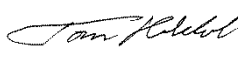


GEOLOGI FOR SAMFUNNET

GEOLOGY FOR SOCIETY



Rapport nr.: 2014.046		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Oppfølgende grafittundersøkelser i Meløy og Rødøy kommuner, Nordland				
Forfatter: Jan S. Rønning, Håvard Gautneb, Einar Dalsegg, Bjørn E. Larsen og Alexei Rodionov		Oppdragsgiver: Meløy kommune, Rødøy kommune, Nordland fylkeskommune og NGU		
Fylke: Nordland		Kommune: Meløy og Rødøy		
Kartblad (M=1:250.000) Mo i Rana		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1828 II Rødøy, 1928 III Melfjord		
Forekomstens navn og koordinater, WGS84 UTM Sone 33N: Nord-Værnes, 422550 - 7395350 Rendalsvik, 430300 - 7397500		Sidetall: 63 Pris: kr 200,- Kartbilag:		
Feltarbeid utført: Juni, august og oktober 2014	Rapportdato: 22.12.2014	Prosjektnr.: 357901	Ansvarlig: 	
Sammendrag:				
<p>Som et ledd i Regjeringens satsning mot mineraler i Nord-Norge (MINN), utførte NGU geofysiske målinger fra helikopter rundt Holandsfjorden i 2013. Helikoptermålingene viste interessante ElektroMagnetiske (EM) anomalier som etter NGUs oppfatning burde undersøkes nærmere. I et samarbeid med Nordland fylkeskommune, Meløy Næringsutvikling og Rødøy kommuner har NGU evaluert grafittpotensialet i området gjennom tolkning av geofysiske data målt fra helikopter og på bakken samt oppfølgende geologisk kartlegging, prøvetaking og analyse.</p> <p>Det er ikke indikert god grafitt i større mengder utenom de to kjente forekomstene ved Nord-Værnes og Rendalsvik.</p> <p>Ved Nord-Værnes er det utført oppfølgende geofysikk og geologisk kartlegging. Det er indikert opp mot 1 mill. tonn mulig grafittmalm. Anslaget er imidlertid meget usikkert på grunn av tvetydighet i de geofysiske tolkningene. Grafitten opptrer som avlange millimeterstore plateformede krystaller (flakgrafitt). Grafittinnholdet varierer fra noen få prosent grafitt i prøven til opp mot 20 %. Både mengde og kvalitet er økonomisk marginalt, men det bør bores for å avklare disse forhold.</p> <p>Ved Rendalsvik er det ikke utført oppfølgende undersøkelser, men elektromagnetiske målinger fra helikopter indikerer at de best ledende partiene ligger mellom den gamle gruva og et område det ble utført boringer i 1984. Grafittinnholdet fra driftsperioden i gruva er ikke kjent. Grafittinnholdet i kjernematerialet fra boringene i 1984 ligger på moderate 9 %. Denne mineraliseringen ligger ugunstig til og det er rapportert miljøproblemer i form av uran i malmen. Forekomsten vurderes som mindre interessant, men det burde vært utført detaljerte geofysiske målinger og boringer mot det området som har lavest resistivitet for å se hva som ligger her.</p>				
Emneord: Grafitt	Geofysikk		Geologi	
Elektromagnetiske målinger	Elektriske målinger		Kjemiske analyser	
			Fagrapport	

INNHold

ENGLISH SUMMARY	7
1. INNLEDNING	9
2. TIDLIGERE UNDERSØKELSER	10
3. INVERSJON AV EM-DATA	11
3.1 Innsamling og prosessering av EM-data målt fra helikopter.....	11
3.2 Invertering av EM-data målt fra helikopter	11
3.3 Resultater fra invertering av EM-data.	12
3.3.1 Inverterte EM-profiler ved Nord-Værnes	13
3.3.2 Inverterte EM-profiler ved Rendalsvik	19
3.3.3 Inverterte EM-profiler ved Halså	22
3.3.4 Inverterte EM-profil ved Kilaosen	24
4. OPPFØLGENDE GEOFYSIKK, RESISTIVITET / INDUSERT POLARISASJON... 26	
4.1 Målemetode og utførelse	26
4.1.1 Målemetode	26
4.1.2 Utførelse	26
4.1.3 Strømstyrke og datakvalitet.....	27
4.1.4 Inversjon.....	27
4.2 Resultater fra oppfølgende målinger	27
4.2.1 Resistivitet og Indusert Polarisasjon ved Nord-Værnes.....	27
4.2.2 Resistivitet og Indusert polarisasjon ved Halså.....	31
4.2.3 Resistivitet og Indusert polarisasjon ved Kilaosen	32
5. OPPFØLGENDE GEOFYSIKK, OPPLADET POTENSIAL OG SELV-POTENSIAL VED NORD-VÆRNES	35
5.1 Målemetoder	35
5.2 Utførelse	35
5.3 Resultater CP og SP.....	36
6. DETALJERT GEOLOGISK KARTLEGGING NORD-VÆRNES.....	40
6.1 Geologisk kart.....	40
6.2 Detaljbeskrivelse av grafittførende bergarter	42
6.3 Tynnslipbeskrivelse av grafittmalm	43
6.4 Karbonanalyser av grafittholdige prøver	44
7. DISKUSJON	45
7.1 Metodiske svakheter	45
7.2 Samtolkning av geofysikk Nord-Værnes	47
7.3 Grafitt, kvalitet og mengde.....	51
7.4 Videre undersøkelser	52
8. KONKLUSJONER	53
9. REFERANSER	54

VEDLEGG:

Vedlegg 1: Koordinater for resistivetsprofilene (WGS84 UTM Sone 33N).....	side 56
Vedlegg 2: Resultater fra helikoptermålingene.....	side 57 – 63

SUMMARY IN ENGLISH

As a part of the MINN project, Minerals in Northern Norway, the Geological Survey of Norway (NGU) conducted an airborne geophysical survey in the Holandsfjord area in Meløy and Rødøy municipalities in 2013. The purpose of this survey was to evaluate the graphite potential in the area. Two known graphite showings which has previously been mined, was known in the area, Rendalsvik and Nord-Værnes.

The helicopterborne measurements indicated some interesting ElectroMagnetic anomalies in several areas, among them the two known mineralisations. In cooperation with the Nordland County, Meløy and Rødøy municipalities, NGU performed in 2014 geophysical and geological follow up work. Electromagnetic data measured from helicopter were inverted to find as true as possible resistivity sections in four areas. Ground 2D Resistivity and Induced Polarization measurements were performed in three areas. At Nord-Værnes we made in addition Charged Potential (CP) measurements (Misse a la Masse) and Self Potential measurements as well as detailed geological mapping, sampling and chemical analysis.

No new great graphite mineralisations were discovered during the follow up project.

At the old **Rendalsvik mine**, no further investigations except for inversion of helicopterborne electromagnetic data were performed. The inversion indicates continuous good conducting material along 3 lines (line spacing 200 metres) and at a maximum length along one line of 600 metres. The mineralisation is outcropping in the old mine and at a drilled area north of the mine. In between, the helicopterborne EM-data indicates the best conductive material in the area and this seems to lie at a depth of up to 100 metres. No information of the quality of the graphite is known from the mining period. Core drilling (Skofteland & Vestereng 1984) showed average graphite content of 9 %. An earlier investigation reported high content of Uranium in the graphite (145 ppm, Neumann 1952) which later on has been doubted. Analysis from the 1984 core drilling reports 36 ppm U (Skofteland & Vestereng 1984), while the helicopter borne radiometric measurements indicate an average level of about 3 ppm U. The quality of the known graphite at Rendalsvik is marginal. However, the area between the old mine and the area which was drilled in 1984 should have been investigated by deep geophysics and new core drillings.

At **Nord-Værnes**, 2D resistivity and CP measurements indicates graphite mineralisations with a length along strike of about 500 metres. The width is interpreted to be ca 100 metres. Together with another possible graphite body, this may be up to 1 mill. metric ton of graphite. However, a critical review of the geophysical data, shows that the resistivity anomalies also can be explained by two, may be three, thin vertical structures. This may reduce the graphite volume dramatically. The graphite consists of thin oval flakes with a length of about one millimeter. The graphite content varies from a few percent and up to 20 %. Less Uranium and Thorium are mapped by the helicopter geophysical survey at Nord-Værnes compared with Rendalsvik. NGU recommends core drilling to better estimate volume and quality of the graphite at Nord-Værnes.

1. INNLEDNING

Som et ledd i Regjeringens satsning mot mineraler i Nord-Norge (MINN), utførte NGU geofysiske målinger fra helikopter rundt Holandsfjorden i 2013 (Rodionov et al. 2013). Hensikten med dette var først og fremst å se på grafittpotensialet i området. Fra tidligere er det kjent to forekomster som har vært i drift, Rendalsvik og Nord-Værnes. Helikoptermålingene ble utført på oppfordring fra Norwegian Graphite som på det aktuelle tidspunkt hadde et samarbeid med Meløy Næringsutvikling (MNU).

Helikoptermålingene viste interessante ElektroMagnetiske (EM) anomalier som etter NGUs oppfatning burde undersøkes nærmere. Det ble derfor foreslått overfor kommunene og fylkeskommunen en avgrenset undersøkelse for å avklare grafittpotensialet innenfor det helikoptermålte området. Våren 2014 ble det inngått et samarbeidsprosjekt der Nordland fylkeskommune og kommunene Meløy og Rødøy gikk inn med noe finansiering. I samarbeidsprosjektet ble det foreslått følgende arbeidsoppgaver:

1. Inversjon (2D tolkning) av de elektromagnetiske data langs utvalgte profiler.
2. Avklare anomaliårsaker gjennom oppfølgende geofysiske målinger på bakken.
3. Kartlegge størrelse av forekomsten på Nord-Værnes med bakkegeofysikk.
4. Detaljert geologisk kartlegging rundt forekomsten på Nord-Værnes.

Som en standard del av prosesseringen beregnes en tilsynelatende resistivitet ut fra EM-data. For å få et bedre bilde av den sanne resistiviteten i bakken må det foretas en inversjon av de elektromagnetiske måledata. Denne prosessen tar utgangspunkt i målte data og beregner en tilnærmet sann resistivitet (inverse av elektriske ledningsevne) langs 2D-profiler. Dette gir bedre informasjon om hvilken resistivitet det er i forekomsten som indikeres på kartene og hvor i dypet denne ligger. Metoden kan kanskje også avklare om anomaliårsaken er grafitt eller marin leire. NGU planla å gjøre inversjon langs ca. 15 målelinjer i på forhånd utvalgte områder.

Oppfølgende måling av resistivitet og induert polarisasjon (IP) på bakken gir et klarere svar på årsak til elektrisk ledende strukturer (Grafitt eller leire). I tillegg vil slike målinger gi et mer detaljert bilde av de aktuelle mineraliseringene.

Ved å sette strøm direkte til en mineralisering, som for eksempel ved Nord-Værnes, kan grafittens utstrekning kartlegges, såkalte CP-målinger. Resultatene fra helikoptermålingene indikerer at mineraliseringen kan fortsette på dypet opp mot 2-3 km mot sørvest.

For å få bedre kunnskap om kvaliteten på grafitten ved Nord-Værnes og å se om det finnes flere mineraliseringer i området var det nødvendig med mer detaljert kartlegging, prøvetaking og analyser.

Neste steg i undersøkelsene vil være boringer med prøvetaking og analyser av de mest interessante anomaliene. NGU vil vurdere boringer basert på de foreslåtte undersøkelser, men denne delen av oppgaven ligger utenfor NGUs mandat.

2. TIDLIGERE UNDERSØKELSER

Blant internasjonale faggeologer ble områdene ved Rødøy og Meløy verdenskjent når Wyllie (1967) ga ut sin bok om ultramafiske bergarter. Et helt kapittel i denne boka handler om områdene i kommunene Meløy og Rødøy.

En vet ikke nøyaktig når grafittforekomstene rundt Holandsfjord ble funnet, men rettighetene til grafittforekomsten i Rendalsvik ble første gang solgt i 1904 (Brattland 1994). Det første selskapet som startet med å utvikle Rendalsvik grafittforekomst var selskapet A/S Mineral som var basert på tysk og nederlandsk kapital. I 1931 startet den første prøvedriften både på Nord-Værnes og Rendalsvik. I 1933 var et oppredningsverk nede ved sjøen i Rendalsvik bygget og gruvedriften kom i gang. En taubane fraktet malmen ned fra forekomsten som ligger på ca. 400 meter over havet. I 1945 gikk selskapet A/S Mineral konkurs og gruvedriften i Rendalsvik ble brått avbrutt. Brattland (1994) gir en detaljert beskrivelse av driften og samfunnsforholdene i Rendalsvik i denne perioden.

Det har lenge vært kjent at uran og thorium enkelte tilfeller kan opptre sammen med grafitt. På 1950 tallet ble det interessant å lete etter grunnstoffer uran og NGU satte i gang med en ganske omfattende uranletning. I Rendalsvik ble det påvist ca. 145 ppm (g/tonn) uran i enkelte prøver som er rapportert som en rekke upubliserte brev og korte notater (bl.a Neuman 1952). Det ble utført geofysiske målinger på bakken over hele grafittfeltet i Rendalsvik (Sakshaug 1954). I 1979 ble uran på nytt undersøkt i Rendalsvik (Gust & Thoresen 1979) og det ble konkludert med at tidligere undersøkelser grovt hadde overdrevet mengden uran i dette området.

I 1970 startet Norwegian Holding med glimmerproduksjon fra en gruve nede ved sjøen ved Rendalsvik, men denne driften ble nedlagt i 1980. Norwegian Holding, som var eid av familien Horn i Bergen, er også grunneiere til stort området i Rendalsvik som omfatter hele grafittfeltet og området der det har vært drevet med glimmerutvinning. I 1983 utførte Norwegian Talc AS (Nåværende Norwegian Holding) en oppboring av deler av grafittforekomsten og det ble boret 14 hull til sammen 866 meter. Resultatene viser at forekomsten inneholder i gjennomsnitt 9 % grafitt, 388 ppm V, 36 ppm U og 10 ppm Th. Det ble boret opp en malmlinse som er 20-30 meter tykk og 300 meter lang (Skofteland og Vestereng 1984).

På 1990 tallet ble forekomstene ved Rendalsvik og Nord-Værnes besøkt under korte befaringer i forbindelse med sammenstillinger av diverse databaser i regi av NGU.

Høsten 2012 skaffet firmaet Meløy Graphite seg avtale med grunneierne og utførte prøvetaking og bakkegeofysiske undersøkelser. Resultatene fra disse undersøkelsene er ikke offentlige. Meløy Graphite's grunneieravtaler er bare gyldig så lenge den årlige avgift betales. Det er ikke kjent om Meløy Graphite fremdeles har gyldige avtaler med grunneierne.

3. INVERSJON AV EM-DATA

Innsamling og prosessering av alle data målt fra helikopter rundt Holandfjorden er beskrevet i NGU Rapport 2013.043 (Rodionov et al. 2013). I det følgende gis en kort oppsummering av oppnådde resultater ved denne undersøkelsen og en beskrivelse av den videre behandling (inversjon) av de elektromagnetiske måledata inklusive resultater.

3.1 Innsamling og prosessering av EM-data målt fra helikopter

Ved NGUs helikoptermålinger benyttes en ElektroMagnetisk utrustning produsert av Geotech i Canada (Geotech 1997). Tabell 1 viser hvilke frekvenser og spolekonfigurasjoner som benyttes.

Tabell 1: . Geotech Hummingbird elektromagnetisk system, frekvenser og spolekonfigurasjoner.

Spoler:	Frekvens	Orientering	Spoleavstand
A	7700 Hz	Koaksial	6,20 m
B	6600 Hz	Koplanar	6,20 m
C	980 Hz	Koaksial	6,025 m
D	880 Hz	Koplanar	6,025 m
E	34000 Hz	Koplanar	4,87 m

Prosessering av de ElektroMagnetiske data følger følgende trinn som alle er standard prosedyrer (Geosoft 1997):

1. Fjerning av eventuelle "Spikes" fra måledata
2. Filtring, ikke lineært lavpassfilter
3. Automatisk korrigering av instrumentdrift
4. Manuell fjerning av gjenværende instrumentdrift
5. Beregning av tilsynelatende resistivitet
6. Visuell inspeksjon og nivåjustering
7. Gridding, glatting og kartfremstilling.

Tilsynelatende resistivitet (punkt 5) beregnes ut fra målte reell- og imaginærkomponent for hver frekvens individuelt. Under disse beregningene antar en at bakken består av en homogen halvkule, dvs. den elektriske ledningsevnen eller den inverse størrelsen resistivitet (elektrisk motstand), er den samme i hele målevolumet. Denne forutsetningen er sjeldent oppfylt, og en vil beregne en tilsynelatende resistivitet. For å finne et tilnærmet sant bilde av resistiviteten i bakken må data inverteres. En får da et bilde av hvor god den elektriske ledningsevnen (resistiviteten) er, hvor stor den ledende kroppen er og hvor den ligger i bakken.

Bilder av den tilsynelatende elektriske resistiviteten ("Apparent resistivity" på engelsk) for de forskjellige frekvensene er vist i vedlegg 2.

3.2 Invertering av EM-data målt fra helikopter

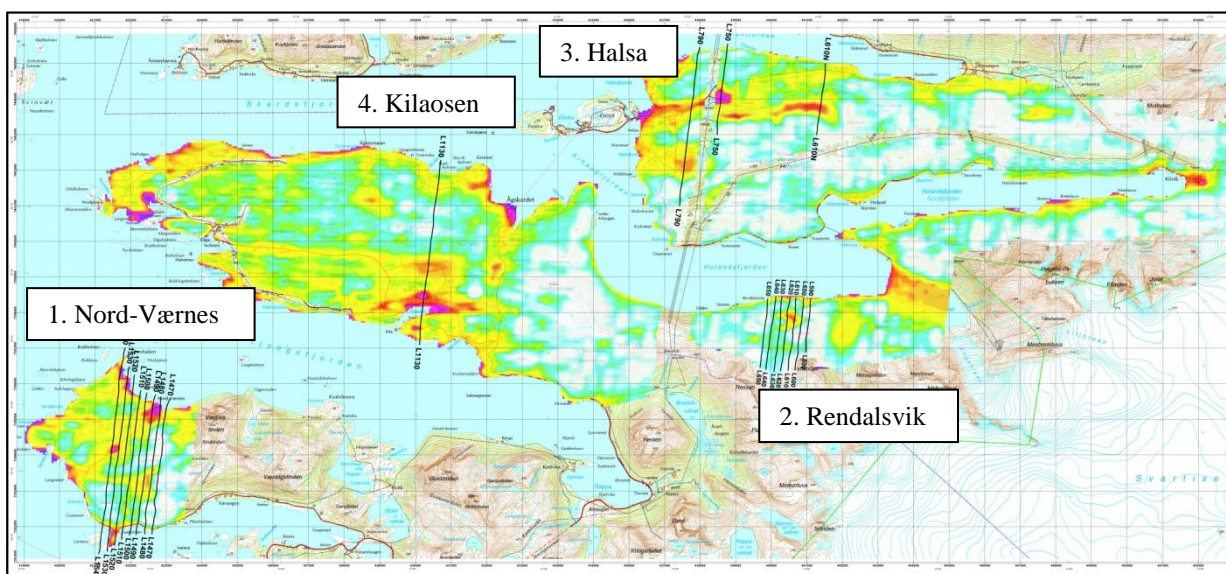
For å få et best mulig bilde av sann resistivitet i interessante områder, ble utvalgte profiler invertert med programmet EM1DFM (UBC 2000). Programmet benytter Reell- og imaginærkomponent for alle fem frekvensene og beregner en en-dimensjonal (1D) modell som kan forklare hver enkelt måleverdi. Ved denne prosessen antar en at bakken består av

horisontale lag som har en uendelig utstrekning i forhold til målingenes influensvolum (endimensjonal modell, 1D). Inversjonen utføres for hvert enkelt målepunkt noe som gir en punktavstand fra 3 til 5 meter, avhengig av målehastighet. Segmenter fra disse inversjonene settes så sammen til et to-dimensjonalt (2D) bilde langs profilet. Dette bilde bygges opp ved å grille inverterte måleverdier med en celle-størrelse på 5x5 meter. I prinsippet kan så flere inverterte målelinjer settes sammen til en pseudo 3D-modell (ikke ekte 3D) av de aktuelle mineraliseringene.

Elektromagnetiske data målt fra helikopter 30 – 50 meter over bakken har en begrenset oppløsning. Det er ikke mulig å se i detalj hvor de induerte sekundære strømmene kommer fra, og soner med flere parallelle mineraliseringer kan bli avbildet som en sammenhengende struktur. Også mineraliseringer til side for det målte profilet kan gi responser som blir avbildet på profilet. Ledende kropper som ligger i profilet vil detekteres før en er kommet over forekomsten, og en vil se den etter at den er passert. Siden inversjonen av disse måledata er en-dimensjonal (1D) vil det kunne oppstå kunstige effekter som at vertikale strukturer avbildes som hyperbler og horisontale forekomster synes å bøye ned mot dypet ved endene.

3.3 Resultater fra invertering av EM-data.

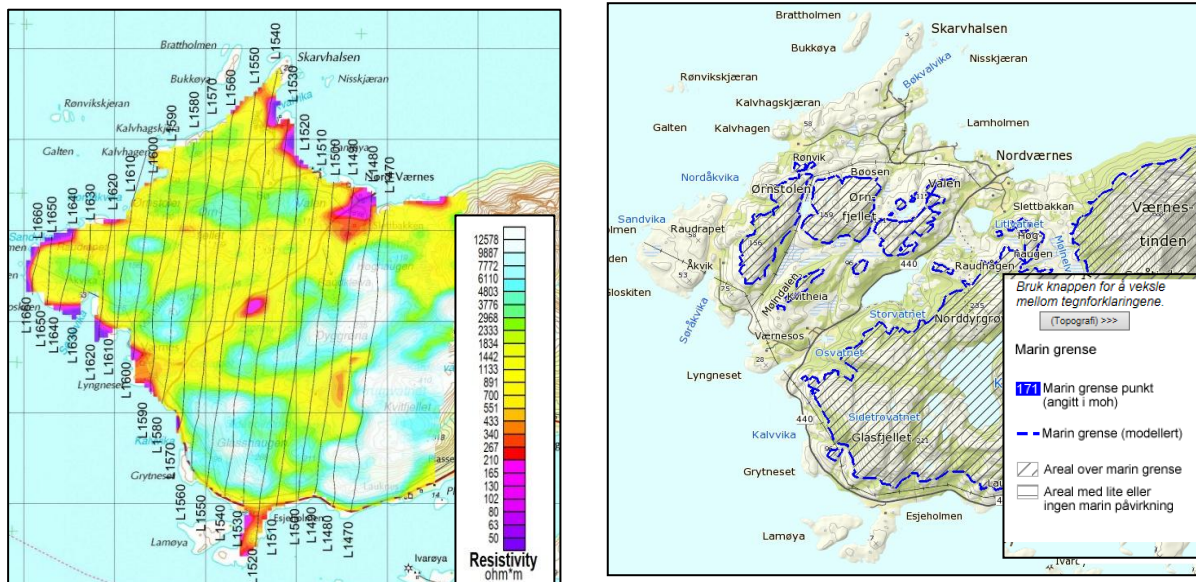
En oversikt over alle inverterte målelinjer fra EM-helikoptermålingene er vist i figur 1. Områder med gul og rød farge har lav tilsynelatende resistivitet (inverse av elektrisk ledningsevne). Meget lav tilsynelatende resistivitet kan skyldes grafitt, basemetallsulfider (Cu, Pb, Zn og lignende), marine avsetninger (leire) eller sjøvann. Tidligere undersøkelser (Dalsegg 1994, Rønning et al. 2012) viser at grafitt av god kvalitet forventes å ha en resistivitet ned mot 1 Ωm . Salt, ikke omvandlet marin leire kan ha en resistivitet lavere enn 10 Ωm (Solberg et al. 2011) mens sjøvann kan ha en resistivitet lavere enn 1 Ωm avhengig av saltinnhold og temperatur (Tassis et al 2014). For å avklare hva de forskjellige anomalier skyldes, har NGU valgt å se nærmere på EM-data fra følgende områder: 1) Nord-Værnes, 2) Rendalsvik, 3) Halså og 4) Kilaosen. Som det fremgår av figur 1, finnes flere områder med tilsynelatende lav resistivitet, men disse fire synes å være de mest interessante med hensyn på beliggenhet, størrelse og tilsynelatende resistivitet.



Figur 1: Inverterte målelinjer fra EM-helikoptermålinger. Ved Nord-Værnes er det invertert flere profiler enn vist her, se Figur 2.

3.3.1 Inverterte EM-profiler ved Nord-Værnes

Ved Nord-Værnes er det foretatt inversjon av i alt 20 målelinjer (se figur 2). EM-data indikerer et større område med relativt elektrisk godt ledende materiale (lav resistivitet) ved Nord-Værnes. Området ligger i sin helhet under marin grense og nært sjøen. Marin leire og sjøvann trengt inn i grove løsmasseavsetninger kan her vært årsak til lav resistivitet, men flere bløtninger av grafitt indikerer at nettopp dette mineralet kan være årsak til den lave resistiviteten. Inverterte EM-data langs de 20 profilene er vist i figurene 3 til 6.



Figur 2: Lokalisering av inverterte EM-profiler (til venstre) og nivå for marin grense (til høyre) ved Nord-Værnes.

Tilsynelatende resistivitet målt med 6600 Hz (bakgrunnsdata i figur 2) viser et større anomalt område ved Nord-Værnes. De inverterte profilene i dette området (linjene 1470 til 1500, figur 3) viser at det finnes betydelige mengder med materiale med resistivitet ned mot $1 \Omega\text{m}$, noe som er forenlig med grafitt som anomaliårsak. Dette materialet følger et mer eller mindre horisontalt nivå som ligger på et dyp på fra ca. 20 meter til opp mot 80 meter i følge de inverterte profilene. Denne ledende kroppen ligger nærmest dagen langs profilene 1480 og 1490, og det er i dette området hvor grafitt er utgående i et område det har vært prøvedrift (Nord-Værnes-forekomsten). Arealet av denne kroppen er på ca. 250.000 m^2 (ca. 500×500 meter). De inverterte bildene viser også at det kan være en betydelig mektighet (tykkelse) på denne kroppen, opp mot 20 meter. På grunn av målemetodens virkemåte og at det er 200 meter mellom hvert måleprofil er det ikke mulig å si noe mer detaljert om kroppens form. Det kan være flere vertikale soner som samlet utgjør en horisontal kropp i de inverterte data. Mineraliseringer i dagen viser flere adskilte vertikale soner (se geologisk kartlegging, avsnitt 6.1). I utgangspunktet kan ikke metoden si noe om innholdet av grafitt i en slik mulig mineralisering, men stedvis svært lav resistivitet kan være en indikasjon på relativt høyt grafittinnhold.

Med utgangspunkt i Nord-Værnes viser figur 2 at elektrisk ledende materiale strekker seg både mot sørvest og vest over hele halvøya. En oppblomstring i tilsynelatende resistivitet midt på profil 1540 kan skyldes et lite vann. Inverteringen av målelinjene i dette område (profil 1530 og 1540, figur 4) viser imidlertid at det kan finnes godt ledende materiale på ca. 40 – 60 meters dyp (ved havnivå), og at resistiviteten i dette materialet stedvis ligger under $10 \Omega\text{m}$.

Den påfølgende geologiske kartleggingen avdekket noe grafitt sørvest for denne anomalien (se figur 28, avsnitt 6.1).

Profil 1530 indikerer at det kan være en stedvis mineralisert horisont som strekker seg i retning mot Nord-Værnes. Kraftig anomali lengst til høyre (nord) på profil 1540 skyldes trolig at profilet går delvis over sjøen.

Inverterte EM-data langs linjene 1550 til 1580 er vist i Figur 5. Langs det øst-vestgående draget vist i kartskissen, opptrer det stedvis noe lavere resistivitet, men resistiviteten er ikke spesielt lav og det ser ikke ut til å være større volum. Langs anomalidraget i retning nordøst mot sørvest opptrer også soner med lavere resistivitet, men heller ikke her er resistiviteten spesielt lav og volumene ikke særlig store. Anomaliene på enden av disse profilene 1550 til 1580 skyldes etter all sannsynlighet sjøvann. En kan ut fra dette konkludere at det ikke finnes store volum med grafitt av god kvalitet langs disse linjene.

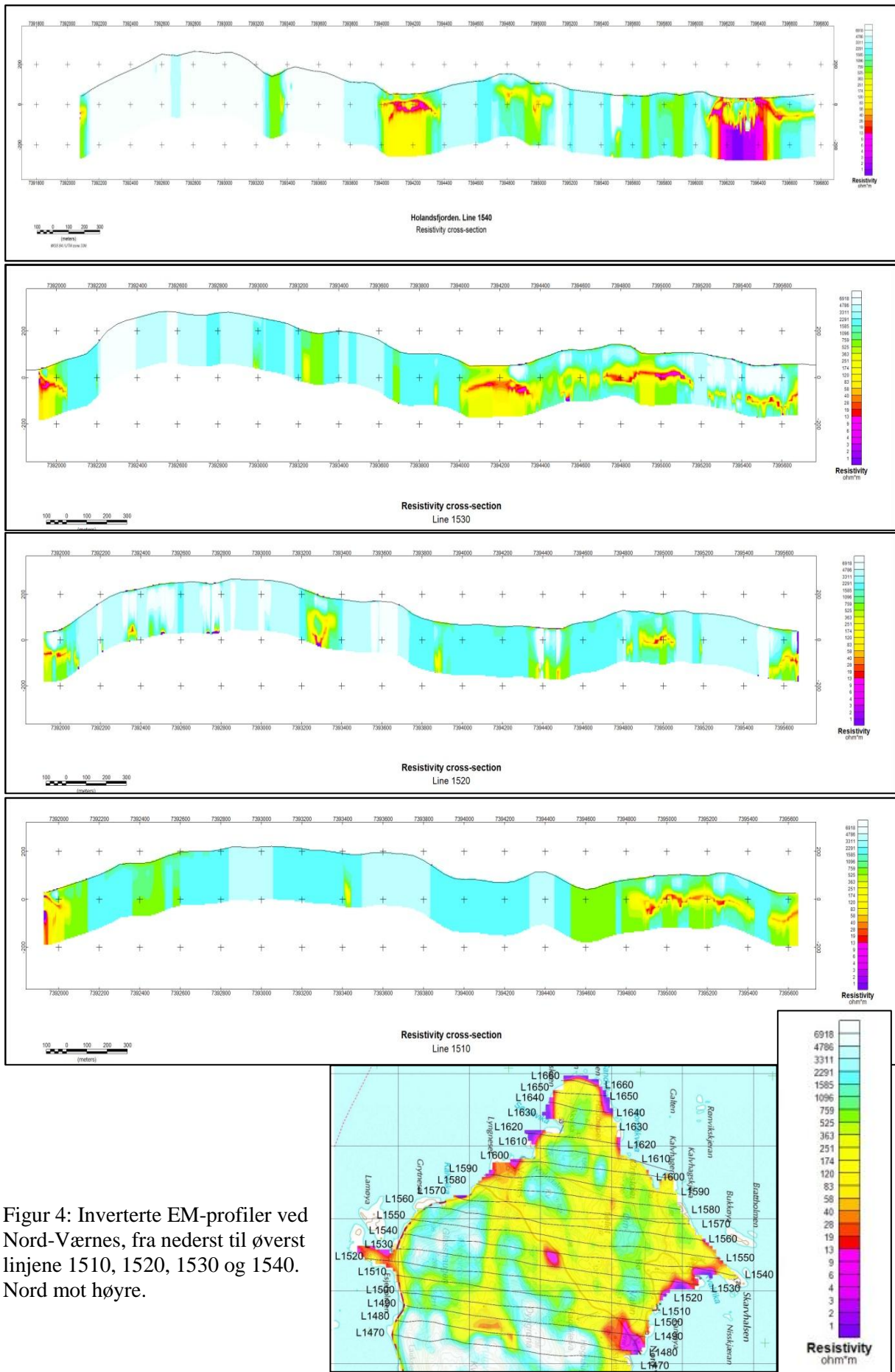
Inverterte EM-data langs linjene 1590 til 1660 er vist i Figur 6. Heller ikke langs disse målelinjene fremgår det større soner med antatt grafitt av god kvalitet. Horisontale anomalier langs linjene 1600 og 1610 skyldes trolig at nordre del av disse målelinjene går langs sjøen. Markert anomali inne på profil 1630 kan skyldes grafitt, men denne anomalien er fraværende på naboprofil, og resistiviteten er ikke spesielt lav (10 – 20 Ω m). En kan også her konkludere med at dersom dette er grafitt er volumet og kvaliteten dårligere enn ved Nord-Værnes.

Et øst-vestgående anomalidrag nord og vest for Nord-Værnes langs målelinjene 1510 til 1600 (Figurene 4, 5 og 6), ser ikke ut til å skyldes grafitt av god kvalitet.

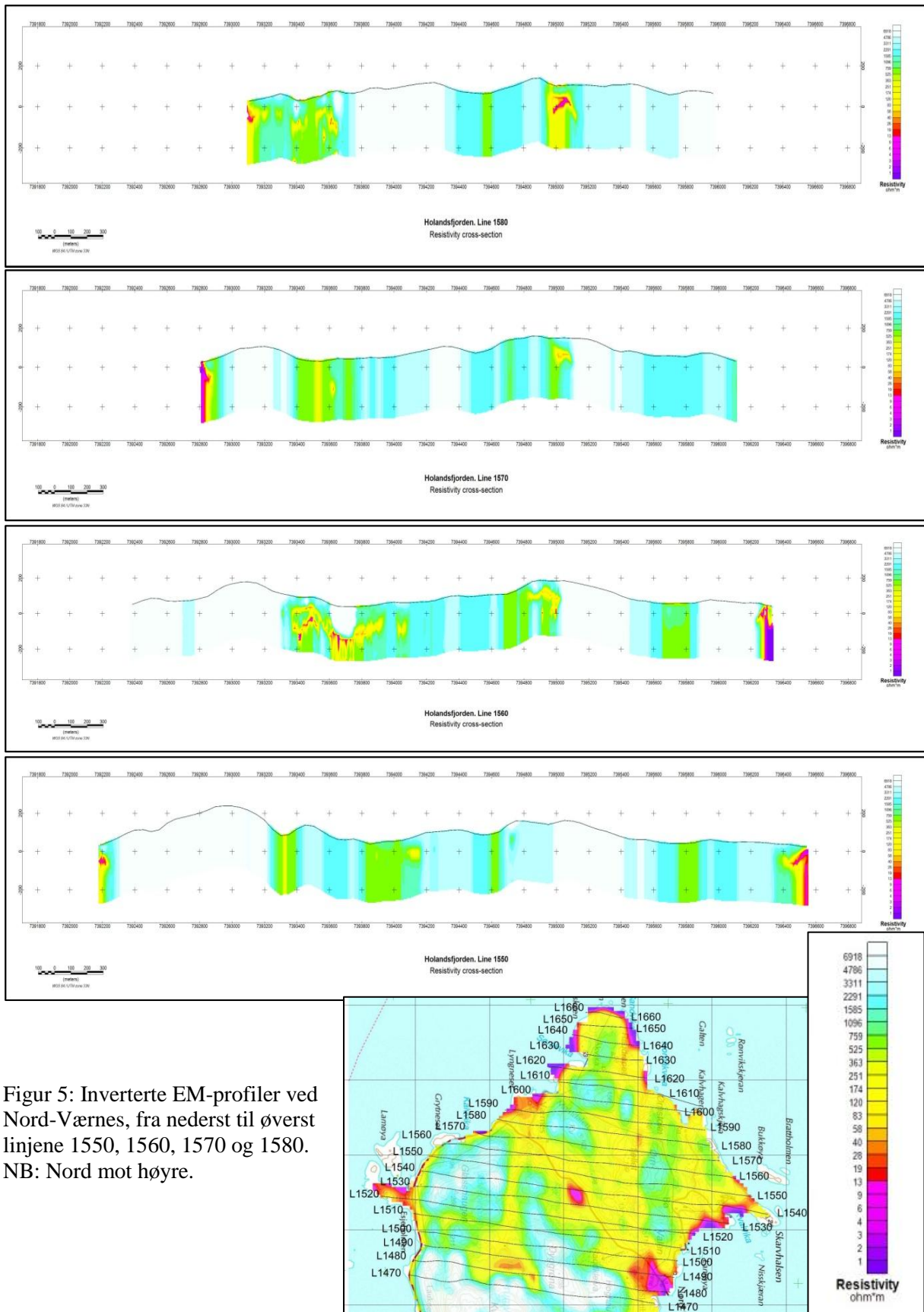
Oppsummering EM-inversjon Nord-Værnes.

Inversjon av EM-data fra helikoptermålinger indikerer et betydelig volum av mulig grafitt av ukjent kvalitet ved Nord-Værnes. Metoden kan ikke si noe om detaljer i en mulig forekomst, og heller ikke noe om innholdet av grafitt. For å avklare dette nærmere er det utført mer detaljerte geofysiske målinger på bakken i tillegg til geologisk kartlegging, prøvetaking og kjemisk analyse.

Sør og vest for Nord-Værnes kan det finnes noe grafitt, men både volum og kvalitet sanses dårligere enn ved Nord-Værnes.



Figur 4: Inverterte EM-profiler ved Nord-Værnes, fra nederst til øverst linjene 1510, 1520, 1530 og 1540. Nord mot høyre.

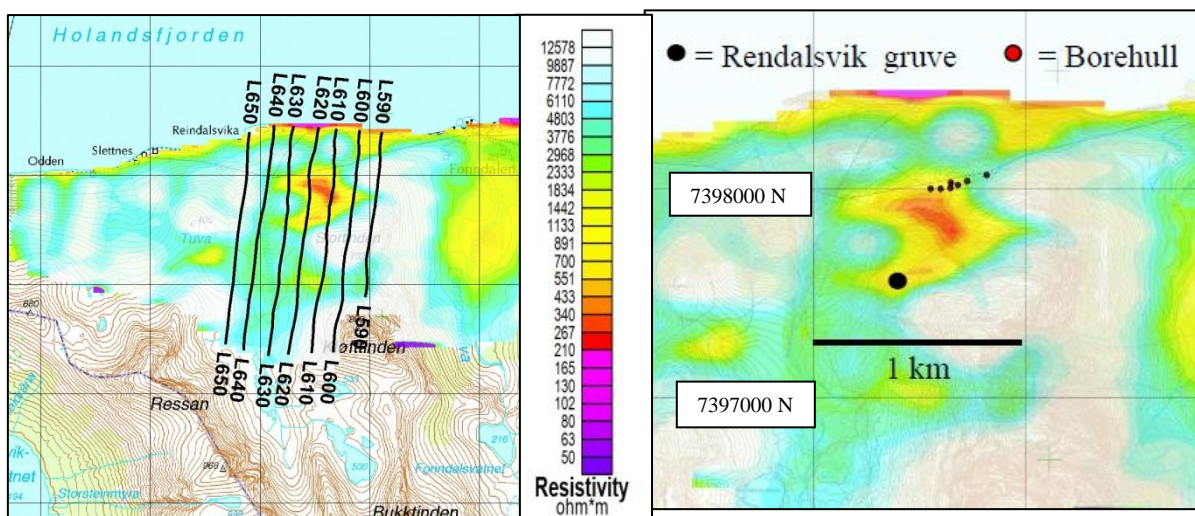


Figur 5: Inverterte EM-profiler ved Nord-Værnes, fra nederst til øverst linjene 1550, 1560, 1570 og 1580. NB: Nord mot høyre.

3.3.2 Inverterte EM-profiler ved Rendalsvik

Ved Rendalsvik er det utført inversjon på i alt 7 profiler (se figur 7). Figurene 8 og 9 viser tilnærmet sann resistivitet langs profilene 590 til 650.

Grafitmineraliseringen ved Rendalsvik viser en klar anomali med tilsynelatende resistivitet for frekvensen 6600 Hz mellom 300 og 400 Ωm . Mer markerte anomalier på 980 og 7000 Hz (Coaksiale spoler) sammenlignet med henholdsvis 880 Hz og 6600 Hz (Coplanare spoler, vedlegg 1) indikerer vertikalt stående mineralisering. Høyre del av figur 7 antyder at selve gruva og de boreriger som er foretatt lengre nede i lia, ligger på hver side av den best ledende del av selve forekomsten. De inverterte profilene gir et klarere bilde av hvor mineraliseringen ligger og hvilken resistivitet denne har.



Figur 7: Lokalisering av inverterte EM-profiler ved Rendalsvik (til venstre) og lokalisering av Rendalsvik gruve og tidligere boreriger i forhold til EM-anomali (til høyre).

Det godt ledende partiet ved Rendalsvik gruve ligger mer enn 100 m.o.h. mens marin grense ligger på ca. 90 m.o.h.. Dette betyr at en kan se bort fra marine sedimenter og sjøvann som årsak til resistivitetsanomali like nord for Rendalsvik gamle gruve. Siden det er påvist grafit i gruva og i borehullene ca. 500 m mot sørøst (Skoftealand & Vestereng 1984) er det nærliggende å anta at hele resistivitetsanomalien skyldes grafit. De inverterte profilene (figurene 8 og 9) viser også stedvis resistivitet ned mot 1 Ωm noe som også er forenlig med grafit.

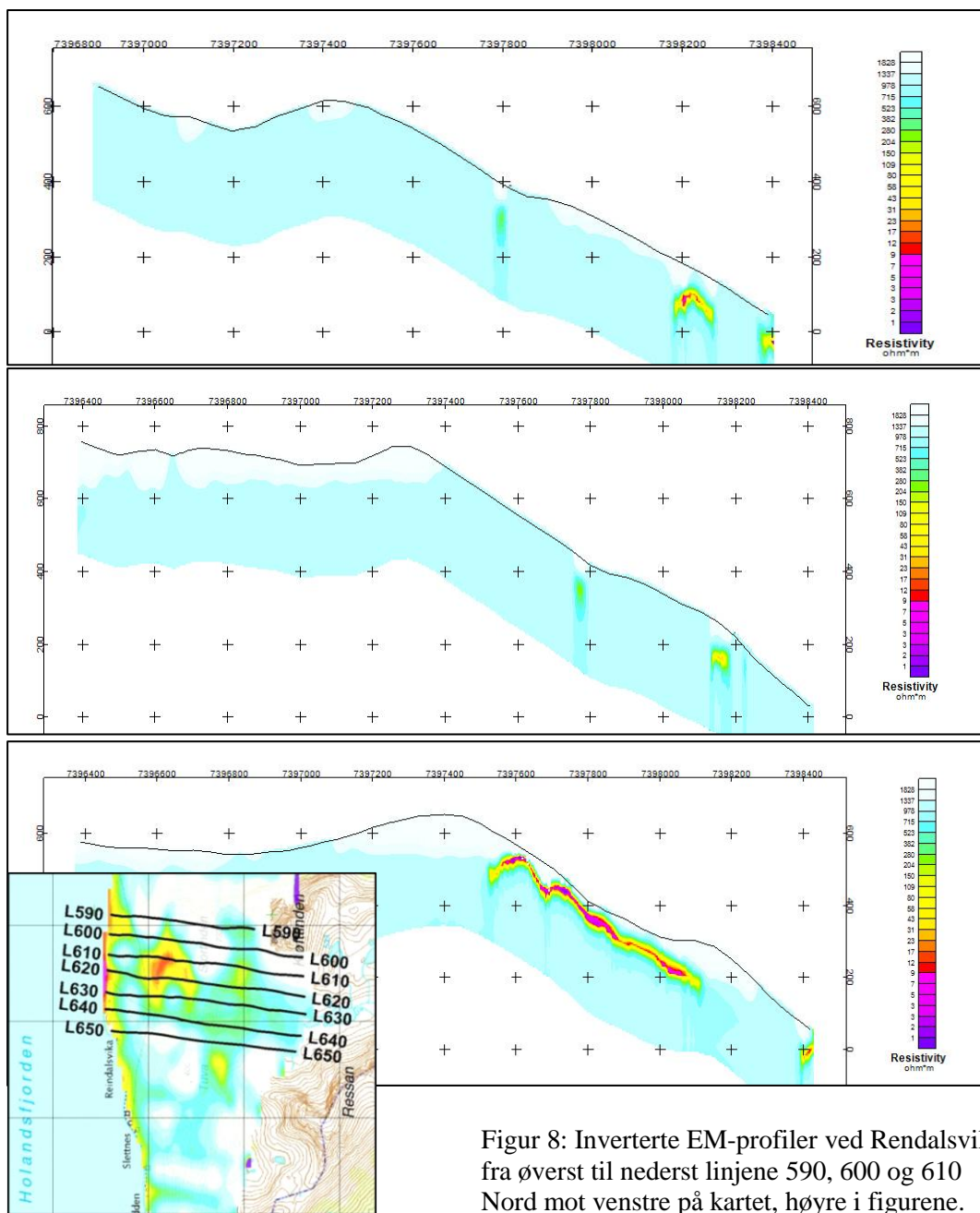
Invertert profil 590 indikerer at den mineraliserte gangen det er boret mot i 1984 (se figur 7) fortsetter østover, men at den stikker mot dypet. Anomaliformen mellom disse borerigene og selve gruva indikerer at mineraliseringen fortsetter mot vest, bøyer om nær 180 grader og går østover for så å gå i retning sørvest mot den gamle Rendalsvik gruve (omvendt Z). De inverterte profilene (figurene 8 og 9) viser at mineraliseringen ikke nødvendigvis er kontinuerlig, og at den heller ikke har utgående før den når Rendalsvik gruve. Inversjonene indikerer at mineraliseringen ligger på et dyp fra noen titalls meter til opp mot 100 meter. Langs profil 610 kan mineraliseringen følges i en lengde på ca. 600 meter, men vest for linje 630 ser det ut til at den dør ut, både nede i lia og på høyde med Rendalsvik gruve. Mektigheten på mineraliseringen og kvaliteten (gehalter) er det vanskelig på si noe om ut fra

de inverterte EM-data, men det kan se ut som det er størst mektighet sentralt langs profil 610 ved ca. UTM koordinat 44700 øst – 7397800 nord.

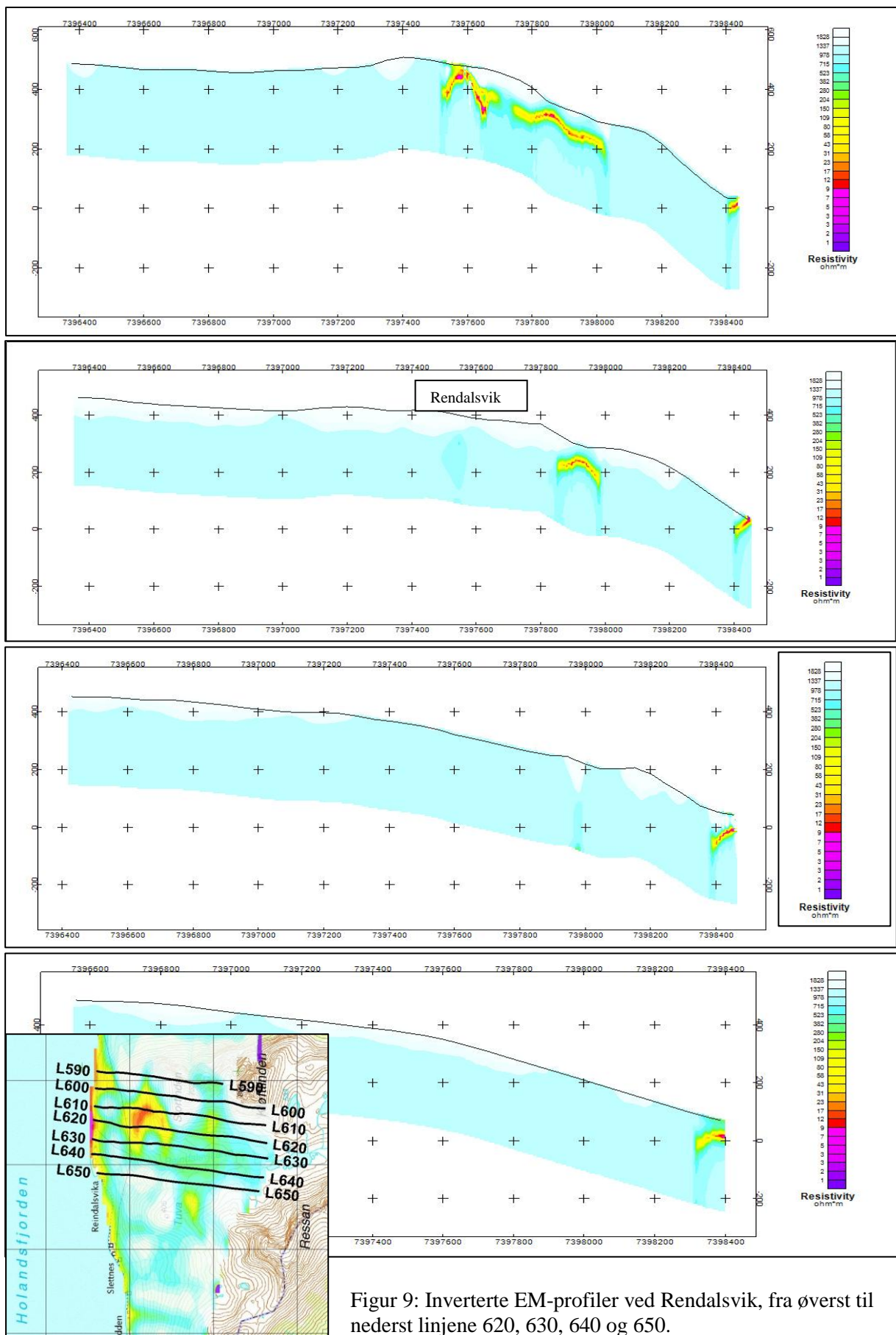
Noe godt ledende materiale ved nordenden av nær alle de inverterte profilene skyldes trolig sjøvann i forlengelsen av profilene.

Oppsummering Rendalsvik:

EM-data målt fra helikopter viser at det kan være en god del grafitt i området nord og øst for den gamle gruva ved Rendalsvik. Tidligere undersøkelser har vist at innholdet av grafitt ikke er spesielt høyt (ca. 9 %) og det har vært rapportert uheldig innhold av uran i mineraliseringen. Dette sammen med en ugunstig beliggenhet gjør at NGU ikke har utført videre undersøkelser på mineraliseringen. Det burde imidlertid vært utført boringer for å finne kvaliteten av materialet som ligger mellom den kjente gruva og boringer fra 1984. For å bestemme hvordan boringer bør utføres, anbefales detaljerte geofysiske målinger med dybderekkevidde større enn 100 meter.



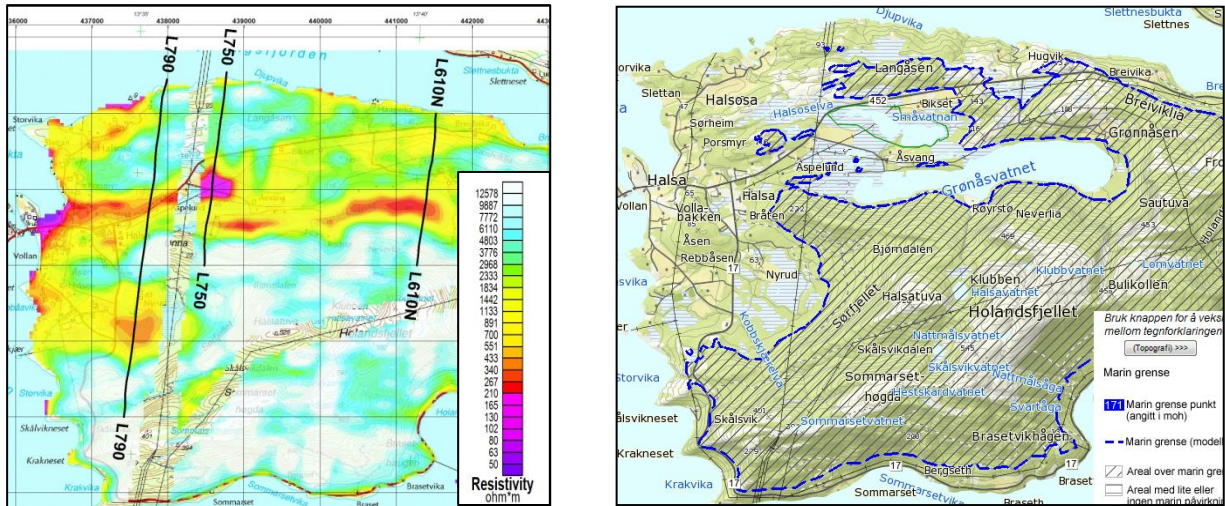
Figur 8: Inverterte EM-profiler ved Rendalsvik, fra øverst til nederst linjene 590, 600 og 610 Nord mot venstre på kartet, høyre i figurene.



Figur 9: Inverterte EM-profiler ved Rendalsvik, fra øverst til nederst linjene 620, 630, 640 og 650. Nord mot venstre i kartet, høyre i figurene.

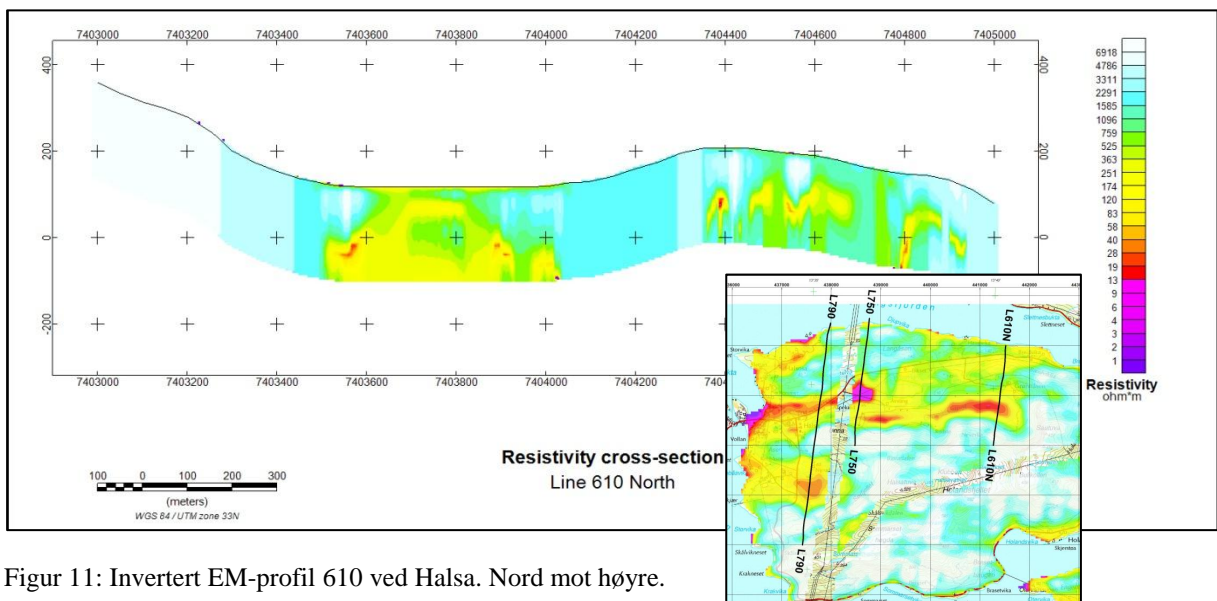
3.3.3 Inverterte EM-profiler ved Halså

Figur 10 viser lokalisering av inverterte EM-profiler ved Halså og nivå for marin grense i området. Marin grense angir hvor høyt havet har stått og derved hvor høyt en kan finne godt ledende marine ansetninger (saltholdig leire).



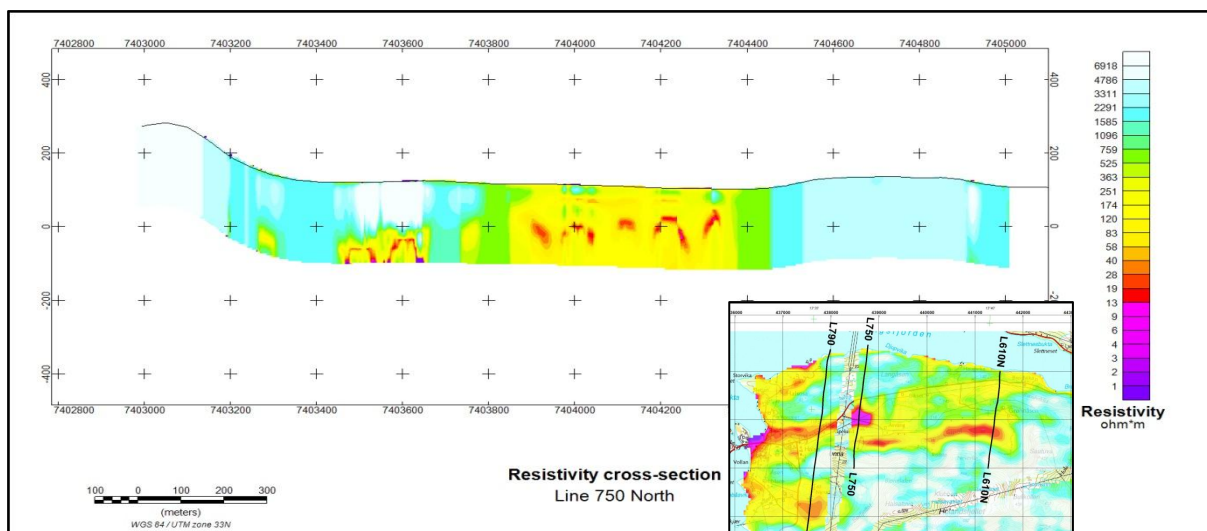
Figur 10: Lokalisering av inverterte EM-profiler (til venstre) og nivå for marin grense (til høyre) ved Halså.

Figur 10 viser klart at alle de tilsynelatende godt ledende sonene (lav resistivitet, rød farge) ligger i områder under marin grense som i dette området ligger på ca. 88 m.o.h.. Marin leire kan derfor være årsak til lav tilsynelatende resistivitet, men en kan imidlertid ikke utelukke andre årsaker som grafitt eller sulfider. Det ble derfor foretatt inversjon av EM-data langs tre målelinjer og i tillegg utført andre geofysiske målinger på bakken (se neste avsnitt).



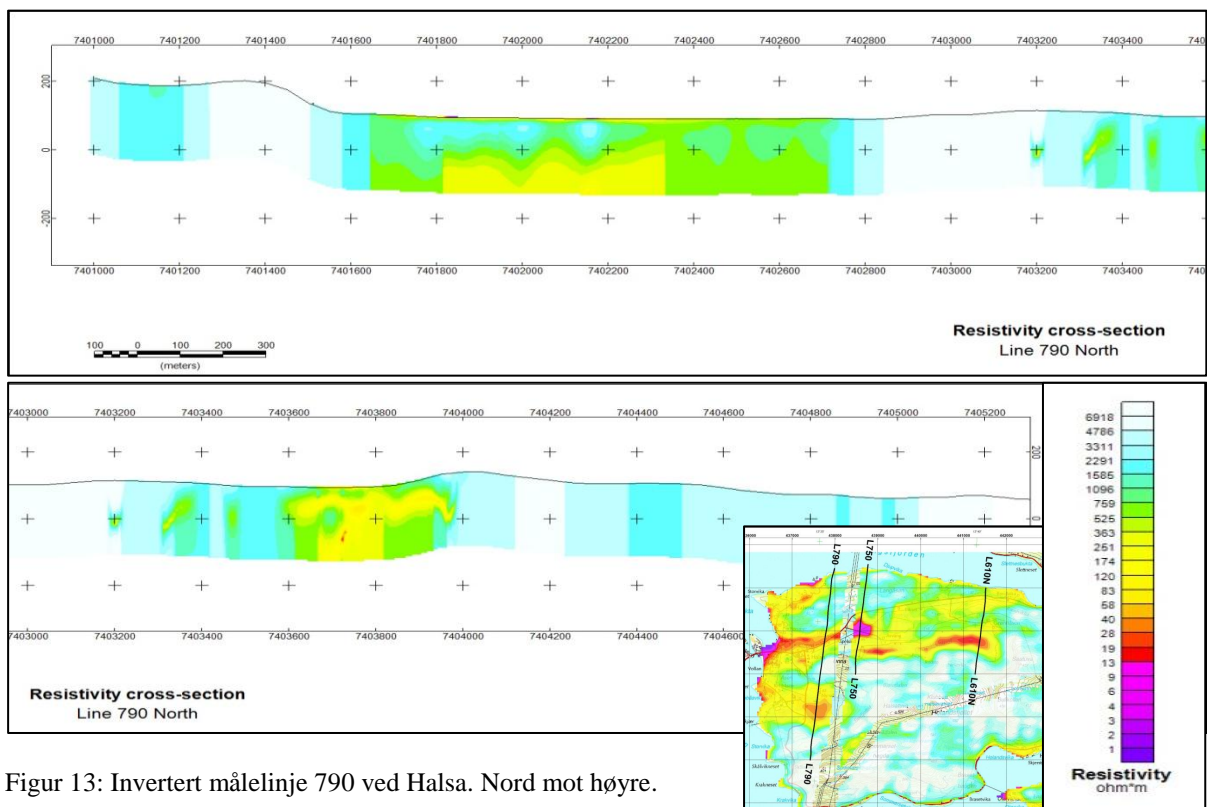
Figur 11: Invertert EM-profil 610 ved Halså. Nord mot høyre.

Den inverterte målelinjen over øst-enden av Grønåsvatnet (figur 11) viser resistivitetsverdier i området 40 til 400 Ωm (gule farger). Dette representerer ikke grafitt av god kvalitet.



Figur 12: Invertert EM-profil 750 ved Halså. Nord mot høyre.

Den inverterte målelinjen i vestenden av Grønåsvatnet (linje 750, Figur 12) viser også resistivetsverdier fra 40 Ω m og opp mot 500 Ω m noe som trolig heller ikke representerer grafitt eller sulfider av god kvalitet. Det er uklart om bedre ledende materiale midt i profilet fra koordinat 7403900 N til 7404300 N (lavere enn 28 Ω m) kan skyldes grafitt eller om dette er kunstige effekter ved inversjonsprosessen. Uansett, anomaliene ligger dypt (mer enn 100 m) og er lite sammenhengende, noe som gjør dette økonomisk mindre interessant. Godt ledende materiale, ned mot 1 Ω m ved nord-koordinat 7403500 og 7403600 er trolig kunstige effekter fra inversjonen.

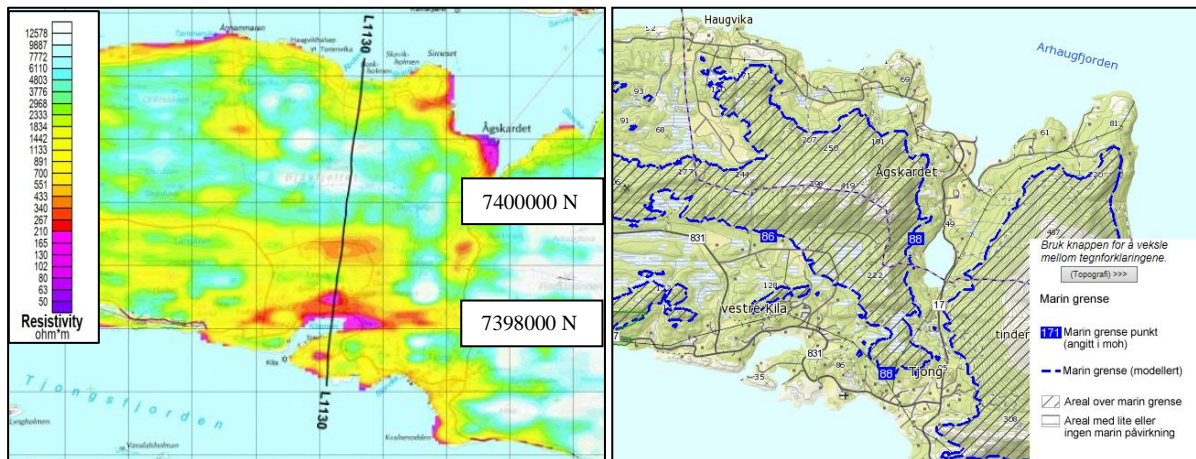


Figur 13: Invertert målelinje 790 ved Halså. Nord mot høyre.

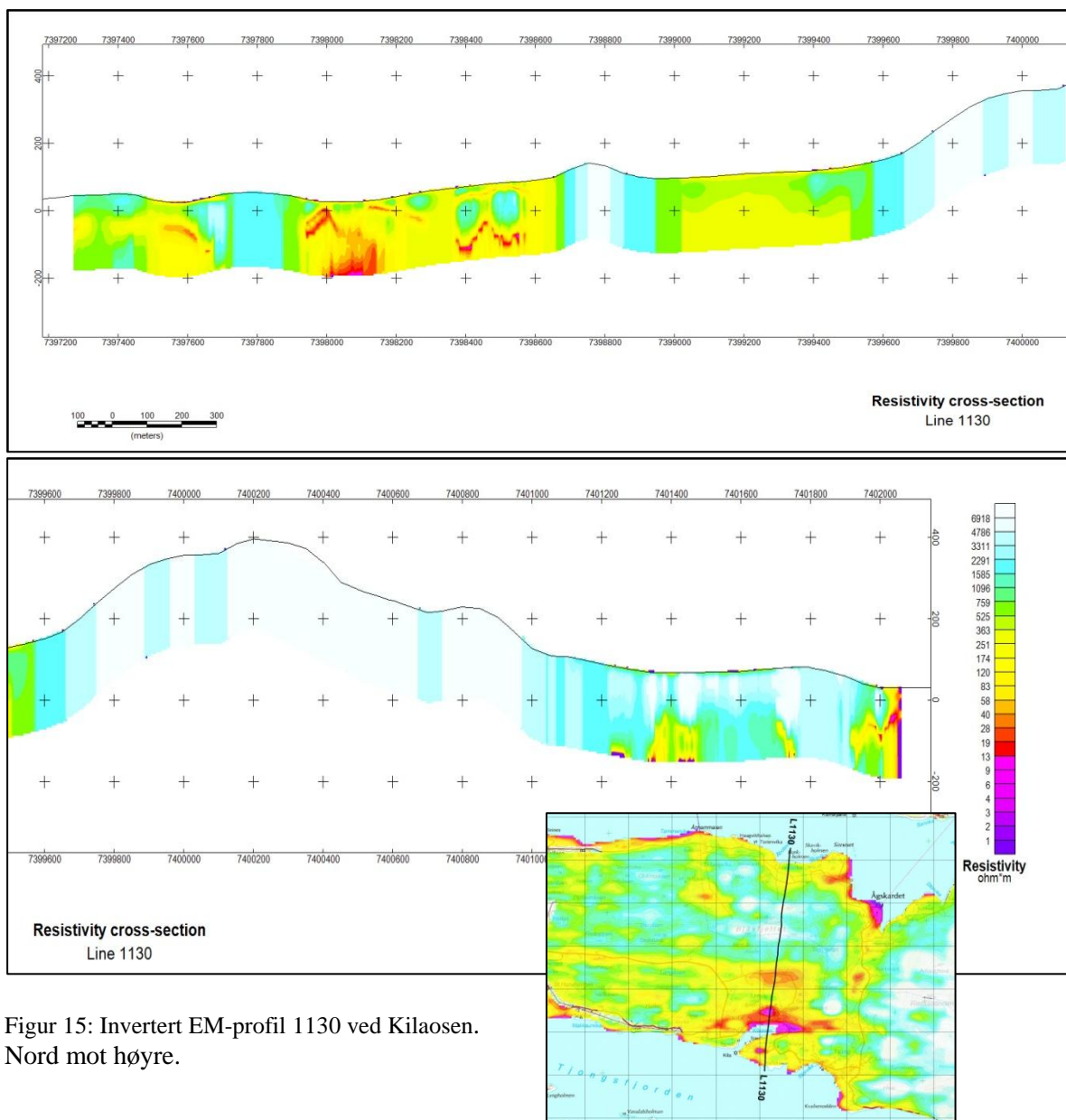
Inversjonen av linje 790 ved Halså (Figur 13) viser ingen resistivetsanomalier som kan indikere grafitt av god kvalitet. Anomaliene ved helikoptermålingene her skyldes sannsynligvis moderat ledende løsmasser.

3.3.4 Inverterte EM-profil ved Kilaosen

På halvøya mellom Tjongsfjorden og Skardsfjorden er det invertert ett profil (Linje 1130, se figur 14). Lengst sør fremstår flere tilsynelatende meget godt ledende soner (lav resistivitet). Disse anomaliene kan skyldes sjøvann som trenger inn i løsmasser nært kysten, marin leire eller elektronledende mineralisering (grafitt eller sulfider). Kart over marin grense viser at en av disse anomaliene delvis ligger over marin grense (anomali ved koordinat 7399300 N).



Figur 14: Lokalisering av invertert EM-profil (til venstre) og nivå for marin grense (til høyre) ved Kilaosen.



Figur 15: Invertert EM-profil 1130 ved Kilaosen. Nord mot høyre.

Det inverterte EM-profilet 1130 (Figur 15) viser noe relativt godt ledende materiale liggende på ca. 50 meters dyp ved nord-kordinat 7397600, grunt ved nord-kordinatene 7398000 og 7398170 og noe dypere ved 7398450. Det kan synes som om de to siste følger en foldet horisont. Resistiviteten synes å ligge ned mot 13 Ωm , og plasseringen i dypet kan være en indikasjon på at dette kan være grafitt eller sulfider. Området ble undersøkt med mer detaljerte geofysiske målinger på bakken (se neste avsnitt).

Lav invertert resistivitet lengst nede i profilet mellom nord-kordinatene 7398000 og 7398200 er trolig en kunstig effekt (svakhet ved inversjonsrutinen).

4. OPPFØLGENDE GEOFYSIKK, RESISTIVITET / INDUSERT POLARISASJON

For å avklare nærmere årsaken til elektromagnetiske anomalier fra helikoptermålingene, ble det utført mer detaljerte geofysiske målinger i form av 2D resistivitet i kombinasjon med Indusert Polarisasjon (IP). IP-effekt oppstår bl.a. når strøm i bakken veksler mellom å bli ledet ionisk i porevann til elektronisk i mineraler som sulfider, oksider og grafitt.

4.1 Målemetode og utførelse

4.1.1 Målemetode

Måling av resistivitet og Indusert Polarisasjon i to dimensjoner (2D) utføres ved å legge ut kabler med flere elektrodeuttak på bakken og knytte elektroder til disse. Når utlegget er etablert, startes en automatisk styrt måleprosess der forskjellige elektrodepar benyttes som strømelektroder mens det oppsatte elektriske potensialet måles mellom to andre elektroder. Ved å la en slik elektrodekonfigurasjon vandre langs kabelutlegget kartlegges resistivitet og IP-effekt lateralt. Når elektrodeavstanden økes, trenger strømmen dypere ned i bakken og en kan da kartlegge resistiviteten og IP-effekten mot dypet. Kombineres disse to teknikkene kan kartleggingen skje i to dimensjoner 2D, horisontalt og vertikalt).

En mer utførlig beskrivelse av metoden finnes på

<http://www.ngu.no/no/hm/Norges-geologi/Geofysikk/Bakkegeofysikk/Elektriske-metoder/>.

4.1.2 Utførelse

Måledata ble innsamlet med et kabelsystem utviklet ved den tekniske høgskolen i Lund (LUND-systemet, Dahlin 1993). Systemet består av et Terrameter ABEM-LS, og to eller fire multi-elektrode kabler (ABEM 2012). Ved denne undersøkelsen ble det benyttet fire kabler med 10 meters elektrodeavstand og Gradient elektrodekonfigurasjon. Dybderekkevidden er ca. 120 meter. For å se detaljer ved mineraliseringen ved Nord-Værnes ble det også foretatt en måling med elektrodeavstand 2 meter, og ved denne er den maksimale dybderekkevidden ca. 30 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 i prinsippet er ubegrenset. Profilenes beliggenhet er innmålt med GPS (Vedlegg 1).

Strøm ble sendt i pulser på 2 sekund og alternerende polaritet. Målingen av resistivitet (enhet ohmm eller Ωm) startet 0,8 sekund etter at strømmen ble slått på og måletiden var 1.2 sekund. Indusert polarisasjon (IP) ble målt 10 ms etter strømbrydd i 10 tidsvindu på 20, 40, 60, 80, 100, 140, 180, 260, 400 og 580 ms. Ved denne undersøkelsen ble det integrert IP-signal over tid benyttet. Måleenheten er mVs som normaliseres mot resistivitetssignalet (mV) og slik at IP-effekten uttrykkes med enheten ms.

Ideelt sett burde måling av indusert polarisasjon vært utført med "ikke polariserbare elektroder", og ikke stålelektroder som ble benyttet her. Dette ville i så fall komplisert og forsinket målingene i betydelig grad. Forskning har vist at IP kan måles med stålelektroder under forutsetning av at strømstyrken kan opprettholdes på et høyt nivå (> 50 mA, Dahlin et al. 2002).

4.1.3 Strømstyrke og datakvalitet

Strømstyrken for mesteparten av målingene lå fra 50 til 200 mA. Datakvaliteten ved resistivitetsmålingene var for de fleste profilene god, og kun et fåtall måledata måtte fjernes før inversjon. Ved måling av Indusert Polarisasjon (IP) er målesignalene betydelig lavere, og ved denne metoden kan det ofte være mye støy og negative måleverdier. Det var også tilfellet ved denne undersøkelsen.

4.1.4 Inversjon.

Ved alle resistivitetsmålinger måles en tilsynelatende resistivitet og IP-effekt. De representerer et veid middel av alle resistivitetsverdier og IP-effekter 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 måleverdi. Denne blir så justert i flere trinn (iterasjoner) inntil responsen fra den teoretiske modellen blir mest mulig lik de målte data.

Målingene ble invertert ved bruk av dataprogrammet RES2DINV (Loke 2014). Ved Nord-Værnes ble versjon 4.03 av programmet benyttet. Ved de to andre områdene (Halsa og Kileosen) ble en eldre versjon (Versjon 3.58) benyttet. Det ble benyttet Robust inversjon og vertikal/horisontal-filer 1, noe som gir en nøytral presentasjon av de inverterte seksjonene i forhold til vertikale og horisontale strukturer (mineraliseringer). Det er ikke foretatt noen inversjon av de enkelte IP-kanaler, men av det integrerte målesignalet.

Kvaliteten på selve inversjonene var ikke den aller beste, men akseptabel. Som de forskjellige profilene viser var feilprosenten (Abs. Error, se figurene 17, 18, 19, 20, 22 og 24) for resistivitetsinversjonen fra 11,3 til 17,6. For Indusert Polarisasjon var feilprosenten fra 8,9 til 28,7. Årsaken til noe redusert inversjonskvalitet ligger trolig i store kontraster i egenskaper (resistivitet og IP-effekt) og hurtig skiftende geologi.

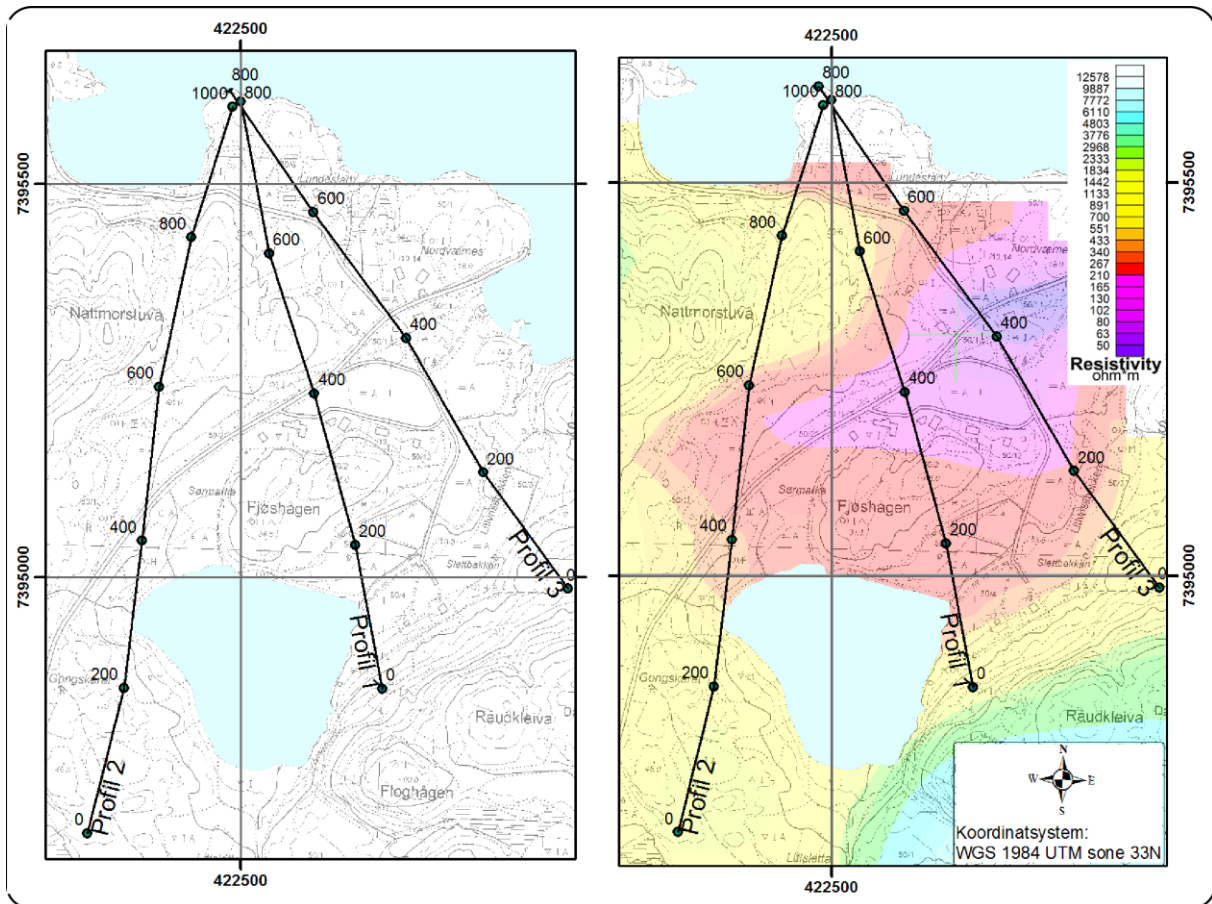
4.2 Resultater fra oppfølgende målinger

I dette avsnittet blir resultater fra oppfølgende geofysiske målinger på bakken presentert.

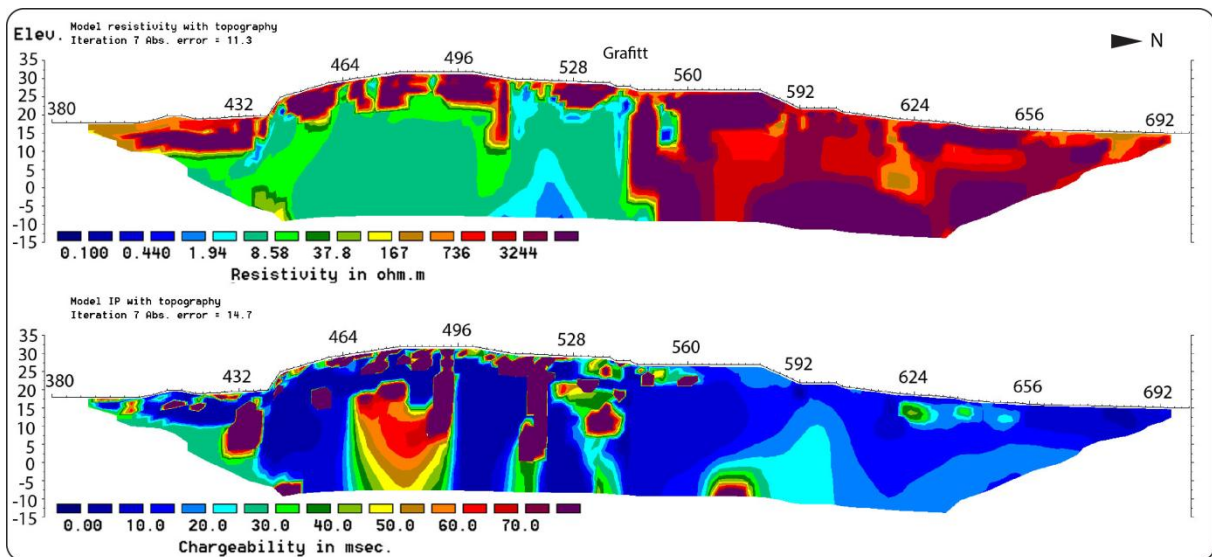
4.2.1 Resistivitet og Indusert Polarisasjon ved Nord-Værnes

Lokalisering av profiler målt med 2D Resistivitet og Indusert Polarisasjon (IP) ved Nord-Værnes er vist i figur 16. Her avbildes også hvordan profilene går i forhold til lav tilsynelatende resistivitet fra helikoptermålingene med frekvens 6600 Hz.

En befaring på den kjente mineraliseringen ved Nord-Værnes viste at tykkelsen av forekomsten kunne være relativt liten (≤ 2 meter). EM-data fra helikoptermålingene viste imidlertid at det finnes materiale med lav resistivitet i et betydelig større område. Profil 1 over den kjente forekomsten ble derfor målt både med elektrodeavstand 2 meter (Figur 17) for å kartlegge dagnære detaljer og med 10 meter for å se dypere og bredere (Figur 18). Angitte koordinater langs profilet er de samme for de to figurene. Profil 2 og 3 ble målt med elektrodeavstand 10 meter (Figurene 19 og 20).



Figur 16: Oversiktskart Nord-Værnes. Målte profiler med 2D Resistivitet og Indusert Polarisasjon. Bakgrunn for figuren til høyre er tilsynelatende resistivitet beregnet fra EM-frekvens 6600 Hz.

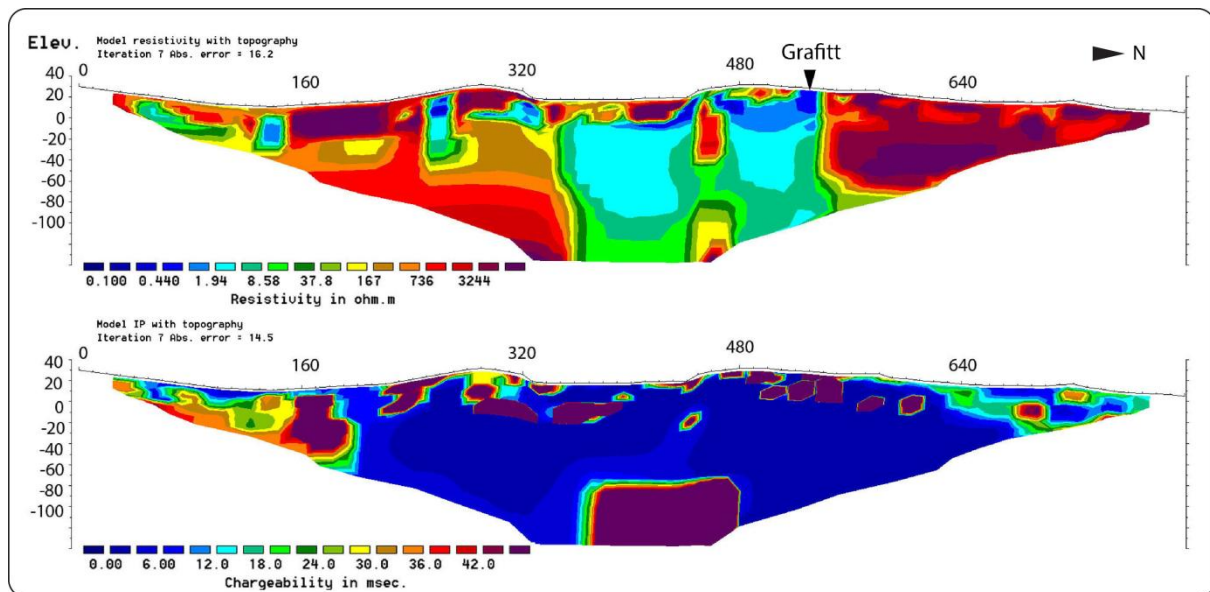


Figur 17: Resistivitet og Indusert polarisasjon langs profil 1 ved Nord-Værnes målt med 2 m elektrodeavstand.

De detaljerte målingene langs profil 1 (Figur 17) viser en markert sone med lav resistivitet sentralt i profilet. Sonens totale bredde er på ca. 100 meter (mellom koordinatene 445 og 545), hvorav den nordligste delen med mektighet ca. 40 meter har lav resistivitet ($< 8 \Omega\text{m}$). Denne godt ledende sonen går bare sporadisk opp til overflaten, og synes å ligge på et dyp på ca. 10 meter. Dette skyldes ikke løsmasser da det er blottet fjell i dette området. Anomalien går ut til overflaten der den kjente grafittmineraliseringen er lokalisert (koordinat 540).

Resistiviteten ellers i dette profilet er som en kan forvente i den aktuelle bergarten (Migmatitisk gneis).

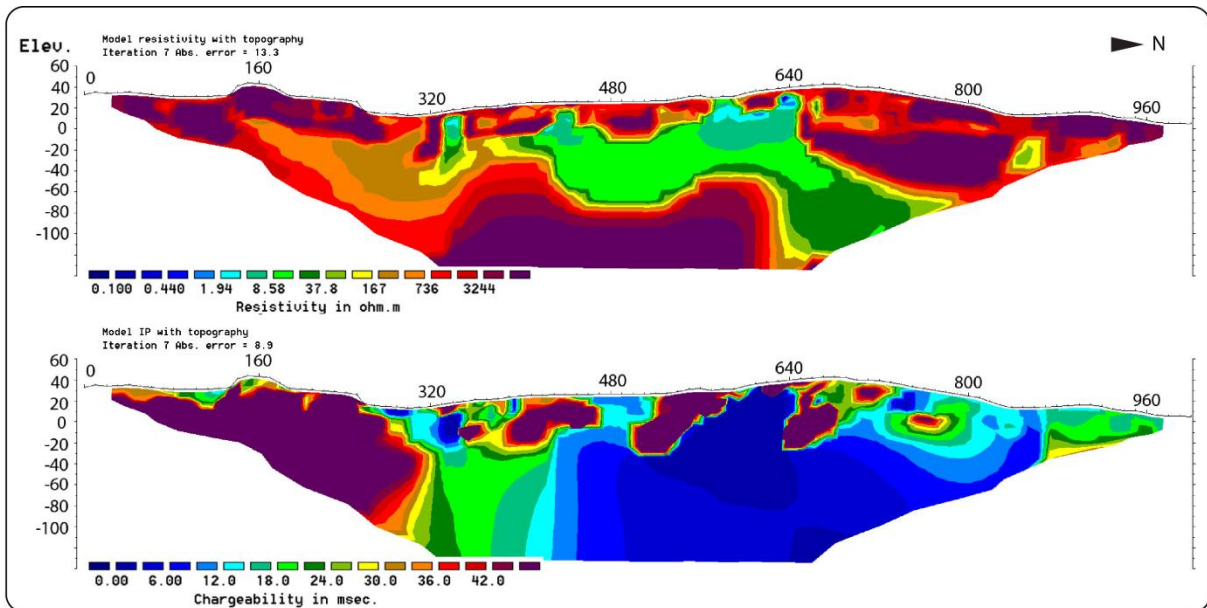
Grafit som mineral kan gi såkalt IP-effekt (Jones 2007). Effekten oppstår når elektrisk strøm går over fra å bli ledet ionisk i en elektrolytt i sprekker i fjellet til elektronisk i metallsulfider, oksider og grafit. IP-data målt langs profil 1 med elektrodeavstand 2 m viser hurtig skiftende verdier (figur 17 nederst). Dette kan skyldes variasjoner i grafitens kvalitet. Måledata er beheftet med mye støy, og dette kan også være en årsak.



Figur 18: Resistivitet og Indusert polarisasjon langs profil 1 ved Nord-Værnes målt med 10 m elektrodeavstand.

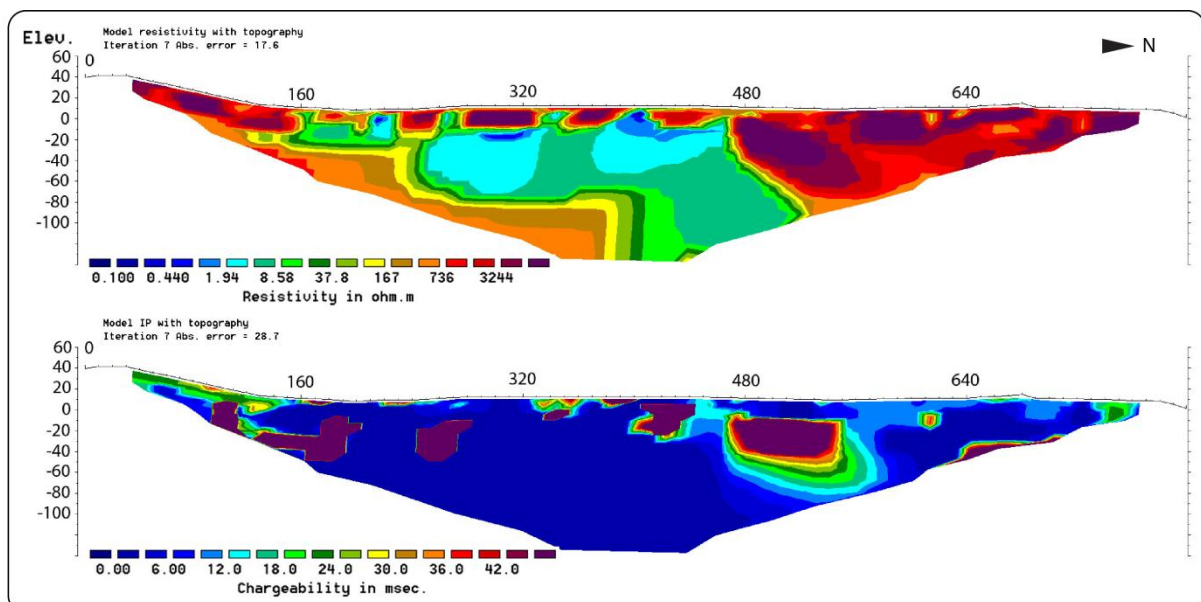
Resistivitet og Indusert Polarisasjon målt med elektrodeavstand 10 meter langs profil 1 er vist i Figur 18. Sonen med lav resistivitet ($<8 \Omega\text{m}$) mellom koordinatene 445 og 545, hvor vi også har utgående grafit, kommer klart frem, men noe mer unyansert på grunn av større elektrodeavstand. Målingene med 10m elektrodeavstand gir lavere resistivitet i dette området. Sør for denne sonen, mellom ca. koordinatene 350 og 440, finnes en ny bred sone med til dels lav resistivitet ($<5 \Omega\text{m}$). Heller ikke denne godt ledende sonen kommer til overflaten, og i dette området kan det skyldes at den ligger under løsmasser med en mektighet opp mot 20 meter. Denne tolkingen er i samsvar med resultatene fra inversjonen av EM-data fra området som også viser den ledende sonen kan ligge på et dyp på fra 20 til opp mot 80 meter (se avsnitt 3.3.1), men det kan også være andre tolkninger av dette anomaliforløpet (se avsnittene 7.1 og 7.2).

Indusert polarisasjon (IP, Figur 18 nederst) langs profilet viser i hovedsak vekslende verdier som ved målingene med 2 meters elektrodeavstand. I sonene med lavest resistivitet er det i hovedsak lav og ingen IP-effekt. Dette kan tyde på ei massiv mineralisering hvor strømmen ledes elektronisk. Enkelte lommer med til dels høy IP-effekt kan skyldes sulfider, jernoksider eller grafit som opptrer usammenhengende, og derved av dårligere kvalitet.



Figur 19: Resistivitet og Indusert polarisasjon langs profil 2 ved Nord-Værnes målt med 10 m elektrodeavstand.

Profil 2 målt med 2D Resistivitet og Indusert Polarisasjon (Figur 19) viser også til dels meget lav resistivitet i enkelte soner. Det er påvist lavere resistivitet i en samlet bredde på ca. 200 meter (mellom koordinatene 450 og 650) men her er det bare enkelte soner med resistivitet lavere enn 2 Ω m. Også langs dette profilet opptrer den lave resistiviteten først fra et dyp på fra 20 til 40 meter med unntak av to soner ved koordinatene 580 og 640. Lav eller manglende IP-effekt i to av disse sonene kan være en indikasjon på grafitt av god kvalitet. Høy IP-effekt og moderat resistivitet (lavere enn ca. 1000 Ω m) sør for koordinat 300 tolkes som unormalt, men anses ikke å skyldes grafitt av god kvalitet. Svakere anomalier langs profil 2 sammenlignet med profil 1 kan skyldes at profil 2 går i ytterkant av et mineralisert område.



Figur 20: Resistivitet og Indusert polarisasjon langs profil 3 ved Nord-Værnes målt med 10 m elektrodeavstand.

Resultatene fra profil 3 (Figur 20) viser samme trender som profil 1 og 2. Det fins en sone mellom koordinat 250 og 470 med lav resistivitet og mektighet på ca 60m fra ca 20m dyp. Smale soner med lav resistivitet mellom soner med meget høy resistivitet når overflaten ved koordinat 210, 270, 340 og 400. Av disse har sonen ved koordinat 400 klart lavest resistivitet, <1 Ω m. Profilet viser to klare domener: områder med høy resistivitet (>1000 Ω m) som

indikerer gneiss og områder med lav resistivitet ($<10 \Omega m$). Disse domenene er skilt med en veldig høy gradient, dvs det er ingen gradvis overgang fra lav til høy resistivitet. Det er lav eller manglende IP-effekt over store deler av profilet. I grensene mellom høy og lav resistivitet forekommer IP-effekt sporadisk. I tillegg fins det områder med meget høy IP, noe som kan indikere støy i målingene.

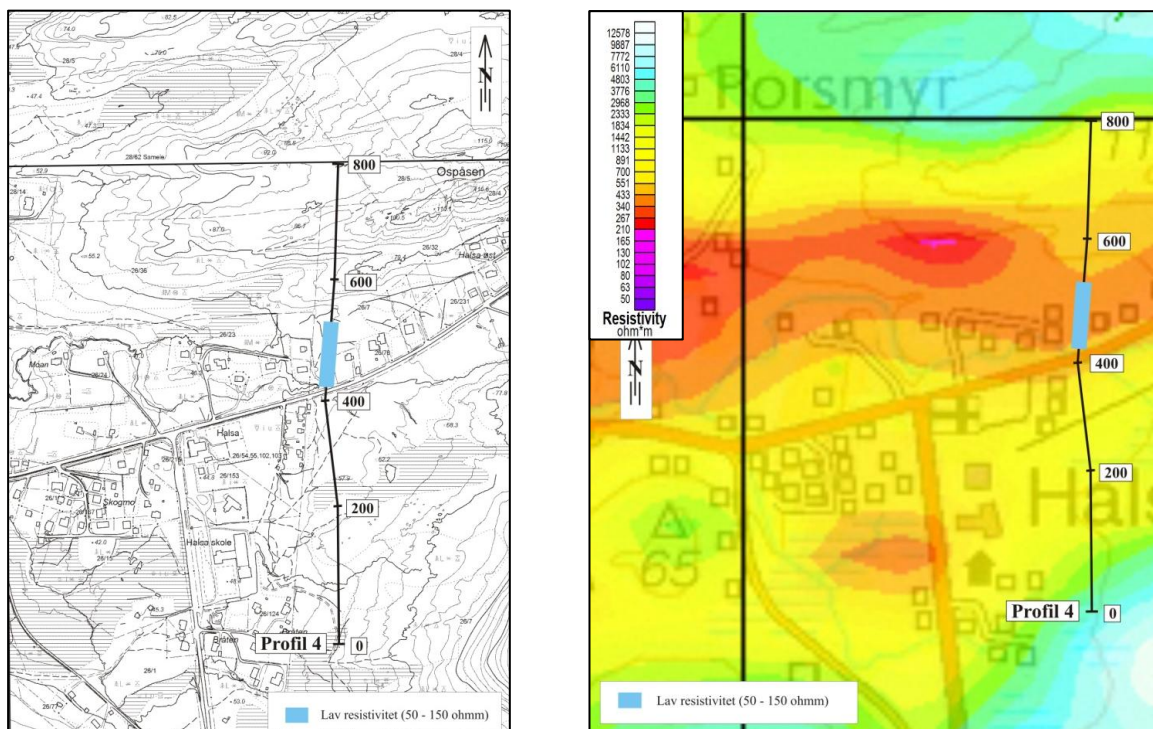
Oppsummering Nord-Værnes.

Det er påvist materiale med meget lav resistivitet som trolig skyldes grafitt av mulig god kvalitet. Mektigheten av den antatte grafitten kan være større enn det en antok på forhånd, kanskje opp mot 100 meter. Denne tolkingen er i samsvar med resultatene fra inversjonen av EM-data fra området som også viser den ledende sonen kan ligge på et dyp på fra 20 til opp mot 80 meter (se avsnitt 3.3.1), men det kan også være andre tolkninger av dette anomaliforløpet (se avsnittene 7.1 og 7.2).

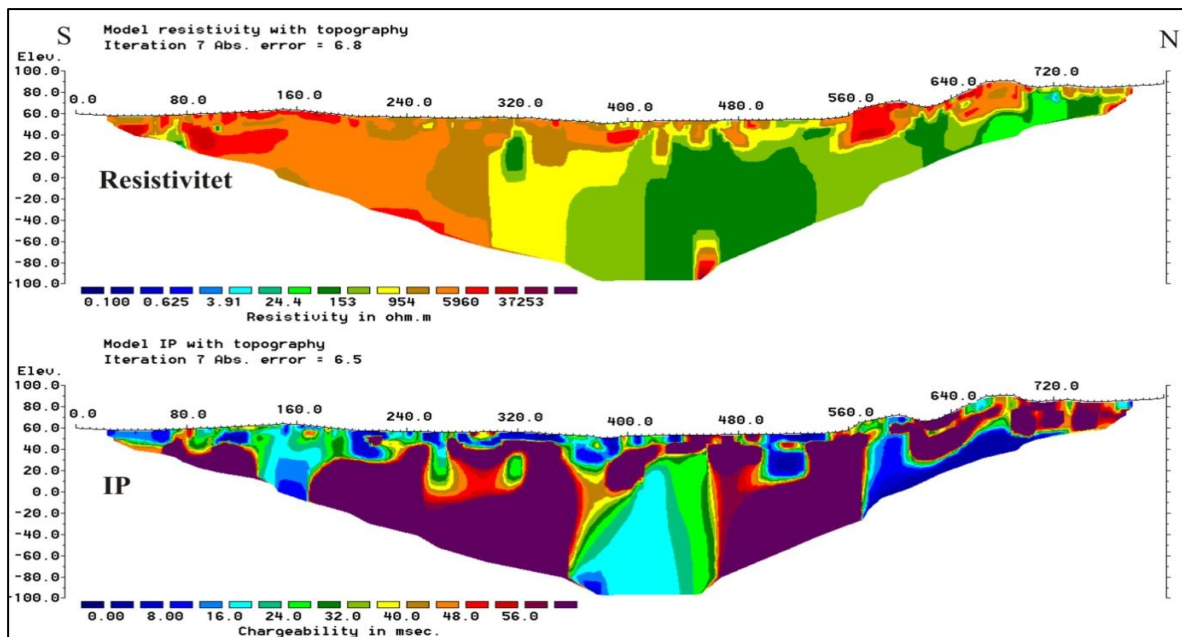
Det er påvist soner med mer moderate resistivitetsverdier, men dette kan vær grafitt av dårligere kvalitet. For å få et bedre bilde av mengde grafitt, kvaliteten og mektighet i dypet må det utføres kjerneboring.

4.2.2 Resistivitet og Indusert polarisasjon ved Halså

Ved Halså er det målt ett profil med 2D Resistivitet og Indusert Polarisasjon. Lokalisering i terrenget og i forhold til område med lav tilsynelatende resistivitet fra helikoptermålingene med frekvens 6600 Hz er vist i Figur 21. Invertert Resistivitet og IP-effekt er vist i figur 22.



Figur 21: Oversiktskart Halså. Målt profil med 2D Resistivitet og Indusert polarisasjon.

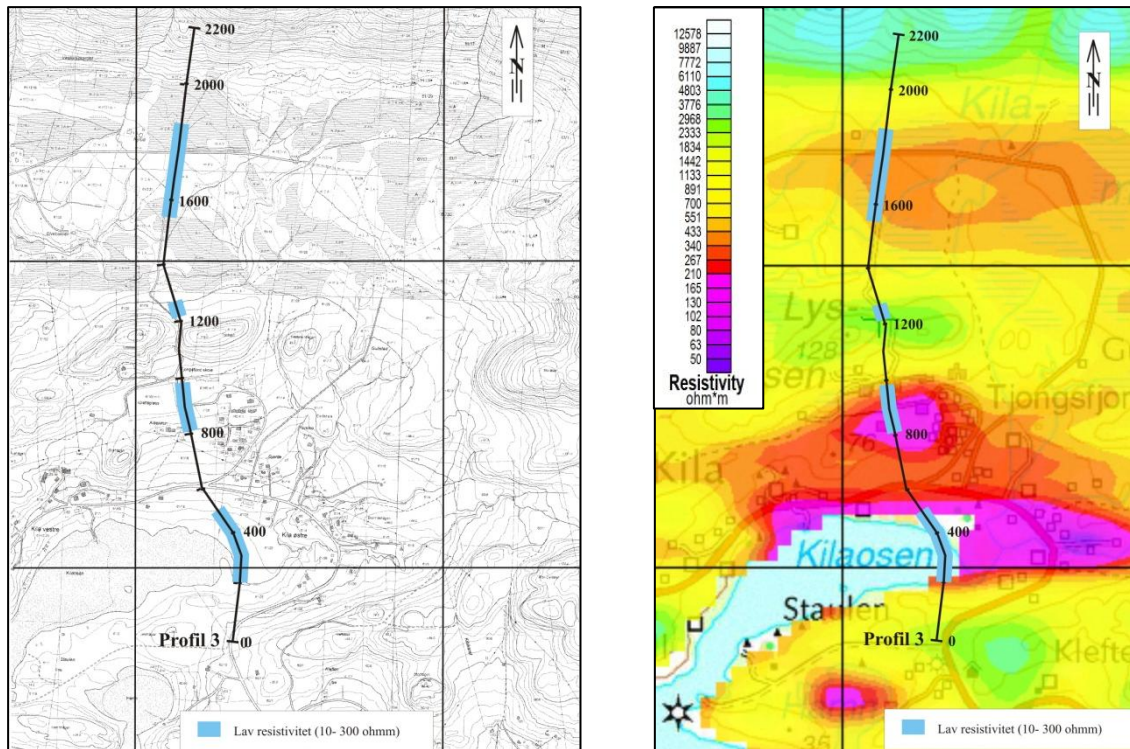


Figur 22: Resistivitet og Indusert polarisasjon langs profil ved Halså målt med 10 m elektrodeavstand.

Stedvis forhøyet IP-nivå langs profilet ved Halså kan indikere sulfider, oksider eller grafitt. Resistivitetsprofilet viser lave verdier fra ca. koordinat 300 til enden av profilet, noe som stemmer godt med tilsynelatende resistivitet kartlagt fra helikoptermålingene i samme område. Resistiviteten ligger imidlertid i området 75 til 950 Ωm , og det er lite sannsynlig at dette er grafitt av god kvalitet.

4.2.3 Resistivitet og Indusert polarisasjon ved Kilaosen

Ved Kilaosen er det målt ett profil med 2D Resistivitet og Indusert Polarisasjon. Lokalisering i terrenget og i forhold til område med lav tilsynelatende resistivitet fra helikoptermålingene med frekvens 6600 Hz er vist i Figur 23. Invertert Resistivitet og IP-effekt er vist i figur 24. På grunn av profilets lengde er det delt opp i to seksjoner ved inversjon og presentasjon, fra koordinatene 0 til 1400 meter og fra 800 til 2100 meter.



Figur 23: Oversiktskart Kilaosen. Målt profil med 2D Resistivitet og Indusert polarisasjon.

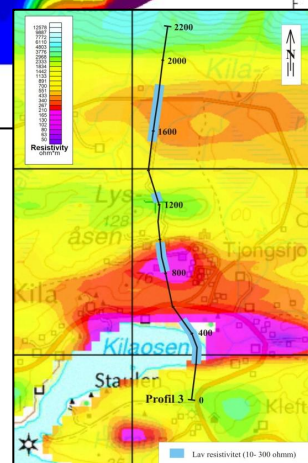
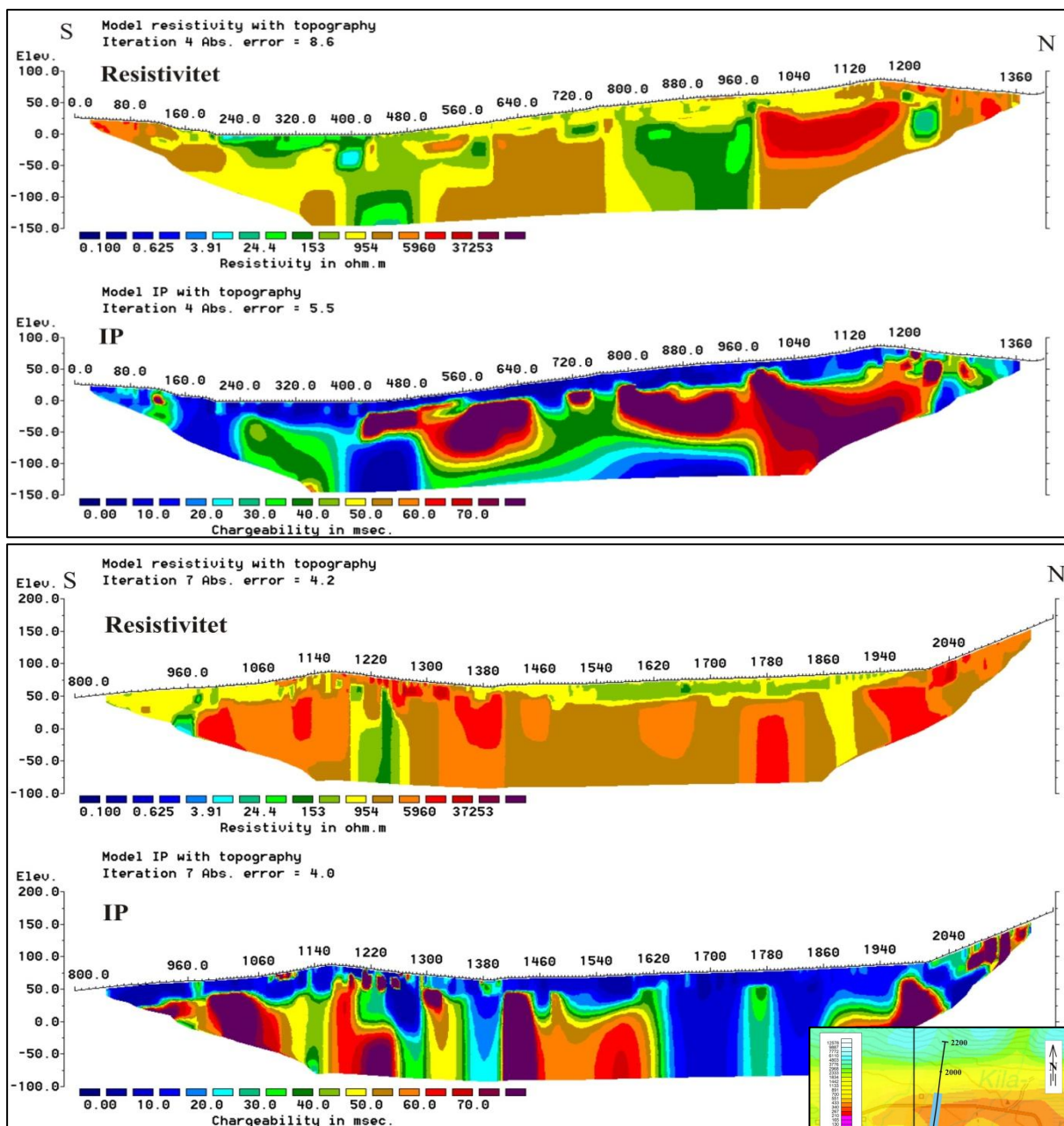
Som det fremgår av figurene 23 og 24 er det påvist flere soner med lav resistivitet langs profilet ved Kilaosen, og det er meget godt samsvar mellom de to målemetodene helikoptermålt EM og bakke resistivitet.

Bakkemålingene (Figur 23) viser et resistivitetsnivå på fra 30 til 150 Ω m lengst sør mellom ca. koordinatene 200 og 450. Dette tolkes til å være saltvannsintregning i løsmasser eller utvasket marin leire (Solberg et al. 2010). Under dette ligger resistiviteten på fra 150 til 950 Ω m. Dette kan være oppsprukket fjell.

Videre mot nord, mellom ca. koordinatene 800 og 1000 ligger resistiviteten på fra 500 til 950 Ω m både i overflaten og mot dypet. Sistnevnte indikerer oppsprukket fjell, mens det dagnært ser ut til å være et lag med løsmasser med tykkelse fra ca 20 til 40 meter. Dette løsmasselaget tynnes ut ved koordinat 1200.

Ved koordinatene 1240 og 1860 indikeres to nye svakhetssoner i fjell med betydelig bredde (henholdsvis ca. 80 m og 40 m) hvor resistiviteten er på fra 150 til 950 Ω m. Fra koordinat 1350 til koordinat 1980 indikeres et topplag med løsmasser hvor tykkelsen varierer fra 0 meter til opp mot 40 meter.

Markerte høye IP-anomalier stedvis i profilet kan være forårsaket av elektronisk ledende mineraler (sulfider, oksider eller grafitt), men grafitt av god kvalitet er svært lite sannsynlig på grunn av moderate resistivitetsverdier.



Figur 24: Resistivitet og Indusert polarisasjon langs profil ved Kilaosen målt med 10 m elektrodeavstand.

5. OPPFØLGENDE GEOFYSIKK, OPPLADET POTENSIAL OG SELV-POTENSIAL VED NORD-VÆRNES

For å få en bedre forståelse av hvordan grafitten ved Nord-Værnes opptrer i dypet, ble det gjennomført CP- og SP-målinger (Oppladet Potential eller "Charged Potential" og Selv-Potensial).

5.1 Målemetoder

Måling av CP foregår ved en strømelektrode kobles direkte i en elektrisk ledende forekomst mens den andre strømelektroden plasseres så langt borte fra undersøkelsesområdet at effekten av denne ikke synes i det aktuelle måleområdet (Reynolds 2012). Spenningen mellom to ikke-polariserbare potensialelektroder måles langs linjer over forekomsten, og hvis denne har en meget god elektrisk ledningsevne, vil en ikke få potensialfall over selve forekomsten. Med en gang strømmen går ut i sideberg oppstår større eller mindre potensialfall avhengig av forekomstens størrelse og resistiviteten i sideberget. En mer utførlig beskrivelse finnes på:

<http://intra/upload/Norges%20geologi/Geofysikk/Bakkegeofysikk/Elektriske%20metoder/CP-metodebeskrivelse.pdf>

Selvpotensial (SP) er en passiv metode som måler et naturlig potensial som finnes over elektronledende mineraliseringer i bakken (sulfider, oksider eller grafitt). Årsaken til dette potensialet er omdiskutert, men metoden har vist seg meget godt egnet for kartlegging av grafitt (Rønning 1993, Dalsegg 1994).

5.2 Utførelse

CP- og SP-målinger ved Nord-Værnes ble utført samtidig med utstyr som ble utviklet ved NGU høsten 2014. Dette består av en fast sender og en mobil mottaker. Strøm sendes i pulser på 2 sekunder mellom jordingen i forekomsten og fjernelektroden. Mottakeren, et voltmeter med høy inngangsmotstand, måler potensialet mellom to ikke polariserbare elektroder. Sender og mottaker synkroniseres av GPS-tid slik at mottakeren alltid vet når strøm sendes ut. Like før en strømpuls sendes, måles og lagres det naturlige potensialet i bakken (SP-signalet). Når strøm sendes, måles og lagres CP-signalet med fratrett av målt SP-signal. Siden det kun er potensialforskjeller som måles, er det viktig at alle målinger henger sammen og har et felles referansepunkt. Begge målesignalene summeres og vises på display samtidig med måling slik at operatøren kan vurdere anomalibildet mens det måles. Mottakerens GPS bestemmer posisjonen til hvert målepunkt med en nøyaktighet på +/- 3 meter. Bruk av GPS for posisjonering gjør tradisjonelle stikningsnett overflødig.

For å kompensere for eventuelle målefeil starter og avslutter alltid en serie målinger i punkter med kjent potensial. Ved å sammenligne det oppsummerte potensialet ved avslutning av en serie målinger med et tidligere målt potensial i samme punkt kan det utføres en justering langs hele den nylig målte serien basert på den oppsummerte potensialforskjellen. I denne undersøkelsen ble potensialforskjellen kompensert med lik vekt gjennom hele måleserien. Korrigering ble kun utført for CP, ikke for SP.

Det ble foretatt to sett målinger med jording i to forskjellige utgående grafitt-blotninger. Tabell 1 viser koordinater for de to jordingene, spenning ut fra senderen og utsendt strømstyrke. Flere stålelektroder i en myr ca. 1 km sør for grafittblotningene ble benyttet som fjern strømelektrode (WGS84 UTM Sone 33N 422810 Øst – 7394684 Nord).

Tabell 1: Koordinater (WGS 84 UTM Sone 33N), spenning ut og strømstyrke ved CP-målingene.

Jording	Øst-koordinat	Nord-koordinat	Spenning (V)	Strømstyrke (A)
1	422552	7395354	185	1,2
2	422623	7395297	188	1,5

Programmet Geosoft Oasis Montaj ble benyttet ved behandling av dataene. Ved produksjon av konturkart ble metoden "Minimum Curvature" brukt. Denne griddemetoden tilpasser en så jevn overflate som mulig til datapunktene. Det er en metode som er tilpasset dataserier med tilfeldig plasserte målepunkt og målepunkt langs vilkårlige linjer. Det ble også produsert profilinjer basert på utleste verdier i det produserte konturkart for CP, ikke direkte fra måleverdier.

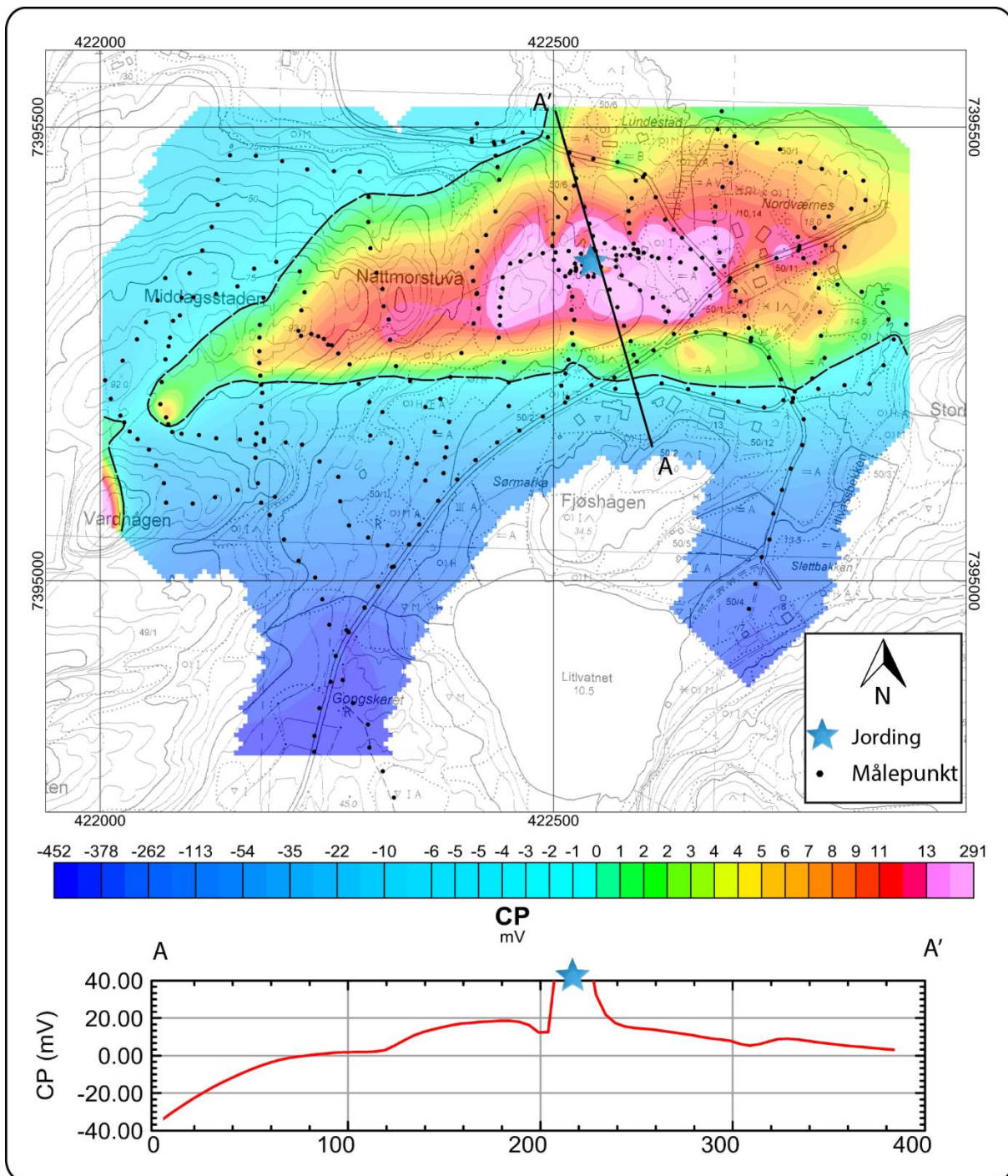
5.3 Resultater CP og SP

Ved jording 1 ble det målt til sammen 356 potensialforskjeller over et område på ca 0.5 km². Jordingen ble etablert i vest-enden av det største av de gamle bruddene hvor det har vært tatt ut grafitt tidligere. Figur 25 viser det resulterende konturkartet etter alle korreksjoner er utført.

Ved jording 2 ble det målt 145 potensialforskjeller over samme område som ved jording 1. Denne jordingen ble satt i utgående grafitt i et gammelt brudd ca. hundre meter sørøst for jording 1. **Feil! Fant ikke referanseilden.** 6 viser resulterende konturkart etter alle korreksjoner er utført.

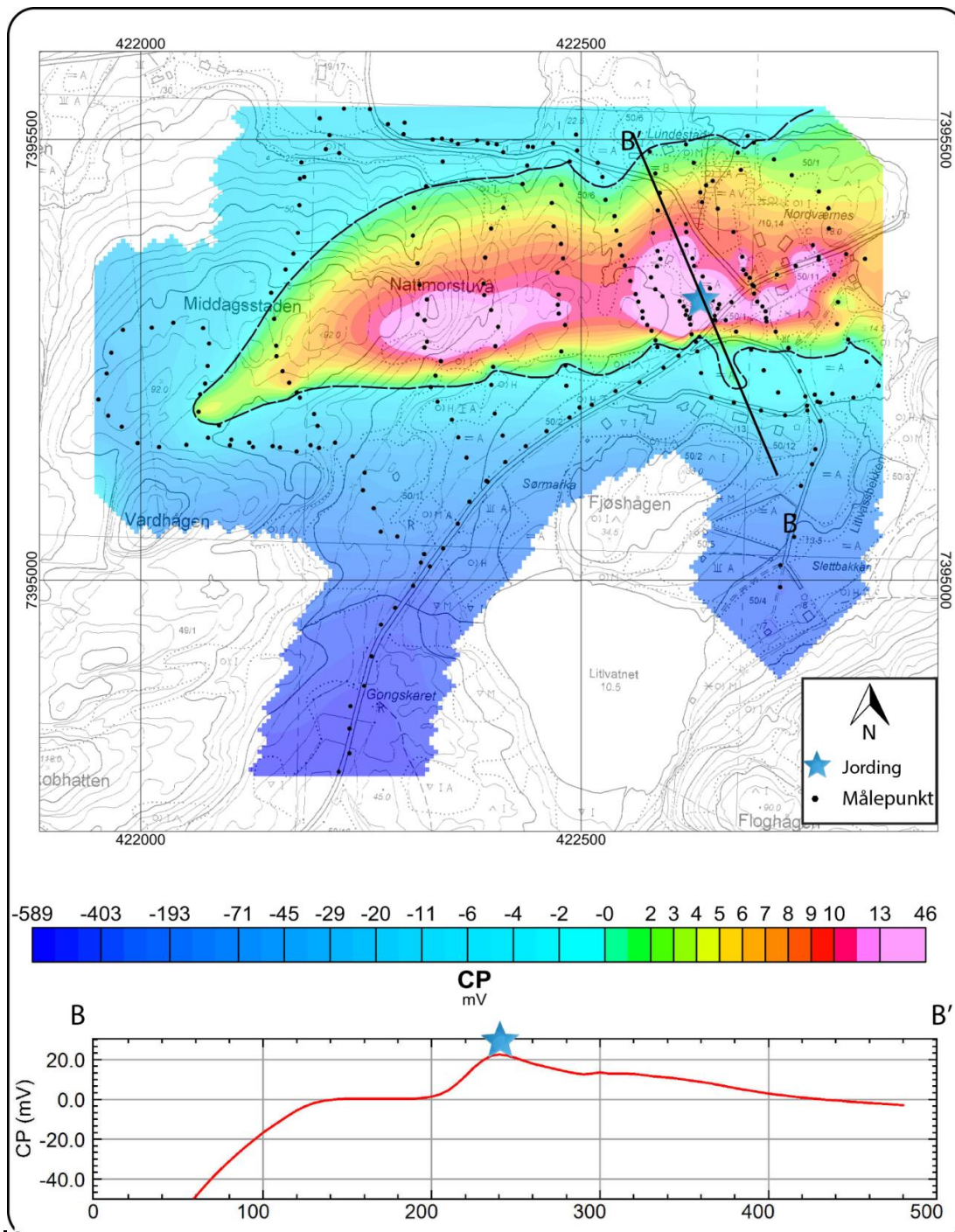
Konturkartet (Figur 25) viser at potensialet rundt jording 1 strekkes i retning øst-vest, noe som avslører mineraliseringens strøkretning. Umiddelbart rundt jordingen er det et potensialfall fra ca. 291 mV til ca. 13 mV. Dette viser at den elektriske ledningsevnen ved jordingen ikke er spesielt høy, noe som er et signal om moderat kvalitet på grafitten her. En utflating av potensialet rundt elektroden, i området med potensial over 13 mV (rosa farge), viser relativt god ledningsevne i en lengde på ca. 300 meter og i en bredde på ca. 100 meter på det meste. Mineraliseringens totale lengde langs strøket kan imidlertid tolkes til ca. 750 meter, fra like sør for Middagsstaden og østover mot sjøen ved Nord-Værnes. Det relativt lave oppladnings-potensialet (topp-potensialet) vi har her (ca. 13 mV) er et klart signal om at en stor andel av strømmen går rett ut i sjøen, og kan tyde på at grafitten fortsetter under sjøen.

Det er verdt å merke seg at den høye anomalien vest ved Vardhågen for jording 1 (Figur 25) er en falsk effekt av kontureringsprosessen da det ikke er data i området som tilsier det skal være høyere potensial her.



Figur 25: Konturkart av CP-målinger ved jording 1 og tilhørende profiltrasé AA'. Stiplet linje representerer potensial på 0 mV.

I hovedsak viser konturkartet for jording 2 det samme forløpet som for jording 1 (Figur 26). Dette viser at begge disse jordingene står i elektrisk kontakt med det samme materialet på dypet. Det er imidlertid visse mindre forskjeller, og dette er en indikasjon på at mineraliseringen ikke er så homogen. Jording 2 viser samme totale lengde av forekomsten, fra sør for Middagsstaden og østover mot sjøen ved Nord-Værnes. Lengde med potensial over 13 mV er imidlertid ca. 500 meter ved denne jordingen. Den maksimale bredden av mineraliseringen er også ca. 100 meter ved jording 2. Topp-potensialet like ved strømelektroden er betydelig lavere for jording 2, noe som viser bedre elektrisk ledningsevne her.

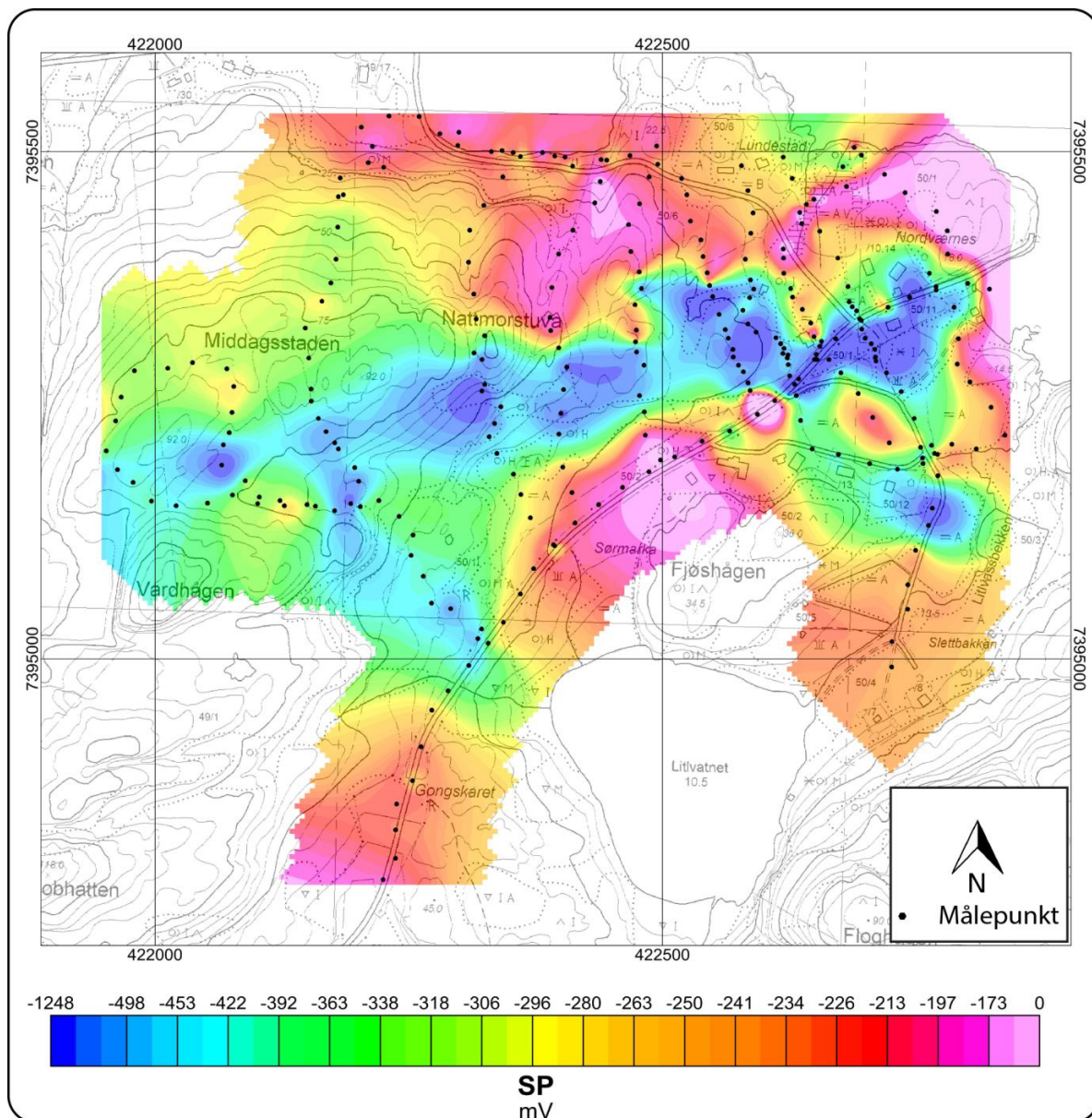


Figur 26: Konturkart av CP-målinger ved jording 2 og tilhørende profiltrasé BB'. Stiplet linje representerer potensial på 0 mV.

Profilene vist i figurene 25 og 26 viser potensialverdier som er trukket ut fra datagrunnlaget for konturkartene. Rett sør for mineraliseringen det er jordet i, flater potensialet ut ved ca. 0 mV. Dette er et klart signal om at det her finnes relativt godt ledende materiale i bakken, noe som stemmer godt med målt resistivitet (Figurene 18, 19 og 20). Denne utflatingen er mest markert på profilet vist i figur 26. En kan ikke ut fra måleverdier si noe om hva for materiale dette er, men grunneier kunne rapportere om at det tidligere hadde vært gravd i området og funnet grafitt.

I avsnitt 7 diskuteres alternative tolkinger av CP-resultatene. Resultatene kan også tolkes som to adskilte (tynne) soner som har elektrisk kontakt på dypet, i en eventuell ombøyning i vest eller kortslutning i sjøen mot øst.

CP-metoden her ved Nord-Værnes kan ikke si noe om hvor dypt mineraliseringen går da en ikke vet hvor mye strøm som lekker ut i sjøen. Metoden kan heller ikke si noe om grafittens kvalitet. For å avklare dette må det bores og prøvetas for analyse.



Figur 27: Konturkart av SP-resultatene.

Resultatene fra SP-målinger er vist som konturkart i Figur 27. Forenklet kan en si at blå farger er klare signaler på at det finnes elektronledende materiale i bakken. Disse blå områdene faller i hovedsak sammen med de områdene som ved CP-målingene kom ut med et oppladingspotensial over 13 mV. SP-data gir derfor ikke så mye informasjon ut over det CP har gitt, men resultatene fra disse to metodene bekrefter hverandre. Kraftig SP-anomali lengst sør for Nord-Værnes er in indikasjon på at kartlagt lav resistivitet i dette området skyldes elektronledende materiale, og trolig grafitt.

6. DETALJERT GEOLOGISK KARTLEGGING NORD-VÆRNES

I det følgende blir resultater fra geologisk kartlegging, mineralstudier og analyser beskrevet.

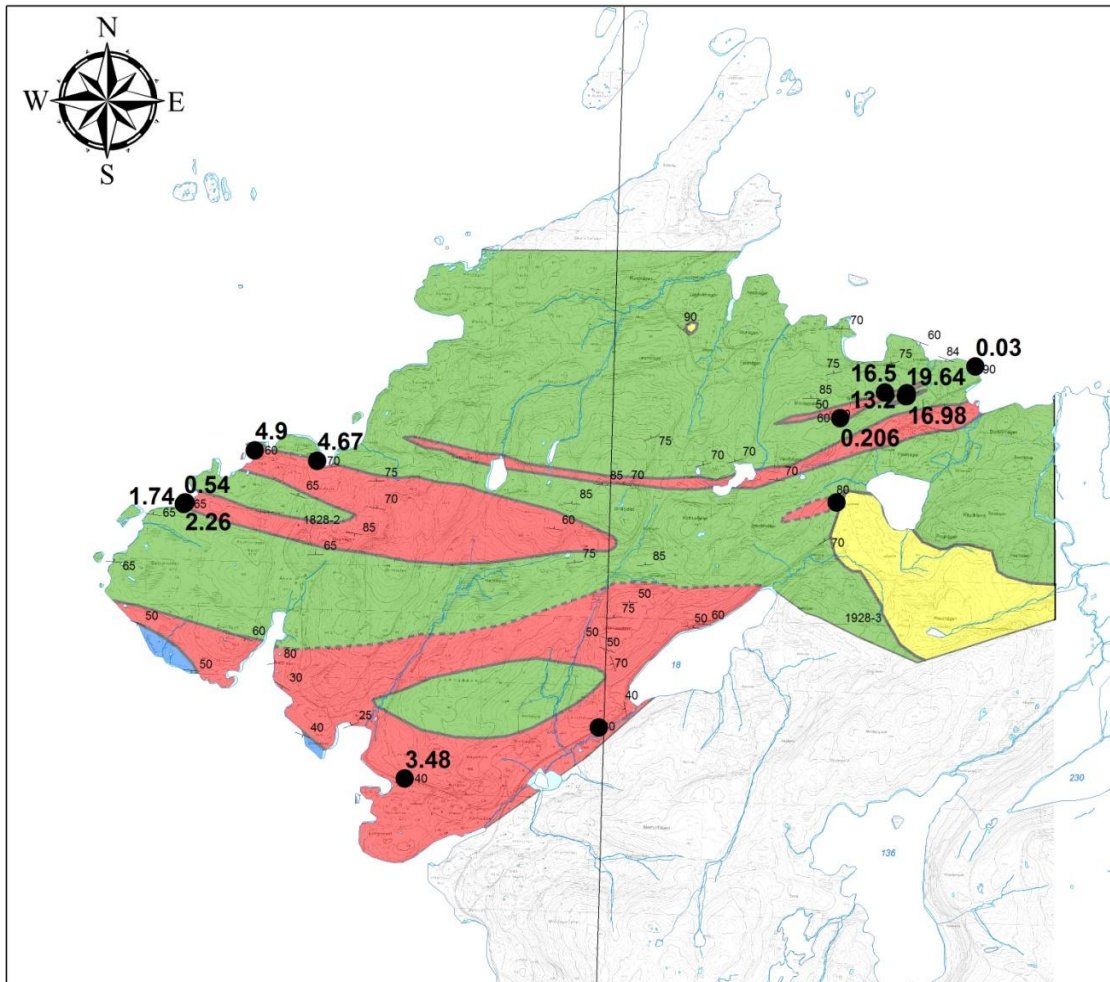
6.1 Geologisk kart

Et nytt geologisk kart over halvøya ved Nord-Værnes er vist i Figur 28. Den geologiske kartlegging ble utført i felt på papirkopier av økonomisk kartverk. Ved digitalisering viste det seg at det er en liten unøyaktighet på papirkartene ca. 30-40 meter i forhold til eksakte koordinater fra GPS. Studerer man kartet i detalj, vil noen prøvepunkter tilsynelatende være litt forskyvet på kartet, UTM koordinater er imidlertid rett.

Geologien i området kan oppsummeres som følger:

- A) Migmatittisk gneis med slirer og bånd av kvarts/felspat og amfibolrike partier, dette er hovedbergarten i området, stedvis vil denne kunne klassifiseres som en øyegneis.
- B) Granat og grafittførende glimmergneis (rød farge Figur 28). Denne bergarten opptrer som store tilsynelatende innfoldete partier in den omliggende migmatittiske gneisen. Bergarten kjennetegnes som skifrig og glimmerrik bergart, lokalt kan det være mye av mineralet granat. Den har en karakteristisk rustenbrun farge. Over ganske store områder inneholder denne bergartsenheten spredte korn av grafitt og på noen lokaliteter, avmerket på Figur 28, inneholder denne bergarten massive linser og bånd av grafittrike skifre. Bergarten er ganske sprø og forvitrer lett. Den danner således forsenkinger i terrenget som ofte er overdekket i form av myrområder eller jordbruksmark. I enkelte området er derfor utbredelsen av denne bergarten meget usikker. Dette gjelder spesielt der jordbruksland gjør bergartene 100 % overdekket, som er tilfelle like sør for Nord-Værnes brygge. Akkurat på dette sted kan de grafittførende bergarter ha en litt større utbredelse en det som er indikert på kartet. Uten informasjon i dybden blir det gjetting å anslå hvordan den grafittførende bergarten går nøyaktig i dette området. Opptreden av denne grafittførende bergarten stemmer godt overens med de godt elektrisk ledende partiene på EM-data målt fra helikopter (se vedlegg 2) og de områdene som er elektrisk ledene på bakkemålingene.
- C) Middelkornet amfibolitt, dette er en bergart som opptrer på den sørvestligste spissen av Nord-Værnes-halvøya og opptrer alltid sammen med glimmergneisen.
- D) Harzburgitt med megakrystaller av olivin og enstatitt. Denne bergartsenheten opptrer i den østlige delen av det kartlagte område og er en meget spesiell bergart som ligger som en relativt tynt ”skall” inne i gneisen. Det er flere slike kropper i området mellom Sjøvika og Vågåholmen. På Nord-Værnes kjennetegnes bergarten ved å inneholde opptil 1 meter lange plateformige kystaller av olivin, sammen med 10-talls cm store krystallrosetter av enstatitt. Bergarten har gjennomgått en komplisert dannelses-historie som det vil gå for langt å gå inn på her. Bakke & Korneliussen (1986) gir er detaljert beskrivelse av denne bergarten på Nord-Værnes. Den populærvitenskaplige boka *Landet ved Polarsirkelen* (Gjelle m.fl. 1995) har også en egen beskrivelse av denne bergarten på Nord-Værnes.

Geologisk kart over Nord-Værnes med opptreden av grafitt



0 0.25 0.5 1 1.5 2 Kilometers

Tegnforklaring

- Gehalt av grafitt (%)
- † lokaliteter med strøk/fall

Bergartsgrenser

OBJEKTTYPE, GEOLPAVISNINGSTYPE

- BergartGrense, 1-sikker
- - - - BergartGrense, 2-usikker
- Dataavgrensning, 10
- Kartbladkant, 10

Bergartsflater

TEGNFORKLARING

- Migmatisk gneis med slirer og bånd av kvarts/feltpat og amfibolrike partier
- Middels kornet amfibolitt
- Granat og grafittførende glimmergneis
- Harzburgitt med megakrystaller av olivin og enstatitt (Jack straw)

Figur 28: Geologi og grafitt-mineraliseringer ved Nord-Værnes kartlagt sommeren 2014. Tallene angir konsentrasjon av grafitt i prøver. Lokaliteter uten oppgitt gehalt har synlig grafitt men i meget små mengder.



Figur 29: Oversiktsbilde sett vestover med noen av de store grafittførende glimmergneis-partiene tegnet inn.

6.2 Detaljbeskrivelse av grafittførende bergarter

Den nedlagte grafittgruva ved Nord-Værnes har vært drevet på en opptil 3m bred steiltstående grafittskifer. Det har vært gravd ut en ca. 3 meter dyp grøft i ca. 60 meters lengde. Det er tydelig at det som ble tatt ut kun var grafittmalmen, da det er lite sidefjell som her ligger igjen i tippet. Ca. 80 meter rett sør for selve hovedgruva er det blottet en 2.5 meter bred rusten sone med grafittskifer som kan følges i strøketretning ca. 25 meter. På dette stedet har vært brutt ut grafittmalm i et lite røsk, ca. 1 meter dypt.



Figur 30: Rusten grafittskifer på vestsiden av Nord-Værnes-halvøya. På dette sted inneholder bergarten 4.9 % grafitt.

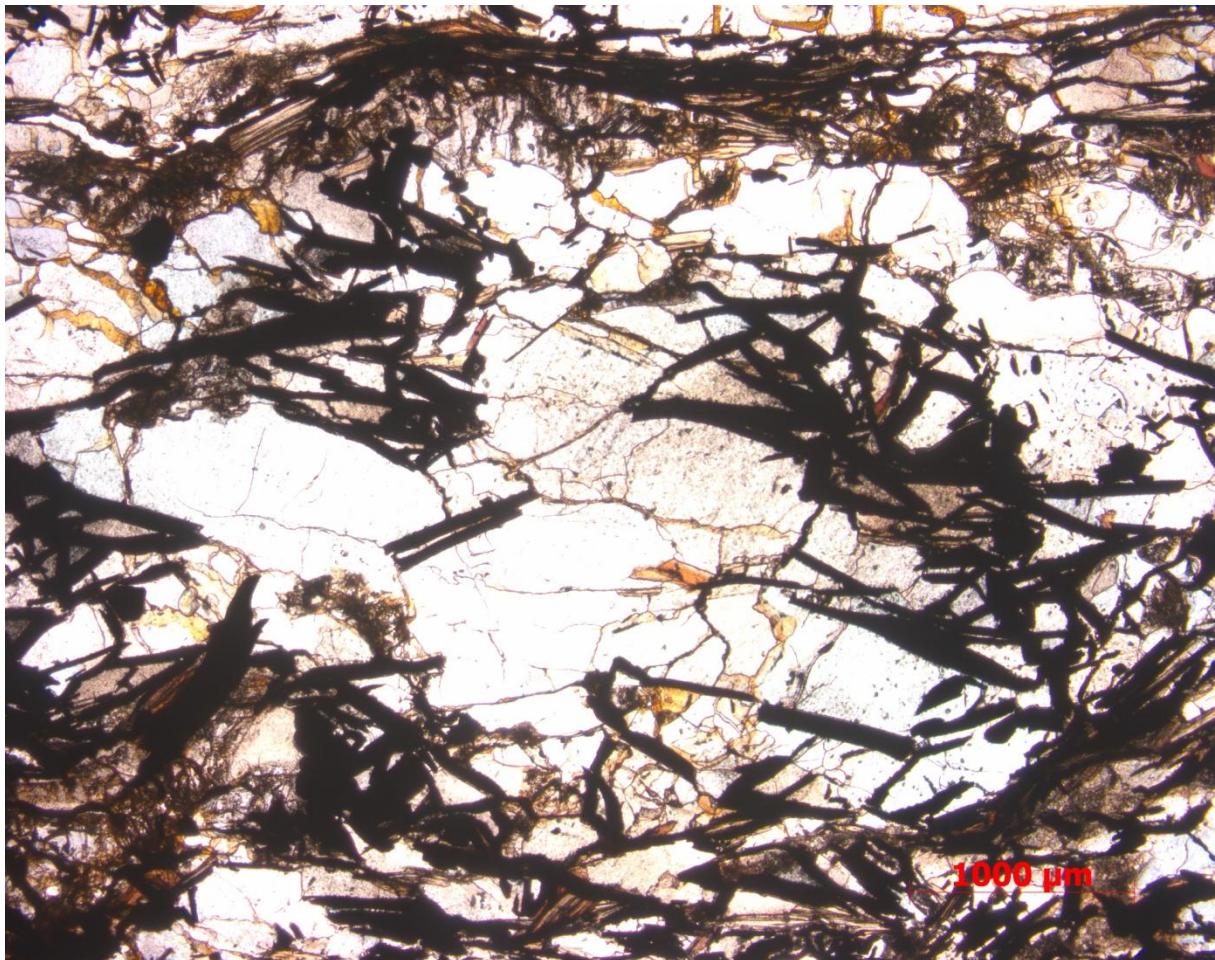
De beste stedene for å studere oppkomsten av de grafittførende bergarter er langs kystblotninger på vestsiden av Nord-Værnes halvøya. På flere blotninger i dette området er det klart at de

mest grafittrike partiene opptrer som linser og lag i distinkte partier av glimmergneisen. Som regel dreier det seg om soner med opptil 1.5-2.0 meters tykkelse (Figur 30).

Den grafittførende glimmergneisen som opptrer tvers over hele Nord-Værnes halvøya, er nok grafittførende flere steder enn det som er avmerket i figur 28, men overdekning gjør at det ikke er lett å finne disse stedene. Det er imidlertid ingenting som tilsier at det skal være større lokaliteter andre steder på halvøya jfr. de geofysiske data i vedlegg 2.

6.3 Tynnslipbeskrivelse av grafittmalm

I mikroskop består grafittskiferen av hovedmineralene kvarts, plagioklas, biotitt, muskovitt og grafitt. Grafittkrystallene opptrer som millimeter store avlange plateformige krystaller, som ligger langs korn grensene til de andre mineralene (Figur 31). Grafitten er således en god og grovkrystallinsk type. Dersom gehalter, tonnasjer, drifts- og markedsforhold i framtiden samlet sett blir vurdert slik at det er grunnlag for økonomisk drift, er det ingen ting som tilsier at ikke malmen i seg selv kan oppredes til et salgbart produkt.



Figur 31. Mikroskopbilde av grafittmalm fra gruva på Nord-Værnes. Alle svarte områder er grafitt. På dette bilde er det 21.3 volumprosent grafitt.

6.4 Karbonanalyser av grafitteholdige prøver

Grafitførende bergarter der de ble funnet og vurdert til å kunne ha interessante gehalter, ble analysert hos ALS-Minerals lab. i Piteå. Prøvene ble analysert med standard LECO karbonanalysator. Resultatene er vist i Tabell 2 og viser som følger: Gjennomsnittlig grafitgehalt er 7,01 % med et standardavvik på 7,37 % , maksimum og minimum er henholdsvis 19,64 % og 0,03 %. Medianverdien er 4,08 %.

Sammenligner vi disse analysene med det som er i drift for eksempel på Skaland er dette relativt lave gehalter. Skaland grafit driver på en malm som i gjennomsnitt holder 31% grafit. Gehalter av grafit mellom 4-8 % er imidlertid sammenlignbart med forekomster i Canada, Australia og Mosambik, som fortiden undersøkes med hensyn til framtidig drift. Man kan imidlertid allerede nå si at for å gjøre Nord-Værnes grafitforekomst virkelig interessant, er man avhengig av å finne partier med malm som har høyere gehalt en det man har funnet frem til nå.

Tabell 2: Karbonanalyser (LECO) fra grafitførende bergarter på Nord-Værnes.

Pøvenr.	Prøvetatt år	XUTM	YUTM	Karbon (%)
HG27-12	2012	422543	7395346	19.64
HG28-12	2012	422549	7395346	16.98
JW12-09	2012	422548	7395358	13.20
HG50-14	2014	422853	7395476	0.03
HG51-14	2014	422252	7395248	0.206
HG52-14	2014	422452	7395362	16.5
HG53-14	2014	419930	7395061	4.67
HG57-14	2014	420319	7393662	3.48
HG59-14	2014	419338	7394871	0.54
HG60-14	2014	419345	7394878	1.74
HG61-14	2014	419343	7394878	2.26
HG62-14	2014	419653	7395107	4.9
Middel				7.01
Standardavvik				7.37
Max				19.64
Min				0.03
Median				4.08

7. DISKUSJON

I dette avsnittet diskuteres metodiske svakheter, samtolkning av geofysikken med hovedvekt på resultatene ved Nord-Værnes, størrelse og kvalitet på grafittforekomstene og videre undersøkelser.

7.1 Metodiske svakheter

Elektromagnetiske målinger.

Vi har tidligere diskutert svakheter ved inversjon av Elektromagnetiske data målt fra helikopter. Tilgjengelige inversjonsprogrammer utfører 1D inversjon. Dette betyr at en antar at bakken består av horisontale lag med uendelig utstrekning. Hvert enkelt målepunkt tilpasses en 1D modell, og segment av disse modellene for hvert målepunkt bygger opp et 2D resistivitetsprofil. Som tidligere nevnt, kan dette gi kunstige effekter. Vertikale ledere kan få form av en hyperbel, og horisontale lag får en nedbøyning på endene. Disse kunstige effektene må vurderes under tolkingen av de inverterte EM-profilene.

Hvor dypt de anvendte ElektroMagnetiske bølgene trenger ned i bakken er avhengig av den elektriske ledningsevnen på stedet og frekvensen. I sidebergarter med en resistivitet på 5000 Ωm vil bølgene med frekvens rundt 6600 Hz (midlere frekvens) trenge ned ca. 150 m. I godt ledende grafitt med resistivitet 5 Ωm er tilsvarende nedregningsdyp ca. 10 meter. Dette betyr i praksis at en grafittforekomst kan detekteres ned til et dyp på ca. 150 meter med anvendte måleutstyr, men en kan ikke se gjennom forekomsten for å se hva som måtte finne seg under. Ved Nord-Værnes betyr dette at metoden ikke kan si hvor tykk grafitten er, og heller ikke om det ligger interessante mineraliseringer under den første horisonten.

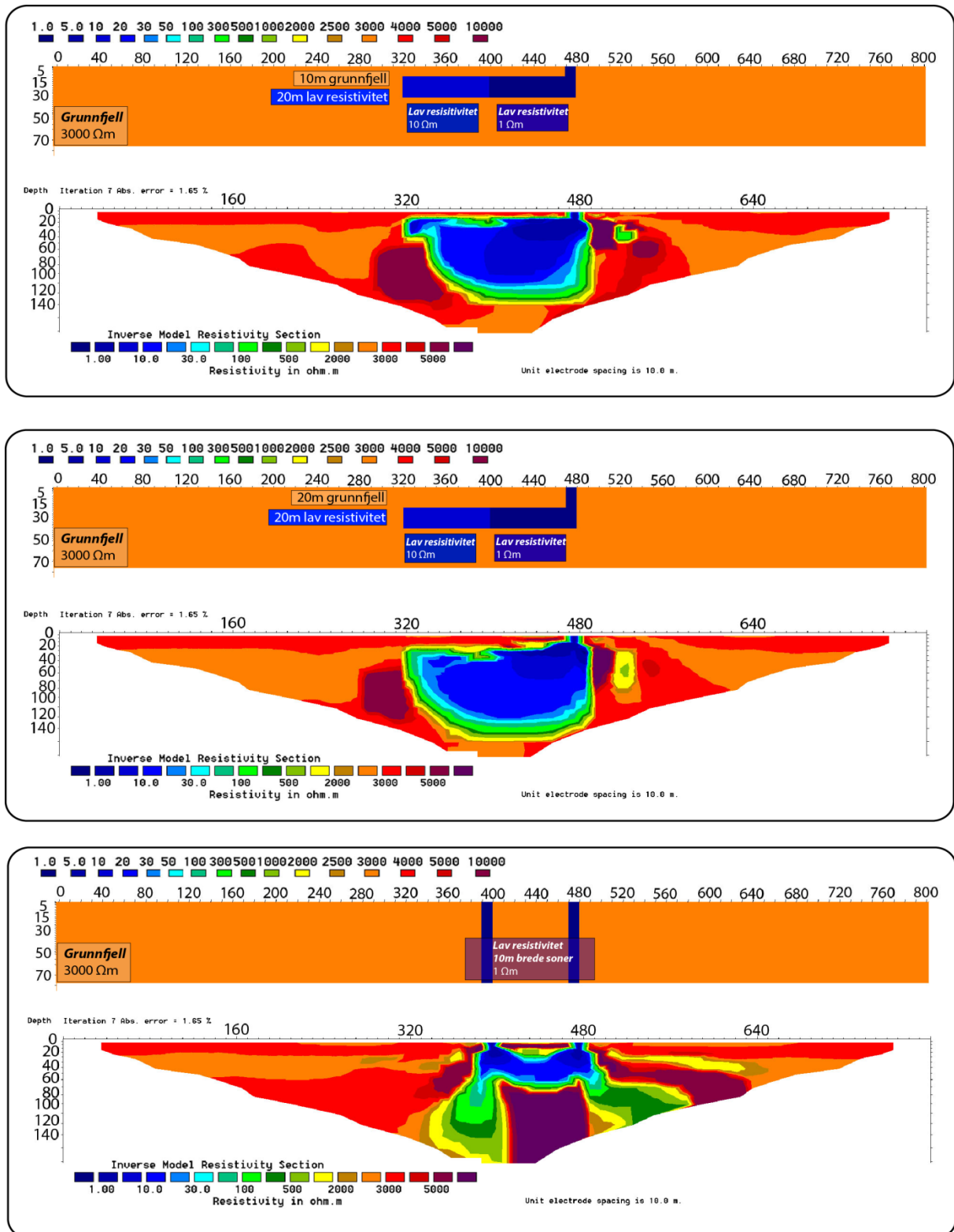
Elektromagnetiske målinger fra helikopter foretas 30 til 50 meter over bakken. Det er ikke mulig å se i detalj hvor de induserte sekundære strømmene kommer fra, og soner med flere parallelle mineraliseringer kan bli avbildet som en sammenhengende struktur. Også mineraliseringer til side for det målte profilet kan gi responser som blir avbildet på profilet. Manglende oppløsning er årsaken til at NGU har anvendt andre geofysiske metoder for mer detaljert kartlegging.

Resistivitetsmålinger

Resistivitetsmålinger som foretas med elektroder koblet direkte i bakken har mulighet til å løse opp flere detaljer i en aktuell mineralisering. Denne oppløsningen er selvsagt avhengig av elektrodeavstanden. For å kunne dekke større områder med et akseptabelt tidsforbruk og samtidig kunne se relativt dypt, ble det ved de rapporterte undersøkelsene benyttet elektrodeavstand på 10 meter. Langs profil 2 ved Nord-Værnes ser en klart at de mineraliseringene som indikeres på EM-målingene fra helikopter er delt i minst to kropper. Dette bekreftes ved CP-målingene. Langs de andre resistivitetsprofilene er dette ikke så klart, selv om CP også her sier klart at det er snakk om to adskilte kropper.

Resistivitetsmålingene langs profil 1 ved Nord-Værnes indikerer at det godt ledende materialet strekker seg mot dypet så langt metoden kan se. Langs de to andre profilene har det ledende materialet begrenset dybderekkevidde. NGU har erfart i andre sammenhenger at meget godt ledende materiale kan gi en skjermingseffekt ved at tynne ledende horisonter strekker seg dypere i det inverterte bildet enn de faktiske forhold (Tassis et al. 2013). For å vurdere tilsvarende effekt ved resistivitetsmålingene ved grafitten på Nord-Værnes, er det foretatt modellberegninger. Ved disse modelleringene defineres en modell en ønsker å teste. Fra denne modellen beregnes syntetiske data tilsvarende det som måles ved feltmålingene

som deretter blir invertert. Metodiske svakheter og begrensninger kan da avdekkes. Eksempel på en slik modellering er vist i figur 32.



Figur 32: Evaluering av kunstige effekter ved bruk av resistivitet på godt ledende grafittforekomster.

Modelleringen i figur 32 simulerer et lag med grafitt som er 20 m tykt som ligger under 10 meter sideberg (øverst) og 20 meter sideberg (i midten). Nederst vises en modell der grafitten opptrer i to vertikale strukturer. Resistiviteten i grafitten er satt til 10 Ωm (til venstre) og 1 Ωm (til høyre), mens resistiviteten i sideberget er på 3000 Ωm.

Responserne vi får fra alle disse tre modellene ligner på det resistivitetsbildet målingene har gitt. En ser imidlertid at det ikke er mulig å angi hvor tykk en mineralisert plate er. Begge de to øverste modellene i Figur 32 viser en overdrevet tykkelse av mineraliseringen. Nederste modell i Figur 32 viser at også to vertikale strukturer også kan gi kunstige effekter ved målinger i felt. To vertikale plater, her med tykkelse 10 meter og resistivitet lik $1 \Omega\text{m}$, viser også en sammenhengende lav resistivitet under ca. 20 meter med høy resistivitet (sideberg). Modelleringer viser imidlertid høyere resistivitet enn ved feltmålingene, og anomaliene stikker ikke så dypt. Dersom denne modellen er riktig, vil den totale mengde grafitt ved Nord-Værnes trolig være betydelig mindre enn anslaget på opp mot 1 mill. tonn.

Oppladet potensial (Charged Potential, CP)

Ved de såkalte CP-målingen kan en få informasjon om ledende kroppes strøkretning, lengde langs strøket, fallretning, lengde langs fallet og da også areal av en plateformet mineralisering. Ledende kropp i nærheten til en mineralisering det er jordet i kan også avdekkes. Metoden kan ikke si noe om tykkelsen av en plate, og heller ikke noe sikkert om kvaliteten av mineraliseringen, i dette tilfellet grafitten. En kan heller ikke si noe om interne strukturer i en mineralisering, men kun gi et bilde av det som er i elektrisk kontakt.

Et kompliserende forhold på Nord-Værnes er avstanden til sjøen. Mot nord er denne kort, noe som påvirker potensialforløpet rundt forekomsten av grafitt. CP-bildet indikerte at mineraliseringen strekker seg utover og under sjøene, og det er åpenbart strømløst ut i det godt ledende saltvannet. Denne kan ikke kvantifiseres, og det er derfor ikke mulig å si noe mer eksakt om mineraliseringens utstrekning mot dypet.

Ved isoklinal folding (tett folding) vil det ikke gå strøm inne i folden, og to flanker av en fold blir antydning som en bred mineralisering. Dette kan være tilfellet ved Nord-Værnes. De to vertikale strukturer som det er jordet, i kan henge sammen i en mulig tett foldning i vest, på dypet eller som en kortslutning av sjøen i øst. Dette betyr at angivelsen av en mektighet på 100 meter kan representere avstanden mellom to soner, og det betyr at området er langt mindre interessant enn det positive anslaget med opp mot 1 mill. tonn grafittmalm.

7.2 Samtolkning av geofysikk Nord-Værnes

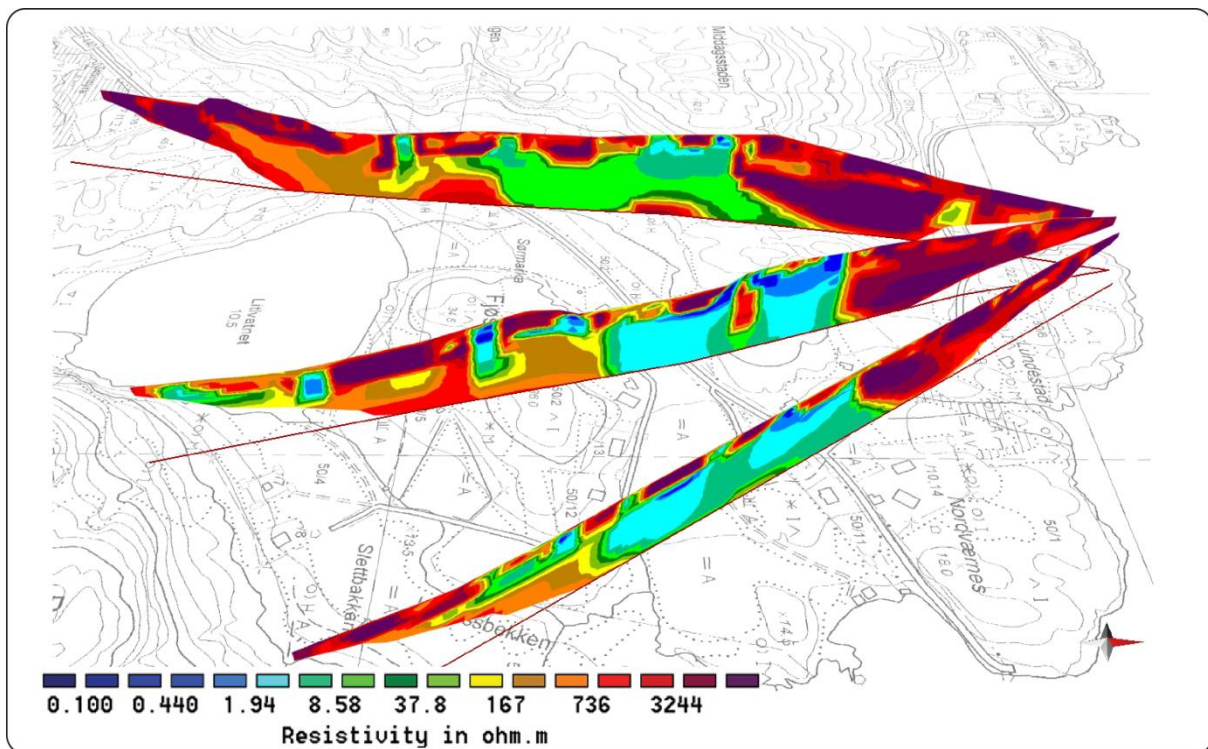
I figurene 33 til 36 er resultater fra 2D resistivitetmålinger plottet sammen med topografisk kart, tilsynelatende resistivitet fra 6600 Hz, CP-bildet for jording 2 og SP-data i et forsøk på å få til en 3D samtolkning av resultatene. Disse figurene viser hvor den lave resistiviteten ligger i forhold til terreng og de andre målemetodene.

De tre resistivitetsprofilene plottet med topografisk bakgrunn (Figur 33) viser de samme hovedtrekkene, men avviker i detaljer. Lengst i nord (til høyre) er resistiviteten meget høy slik en forventer i en migmatisk gneis (se Figur 28). Kontakten mot godt ledende materiale er meget skarp, fallet er relativt steilt mot nord. Videre mot sør følger en ca. 200 meter bred sone med til dels meget lav resistivitet (god elektrisk ledningsevne). Denne synes todelt, spesielt langs profil 1 men også ved profil 2. Den nordligste delen er ca. 100 meter bred, og kjennetegnes av at det ledende materialet synes å ha utgående ved hver ende med et parti med lav resistivitet dagnært mellom. På to plasser i de utgående sonene er det påvist grafitt og det er nærliggende å tro at det ledende materialet mellom også er grafitt. Fallet på mineraliseringene er kartlagt som steilt mot nord (Figur 28), mens resistivitsdata (og EM-data

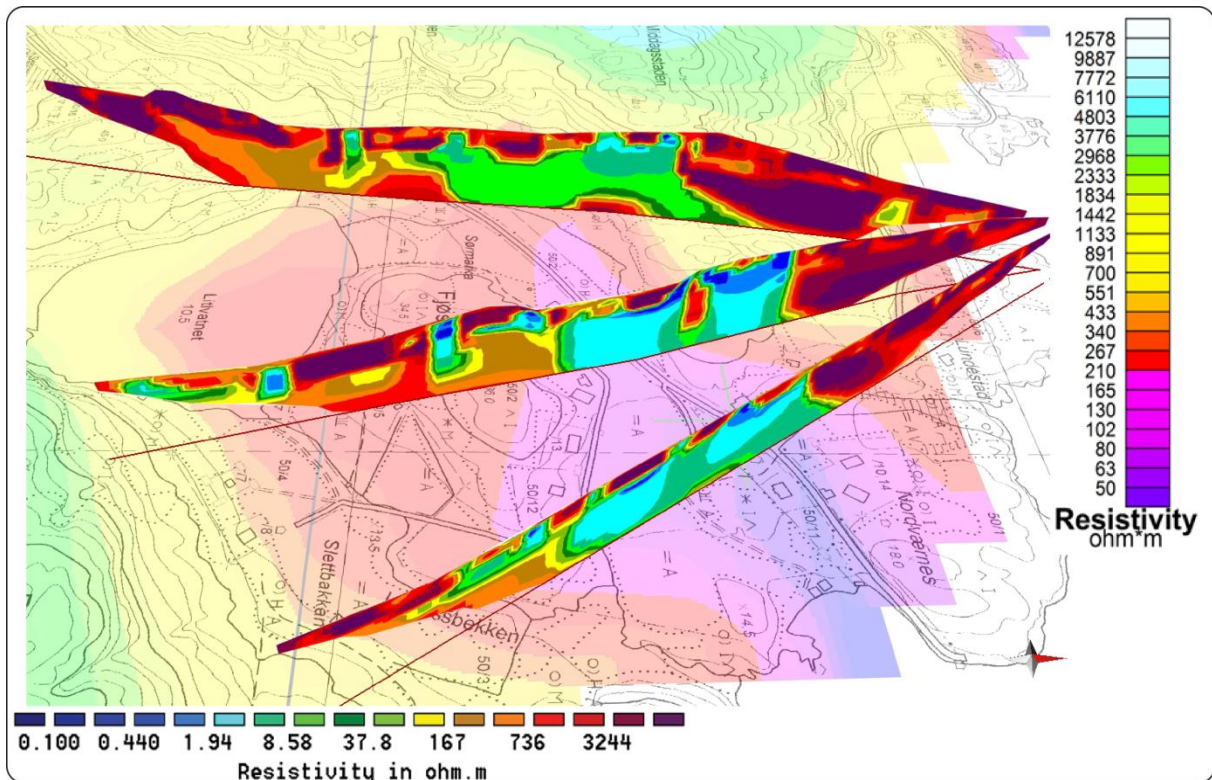
fra helikoptermålingene) viser en horisontal struktur. Dette kan indikere en folding, men dette er ikke lett å forstå strukturgeologisk. Som vist i figur 32 kan dette anomaliforløpet også skyldes en kunstig effekt av to meget godt ledende vertikale strukturer, men det stemmer ikke med CP-resultatene.

Den andre delen av den godt ledende strukturen ligger rett sør for den første, og bredden er også her ca. 100 meter. Denne ledende strukturen er kartlagt som granat og grafittførende glimmergneis (Figur 28). Resistiviteten langs denne sonen er også relativt lav, og det kan være grafitt av bra kvalitet her. Videre sør for disse to brede ledende strukturene opptrer en ny sone men en bredde som kan være opp mot 20 meter. Sonen sees på alle de tre resistivetsprofilene og ligger rett sør for Litjvannet (ved Fjøshagen). Det er uklart om denne sonen representerer grafitt, da den ikke kommer frem på den geologiske kartleggingen (Figur 28).

Resistiviteten på de to største ledende sonene langs profil 2 er betydelig lavere enn ved profilene 1 og 3 (mellom 10 og 20 Ωm). Dette er et signal om at mineraliseringene enten tynner ut eller at konsentrasjonen av grafitt er mindre. Denne tolkingen bekreftes av EM-data fra helikopter og CP-resultatene (se også Figur 34 og 35).

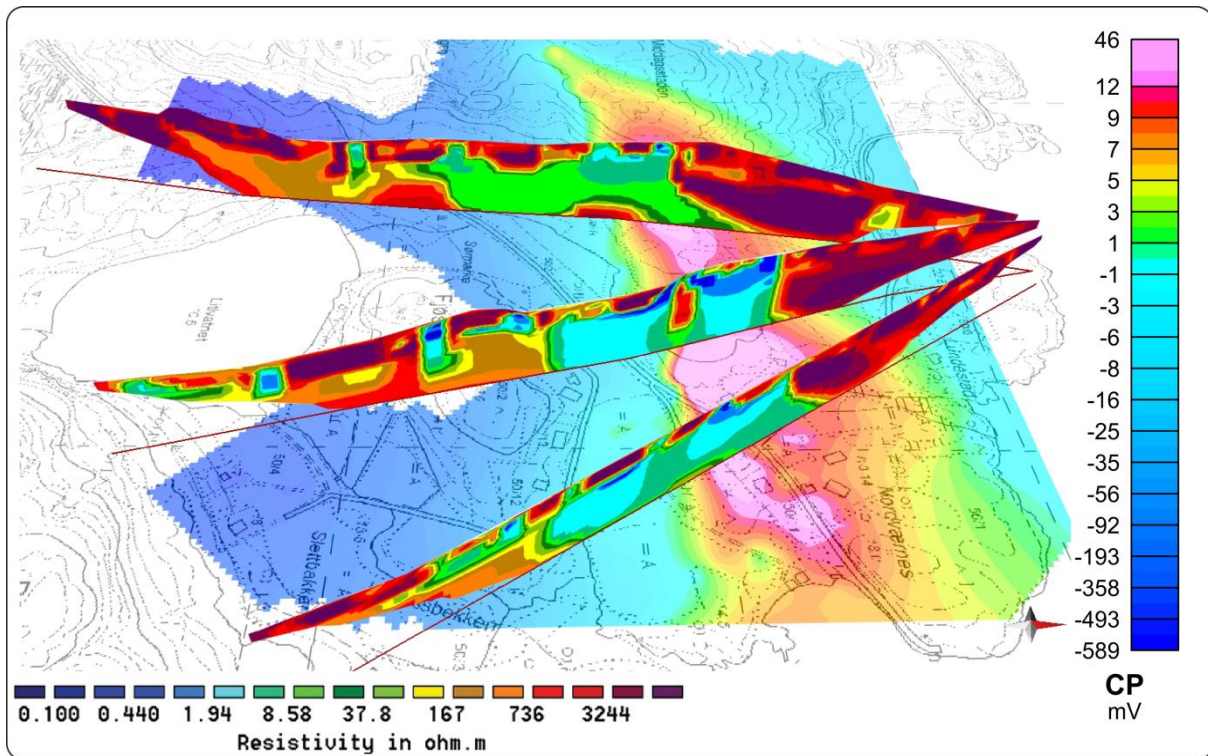


Figur 33: 3D-fremstilling av topografisk kart og 2D resistivetsprofil, fra topp til bunn, 2, 1 og 3. Nord mot høyre.



Figur 34: 3D-fremstilling av tilsynelatende resistivitet for 6600 Hz og 2D resistivitetsprofil, fra topp til bunn, 2, 1 og 3. Nord mot høyre.

Figur 34 viser i prinsippet godt samsvar mellom resistivitet målt med 6600 Hz ko-planare spoler fra helikopter og resistivitet målt på bakken, men viser samtidig manglende oppløsning ved helikoptermålinger. På sistnevnte kommer strukturene med lav resistivitet frem som et sammenhengende bilde riktignok med nyanser i resistiviteten. Sonene med lavest resistivitet ved bakkemålinger faller sammen med tilsynelatende resistivitet ned mot 50 Ωm . I sør hvor bakkemålingene viser høyere resistivitet og ikke sammenhengende soner er den tilsynelatende resistiviteten høyere (200 – 400 Ωm). Vest for resistivitetsprofil 2 avtar den tilsynelatende resistiviteten, noe som viser at mineraliseringene ved Nord-Værnes dør ut, hvilket stemmer godt med resultatene fra de andre metodene.

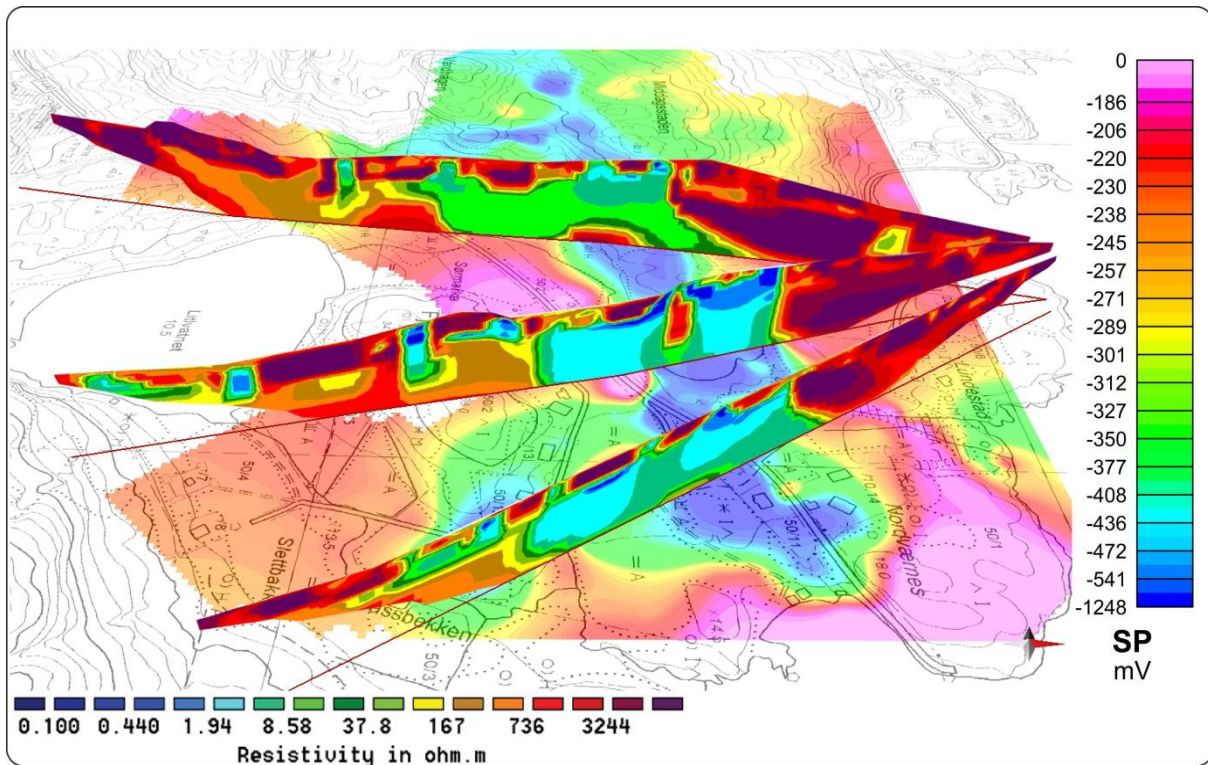


Figur 35: 3D-fremstilling av CP fra jordning 2 og 2D resistivetsprofil, fra topp til bunn, 2, 1 og 3. Nord mot høyre.

Presentasjonen av resistivetsdata med CP-bildet fra jordning 2 i bakgrunnen (Figur 35) viser godt samsvar mellom disse to metodene. CP-målingene bekrefter bredden på den nordligste ca. 100 meter brede grafittmineraliseringen. Området med lav resistivitet faller her sammen med området med nær konstant potensial (rosa farge, CP-verdi større enn 12 mV) og indikerer sammenhengene mineralisering. Dette taler imot modell nederst i figur 32 som en mulig modell for grafittforekomsten ved Nord-Værnes. Det kan imidlertid tenkes at to vertikale strukturer likevel er rette modell da en omfolding i en av endene, eventuelt en kortslutning mellom to strukturer i sjøvannet, kan gi en tilsynelatende sammenhengende mineralisering ved målingene.

Metoden bekrefter også at den ca. 100 meter brede sonen resistiviteten viser lengre sør, er elektrisk isolert fra den nordlige sonen hvor vi har grafittblotninger.

Plott av resistivitet og SP-data (Figur 36) viser sammenfall mellom lav resistivitet og høy SP-anomali (negativ SP-verdier, blå farge) for den nordlige ca. 100 meter brede sonen hvor vi har grafittblotninger. SP-anomaliene er ikke konstante, noe som kan skyldes inhomogene resistivetsforhold og indirekte kvalitet på grafitten. Den brede sonen sør for denne viser ikke tilsvarende SP-anomali, og dette kan være en indikasjon på at kvaliteten ikke er fullt så god. Den ca. 20 meter brede sonen lengst mot sør (rett nord for Litjvatnet) viser relativt kraftig SP-anomali ved resistivetsprofil 3. Denne sone kan derfor også bestå av grafitt, men det er et dårlig signal at denne sone ikke gir SP-anomali ved resistivetsprofilene 1 og 2.



Figur 36: 3D-fremstilling av SP og 2D resistivitetsprofil, fra topp til bunn, profilene 2, 1 og 3. Nord mot høyre.

7.3 Grafitt, kvalitet og mengde

Som allerede diskutert, undersøkelsen rundt Holandsfjorden har ikke gitt klare signaler om større grafittmineraliseringer utenom de to tidligere kjente forekomstene, Rendalsvik og Nord-Værnes.

Rendalsvik.

Forekomsten ved Rendalsvik er drevet på tidligere (1931 – 1945), og det er utført boringer på nedre deler av forekomsten (Skofteland og Vestereng 1984). EM-målingene fra helikopter indikerer at den best ledende delen av mineraliseringen ligger mellom selve gruva og boringene fra 1984. Det kan derfor finnes betydelig mengder grafitt i dette området. Det eksisterer ingen dokumentasjon av kvaliteten på grafitten fra driftsperioden. Analyser på kjerneprøver fra boringene i 1984 viser moderate 9 % grafitt i gjennomsnitt. Dette er ikke imponerende.

Det er tidligere hevdet at uran følger grafitten fra Rendalsvik. Analyser viste opp mot 145 ppm (g/tonn) uran (Neumann 1952), men det er senere antydnet at dette er sterkt overdrevet. Analyse av prøver fra senere boring (Skofteland og Vestereng 1984) viste et uraninnhold på 36 ppm. Helikoptermålingene fra området viser at det generelt er noe uran og thorium i berggrunnen rundt Rendalsvik gruve (se vedlegg 2.6 og 2.7). Det høyeste nivået ligger på ca. 3 ppm uran og ca. 10 ppm thorium, men lokalt kan verdiene vær betydelig høyere enn dette.

Grafittforekomsten ved Rendalsvik ligger et stykke fra sjøen, og dette kombinert med relativt lavt grafittinnhold og mulig uheldig uraninnhold gjør denne forekomsten mindre interessant. Kvalitet og mengde bør imidlertid avklares mer i detalj ved dyp geofysikk og boring. Dette gjelder spesielt i området mellom den gamle gruva og området som ble boret opp i 1984.

Nord-Værnes.

De undersøkelser som her rapporteres, indikere at det kan være moderate mengder grafitt i fjellet ved Nord-Værnes. Arealet av den kroppen som er blottet og drevet på KAN være opp mot 40.000 m². Sør for denne KAN det ligge en annen kropp som er elektrisk isolert fra den første, men som også kan strekke seg over ca. 20.000 m². De undersøkelser som er utført kan ikke si noe sikkert om tykkelsen på disse mineraliseringene, men ved å anta 5 meter betyr det totalt opp mot 1 mill. tonn grafitt. Dette regnes som et minimum for drift dersom gehaltene er omtrent 20 %. Til sammenligning så har Trælen grafittforekomst, som er i drift på Senja (Skaland grafitt as), en tonnasje på 1.8 mill tonn. I denne diskusjonen MÅ en også ta i betraktning at grafitten ved Nord-Værnes kan være to vertikale strukturer som gir kunstige effekter både på resistivitets- og CP-målingene. Dette betyr at den totale mengde grafitt kan være betydelig mindre enn 1 mill. tonn.

Grafitten ved Nord-Værnes opptrer som avlange millimeterstore plateformede krystaller (flakgrafitt). Grafittinnholdet i bergarten er ut fra foreliggende analyser varierende fra noen få prosent grafitt i prøven til opp mot 20 %. Skaland grafitt driver på en malm som i gjennomsnitt holder 31 % grafitt. Gehalter av grafitt mellom 4-8 % er imidlertid sammenlignbart med forekomster i Canada, Australia og Mosambik, som fortiden undersøkes med hensyn til framtidig drift. Man kan imidlertid allerede nå si at for å gjøre Nord-Værnes grafittforekomst virkelig interessant, er man avhengig av å finne partier med malm som har høyere gehalt en det man har funnet frem til nå. Det bør derfor bores for å avklare både grafittens mektighet og kvalitet ved Nord-Værnes. Målinger fra helikopter viser et det er klart mindre uran og thorium i bergartene ved Nord-Værnes, og eventuelle miljøproblemer synes mindre enn ved Rendalsvik.

Den geologiske kartleggingen har avdekket nye grafittmineraliseringer sør og vest for Nord-Værnes (Figur 28). Analyser av prøver fra disse lokalitetene viser moderate innhold av grafitt (Figur 28 og tabell 2). EM målinger fra helikopter viser at de største områdene med godt ledende materiale ligger ved Nord-Værnes, og en kan ut fra dette konkludere at det ikke er store kropper av god grafitt i området sør og vest for Nord-Værnes.

7.4 Videre undersøkelser

Kvaliteten på den påviste flakgrafitten ved **Nord-Værnes** er middels god med analyseverdier opp mot 16 til 20 % grafitt i begrensede partier i bergarten. De geofysiske undersøkelser antyder at mengden kan ligge opp mot 1 mill. tonn men dette anslaget er meget usikkert. Alt tyder på at vi har med en begrenset forekomst å gjøre. Imidlertid er det nødvendig for å kunne få mere eksakte anslag for mengde og grafittinnhold at det utføres kjerneboringer. Også umiddelbart sør for de kjente grafittblotningene er det nødvendig å bore for å avklare om det her finnes grafitt, eventuelt hvor mye og kvaliteten av denne. NGU vil gjerne diskutere plassering av eventuelle boringer.

Dersom dette arbeidet utføres må borkjernene analyser for grafittgehalt, resultatene sammenstilles i en rapport.

Ved **Rendalsvik** er det påvist mer godt ledende materiale enn hittil kjent, og dette er etter all sannsynlighet grafitt. Den antatt beste grafitten ligger mellom den gamle gruva og boringer utført i området på 80-tallet. Kvaliteten av grafitten ved de siste boringene er moderat med verdier opp mot 10 % grafitt i bergarten (Skofteland og Vestereng 1984). Det er tidligere

påvist uheldige mengder av uran i forekomsten, og helikoptermålingene fra 2013 bekrefter uran i området, men ikke så mye som analyser fra 80-tallet viser. Forekomstens beliggenhet taler ikke til fordel for denne forekomsten. Det burde imidlertid vært utført dyp geofysikk og boret sentralt i den antatt beste grafitten for å avklare mengde og kvalitet.

Ved **Halsa** ble det også påvist lav tilsynelatende resistivitet ved ElektroMagnetiske målinger fra helikopter. Inversjon av EM-data og oppfølgende undersøkelser med resistivitet og induert polarisasjon på bakken viser imidlertid ikke resistivitetsverdier som kan tilsi større mengder god grafitt i bakken. Videre undersøkelser anbefales ikke.

Mellom Tjongsfjorden og Skardsfjorden ved **Kila** viser også helikoptermålingene lav tilsynelatende resistivitet. Inversjon av EM-data og oppfølgende bakkemålinger viser ikke resistivitetsdata som kan tilsi god grafitt i større mengder. Videre undersøkelser anbefales ikke.

Det er påvist tilsynelatende lav resistivitet også i **andre områder** enn de NGU har fulgt opp. Grafitt som anomaliårsak for disse kan ikke utelukkes, men NGU anser det lite sannsynlig at større mengder grafitt av god kvalitet finnes utenom de som allerede er omtalt.

8. KONKLUSJONER

Grafittpotensialet rundt Holandsfjorden i Rødøy og Meløy kommuner er evaluert gjennom tolkning av geofysiske målinger fra helikopter og på bakken samt oppfølgende geologisk kartlegging, prøvetaking og analyse.

Det er ikke indikert god grafitt i større mengder utenom de to kjente forekomstene ved Nord-Værnes og Rendalsvik.

Ved **Nord-Værnes** er det utført oppfølgende geofysikk og geologisk kartlegging. Det er indikert opp mot 1 mill. tonn mulig grafittmalm. Anslaget er imidlertid meget usikkert på grunn av tvetydighet i de geofysiske tolkningene. Grafitten opptrer som avlange millimeterstore plateformede krystaller (flakgrafitt). Grafittinnholdet varierer fra noen få prosent grafitt i prøven til opp mot 20 %. Både mengde og kvalitet er økonomisk marginalt, men det bør bores for å avklare disse forhold.

Ved **Rendalsvik** er det ikke utført oppfølgende undersøkelser, men elektromagnetiske målinger fra helikopter indikerer at de best ledende partiene ligger mellom den gamle gruva og et område det ble utført boringer i 1984. Grafittinnholdet fra driftsperioden i gruva er ikke kjent. Grafittinnholdet i kjernematerialet fra boringene i 1984 ligger på moderate 9 %. Denne mineraliseringen ligger ugunstig til og det er rapportert miljøproblemer i form av uran i malmen. Forekomsten vurderes som mindre interessant, men det burde vært utført geofysiske målinger og boret mot det området som har lavest resistivitet for å se hva som ligger her.

9. REFERANSER

ABEM 2012: ABEM Terrameter LS. Instruction Manual. ABEM 20120109, based on release 1.10. ABEM, Sverige.

Bakke S. & Korneliussen A. 1986: Jack-straw textured olivines in some Norwegian metaperidotites, *Norsk Geologisk Tidsskrift*, vol. 66, 271-276.

Brattland S. 1994: Fra industristed til ødemark, glimt fra Rendalsvik historie, Meløy Historielag 1994

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.

Dahlin, T., Leroux, V & Nissen, J. 2002: Measuring techniques in induced polarization imaging. *Journal of Applied Geophysics* 50, 279 - 298.

Dalsegg, E., 1994: CP-, SP- og ledningsevne målinger ved grafittundersøkelser ved Hornvatnet, Sortland, Nordland. *NGU Rapport 94.003*.

Geosoft 1997: HEM system (Helicopter Electromagnetic Data Processing, Analysis (DPA) and Presentation System) User guide.

Geotech 1997: Hummingbird Electromagnetic System. Users manual. Geotech Ltd. October 1997.

Gjelle, S, Bergstrøm, B., Gustavson, M., Olsen, L. & Sveian, H., 1995: Landet ved Polarsirkelen, geologi og landformer, NGU 1995, 120 sider.

Gust, J. & Thoresen H. 1979: Radiometriske målinger og prøvetaking i Rendalsvik grafittfelt, Meløy Kommune. NGU rapport 1650/59A

Jones, F. 2007: Geophysics foundations: Physical properties: *Chargeability*. Lastet ned fra <http://www.eos.ubc.ca/ubcgif/iag/foundations/properties/2physprop-iag.htm>.

Loke, M.H. 2014: RES2DINV ver. 3.59.102 & ver. 4.03. Geoelectrical Imaging 2D & 3D. Instruction manual. www.geoelectrical.com.

Neuman H. 1952. Dagbok fra Nord-Norge. Bergarkivrapport nr. BA7709.

Reynolds, J. M. 2011: An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. Wiley-Blackwell, Oxford UK.

Rodionov, A., Ofstad, F. & Tassis, G. 2013: Helicopter-borne magnetic, electromagnetic and radiometric geophysical survey in Holandsfjorden area, Meløy, Nordland. NGU Report 2013.043 (26pp.)

Rønning, J.S. 1993: CP- og SP-målinger ved grafittundersøkelser på Vikeid, Sortland kommune, Nordland. NGU rapport 93.018.

Rønning, J. S., Rodionov A., Ofstad, F. & Lynum, R. 2012: Elektromagnetiske, magnetiske, og radiometriske målinger fra helikopter i området Skaland - Trælen på Senja. *NGU Rapport 2012.061*.

Sakshaug O.P. 1954: Geofysiske undersøkelser, Rendalsviken grafittfelt. Geofysisk malmleting rapport nr. 100.

Skofteland, H. & Vestereng, V. 1984: Undersøkelser Rendalsvik sommeren 1984. Bergvesenet rapport nr. BV3585.

Solberg, I.L., Hansen, L., Rønning, J.S. & Dalsegg, E. 2011. Veileder for bruk av resistivitetsmålinger i potensielle kvikkleireområder. Versjon 1.0. NGU Rapport 2010.048.

Tassis, G., Rønning, J.S., Tsourlos, P. & Dahlin, T. 2014: Detection and characterisation of fracture zones in marine environment- possibilities and limitations. NGU Report 2013.017, 74 pp.

UBC 2000: Manual for running the program "EM1DFM". UBC - Geophysical Inversion Facility, Department of Earth & Ocean Sciences, University of British Columbia, Vancouver, CANADA. July, 2000.

Wyllie P.J. 1967: Ultramafic and related rocks. P.J Wyllie (ed.). Wiley, New York (1967) 464 pp.

Vedlegg 1:

Koordinater for resistivitetsprofilene (WGS84 UTM Sone 33N)

Nord-Værnes Profil 1, 2m elektrodeavstand		
Posisjon	X	Y
280	422598	7395207
320	422592	7395246
360	422576	7395279
400	422562	7395318
440	422549	7395353
480	422540	7395394
520	422528	7395434
560	422518	7395469
600	422513	7395510

Nord-Værnes Profil 2, 10m elektrodeavstand		
Posisjon	X	Y
0	422305	7394674
200	422351	7394859
400	422374	7395046
600	422396	7395242
800	422437	7395432
1000	422490	7395598

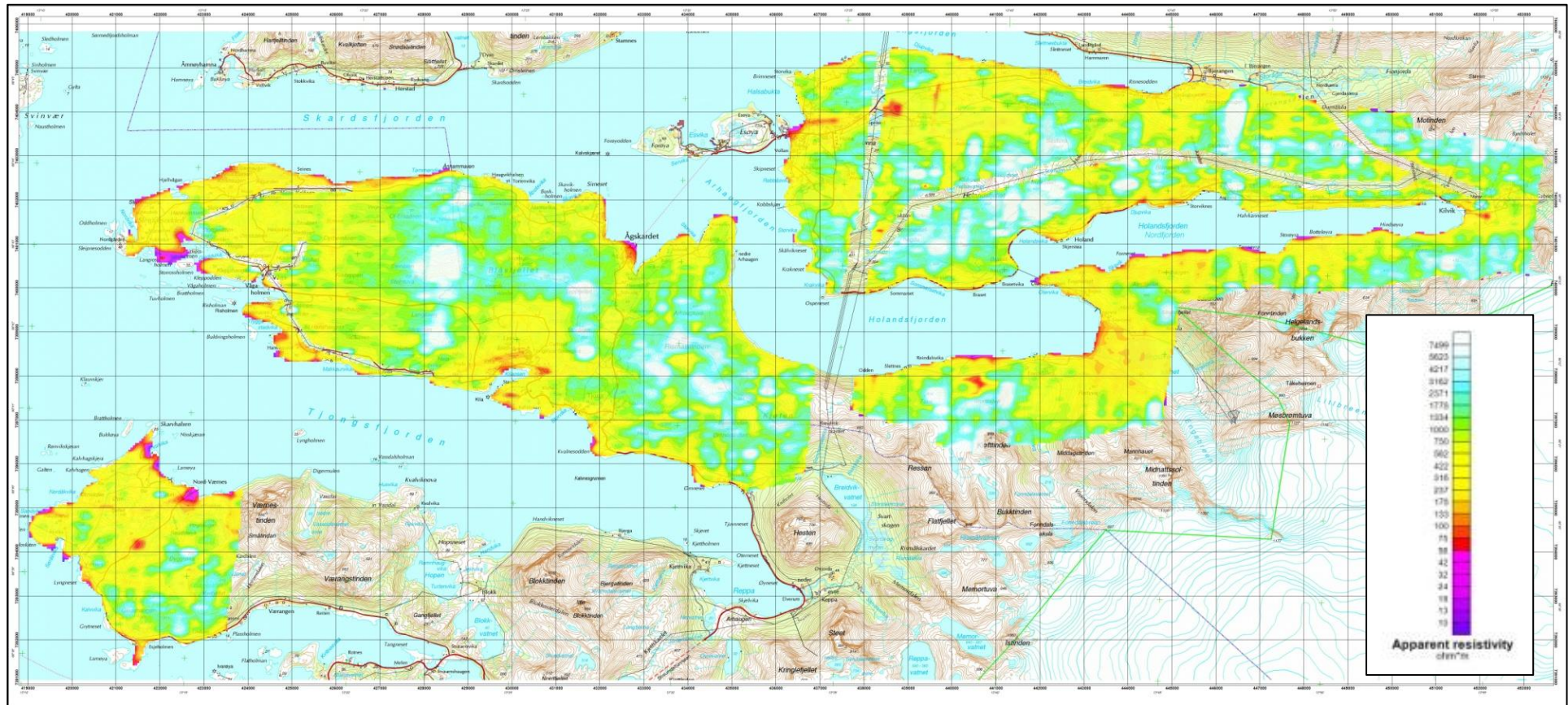
Nord-Værnes Profil 1, 10 m elektrodeavstand		
Posisjon	X	Y
0	422680	7394858
200	422646	7395041
400	422595	7395232
600	422537	7395411
800	422500	7395605

Nord-Værnes Profil 3, 10m elektrodeavstand		
Posisjon	X	Y
0	422917	7394985
200	422809	7395133
400	422711	7395304
600	422593	7395464
800	422484	7395622

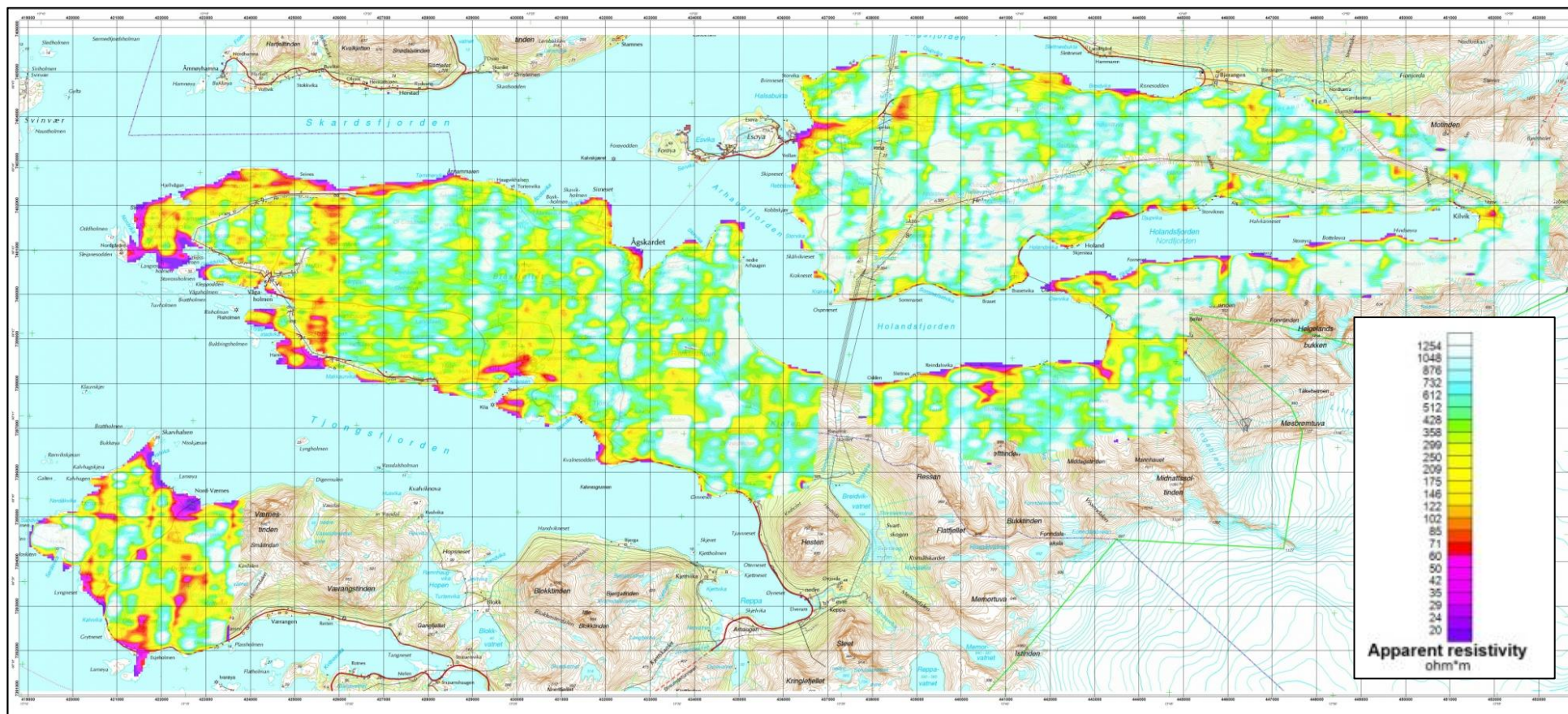
Kilaosen, 10m elektrodeavstand		
Posisjon	X	Y
0	430316	7397760
200	430402	7397925
300	430387	7398031
400	430338	7398111
600	430216	7398262
800	430186	7398442
1000	430156	7398634
1200	430136	7398797
1400	430082	7398994
1600	430114	7399194
1800	430143	7399403
2000	430160	7399592
2200	430182	7399767

Halsa, 10 m elektrodeavstand		
Posisjon	X	Y
0	437550	7403231
200	437552	7403428
400	437546	7403621
600	437555	7403814
800	437560	7403999

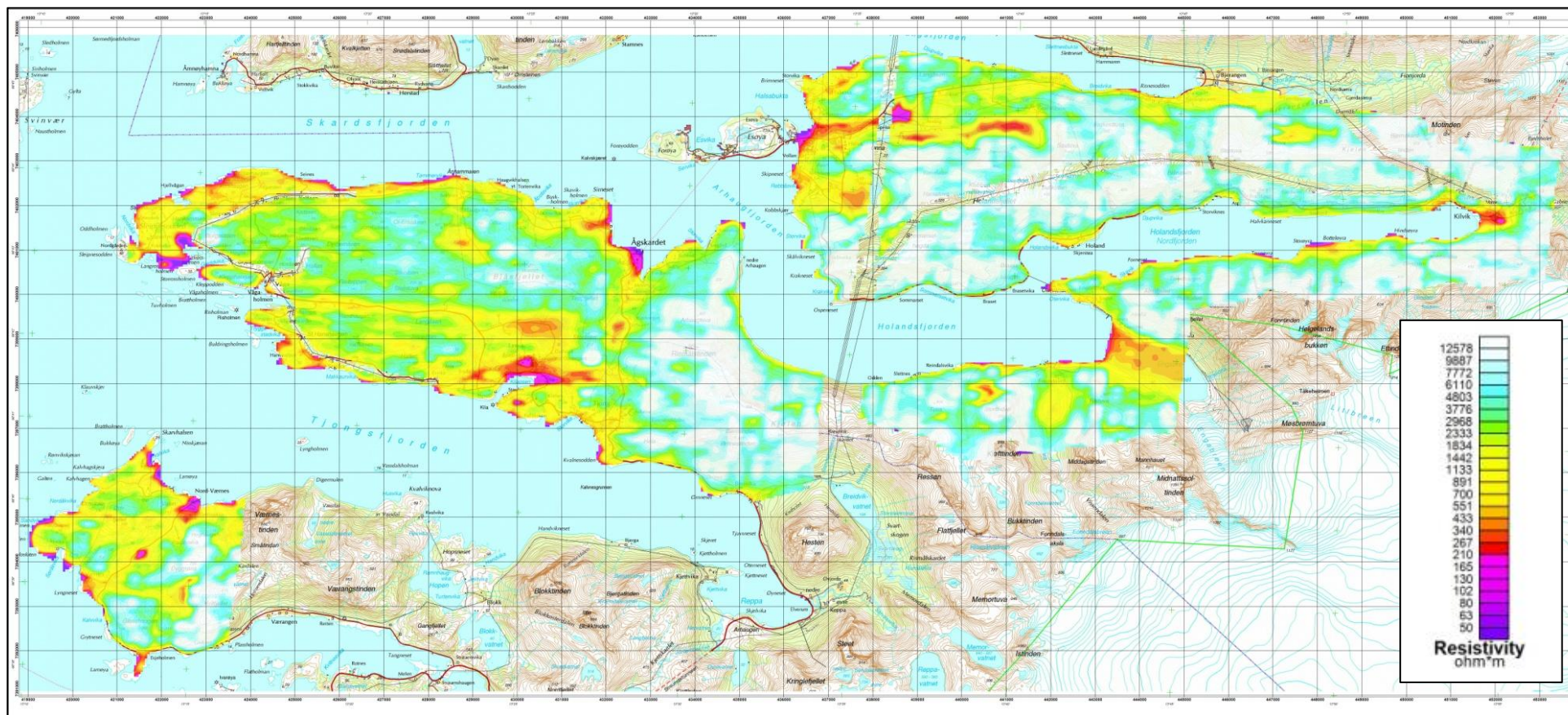
Vedlegg 2: Resultater fra helikoptermålingene.



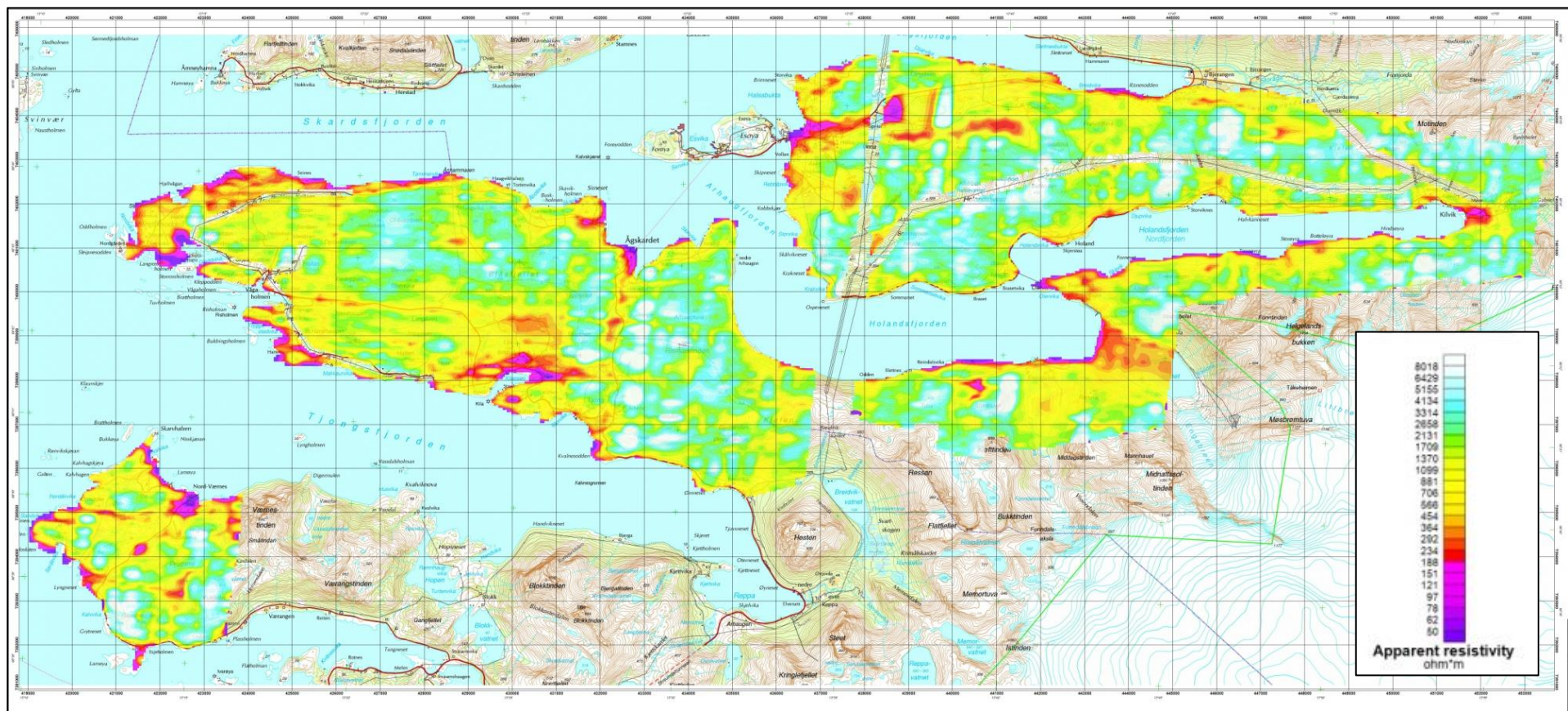
Vedlegg 2.1: Tilsynelatende resistivitet beregnet fra 880 Hz Ko-planare spoler.



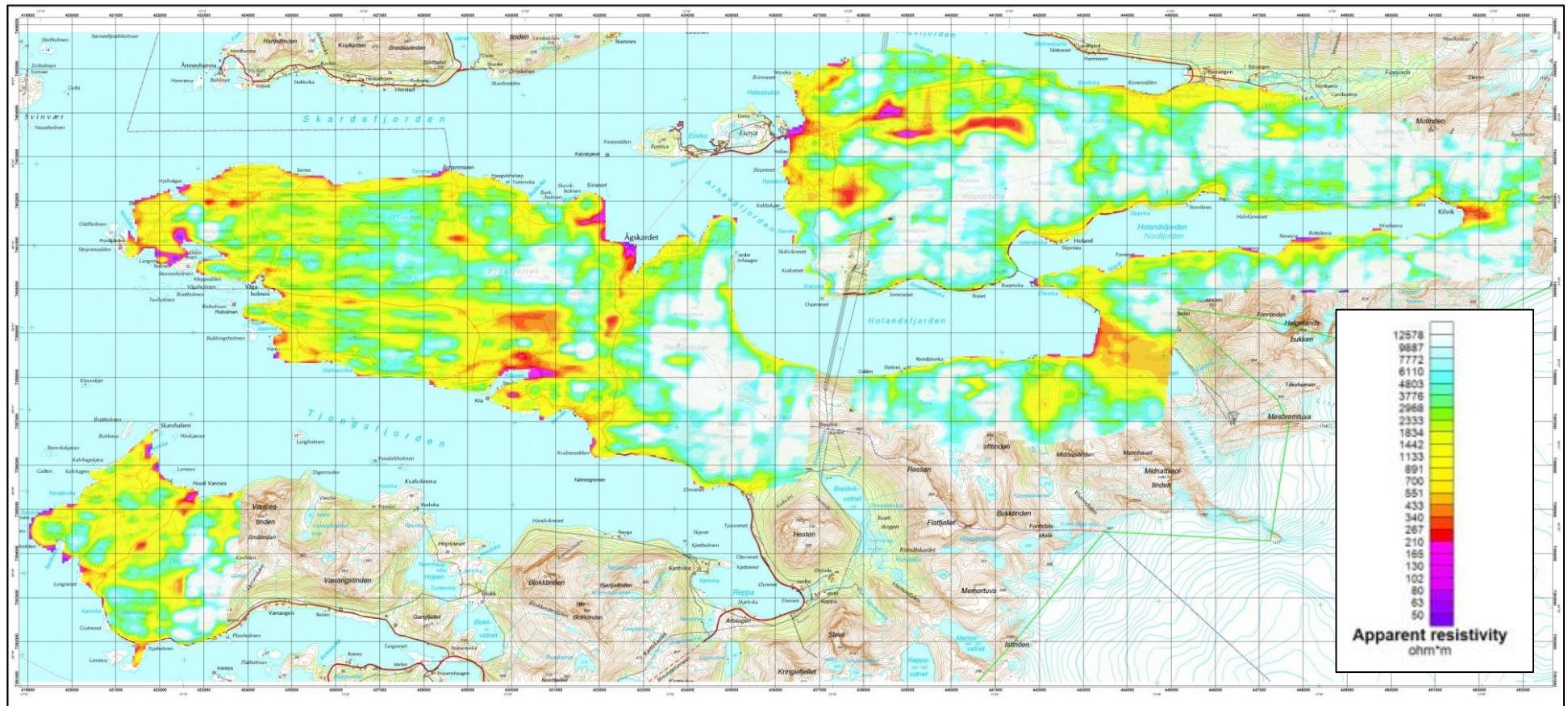
Vedlegg 2.2: Tilsynelatende resistivitet beregnet fra 980 Hz Ko-aksiale spoler.



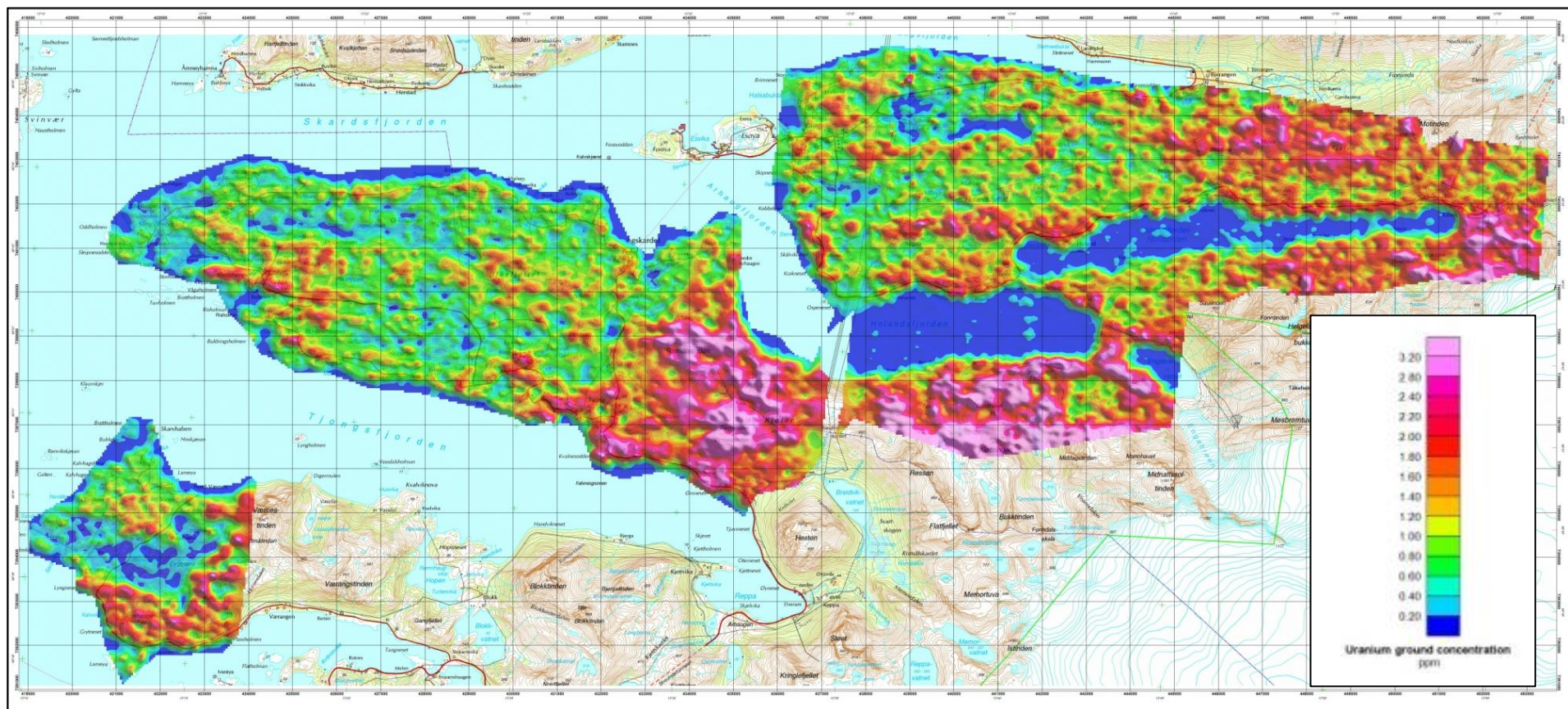
Vedlegg 2.3: Tilsynelatende resistivitet beregnet fra 6600 Hz Ko-planare spoler.



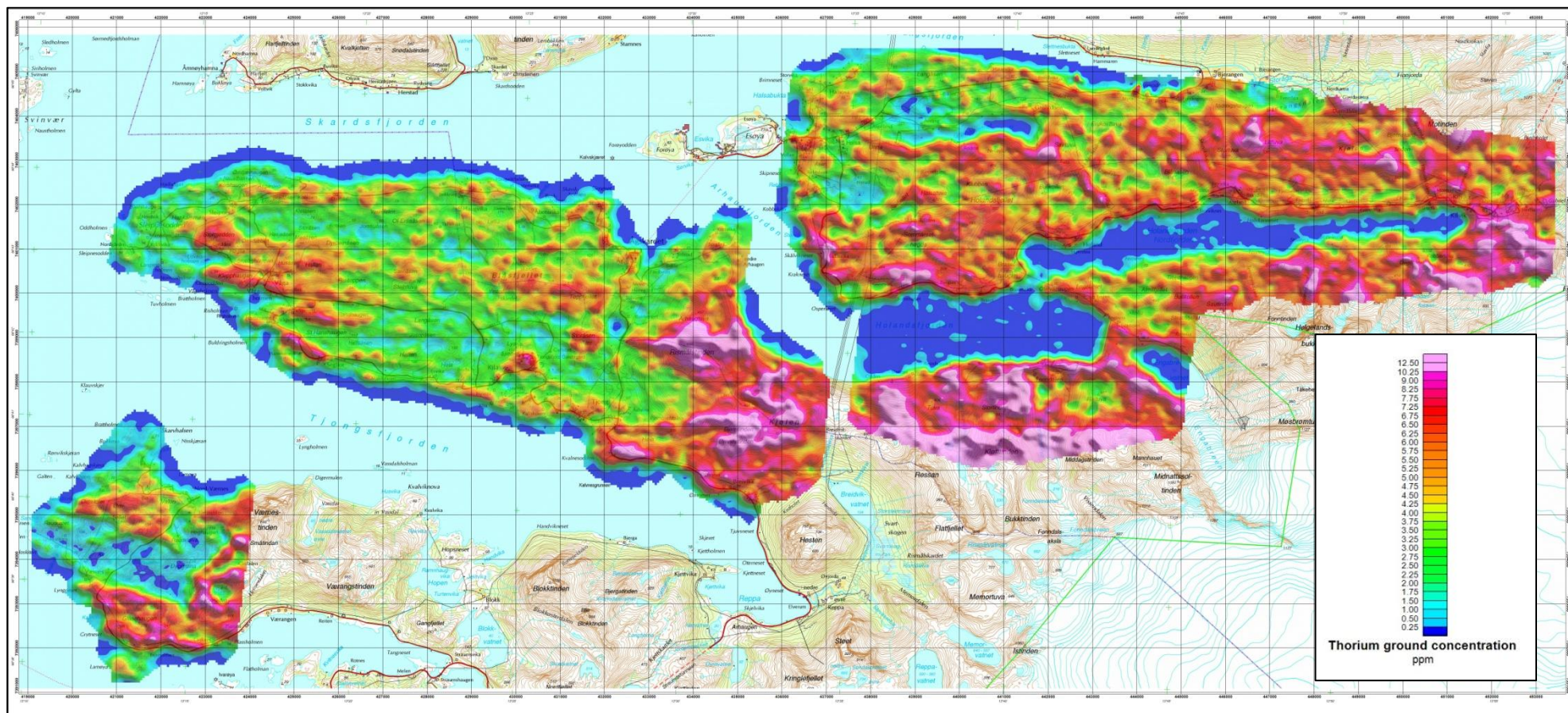
Vedlegg 2.4: Tilsynelatende resistivitet beregnet fra 7001 Hz Ko-aksiale spoler.



Vedlegg 2.5: Tilsynelatende resistivitet beregnet fra 34000 Hz Ko-planare spoler.



Vedlegg 2.6: Konsentrasjon av uran på bakken.



Vedlegg 2.7: Konsentrasjon av thorium på bakken.



Norges geologiske undersøkelse
Postboks 6315, Sluppen
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse
Leiv Eirikssons vei 39, 7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00
Telefax 73 92 16 20
E-post ngu@ngu.no
Nettside www.ngu.no

*Geological Survey of Norway
PO Box 6315, Sluppen
7491 Trondheim, Norway*

*Visitor address
Leiv Eirikssons vei 39, 7040 Trondheim*

*Tel (+ 47) 73 90 40 00
Fax (+ 47) 73 92 16 20
E-mail ngu@ngu.no
Web www.ngu.no/en-gb/*