


GEOLOGI FOR SAMFUNNET

GEOLOGY FOR SOCIETY



Rapport nr.: 2013.057		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Geofysiske bakke- og borehullsmålinger ved Nussir i 2013, Kvalsund kommune, Finnmark				
Forfatter: Einar Dalsegg, Harald Elvebakk og Jan S. Rønning		Oppdragsgiver: Nussir ASA - NGU		
Fylke: Finnmark		Kommune: Kvalsund		
Kartblad (M=1:250.000) Honningsvåg		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1935 I Repparfjorden		
Forekomstens navn og koordinater: Nussir 35 V 390000 7819000		Sidetail: 52	Pris: 220	
Feltarbeid utført: August/Sept. 2013		Rapportdato: 31.01.2014	Prosjektnr.: 340104	Ansvarlig: 
<p>Sammendrag: Det er utført målinger av induisert polarisasjon (IP) og resistivitet langs 9 profiler i den vestlige delen av Nussir-forekomsten. I tillegg er det foretatt geofysisk logging av 4 borehull.</p> <p>Måling av Indusert Polarisasjon (IP) i borehull har vist en meget god korrelasjon mellom IP - Cu og IP - S. Det er imidlertid også påvist IP-anomalier på magnetitt, i grafitt med noe pyritt og i en kombinasjon av pyritt-kobberkis-magnetitt. Det er derfor minst fire typer mineraliseringer som kan gi IP-effekt i området. Ved alle disse typene er det påvist noe lavere resistivitet.</p> <p>Noe uventet er det også påvist SP-anomali (Selv-Potensial) på Cu-mineraliseringene og og mindre uventet på grafitt/pyritt-sone ved borehullsmålingene. Sistnevnte gir klart størst effekt. Det bør vurderes om ikke billige SP-målinger burde vært benyttet for å følge Nussir-mineraliseringens utgående.</p> <p>Måling av Indusert Polarisasjon og resistivitet på bakken sommeren 2013 påviste flere anomale soner, og Nussir-mineraliseringen kunne bekreftes videre mot vest ved kjerneboring. Det ble også boret mot IP-anomalier som ikke viste Cu-mineralisering. Her burde det vært utført geofysiske målinger i borehullene, eventuelt en mer nøyaktig logging av kjernene, for å avklare anomaliårsak.</p> <p>Det er påvist IP-anomalier uten tilsvarende resistivitetsanomali utenfor den kobberførende dolomitten, i et dacittporfyritt-konglomerat lengre mot sør og vest. Ut fra foreliggende kunnskap om geofysiske anomalier og mineraliseringer, er det ikke mulig si noe om type mineralisering. Disse borehullene burde følges opp med kjerneboring og borehullslogging.</p>				
Emneord: Geofysikk		Elektrisk måling		Borehullslogging
Malm		Indusert polarisasjon		Resistivitet
Seismisk hastighet		Naturlig gammastråling		Fagrapport

INNHOOLD

1.	INNLEDNING	9
2.	GEOFYSISKE BAKKEMÅLINGER.....	9
2.1	Målemetode	9
2.2	Utførelse	10
2.3	Strømstyrke og datakvalitet	10
2.4	Inversjon	10
2.5	Måleresultater	11
3.	GEOFYSISKE BOREHULLSMÅLINGER.....	20
3.1	Målemetoder og utførelse	21
3.2	Kort metodebeskrivelse	22
3.3	Resultater borehullslogging	23
3.4	Korrelasjon mellom IP, resistivitet og Cu- Fe- S-innhold.....	35
4.	DISKUSJON	44
5.	KONKLUSJONER	46
6.	REFERANSER	47

FIGURER

Figur 2.1. Profil 6. Invertert resistivitet og IP. Tolket mineralisering er angitt med sort stiplet linje.....	11
Figur 2.2. Profil 7. Invertert resistivitet og IP. Tolket mineralisering er angitt med sort stiplet linje.....	12
Figur 2.3. Profil 8. Invertert resistivitet og IP. Borehull angitt i hvitt. Tolket mineralisering er angitt med sort stiplet linje.	13
Figur 2.4. Profil 9. Invertert resistivitet og IP. Tolket mineralisering er angitt med sort stiplet linje.....	14
Figur 2.5. Profil 10. Invertert resistivitet og IP. Tolket mineralisering er angitt med sort stiplet linje.....	15
Figur 2.6. Profil 11. Invertert resistivitet og IP. Tolket mineralisering er angitt med sort stiplet linje.....	16
Figur 2.7. Profil 12. Invertert resistivitet og IP. Tolket mineralisering er angitt med sort stiplet linje.....	17
Figur 2.8. Profil 13. Invertert resistivitet og IP. Tolket mineralisering er angitt med sort stiplet linje.....	18
Figur 2.9. Profil 14. Invertert resistivitet og IP. Tolket mineralisering er angitt med sort stiplet linje.....	19
Figur 3.1. Nussir, oversiktskart som viser plassering av målte borehull.	20
Figur 3.2. Logging i DD-13-004.	23
Figur 3.3. Nussir DD-13-004. Temperatur, ledningsevne i vann, total gamma, resistivitet, IP og SP.	24
Figur 3.4. Nussir DD-13-004. Detaljert utsnitt av total gamma, resistivitet og IP.	25
Figur 3.5. Logging i DD-13-008, NGU-hull.....	26
Figur 3.6. Nussir DD-13-008. Temperatur, ledningsevne i vann, total gamma, resistivitet, IP og SP.	27

Figur 3.7. Logging i DD-13-011.	28
Figur 3.8. Nussir DD-13-008. Temperatur, ledningsevne i vann, total gamma, resistivitet, IP (logaritmisk skala) og SP.	29
Figur 3.9. Nussir DD-13-008. Temperatur, ledningsevne i vann, total gamma, resistivitet, IP (lineær skala) og SP.	30
Figur 3.10. IP (øverst) og resistivitet (nederst) langs profil 8 sammen med IP og resistivitetslogg fra borehull DD-13-011.	31
Figur 3.11. Lokalitet for DD-11-004.	32
Figur 3.12. Nussir DD-11-004. Temperatur, ledningsevne i vann, total gamma, resistivitet, IP og SP.	33
Figur 3.13. Nussir DD-11-004. Temperatur, ledningsevne i vann, total gamma, resistivitet, IP og P-bølge hastighet.	34
Figur 3.14. Cu-gehalt (rød), gamma, resistivitet og IP-effekt i malmsonen i DD-13-004.	35
Figur 3.15. Fe (blå), S (gul), gamma, resistivitet og IP-effekt i malmsonen i DD-13-004.	36
Figur 3.16. Korrelasjon IP-Cu (venstre) og IP-Fe (høyre) i DD-13-004.	37
Figur 3.17. Korrelasjon IP-S i DD-13-004.	37
Figur 3.18. Cu-gehalt (rød), gamma, resistivitet og IP-effekt i malmsonen i DD-13-011.	38
Figur 3.19. Fe (blå), S (gul), gamma, resistivitet og IP-effekt i malmsonen i DD-13-011.	39
Figur 3.20. Korrelasjon IP-Cu (venstre) og IP-Fe (høyre) i DD-13-011.	40
Figur 3.21. Korrelasjon IP-S i DD-13-011.	40
Figur 3.22. Cu-gehalt (rød), gamma, resistivitet og IP ved 32 - 36 m, DD-11-004.	41
Figur 3.23. Cu-gehalt (rød), gamma, resistivitet og IP ved 195 - 198 m, DD-11-004.	41
Figur 3.24. Fe (blå), S (gul), gamma, resistivitet og IP ved 32 - 36 m, DD-11-004.	42
Figur 3.25. Fe (blå), S (gul), gamma, resistivitet og IP ved 195-198 m, DD-11-004.	42
Figur 3.26. Korrelasjon IP-Cu (venstre) og IP-Fe (høyre) i DD-11-004.	43
Figur 3.27. Korrelasjon IP-S i DD-11-004.	43

TABELLER

Tabell 3.1. Tekniske data for målte borehull.	21
Tabell 3.2. Målte parametre, logge hastighet og samplingstetthet.	21

TEKSTBILAG

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

DATABILAG

Databilag 1: Innmålte profiler 2D resistivitet med IP-anomalier.

KARTBILAG

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

Kartbilag -02: Oversiktskart med profiler 1: 10 000

Kartbilag -03: Oversiktskart med berggrunn

1. INNLEDNING

I et samarbeidsprosjekt mellom Nussir ASA, NTNU og NGU, har NGU utført geofysiske bakkemålinger og logging av borehull ved Nussir-forekomsten i Kvalsund kommune. Det ble målt ni profiler med induisert polarisasjon (IP) og resistivitet i den vestlige delen av forekomsten. I dette området er det tildels mye overdekning og dermed liten kontroll på forekomstens utgående. Det ble foretatt logging i fire borehull, tre i vest og ett i den østre delen av forekomsten.

I 2007 utførte NGU IP-målinger langs 5 profiler over utgående av Nussir-forekomsten (Rønning m. fl. 2007). Hensikten med disse målingene var å se om forekomsten ga IP- og resistivitet-anomalier, for dermed å få vurdert nytten av helikoptermålinger ved kartlegging av Nussir-forekomsten. Målingene viste at forekomsten har en klar men liten kontrast i ledningsevne mot sideberget. For IP målingene derimot, var det klare kontraster, og det ble konkludert med at IP var den best egnede metoden for kartlegging av denne type mineralisering.

I 2011 utførte NGU oppfølgende målinger mellom Nussir-forekomsten og Ulveryggen (Dalsegg & Rønning 2011), og det ble påvist flere IP-anomalier mellom disse to forekomstene. Boringer viste mineraliseringer av kopper, men ikke nok til å være av økonomisk interesse. Det ble også reist spørsmål om nytten av IP-målinger og hvilke mineraler som gav IP-effekt. Det ble derfor besluttet å måle IP-effekt i borehull og korrelere dette mot kjemiske analyser og mineralogi.

Bakkemålingene som her rapporteres, ble utført i august 2013 av Einar Dalsegg fra NGU med assistanse fra Knut Emil Thomassen og Hallgeir Elvenes engasjert av Nussir ASA. Borehullsmålingene ble utført i september av Harald Elvebakk fra NGU, med assistanse av Knut Emil Thomassen engasjert av Nussir ASA.

2. GEOFYSISKE BAKKEMÅLINGER

2.1 Målemetode

Målingene i 2007 og 2011 viste at Nussir-forekomsten ga klare anomalier både på IP- og resistivitetmålingene. Ved årets målinger ble det benyttet 5 meters elektrodeavstand, mot 2 meter i 2007 og 10 meter i 2011. For å få en referanse for hvor sterke anomalier en ville få med 5 meters elektrodeavstand, ble første profil (profil 6) målt like vest for de tidligere målingene, hvor en også hadde kontroll på utgående ut fra boredata.

Ved denne undersøkelsen var induisert polarisasjon (IP) den sentrale målemetoden, men i det benyttede måleinstrumentet foretas det samtidig måling av 2D resistivitet og IP. Det er alltid en fordel å måle både resistivitet og IP, da en ved å kombinere de to metodene reduserer risikoen for feiltolkninger. I det følgende blir utførelsen kort beskrevet.

En mer utførlig beskrivelse av metoden finnes på

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

2.2 Utførelse

Måledata ble innsamlet med et kabelsystem utviklet ved den tekniske høyskolen 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 5 meters elektrodeavstand og Gradient elektrodekonfigurasjon. Dybderekkevidden er ca 60 meter. Oppløsningen, og dermed nøyaktigheten, er størst i den øvre halvdel av seksjonen. Hele systemet kan flyttes langs profilet slik at utstrekningen av et profil er ubegrenset. Profilenes beliggenhet er innmålt med GPS (databilag 1).

Strøm ble sendt i pulser på 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 ($> 50 \text{ mA}$, Dahlin et al 2002).

Profilenes beliggenhet og lengde ble bestemt underveis i måleperioden av Nussirs geologer.

2.3 Strømstyrke og datakvalitet

Strømstyrken for mesteparten av målingene lå fra 50 til 200 mA. Datakvaliteten var for de fleste profilene god, og kun et fåtall måledata måtte fjernes før inversjon. Unntaket er profilene 13 og 14. Ved måling av profil 13 ble det oppdaget at det luktet brent av noen kabelkontakter, og ved kontroll av kablene etter retur til NGU viste det seg at det var kortslutning mellom noen av elektrodeuttakene på tre av kablene. Målingene ble gjennomført i en periode med mye regn, og vanninntrenging i kontaktene var nok årsaken til dette. Måledata på profilene 13 og 14 er derfor ikke pålitelige, men det er likevel valgt å ta de med i rapporten. De inverterte seksjonene (figur 2.1 - 2.9) viser meget gode inversjonsresultater langs profilene 6, 7 og 12 (Abs. error ≤ 5), noe dårligere tilpasning langs profilene 8, 9, 10 og 11 ($5 < \text{Abs. error} \leq 11$) og dårlig tilpasning langs profilene 13 og 14 (Abs. error > 15). Sistnevnte skyldes trolig tidligere nevnte problemer med fukt i kontaktene, eventuelt mer komplisert geologi.

2.4 Inversjon.

Ved alle resistivitetmålinger 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 2010). Det ble benyttet Robust inversjon og vertikal/horisontal-filer 1.5, noe som gjør at vertikale strukturer

fremheves. Det er ikke foretatt noen inversjon av de enkelte IP-kanaler, men av det integrerte målesignalet.

2.5 Måleresultater

Måleresultatene er presentert i figurene 2.1 til 2.9, hvor de sterkeste IP-anomaliene er markert på figurene med stiplet sort linje. I tillegg er de målte profiler med de tolkede IP-anomaliene vist på kartbilagene -02 og -03. De IP-anomalier som er påvist er også angitt med GPS-koordinater i databilag-1 sammen med de innmålte GPS-verdiene for profilene.

Profil 6 (figur 2.1) viser en meget markert IP-anomali ved koordinat 250. Sonen viser lav resistivitet og faller sammen med forventet utgående av Nussir-forekomsten. Den lave resistiviteten indikerer at forekomsten her er moderat ledende. Boringer og målinger (Rønning, Dalsegg & Walker 2007), har vist at det noen steder langs Nussir-forekomsten er påvist to malmhorisonter. På dette profilet er det kun en markert IP-anomali, men som figuren viser er det også forholdsvis høy IP på dypet ved koordinat 200. Dette skyldes trolig mineraliseringer, men vesentlig mindre enn i hovedsonen. Det er ikke noen ledningsevneanomali i dette området. Modelleringer har vist at høye resistivitetsverdier til side for anomalien ved koordinat 250 mest sannsynlig er en kunstig effekt.

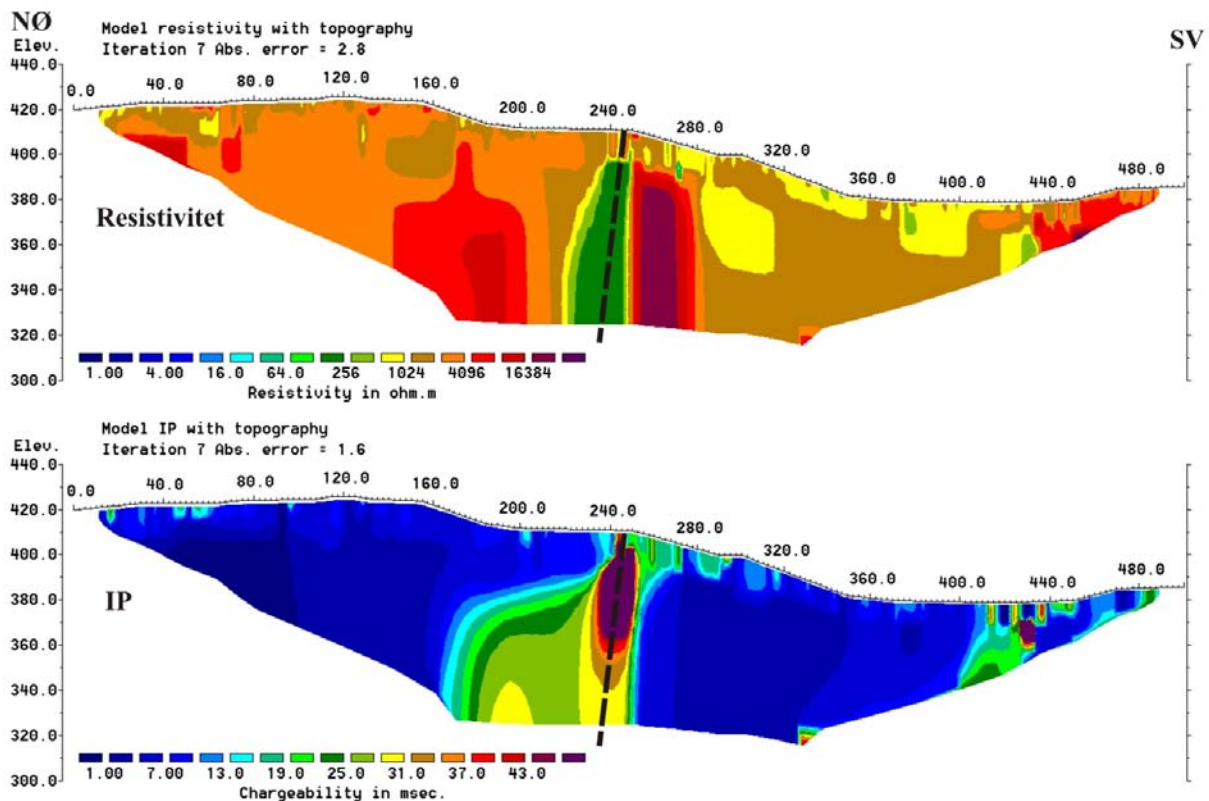
Nussir

Profil 6

Resistivitet og IP

Gradient, el.avst. 5 m.

Robust inv. V/H-filer 1.5



Figur 2.1. Profil 6. Invertert resistivitet og IP. Tolket mineralisering er angitt med sort stiplet linje.

Profil 7 (figur 2.2) viser i likhet med profil 6 kun en markert IP-anomali, og faller også her sammen med forventet utgående av Nussir-forekomsten. Sonen gir en markert lavere resistivitet som viser at malmsonen her er godt ledende. Det er heller ikke her indikasjoner på at det er to malmhorisonter. Ut fra terrenget er grunn til å anta at det lave resistivitetsnivået fra koordinat 305 til 380 skyldes løsmasser, og eventuelt en knusningszone i fjellet (ingen IP-effekt).

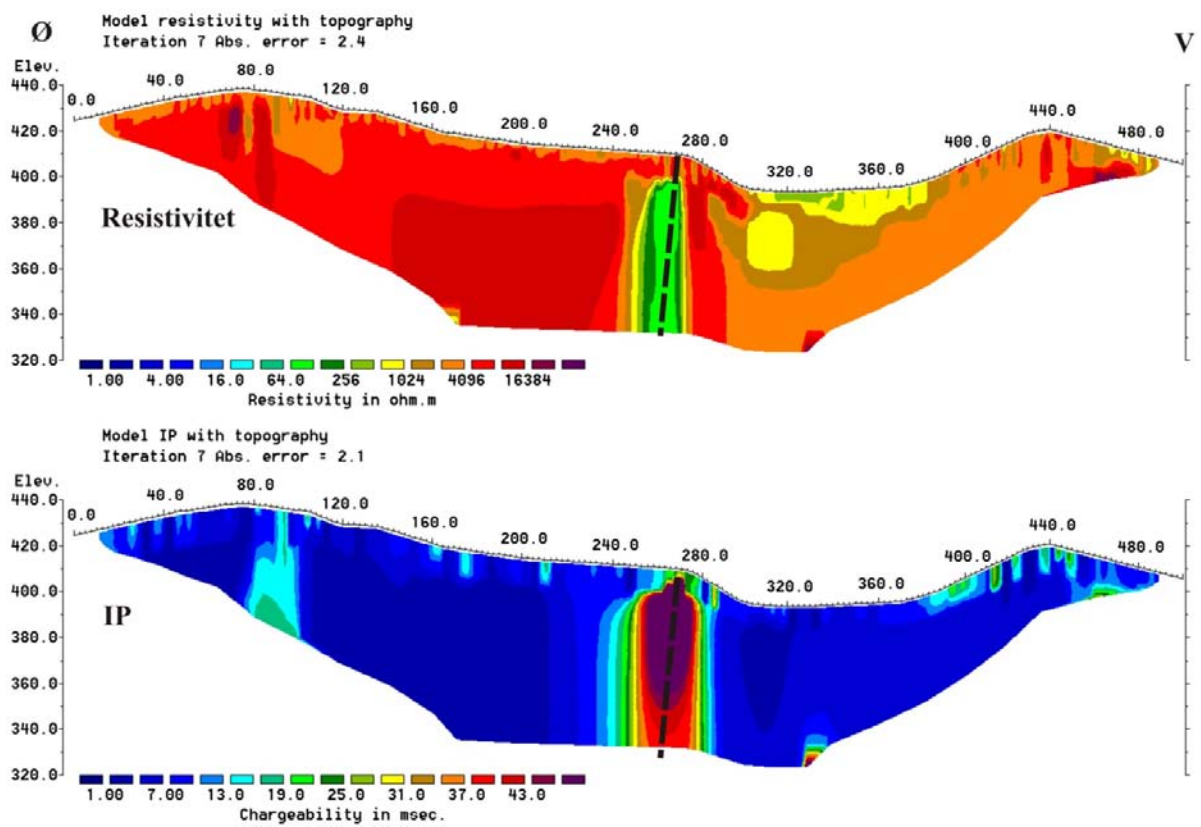
Nussir

Profil 7

Resistivitet og IP

Gradient, el.avst. 5 m.

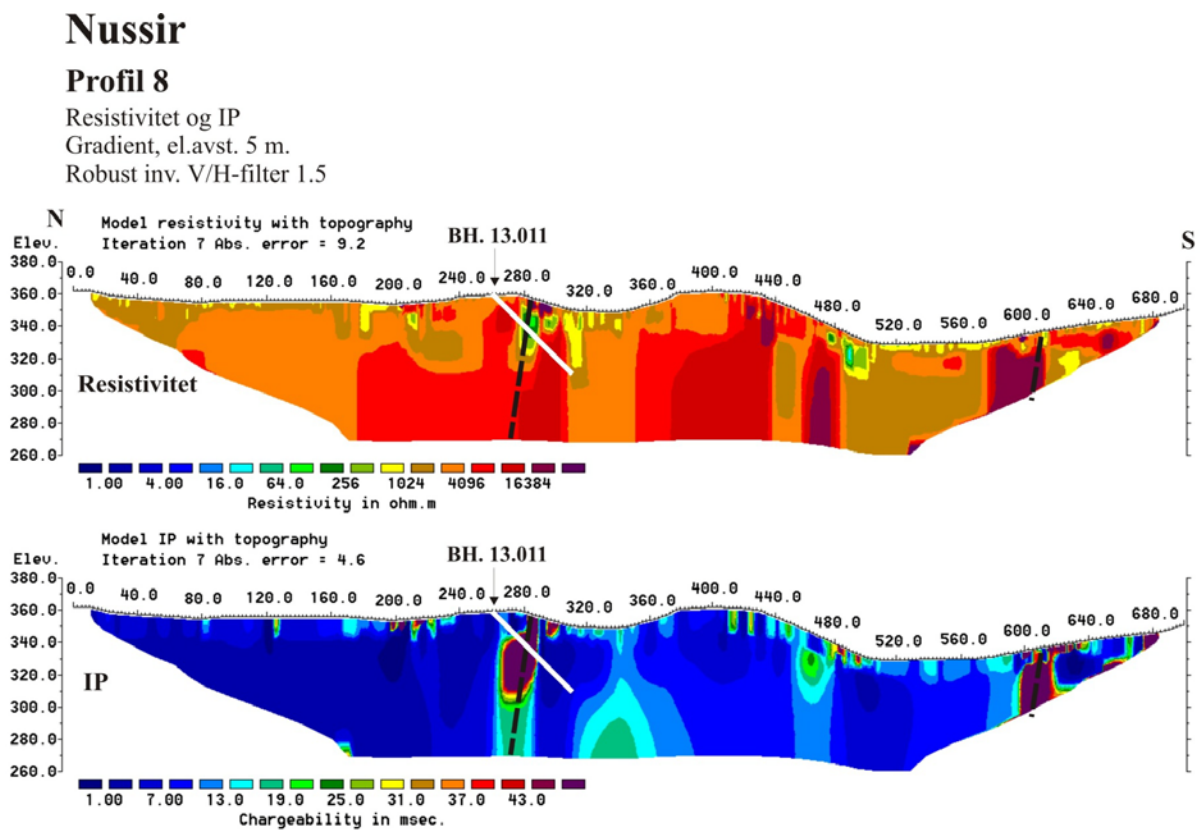
Robust inv. V/H-filer 1.5



Figur 2.2. Profil 7. Invertert resistivitet og IP. Tolket mineralisering er angitt med sort stiplet linje.

Profil 8 (figur 2.3) ligger i den vestlige delen av måleområdet hvor det er lite kontroll på hvor utgående av forekomsten er. Måledata indikerer her to markerte IP-anomalier. Den nordligste ved koordinat 285 viser høy IP og lav resistivitet ned til ca 50 meter. Videre mot dypet avtar IP-verdiene og resistiviteten øker, noe som indikerer at mineraliseringen her er mere av impregnasjonstypen. Da denne sonen ut fra geologien kunne representere utgående av malmsonen ble det satt på et borehull (Bh-13.011). Boringene viste skjæring av flere meter med kobbermineralisering, noe som bekreftet at anomalien representerte utgående av Nussirforekomsten. Det er noe forhøyet IP på dypet i søkket ved koordinat 340, men borehullet er ikke boret langt nok til å skjære gjennom dette nivået.

Ved koordinat 610 er det også en sone med meget høy IP. Selv om sonen ligger i den delen av pseudoseksjonen hvor en ikke har full datadekning, er trolig anomalien reell. Sonen ligger i et område med høy resistivitet, noe som tilsier at mineraliseringen ikke er godt ledende men må være av impregnasjonstype.



Figur 2.3. Profil 8. Invertert resistivitet og IP. Borehull angitt i hvitt. Tolket mineralisering er angitt med sort stiplet linje.

Profil 9 (figur 2.4) ligger like vest for profil 8, og det er markert to soner på profilet. Den mest markerte sonen ligger på sørsiden av en bratt skrent ved koordinat 330. Sonen indikeres å ha et steilt fall mot nord. Som øvre del av figuren viser, ligger sonen i et område med høy resistivitet, noe som indikerer at mineraliseringen må være av impregnasjonstype.

Den andre IP-anomalien ligger ved koordinat 115. Denne gir en noe svakere IP-anomali, men i øvre del av sonen er det indikert et parti med lav resistivitet. Dette tyder på at mineraliseringen er bedre ledende i den øvre delen. Sonen indikeres å ha et steilt fall mot sør.

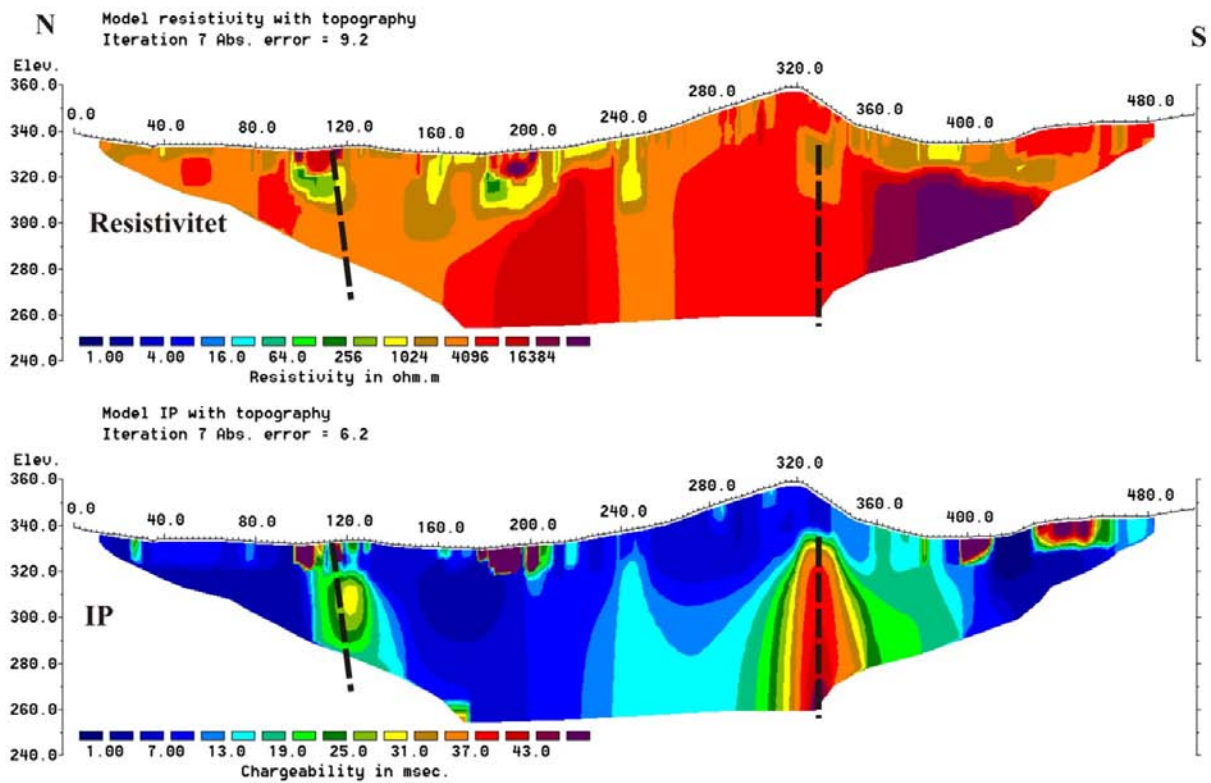
Nussir

Profil 9

Resistivitet og IP

Gradient, el.avst. 5 m.

Robust inv. V/H-filter 1.5



Figur 2.4. Profil 9. Invertert resistivitet og IP. Tolket mineralisering er angitt med sort stiplet linje.

Profil 10 (figur 2.5) viser fire markerte IP-anomalier, hvorav tre er meget sterke. Ingen av sonene har gitt lavere resistivitet og sonen ved koordinat 640 ligger inne i et bredt område med meget høy resistivitet. Anomaliene er indikert å være tilnærmet steile, og da ingen av sonene har gitt lavere resistivitet, indikerer dette at disse mineraliseringene må være av impregnasjonstype. Det er uklart hva som er årsak til noe IP-effekt dagnært i starten av profilet. Liten datadekning her gjør måleresultatene usikre.

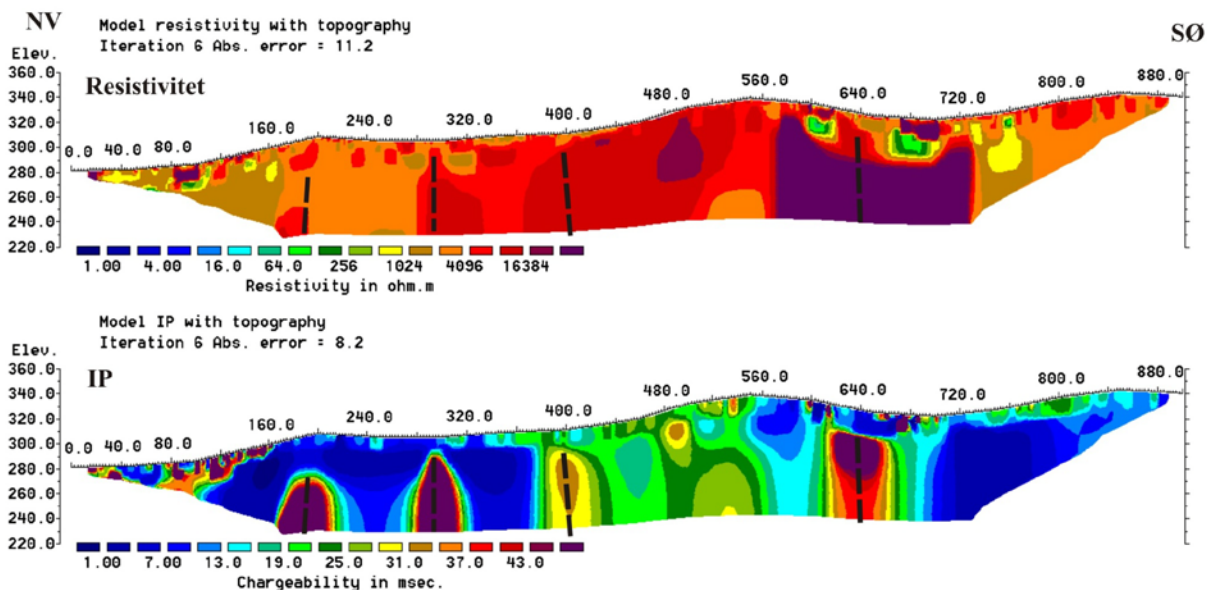
Nussir

Profil 10

Resistivitet og IP

Gradient, el.avst. 5 m.

Robust inv. V/H-filter 1.5



Figur 2.5. Profil 10. Invertert resistivitet og IP. Tolket mineralisering er angitt med sort stiplede linje.

Profil 11 (figur 2.6) viser to markerte soner i tillegg til at profilet på slutten kommer inn i et område eller en sone med høy IP. På grunn av at dette området/sonen ligger helt på flanken av seksjonen, er datagrunnlaget for dårlig til å gi en fullverdig kartlegging av området/sonen. Anomalien ved koordinat 110 gir med unntak i toppen moderat IP (≈ 20 ms). Som øvre del av figuren viser er det et mindre parti på ca 10 meters dyp som gir lav resistivitet, noe som indikerer at det trolig er kun i dette området mineraliseringen er godt ledende. Sonen er indikert å være tilnærmet steil.

Sonen ved koordinat 250 gir også, med unntak av øvre del, moderat IP. Sonen er trolig forholdsvis godt ledende, da den gir markert lavere resistivitet, spesielt på dypet. Mens dette profilet var under måling, ble det satt på et borehull (13.013) ved koordinat 250. Dette viste seg å være omtrent midt på utgående av sonen, noe som stemmer meget godt med påviste IP-anomali

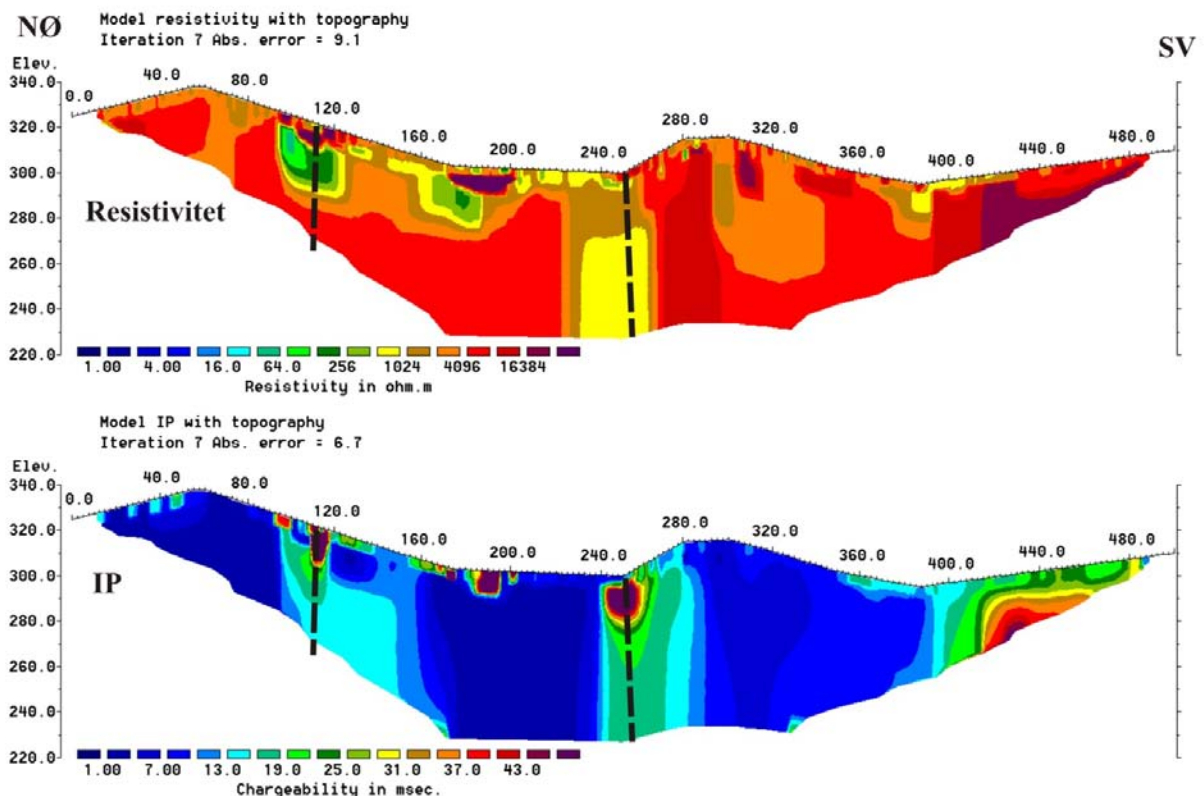
Nussir

Profil 11

Resistivitet og IP

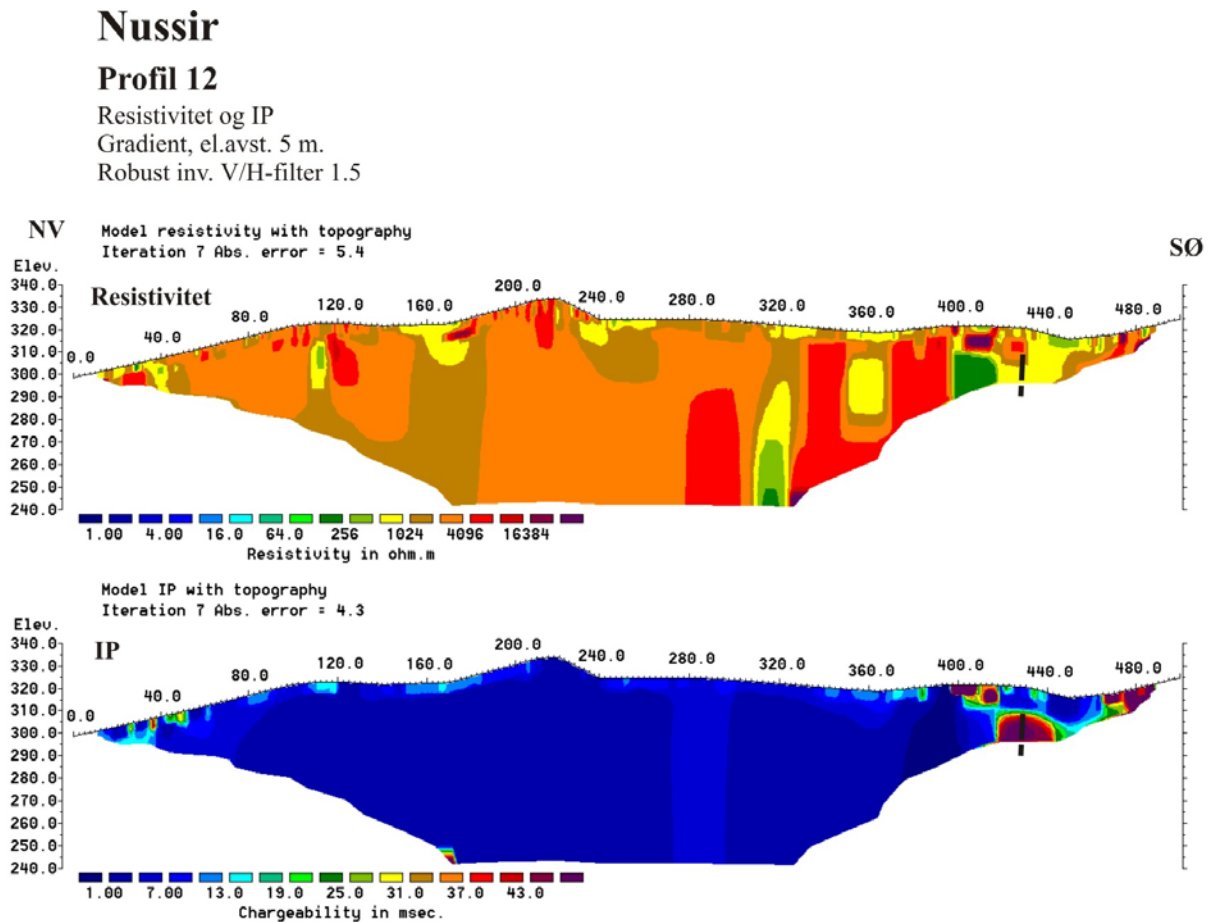
Gradient, el.avst. 5 m.

Robust inv. V/H-filte 1.5



Figur 2.6. Profil 11. Invertert resistivitet og IP. Tolket mineralisering er angitt med sort stiplet linje.

Profil 12 (figur 2.7) ble målt primært for å se om anomalien på koordinat 110 på profil 11 hadde en nordøstlig fortsettelse. Profilet viser meget lav IP langs stort sett hele profilet, med unntak av lengst i sør. Dette viser at sonen på profil 11 ikke har noen nordøstlig utstrekning. Lengst sør i profilet indikeres en sone ved koordinat 430 i tillegg til at det er høy IP helt på slutten av profilet. Selv om denne sonen ligger for langt ut på flanken av profilet til å være tilstrekkelig kartlagt, representerer den trolig en moderat ledende mineralisering. Sonen ligger i forlengelsen av antatt utgående av Nussir-forekomsten og kan representere samme sone som på koordinat 120 på profil 9 (se kartbilag -02 og -03).



Figur 2.7. Profil 12. Invertert resistivitet og IP. Tolket mineralisering er angitt med sort stiplet linje.

Profil 13 (figur 2.8) og Profil 14 (figur 2.9) er som tidligere nevnt meget usikre på grunn av kortslutning mellom noen elektrodeuttak. Grunnen til dette er noe usikkert, men kan skyldes kortslutning på grunn av fuktighet i kontaktene eller tordenvær (lynedslag i nærheten). Det er likevel valgt å presentere data, men de må betraktes som meget usikre. Dårlig modelltilpassning (Abs. error > 15) viser også dårlig datakvalitet.

Det er indikert fire soner (områder) med høy IP langs profilet, hvor den første sonen ved koordinat 150 egentlig er et bredt område på ca 50 meter med meget høy IP. Dette området har med unntak av de øverste 10-20 meterne, også vist høy resistivitet, noe som indikerer at hvis det høye IP-nivået skyldes mineralisering, er de meget dårlig ledende. Det samme gjelder stort sett også for de tre andre sonene. Det eneste er sonen ved koordinat 275 som ligger i et område med generell lavere resistivitet ned til ca. 30-40 meter.

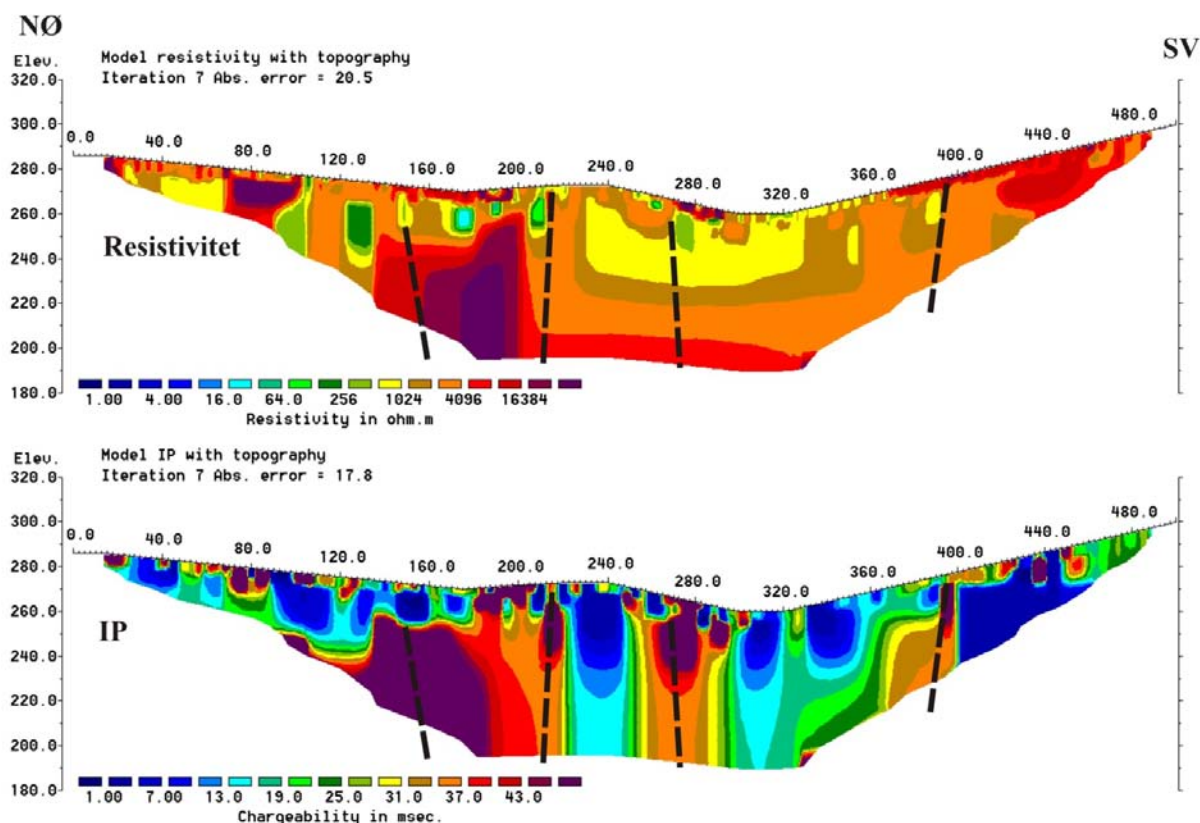
Nussir

Profil 13

Resistivitet og IP

Gradient, el.avst. 5 m.

Robust inv. V/H-filer 1.5



Figur 2.8. Profil 13. Invertert resistivitet og IP. Tolket mineralisering er angitt med sort stiple linje.

Profil14 (figur 2.9) ble målt helt på slutten av måleperioden for å se om det kunne være indikasjoner på to malmhorisonter i dette området. Dessverre er som tidligere nevnt måledata her meget usikre på grunn av kortslutning mellom noen elektroder. Det ble påvist sterkt forhøyet IP der en så utgående av malmsonen (koordinat 295), noe som viser at måledata ikke er helt ødelagt. I søkket nordvest for utgående av malmsonen er det markert to soner i et område med forhøyet IP. Den vestligste ved koordinat 225 har gitt lav resistivitet ned til ca 25 meter, og kan representere en malmsone nummer to.

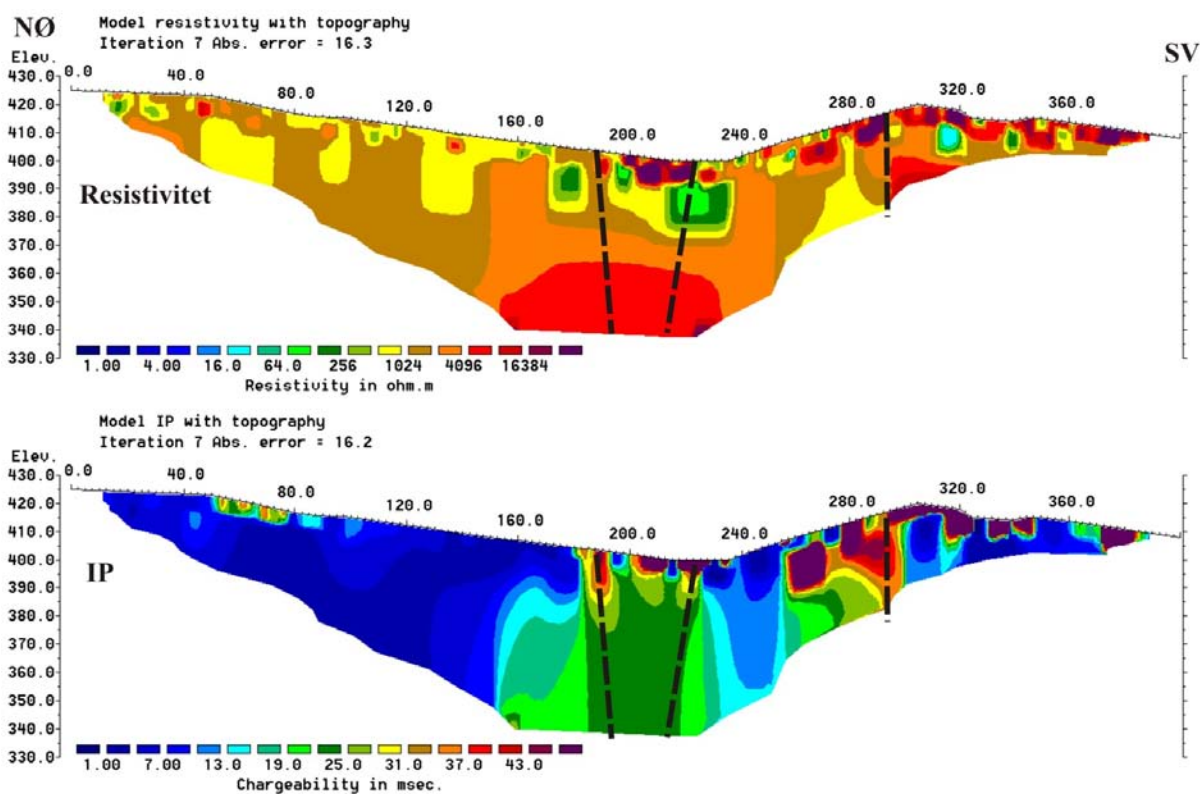
Nussir

Profil 14

Resistivitet og IP

Gradient, el.avst. 5 m.

Robust inv. V/H-filter 1.5



Figur 2.9. Profil 14. Invertert resistivitet og IP. Tolket mineralisering er angitt med sort stiplet linje.

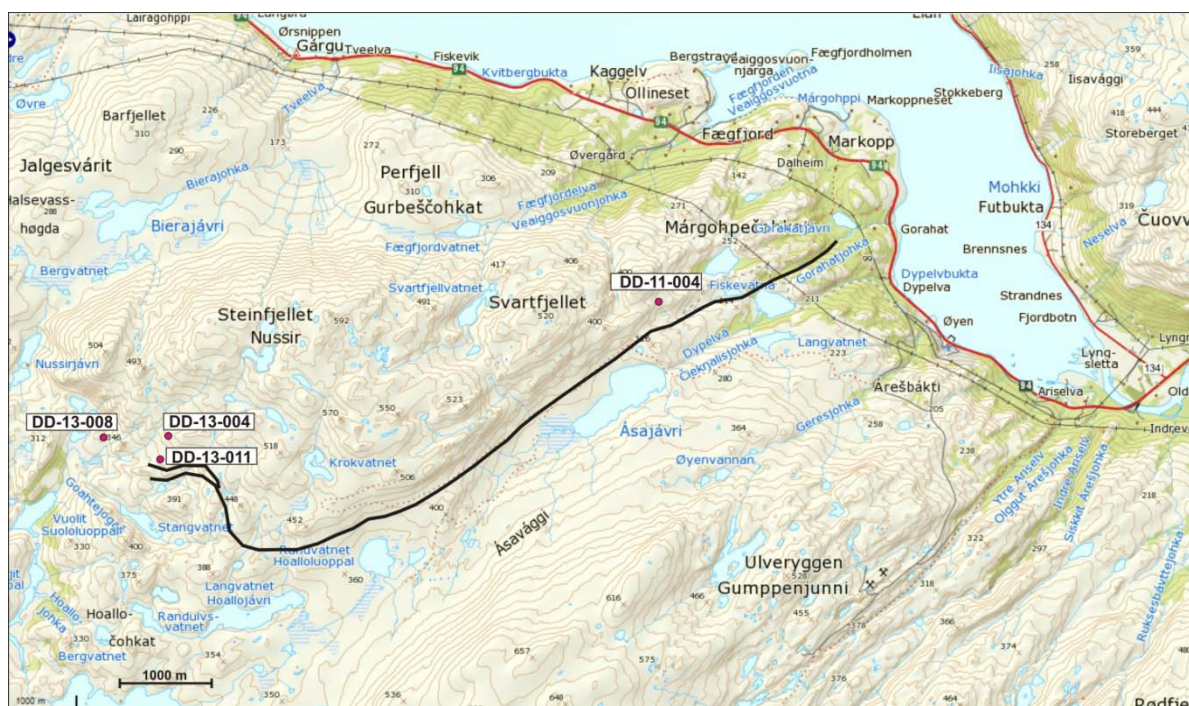
3. GEOFYSISKE BOREHULLSMÅLINGER

NGU har gjort geofysiske målinger i fire borehull på Nussir-forekomsten. Tre av hullene skjærer gjennom malmsonen, mens det fjerde (NGU-hullet) er boret vest for en forkastning der det ikke er påvist malm. Parametrene som ble målt var IP (indusert polarisasjon), resistivitet, selvpotensial, total naturlig gammastråling, temperatur og elektrisk ledningsevne i vann. I et av hullene, DD-11-004, ble det målt seismisk hastighet (P-bølge).

Med støtte fra Nussir fikk NGU kjøpt en sonde for måling av Indusert Polarisasjon (IP). IP brukes til å kartlegge impregnasjonsmalmer. Hensikten med målingene var å karakterisere malms IP egenskaper, korrelere IP med metallgehalter og mineralisering samt se om eventuell oversett mineralisering i borehullene kunne observeres. IP data skulle også brukes i masteroppgave ved NTNU for å se om andre mineraler enn Cu-sulfider gav IP-effekt i området. NGU var også interessert i å logge temperatur i et av de dype hullene.

Målingene ble utført i tiden 4.09 – 8.09.2013 av Harald Elvebakk, NGU. Transport av utstyr ut og inn av feltet ble besørget av Nussir ved Knut Emil Thomassen som også assisterte under målingene.

Figur 3.1 viser oversiktsbilde med plassering av målte borehull. Malmsonens forløp er også tegnet inn.



Figur 3.1. Nussir, oversiktskart som viser plassering av målte borehull.

Tabell 3.1 viser tekniske data for de borehull som ble logget. Borehull DD-11-004 var tett ved ca 330 m, og en fikk ikke logget gjennom malmsonen ved 454 – 460 m dyp.

Tabell 3.1. Tekniske data for målte borehull.

Borehull	Nord wgs 84	Øst wgs 84	Sone	Høyde m.o.h.	Dato logging	Fall	Diam (mm)	Dyp (m)	Boring
DD-11-004	7819853	395411	35W	310	08.09.2013	90 °	60	461.9	2011
DD-13-004	7819477	389763	35W	402	05.09.2013	80 °	60	436.6	2013
DD-13-008	7819584	389047	35W	310	06.09.2013	55°	60	250	2013
DD-13-011	7819222	389604	35W	360	05.09.2013	45°	60	60	2013

3.1 Målemetoder og utførelse

Alle målesonder bortsett fra naturlig gamma trenger vannfylte hull for at målinger kan utføres. Av måletekniske årsaker får en data først 10 m under vannspeilet for resistivitet og IP.

Alle 4 hull er logget med indusert Polarisasjon (IP), resistivitet, selvpotensial (SP), naturlig total gammastråling, temperatur og ledningsevne i vann. Seismisk P-bølgehastighet ble i tillegg logget i DD-11-004. Alle logger er presentert sammen for hvert borehull. Tabell 3.2 viser målte parametre, loggehastighet og samplingstetthet for de ulike sondene.

Tabell 3.2. Målte parametre, loggehastighet og samplingstetthet.

Målt parameter	Loggehastighet	Samplingstetthet
Temperatur	3 m/min	1 cm
Ledningsevne i vann	3 m/min	1 cm
Resistivitet i fjell, porøsitet	5 m/min	1 cm
Selvpotensial, SP	5 m/min	1 cm
Lydhastighet, P- og S-bølge	4 m/min	1 cm
Indusert Polarisasjon, IP	5 m/min	1 cm
Naturlig gammastråling	5 m/min	1 cm

Det er benyttet loggeutstyr produsert av Robertson Geologging ltd.
(<http://www.geologging.com>).

Metodebeskrivelser for de ulike målesondene ligger på NGU's hjemmesider på følgende link:

<http://www.ngu.no/no/hm/Norges-geologi/Geofysikk/Borehullsgeofysikk/>

3.2 Kort metodebeskrivelse

Rapporten presenterer sammenstilte data som kurveplott for de målte parametre, temperatur, vannets ledningsevne, naturlig gammastråling, resistivitet i fjell, IP og SP. Videre er det foretatt en korrelasjon av IP-effekt og metallgehalter, Cu og Fe, i malmsonen. Det er også gjort regresjonsanalyse av IP-Cu, IP-Fe og IP-S (kobber, jern og svovel).

Naturlig gammastråling viser endringer i geologien og er forskjellig for ulike bergarter. Endringer skyldes oftest varierende innhold av kalifeltspat (K^{40}), men innhold av uran og thorium vil også påvirke strålingen. Det er total gammastråling som måles har enheten cps (counts per second) og er i API-standard. Måledata kan sammenlignes med andre data målt med samme standard. Total gamma måles både på temperatur/ledningsevne sonden, resistivitetssonden og seismikksonden. Gammastrålingen er meget reproducerbar og kan brukes til å korrelere dyp til de ulike sondene.

Resistiviteten måles med to forskjellige konfigurasjoner, SN (Short Normal) og LN (Long Normal). SN (pol/pol-konfigurasjon med elektrodeavstand 0,4 m) måler resistiviteten i borehullsveggenes umiddelbare nærhet, mens LN (pol/pol med elektrodeavstand 1,6 m) beregner resistiviteten noen desimeter ut fra borehullet. Resistivetsdata er korrigert for vannets ledningsevne i borehullet, borehulldiameter og sondens størrelse (diameter) (Thunhead & Olsson 2004). Ledningsevnen i porevannet vil påvirke resistiviteten, spesielt ved høye verdier som i sjøvann. Lav resistivitet kan bety oppsprukket fjell (økt porøsitet og vanninnhold) men også elektronledende mineraler (sulfider, oksider og grafitt). Leire gir også lav resistivitet. Av måletekniske årsaker får en ikke måleverdier før sonden er 10 m under vannspeilet. Vaieren på vinsjen brukes som returstrømelektrode, og de nederste 10 m er isolert med plasthylse.

Selvpotensial (SP) måles som en integrert del i resistivitetssonden og er et naturlig potensial som settes opp i undergrunnen over (massive) sulfidmalmer og grafitt.

Indusert Polarisasjon (IP) måles ved at strømpulser sendes ned i undergrunnen. Strømmen slås på og av, og i av-tiden måles en spenning (decay-kurve) som er avhengig av mengden ledende mineraler. Forholdet mellom målt IP-spenning og spenning i strømtiden er et mål for IP-effekten som uttrykkes i prosent (%). Metoden er spesielt egnet for impregnasjonsmalmer. Høy IP og lav resistivitet tyder på ledende mineraler, men en kan også ha forhøyet IP uten lav resistivitet. Impregnasjon av separate malmmineraler trenger ikke påvirke den målte resistiviteten. Ved IP-målinger sendes strømpulser på 110 ms (+/-) ned i bakken med et opphold på 110 ms mellom pulsene. IP spenningen måles i tidsvinduer mens strømmen er slått av.

Lyd hastigheten kan beregnes både for P-bølger og S-bølger. En nedgang i lyd hastighet kan bety oppsprukket/forvitret fjell. Måledata var av en slik kvalitet at det ikke var mulig å se S-bølgens ankomst og S-bølge hastigheten kunne ikke beregnes.

Temperatur. Temperatur måles for å beregne temperaturgradienten mot dypet. Lokale endringer i et borehull kan indikere oppsprekking med vanninnstrømning.

Ledningsevne i vann. Den elektriske ledningsevnen i vann er avhengig av ioneinnhold, (saltinnhold). Lokale endringer i et borehull kan indikere oppsprekking med vanninnstrømning.

3.3 Resultater borehullslogging

DD-13-004

Figur 3.2 viser bilde fra logging i DD-13-004. Hullet var boret til 436.6 m med 80 ° fall. Hullet skar gjennom to malmsoner, 380 – 390 m og 407 – 412 m.



Figur 3.2. Logging i DD-13-004.

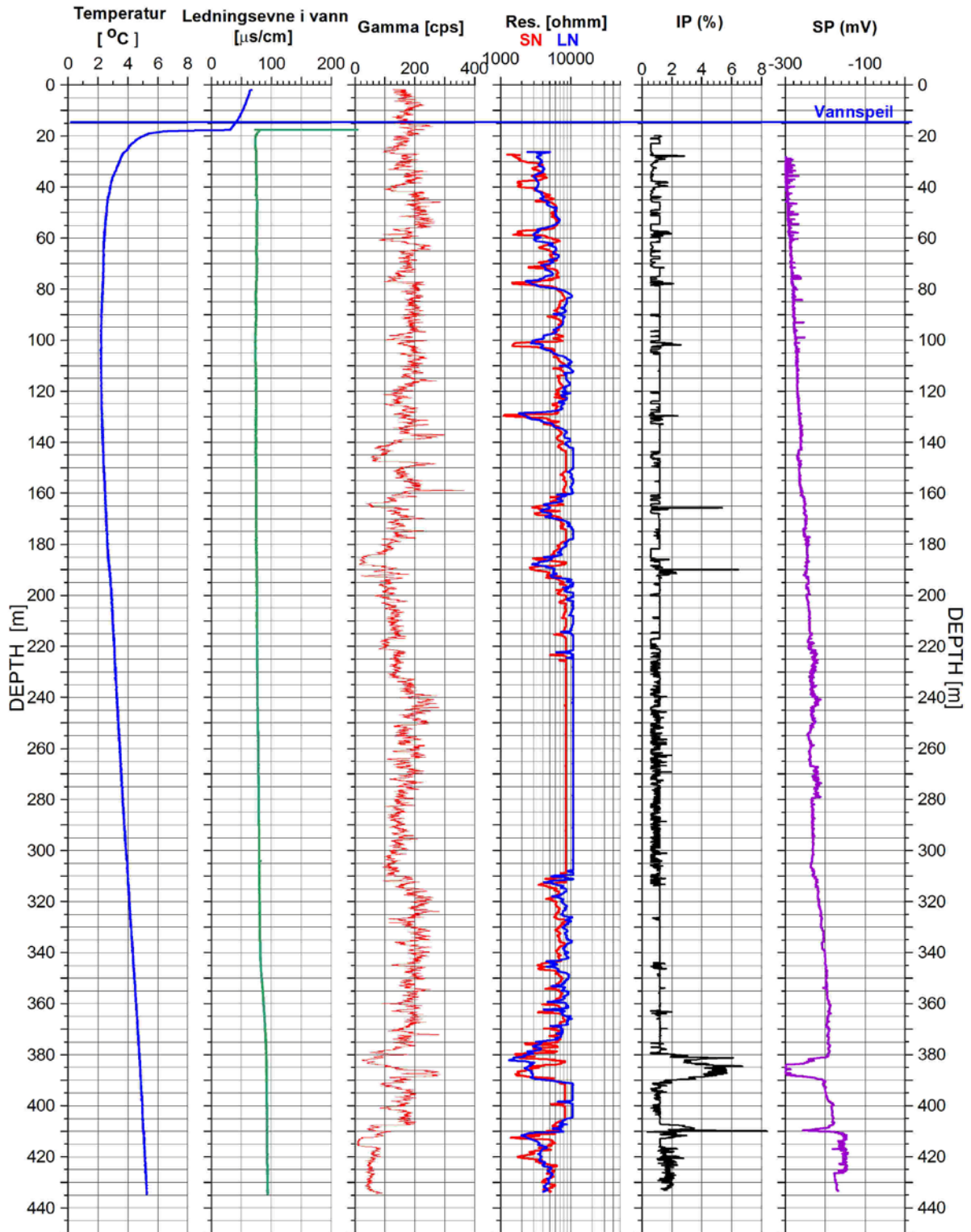
Figur 3.3 viser alle logger i DD-13-008. Fra ca 120 m stiger temperaturen jevn med en beregnet gradient på ca 10 °C/km. Hullet ble logget 5-6 mnd etter boring og temperaturen i borehullet har oppnådd likevekt med berggrunnen rundt. Dette er omtrent halvparten av målte gradienter i østlandsområdet (Olesen et al. 2007). Temperaturen i bunnen er 5.3 °C. Til sammenligning ble det målt en gradient på 4 – 5 °C/km på Båtsfjordfjellet (Pascal et al. 2008). Ved Vuottašjávri på Finmarksvidda og Bidjovagge ble det målt hhv. 11 °C/km og 6 – 8 °C/km (Pascal et al. 2010). Ledningsevnen i vannet er lav, mindre enn 100 µS/cm. Sjøvann har en ledningsevne på 40 – 50 mS/cm.

Gammaloggen avspeiler litologien. Over malmsonen er bergarten beskrevet som grå skifer, sand-silt stein, mørk skifer (Kjell Nilsen, Nussir). Gammastrålingen fra disse skifrene ligger på ca 200 cps (counts per second). Det er også innslag av karbonat, kalsittganger som har en tydelig lavere stråling. Det antas at det er kaliuminnholdet (K^{40}) som gir stråling. Kalkholdige bergarter har lite feltspat (kalifeltspat) og dermed lite kalium. Strålingen vil avta i disse bergartene. Etersom Cu-mineraliseringen ligger i en karbonatbergart /dolomitt og glimmerskifer/skifer, går gammastrålingen ned i malmsonen. Liggbergarten under malmsonen er beskrevet som en tuff og har tydelig lavere stråling, ca 50 cps.

Resistiviteten i skiferen er generelt svært høy, > 10000 ohmm. Resistivitetssonden måler maksimum 10000 ohmm slik at kurven blir en rett strek, for eksempel ved 205 – 310 m. En ser imidlertid flere lavmotstandssoner ved 20 - 200 m. Anomaliene faller sammen med noe forhøyet IP effekt (2 – 6 %) og kan skyldes ledende mineraler som for eksempel pyritt. Det er tydelig IP anomali over begge malmsonene. Figur 3.4 viser et utdrag av gamma-, resistivitet- og IP-logg. Malmsonene indikeres ved 379.6 – 391 m og 407.5 – 412.5 m dyp. Den øverste gir kraftigst IP effekt, 4 – 6 %, se senere om korrelering mellom IP og Cu gehalt. Den nederste sonen gir en IP effekt på 3 – 3.5 % med en peak på over 8 %. Den øverste sonen gir tydelig resistivitetsanomali, men den nedre har lavest resistivitet i nedre halvdel av sonen. Begge sonene indikeres på SP. I mineralsammenheng er det massive forekomster (sulfider, grafitt) som vanligvis gir SP-anomalier. At en får SP anomali i D13-004 kan tyde på at det er noen sammenhengende bånd og ikke bare spredte korn av sulfider.

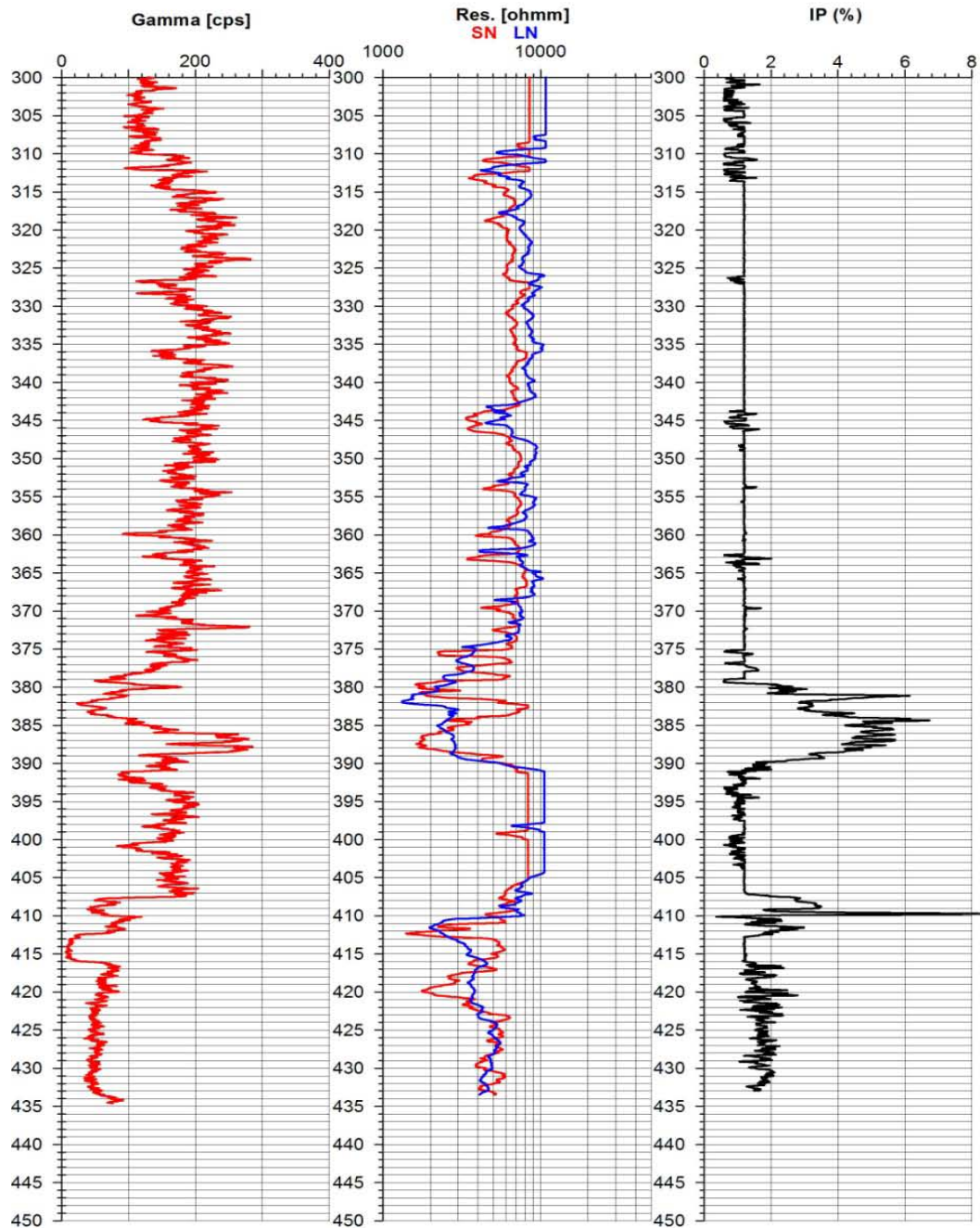
DD 13-004 Nussir
5.9.2013

UTM 389763 E
35W 7819478 N
401 m.o.h.



Figur 3.3. Nussir DD-13-004. Temperatur, ledningsevne i vann, total gamma, resistivitet, IP og SP.

DD 13-004 Nussir
5.9.2013



Figur 3.4. Nussir DD-13-004. Detaljert utsnitt av total gamma, resistivitet og IP.

DD-13-008

DD-13-008 er et forskningshull boret i regi av NGU. Hullet ligger vest for en forkastning. Nussir-malmsonen ble ikke påtruffet i dette hullet, men hullet er viktig for å forstå de geologiske strukturer i området. Hullet ble boret til 250 m med 55 ° fall mot SSV. Figur 3.5 viser bilde fra logging i hullet.



Figur 3.5. Logging i DD-13-008, NGU-hull.

Figur 3.6 viser logger i DD-13-008, NGU-hullet. Det er lav temperatur, ca 3.8 °C bunnen. Gradienten er lav og er beregnet til 6.7 °C/km mellom 150 m og 245 m dyp (beregnet vertikalt). Temperaturen kan være påvirket av paleoklima, og av kort tid mellom boring og logging. Ledningsevnen i vann er relativt konstant, ca 200 μ S, med en liten økning ved 210 - 220 m.

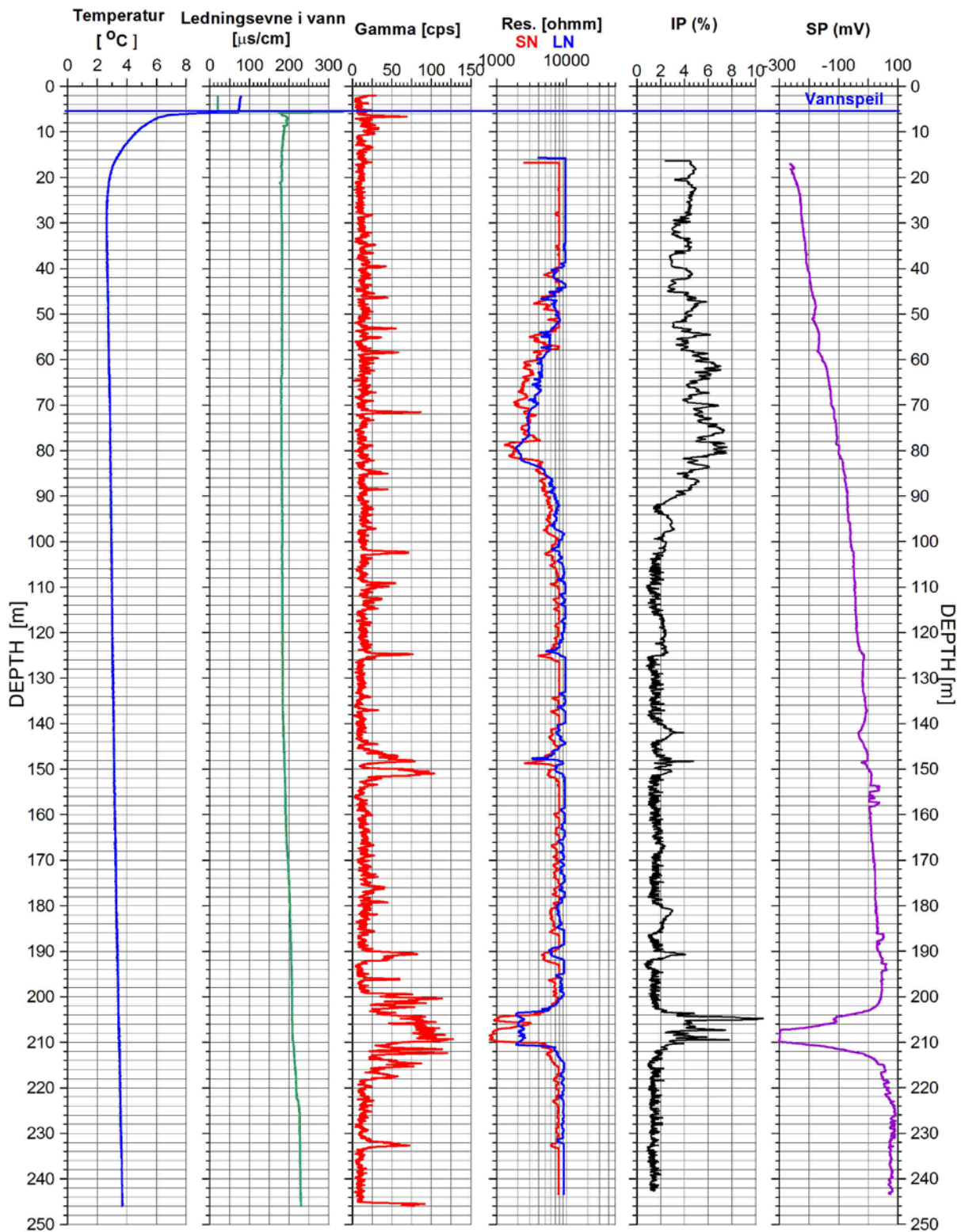
Gammastrålingen er generelt svært lav i hele hullet, 10 – 30 cps. Stedvis har en verdier opp mot 100 cps. Mellom 200 og 220 m er det forhøyet gamma som tyder på en annen bergart. Bergarten i DD-13-008 er beskrevet som grå, svart skifer med innslag av karbonat og kalsittbånd (Espen Torgersen, p.m.). Det som er sikkert er at denne skiferen ikke er av samme type som skiferen i DD-13-004 da gammastrålingen er mye lavere.

Resistivitet og IP viser en del interessante resultater. Generelt er resistiviteten svært høy og verdiene går ofte i peak (10000 ohmm). Fra 16 m dyp (start måling) er det forholdsvis høy IP (ca 4 %). Fra ca 50 m dyp øker IP-effekten til ca 7 % ved 80 m dyp. I samme område er det minkende resistivitet ned mot 80 m dyp (1500 – 2000 ohmm). Både IP og resistivitetsverdier er på samme nivå som målt i malmsonen i DD-13-004, se foran. Kjernen ned til 80 m er dominert av svart grafitt- og pyritførende skifer (Espen Torgersen p.m.), noe som forklarer høy IP og lavere resistivitet.

Ved 145 – 150 m dyp er det svak IP og resistivitetsanomali. Her er det observert pyritt i kjernene. Ved 204 – 210 m dyp er det tydelig IP, SP og resistivitetsanomali, opp mot 10 % IP-effekt og under 1000 ohmm. Her er det observert tydelige mørke bånd av grafitt med tilhørende pyritmineralisering (Espen Torgersen p.m.). Den meget tydelige SP-anomalien (ca 350 mV) kan også forklares med grafitt/pyritbånd. En legger merke til at grafitten her gir langt større SP-anomali enn Cu-mineraliseringene i DD 13-004 (100 mV) og DD 13-011 (80 mV).

DD 13-008 Nussir
6.9.2013

UTM 389047 E
35W 7819584 N
290 m.o.h.



Figur 3.6. Nussir DD-13-008. Temperatur, ledningsevne i vann, total gamma, resistivitet, IP og SP.

DD-13-011

DD-13-011 ble boret mot IP-anomali på resistivetsprofil Pr 8. Hullet er boret til 71 m med 45 ° fall mot SSV (N174). Hullet påtraff malmsonen ved 24 – 30 m. En fikk ikke logget lengre enn ca 40 m (ras i hullet, for lite fall?). Figur 3.7 viser bilde fra logging i DD-13-011.



Figur 3.7. Logging i DD-13-011.

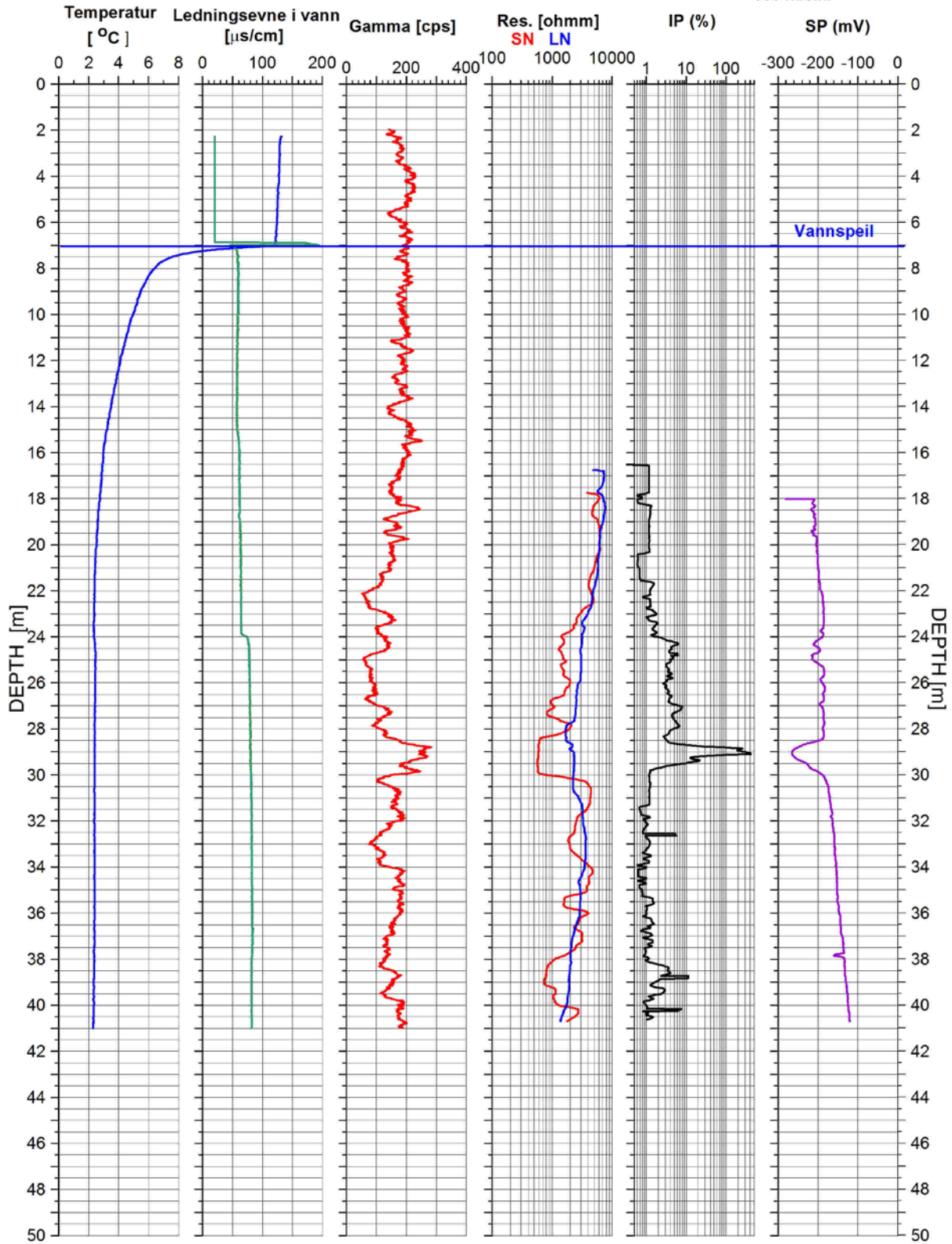
Figur 3.8 viser logger fra DD-13-011. Temperaturen er lav, ca 2.3 °C. Ledningsevnen i vannet er lav og konstant. Liten økning i vannets ledningsevne kan skyldes overgang til mineralisert bergart eller et mindre vanninnslag.

Gammastrålingen ligger på samme nivå som skiferen i DD-13-004, ca 200 cps, og er litt lavere i malmsonen. Variasjonen i gamma skyldes trolig varierende innhold av feltspat.

Resistiviteten er høy i skiferen men går tydelig ned i malmsonen ved 24 – 30 m. Den er spesielt lav ved 28.3 – 30 m, 600 ohmm. Tydelig IP anomali observeres fra 24 – 30 m, 4 – 8 %. En ekstrem IP verdi måles mellom 28.5 og 29.5 m med en topp på 420 %. Dette er egentlig umulig da det i praksis vil si at IP-spenningen er mye høyere enn tilført spenning ved strømpuls. Får å få med hele anomalien er det brukt logaritmisk skala. I figur 3.9 er IP plottet med lineær skala for å se variasjonene utenom ekstremverdien bedre. Det er svært høy kobbergehalt mellom 28.6 og 30 m, se senere om korrelasjon. Kobbermineralet er bornitt, Fe_5CuS_4 , (Audun Sletten, Nussir). Det er ikke rapportert om grafitt og sonen gir tydelig SP anomali.

DD 13-011 Nussir
5.9.2013

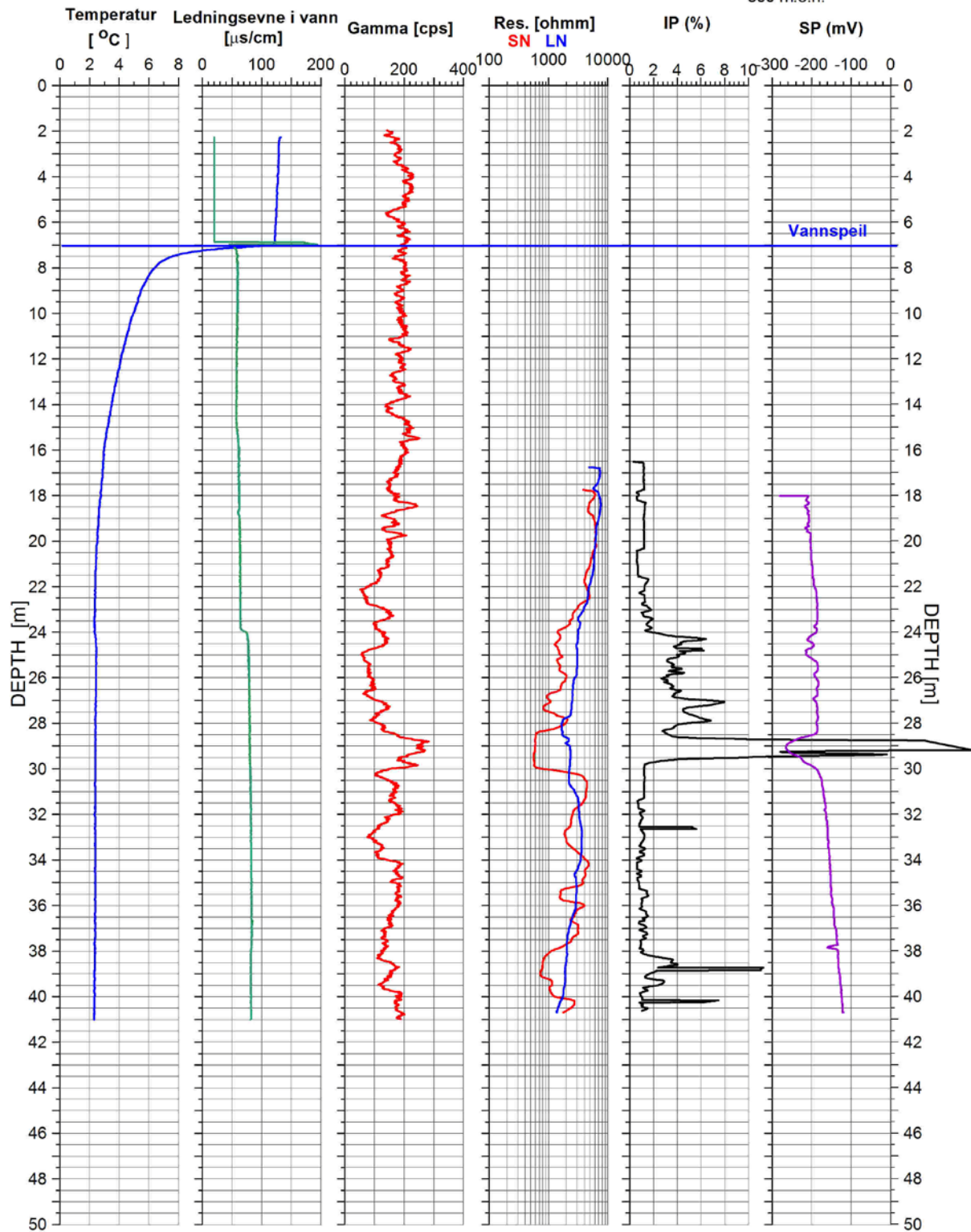
UTM 389604 E
35W 7819222 N
360 m.o.h.



Figur 3.8. Nussir DD-13-008. Temperatur, ledningsevne i vann, total gamma, resistivitet, IP (logaritmisk skala) og SP.

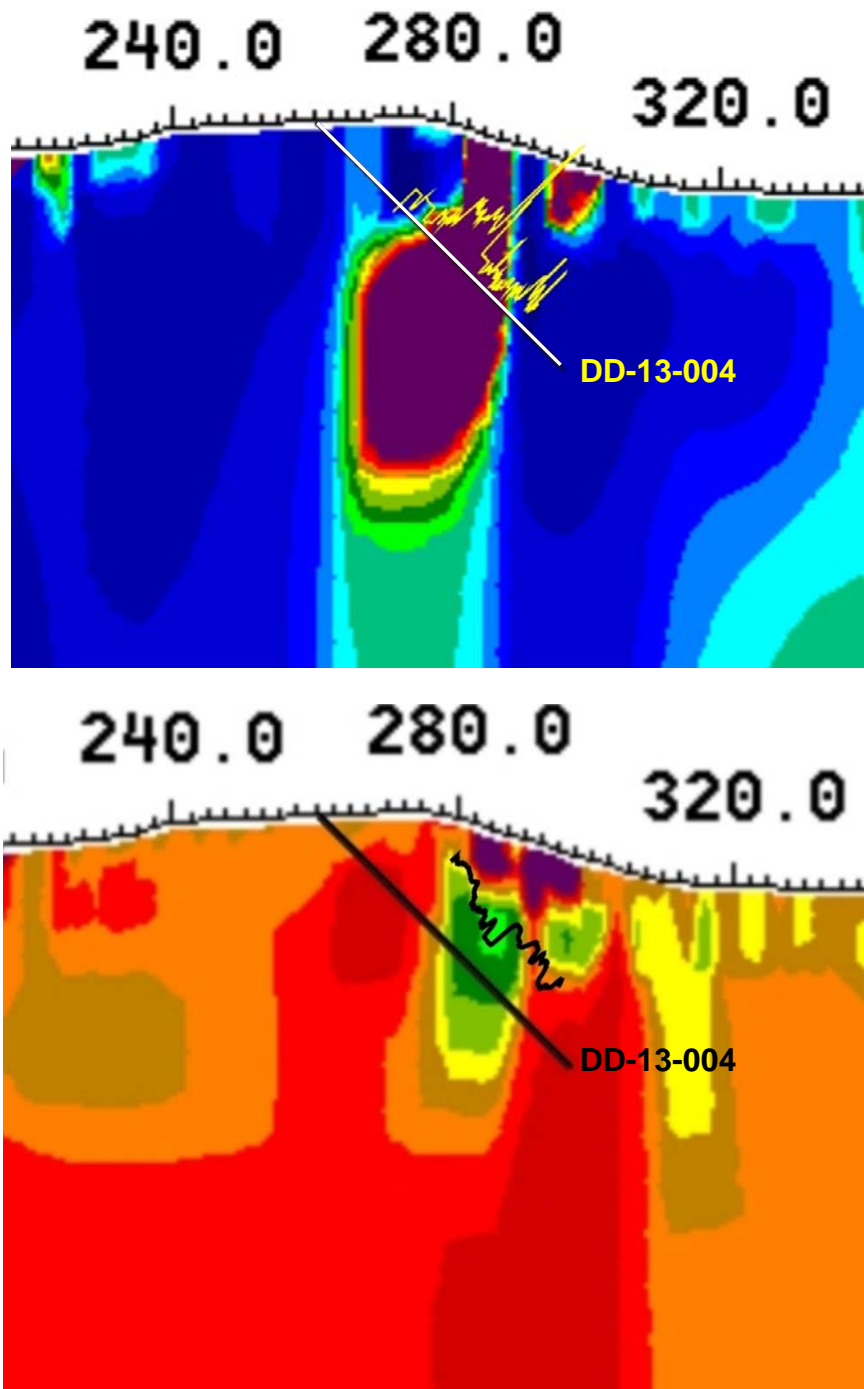
DD 13-011 Nussir
5.9.2013

UTM 389604 E
35W 7819222 N
360 m.o.h.



Figur 3.9. Nussir DD-13-008. Temperatur, ledningsevne i vann, total gamma, resistivitet, IP (lineær skala) og SP.

Figur 3.10 viser et utdrag av IP og 2D resistivitet fra bakkeprofil Pr 8, se kapittel 2. Borehull DD-13-011 ble boret på en tydelig IP anomali og traff malmsonen ved 24 m. IP logg fra borehullet er tegnet sammen med bakkeprofilen (øverst) og viser god korrelasjon med bakkemålingene. Nederst på figur 3.10 er vist tilsvarende resistivetsprofil og resistivetslogg. Malmsonen indikeres bare ned til 40 – 50 m på resistivetsprofilen, mens IP anomalien fortsetter mot dypet. Boringene og borehullsmålingene viser høy kobbergehalt og meget høy IP-effekt og lav resistivitet i den grunne delen av malmsonen slik at det er god korrelasjon mellom bakkemålingene og borehullsløggingen. Spredt impregnasjon av ledende mineraler kan gi IP-anomali, men trenger ikke gi resistivetsanomali (lav resistivitet).



Figur 3.10. IP (øverst) og resistivitet (nederst) langs profil 8 sammen med IP og resistivetslogg fra borehull DD-13-011.

DD-11-004

NGU var interessert i å logge temperatur i et dypt hull. DD-11-004 var boret til 461.9 m og påviste malmsonen ved 457.2 – 459.8 m dyp. Ved logging viste det seg at hullet var tett ved ca 330 m. En fikk dermed ikke logget i malmsonen. I dette hullet ble det også logget seismisk hastighet, P-bølgehastighet. Opptaksdata var av varierende kvalitet og det er svært vanskelig å avlese ankomsttider for S-bølgen. Figur 3.11 viser området hvor DD-11-004 er boret.



Figur 3.11. Lokaltet for DD-11-004.

Figur 3.12 og 3.13 (med P-bølgehastighet) viser logger fra DD-11-004. Både temperatur og ledningsevne i vann viser en svak endring ved ca 150 m dyp som kan indikere en åpen sprekk med vanninnslag. Temperaturgradienten under 150 m dyp er 12.5 °C/km som er litt høyere enn i DD-13-004 (10 °C/km).

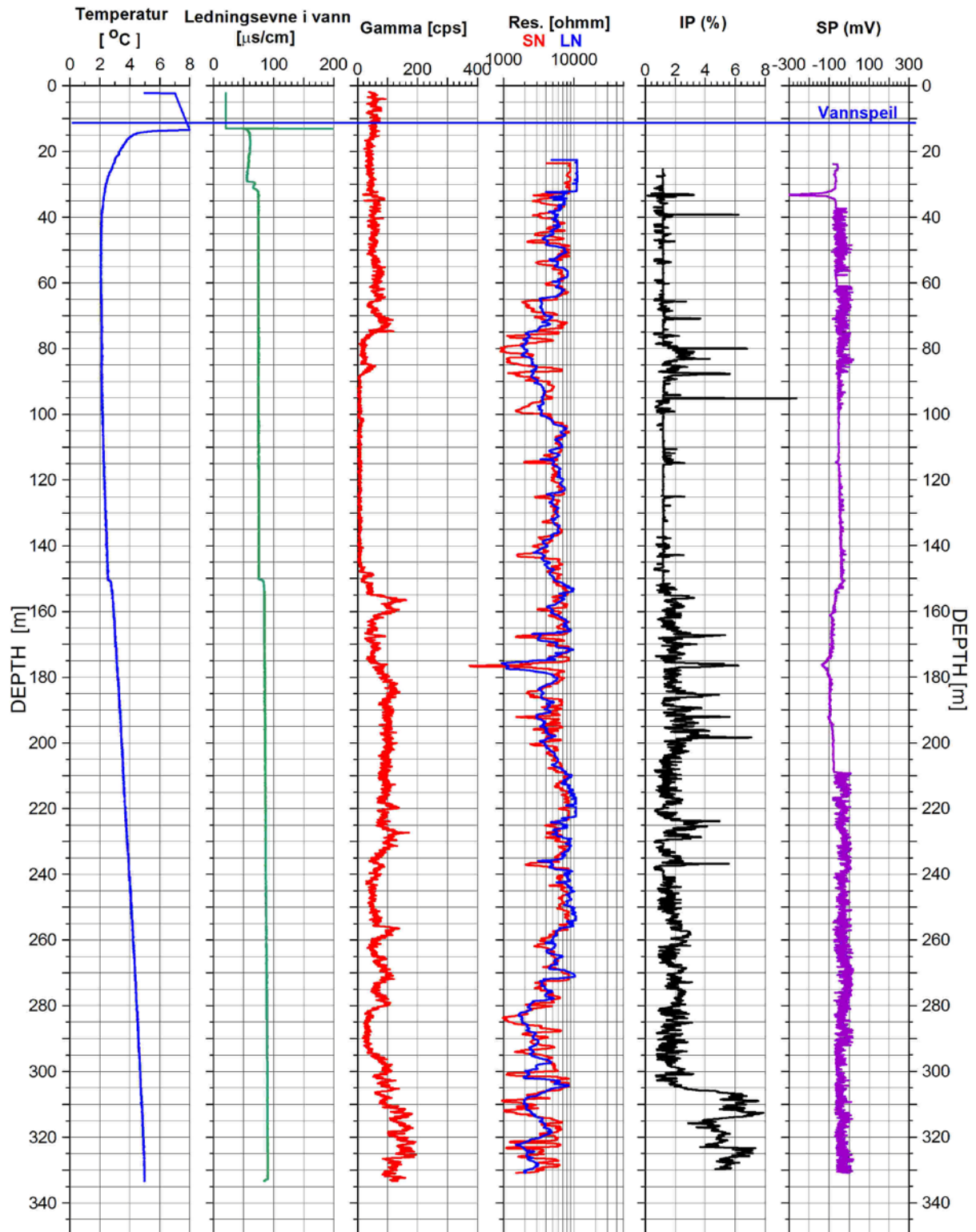
Gammastrålingen er generelt lav, men viser variasjoner som avspeiler geologien. Ned til ca 75 m er strålingen ca 50 cps i en basalt (Kjell Nilsen, Nussir). Fra 75 – 150 m er strålingen ekstremt lav i det som er beskrevet som en pyroklastisk tuff, ca 5 cps. Under 150 med er det tuff, mixed tuff med innslag av noe sandstein, 50 – 100 cps. Nederst, 310 – 330 m, øker gammastrålingen opp mot 200 cps, og bergarten er beskrevet som ”sandy” material, ”pyroclastic layers”. Denne seksjonen er også beskrevet som sterk magnetisk og det er observert mørke bånd med magnetitt (Kjell Nilsen, Nussir).

Resistiviteten er noe lavere enn i skifrene som beskrevet foran, men kommer stedvis opp i 10000 ohmm. Det registres flere soner med tydelig nedgang i resistiviteten, 1000 – 2000 ohmm. De fleste av disse sonene korrelerer med forhøyet IP-effekt som ved 40 m, 80 m, 167 m, 176 m og 210 m. I noen av disse sonene er det rapportert om pyritt, kobberkis og magnetitt (Kjell Nilsen, Nussir). Den kraftigste IP-effekten opptrer ved 305 – 330 m. Her er det observert magnetitt i bånd noe som viser at IP-anomalien ikke nødvendigvis skyldes Cu-sulfider men også Fe-oksider. Det er ikke observert SP anomalier i noen del av hullet.

Seismisk P-bølgehastighet, figur 3.13, ligger mellom 5000 og 6000 m/s hvilket er normalt for basalt/tuff. Stedvis går hastigheten ned i 4500 m/s som kan skyldes noe oppsprekking.

DD 11-004 Nussir
7.9.2013

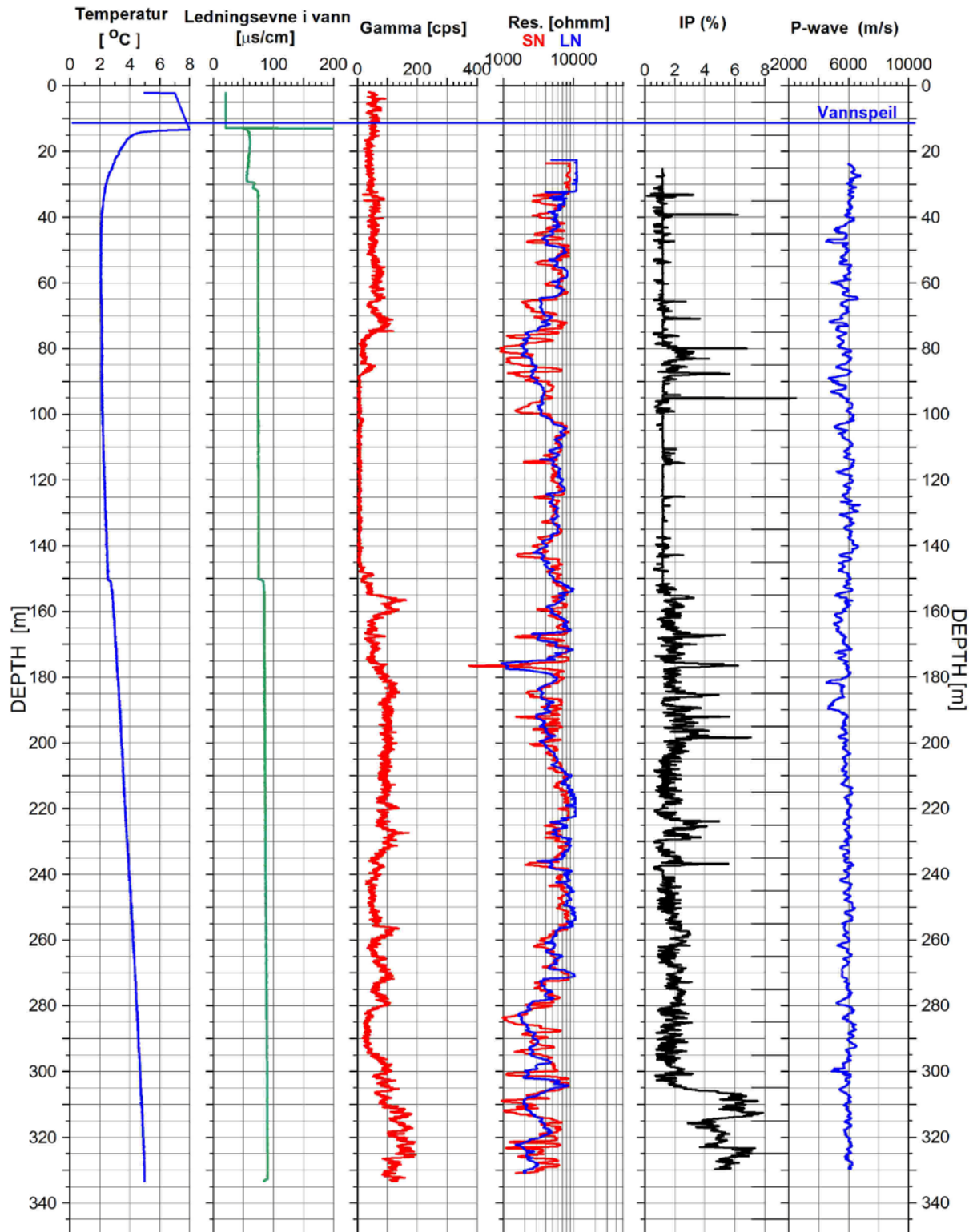
UTM 395411 E
35W 7819853 N
312 m.o.h.



Figur 3.12. Nussir DD-11-004. Temperatur, ledningsevne i vann, total gamma, resistivitet, IP og SP.

DD 11-004 Nussir
7.9.2013

UTM 395411 E
35W 7819853 N
312 m.o.h.



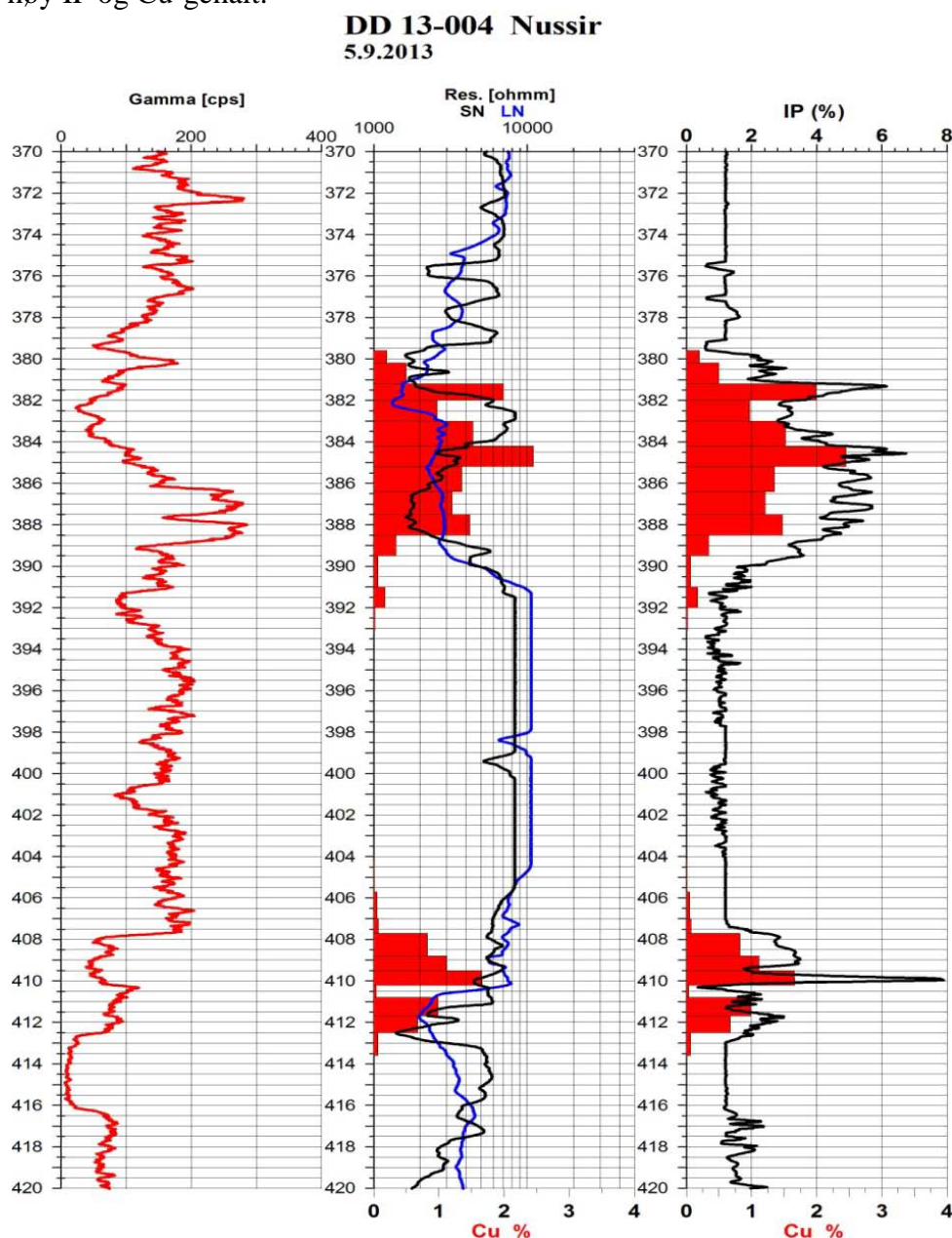
Figur 3.13. Nussir DD-11-004. Temperatur, ledningsevne i vann, total gamma, resistivitet, IP og P-bølge hastighet.

3.4 Korrelasjon mellom IP, resistivitet og Cu- Fe- S-innhold.

Der en har kjemiske analyser er det gjort korrelasjon mellom IP-effekt og Cu, Fe og S. Både kobberkis, bornitt og pyritt inneholder svovel og jern.

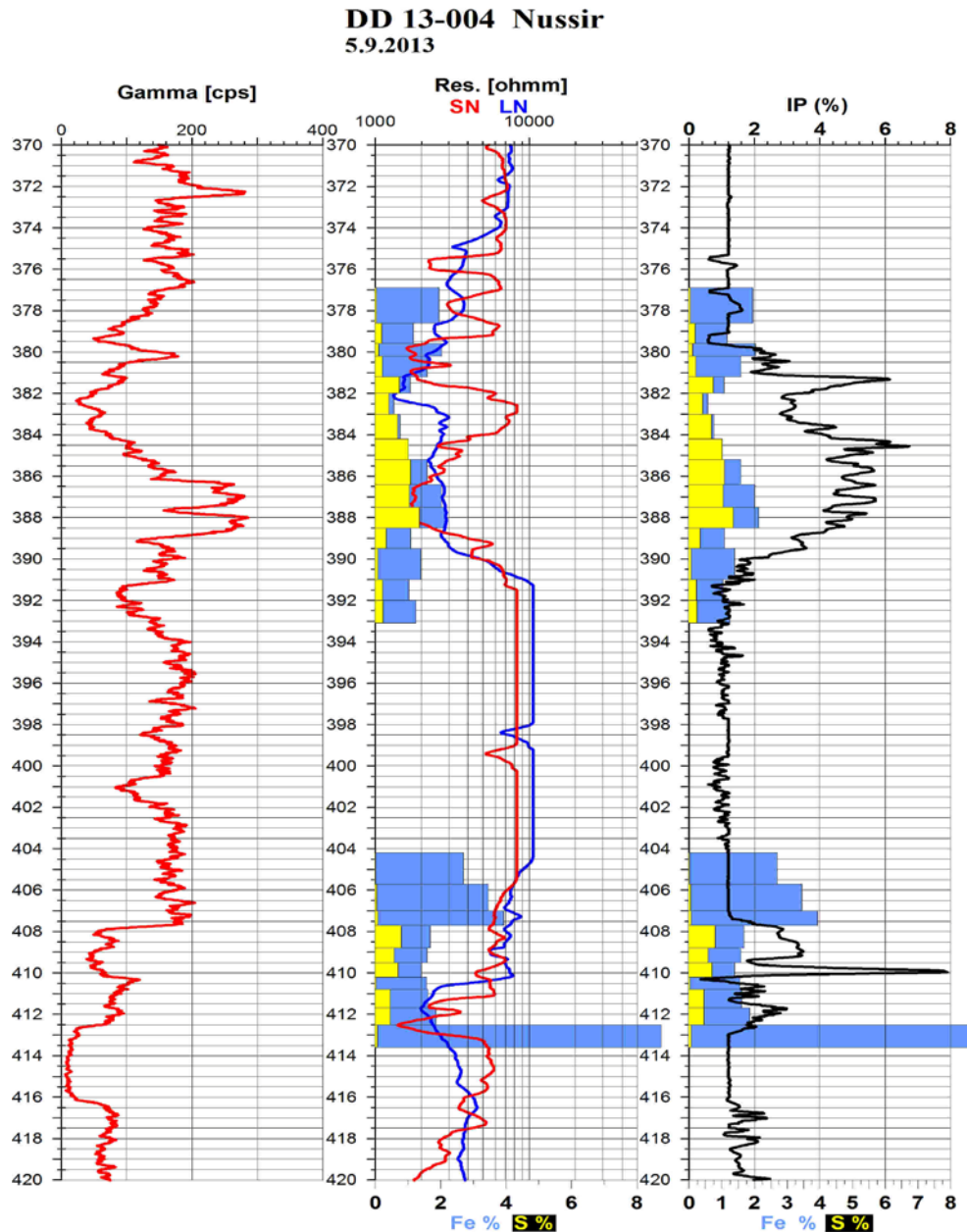
DD-13-004.

Figur 3.14 viser gamma, resistivitet og IP-effekt i DD-13-004 fra 370 – 420 m dyp der hullet skjærer gjennom to malmsoner. På samme plottet er vist Cu-gehalt i prosent (røde søyler). Søylene viser gjennomsnittsgehalt i en viss lengde av borehullet (ca 1 m). IP-målingene er gjort for hver cm. Korrelasjonen blir dermed ikke helt reell når det gjelder oppløsning, men en ser tydelig god korrelasjon mellom Cu-gehalt og IP-effekt. Lav resistivitet korrelerer også bra med høy IP og Cu-gehalt.



Figur 3.14. Cu-gehalt (rød), gamma, resistivitet og IP-effekt i malmsonen i DD-13-004.

Figur 3.15 viser tilsvarende plott som i figur 3.14 men nå med Fe- og S-gehalt i prosent. En vet at magnetitt kan gi IP-effekt samt at det er jern både i pyritt og kobberkis. En ser at det er dårlig korrelasjon mellom Fe og IP, spesielt i den nederste sonen. Derimot er det god korrelasjon mellom IP og S. Nå er det S både i pyritt, kobberkis og bornitt så det er vanskelig å si hvilke mineraler som her gir størst IP-effekt. Dette er planlagt belyst i masteroppgave ved NTNU.

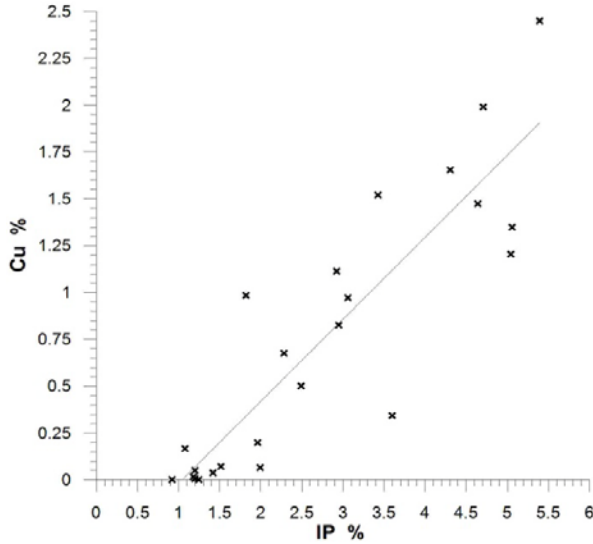


Figur 3.15. Fe (blå), S (gul), gamma, resistivitet og IP-effekt i malmsonen i DD-13-004.

Figur 3.16 viser korrelasjonsanalyse for IP-Cu og IP-Fe, mens figur 3.17 viser korrelasjon mellom IP og S. Det er beregnet gjennomsnittlig IP-effekt i de samme intervallene det er gjort kjemiske analyser i. Den gjennomsnittlige IP-effekten er benyttet i analysen. Korrelasjonen blir derfor ikke helt riktig utført da både IP og Cu-gehalt kan variere på cm-nivå. Det er likevel god korrelasjon mellom IP-Cu ($R^2=0.79$) og IP-S ($R^2=0.80$). Det er dårlig korrelasjon mellom IP og Fe ($R^2=0.09$). En merker seg at fravær av Cu og S gir en IP-effekt på ca 1 %, noe en kjenner fra tidligere målinger.

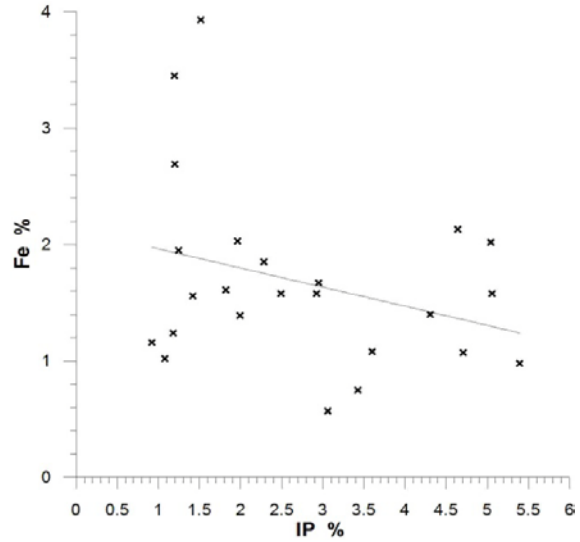
Fit Results

Fit 4: Linear
 Equation $Y = 0.4400858851 * X - 0.4660690228$
 Number of data points used = 25
 Average X = 2.67221
 Average Y = 0.709932
 Residual sum of squares = 2.59083
 Regression sum of squares = 10.0236
Coef of determination, R-squared = 0.794614
 Residual mean square, sigma-hat-sq'd = 0.112645



Fit Results

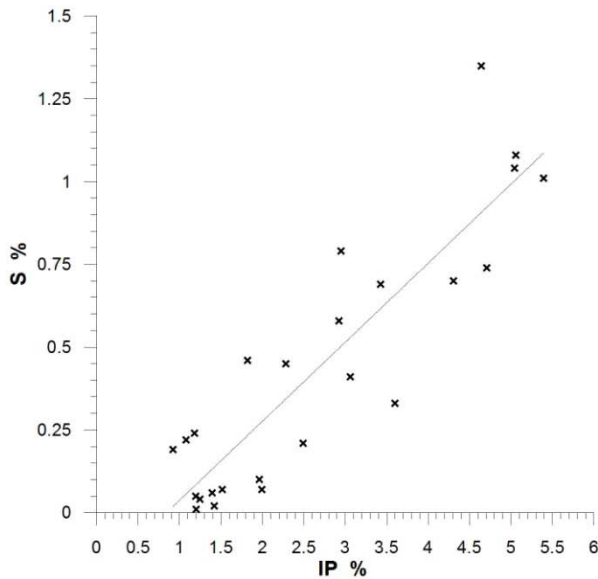
Fit 5: Linear
 Equation $Y = -0.1641764852 * X + 2.126217799$
 Number of data points used = 24
 Average X = 2.72553
 Average Y = 1.67875
 Residual sum of squares = 12.8395
 Regression sum of squares = 1.34901
Coef of determination, R-squared = 0.0950778
 Residual mean square, sigma-hat-sq'd = 0.583612



Figur 3.16. Korrelasjon IP-Cu (venstre) og IP-Fe (høyre) i DD-13-004.

Fit Results

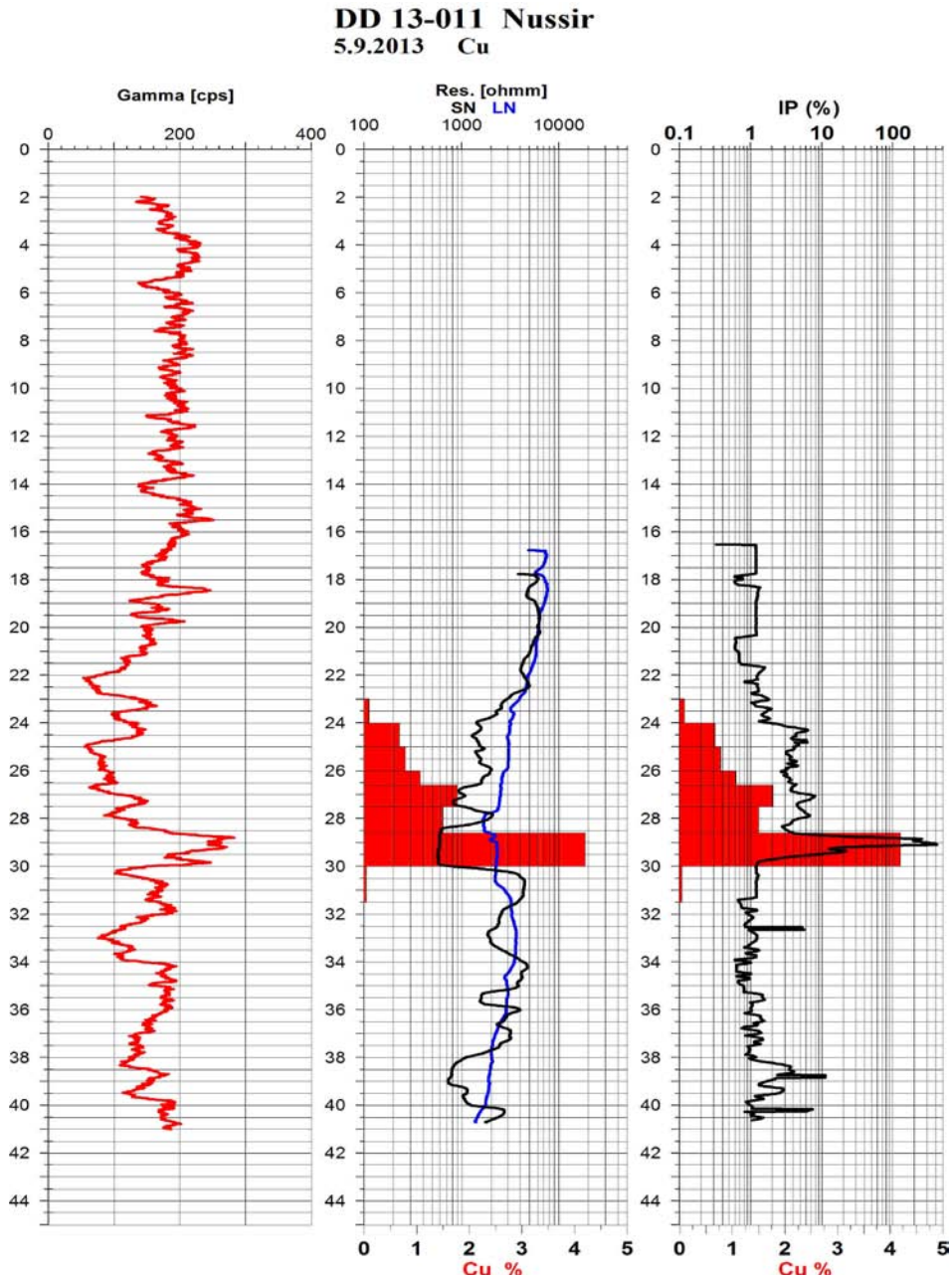
Fit 5: Linear
 Equation $Y = 0.2387351298 * X - 0.2015499238$
 Number of data points used = 25
 Average X = 2.67221
 Average Y = 0.4364
 Residual sum of squares = 0.759253
 Regression sum of squares = 2.94972
Coef of determination, R-squared = 0.795293
 Residual mean square, sigma-hat-sq'd = 0.033011



Figur 3.17. Korrelasjon IP-S i DD-13-004.

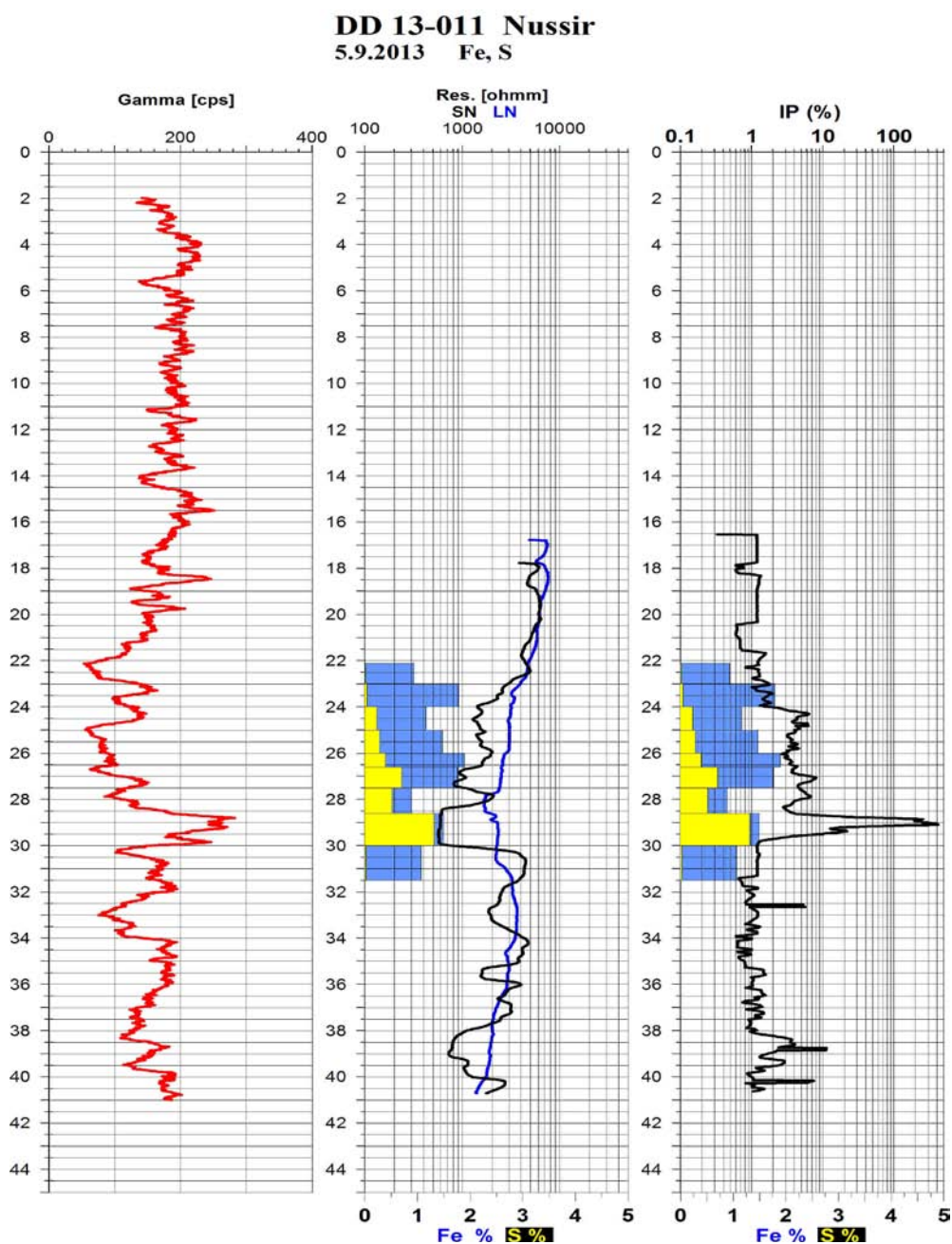
DD-13-011.

Figur 3.18 viser Cu-gehalt i malmsonen i DD-13-011 plottet sammen med gamma, resistivitet og IP-effekt. IP og resistivitet korrelerer godt med Cu-gehalter. Lav resistivitet faller sammen med høy Cu og høy IP. Det er særlig SN, som har størst oppløsning, som viser dette.



Figur 3.18. Cu-gehalt (rød), gamma, resistivitet og IP-effekt i malmsonen i DD-13-011.

Figur 3.19 viser gehalter av Fe og S plottet sammen med gamma, resistivitet og IP-effekt for borehull DD-13-011. Svovel korrelerer godt med IP. Dette kan tyde på at det er kobbermineraler som styrer den målte IP-effekt.

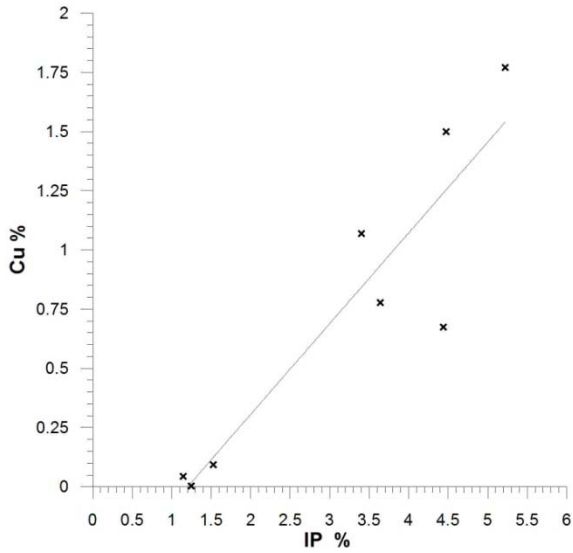


Figur 3.19. Fe (blå), S (gul), gamma, resistivitet og IP-effekt i malmsonen i DD-13-011.

Figur 3.20 viser korrelasjonsanalyse for IP-Cu og IP-Fe, mens figur 3.21 viser korrelasjon mellom IP og S. Det er beregnet gjennomsnittlig IP-effekt i de samme intervallene det er gjort kjemiske analyser. Den gjennomsnittlige IP-effekten er benyttet i analysen. Korrelasjonen blir derfor ikke helt riktig utført da både IP og Cu-gehalt kan variere på cm-nivå. Det er likevel god korrelasjon mellom IP-Cu ($R^2=0.84$) og IP-S ($R^2=0.81$). Det er dårlig korrelasjon mellom IP og Fe ($R^2=0.03$).

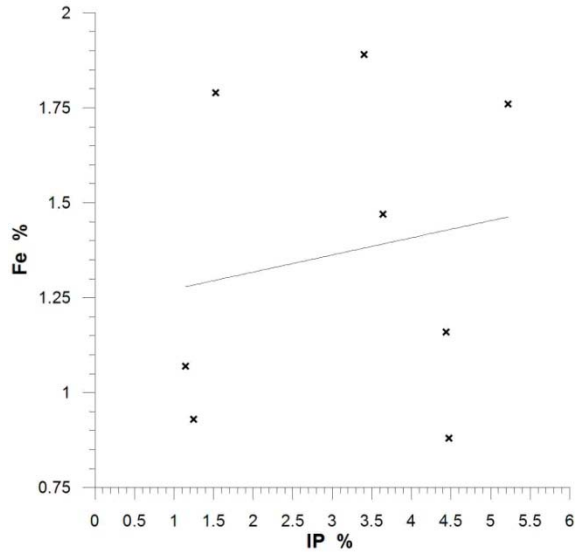
Fit Results

Fit 8: Linear
 Equation $Y = 0.3830784557 * X - 0.4601567307$
 Number of data points used = 8
 Average X = 3.13687
 Average Y = 0.741513
 Residual sum of squares = 0.515369
 Regression sum of squares = 2.68399
Coef of determination, R-squared = 0.838915
 Residual mean square, sigma-hat-sq'd = 0.0858948



Fit Results

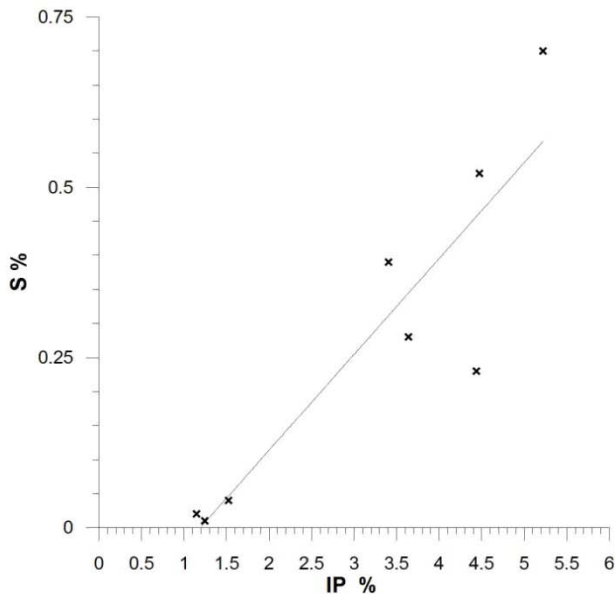
Fit 4: Linear
 Equation $Y = 0.04513638645 * X + 1.227162798$
 Number of data points used = 8
 Average X = 3.13687
 Average Y = 1.36875
 Residual sum of squares = 1.13943
 Regression sum of squares = 0.0372614
Coef of determination, R-squared = 0.0316663
 Residual mean square, sigma-hat-sq'd = 0.189904



Figur 3.20. Korrelasjon IP-Cu (venstre) og IP-Fe (høyre) i DD-13-011.

Fit Results

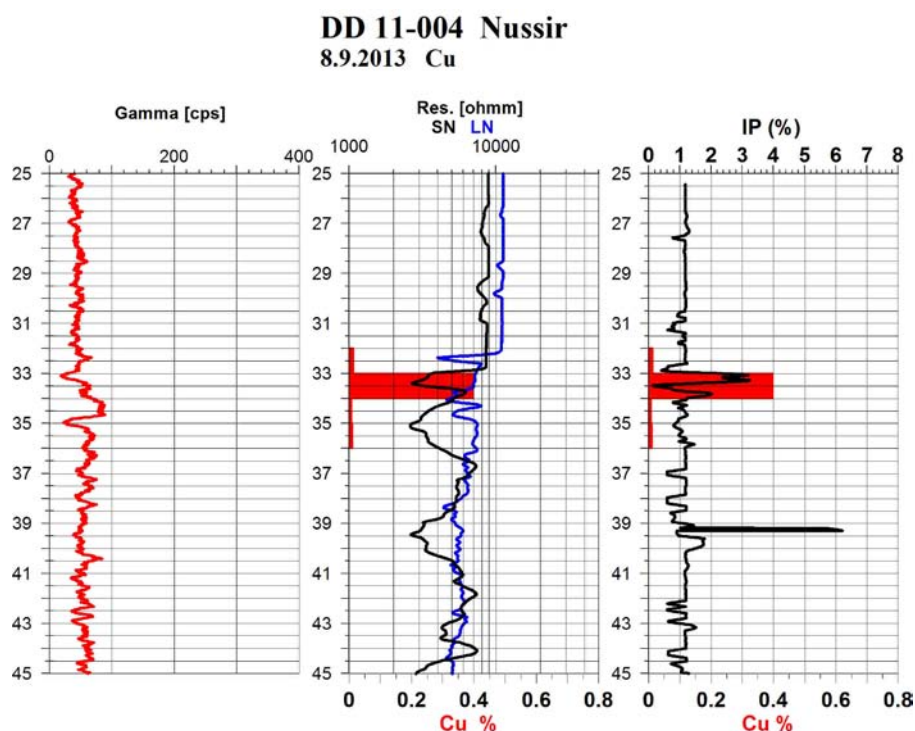
Fit 7: Linear
 Equation $Y = 0.1408224666 * X - 0.167992475$
 Number of data points used = 8
 Average X = 3.13687
 Average Y = 0.27375
 Residual sum of squares = 0.083686
 Regression sum of squares = 0.362701
Coef of determination, R-squared = 0.812526
 Residual mean square, sigma-hat-sq'd = 0.0139477



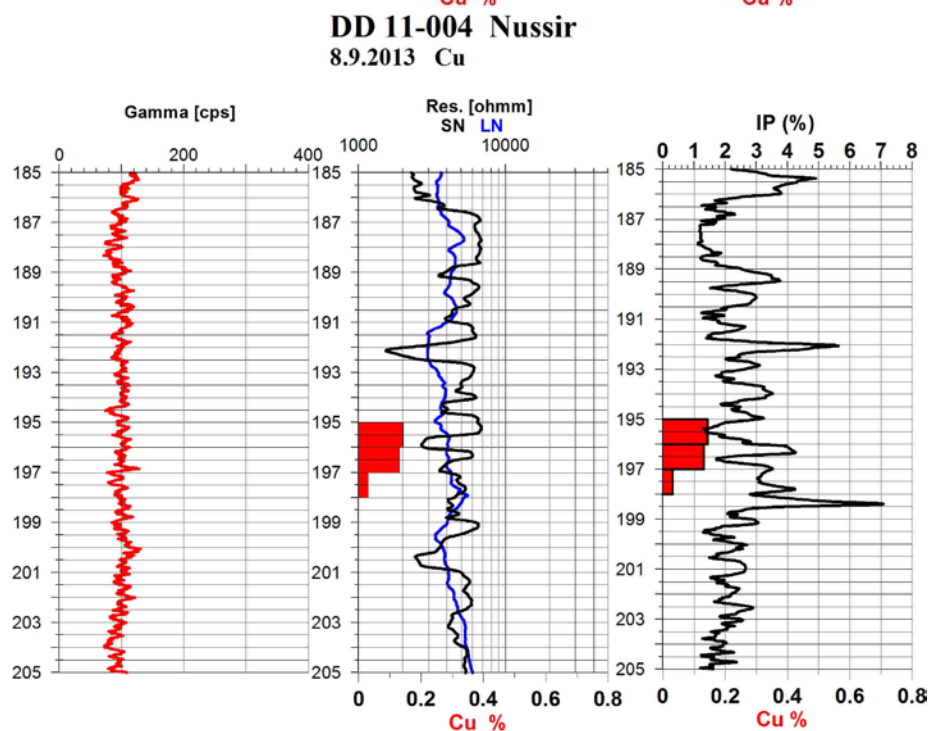
Figur 3.21. Korrelasjon IP-S i DD-13-011.

DD-11-004

Borehull DD-11-004 var tett ved ca. 330 m. På grunn av dette fikk en ikke målt IP i malmsonen ved 454 – 460 m dyp. Det er gjort analyser på to grunnere soner med svak mineralisering som gir utslag på IP, 32 – 36 m og 195 – 198 m dyp. Det er ikke gjort analyser på IP-anomalien ved 305 – 330 m dyp men den skyldes trolig magnetitt, se kapittel 3.3 beskrivelse av IP-logg. Figur 3.22 og 3.23 viser Cu-gehalt i de nevnte sonene plottet sammen med gamma, resistivitet og IP-effekt. Det er veldig lave gehalter, men sonen ved 33.5 m har forhøyet IP trolig forårsaket av kobberminerale. Ved 196.5 m ser en tilsvarende. Det er observert kobberkis og pyritt ved 33 - 34 m. En burde hatt analyser ved 186, 192 og 198.5 m.

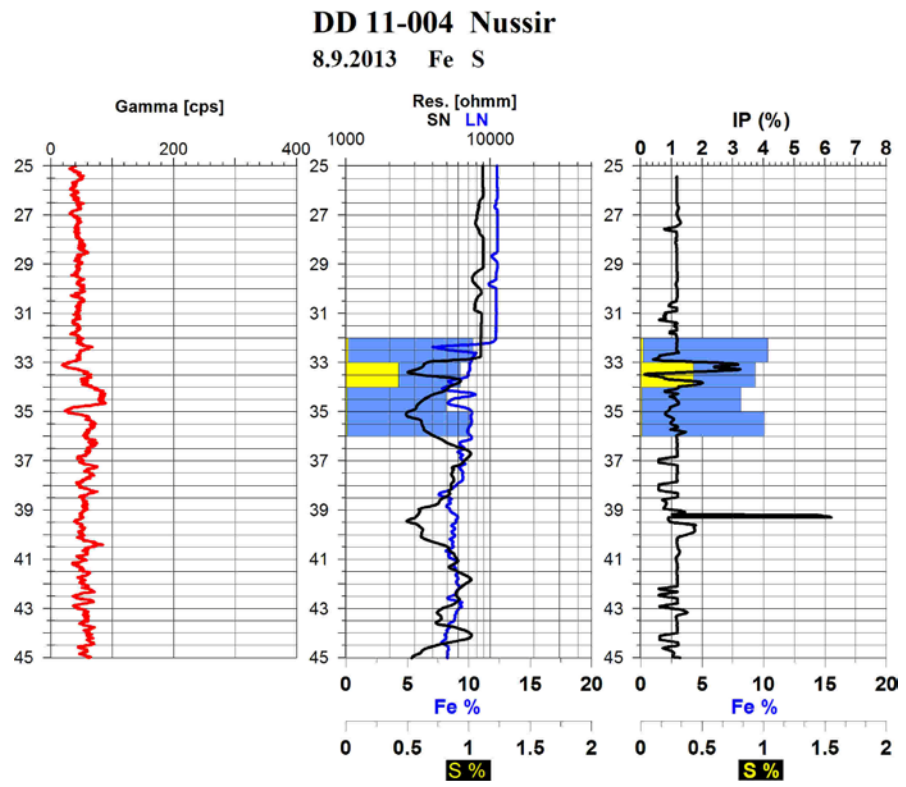


Figur 3.22. Cu-gehalt (rød), gamma, resistivitet og IP ved 32 - 36 m, DD-11-004.

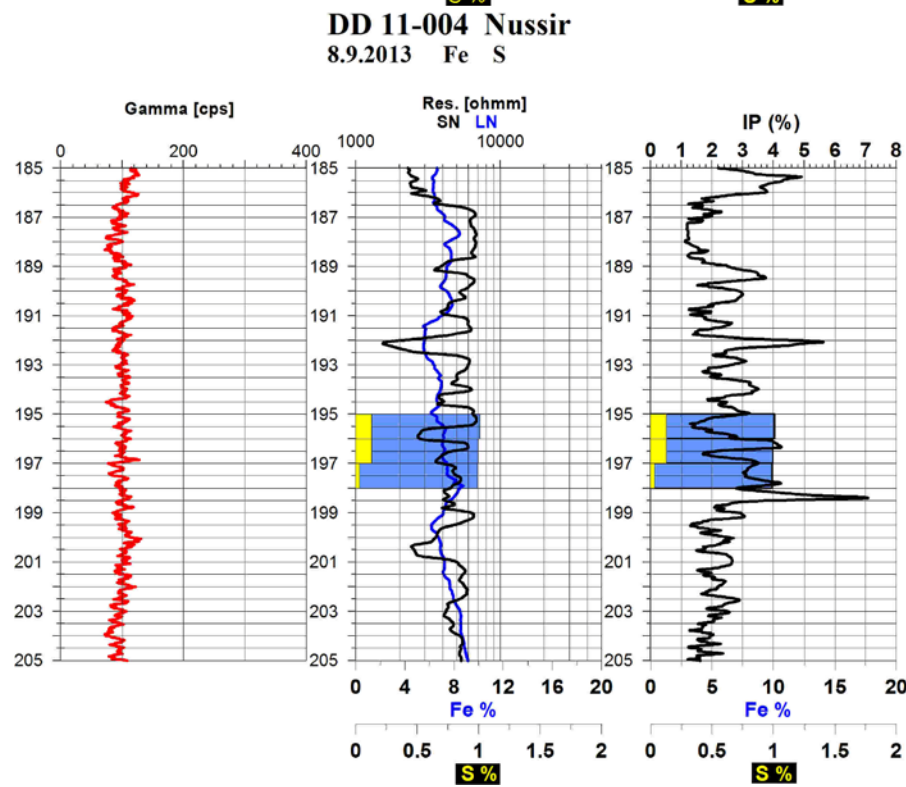


Figur 3.23. Cu-gehalt (rød), gamma, resistivitet og IP ved 195 - 198 m, DD-11-004.

Figur 3.24 og 3.25 Fe- og S-gehalt i sonene ved 32 - 36 m og 195 - 198 m. Den grunne sonen, figur 3.24, ser ut til å falle sammen med en svak IP-anomali og viser forhøyet S-innhold. Som nevnt foran er det observert tynne bånd av kobberkis og pyritt her. Det forholdsvis høye jerninnholdet, 9 - 10 %, skyldes trolig magnetitt, men det er ikke rapportert om det i loggen (Kjell Nilsen, Nussir). Det samme kan sies om sonen ved 195 - 198 m, figur 3.25, men her er det rapportert om magnetitt.

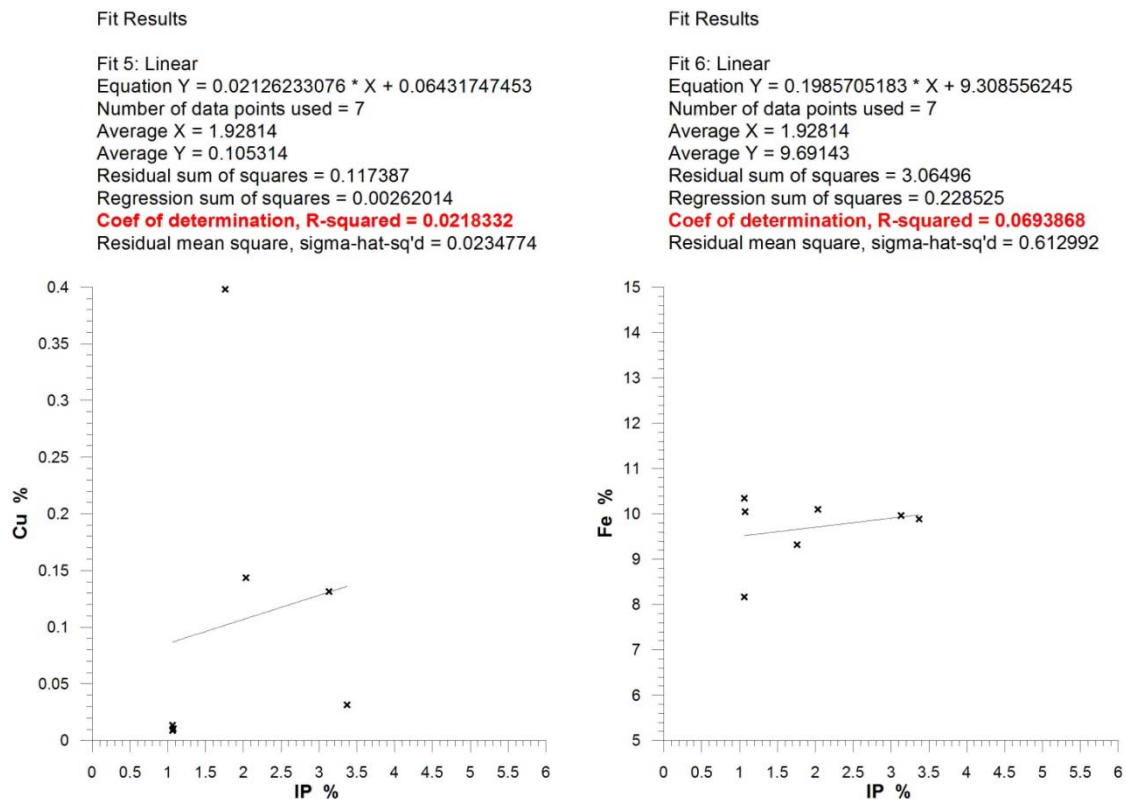


Figur 3.24. Fe (blå), S (gul), gamma, resistivitet og IP ved 32 - 36 m, DD-11-004.

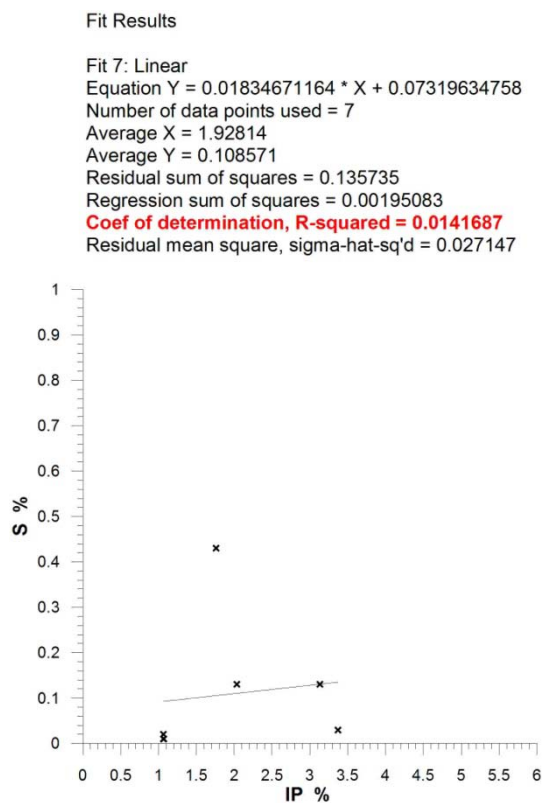


Figur 3.25. Fe (blå), S (gul), gamma, resistivitet og IP ved 195-198 m, DD-11-004.

Figur 3.26 viser korrelasjonsanalyse for IP-Cu og IP-Fe, mens figur 3.27 viser korrelasjon mellom IP og S fra borehull DD-11-004. Analysen viser at det i dette tilfellet er dårlig korrelasjon noe som kan skyldes få prøver.



Figur 3.26. Korrelasjon IP-Cu (venstre) og IP-Fe (høyre) i DD-11-004.



Figur 3.27. Korrelasjon IP-S i DD-11-004.

4. DISKUSJON

Borehullsmålingene har vist at IP er meget godt egnet til å detektere kobbermineraliseringen i malmsonen og det er god korrelasjon mellom IP-effekt og Cu- og S-gehalt. Borehullsloggingen har også avdekt tre andre årsaker til IP-effekt i området, magnetitt (DD-11-004, dyp 320), grafitt i kombinasjon med pyritt (DD-13.008) og pyritt/kobberkis/magnetitt (DD-11-004). Som skissert ved inngåelse av samarbeidsavtale, bør det foretas et mer inngående studium av IP-effekt og mineralogi. Det er ikke diskutert hvilke kobbemineraler som (kobberkis, bornitt) som gir best korrelasjon med IP. Det er ikke indikert ny mineralisering av interessante gehalter, men en har fått IP-anomalier i samme størrelsesorden som i malmsonen utenfor malmsonen (DD-13-008 og DD-11-004). Disse er forklart med magnetitt og pyritt som også gir IP-effekt.

Borehullsloggingen påviste noe overraskende SP-anomali (Selv-Potensial) på kobbermineraliseringene og mindre overraskende ved pyritt/grafitt mineraliseringen i DD-13-008 (NGU-hullet). Sistnevnte viste en anomali på ca. 350 mV. Ved Cu-mineraliseringene var anomaliene ca. 100 mV. SP er en meget enkel og rask metode, og det bør vurderes om ikke metoden kan benyttes til å følge Nussir-mineraliseringens utgående. Magnetittmineralisering i DD-11-004 viste IP-anomali, noe lavere resistivitet men ikke SP-anomali. Kanskje kan kombinasjonen av disse tre gi en bedre bestemmelse av mineralogi ved IP-anomalier.

Bakkemålingene har gitt markerte IP-anomalier på samtlige profiler, men det er klare forskjeller i anomalimønstret og sammenhengen mellom resistivitet og IP på profilene. Profilene 6 og 7 som ligger i ombøyningen lengst øst i måleområdet, har gitt lav resistivitet (ca. 150 ohmm) og meget høy IP (ca. 100 ms). Dette indikerer at malmsonen er moderat ledende i dette området, og ikke en typisk impregnasjonsmalm. Det var knyttet stor interesse til om det kunne være to malmhorisonter i dette området, men målingene viser at dette er lite sannsynlig. Det er en svak IP-anomali på dypet på profil 7 vest for malmsonen, men denne er meget svak og har ikke gitt noen anomali på resistiviteten.

Videre mot nord ble profil 14 målt på slutten av måleperioden, for å se om det kunne være indikasjoner på to malmhorisonter her. Dessverre er som tidligere nevnt måledata her meget usikre på grunn av kortslutning mellom noen elektroder. Målingene viser forhøyet IP der en kan se malmsonens utgående, men ikke en like markert lavresistivitetssone som for profil 6 og 7. Dette kan bety at malmsonen her ikke er like godt ledende som lengre sør. Når det gjelder spørsmålet om to malmsoner gir måledata ikke noe sikkert svar på det. Det er riktignok forhøyet IP i søkket nordøst for den kjente malmsonen, og det er markert to IP-soner der. Men disse er usikre selv om den ene ved koordinat 225 har gitt lav resistivitet ned til ca. 25 meter.

I den vestligste delen av måleområdet, hvor de fleste profilene ble målt, er det som kartbilag -02 og -03 viser, flere IP-anomalier. Malmsonen er som kartbilag -03 viser, knyttet til kobberførende dolomitt som ligger i en sekvens med siltstein og leirskifer. Et fellestrekk er at flesteparten av de anomaliene som ligger inne i denne sekvensen med siltstein og leirskifer også gir lav resistivitet, selv om disse ikke er like markert som på profil 6 og 7. De IP-anomaliene som er påvist i det underliggende dacittporfyrittkonglomeratet, viser ingen sammenfall med lav resistivitet. Noen av anomaliene ble testet ved boring, og spesielt viste anomalien ved koordinat 285 (Bh 13-011) å representere flere meter med kobbermineralisering. Det samme gjelder også for anomalien på koordinat 250 på profil 11, selv om måledata viser at hullet kan ha vært satt på for nært utgående.

Det ble også boret noen hull som ikke viste kobbermineraliseringer ved IP-anomalier. Det vil være av stor viktighet å få analysert borekjernene fra disse borehullene, for å få se om en kan påvise årsaken til disse anomaliene.

Et gjennomgående trekk er at flere av IP- anomalier ikke går i overflaten av de viste seksjonene. Dette kan være et bilde av løsmassemektingen, men det kan også tenkes at de IP-givende mineralene er forvitret og dermed fraværende. Flere anomalier indikerer en betydelig bredde (≈ 20 m). Modellberegninger har vist at indikasjon på en betydelig bredde mot dypet ikke alltid er reell, men kan være en kunstig effekt (Reiser et al. 2009). Et sant bilde av bredden kan avleses i utgående av en sone.

I Nussir er den økonomiske malmen stratigrafisk knyttet til samme geologiske horisont slik at det er liten sannsynlighet til å finne interessant mineralisering over eller under denne horisonten (dolomitt). IP-målingene har gitt ny viten om IP-effekt og kobbermineralisering som kan komme til nytte i andre sammenhenger.

På bakkeprofil P8 ble det boret på en meget tydelig IP-anomali. Logging av IP stemte meget godt med indikasjonen på bakkemålingene. Dette er også en viktig informasjon og viser at bakkemålingene gir meget gode data. Imidlertid er det også boret på IP-anomalier som ikke har påvist mineralisering. Her kunne det vært logget for å se om bakkeanomalien var reell og avkreft om mineralisering i kjernene kunne vært oversett.

5. KONKLUSJONER

Måling av Indusert Polarisasjon (IP) i borehull har vist en meget god korrelasjon mellom IP - Cu og IP - S. Det er imidlertid også påvist IP-anomalier på magnetitt, i grafitt med noe pyritt og i en kombinasjon av pyritt-kobberkis-magnetitt. Det er derfor minst fire typer mineraliseringer som kan gi IP-effekt i området. Ved alle disse tre typene er det påvist lavere resistivitet.

Noe uventet er det også påvist SP-anomali (Selv-Potensial) på Cu-mineraliseringene og på grafitt/pyritt-sone ved borehullsmålingene. Sistnevnte gir klart størst effekt. Det bør vurderes om ikke billige SP-målinger burde vært benyttet for å følge Nussir-mineraliseringens utgående.

Måling av Indusert Polarisasjon og resistivitet sommeren 2013 påviste flere anomale soner, og Nussir-mineraliseringen kunne bekreftes videre mot vest ved kjerneboring. Det ble også boret mot IP-anomalier som ikke viste Cu-mineralisering. Her burde det vært utført geofysiske målinger i borehullene, eventuelt en mer nøyaktig logging av kjernene, for å avklare anomaliårsak.

Det er påvist IP-anomalier uten tilsvarende resistivitetsanomali utenfor den kobberførende dolomitten, i et dacittporfyritt- konglomerat lengre mot sør og vest. Ut fra foreliggende kunnskap om geofysiske anomalier og mineraliseringer er det ikke mulig si noe om type mineralisering. Disse burde følges opp med kjerneboring og borehullslogging.

6. REFERANSER

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

Dahlin, T. 1993: On the Automation of 2D Resistivity Surveying for Engineering and Environmental Applications. Dr. Thesis, Department of Engineering Geology, Lund Institute of Technology, Lund University. ISBN 91-628-1032-4.

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

Dalsegg, E. & Rønning, J.S. 2011: Geofysiske målinger Nussir - Ulveryggen, Kvalsund kommune, Finnmark. *NGU Rapport 2011.072*.

Loke, M.H. 2011: RES2DINV ver. 3.59.102. Geoelectrical Imaging 2D & 3D. Instruction manual. www.geoelectrical.com.

Olesen, O., Balling, N., Barrère, C., Breiner, N., Davidsen, B., Ebbing, J., Elvebakk, H., Gernigon, L., Koziel, J., Lutro, O., Midttømme, K., Nordgulen, Ø., Olsen, L., Osmundsen, P. T., Pascal, C., Ramstad, R. K., Rønning, J. S., Skilbrei, J. R., Slagstad, T., & Wissing, B. 2007: KONTIKI Final Report, Continental Crust and Heat Generation in 3D. *NGU Report 2007.042*.

Pascal, C., N., Barrère, C., Davidsen, B., Ebbing, J., Elvebakk, H., Gernigon, L., Olesen, O., Roberts, D., Siedlecka, A., Skilbrei, J. R., Slagstad, T., & Willemoes-Wissing, B. 2008: HeatBar Report 2008, Basement Heat Generation and Heat Flow in the western Barents Sea - Importance for hydrocarbon systems. *NGU Report 2008.072*.

Pascal, C., Balling, N., Barrère, C., Davidsen, B., Ebbing, J., Elvebakk, H., Mesli, M., Roberts, D., Slagstad, T. & Willemoes-Wissing, B. 2010: HeatBar Final Report 2010, Basement Heat Generation and Heat Flow in the western Barents Sea - Importance for hydrocarbon systems. *NGU Report 2010.030*.

Reiser, F., Dalsegg, E., Dahlin, T., Ganerød, G. & Rønning, J.S. 2009: "Resistivity Modelling of Fracture Zones and Horizontal Layers in Bedrock". *NGU Report 2009.070*, pp. 1-120, 2009.

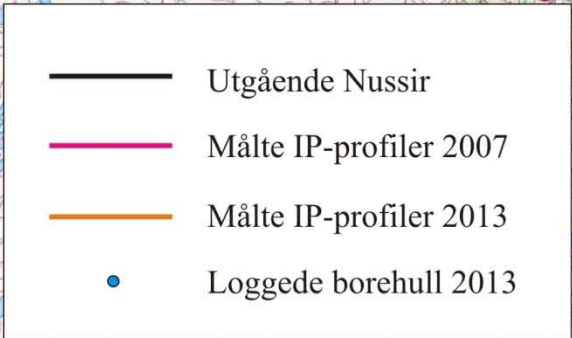
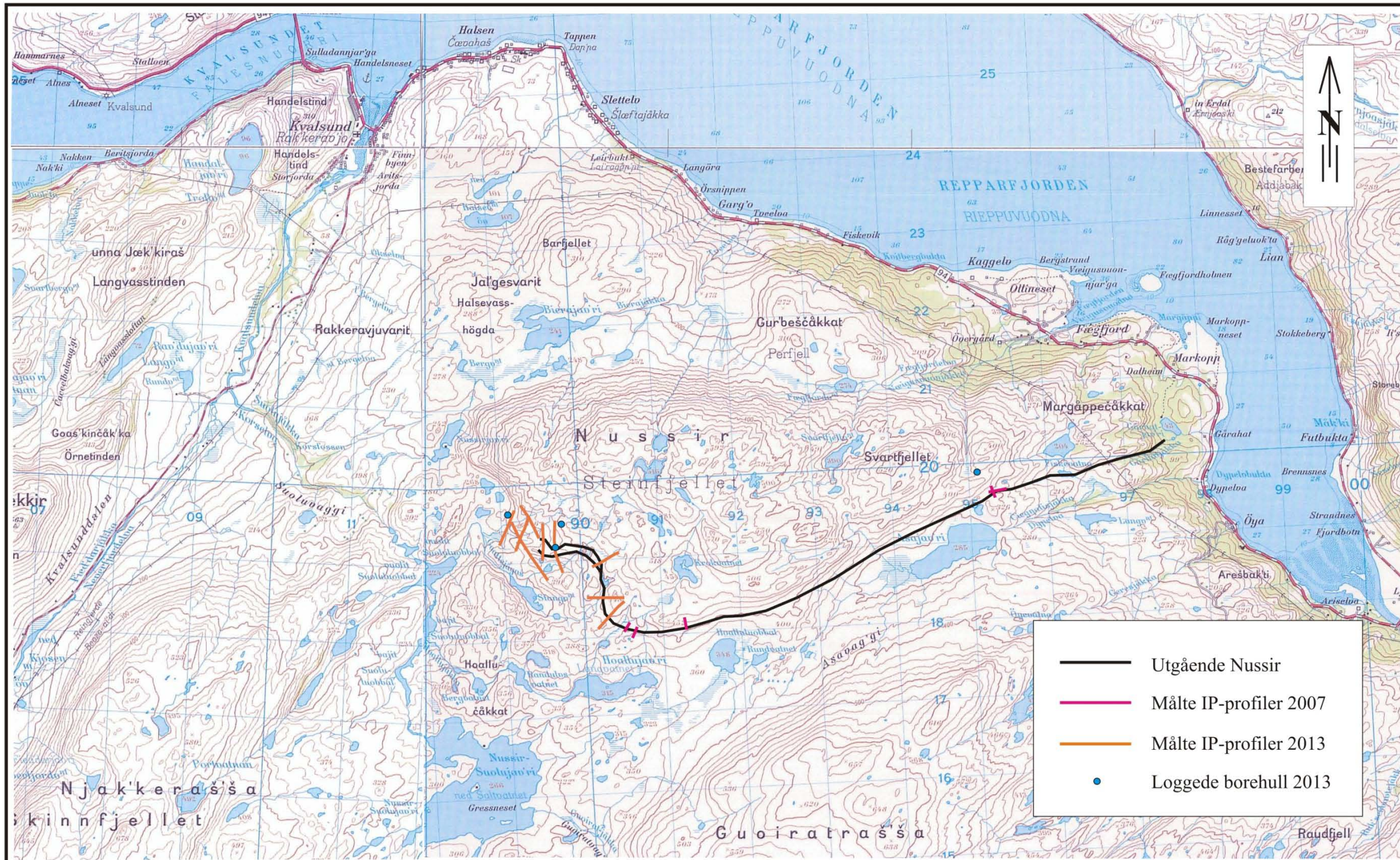
Rønning, J.S., Dalsegg, E. & Walker, P. 2007: Vurdering av helikoptergeofysikk over Nussirforekomsten, Kvalsund kommune i Finnmark. *NGU Rapport 2007.060*.

Thunhead, H. & Olsson, O. 2004: Borehole corrections for a thick resistivity probe. *JEEG, December 2004, Volume 9, Issue 4*.

Innmålte IP/res.-profiler Nussir med IP-anomalier
 WGS-84, Sone 35 V

Profil	Koordinat	UTM-øst	UTM-nord	IP-anomalier
IP-6	0	390502	7818453	
	100	390425	7818390	
	200	390362	7818317	
	250	390328	7818281	250
	300	390294	7818244	
	400	390228	7818172	
	500	390163	7818099	
IP-7	0	390501	7818497	
	100	390408	7818503	
	200	390315	7818502	
	270	390246	7818501	270
	300	390216	7818500	
	400	390117	7818502	
	500	390023	7818495	
IP-8	0	389613	7819486	
	100	389612	7819385	
	200	389605	7819288	
	285	389607	7819200	285
	300	389607	7819185	
	400	389623	7819091	
	500	389644	7819002	
	600	389680	7818910	
	610	389683	7818901	610
700	389712	7818817		
IP-9	0	389459	7819450	
	100	389462	7819352	
	115	389462	7819337	115
	200	389465	7819250	
	300	389468	7819157	
	330	389465	7819128	330
	400	389459	7819059	
500	389453	7818963		
IP-10	0	389062	7819464	
	100	389103	7819372	
	200	389145	7819290	200
	300	389196	7819203	300
	400	389251	7819121	400
	500	389303	7819038	
	600	389354	7818957	
	640	389378	7818925	640
	700	389413	7818878	
	800	389471	7818797	
900	389524	7818715		
IP-11	0	389280	7819538	
	100	389252	7819446	

	110	389249	7819437	110
	200	389224	7819357	
	250	389204	7819315	250
	300	389183	7819273	
	400	389147	7819181	
	500	389115	7819090	
IP-12	0	389169	7819676	
	100	389220	7819595	
	200	389282	7819518	
	300	389325	7819429	
	400	389370	7819340	
	430	389383	7819314	430
	500	389413	7819252	
IP-13	0	389095	7819611	
	100	389065	7819520	
	150	389045	7819474	150
	200	389024	7819427	
	215	389019	7819414	215
	275	388997	7819362	275
	300	388988	7819340	
	395	388946	7819255	395
	400	388944	7819251	
	500	388907	7819160	
IP-14	0	390432	7819076	
	100	390342	7819033	
	185	390271	7818992	185
	200	390259	7818985	
	225	390238	7818971	225
	295	390178	7818933	295
	300	390174	7818930	
	400	390085	7818892	

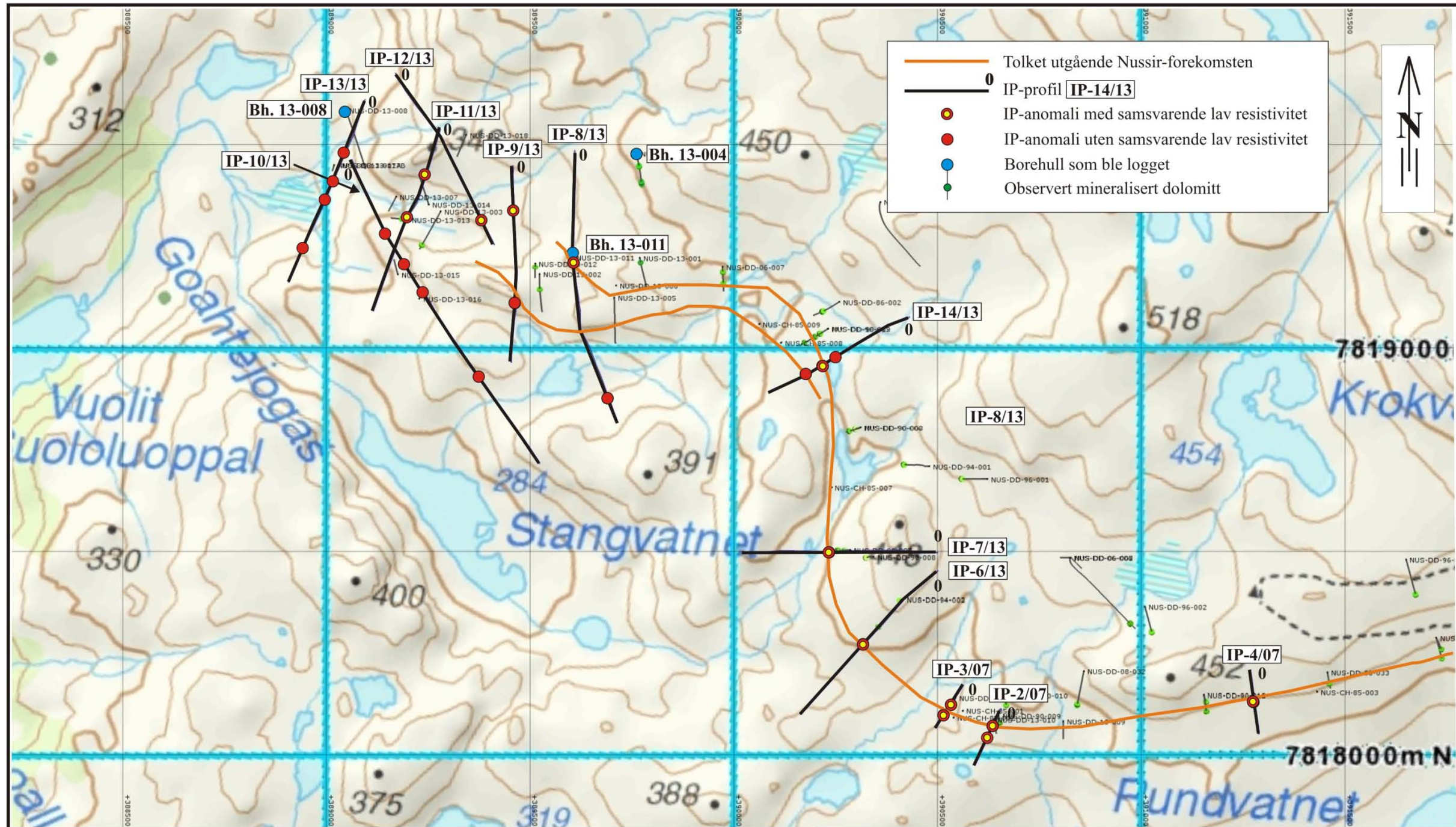


NUSSIR ASA - NGU
 OVERSIKTSKART MED PROFILER OG BOREHULL
NUSSIR
 KVALSUND, FINNMARK

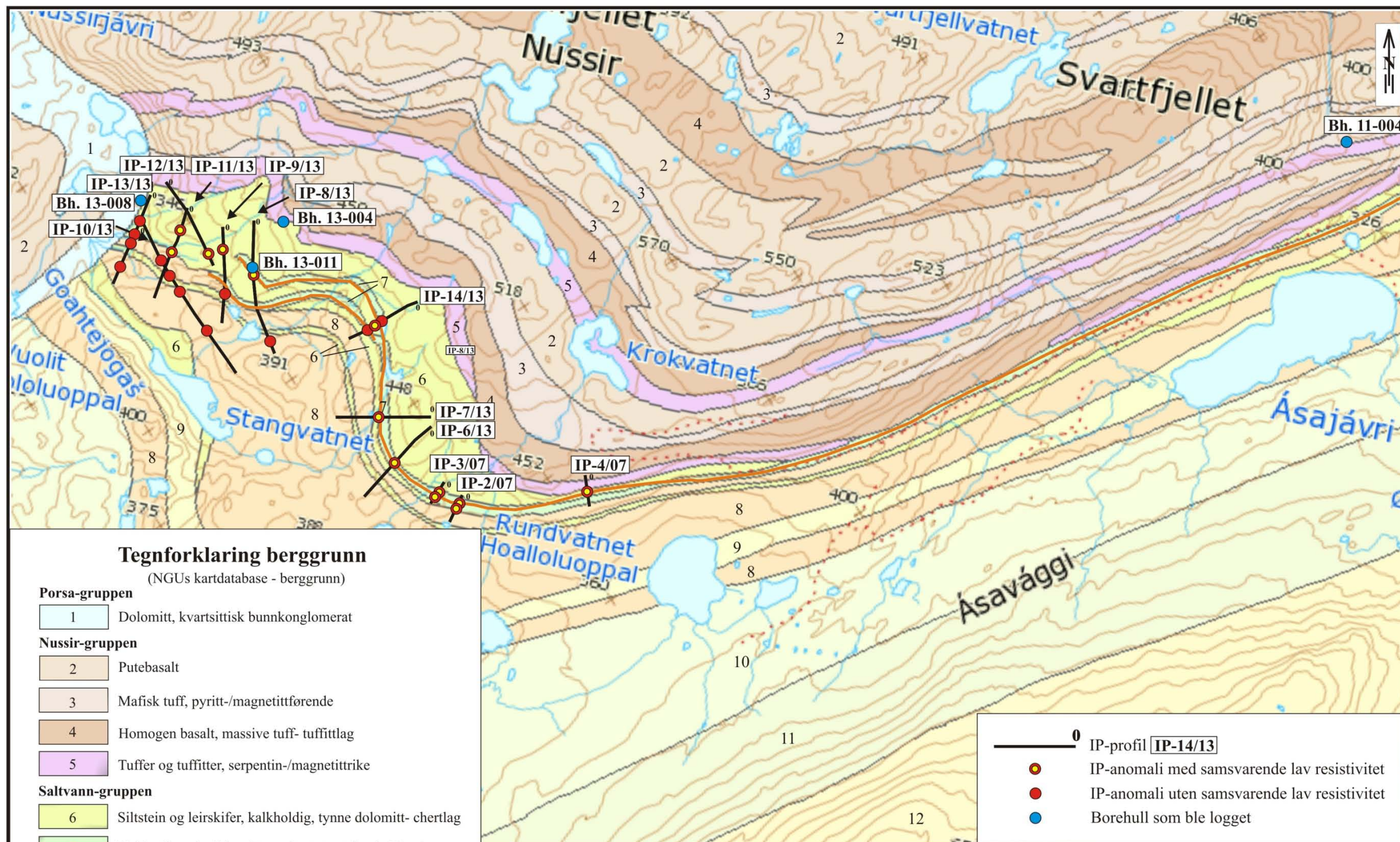
MÅLESTOKK 1 : 50 000	MÅLT E.D./H.E	Aug. 2013
	TEGN E.D.	Nov. 2013
	TRAC	
	KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

TEGNING NR 2013.057-01	KARTBLAD NR 1935 I/III
---------------------------	---------------------------



NUSSIR ASA - NGU OVERSIKTSKART MED PROFILER OG BOREHULL NUSSIR KVALSUND, FINNMARK	MÅLESTOKK	MÅLT E.D./H.E.	Aug. 2013
	1 : 10 000	TEGN E.D.	Nov. 2013
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR	KARTBLAD NR	
	2013.057-02	1935 I/III	



Tegnforklaring berggrunn

(NGUs kartdatabase - berggrunn)

Porsa-gruppen

1 Dolomitt, kvartsittisk bunnkonglomerat

Nussir-gruppen

2 Putebasalt

3 Mafisk tuff, pyritt-/magnetittførende

4 Homogen basalt, massive tuff- tuffittlag

5 Tuffer og tuffitter, serpent-/magnetittrike

Saltvann-gruppen

6 Siltstein og leirskifer, kalkholdig, tynde dolomitt- chertlag

7 Kobberførende dolomitt, med antatt utgående Nussir

8 Dacittporfyritt-konglomerat

9 Sandstein, fuchsittholdige lag

10 Basisk vulkanittkonglomerat

11 Kvarts- jaspiskonglomerat med sandsteinslag

12 Sandstein, kvarts-feltpatisk med konglomerater

0 IP-profil **IP-14/13**

- IP-anomali med samsvarende lav resistivitet
- IP-anomali uten samsvarende lav resistivitet
- Borehull som ble logget

NUSSIR ASA - NGU OVERSIKTSKART MED BERGGRUNN NUSSIR KVALSUND, FINNMARK	MÅLESTOKK	MÅLT E.D./H.E.	Aug. 2013
		TEGN E.D.	Nov. 2013
		TRAC	
		KFR	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR 2013.057-03	KARTBLAD NR 1935 I	



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/*