

**NGU RAPPORT**  
**2016.043**

---

Grunnundersøkelser ved Raudsand,  
Nesset kommune, Møre og Romsdal.  
Resultater fra helikoptermålinger og  
forslag til videre undersøkelser.





|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                   |                                                             |                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <b>Rapport nr.:</b> 2016.043                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>ISSN: 0800-3416 (trykt)</b><br><b>ISSN: 2387-3515 (online)</b> | <b>Gradering:</b><br>Konfidensiell til 31.12.2020           |                       |
| <b>Tittel:</b><br>Grunnundersøkelser ved Raudsand, Nesset kommune i Møre og Romsdal. Resultater fra helikoptermålinger og forslag til videre undersøkelser.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                   |                                                             |                       |
| <b>Forfatter:</b><br>J.S. Rønning, V.C. Baranwal og Frode Ofstad.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                   | <b>Oppdragsgiver:</b><br>Bergmesteren Raudsand as           |                       |
| <b>Fylke:</b><br>Møre og Romsdal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                   | <b>Kommune:</b><br>Nesset                                   |                       |
| <b>Kartblad (M=1:250.000)</b><br>Ålesund                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                   | <b>Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)</b><br>1320-I Tingvoll |                       |
| <b>Forekomstens navn og koordinater:</b><br>Raudsand UTM 32 V 455000 – 6967000                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                   | <b>Sidetall:</b> 19<br><b>Kartbilag:</b>                    | <b>Pris:</b> 120,-    |
| <b>Feltarbeid utført:</b><br>Oktober 2016                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>Rapportdato:</b><br>14.11.2016                                 | <b>Prosjektnr.:</b><br>353204                               | <b>Ansvarlig:</b><br> |
| <b>Sammendrag:</b> <p>På oppdrag fra Bergmesteren Raudsand as har NGU utført magnetiske, elektromagnetiske og radiometriske målinger fra helikopter vest for Raudsand i et område hvor det kan være aktuelt å etablere nasjonalt deponi for uorganisk farlig avfall i fjellhaller. Det var av interesse å kartlegge eventuelle ukjente jernmalm-kropper i området, om det er dypforvitret fjell som kan skape problemer ved byggingen og driften av deponihallene og om det er forhøyete konsentrasjoner av radioaktive elementer i bergartene.</p> <p>De magnetiske data indikerer en ny jernmalmskropp i forlengelsen av Z-malmen, og denne vil komme i kontakt med fjellhaller slik de er planlagt nå. Før etablering av fjellhaller bør det bores mot denne kroppen for å avklare fjellkvalitet og om det er sulfider i bergartene.</p> <p>Analyse av de magnetiske data sammenholdt med forsenkninger i terrenget indikerer flere mulige dypforvitrede soner som kan skape problemer ved etablering og drift av fjellhaller. En av disse sonene er tidligere undersøkt med 2D resistivetsmålinger og disse bekrefter at det her kan være dypforvitret fjell. En annen mulig sone ligger i enden av hallområdet, og denne må undersøkes med boring før en starter bygging av adkomsttunnel og haller i fjellet. Ideelt sett burde også denne sonens bredde, dyptgående og fall kartlegges ved 2D resistivetsmålinger før boring, men NGU ser at det nå er viktig å komme i gang med planlagte boringer.</p> <p>Det er ingen indikasjoner på større massive sulfidmineraliseringer i det helikoptermålte området. Dette utelukker ikke at det kan finnes fattigere sulfidmineraliseringer der sulfidkornene ikke har kontakt med hverandre. Dette kan undersøkes med IP-målinger på bakken og i borehull.</p> <p>Det er ikke påvist unormale høye konsentrasjoner av de radioaktive elementene uran, thorium eller kalium i de blottede bergartene ved Raudsand. En kan imidlertid ikke si noe om tilstedeværelse av disse elementene mot dypet ut fra helikoptermålingene.</p> <p>Bergmassekvaliteten generelt i området må undersøkes nærmere før en starter arbeidet med adkomsttunnel og fjellhaller. Dette kan gjøres ved resistivetsmåling, refraksjonsseismikk og flere. Alle borehull må logges geofysisk og med "televiwere" for å avklare bergmassekvalitet og om det kan opptre forhøyete konsentrasjoner av radioaktive elementer i dypet. Grunnvannets opptreden i berget og dets kjemi anbefales undersøkt med prøvepumping, logging av vannkvalitet, prøvetaking og kjemisk analyse.</p> |                                                                   |                                                             |                       |
| <b>Emneord:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Geofysikk                                                         | Helikoptermåling                                            |                       |
| Grunnundersøkelse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Magnetiske målinger                                               | Elektromagnetiske målinger                                  |                       |
| Radiometriske målinger                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Fjellkvalitet                                                     | Fagrapport                                                  |                       |



## **Innhold**

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| 1. INNLEDNING .....                           | 6  |
| 2. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE .....             | 6  |
| 3. RESULTATER OG TOLKNINGER.....              | 7  |
| 3.1 Nye jernmalmmineraliseringer .....        | 7  |
| 3.2 Mulig dypforvitret fjell.....             | 10 |
| 3.3 Mulige sulfidmineraliseringer .....       | 14 |
| 3.4 Naturlig radioaktivitet.....              | 15 |
| 3.5 Grunnvannets opptreden og vannkjemi ..... | 17 |
| 4. KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER.....          | 17 |
| 5. REFERANSER .....                           | 19 |

## 1. INNLEDNING

NGU utførte i 2015 på oppdrag fra Miljødirektoratet en vurdering av mulige fremtidige lokaliteter for lagring av uorganisk farlig avfall (Cramer m. fl. 2015). En av de aktuelle lokalitetene var nye fjellhaller i området ved de gamle jernmalmgruvene ved Raudsand. Geologien i området (berggrunn, struktur og hydrogeologi) samt gunstige og mindre gunstige aspekter ved lagring er beskrevet i nevnte rapport (Cramer m.fl. 2015).

Firmaet Bergmesteren Raudsand as ønsker å fremme søknad om konsesjon for nytt nasjonalt anlegg for farlig avfall ved Raudsand. I denne sammenheng kontaktet firmaets representanter NGU og ba om et møte for å avklare hva NGU viste om geologien på stedet ut fra tidligere tiders gruvedrift. Under diskusjoner på det avholdte møtet kom det frem at flere forhold var nyttig å få avklart, og NGU foreslo å utføre geofysiske målinger fra helikopter for å få svar på noen av de aktuelle spørsmålene:

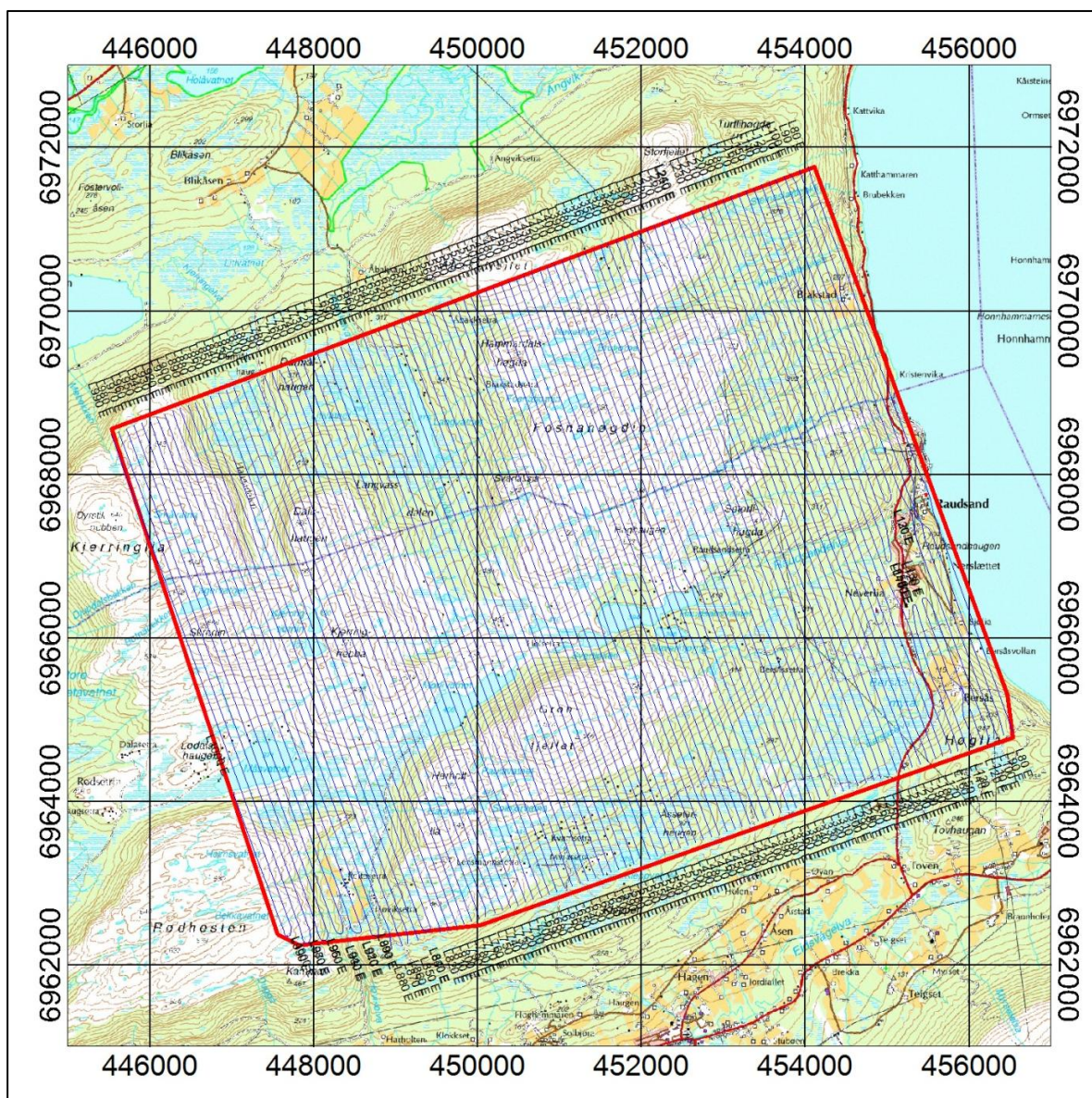
1. Finnes det hittil ukjente jernmalm kropper i det aktuelle området for fjellhaller?
2. Finnes det dypforvitret fjell som vil skape problemer for etablering av fjellhaller?
3. Er det sulfider i bergartene som kan bidra til surt grunnvann som i sin tur kan skape problemer til et avfallsdeponi i fjell?
4. Finnes det radioaktive elementer (uran og thorium) i mengder som kan bidra til uheldig arbeidsmiljø i lagringshallene?

NGU utførte magnetiske, elektromagnetiske og radiometriske målinger fra helikoptermålinger i det aktuelle området i starten av oktober 2016. Datainnsamling og prosessering av måledata er beskrevet i egen NGU Rapport (Ofstad 2016). En tolkning av oppnådde resultater og anbefaling om videre undersøkelser beskrives i herværende rapport.

## 2. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

De geofysiske målingene fra helikopter ble gjennomført med NGU standard utstyrspakke. Datainnsamling og prosessering er beskrevet i egen NGU-rapport (Ofstad 2016), og det vises til denne rapporten for detaljer. Figur 1 viser de målte linjene. I hovedsak ble linjene målt som planlagt bortsett fra i tettbebygde områder hvor det er forbudt å fly med underhengende sonde.

For å øke oppløsningen ble det fløyet med en linjeavstand 100 meter (200 m benyttes ved NGUs standardundersøkelser). Målelinjene ble fløyet i retning  $160^{\circ}$  –  $340^{\circ}$  med en gjennomsnittlig hastighet på 80 km/t. Gjennomsnittlig høyde over bakken for de magnetiske og elektromagnetiske målingene var 47 meter, mens de radiometriske målingene ble foretatt 75 meter over bakken. I områder med steilere topografi varierte målehøyden, men data er korrigert for dette. Målepunktavstanden ved de magnetiske målingene var 4,4 m, ved de elektromagnetiske målingene 2,2 meter mens de radiometriske målingene ble samlet over en strekning på 22 meter. Datakvaliteten ved alle målinger vurderes som meget god.



Figur 1: Målte linjer ved helikoptermålingene ved Raudsand.

### 3. RESULTATER OG TOLKNINGER

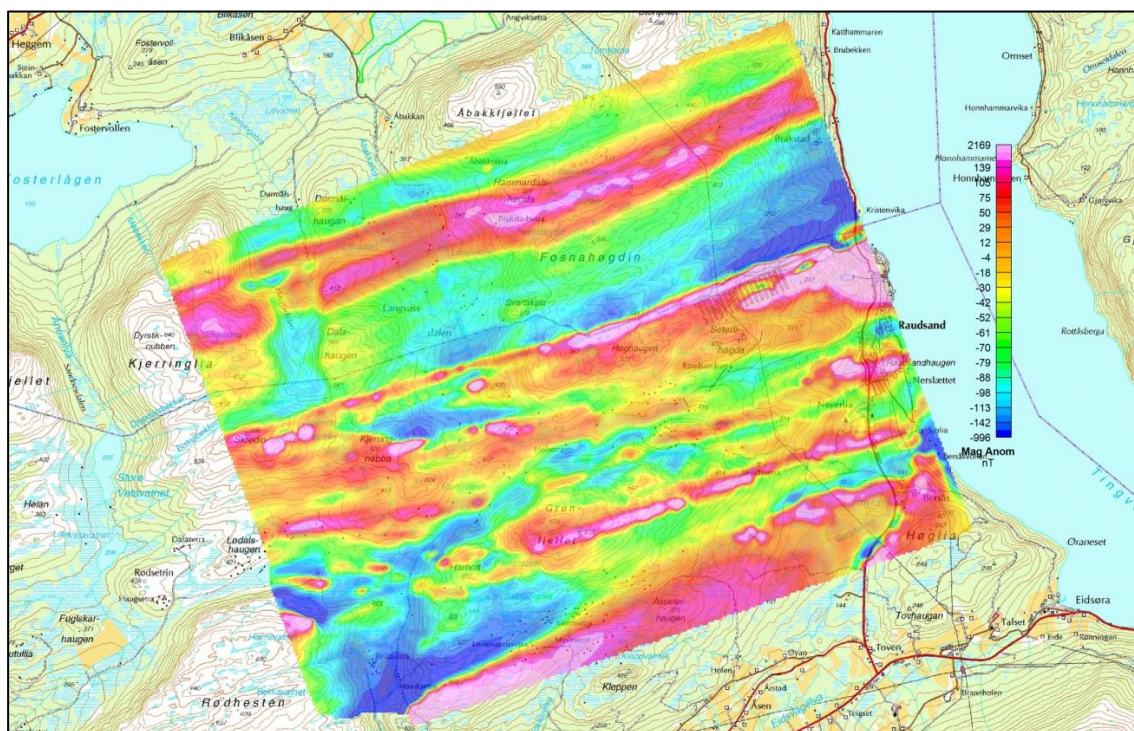
I det følgende blir resultatene fra helikoptermålingene tolket med henblikk på de problemstillinger som ble skissert innledningsvis, og det blir anbefalt videre undersøkelser der dette synes nødvendig. Det gjøres ingen forsøk på tolking av resultatene ut over dette.

#### 3.1 Nye jernmalmmineraliseringer

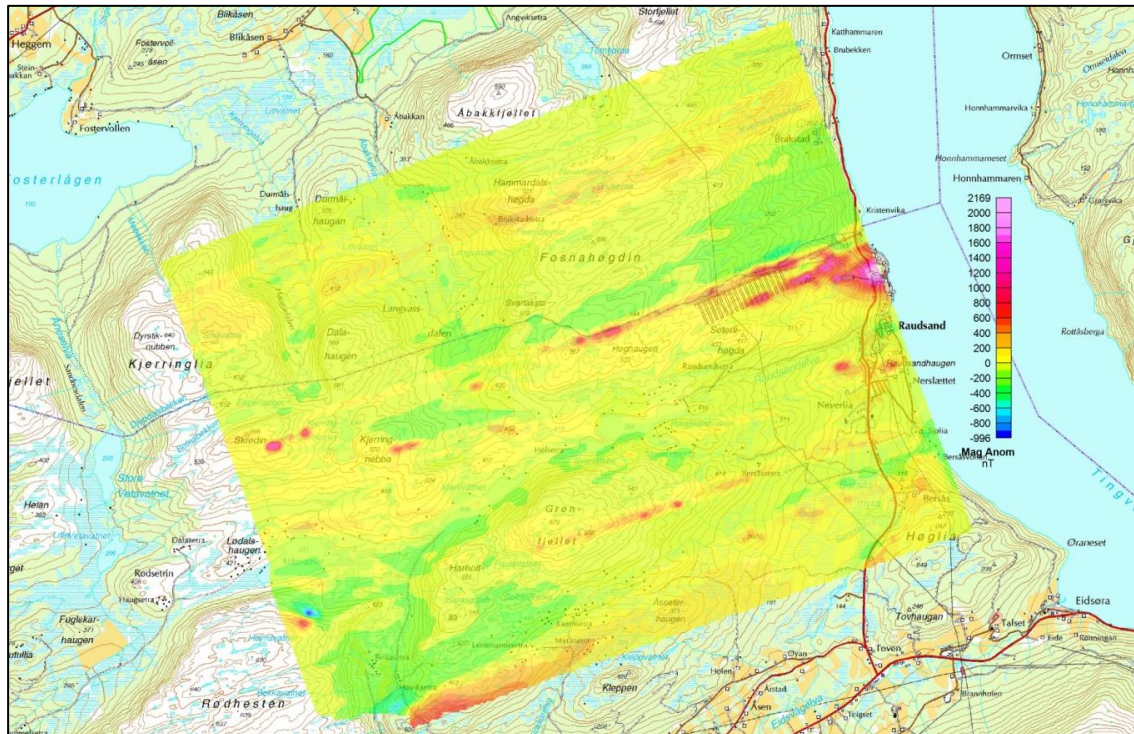
Figur 2 viser resultatene fra de magnetiske målingene slik de vanligvis presenteres. Hvert fargeintervall dekker et like stort areal, noe som gir en god måte å fremstille data på for å kunne se alle variasjoner i datasettet. En ser imidlertid at flere områder får en tilsvarende farge som jernmalmen ved Raudsand. For å få et bedre bilde av



eventuelle jernmalmer ut over de kjente er data fremstilt med en lineær fargeskala i figur 3.



Figur 2: Magnetiske data ved Raudsand presentert med standard fargeskala.



Figur 3: Magnetiske data ved Raudsand presentert med lineær fargeskala.

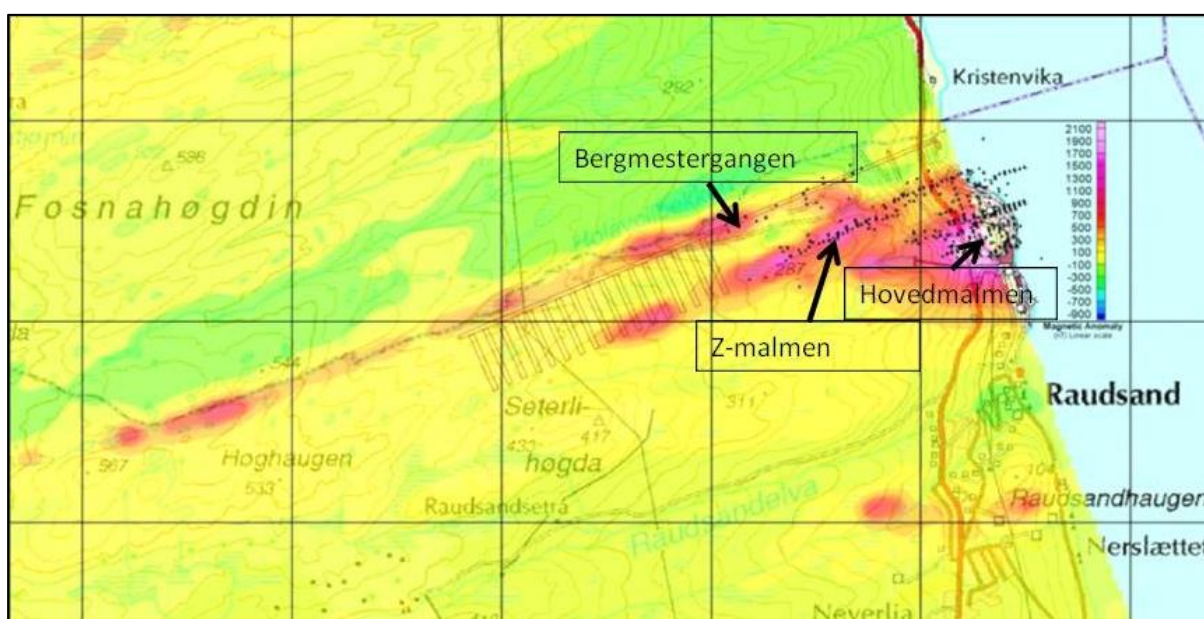
Figur 3 viser at det er jernmineraliseringene ved Raudsand som forventet gir de sterkeste magnetiske anomaliene. Hovedmalmen har høyeste anomali på over 2000 nT.



I figur 4 er det zoomet inn på magnetfeltet rundt gruvene på Raudsand. Borehull som NGU kjenner til, er plottet som sorte prikker uten at fall på boringene er angitt. Dette bildet viser at det trolig ligger en mindre jernmineralisering i forlengelsen av z-malmen mot vest, og som kan komme i kontakt med noen av de planlagte fjellhallene. NGU har ingen kjennskap til boringer mot denne mineraliseringen, og type mineralisering og hvilke problemer den eventuelt kan skape for fjellhaller er ikke kjent. Det anbefales boring mot mineraliseringen for å avklare disse spørsmålene.

Hvor dypt denne mineraliseringen ligger og hvor stor den er, kan tolkes ved å utføre modellberegning. Dette krever detaljert kunnskap om de magnetiske egenskapene både til mineraliseringen og omgivelsene. Denne type kunnskap kan erverves ved å logge magnetisk susceptibilitet i borehull som skjærer mineraliseringen (mest nøyaktig) eller ved å måle på tilgjengelige prøver av involverte bergarter. NGU anbefaler dette på et senere tidspunkt dersom Raudsand skulle bli valgt som deponiområde.

Figur 4 viser også en forlengelse av det geologiske miljøet Bergmestergangen ligger i mot vest. Rett sør for Fosnahøgden ligger en lokal anomali, men styrken av denne indikerer en svakere anrikning av magnetiske mineraler. Det er også her uklart hva dette har å si for adkomsttunnel og fjellhaller, og bør undersøkes dersom det blir aktuelt med deponihaller i fjellet i dette området.

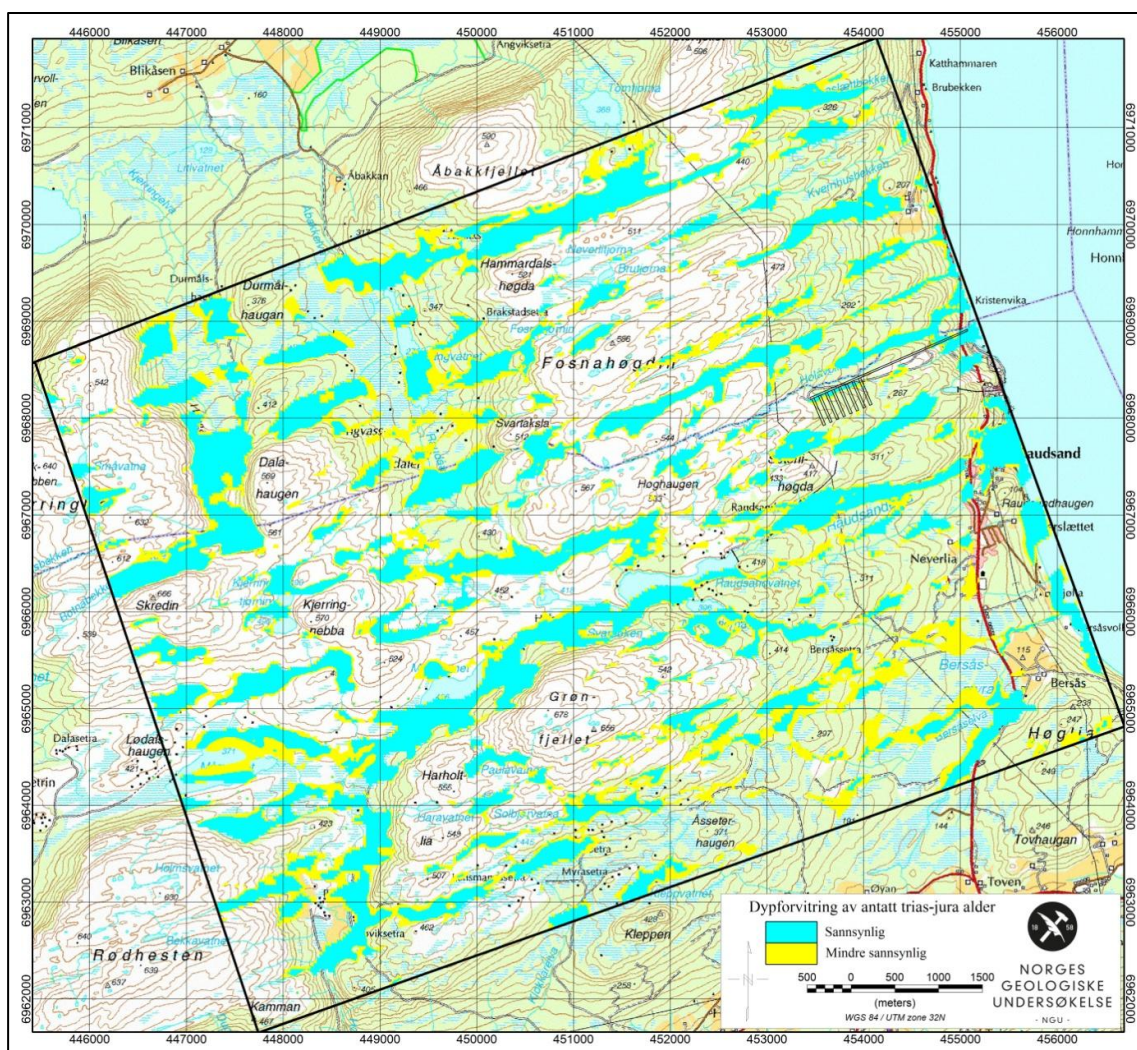


Figur 4: Nærbilde av magnetiske data ved Raudsand. Sorte prikker angir borehull som NGU har kjennskap til. Sorte streker angir planlagt adkomsttunnel og deponihaller i fjell. Hver rute angir 1 km x 1 km.

### 3.2 Mulig dypforvitret fjell

En metode for påvisning av mulig dypforvitret fjell er utviklet av NGU (Olesen et al. 2007). Metoden bygger på at forvitring som skjedde i Trias- og Jura-tiden omvandlet silikatminerale til leire samtidig som magnetitten i bergartene ble omvandlet til mindre magnetiske mineraler (hematitt og jernhydroksyder). Effekten av dette er en svak bergart som lett eroderes og hvor magnetfeltet er svekket. Mulige dypforvitrede soner tolkes ved å sammenholde forsenkninger i terrenget med lavt magnetfelt.

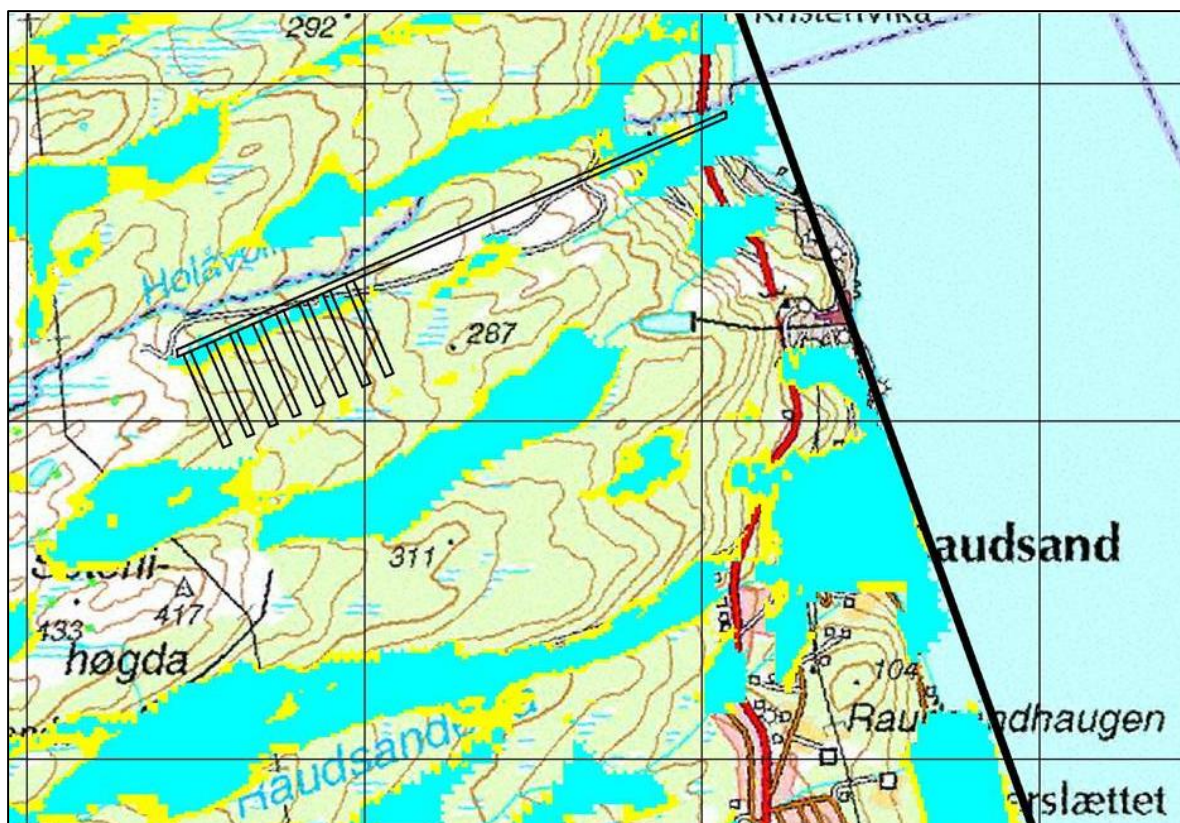
Ved vurderingen av aktuelle deponiområder som NGU gjennomførte i 2015, forelå det tolkning av mulige dypforvitrede soner ved flere av de foreslåtte lokalitetene (Cramer m.fl. 2015). Ved Raudsand manglet magnetiske data for å gjøre en slik tolkning. De nødvendige data foreligger nå, og NGU har gjennomført analysen. Metodikken er beskrevet av Baranwal m. fl. 2016, med unntak av at det ved Raudsand ikke var nødvendig å benytte funksjonen "automatisk gain control" (AGC) på det magnetiske datasettet. Ved at målingene ble foretatt med linjeavstand 100 meter kunne cellestørrelsen ved denne undersøkelsen reduseres til 30 X 30 meter.



Figur 5: Mulig dypforvitring i det helikoptermålte området ved Raudsand. Hver rute angir 1 km x 1 km.



Figur 5 viser flere soner med sannsynlig og mindre sannsynlig dypforvitring i området hvor det ble foretatt helikoptermåling vest for Raudsand. Et mer detaljert bilde i det aktuelle området for fjellhaller ved Raudsand er vist i figur 6.

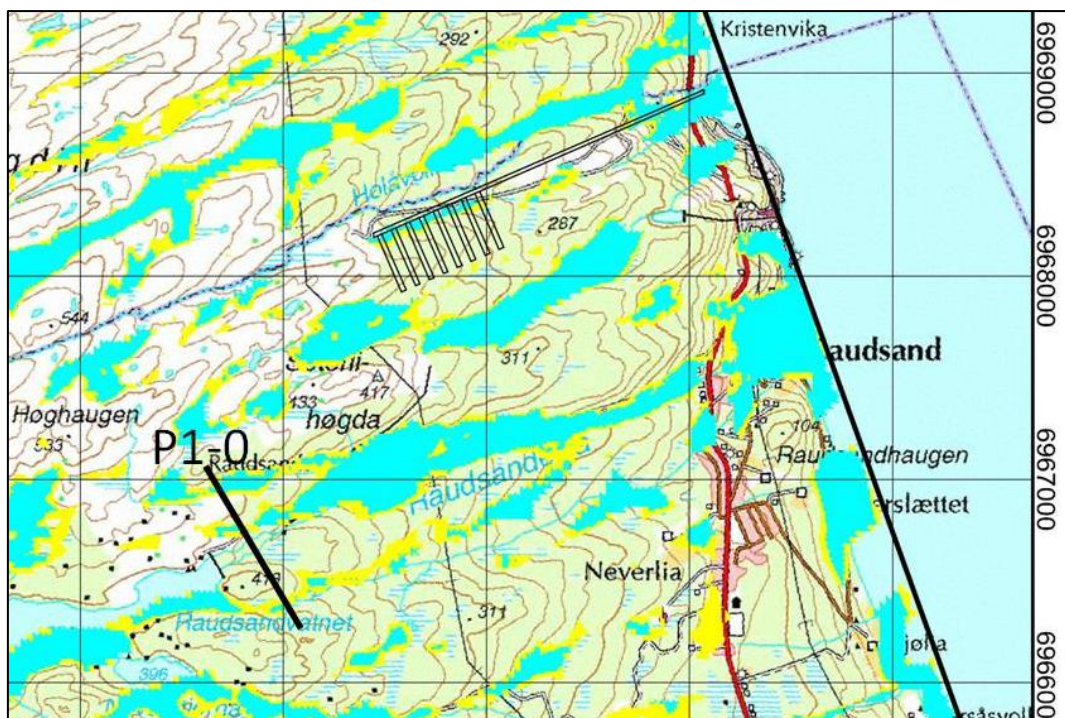


Figur 6: Nærbilde av mulig dypforvitrede soner ved Raudsand. Tegnforklaring som i figur 5.

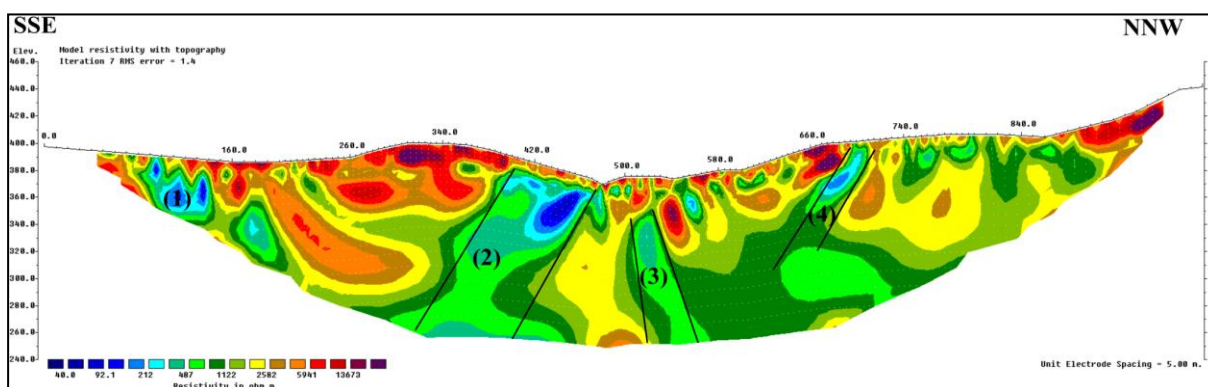
Figur 6 viser en mulig dypforvitret sone i starten av flere av de planlagte fjellhallene. Sonen ligger også tett opp til den planlagte adkomsttunnelen. Det er ikke mulig ut fra foreliggende data å bestemme fall og dyptgående av denne sonen. NGU har erfaring for at slike dypforvitrede soner kan trenge flere hundre meter ned i fjellet, og sonen må absolutt undersøkes nærmere ved boring. En slik boring kan kombineres med en generell undersøkelse av sprekke mønster og grunnvannets kvalitet og kvantitet.

Figur 6 viser også at det er flere mulige dypforvitrede soner i nærområdet til de planlagte deponihallene ved Raudsand. Sonen som ligger ca. 150 meter nord for den planlagte adkomsttunnelen kan være en problemsone dersom en velger å etablere deponihaller i dette området. Denne må derfor undersøkes dersom det blir aktuelt med deponihaller i dette området.

En sone som ligger sør for de planlagte fjellhallene er tidligere undersøkt med 2D resistivitet i forbindelse med et dr.-grads-studie ved NTNU/NGU (Nasuti et al. 2009, Nasuti 2013). Figur 7 viser lokaliseringen av denne og figur 8 viser resistivitetsprofilen.



Figur 7: Lokalisering av tidligere resistivitetsprofil for kartlegging av svakhetssone ved Raudsand (fra Nasuti et al. 2009).



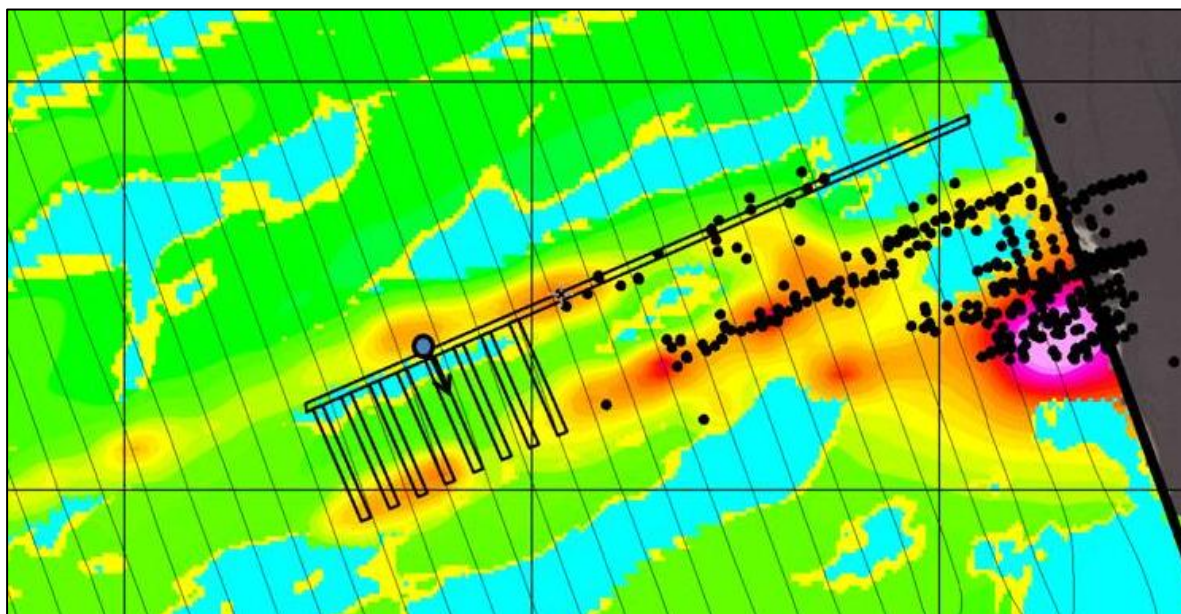
Figur 8: 2d resistivitetsprofil målt over mulig forkastning vest for Raudsand (fra Nasuti et al. 2009).

Figur 7 viser at det kan ligge en mulig dypforvitringssone ca. 1 km sør for det aktuelle området for deponihallene. Resistivitetsprofilen i figur 8 viser generelt lav resistivitet ( $< 2000 \Omega\text{m}$ ) langs store deler av profilet og med enkelte soner merket med tall i parentes hvor resistiviteten er lavere enn  $500 \Omega\text{m}$ . Sistnevnte kan være en indikasjon på leiomvandlet svakhetssone, mens resistivitetsverdier i området 500 til  $3000 \Omega\text{m}$  kan representere fjell med åpne sprekker (Rønning et al. 2014). Disse områdene med lav resistivitet ligger i et mer eller mindre sammenhengende drag med mulig dypforvitring, og indikerer at AMAGER-metoden kan påvise mulige svakhetssoner i dette området.

I figur 9 er dypforvittringsanalysen og den lineære presentasjonen av det magnetiske totalfeltet sammenstilt med plassering av mulige deponihaller. Her angis også en anbefalt boring for å kunne beskrive fjellkvaliteten generelt i området og samtidig få avklart om det virkelig er en dypforvitret svakhetssone i starten av deponihallene. Det er ikke mulig å nå frem til den magnetiske anomalien som indikerer en forlengelse av z-gangen med denne boringen. En boring mot denne anbefales utført på et senere



tidspunkt når fjellhaller ved Raudsand eventuelt blir valgt som deponi for uorganisk farlig avfall.



Figur 9: Magnetisk totalfelt (grønt - gult - rødt) overlagret dypforvittringsanalyse (blått med gult omriss) ved Raudsand. Anbefalt boring angitt med sirkel (standplass) og pil for boreretning.

#### **Tekniske data for anbefalt boring:**

Type boring: Brønnboring med diameter 13 – 15 cm.

Standplass: Langs veg, Koordinat 453780 Ø – 6968330 N (WGS 84, UTM sone 32N)

Retning: 160 ° (sør – sørøst)

Fall: 70 ° fra horisontalen.

Lengde: 350 meter.

Dette gir en boring som strekker seg horisontalt ca. 120 meter inn i hallområdet og vertikalt til ca. 330 m under bakken. Om ønskelig kan borehullet flyttes noe, men ikke så langt at det ikke skjærer gjennom den mulige dypforvittringssonen.

Ideelt sett burde den mulige sonens fall vært kartlagt før boring. Dette kan gjøres ved å benytte 2D resistivetsmålinger på bakken. Dersom sonen faller med mer enn 20° mot sør vil den ikke skjæres av det foreslåtte borehullet. NGU forstår at en er under tidspress og ønsker å bore nå. Før det etableres fjellhaller bør det uansett utføres oppfølgende undersøkelser for å kartlegge fjellkvaliteten ved fjellhallene.

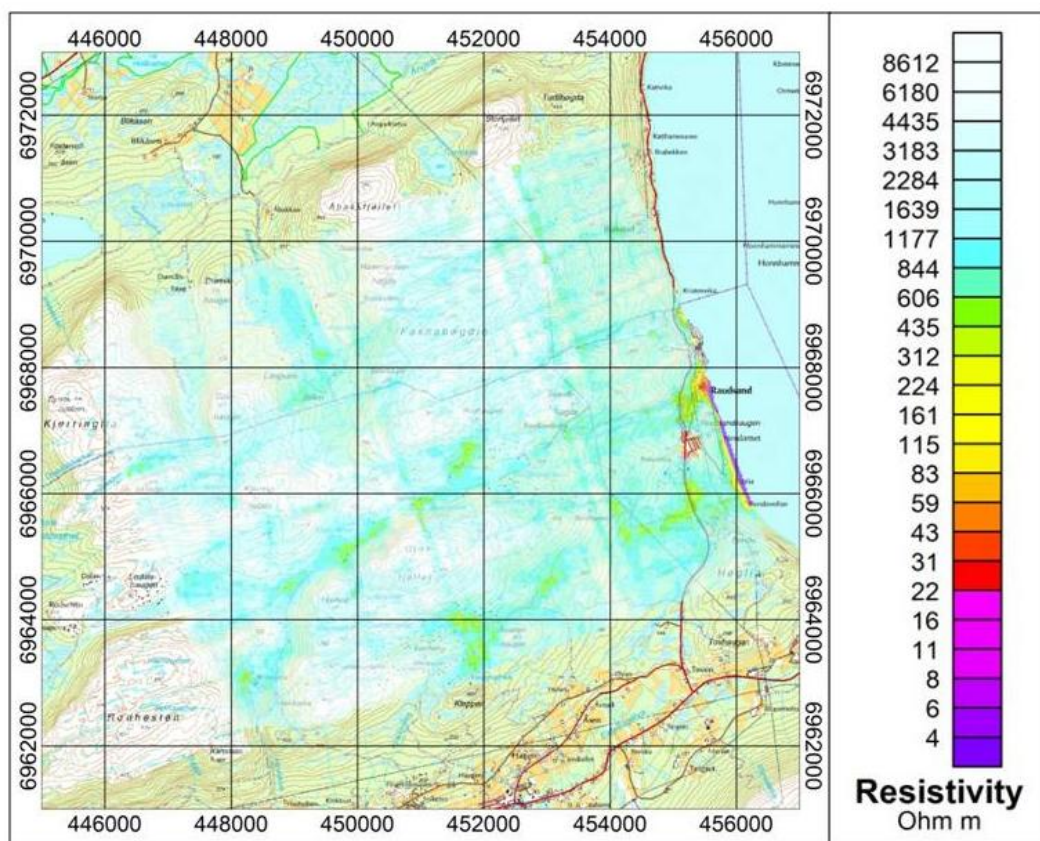
NGU har ikke tatt stilling til om det er behov for andre boringer i det aktuelle området.

Alle borehull bør logges med et sett av sonder for å avklare fjellkvalitet og eventuelle hindringer for etablering av sikre fjellhaller. Parametre som bør logges for å avklare fjellkvalitet er seismiske hastigheter (P- og S-bølge) og resistivitet. I tillegg bør hullene logges med optisk (OPTV) og/eller akustisk televiewer (AKTV). Ved denne loggingen kan sprekkefrekvens, sprekkeorientering og sprekkefylling kartlegges og i tillegg gi et visuelt bilde av borehullsveggen (OPTV). Som der fremgår av avsnittene 3.3 og 3.4 bør også IP-effekt, magnetisk susceptibilitet og radioaktivitet logges.

### 3.3 Mulige sulfidmineraliseringer

Det er tidligere rapportert om ca. 1 % sulfider i malmen i gamle Rødsand gruve (Cramer m. fl. 2015). Sulfider kan være svært ugunstig ved at grunnvannet kan forsures, og dette kan i sin tur løse ut tungmetaller fra deponiet og forurense grunnvannet ytterligere. Det er derfor viktig å kartlegge sulfidinnholdet og løseligheten av sulfider ved planlegging av deponi for uorganisk farlig avfall i fjellhaller.

Massive sulfidmineraliseringer kan lett påvises ved ElektroMagnetiske (EM) målinger fra helikopter. Dersom sulfidmineralene opptrer i adskilte korn (disseminert malmtypen) vil ikke disse påvises med EM-målinger da de vanligvis ikke bidrar til nevneverdig økt elektrisk ledningsevne. Denne type mineraliseringer kan påvises ved det som kalles Indusert Polarisasjon (IP). IP-effekt kan kartlegges ved elektriske målinger med elektroder på bakken eller i borehull.



Figur 10: Tilsynelatende resistivitet beregnet fra EM-data målt fra helikopter med frekvens 6600 Hz og horisontale koplanare spoler.

Den tilsynelatende resistiviteten (Inverse av elektrisk ledningsevne) målt med 6600 Hz koplanare spoler viser et generelt nivå på over 1000  $\Omega\text{m}$  (se Figur 10). Dette er normale verdier for de bergartene som opptrer her (gneis, granittisk gneis og amfibolitt). I enkelte områder opptrer resistivitetsverdier ned mot 200  $\Omega\text{m}$  (gul og grønn farge i figur 10). Disse verdiene kan forklares med myr, mindre vann og løsmasser generelt. Nede ved sjøen sør for Raudsand opptrer resistivitetsverdier med fiolett farge ( $<10 \Omega\text{m}$ ) og dette er en effekt av sjøvannet. En merker seg at



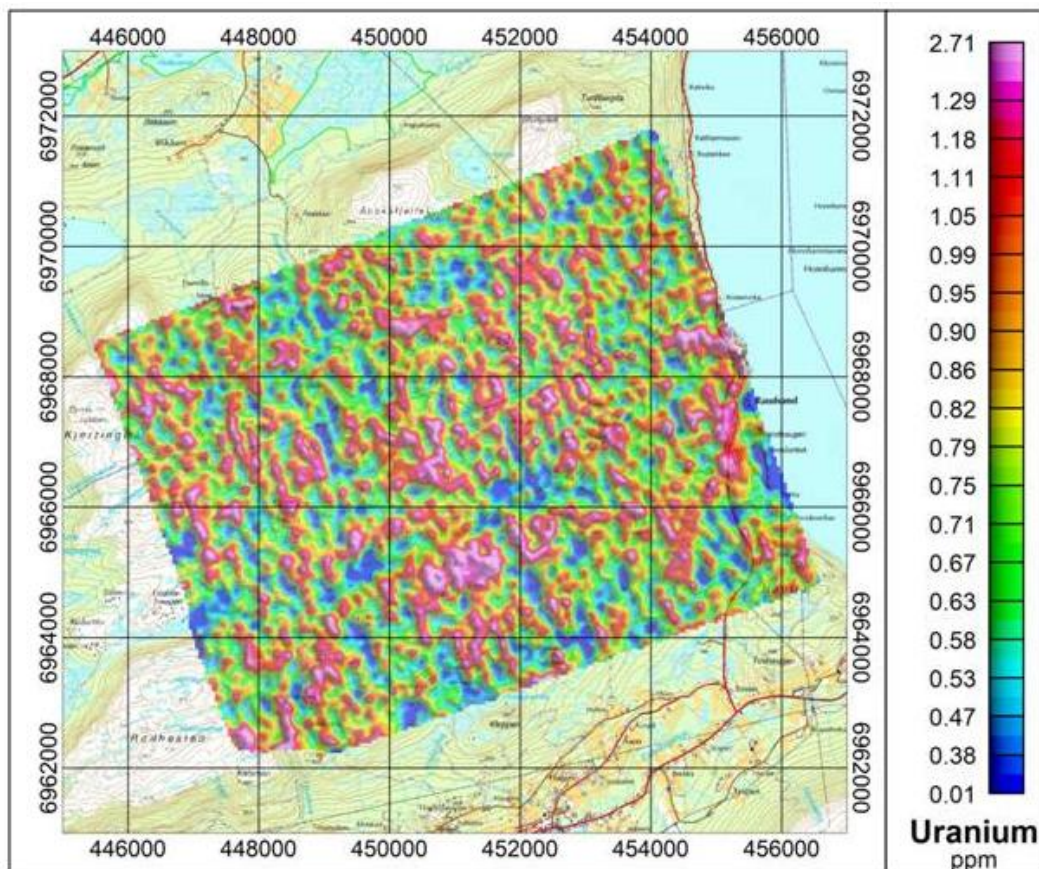
malmsonene ved Raudsand ikke gir vesentlig utslag på den tilsynelatende resistiviteten. Variasjoner fra målelinje til målelinje skyldes små nivåfeil i måleverdiene som er vanskelig å prosessere bort og som gir store utslag ved høye resistivetsverdier.

Det fremkommer ingen anomalier som kan skyldes større massive sulfid-mineraliseringer i det målte området.

Som nevnt kan IP-målinger påvise sulfider der kornene opptrer spredt. Ved de borerer som er planlagt bør derfor IP-effekt måles nedover i borehullene. Dessverre er det slik at magnetitt og andre jernoksyder også gir IP-effekt og en kan ikke skille mellom sulfider og jernoksyder som årsak til eventuelle påviste IP-anomalier. For å få kontroll på tilstedeværelse av magnetiske mineraler må også den magnetiske susceptibiliteten (bergartens evne til å la seg magnetisere) logges i borehullene.

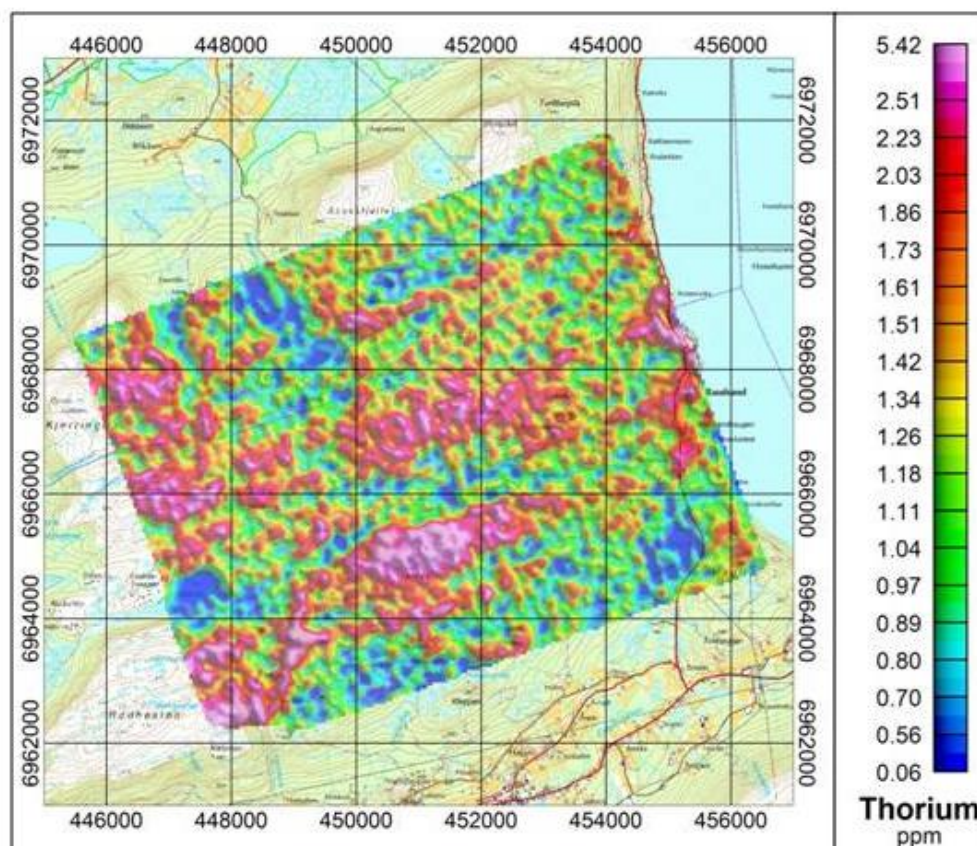
### 3.4 Naturlig radioaktivitet

I vurderingen av fjellhaller ved Raudsand som deponi for uorganisk farlig avfall ble det fokusert på mulig lagring av radioaktivt avfall (Cramer m. fl. 2015). For å avklare om naturlig forekomne radioaktive elementer (U, Th og K) opptrer i så store mengder at dette kan være et miljøproblem i mulige deponihaller, målte NGU konsentrasjonen av disse elementene på bakken ved helikoptermålingene. Et bilde av disse er vist i figurene 11, 12 og 13.

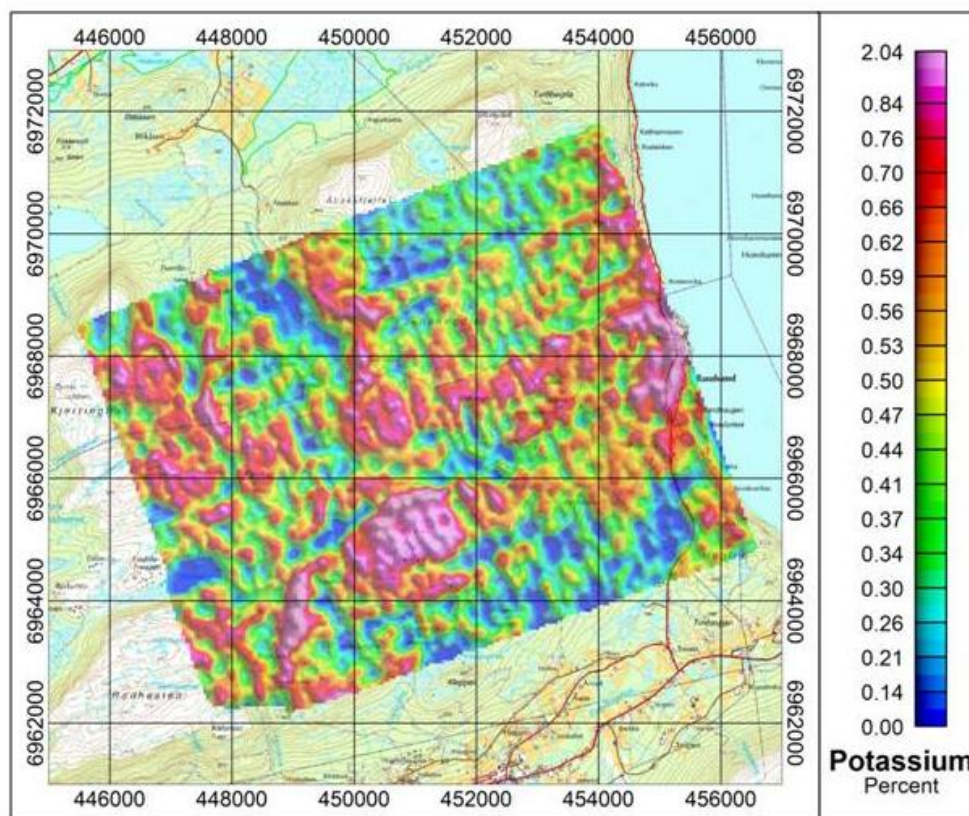


Figur 11: Målt konsentrasjon av uran på bakken.





Figur 12: Målt konsentrasjon av thorium på bakken.



Figur 13: Målt konsentrasjon av kalium på bakken.

Konsentrasjonene av de radioaktive elementene uran, thorium og kalium innenfor det helikoptermålte området ved Raudsand er å betrakte som lave. Selv ikke i den granittiske gneisen ved fjellhallene viser noe spesielt forhøyet urannivå, noe en kunne forvente. Løsmasser og vann skjermer for den radioaktive strålingen fra berggrunnen, men i dette området opptrer bart fjell relativt hyppig, og dersom det fantes et forhøyet nivå av noen av elementene ville dette blitt registrert.

Strålingen som registreres med de radiometriske målingene stammer fra den øvre halve meteren av bakken. Helikoptermålingen kan derfor ikke si noe om innholdet av radioaktive elementer mot dypet. Ved de fleste sondene som benyttes ved logging av borehull, blir også den totale radioaktiviteten logget. Dersom det påvises større utslag på totalstråling ved logging av borehull, bør det også foretas måling med gammaspektrometer slik at en kan bestemme hvilke radioaktive elementer som er årsak til strålingen. Dersom det finnes mye uran i bakken, kan dette gi et problem med høye radonkonsentrasjoner i hallene, noe som kan kreve forsert ventilasjon.

### **3.5 Grunnvannets opptreden og vannkjemi**

De utførte målingene fra helikopter kan naturlig nok ikke si noe om grunnvannets opptreden og vannkjemien. For å studere dette er en avhengig av boringer, borehullstester, prøvepumper og vannprøvetakinger.

Ved å bore en prøvebrønn og pumpe denne kan bergets totale vanngiverevne kartlegges ved prøvepumping. Ved å kombinere prøvepumping med strømningsmåling i borehullet kan en finne ut hvor det kommer vanninnslag og derved få informasjon om den hydrologiske konduktivitet i de forskjellige deler av borehullet. Vannkvaliteten kan logges med vannkvalitetssonde som måler temperatur, trykk, vannets ledningsevne, eH, pH, oksygeninnhold og nitratinhold i vannet. Dette forutsetter selvsagt at vannet i brønnen har fått tilstrekkelig tid til å stabilisere seg med vannet i berget. For å få en sikker analyse av vannets fysiske og kjemiske egenskaper er en avhengig av prøvetaking og kjemisk analyse. For å sikre seg at en prøvetar vann som kommer direkte fra berget kan prøvetaking kombineres med pumping av borehullet.

## **4. KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER**

På oppdrag fra Bergmesteren Raudsand as har NGU utført magnetiske, elektromagnetiske og radiometriske målinger fra helikopter vest for Raudsand i et område hvor det kan være aktuelt å etablere nasjonalt deponi for uorganisk farlig avfall i fjellhaller. Det var av interesse å kartlegge eventuelle ukjente jernmalmkropper i området, om det er dypforvitret fjell som kan skape problemer ved byggingen og driften av deponihallene, om det er sulfider i bergartene som kan forsure grunnvannet og om det er forhøyete konsentrasjoner av radioaktive elementer i bergartene.

De magnetiske data indikerer en ny jernmalmkropp i forlengelsen av Z-malmen, og denne vil komme i kontakt med fjellhaller slik de er planlagt nå. Før etablering av fjellhaller bør det bores mot denne kroppen for å avklare fjellkvalitet og om det er sulfider i bergartene.

Analyse av de magnetiske data sammenholdt med forsenkninger i terrenget indikerer flere mulige dypforvitrede soner som kan skape problemer ved etablering og drift av fjellhaller. En av disse sonene er tidligere undersøkt med 2D resistivitetsmålinger og disse bekrefter at det her kan være dypforvitret fjell. En annen mulig sone ligger i enden av hallområdet, og denne må undersøkes med boring før en starter bygging av adkomsttunnel og haller i fjellet. Ideelt sett burde også denne sonens bredde, dyptgående og fall kartlegges ved 2D resistivitetsmålinger før boring, men NGU ser at det nå er viktig å komme i gang med planlagte boringer.

Det er ingen indikasjoner på større massive sulfidmineraliseringer i det helikopter-målte området. Dette utelukker ikke at det kan finnes fattigere sulfidmineraliseringer der sulfidkornene ikke har kontakt med hverandre. Dette kan undersøkes med IP-målinger på bakken og i borehull. IP-målinger kan utføres samtidig med 2D resistivitetsmålinger.

Det er ikke påvist unormale forhøyete konsentrasjoner av de radioaktive elementene uran, thorium eller kalium i de blottede bergartene ved Raudsand. En kan imidlertid ikke si noe om tilstedeværelse av disse elementene mot dypet ut fra helikoptermålingene.

Bergmassekvaliteten generelt i området må undersøkes nærmere før en starter arbeidet med adkomsttunnel og fjellhaller. Dette kan gjøres ved resistivitetsmåling, refraksjonsseismikk og flere boringer før etablering av adkomsttunnel og deponihaller starter. Alle borehull må logges geofysisk og med "televewere" for å avklare bergmassekvalitet og om det kan opptre høye konsentrasjoner av radioaktive elementer i dypet. Aktuelle loggeteknikker og hva de gir svar på er listet nedenfor:

- Seismiske hastigheter og resistivitet: Bergmassekvalitet
- Indusert polarisasjon (IP): Sulfider og jernoksyder i bergartene
- Magnetisk susceptibilitet: Jernoksyder i bergartene (inkl. jernmalm)
- Optisk og/eller akustisk televewer: Sprekkemønster og frekvens
- Gammastråling, total og spektral: Radioaktive elementer, U, Th og K.

Grunnvannets opptreden i berget og dets kjemi anbefales undersøkt med prøvepumping, logging av vannkvalitet, prøvetaking og kjemisk analyse.



## 5. REFERANSER

Baranwal, V.C., Olesen, O. & Rønning, J.S. 2016: Action map for tunnel planning, Oslofjord - Telemark region: Mapping of deeply weathered weakness zones. NGU Report 2016.015 (29 pp.).

Cramer, J., Baranwal, V.c., Brønner, M., Dagestad, A., Erichsen, E., Keiding, M., Larsen, E., Schellerup, H., & Solli, A. 2015: Vurdering av geologiske forhold ved potensielle lokaliteter til deponi for uorganisk farlig avfall. NGU Rapport 2015.055 (127 s.).

Ofstad, F. 2016: Helicopterborne magnetic, electromagnetic and radiometric geophysical survey at Raudsand area, Nesset municipality, Møre og Romsdal county. NGU Report 2016.037 (31pp.).

Nasuti 2013: Using geophysical methods to characterize the Møre-Trøndelag Fault Complex, Mid Norway. Doctoral thesis NTNU, 2013.25.

Nasuti, A., Chawshin, K., Dalsegg, E., Tønnesen, J. Fr., Ebbing, J. & Gellein, J. 2009: Electrical resistivity and refraction seismics over a segment of the Møre-Trøndelag Fault Complex. NGU Report 2009.037 (37 pp.).

Olesen, O., Dehls, J.F., Ebbing, Henriksen, H., Kihle, O. & Lundin, E. 2007: Aeromagnetic mapping of deep-weathered fracture zones in the Oslo Region – a new tool for improved planning of tunnels. Norwegian Journal of Geology 87, pp. 253 - 287. ISSN 029-196X

Rønning, J.S., Ganerød, G.V., Dalsegg, E. & Reiser, F. 2014: Resistivity mapping as a tool for identification and characterization of weakness zones in bedrock - definition and testing of an interpretational model. Bull. Eng. Geol. Environment Volume 73, Issue 4 (2014), Page 1225-1244.