ed. Chichester, West Sussex: Wiley-Blackwell.
- Solberg, I.-L., Hansen, L., Rønning, J. S. & Dalsegg, E., 2011. *Veileder for bruk av resistivitetsmålinger i potensielle kvikkleireområder. NGU Rapport 2010.048*, Trondheim: NGU.





NORGES  
GEOLOGISKE  
UNDERSØKELSE  
· NGU ·

Norges geologiske undersøkelse  
Postboks 6315, Sluppen  
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse  
Leiv Eirikssons vei 39  
7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00  
E-post [ngu@ngu.no](mailto:ngu@ngu.no)  
Nettside [www.ngu.no](http://www.ngu.no)