

GEOLOGI FOR SAMFUNNET

SIDEN 1858



**NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE**
· NGU ·

Rapport nr.: 2015.009	ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)	Gradering: Åpen
Tittel: Geofysisk logging av 5 borehull ved Rana Gruber, Storforshei		
Forfatter: Harald Elvebakk	Oppdragsgiver: NGU	
Fylke: Nordland	Kommune: Rana	
Kartblad (M=1:250.000) Mo i Rana	Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 2027 IV Storforshei	
Forekomstens navn og koordinater: Finnkåteng, Stensundtjern, Lomli	Sidetall: 49	Pris: kr 210.-
Feltarbeid utført: 23.09. – 26.09. 2014	Rapportdato: 26.05.2015	Prosjektnr.: 357900
		Ansvarlig:

Sammendrag:

NGU har logget 5 borehull ved Rana Gruber, Storforshei. Hensikten var å måle geofysiske parametre som magnetisk susceptibilitet og tilsynelatende resistivitet i malm og sidebergarter. Disse parametre skulle danne grunnlag for invertering og 3D-modellering av geofysiske helikoptermålinger utført av NGU i 2012. I tillegg til disse parametre er det målt indusert polarisasjon (IP), selvpotensial (SP), seismisk P-bølgehastighet, total naturlig gammastråling, temperatur og elektrisk ledningsevne i vann.

Det ble logget i tre områder, Finnkåteng, Stensundtjern og Lomli. Hullene var boret i perioden 2012 – 2014.

Malmsonene ved Rana Gruber består av hematitt, magnetitt og en blanding av disse to mineralene. Ut fra litologisk logg har en kunnet beregne de fysiske parametrene i hver av disse malmsonene. Magnetittmalm har som ventet klart høyest magnetisk susceptibilitet. Rangert etter måleområde er den høyest ved Stensundtjern, 0.72 SI, mens det ved Lomli lenger øst er målt en gjennomsnittsverdi på 0.54 SI. Hematittmalm har tydelig lavere susceptibilitet og der det er en blanding av de to malmtypene er det målt en gjennomsnittsverdi på 0.13 SI.

Kontrasten i resistivitet mellom sideberg og malm er stor. Med en resistivitet i malmen på under 50 ohmm vil den kunne indikeres på EM helikoptermålinger dersom det ikke er andre ledere tilstede. I vest, ved Stensundtjern, er det påvist dagnære grafittskifer og disse indikeres tydelig på EM data men ikke på de magnetiske data.

Hovedkonklusjonen blir at magnetittmalm og en blanding av magnetitt/hematitt lett indikeres på grunn av høy magnetisk susceptibilitet. Lav resistivitet kjennetegner også disse malmtypene. For ren hematittmalm med lav magnetisk susceptibilitet vil resistiviteten ha større betydning for å kunne indikere denne malmtypen. Både malm magnetitt og hematitt som dominerende mineral har mye lavere gammastråling enn glimmerskifer, kalkglimmerskifer og grafittskifer.

Emneord: Geofysikk	Borehullslogging	Magnetisk susceptibilitet
Malm	Seismisk hastighet	Resistivitet
Naturlig radioaktivitet	Indusert polarisasjon	Temperatur
Selvpotensial	Vannets ledningsevne	Fagrapport

INNHOOLD

1. INNLEDNING	9
2. MÅLEOMRÅDE OG BOREHULL	9
3. MÅLEMETODE OG UTFØRELSE	13
4. RESULTATER	15
4.1 Temperatur, temperaturgradient, elektrisk ledningsevne i vann og total gamma.	15
4.2 Magnetisk susceptibilitet, resistivitet, total gamma, IP, SP og seismisk hastighet. ..	17
4.2.1 Bh 252, Finnkåteng	17
4.2.2 Bh 253, Finnkåteng	21
4.2.3 Bh 141, Stensundtjern	25
4.2.4 Bh 164, Stensundtjern	29
4.2.5 Bh 191, Lomli	33
4.3 Magnetisk- og resistivitetsprofil over Bh 141, Bh 164, Bh 252, Bh 253 og Bh 191	37
4.3.1 Boreprofil Bh 164.....	38
4.3.2 Boreprofil Bh 141.....	40
4.3.3 Boreprofil Bh 252 og Bh 253.....	40
4.3.4 Boreprofil Bh 191, Lomli.....	42
4.4 Sammenstilling av geofysiske parametre for alle borehull	45
4.5 Resistivitet og magnetisk susceptibilitet i magnetitt, hematitt og magnetitt/hematitt	47
5. KONKLUSJON	49
6. REFERANSER	49

FIGURER

Figur 2.1. Oversiktskart over Storforshei med borehullene plottet inn.....	9
Figur 2. 2.Magnetisk totalfelt fra helikoptermålinger (Rodionov et al 2012) med borehull 252,253,141,164 og 191.....	11
Figur 2.3. Resistivitet, EM, 7kHz, fra helikoptermålinger (Rodionov et al 2012) med borehull 252,253,141,164 og 191.....	12
Figur 4.1. Temperatur, ledningsevne, total gamma og temperaturgradient, Bh 141(v) og Bh 164 (h).	15
Figur 4.2. Temperatur, ledningsevne, total gamma og temperaturgradient, Bh 252(v) og Bh 253 (h).	16
Figur 4.3. Temperatur, ledningsevne, total gamma og temperaturgradient, Bh 191.	16
Figur 4.4. Logging i Bh 252, Finnkåteng.	17
Figur 4.5. Bh 252, ledningsevne i vann, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.	18
Figur 4.6. Bh 252, ledningsevne i vann, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.	19
Figur 4.7. Bh 252, 200 – 260 m, ledningsevne i vann, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.	20
Figur 4.8. Logging i Bh 253, Finnkåteng.	21
Figur 4.9. Bh 253, seismisk hastighet, gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.	22

Figur 4.10. Bh 253, seismisk hastighet, gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.	23
Figur 4.11. Bh 253, 200 – 280 m, seismisk hastighet, gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.	24
Figur 4.12. Logging i Bh 141 Stensundtjern.	25
Figur 4.13. Bh 141, ledningsevne i vann, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.	26
Figur 4.14. Bh 141, ledningsevne i vann, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.	27
Figur 4.15. Bh 141, 90 – 230 m. Ledningsevne i vann, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.	28
Figur 4.16. Logging i Bh 164 Stensundtjern.	29
Figur 4.17. Bh 164, seismisk hastighet, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.	30
Figur 4.18. Bh 164, seismisk hastighet, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.	31
Figur 4.19. Bh 164, 110 – 220 m, seismisk hastighet, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.	32
Figur 4.20. Logging i Bh 191, Lomli.	33
Figur 4.21. Bh 191, seismisk hastighet, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.	34
Figur 4.22. Bh 191, seismisk hastighet, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.	35
Figur 4.23. Bh 191, 20 – 100 m, seismisk hastighet, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.	36
Figur 4.24. Magnetisk totalfelt, Finnkåteng og Stensundtjern med utvalgte profiler P1 og P2.	37
Figur 4.25. Resistivitet, Finnkåteng og Stensundtjern med utvalgte profiler P1 og P2.	37
Figur 4.26. Profilkurver for magnetisk totalfelt og tilsynelatende resistivitet, 7 kHz, profil P1.	38
Figur 4.27. Profilkurver for magnetisk totalfelt og tilsynelatende resistivitet, 7 kHz, ved Bh 164.	39
Figur 4.28. Profilkurver for magnetisk totalfelt og tilsynelatende resistivitet, 7 kHz, ved Bh 141.	40
Figur 4.29. Profilkurver for magnetisk totalfelt og resistivitet, profil P2.	41
Figur 4.30. Profilkurver for magnetisk totalfelt og resistivitet ved Bh 164 og Bh 141.	41
Figur 4.31. Magnetisk totalfelt, Lomli.	42
Figur 4.32. Tilsynelatende resistivitet, 7 kHz, Lomli.	42
Figur 4.33. Profilkurver for magnetisk totalfelt og resistivitet, profil P3, Bh 191.	43
Figur 4.34. Profilkurver for magnetisk totalfelt og resistivitet, profil P3, Bh 191.	43
Figur 4.35. 2D modell av invertert magnetisk totalfelt Line 483750, Lomli.	44
Figur 4.36. Forhold mellom resistivitet og magnetisk susceptibilitet i magnetitt, hematitt og magnetitt/hematitt.	47
Figur 4.37. Forhold mellom resistivitet og magnetisk susceptibilitet i magnetitt, hematitt og magnetitt/hematitt i hvert enkelt av hullene.	48

TABELLER

Tabell 1. Borehullsdata.	10
Tabell 2. Målte parametere med loggehastighet og samplingstetthet.	13
Tabell 3. Sammenstilling av geofysiske parametre, Rana Gruber.	45

1. INNLEDNING

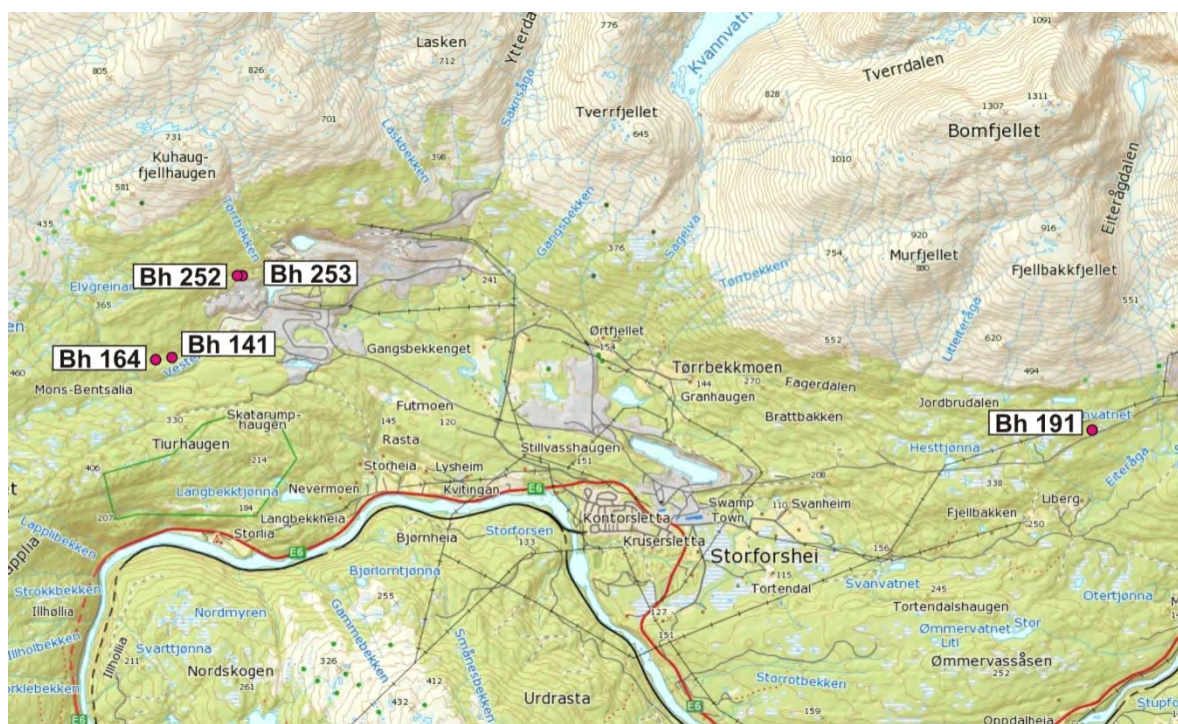
I 2012 gjennomførte NGU helikoptermålinger over jernmalforekomstene ved Rana Gruber, Storforshei (Rodionov et al 2012). Det ble målt EM (tilsynelatende resistivitet), magnetometri og radiometri. I ettertid er det boret på magnetiske anomalier i vest ved Stensundtjern og Finnkåteng og lenger mot øst ved Lomli. Det er begge steder påtruffet malm med dominerende mineral hematitt, magnetitt og en blanding av disse mineralene. NGU ønsker å invertere data fra helikoptermålingene og lage en 3D-modell av malmstrukturene mot dypet. For å gjøre dette trenger en magnetiske og elektriske egenskaper til malm og sidebergarter. Det ble derfor høsten 2014 gjort geofysisk logging av 5 borehull i nevnte områder. De viktigste parametre som ble målt var magnetisk susceptibilitet og resistivitet. I tillegg ble det målt seismisk hastighet (3 hull), total naturlig gammastråling, induisert polarisasjon (IP), selvpotensial (SP), temperatur og elektrisk ledningsevne i vann.

I rapporten har en valgt å benytte Rana Gruber's egen betegnelse på malmtyper, magnetitt, hematitt og magnetitt/hematitt.

Målingene ble utført i tiden 23.09. – 26.09. 2014 av Harald Elvebakk med god assistanse av Anders Bergvik fra Rana Gruber.

2. MÅLEOMRÅDE OG BOREHULL

Figur 2.1 viser oversiktskart med borehullene plottet inn. Loggeutstyret ble lastet opp på og kjørt inn med pickup (Rana Gruber). Alle hull var greit tilgjengelig. Det ble logget 5 borehull og Tabell 1 viser borehullsdata for alle hull.



Figur 2.1. Oversiktskart over Storforshei med borehullene plottet inn.

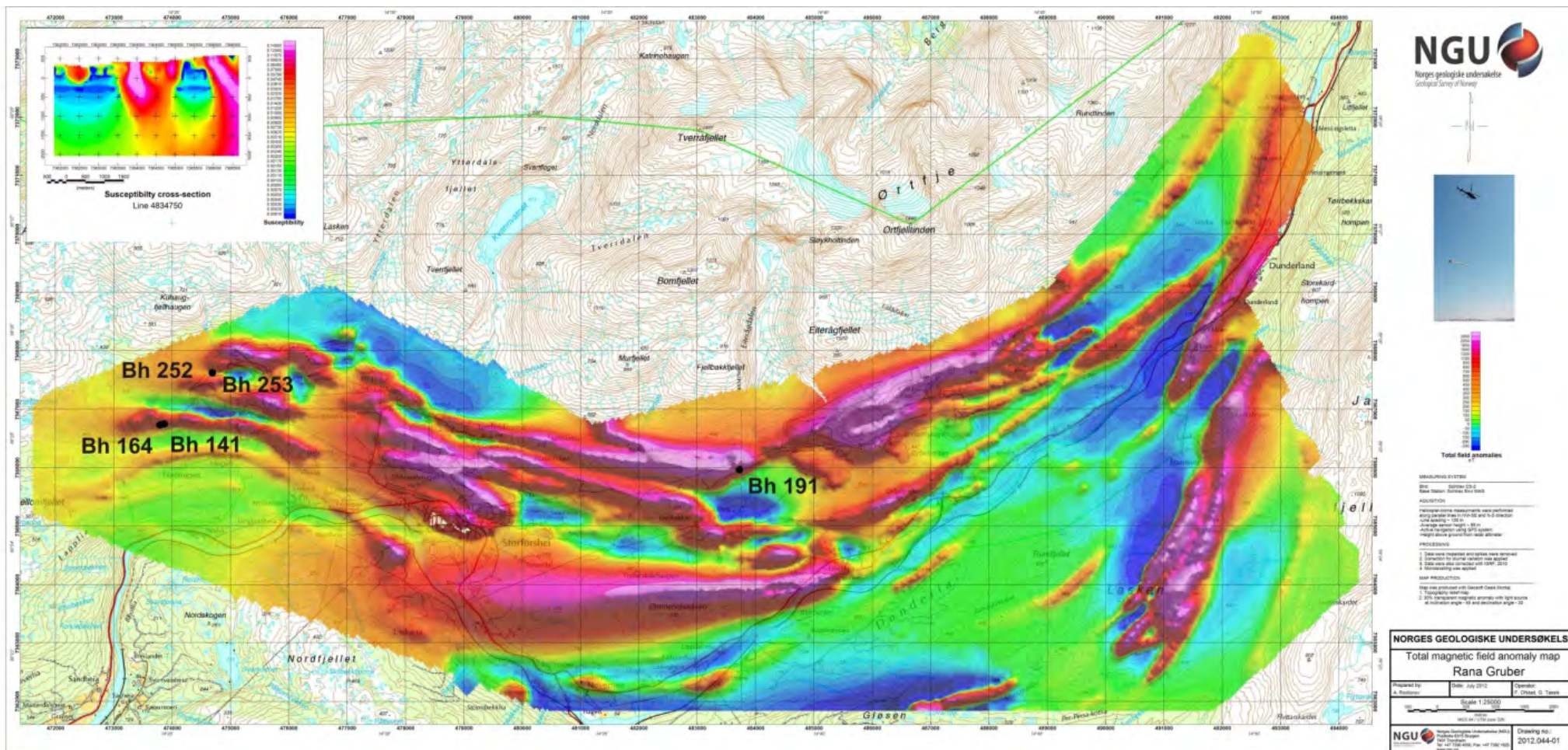
Tabell 1. Borehullsdata, koordinater i WGS84, UTM sone 33W.

Bh	Øst	Nord	m.o.h.	Dyp	Fall	Retning	Diam	Logget dyp
Bh 141-2012	473864	7366746	249	252 m	75°	mot nord	56 mm	228.2 m
Bh 164-2013	473790	7366731	259	233 m	49°	N344	56 mm	224.5 m
Bh 191-2013	483723	7365963	339	203 m	50°	N2.4-9.6	56 mm	200.2 m
Bh 252-2014	474689	7367625	287	266 m	84°	N11-43	56 mm	264.3 m
Bh 253-2014	474688	7367623	287	293 m	80°	N181	56 mm	291.2 m

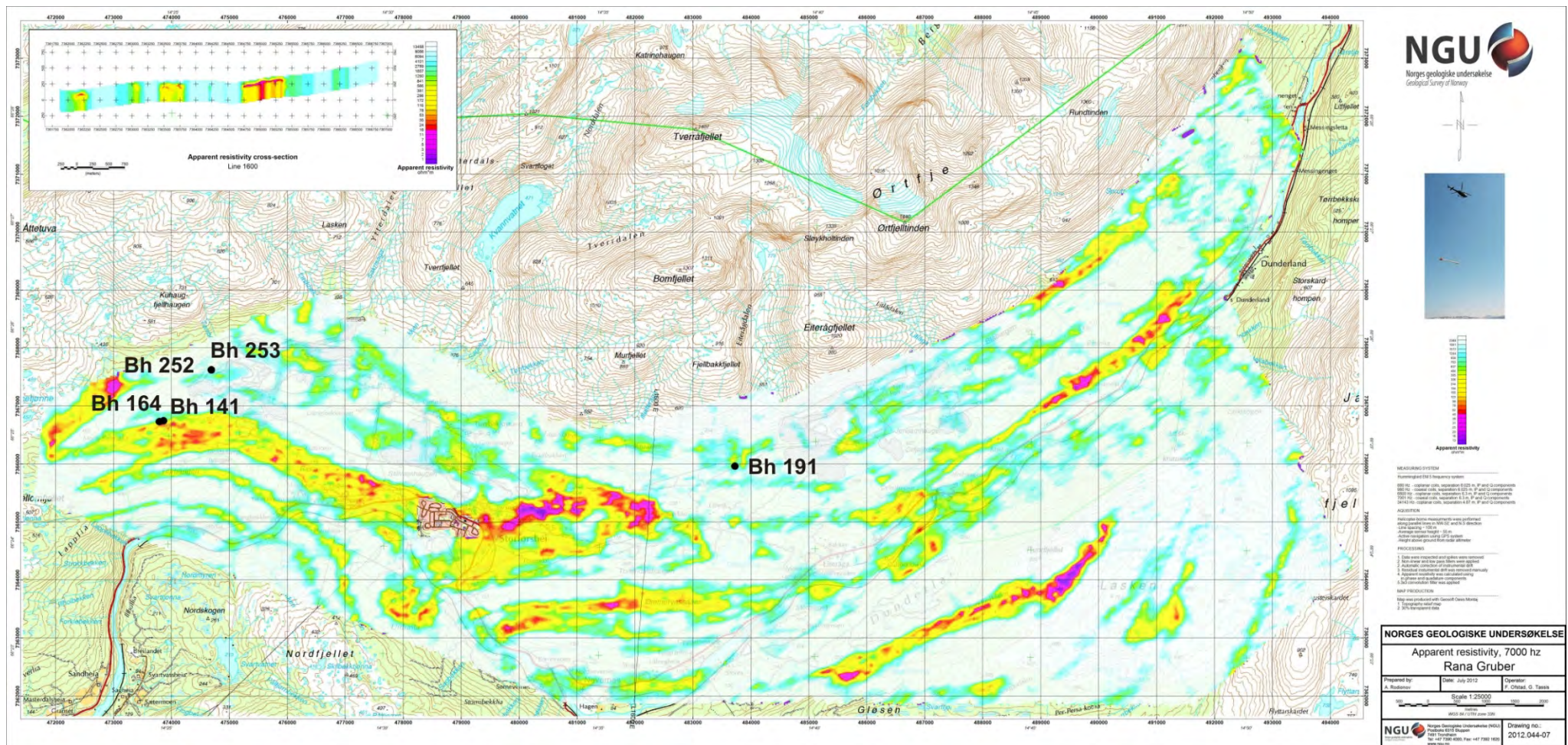
Figur 2.2 viser magnetisk totalfelt fra helikoptermålingene (Rodionov et al 2012). Borehullene som ble logget er plottet på kartet og viser hvordan hullene er plassert i forhold til magnetisk anomali. På figur 2.3 er det samme gjort for tilsynelatende resistivitet, 7 kHz coaxial. Resistivitet som måles ved geofysiske undersøkelser er en gjennomsnittlig resistivitet av undergrunnen. Undergrunnen er ikke homogen og resistiviteten blir derfor benevnt tilsynelatende. Målinger direkte på en malm eller bergart i borehull er en mer korrekt resistivitet enn hva en måler på bakken eller i luften.

Hullene ble valgt ut fra tilgjengelighet og fall. Ved Bh 191 hadde Bh 192 større malmskjæring enn Bh 191, men fallet var for lite til at sondene kunne gli ned. 2 hull ved området Stensundtjern var tette før en kom ned til malmen. De 5 hullene som ble logget representerer gode eksempler for typiske sidebergarter som marmor, glimmerskifer, kalkglimmerskifer og amfibolitt (Bh191). Det er logget i 3 malmtyper, hematitt, magnetitt og en blanding av disse.

Et interessant spørsmål var om malmen ga resistivitetsanomali, dvs. om den har høy elektrisk ledningsevne. NGU har tidligere ikke data fra insitu målinger av ledningsevne i hematitt og magnetitt. Kunne EM målingene (resistivitet) fra helikopter indikere malmsonene? Det er imidlertid kjent at det opptrer godt ledende grafittskifer i området. Det var grafitt i noen av hullene men de lå over vannspeilet slik at en ikke fikk målt disse. Resistivitet i borehull kan bare måles i vannfylte hull, det samme gjelder for IP og seismisk hastighet.



Figur 2. 2.Magnetisk totalfelt fra helikoptermålinger (Rodionov et al 2012) med borehull 252,253,141,164 og 191.



Figur 2.3. Resistivitet, EM, 7kHz, fra helikoptermålinger (Rodionov et al 2012) med borehull 252,253,141,164 og 191.

3. MÅLEMETODE OG UTFØRELSE

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

Metodebeskrivelse for NGU's målesonder ligger på NGU's hjemmesider på følgende link: <http://www.ngu.no/emne/geofysikk>

Tabell 2 viser loggehastighet og samplingstetthet for de ulike målesondene.

Tabell 2. Målte parametere med loggehastighet og samplingstetthet.

Målt parameter	Loggehastighet	Samplingsavstand
Temperatur	3 m/min	1 cm
Ledningsevne i vann	3 m/min	1 cm
Resistivitet i fjell, porøsitet	5 m/min	1 cm
Seismisk hastighet	4 m/min	1 cm
Naturlig gammastråling	5 m/min	1 cm
Indusert polarisasjon	5 m/min	1 cm
Magnetisk susceptibilitet	5 m/min	1 cm
Selvpotensial	5 m/min	1 cm

Temperatur. Temperatur måles for å beregne temperaturgradienten mot dypet. Lokale endringer i temperaturen 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.

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 og 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 med temperatur/ledningsevnesonden, resistivitetssonden, seismikksonden og susceptibilitetssonden. Gammastrålingen er meget reproduserbar 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. Resistivitetsdata 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.

Ut fra vannets ledningsevne og resistiviteten i berget kan tilsynelatende porøsitet beregnes. Til dette benyttes en modifisert versjon av Archie's lov (Archie 1942). Tilsynelatende porøsitet Φ kan finnes ut fra følgende sammenheng:

$$\sigma = a \cdot \sigma_w \cdot \Phi^m + \sigma_s$$

$\sigma =$ ledningsevne i bergarten
 $\sigma_w =$ ledningsevne i porevannet
 $\sigma_s =$ ledningsevne på kornoverflate

Faktorene a og m (kornform, sementeringsfaktor) er avhengig av bergartstype og bestemmes ved laboratoriemålinger. Ved beregningen av porøsiteten brukes $a=1.928$ etter Thunehed og Olsson som fant dette for krystalline bergarter (Thunehed & Olsson 2004). Verdien på m er satt lik 2.0 (personlig meddelelse Hans Thunehed). σ_s er satt lik 10^{-5} og er så godt som neglisjerbar.

Archie's lov er egentlig tilpasset homogene sedimentære bergarter (sandstein) men ved å tilpasse (måle) faktorene kan en tilsynelatende porøsitet også beregnes for andre bergarter. En stor feilkilde ved denne tilpassningen vil være tilstedeværelsen av elektronisk ledende mineraler (grafitt, sulfider, oksider, leire) som inngår i σ_s .

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

Lydhastigheten beregnes ved å måle gangtiden til en utsendt lydimpuls. Sonden har tre mottakere med 20 cm avstand. Det blir gjort en måling for hver cm. Prosessering er gjort med programvaren WellCad fra det nederlandske firmaet Advanced Logic Technology (ALT 2006). Det beregnes P-bølgehastighet og S-bølgehastighet. Gangtiden til S-bølgen kan være vanskelig å avlese og det er knyttet noe usikkerhet til beregning av S-bølgehastigheten. En nedgang i lydhastighet kan bety oppsprukket/forvitret fjell.

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. Måling i borehull over gode ledere med høy elektronisk ledningsevne kan gi svært høye IP verdier. Dette er "falske" anomalier og skyldes at strømmen blir tilnærmet kortsluttet mellom elektrodene på sonden med svært lite spenningsfall. Ved IP-målinger sendes strømpulser på 110 ms (+/-) ned i bakken (borehullsveggen) med et opphold på 110 ms mellom pulsene. IP spenningen måles i tidsvinduer mens strømmen er slått av.

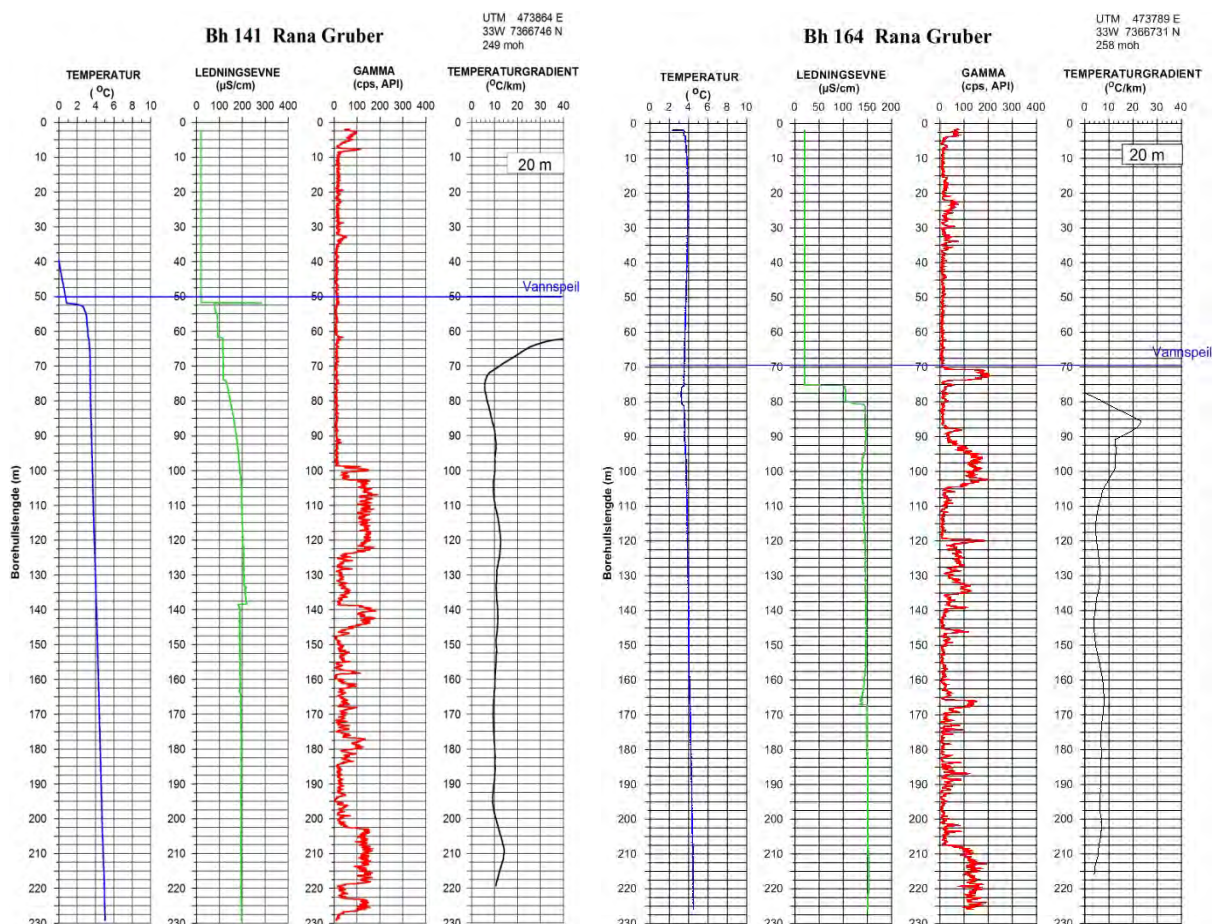
Magnetisk susceptibilitet er et mål for magnetiserbarheten av et materiale. Det er en ubenevnt størrelse som viser forholdet mellom indusert magnetfelt og påtrykt, ytre magnetfelt i et materiale. Størrelsen oppgis i SI enheter. Det mest magnetiske mineralet er magnetitt som har en susceptibilitet på 0.5 - 1.5 SI. Det er veldig stor forskjell på magnetitt og andre mineraler og ofte brukes $SI \cdot 10^{-5}$. Andre magnetiske mineraler er magnetkis (0.05 – 0.5) og ilmenitt (0.03 – 0.3).

4. RESULTATER

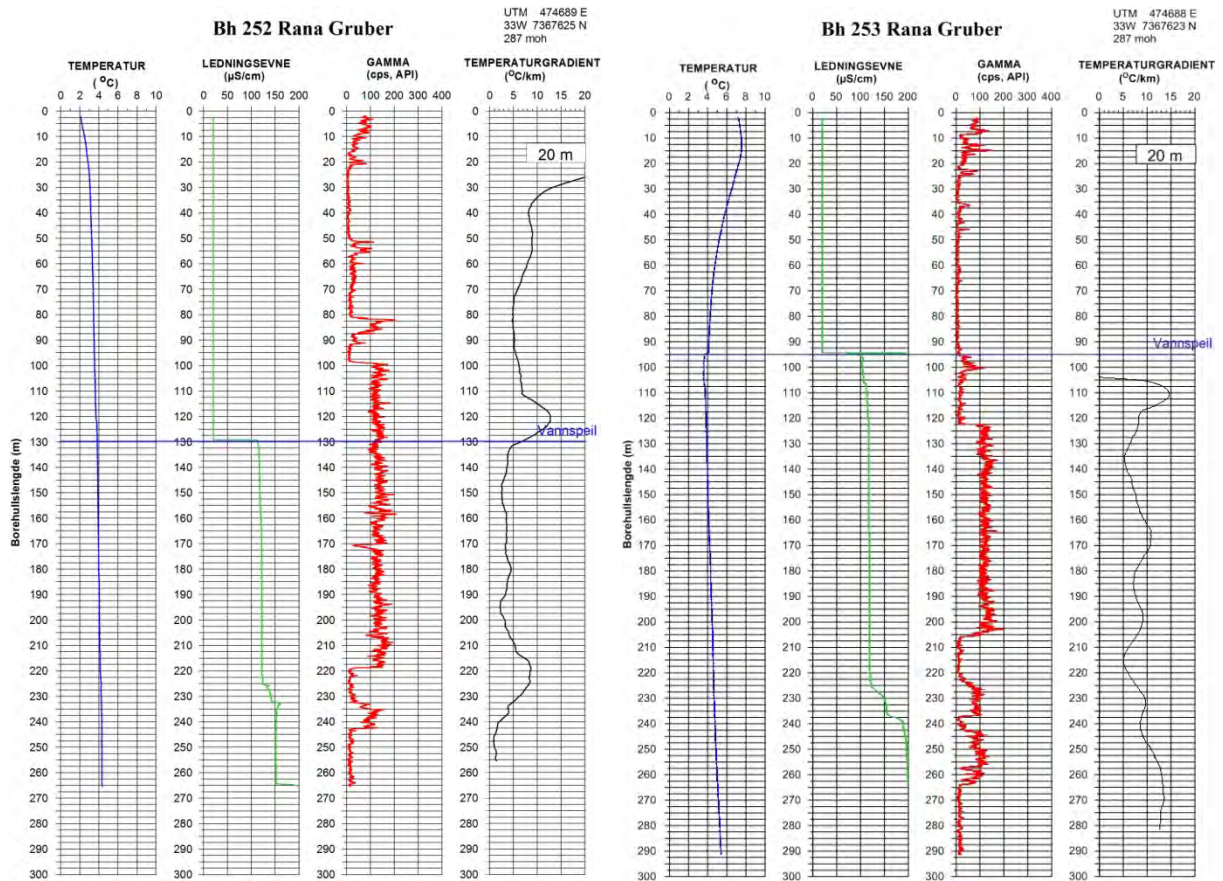
Rapporten presenterer sammenstilte data som kurveplott for de målte parametre, temperatur, vannets ledningsevne, naturlig gammastråling, resistivitet i fjell, magnetisk susceptibilitet, seismisk hastighet, IP og SP. For hvert borehull er det laget litologisk logg basert på data fra Rana Gruber.

4.1 Temperatur, temperaturgradient, elektrisk ledningsevne i vann og total gamma.

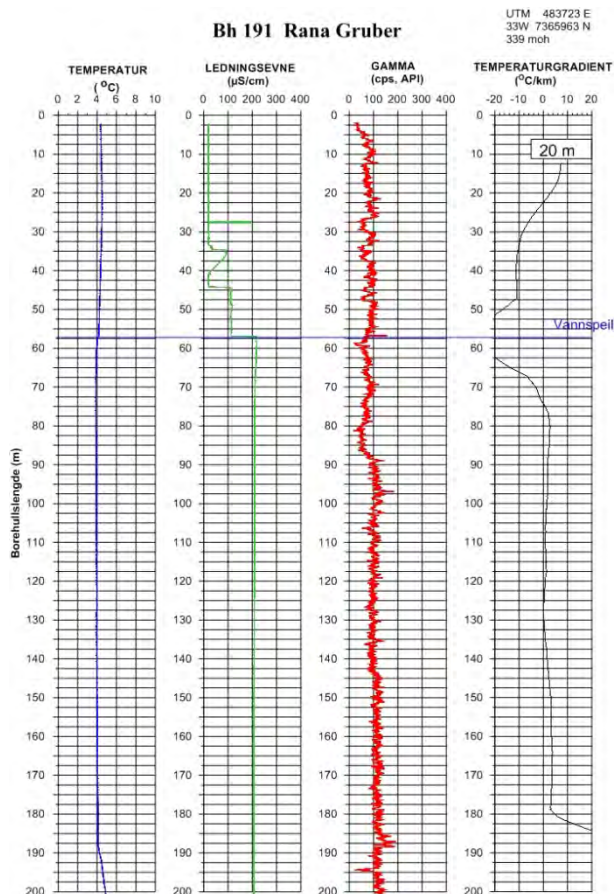
Figur 4.1 – 4.3 viser temperatur, elektrisk ledningsevne, total naturlig gamma og beregnet temperaturgradient for alle borehull som ble logget. Temperaturen er lav og temperaturgradienten er liten, 5 – 10 °C/km. Det er ikke korrigerert for hulllets avvik fra loddrett da en mangler digitale data for avviket. For de steile hullene utgjør forskjellen lite med de lave temperaturene en har. For Bh 164 (49° fall) vil gradienten øke fra ca 7 °C/km til ca 9 °C/km (regnet manuelt). I Bh 191 er det ingen temperaturøkning før ved 190 m dyp. Ledningsevnen er normal, 100 – 200 µS/cm. Tydelige endringer kan tyde på oppsprekking med vanninnstrømming i borehullet som ved 230 m dyp i Bh 252 og Bh 253. Gammaloggen blir kommentert senere, men viser tydelig de litologiske grensene.



Figur 4.1. Temperatur, ledningsevne, total gamma og temperaturgradient, Bh 141(v) og Bh 164 (h).



Figur 4.2. Temperatur, ledningsevne, total gamma og temperaturgradient, Bh 252(v) og Bh 253 (h).



Figur 4.3. Temperatur, ledningsevne, total gamma og temperaturgradient, Bh 191.

4.2 Magnetisk susceptibilitet, resistivitet, total gamma, IP, SP og seismisk hastighet.

Seismisk hastighet ble logget i tre hull, Bh 253, Bh 164 og deler av Bh 191. De to viktigste parametrene for bruk til invertering av helikopterdata er magnetisk susceptibilitet og resistivitet. Gjennomsnittsverdier for alle parametre i alle bergarter blir vist senere i tabellform. Det er målt IP, men IP verdiene blir feil når en måler over massiv malm da det er den elektroniske ledningsevnen som dominerer.

4.2.1 Bh 252, Finnkåteng

Figur 4.4 viser bilde fra lokalitet Bh 252, Finnkåteng. Hullet er boret mot nord, 84 ° fall. Figur 4.5 viser logger av ledningsevne i vann, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, IP og SP. Figur 4.6 viser de samme loggene men med logaritmisk skala for magnetisk susceptibilitet. Den viser bedre detaljene i den lavmagnetiske delen av hullet. Litologisk logg er vist for hele hullet. Figur 4.7 viser et mer detaljert utsnitt av loggene mellom 200 og 260 m dyp.

Gammalloggen viser tydelig bergartsgrensene. Glimmerskifer har høyest gammastråling, 140 - 150 cps, mens marmor har lavest, 10 -20 cps. Magnetitt og hematitt har også lav gammastråling.

Magnetisk susceptibilitet varierer mye fra verdier ned mot null i marmor og opp mot 0.9 SI i magnetittmalm. Til sammenligning viser hematittmalm en gjennomsnittsverdi på 0.0025 SI.

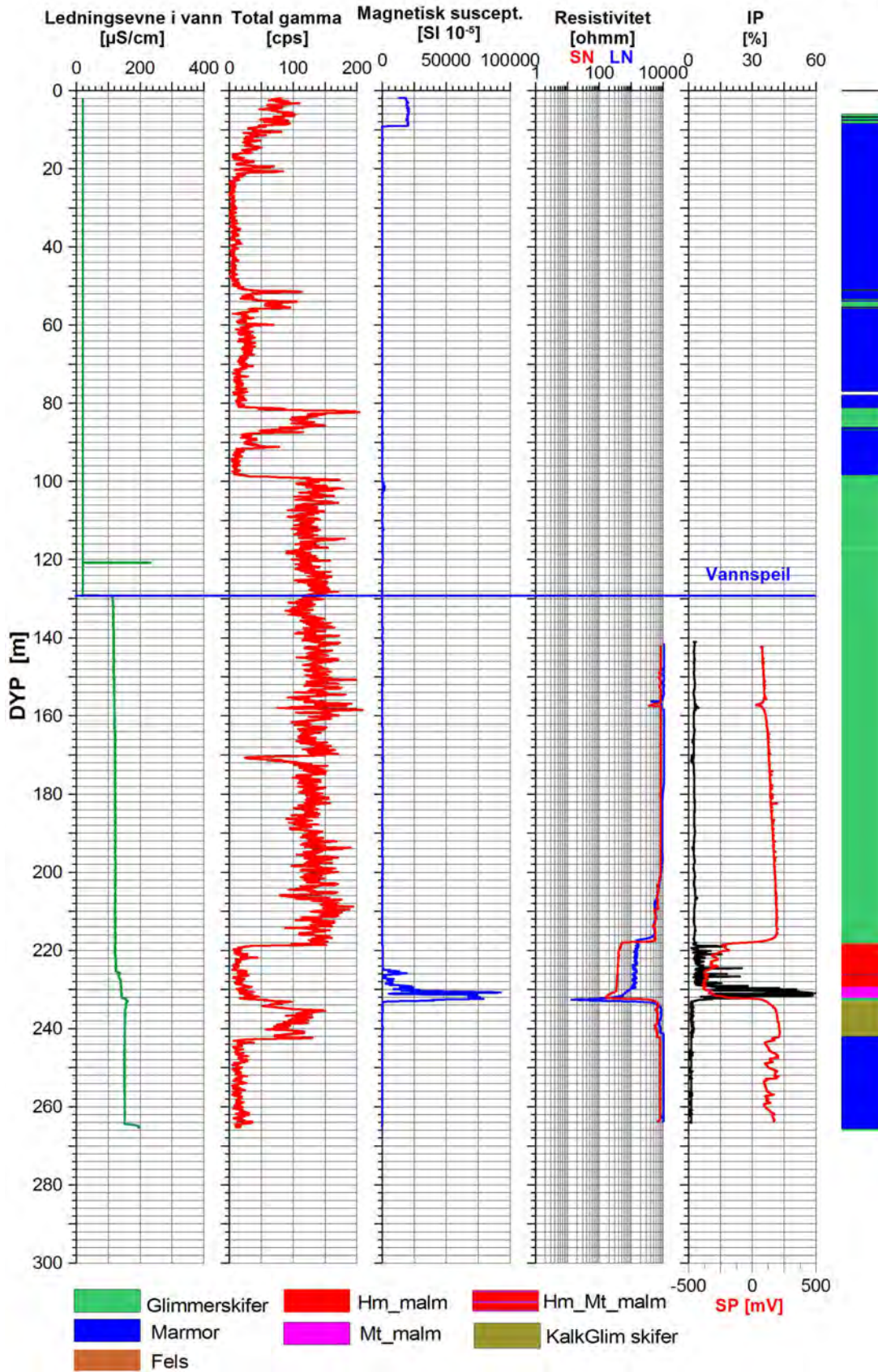
Resistiviteten er svært høy i marmor og glimmerskifer, ca 10000 ohmm. Malmen gir tydelig resistivitetsanomali med verdier ned mot 150 ohmm i magnetitt og SN konfigurasjon. Hematitt har en resistivitet på 500 – 1500 ohmm. Beregnet tilsynelatende porøsitet i sidebergartene er 0.7 – 0.9 %. Malmsonen som består av både hematitt og magnetitt, gir tydelig SP-anomali som ligger mellom -510 mV og -565 mV. Malmen gir tydelig IP anomali, men den er stedvis ”falsk” pga. høy elektronisk ledningsevne i malmen, særlig i magnetitt. Det ble ikke målt seismisk hastighet i Bh 252 da dette ble gjort i nabohullet Bh 253 like ved.



Figur 4.4. Logging i Bh 252, Finnkåteng.

Bh252 Rana Gruber

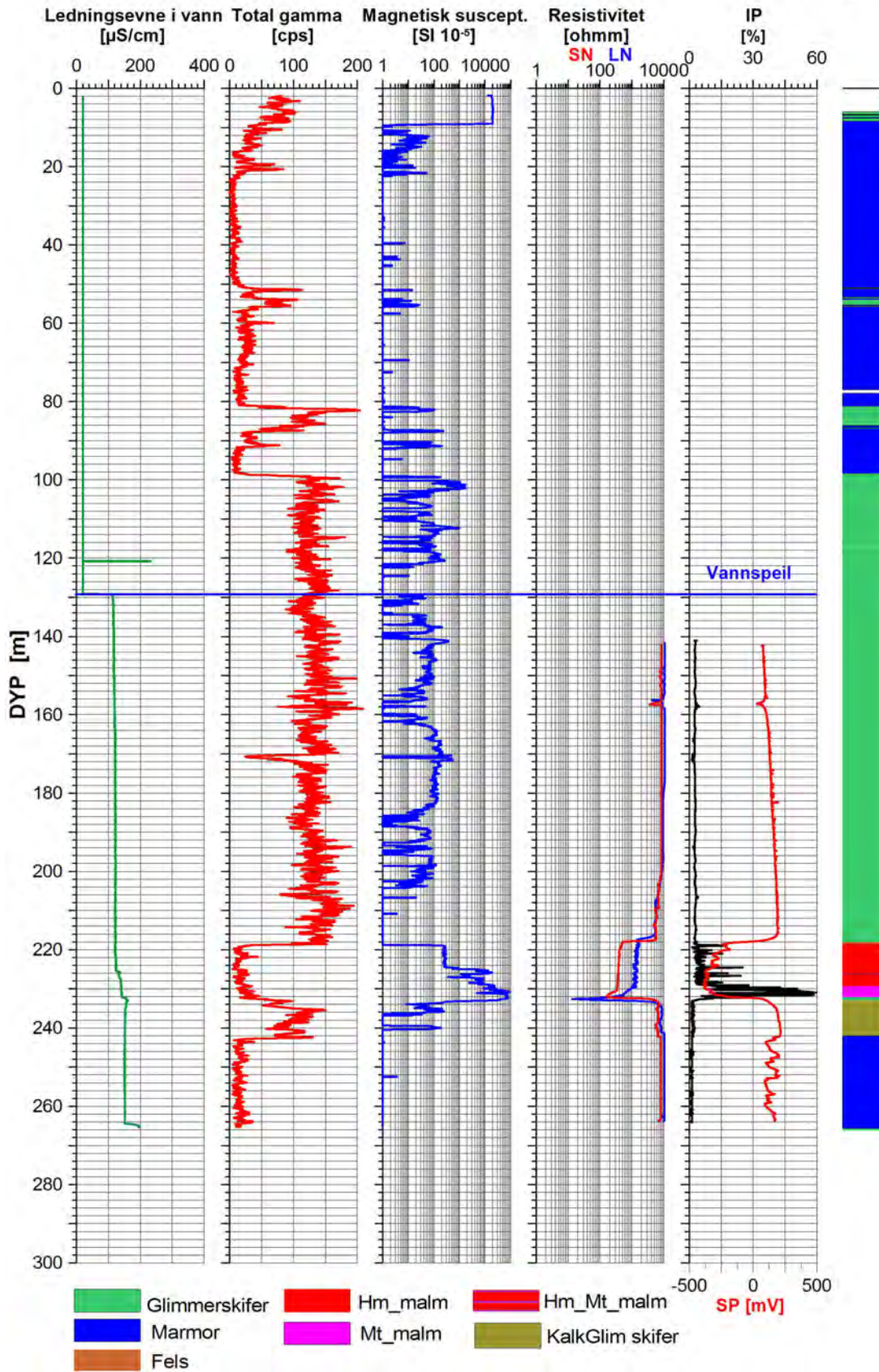
UTM 474689 E
33W 7367625 N
287 moh



Figur 4.5. Bh 252, ledningsevne i vann, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.

Bh252 Rana Gruber

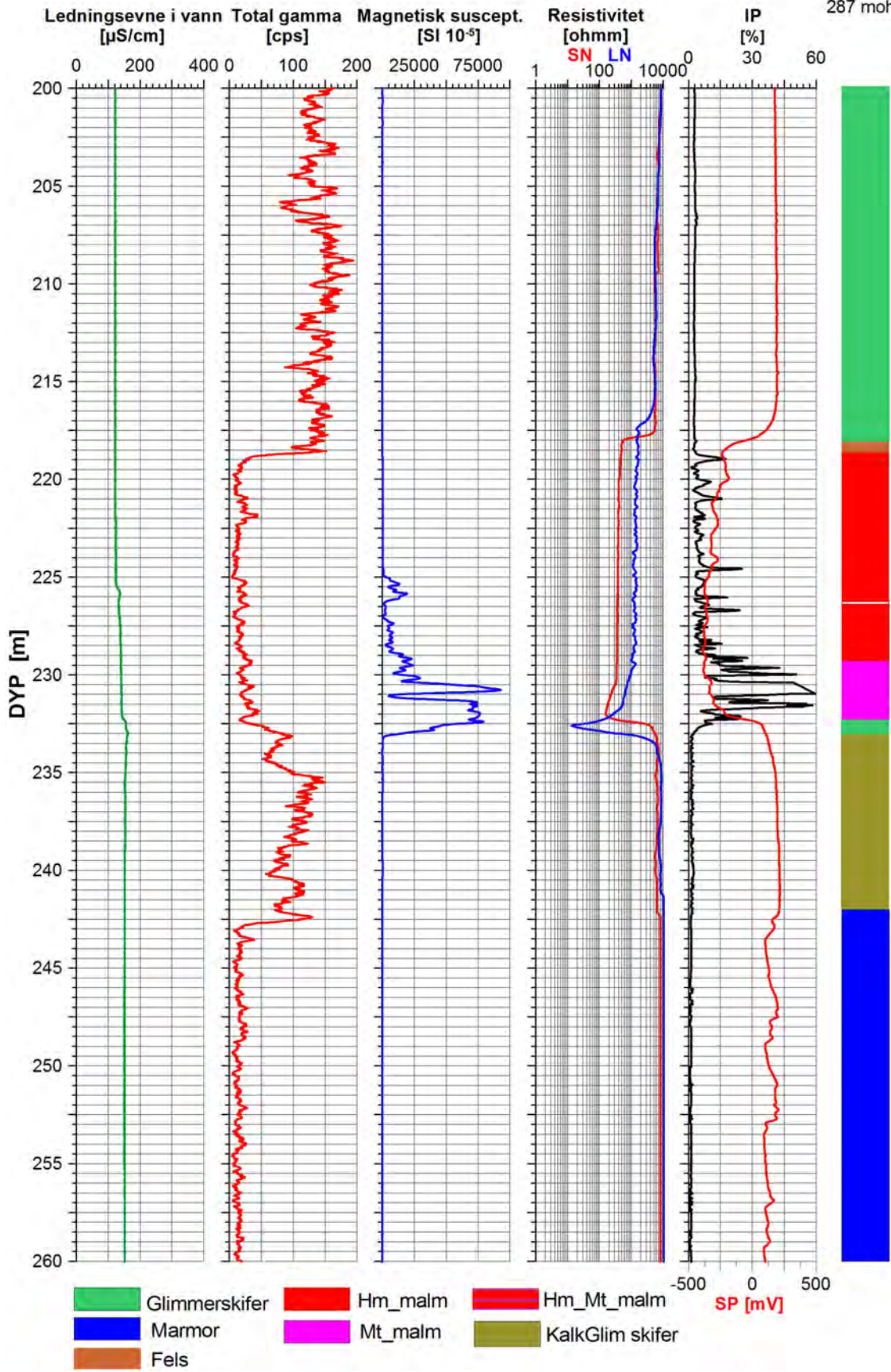
UTM 474689 E
33W 7367625 N
287 moh



Figur 4.6. Bh 252, ledningsevne i vann, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.

Bh252 Rana Gruber

UTM 474689 E
33W 7367625 N
287 moh



Figur 4.7. Bh 252, 200 – 260 m, ledningsevne i vann, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.

4.2.2 Bh 253, Finnkåteng

Figur 4.8 viser bilde fra lokalitet Bh 253. Hullet står 2-3 m fra Bh 252 men er boret med 80° fall mot sør. Figur 4.9 viser logger av seismisk hastighet (P-bølge), total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, IP og SP. Figur 4.10 viser de samme loggene men med logaritmisk skala for magnetisk susceptibilitet og viser bedre detaljene i den lavmagnetiske delen av hullet. Litologisk logg er vist for hele hullet. Figur 4.11 viser et mer detaljert utsnitt av loggene mellom 200 og 280 m dyp.

Bergartene er de samme som i Bh 252 men med noe mer malm. Gammaloggen viser tydelig bergartsgrensene. Kalkglimmerskifer har høyest gammastråling, 150 - 160 cps, mens marmor har lavest, 10 - 20 cps. Magnetitt og hematitt har også lav gamma, 15 – 30 cps.

Magnetisk susceptibilitet varierer mye fra verdier ned mot null i marmor og opp mot 0.8 SI i magnetittmalm. Til sammenligning viser hematittmalm ca 0.0025 SI. Kalkglimmerskifer og glimmerskifer ligger mellom 0.001 SI og 0.002 SI.

Resistiviteten er svært høy i marmor og glimmerskifer, 8000 - 10000 ohmm. Malmen gir tydelig resistivitetsanomali med verdier ned mot 85 ohmm i magnetitt og SN konfigurasjon. Hematitt har en resistivitet på ca 500 ohmm. Malmsonen som består av både hematitt og magnetitt, gir tydelig SP-anomali, -510 mV. Malmen gir tydelig IP anomali, men den er stedvis ”falsk” pga. høy elektronisk ledningsevne i malmen, særlig i magnetitt.

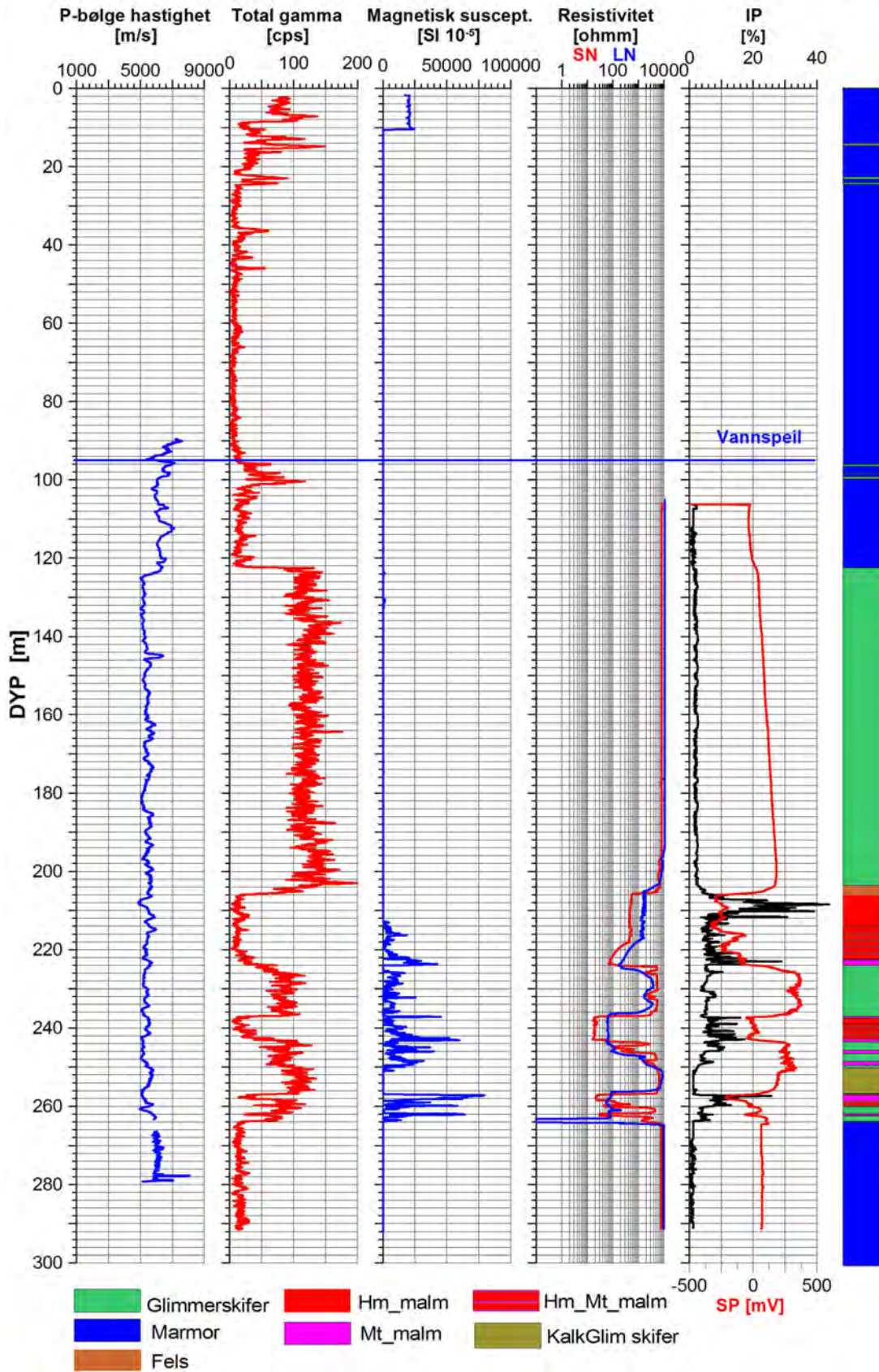
Målt seismisk P-bølgehastighet viser høyest hastighet i marmor, ca 6100 m/s. Magnetitt har litt lavere hastighet enn hematitt, hhv. 5150 m/s og 5450 m/s (gjennomsnittsverdier).



Figur 4.8. Logging i Bh 253, Finnkåteng.

Bh253 Rana Gruber

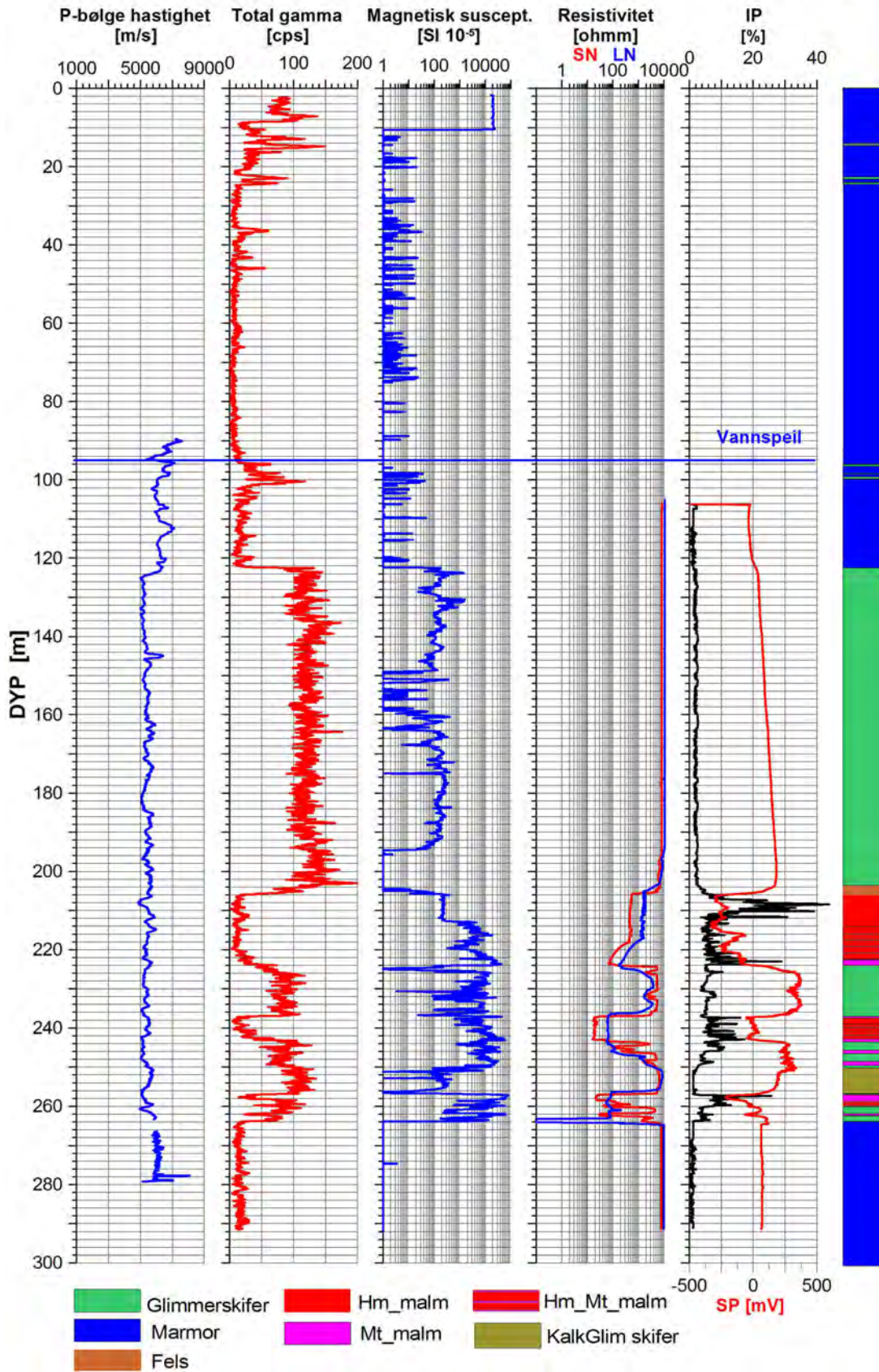
UTM 474688 E
33W 7367623 N
287 moh



Figur 4.9. Bh 253, seismisk hastighet, gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.

Bh253 Rana Gruber

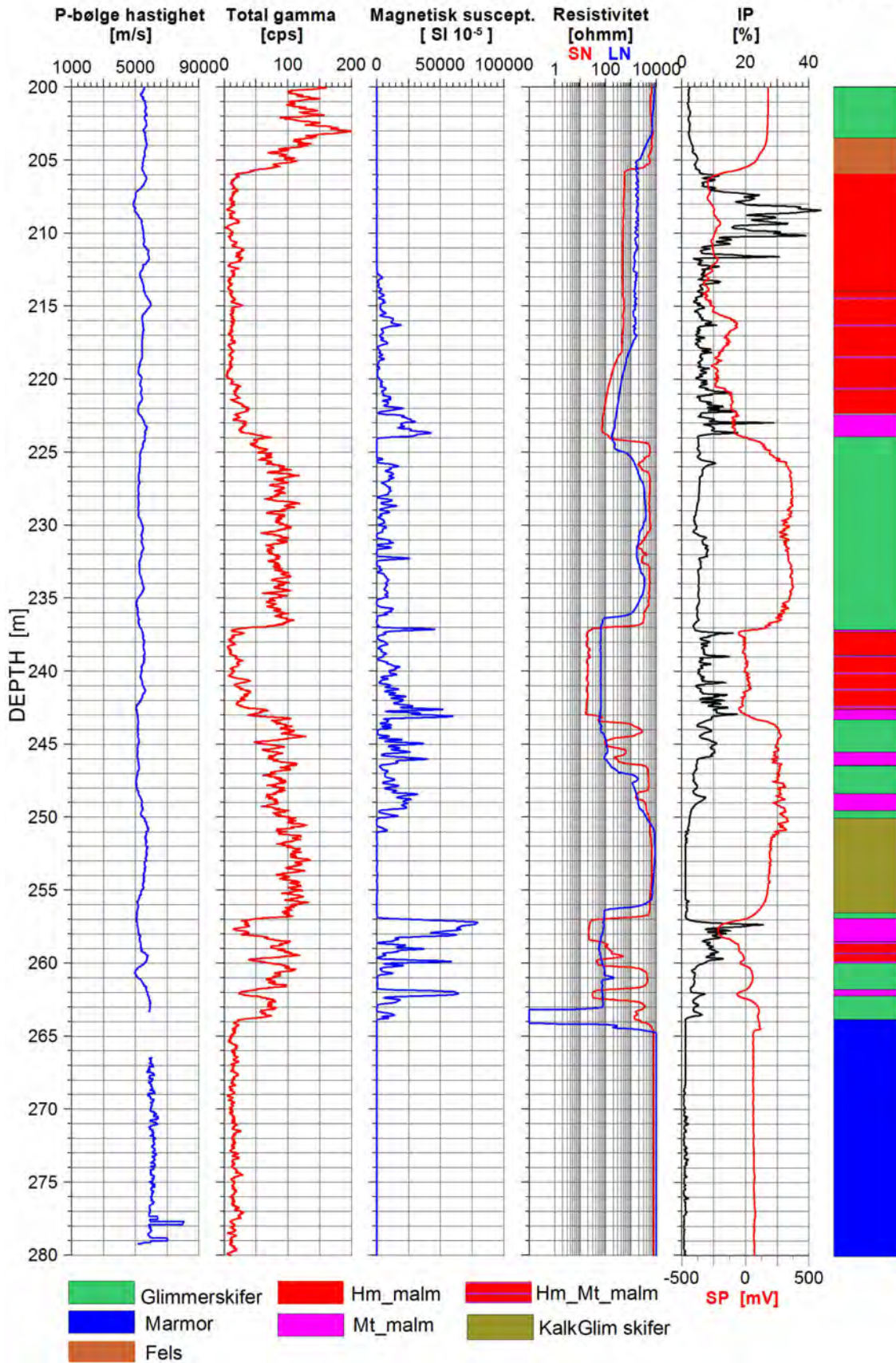
UTM 474688 E
33W 7367623 N
287 moh



Figur 4.10. Bh 253, seismisk hastighet, gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.

Bh253 Rana Gruber

UTM 474688 E
33W 7367623 N
287 moh



Figur 4.11. Bh 253, 200 – 280 m, seismisk hastighet, gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.

4.2.3 Bh 141, Stensundtjern

Figur 4.12 viser bilde fra lokalitet Bh 141, Stensundtjern, lengst vest i feltet som ble målt med helikopter og syd for Finnkåteng. Hullet er boret med 75° fall mot nord. Figur 4.13 viser logger av elektrisk ledningsevne i vann, total naturlig gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, IP og SP. Figur 4.14 viser de samme loggene men med logaritmisk skala for magnetisk susceptibilitet og viser bedre detaljene i den lavmagnetiske delen av hullet. Litologisk logg er vist for hele hullet. Figur 4.15 viser et mer detaljert utsnitt av loggene mellom 90 og 290 m dyp.

Bergartene er de samme som ved Finnkåteng men mangler kalkglimmerskiferen som ligger under hovedmalmsonen i Bh 252 og Bh 253. Det er mye malm i dette hullet, til sammen ca 75 m, med ren magnetitt og en blanding av magnetitt og hematitt. Bergartsgrensene indikeres tydelig på gammaloggen. Glimmerskifer har høyest gammastråling, 130 – 140 cps, mens marmor har lavest, 10 - 20 cps. Magnetitt og hematitt har også lav gamma, 30 – 40 cps.

Magnetisk susceptibilitet varierer mye fra verdier ned mot null i marmor og opp mot 0.9 SI i magnetittmalm. Til sammenligning viser magnetitt/hematitt ca 0.12 – 0.18 SI. Glimmerskifer er målt til en gjennomsnittsverdi på 0.005 SI. Detaljerte verdier blir vist senere i rapporten i tabellform.

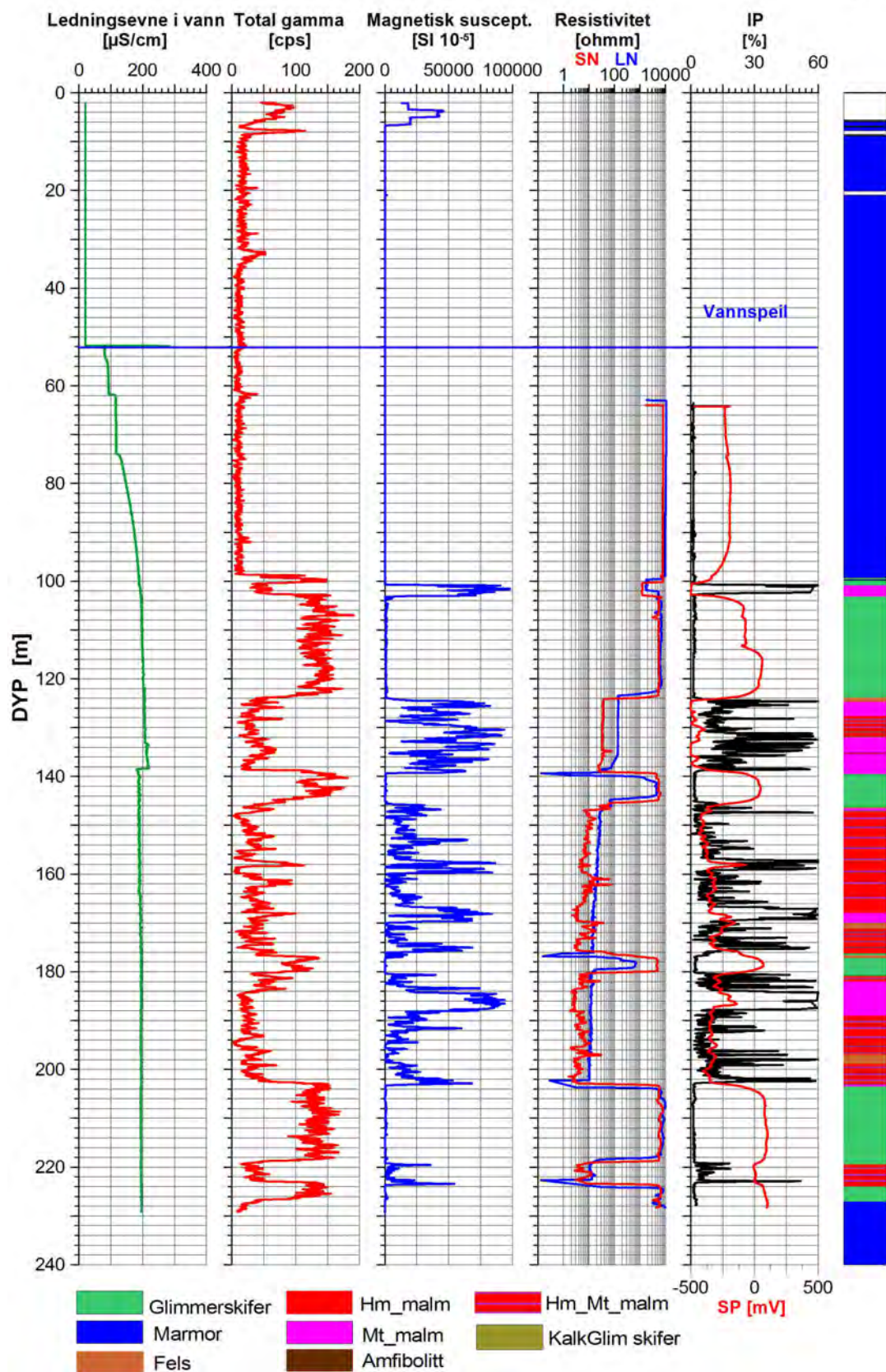
Resistiviteten er svært høy i marmor, 8000 – 10000, og glimmerskifer, 5000 - 6000 ohmm. Malmen gir tydelig resistivitetsanomali med en gjennomsnittsverdi på 13 ohmm i magnetitt og SN konfigurasjon. Deler av magnetittmalmen viser verdier ned mot 3 - 4 ohmm. Hematitt/magnetitt har en resistivitet på 5 -10 ohmm. Generelt ser det ut som om malmen ved Stensundtjern har tydelig bedre ledningsevne enn ved Finnkåteng. Malmen gir tydelig SP-anomali og ligger mellom, -500 mV og -600 mV. Malmen gir tydelig IP anomali, men den er stedvis "falsk" pga. høy elektronisk ledningsevne i malmen, særlig i magnetitt.



Figur 4.12. Logging i Bh 141 Stensundtjern.

Bh141 Rana Gruber

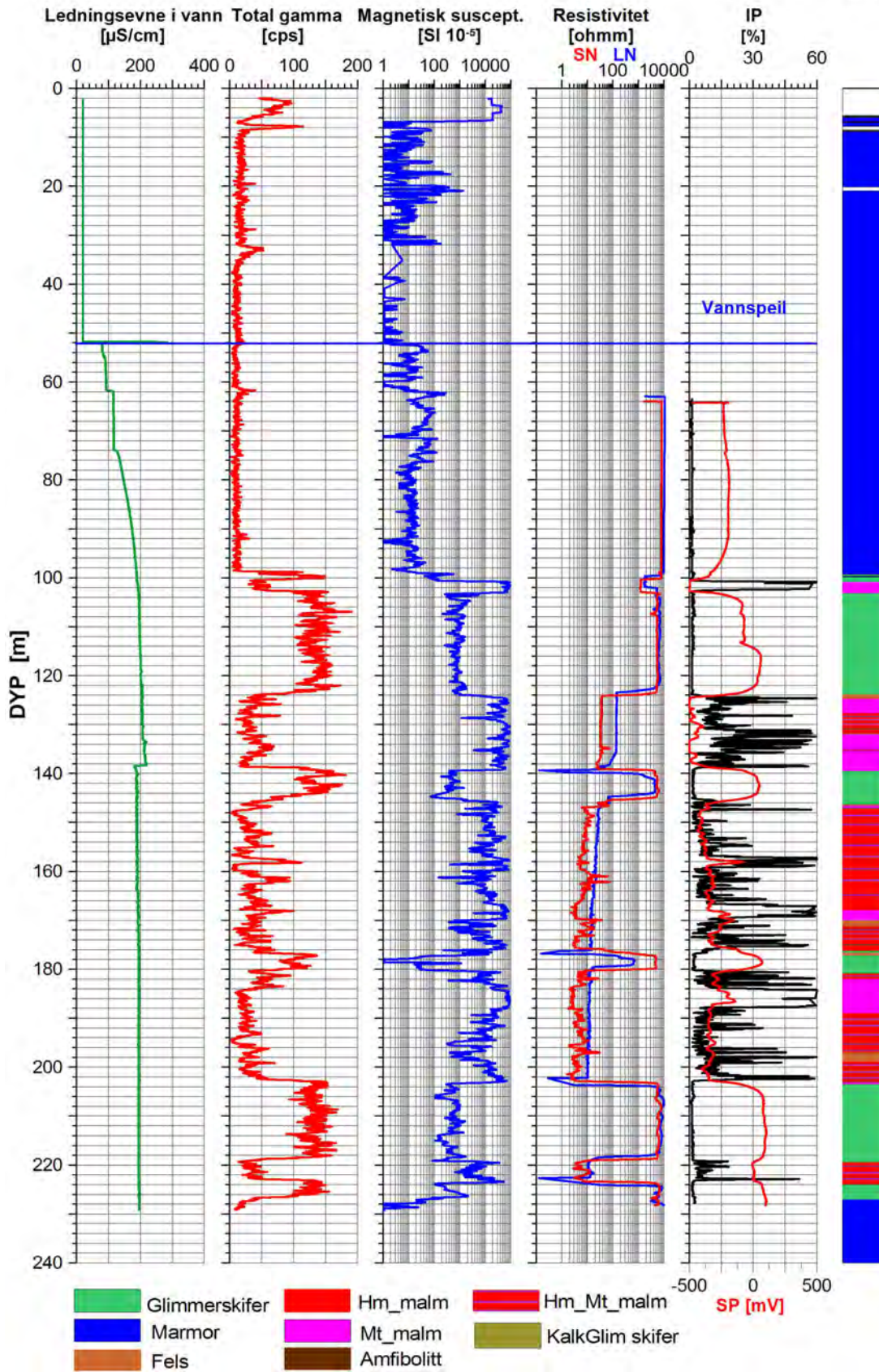
UTM 473864 E
33W 7366746 N
249 moh



Figur 4.13. Bh 141, ledningsevne i vann, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.

Bh141 Rana Gruber

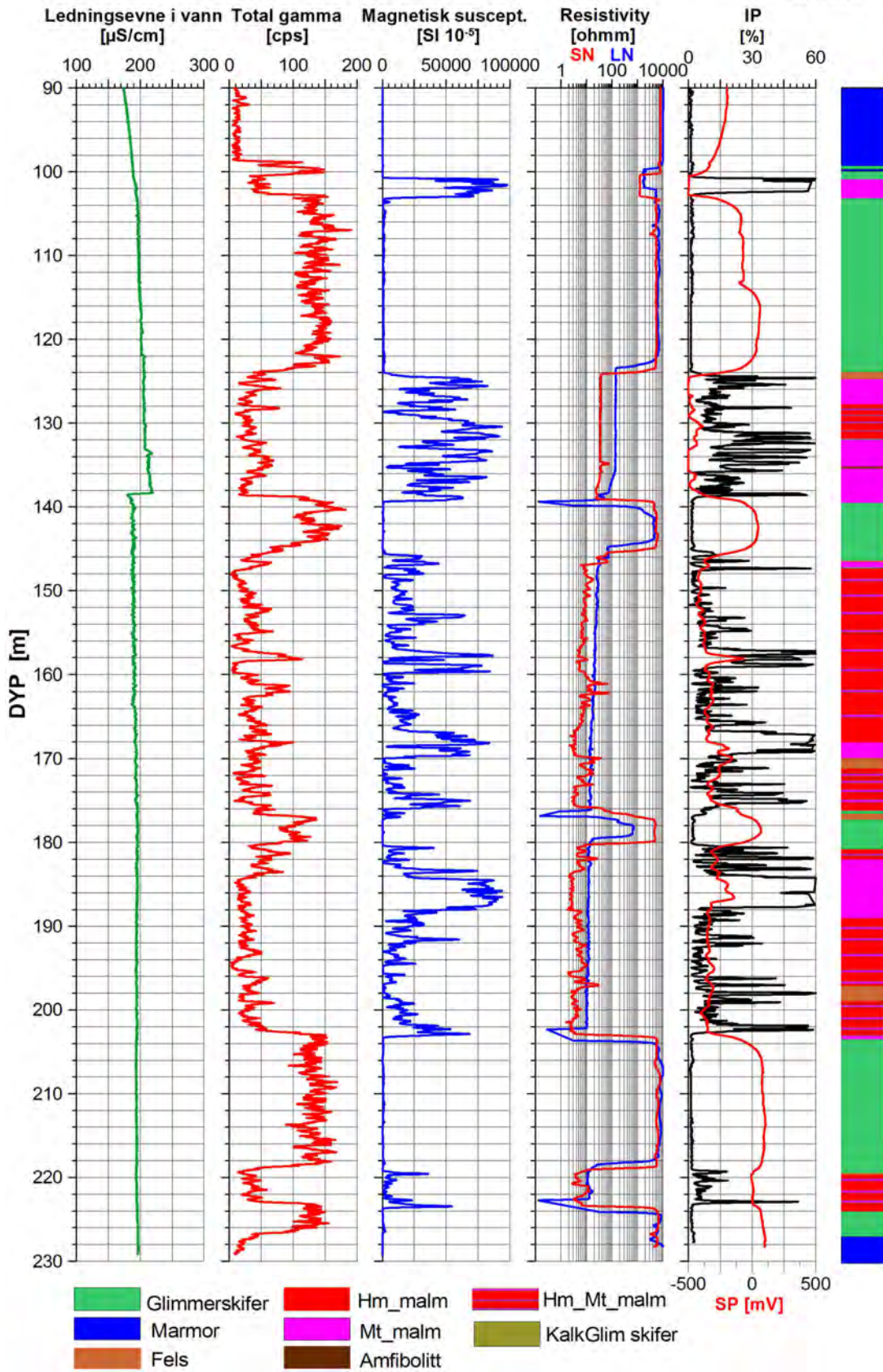
UTM 473864 E
33W 7366746 N
249 moh



Figur 4.14. Bh 141, ledningsevne i vann, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.

Bh141 Rana Gruber

UTM 473864 E
33W 7366746 N
249 moh



Figur 4.15. Bh 141, 90 – 230 m. Ledningsevne i vann, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.

4.2.4 Bh 164, Stensundtjern

Figur 4.16 viser bilde fra lokalitet Bh 164, Stensundtjern. Hullet er boret med 49° fall mot nord. Figur 4.17 viser logger av seismisk P-bølgehastighet, total naturlig gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, IP og SP. Figur 4.18 viser de samme loggene men med logaritmisk skala for magnetisk susceptibilitet og viser bedre detaljene i den lavmagnetiske delen av hullet. Litologisk logg er vist for hele hullet. Figur 4.19 viser et mer detaljert utsnitt av loggene mellom 110 og 220 m dyp.

Bergartene er de samme som ved Finnkåteng men mangler kalkglimmerskiferen som ligger under hovedmalmsonen i Bh 252 og Bh 253. Det er mye malm i dette hullet, til sammen ca 75 m, med ren magnetitt og en blanding av magnetitt og hematitt. Bergartsgrensene indikeres tydelig på gammaloggen. Glimmerskifer har høyest gammastråling, 130 – 140 cps, mens marmor har lavest, 10 - 20 cps. Magnetitt og hematitt har også lav gamma, 30 – 40 cps. En grafittskifer ved 91 – 104 m har en gammastråling på gjennomsnittlig 150 cps. Forhøyet gamma mellom 22 og 36 m i marmoren skyldes trolig innslag av grafitt (beskrevet i borehullslogg, Rana Gruber).

Magnetisk susceptibilitet varierer mye fra verdier ned mot null i marmor og opp mot 0.9 SI i magnetittmalm. Til sammenligning viser magnetitt/hematitt ca 0.12 – 0.18 SI. Glimmerskifer er målt til en gjennomsnittsverdi på 0.005 SI. Detaljerte verdier blir vist senere i rapporten i tabellform. Grafittskiferen og sonen ved 22 – 36 m har forhøyet susceptibilitet i forhold til marmoren, 0.002 SI.

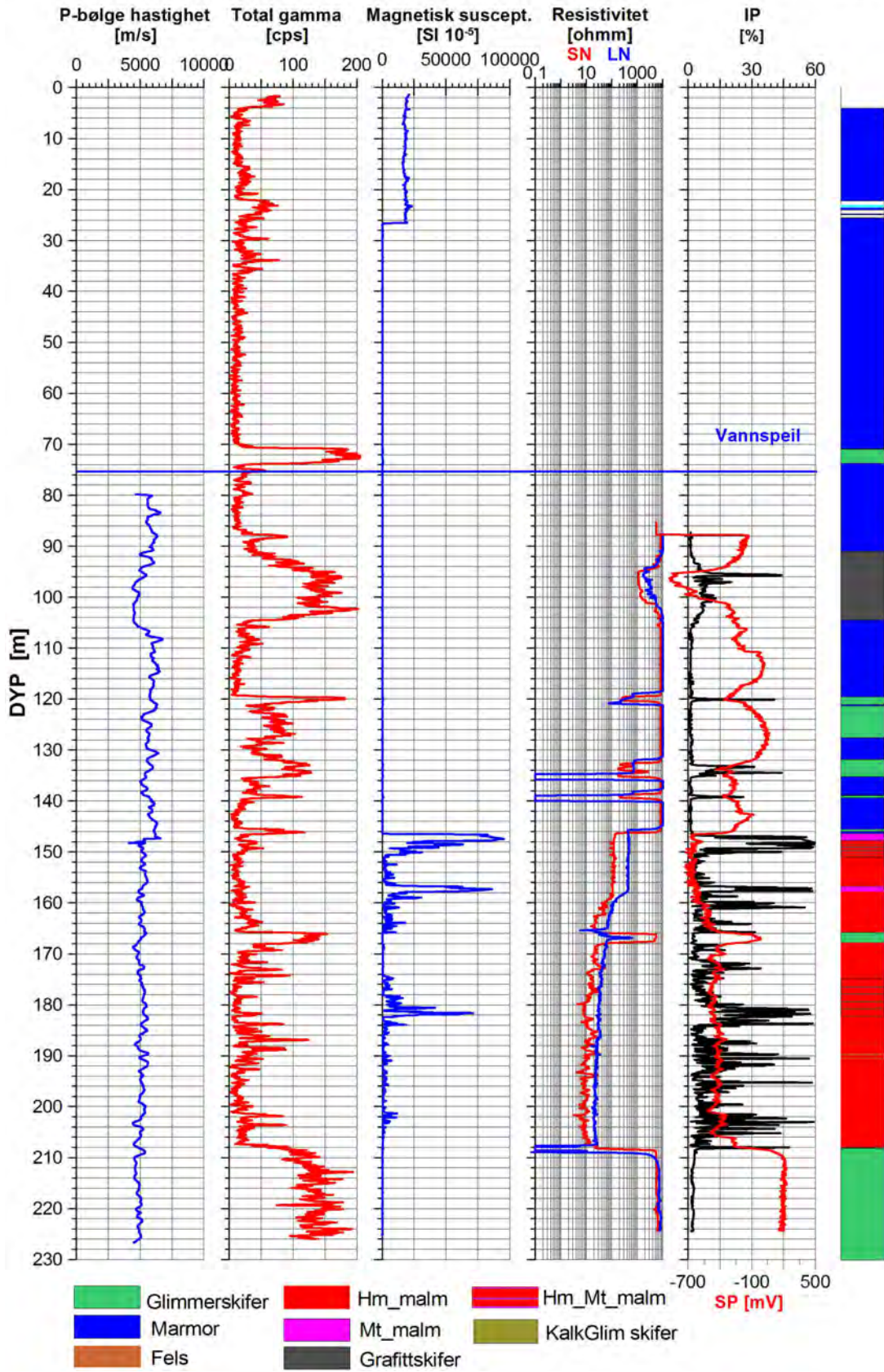
Resistiviteten er svært høy i marmor, 8000 – 10000, og glimmerskifer, 5000 - 6000 ohmm. Malmen gir tydelig resistivitetsanomali med en gjennomsnittsverdi på 13 ohmm i magnetitt og SN konfigurasjon. Deler av magnetittmalmen viser verdier ned mot 3 - 4 ohmm. Hematitt/magnetitt har en resistivitet på 5 -10 ohmm. Generelt ser det ut som om malmen ved Stensundtjern har tydelig bedre ledningsevne enn ved Finnkåteng. Malmen gir tydelig SP-anomali, -500-600 mV. Malmen gir tydelig IP anomali, men den er stedvis ”falsk” pga. høy elektronisk ledningsevne i malmen, særlig i magnetitt. Grafittskiferen ved 91 – 104 m indikeres tydelig på alle logger. Resistiviteten er ikke spesielt lav, 1000 – 2000 ohmm, som er mye høyere enn i malmsonen. Grafittskiferen inneholder litt kalkspat og 2-3 % FeS₂.



Figur 4.16. Logging i Bh 164 Stensundtjern.

Bh164 Rana Gruber

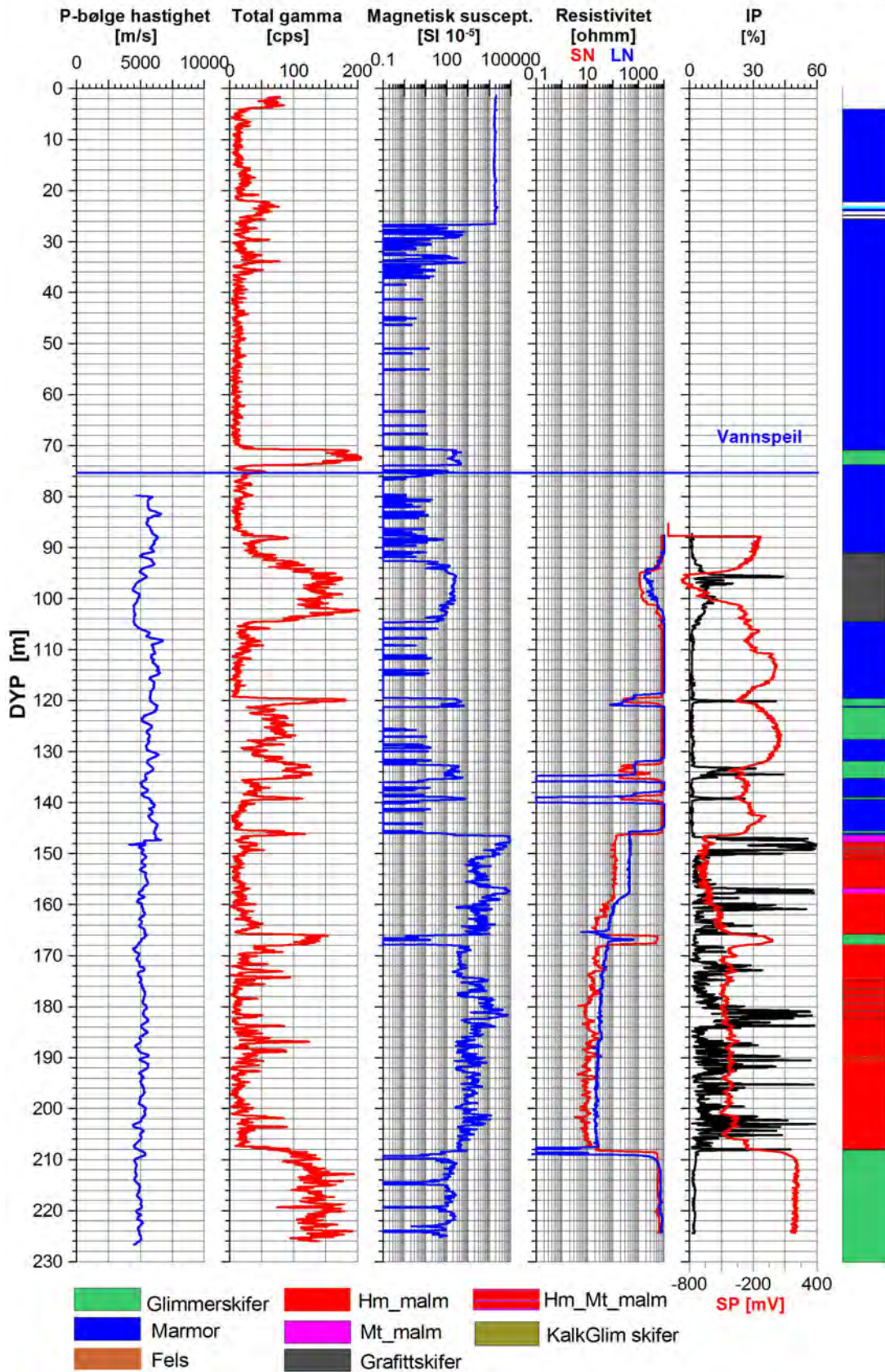
UTM 473789 E
33W 7366731 N
258 moh



Figur 4.17. Bh 164, seismisk hastighet, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.

Bh164 Rana Gruber

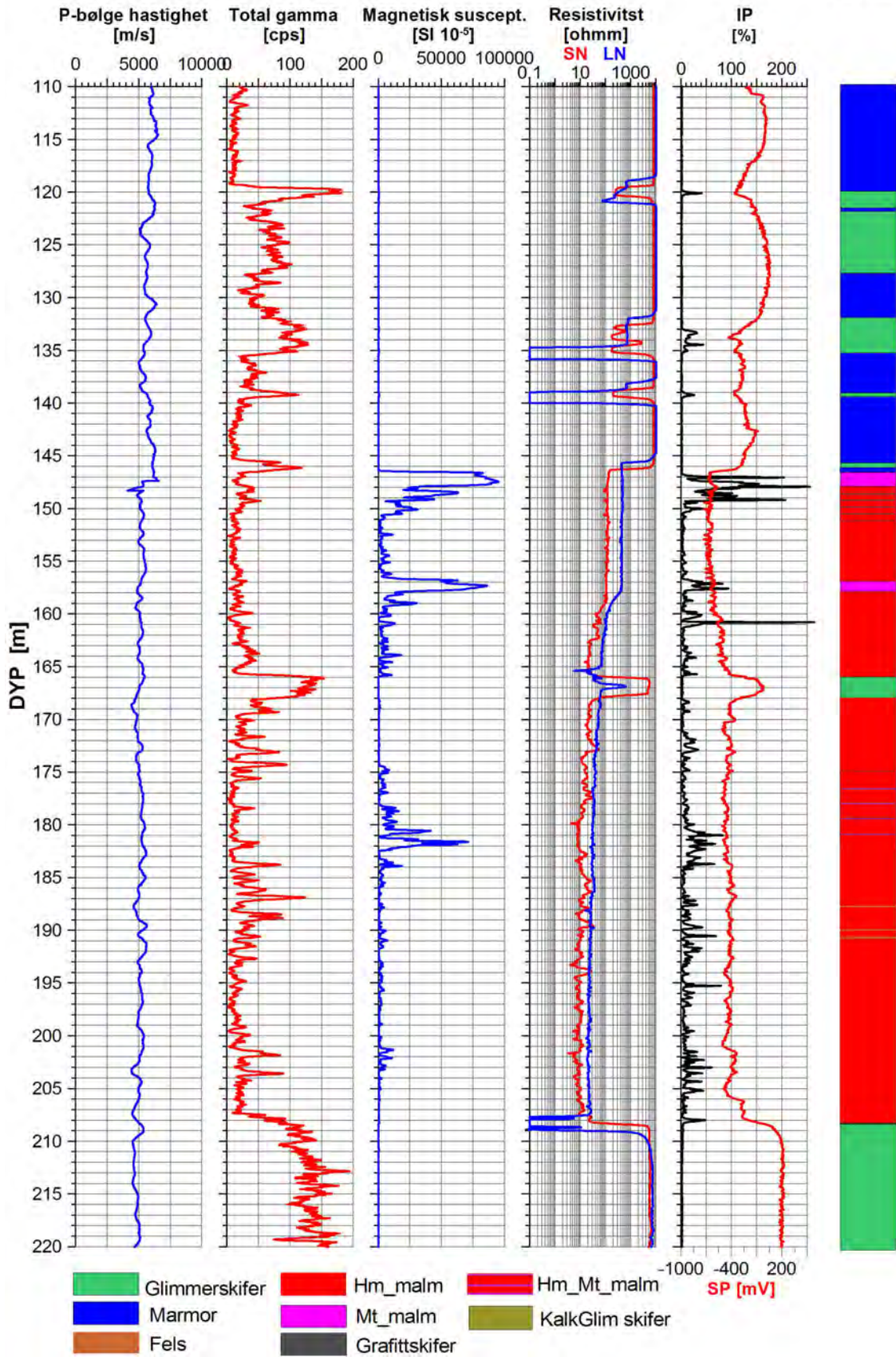
UTM 473789 E
33W 7366731 N
258 moh



Figur 4.18. Bh 164, seismisk hastighet, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.

Bh164 Rana Gruber

UTM 473789 E
33W 7366731 N
258 moh



Figur 4.19. Bh 164, 110 – 220 m, seismisk hastighet, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.

4.2.5 Bh 191, Lomli

Bh 191, ved Lomli, er boret på en magnetisk anomali ca 10 km øst for Finnkåteng. Vannspeilet lå på 57 m og seismisk hastighet kunne derfor ikke logges i malmen. På grunn av sterkt vanninnslag over vannspeilet var det mulig å logge resistivitet fra ca 30 m dyp.

Figur 4.20 viser bilde fra lokalitet Bh 191, Lomli. Hullet er boret med 50° fall mot nord. Figur 4.21 viser logger av seismisk P-bølgehastighet, total naturlig gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, IP og SP. Figur 4.22 viser de samme loggene men med logaritmisk skala for magnetisk susceptibilitet og viser bedre detaljene i den lavmagnetiske delen av hullet. Litologisk logg er vist for hele hullet. Figur 4.23 viser et mer detaljert utsnitt av loggene mellom 20 og 100 m dyp.

I Bh 191 ble det påtruffet tre soner med magnetitt på ca 3 m mektighet hver mellom 26 og 48 m dyp. Magnetitten ligger her i en amfibolitt med en underliggende kalkglimmerskifer. Bh 192 som var boret på samme sted hadde nesten 40 m malmskjæring, men hullet var for slakt til å kunne logges.

Bergartsgrensene indikeres tydelig på gammaloggen. Kalkglimmerskifer har høyest gammastråling, gjennomsnittlig 105 cps, amfibolitt, 70 cps og magnetitt 60 cps.

Magnetisk susceptibilitet i magnetitten ligger mellom 0.5 og 0.75 SI som er litt mindre enn ved Stensundtjern og Finnkåteng. Amfibolitt har forholdsvis høy susceptibilitet, 0.1 – 0.3 SI, mens den underliggende kalkglimmerskiferen har lav susceptibilitet, 0.0007 SI.

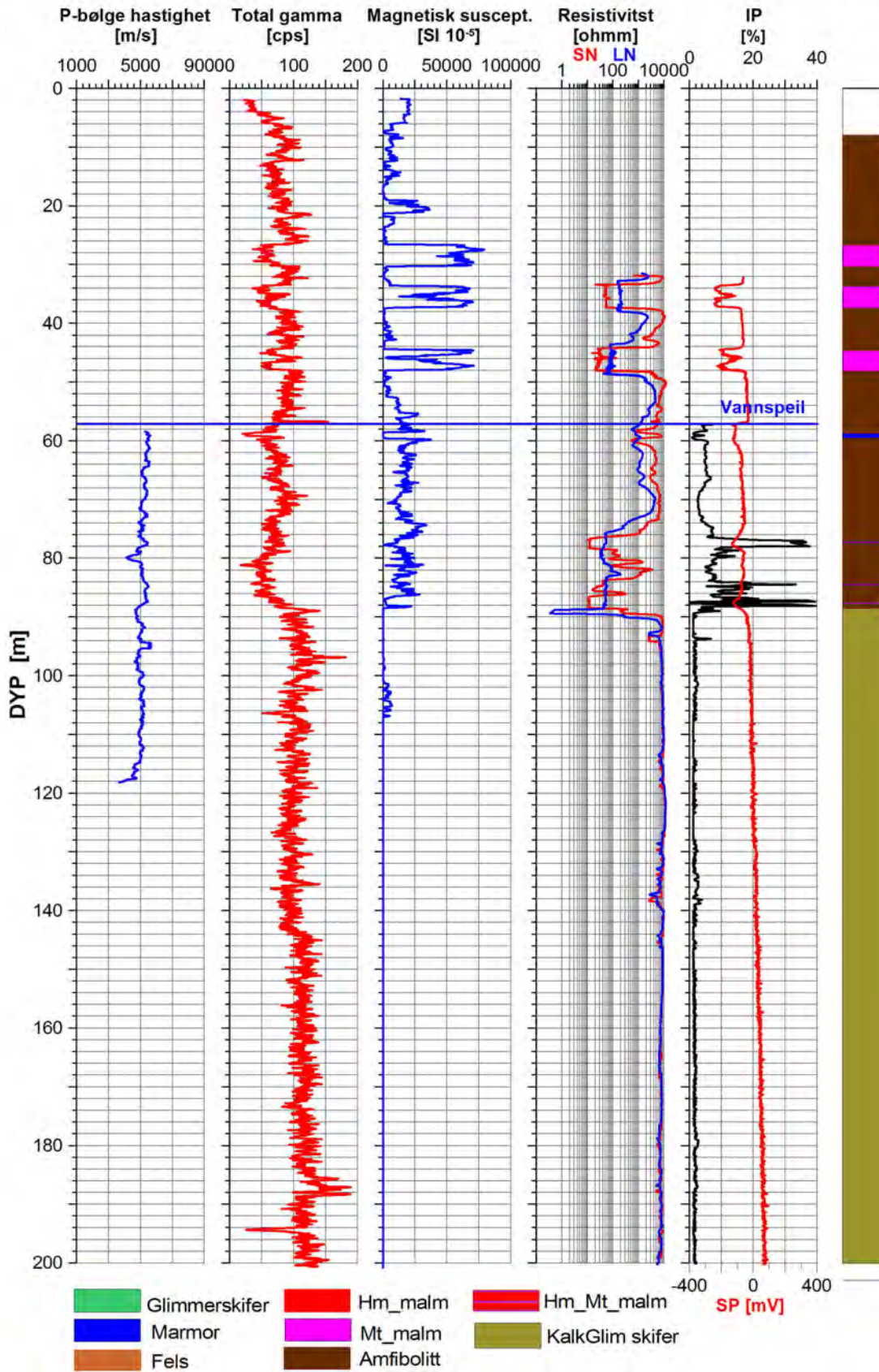
Resistiviteten i magnetitten går ned mot 40 ohmm med SN konfigurasjon og 135 ohmm med LN. Resistiviteten i kalkglimmerskiferen er høy, 8200 ohmm og i amfibolitten ca 5600 ohmm (SN). Resistiviteten er mye lavere med LN, 1500 ohmm. Da denne konfigurasjonen måler et større volum (større lengde i borehullet) kan det tenkes at ledende mineraler, f.eks. magnetitt, påvirker resistiviteten. Dette kan også forklare den forholdsvis høye susceptibiliteten i amfibolitten. Malmen gir tydelig SP-anomali, -175 mV. Malmen gir tydelig IP anomali, men den er stedvis "falsk" pga. høy elektronisk ledningsevne i malmen. P-bølgehastigheten er målt til 5200 m/s i amfibolitt og 5000 m/s i kalkglimmerskifer.



Figur 4.20. Logging i Bh 191, Lomli.

Bh191 Rana Gruber

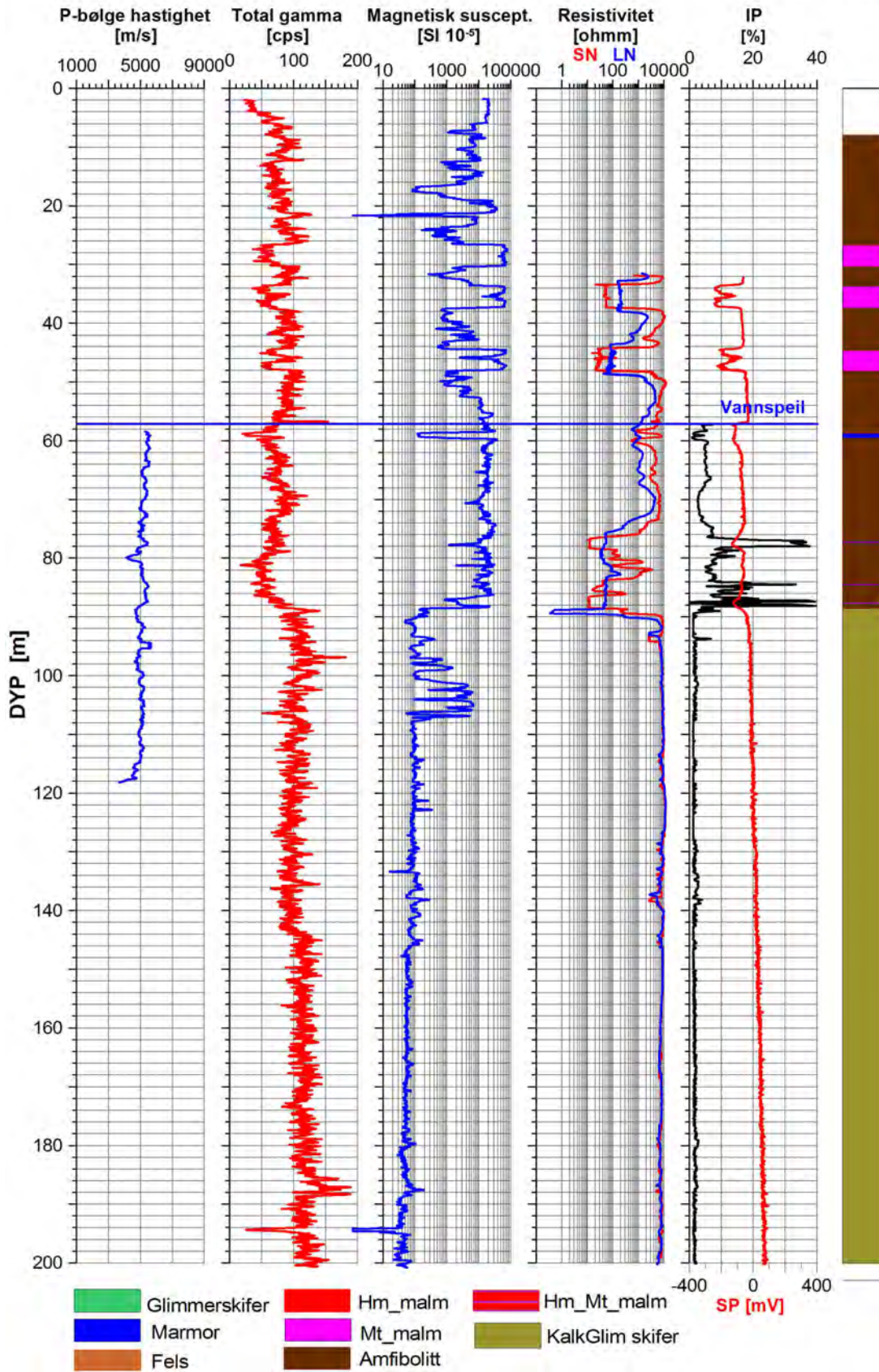
UTM 483723 E
33W 7365963 N
339 moh



Figur 4.21. Bh 191, seismisk hastighet, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.

Bh191 Rana Gruber

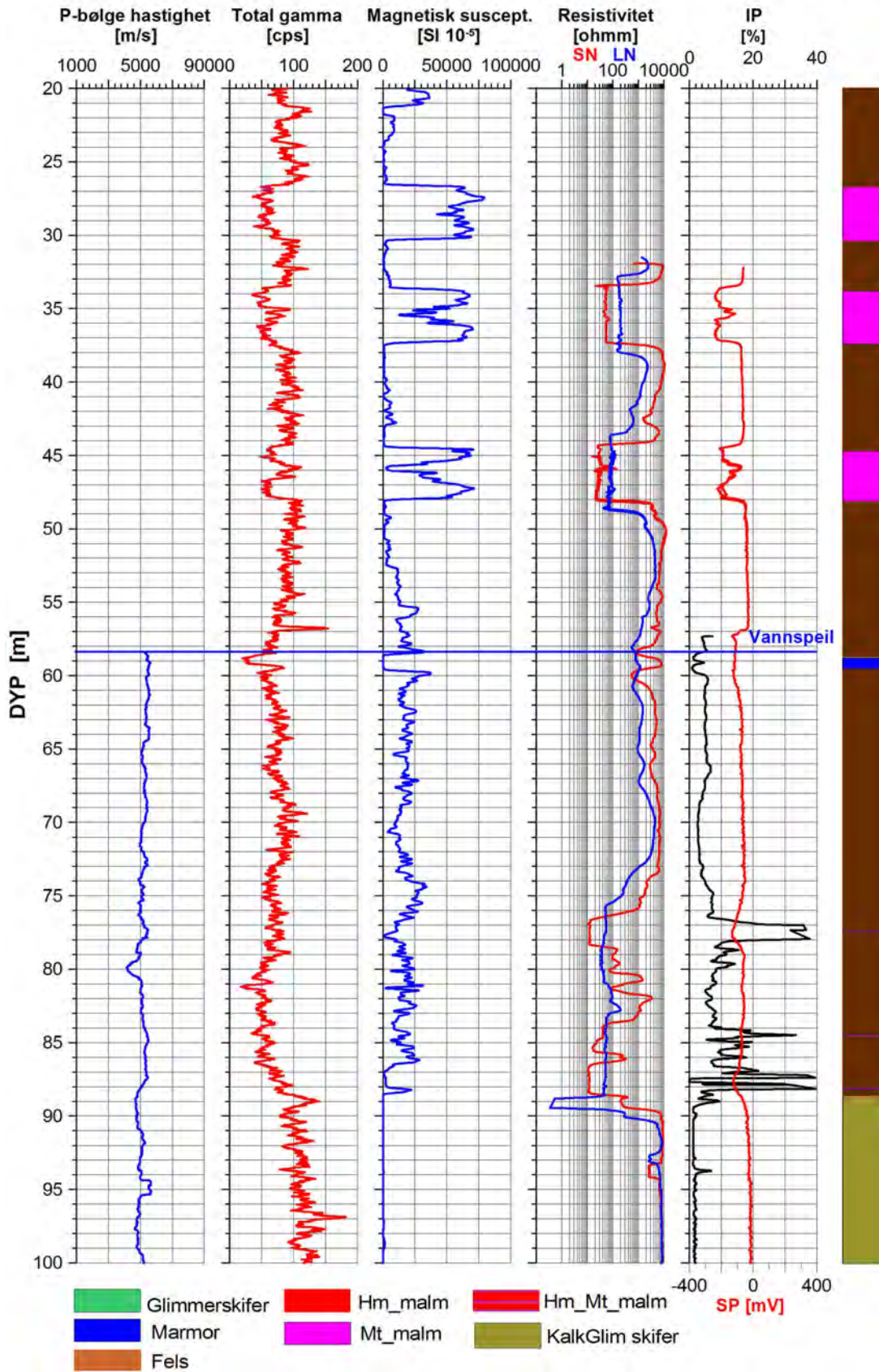
UTM 483723 E
33W 7365963 N
339 moh



Figur 4.22. Bh 191, seismisk hastighet, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.

Bh191 Rana Gruber

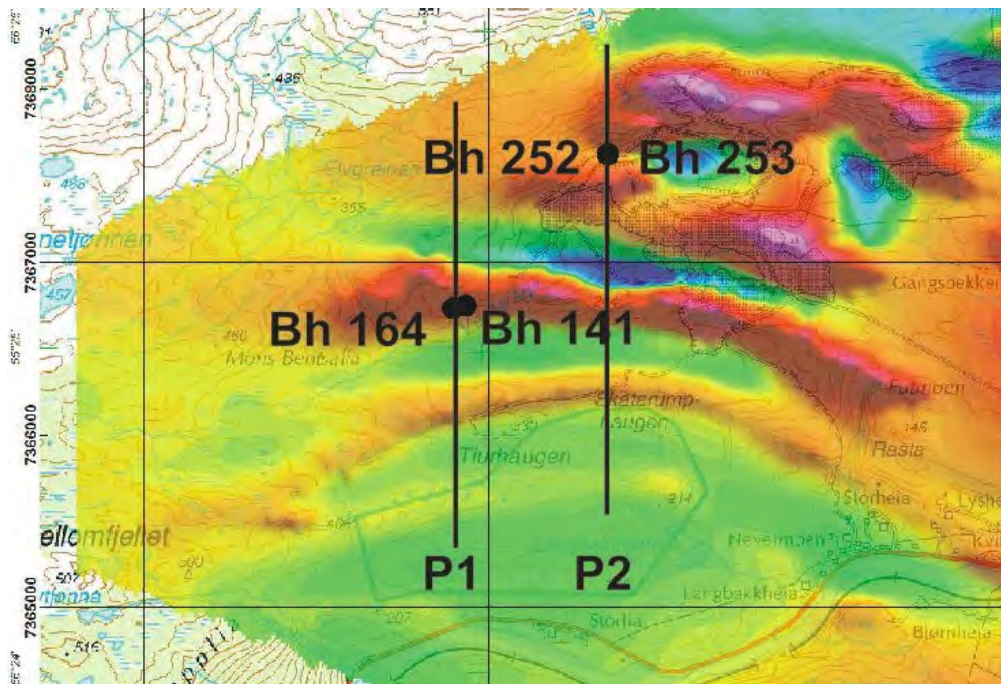
UTM 483723 E
33W 7365963 N
339 moh



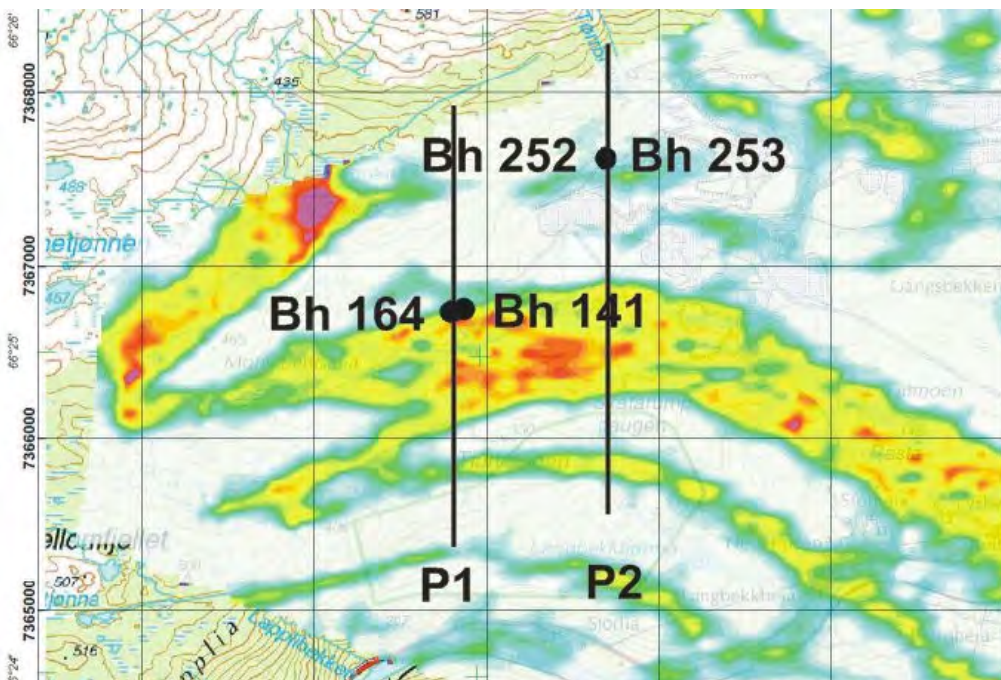
Figur 4.23. Bh 191, 20 – 100 m, seismisk hastighet, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, SP og IP.

4.3 Magnetisk- og resistivitetsprofil over Bh 141, Bh 164, Bh 252, Bh 253 og Bh 191

Fra helikopterdata er det for tilsynelatende resistivitet og magnetisk totalfelt tatt ut profildata for profiler gjennom hullene som ble logget. Figur 4.24 viser magnetisk totalfelt fra Finnkåteng (Bh 252, Bh 253) og Stensundtjern (Bh 141 og Bh 164). Figur 4.25 viser resistivitet fra samme områder. Profilene er markert med P1 og P2.



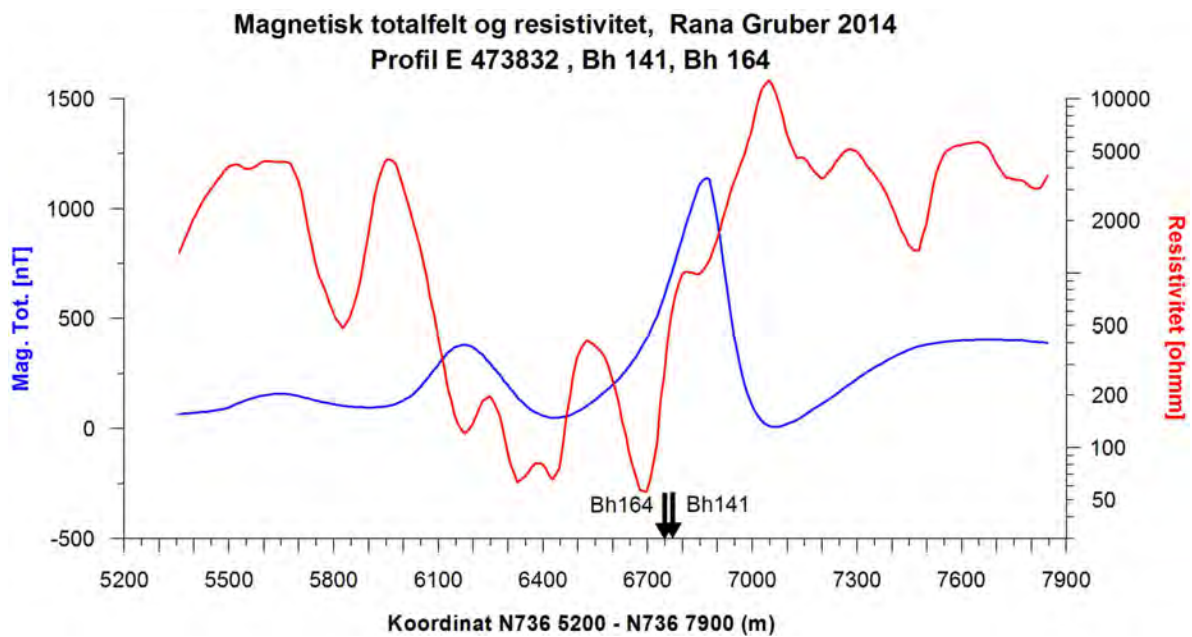
Figur 4.24. Magnetisk totalfelt, Finnkåteng og Stensundtjern med utvalgte profiler P1 og P2.



Figur 4.25. Resistivitet, Finnkåteng og Stensundtjern med utvalgte profiler P1 og P2.

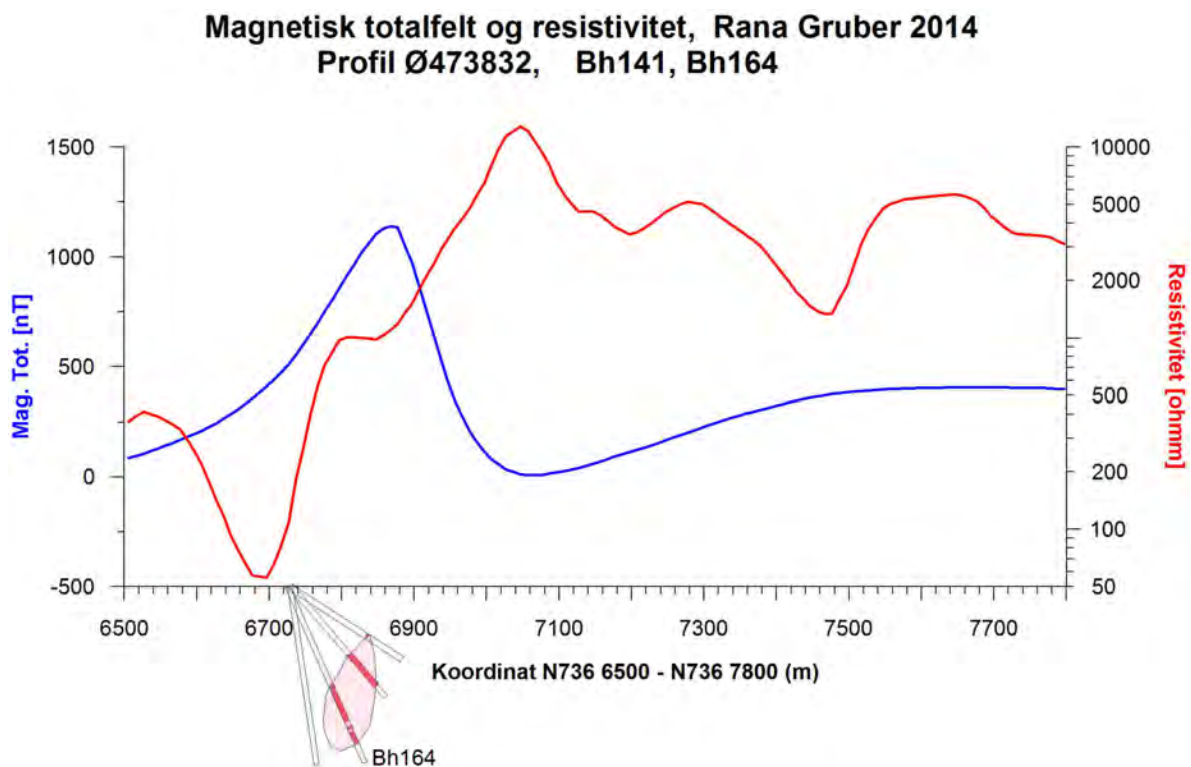
4.3.1 Boreprofil Bh 164

Figur 4.26 viser magnetisk- og resistivetsprofil (tilsynelatende resistivitet, 7 kHz) for P1, ved Bh 164. Profildata er tatt fra helikopterdata, EM og magnetisk totalfelt, se figur 4.24 og 4.25. Bh 141 og Bh 164 ligger nær hverandre og det er lagt et profil mellom de to hullene. Figur 4.27 viser utdrag av samme profil med borehullene i boreprofil Bh 141 tegnet inn. Malmskjæringene i hullene er angitt, men angitt malmkropp er ikke bekreftet riktig og er tegnet ut fra grensene i hullene. Men skissen illustrerer hvordan malmen ligger i forhold til profilkurvene.



Figur 4.26. Profilkurver for magnetisk totalfelt og tilsynelatende resistivitet, 7 kHz, profil P1.

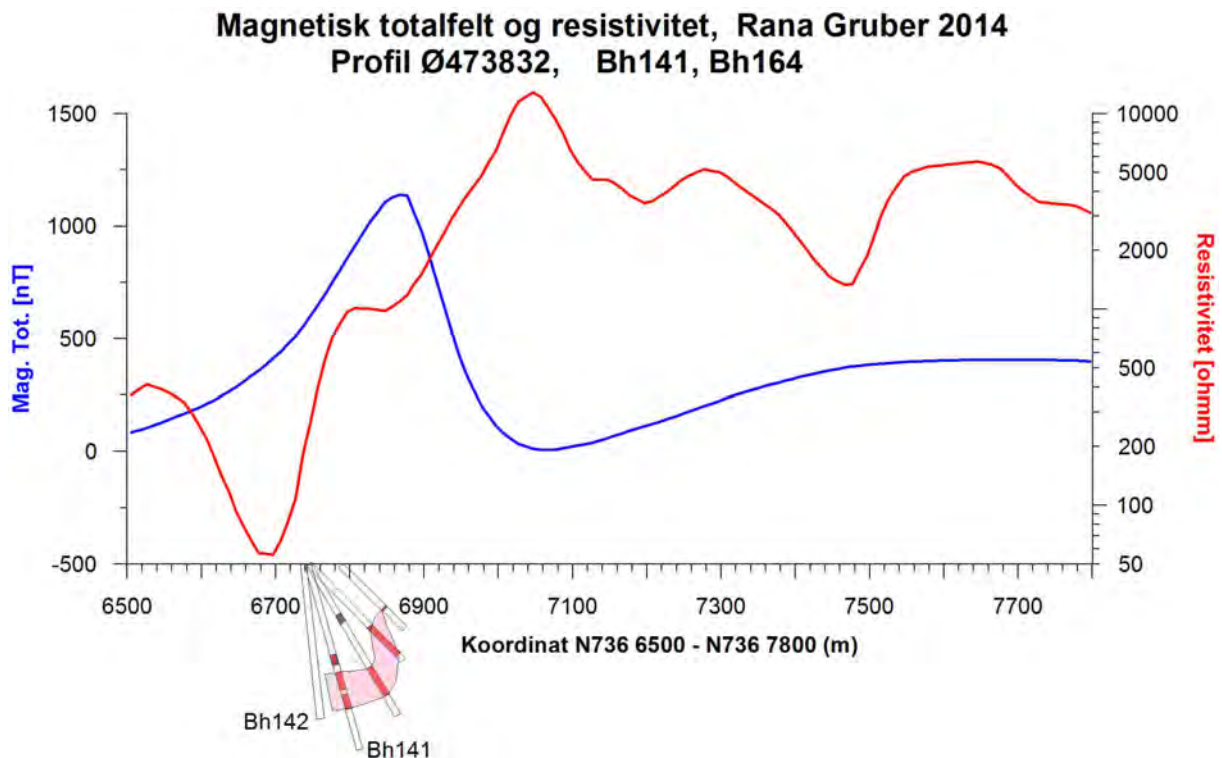
Magnetisk totalfeltkurve på figur 4.27 viser en tydelig positiv anomali rett over malmen ved koordinat 6850 (N736 6850). Kurveformen antyder et steilt fall mot sør hvilket også malmskjæringene i Bh 164 viser. Ved koordinat 6680 vises en resistivitetsanomali på ca 60 ohmm. Denne skyldes trolig ikke malm da det ikke er magnetisk anomali her og det nærmeste borehullet viser heller ikke malm. Det ble opplyst fra Rana Gruber at det sør for Bh 141 var påvist godt ledende dagnære grafittskifre (A. Bergvik, personlig meddelelse). En utflating av resistivitetskurven ved ca 6800 kan tyde på at malmsonen indikeres på dette nivået, ca 1000 ohmm. I Bh 164 ble malmen målt til å ha en resistivitet på 15 – 50 ohmm. Dette er målt direkte på malmen i hullet og kan ikke sammenlignes med den tilsynelatende resistiviteten man måler med helikoptersonden 60 m over bakken. Lenger sør på profilet, ved 6300 - 6400 er det også lav resistivitet, figur 4.26 (grafitt?).



Figur 4.27. Profilkurver for magnetisk totalfelt og tilsynelatende resistivitet, 7 kHz, ved Bh 164.

4.3.2 Boreprofil Bh 141

Figur 4.28 viser profilkurver for magnetfelt og resistivitet, profil P1 ved Bh 141. Profildata er tatt fra helikopterdata, EM 7 kHz, og magnetisk totalfelt, se figur 4.24 og 4.25. Det er benyttet samme profildata som ved boreprofil Bh 164. Det var boret 4 hull i dette profilet med malmskjæring, se figur 4.28. Bh 142 litt sør for Bh 142 på samme boreplass hadde ikke malmskjæring. På samme måte som på boreprofil Bh 164 indikerer profilkurvene av magnetfelt og resistivitet den påtrufne malmen i boreprofil Bh 141.



Figur 4.28. Profilkurver for magnetisk totalfelt og tilsynelatende resistivitet, 7 kHz, ved Bh 141.

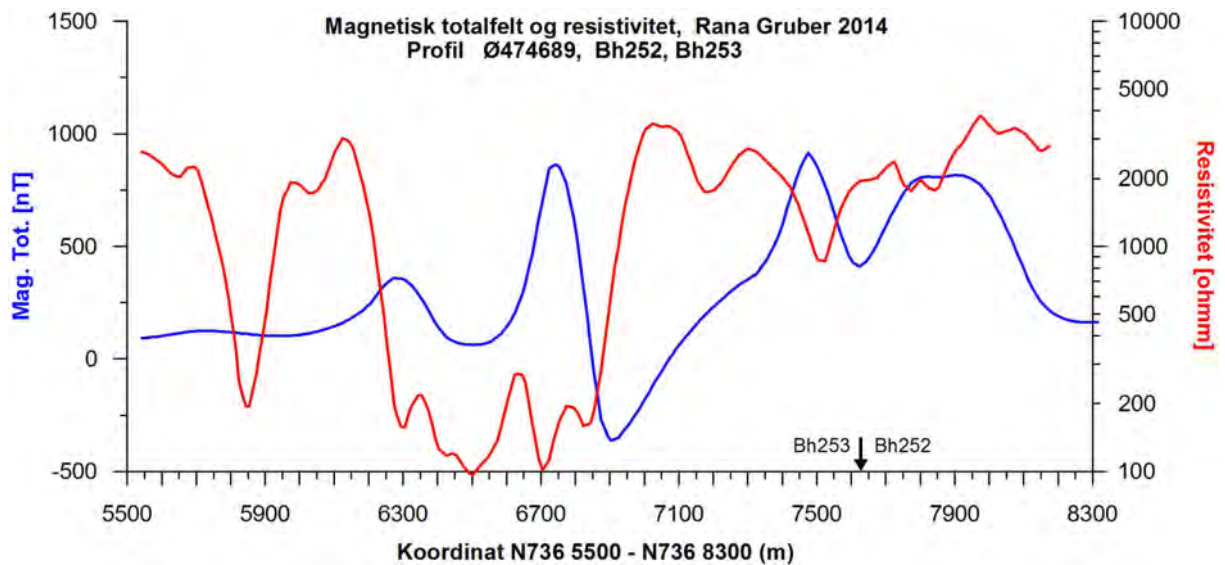
4.3.3 Boreprofil Bh 252 og Bh 253

Figur 4.29 viser magnetisk- og resistivitetsprofil, 7 kHz, for P2, ved Bh 252 og Bh 253. Profildata er tatt fra helikopterdata, se figur 4.24 og 4.25. Det var boret 6 hull i dette profilet med malmskjæring, se figur 4.30, hvor et antatt tverrsnitt av malmsonen er tegnet inn.

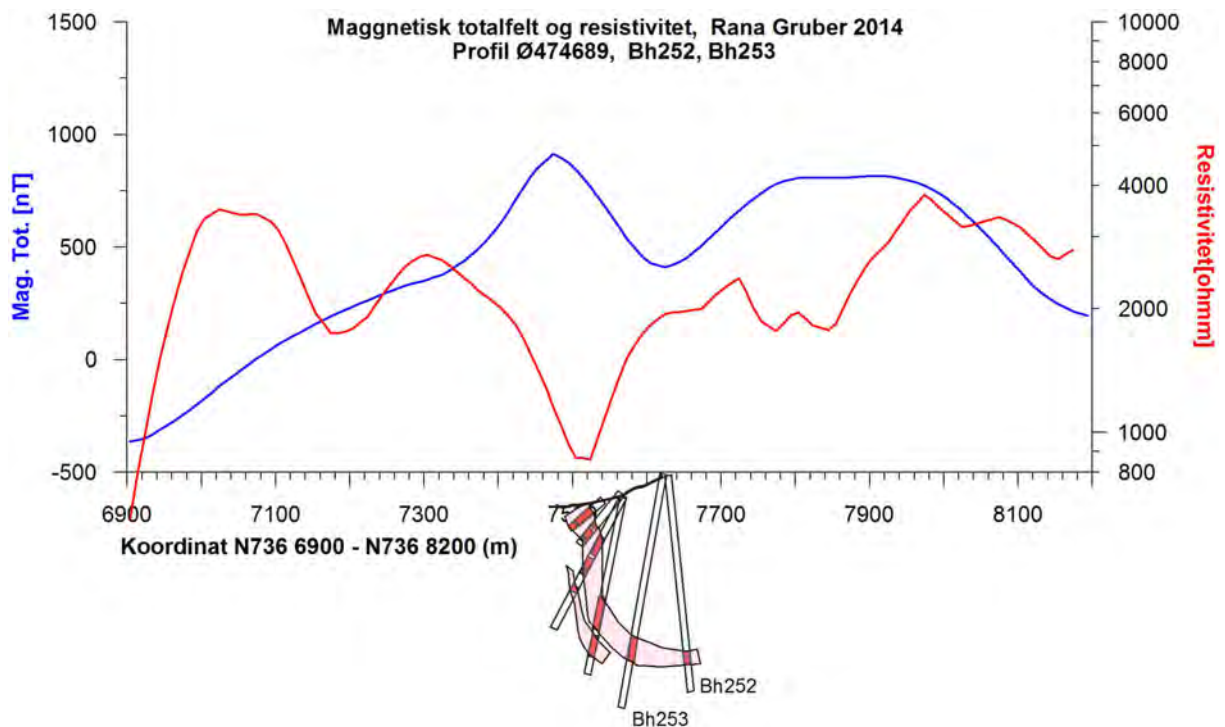
Det er en tydelig positiv magnetisk anomali over den grunneste delen av malmen, ved koordinat 7480 (N736 7480). Malmen står nesten loddrett ned til ca 150 m dyp, deretter flater den ut mot nord. Det er en tydelig resistivitetsanomali 30 m lenger nord, ved koordinat 7510 rett over utgående (?) av malmen. Det er tydelig at malmen gir resistivitetsanomali. Lenger sør indikeres en 500 – 600 m bred sone med lav resistivitet, ned mot 100 ohmm. Denne sonen går øst – vest og vises tydelig også på P1, figur 4.26. Ved koordinat 6700 er det en tydelig

magnetisk anomali som faller sammen med lav resistivitet. Det er boret og påvist malm i dette området, men hullene var ikke tilgjengelig for logging.

Nord for Bh 252 og Bh 253, ved koordinat 7800 – 8000, er det også høyt magnetfelt. Det er også en svak resistivitetsanomali uten at NGU har opplysninger om mineralisering her bortsett fra at området ligger i vestenden en malm som er drevet ut tidligere.



Figur 4.29. Profilkurver for magnetisk totalfelt og resistivitet, profil P2.

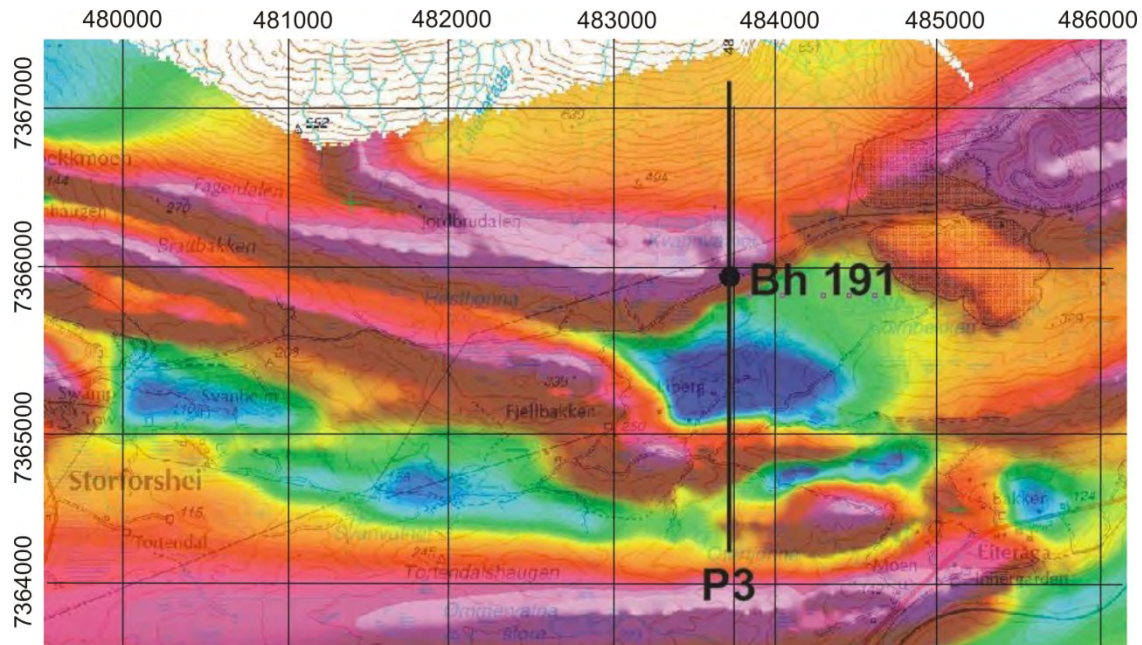


Figur 4.30. Profilkurver for magnetisk totalfelt og resistivitet ved Bh 164 og Bh 141.

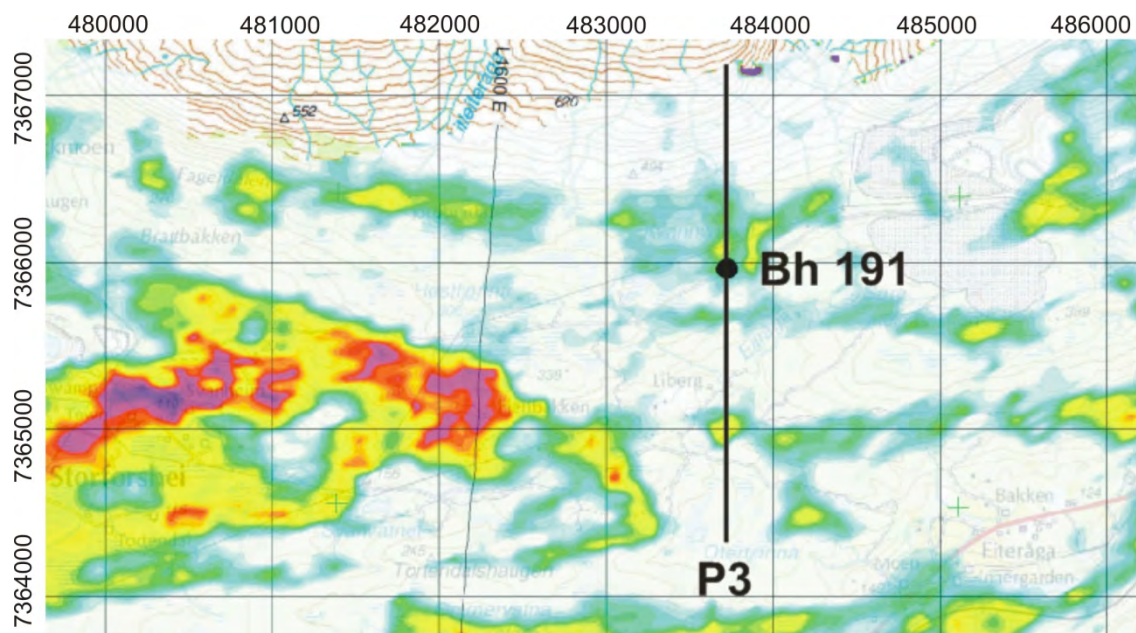
4.3.4 Boreprofil Bh 191, Lomli

Ved Lomli, ca 10 km øst for Stensundtjern, opptrer en sterk magnetisk anomali, se figur 4.31 som viser utsnitt av magnetisk totalfelt vist i anomalikartet i figur 2.2. Et profil, P3, er lagt gjennom Bh 191 for å se hvordan magnetfeltet varierer langs profilet. Figur 4.32 viser tilsvarende utsnitt for resistivitet.

Det var boret flere hull på denne anomalien og malm er påvist. De fleste hull som var tilgjengelig var imidlertid for slake til å kunne måles. Bh 192 var boret like ved Bh 191 og traff ca 40 m malm. I Bh 191 var det tre soner på hver ca 3 m magnetitt.

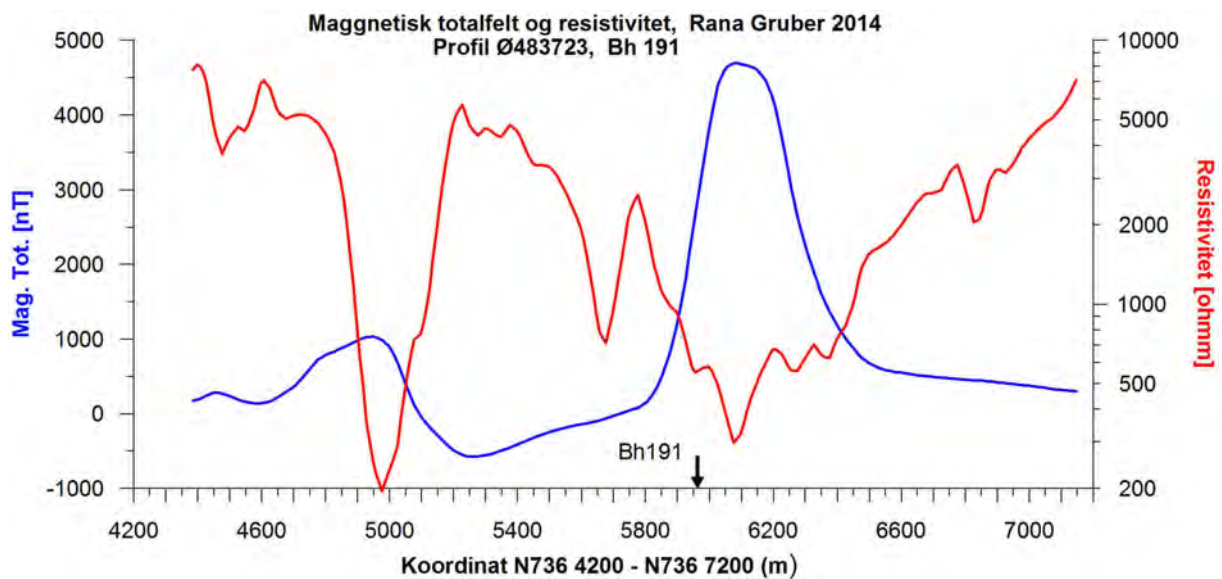


Figur 4.31. Magnetisk totalfelt, Lomli.

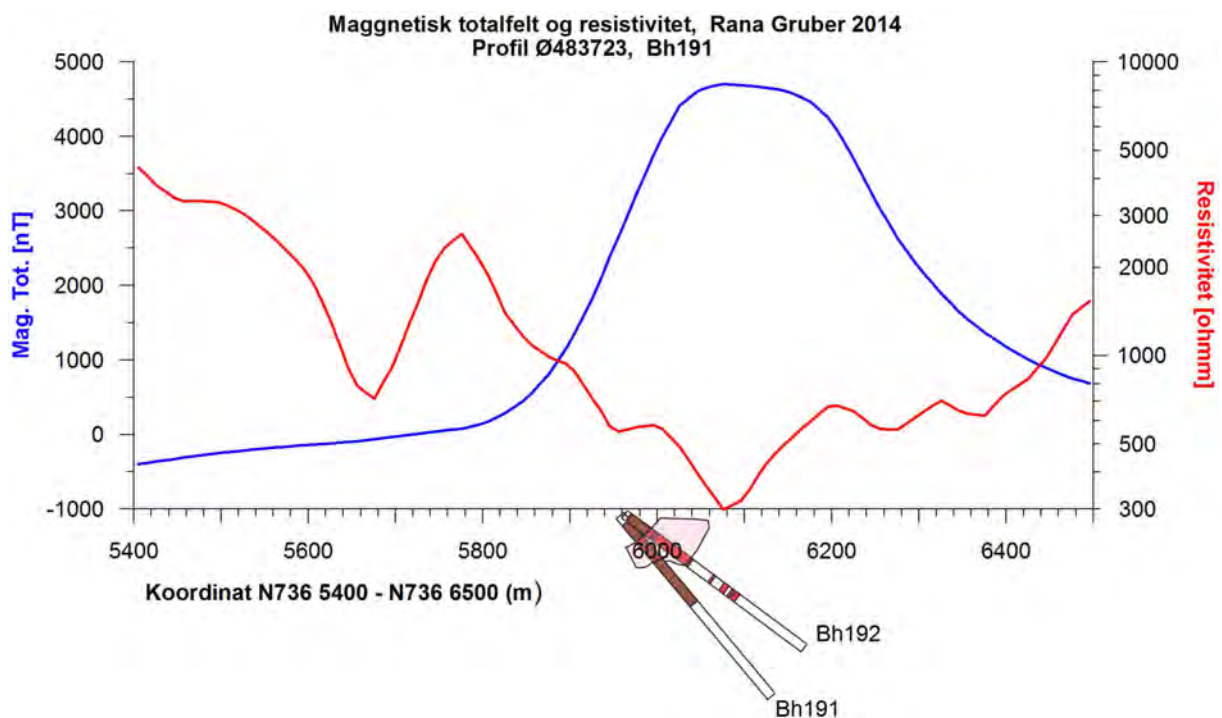


Figur 4.32. Tilsynelatende resistivitet, 7 kHz, Lomli.

Figur 4.33 viser profilkurver av magnetisk totalfelt og resistivitet på profil P3. Den magnetiske anomalien er mye sterkere her, 4700 nT, mot ca 1000 nT ved Finnkåteng og Stensundtjern. Anomalien er litt asymmetrisk og tyder på en malmkropp med steilt fall mot nord. Den magnetiske anomalien faller sammen med en bred resistivitetsanomali med verdier ned mot 300 ohmm. Figur 4.34 viser et mer detaljert utdrag av profilkurvene med Bh 191 og Bh 192 tegnet inn. Bh 192 er boret like over Bh 191 med slakere fall (ca 35 °) med mye mer malm, se foran. Angitt skisse av malmareal på figur 4.34 er høyst usikker, men det virker som at den påviste malmen i borehullene ikke forklarer den kraftige totalfeltanomalien. Det må bemerkes at profildata er hentet 15 – 20 m vest for Bh 191 og at data er hentet fra et griddet datasett. NGU kjenner heller ikke til hva andre borehull ved Lomli har vist av malm.



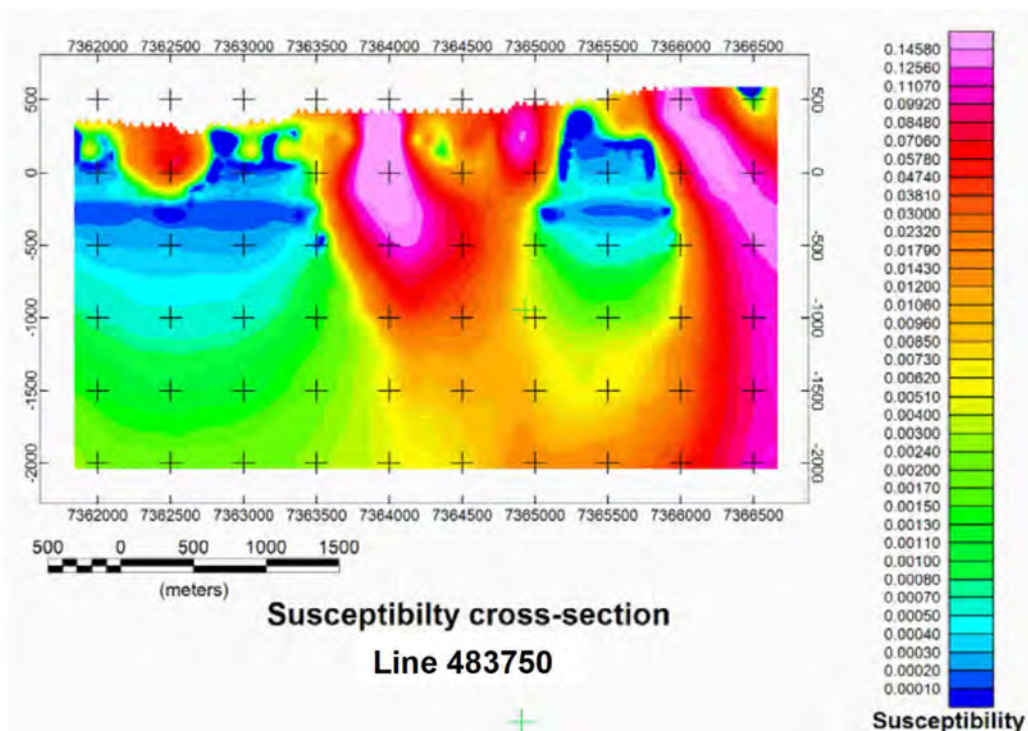
Figur 4.33. Profilkurver for magnetisk totalfelt og resistivitet, profil P3, Bh 191.



Figur 4.34. Profilkurver for magnetisk totalfelt og resistivitet, profil P3, Bh 191.

Litt lenger sør på profilet, ved koordinat 4970, opptrer en meget tydelig resistivitetsanomali, ned mot 200 ohm. Det er også en tydelig magnetisk anomali her, men ikke så kraftig som den ved Bh 191. Den er likevel på samme nivå som anomaliene ved Stensundtjern og Finnkåteng. Denne anomalien er sterkere mot vest, se figur 4.31. Dette er noe NGU vil studere nærmere ved inversjon av helikopterdata og modellering.

Figur 4.35 viser en 2D modell av Line 483750, 45 m øst for Bh 191 fremkommet ved inversjon av de magnetiske helikoptermålingene (Rodionov et al 2012). Modellen viser en kraftig magnetisk struktur med steilt fall nordover. Strukturen går ned til minst 1000 m dyp. Dersom denne modellen er riktig burde potensialet for malm være større enn det som er påvist i Bh 191 og Bh 192.



Figur 4.35. 2D modell av invertert magnetisk totalfelt Line 483750, Lomli.

4.4 Sammenstilling av geofysiske parametre for alle borehull

Som nevnt innledningsvis var magnetisk susceptibilitet og resistivitet de viktigste parametre som ble logget. Disse parametre skal danne grunnlaget for invertering og modellering av tidligere utførte helikoptermålinger, EM og magnetiske målinger.

Tabell 3 viser en oversikt over alle målte parametre sortert etter måleområde. Beregnet IP i magnetitt er ikke tatt med i tabellen da denne opplagt er feil. Som omtalt tidligere er det den elektroniske ledningsevnen som er den dominerende måte å lede strøm på når måleelektrodene kortslutter den massive malmen.

Magnetisk susceptibilitet i magnetitt har høyest verdi i Bh 141 og Bh 164 ved Stensundtjern med en gjennomsnittsverdi på 0.72 SI. For Bh 252 og Bh 253 ved Finnkåteng er verdien 0.62 SI og ved Lomli, Bh 191, 0.54 SI. Hematitt har mye lavere susceptibilitet, 0.0024 – 0.058 SI. Ofte er malmen en blanding av magnetitt og hematitt. I Bh 141 og Bh 164, Stensundtjern, er magnetitt/hematitt målt til 0.13 SI. De omliggende bergarter marmor, glimmerskifer og kalkglimmerskifer har lave verdier, 0.0007 – 0.0053 SI. En merker seg at amfibolitten i Bh 191 har ganske høy susceptibilitet under malmsonen, 0.17 SI, mens den over malmsonen er noe mindre, 0.065 SI. Under malmsonen er amfibolitten beskrevet med innhold av tynne magnetittbånd.

Resistiviteten i malmen er tydelig lavest i Bh 141 og Bh 164, Stensundtjern. Både magnetitt og hematitt har resistivitetsverdier mellom 15 og 50 ohmm. Resistiviteten i Bh 252 og Bh 253 er 140 – 550 ohm og i Bh 191 40 -135 ohmm. Kontrasten til sidebergartene, 6000-8000 ohmm, er stor. Det betyr at malmsonene vil kunne indikeres ved EM helikoptermålinger.

Gammastrålingen er svært lav både i magnetitt, hematitt og marmor, 10 – 30 cps (API). I glimmerskifer er den noe høyere, ca 130 cps, se ellers tabell 3.

Sidebergartene gir ikke IP-anomali, mens grafittskiferen i Bh 164 gir en IP-verdi på 8.9 %.

Seismisk P-bølge hastighet viser normale verdier der marmor har høyest hastighet, 5900 – 6100 m/s. Malmen ligger på 5000 – 5400 m/s. Grafitt har lavest hastighet, 4700 m/s.

Det er målt forholdsvis kraftig selvpotensial over malmsonene, mellom -500 mV og -600 mV. Her er det målt direkte i malmen hvilket trolig vil være forskjellig fra målinger på overflaten.

Tabell 3. Sammenstilling av geofysiske parametre, Rana Gruber.

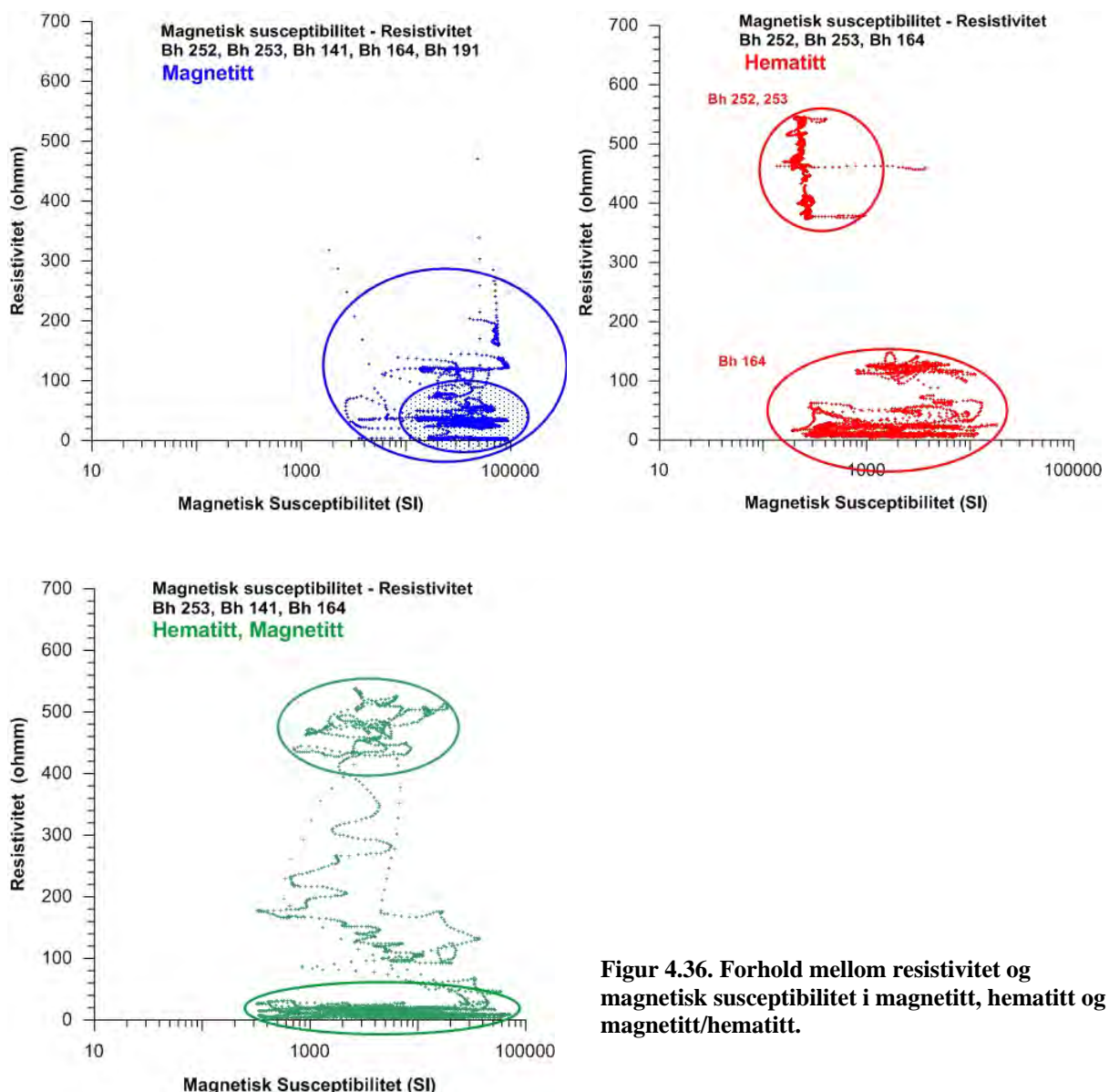
Finnkåteng Bh253, Bh252							
Bergart Mineralisering	MagSus [SI 10⁻⁵]	Resistivitet SN [ohmm] LN		Gamma [cps API]	IP [%]	P-hastighet [m/s]	SP [mV]
Magnetitt	62320	140	375	30	-	5140	-565
Hematitt	245	550	1500	15	12.0	5450	-510
Marmor	7.6	8175	10500	11	1.1	6150	
Glimmerskifer	156	8130	10050	128	2.4	5400	
Kalkglimmerskifer	122	6330	8050	105	1.4	5630	

Stensundtjern Bh141, Bh164							
Bergart Mineralisering	MagSus [SI]	Resistivitet SN [ohmm] LN		Gamma [cps API]	IP [%]	P-hastighet [m/s]	SP [mV]
Magnetitt	72280	14	52	31	-	4990	-500
Hematitt	5896	15	32	16	7.5	5210	-600
Magnetitt/hematitt	13300	44	157	26	11.3	-	
Marmor	10.2	8080	10300	17	1.2	5940	
Glimmerskifer	530	5660	6700	134	1.8	4840	
Grafittskifer	135	2760	4175	133	8.9	4740	

Lomli Bh191							
Bergart Mineralisering	MagSus [SI]	Resistivitet SN [ohmm] LN		Gamma [cps API]	IP [%]	P-hastighet [m/s]	SP [mV]
Magnetitt	54135	40	135	58	-	-	-175
Amfibolitt m/litt magnetitt	17137	5620	1520	64	4.6	5260	
Amfibolitt uten magnetitt	6532	-	-	82	-	-	
Kalkglimmerskifer	74	8240	8120	105	1.6	5025	

4.5 Resistivitet og magnetisk susceptibilitet i magnetitt, hematitt og magnetitt/hematitt

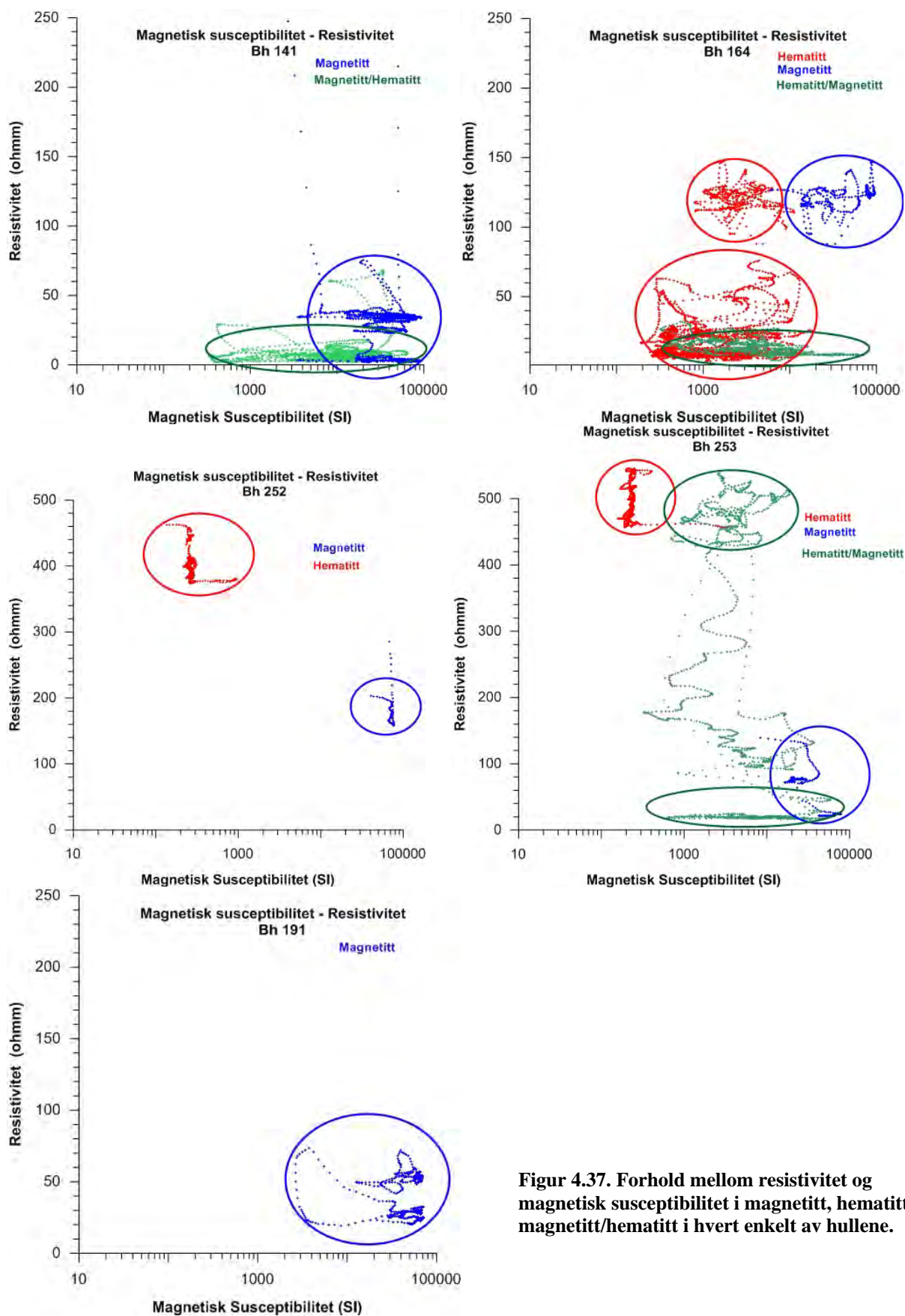
Figur 4.36 viser magnetisk susceptibilitet plottet mot resistivitet for magnetitt, hematitt og magnetitt/hematitt. Her er alle måleverdier fra alle hull tatt med. Ikke alle hull inneholder alle tre malmtypene. Mest entydig definert er magnetitt med meget høy magnetisk susceptibilitet og lav resistivitet (< 100ohmm). Både hematitt og magnetitt/hematitt har stor spredning, spesielt i resistivitet. Hematitt har både lav (< 100 ohmm) og middels (400 – 500 ohmm) høy resistivitet. Det samme kan sies om blandingsmalmen. Spørsmålet er så om disse sammenhengene på noen måte kan benyttes i å tolke helikoptermålingene i den hensikt å identifisere ønsket malmtypen. Ren magnetitt ser grei ut. Malm med lav resistivitet og middels høy susceptibilitet kan være både hematitt og magnetitt/hematitt.



Figur 4.36. Forhold mellom resistivitet og magnetisk susceptibilitet i magnetitt, hematitt og magnetitt/hematitt.

Figur 4.37 viser forholdet mellom resistivitet og magnetisk susceptibilitet i hvert enkelt av de 5 borehullene. Det er lavest resistivitet i malmen ved Stensundtjern, Bhh 141 og Bh 164. Magnetitt har generell lav resistivitet i alle hull som det også ble vist i figur 4.36. Det er tydelig høyere resistivitet i hematitten ved Finnkåteng, Bh 252 og Bh 253. Variasjonene i

blandingsmalmen er trolig avhengig av hvordan denne er definert med hensyn til forholdet mellom magnetitt og hematitt.



Figur 4.37. Forhold mellom resistivitet og magnetisk susceptibilitet i magnetitt, hematitt og magnetitt/hematitt i hvert enkelt av hullene.

5. KONKLUSJON

NGU har logget 5 borehull ved Rana Gruber, Storforshei. Hensikten var å måle geofysiske parametre som magnetisk susceptibilitet og tilsynelatende resistivitet i malm og sidebergarter. Disse parametre skulle danne grunnlag for invertering og 3D-modellering av geofysiske helikoptermålinger utført av NGU i 2012. I tillegg til disse parametre er det målt induisert polarisasjon (IP), selvpotensial (SP), seismisk P-bølgehastighet, total naturlig gammastråling, temperatur og elektrisk ledningsevne i vann.

Det ble logget i tre områder, Finnkåteng, Stensundtjern og Lomli. Hullene var boret i perioden 2012 – 2014.

Malmsonene ved Rana Gruber består av hematitt, magnetitt og en blanding av disse to mineralene. Ut fra litologisk logg har en kunnet beregne de fysiske parametrene i hver av disse malmsonene. Magnetittmalm har som ventet klart høyest magnetisk susceptibilitet. Rangert etter måleområde er den høyest ved Stensundtjern, 0.72 SI, mens det ved Lomli lenger øst er målt en gjennomsnittsverdi på 0.54 SI. Hematittmalm har tydelig lavere susceptibilitet og der det er en blanding av de to malmtypene er det målt en gjennomsnittsverdi på 0.13 SI.

Kontrasten i resistivitet mellom sideberg og malm er stor. Med en resistivitet i malmen på under 50 ohmm vil den kunne indikeres på EM helikoptermålinger dersom det ikke er andre ledere tilstede. I vest, ved Stensundtjern, er det påvist dagnære grafittskifer og disse indikeres tydelig på EM data men ikke på de magnetiske data.

Hovedkonklusjonen blir at magnetittmalm og en blanding av magnetitt/hematitt lett indikeres på grunn av høy magnetisk susceptibilitet. Lav resistivitet kjennetegner også disse malmtypene. For ren hematittmalm med lav magnetisk susceptibilitet vil resistiviteten ha større betydning for å kunne indikere denne malmtypen. Både malm magnetitt og hematitt som dominerende mineral har mye lavere gammastråling enn glimmerskifer, kalkglimmerskifer og grafittskifer.

6. REFERANSER

Advanced Logic Technology, 2006: WellCAD, FWS processing, version 4.1.

Archie, G.E., 1942: The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. *Petroleum Technology*, 5, 1422 – 1430.

Rodionov, A., Ofstad, F., & Tassis, G.: Helicopter-borne magnetic, electromagnetic and radiometric geophysical survey in the Storforshei area, Rana, Nordland. *NGU Report 2012.044*.

Thunehead, H. & Olsson, O. 2005: Borehole Corrections for a Thick Resistivity Probe. *Journal of Environmental & Engineering Geophysics*, Vol. 9, Issue 4, pp. 217- 224.



NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE

- NGU -

Norges geologiske undersøkelse
Postboks 6315, Sluppen
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse
Leiv Eirikssons vei 39
7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00
E-post ngu@ngu.no
Nettside www.ngu.no