



GEOLOGI FOR SAMFUNNET

SIDEN 1858



**NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE**
· NGU ·



Rapport nr.: 2017.020	ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)	Gradering: Åpen	
Tittel: Logging av fem borehull ved Raudsand, Nesset kommune, Møre og Romsdal.			
Forfatter: Harald Elvebakk & Ole Lutro	Oppdragsgiver: Bergmesteren Raudsand AS		
Fylke: Møre og Romsdal	Kommune: Nesset		
Kartblad (M=1:250.000) Ålesund	Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1320 I Tingvoll		
Forekomstens navn og koordinater: Raudsand	Sidetall: 60 Kartbilag:	Pris: kr 300.-	
Feltarbeid utført: 17. - 25.01.2017	Rapportdato: 19.05.2017	Prosjektnr.: 373900	Ansvarlig: <i>Alvaro Brønner</i>
Sammendrag: <p>NGU har gjort geofysisk borehullslogging i fem borehull like vest for tidligere Rødsand Gruber på Raudsand i Nesset kommune. Her planlegges et nasjonalt deponi for farlig uorganisk avfall. Avfallet tenkes lagret i store utsprengte fjellhaller. Vinteren 2016/2017 ble det boret i alt fem fjellbrønner i det aktuelle området. Hensikten med borehullsloggingen var å kartlegge fjellkvaliteten med hensyn på oppsprekking. Videre ville en undersøke om det var metalliske mineraler (jernoksider, sulfider) som kunne ha påvirkning på grunnvannskvaliteten.</p> <p>Parametre som ble logget var resistivitet i fjell, seismisk hastighet, magnetisk susceptibilitet, indusert polarisasjon, selvpotensial, total naturlig gammastråling, spektral gammastråling (i ett hull), elektrisk ledningsevne i grunnvannet og temperatur. I tillegg er fire av brønnene logget med optisk televierer for å kartlegge sprekker og geologiske grenser. Ved hjelp av optisk televierer er også bergartenes foliasjon (fallretning og fallvinkel) bestemt i fire hull. Optisk televierer gir i tillegg borehullenes forløp mot dypet.</p> <p>Det ble også utført strømningsmåling og vannprøvetaking i fire av borehullene for å kartlegge grunnvannets opptreden og kvalitet. Disse data rapporteres separat i egen rapport.</p>			
Emneord: Geofysikk	Borehullslogging	Optisk televierer	
Elektriske målinger	Naturlig radioaktivitet	Lydhastighet	
Magnetisk susceptibilitet	Vannkvalitet	Fagrapport	

INNHOOLD

1. INNLEDNING	9
2. TIDLIGERE UNDERSØKELSER.....	9
3. MÅLEOMRÅDE OG BOREHULL	10
3.1 Geologi	12
4. MÅLEMETODE OG UTFØRELSE	15
4.1 Målemetoder og målte parametere.....	15
5. RESULTATER GEOFYSISK LOGGING OG VANNKVALITET	17
5.1 Resultater geofysiske logger og vannkvalitet, Bh 1	18
5.2 Resultater geofysiske logger og vannkvalitet, Bh2.....	21
5.3 Resultater geofysiske logger og vannkvalitet, Bh3.....	24
5.4 Resultater geofysiske logger, Bh4	27
5.5 Resultater geofysiske logger og vannkvalitet, Bh5.....	30
6. SPREKKE- OG FOLIASJONSKARTLEGGING MED OPTISK TELEVIEWER ...	34
6.1 Sprekkefrekvens Bh1	35
6.2 Sprekkefrekvens Bh2	39
6.3 Sprekkefrekvens Bh3	43
6.4 Sprekkefrekvens Bh5	47
6.5 Foliasjon Bh1	51
6.6 Foliasjon Bh2.....	52
6.7 Foliasjon Bh3.....	53
6.8 Foliasjon Bh5.....	54
6.9 Foliasjon, rosedigram.....	55
7. BOREHULLSFORLØP KARTLAGT MED OPTISK TELEVIEWER	56
7.1 Borehullsforløp Bh1	56
7.2 Borehullsforløp Bh2	57
7.3 Borehullsforløp Bh3	58
7.4 Borehullsforløp Bh5	59
8. SAMMENDRAG	60
9. REFERANSER	60

FIGURER

Figur 1. Oversiktskart som viser beliggenheten av Raudsand.	10
Figur 2. Kart som viser planlagt hallområde med adkomsttunnel.	11
Figur 3. Bilde over måleområdet med plassering av fem borehull.	12
Figur 4. Geologisk kart over Raudsandområdet.	13
Figur 5. Magnetisk kart fra helikoptermålinger utført i 2016.	14
Figur 6. Typiske bergarter på Raudsand. Rød gneis (venstre) og grå gneis (høyre).	14
Figur 7. Logging i Bh1 nord for Bergmester dagbrudd.	18
Figur 8. Geofysiske logger i Bh1	19
Figur 9. Vannkvalitetslogg, temperatur, ledningsevne, pH og Eh i Bh1.	20
Figur 10. Logging i Bh2 ved vei opp til Bergmester Høyfjell.	21
Figur 11. Geofysiske logger i Bh2.	22
Figur 12. Vannkvalitetslogg, temperatur, ledningsevne, pH og Eh i Bh2.	23
Figur 13. Logging i Bh3.	24
Figur 14. Geofysiske logger i Bh3.	25
Figur 15. Vannkvalitetslogg, temperatur, ledningsevne, pH og Eh i Bh3.	26
Figur 16. Lokalitet for Bh4 og Bh5.	27
Figur 17. Magnetisk susceptibilitet og total gamma i Bh4.	28
Figur 18. Innhold av U, Th og K i utvalgte soner i Bh4.	29
Figur 19. Logging i Bh5.	30
Figur 20. Geofysiske logger i Bh5.	31
Figur 21. Vannkvalitetslogg, temperatur, ledningsevne, pH og Eh i Bh5.	32
Figur 23. Bilder fra optisk televiewer av grå gneis (venstre) og rød gneis (høyre).	34
Figur 24. Sprekkefrekvenshistogram for Bh1, 0 – 100 m.	35
Figur 25. Sprekkefrekvenshistogram for Bh1, 100 – 200 m.	36
Figur 26. Sprekkefrekvenshistogram for Bh1, 200– 300 m.	37
Figur 27. Sprekkefrekvenshistogram for Bh1.	38
Figur 28. Rosediagram for fallretning (venstre) og fall vinkel (høyre), Bh1.	38
Figur 29. Sprekkefrekvenshistogram for Bh2, 0 – 120 m.	39
Figur 30. Sprekkefrekvenshistogram for Bh2, 120 – 230 m.	40
Figur 31. Sprekkefrekvenshistogram for Bh2, 2300 – 345 m.	41
Figur 32. Sprekkefrekvenshistogram for Bh2.	42
Figur 33. Rosediagram for fallretning (venstre) og fall vinkel (høyre), Bh2.	42
Figur 34. Sprekkefrekvenshistogram for Bh3, 5 – 135 m.	43
Figur 35. Sprekkefrekvenshistogram for Bh3, 135 – 260 m.	44
Figur 36. Sprekkefrekvenshistogram for Bh3, 260 – 350 m.	45
Figur 37. Sprekkefrekvenshistogram for Bh3.	46
Figur 38. Rosediagram for fallretning (venstre) og fall vinkel (høyre), Bh3.	46
Figur 39. Sprekkefrekvenshistogram for Bh5, 0 – 120 m.	47
Figur 40. Sprekkefrekvenshistogram for Bh5, 120 – 235 m.	48
Figur 41. Sprekkefrekvenshistogram for Bh5, 235 – 355 m.	49
Figur 42. Sprekkefrekvenshistogram for Bh5.	50
Figur 43. Rosediagram for fallretning (venstre) og fall vinkel (høyre), Bh5.	50
Figur 44. Beregnet foliasjon i Bh1, fallretning og fallvinkel.	51
Figur 45. Beregnet foliasjon i Bh2, fallretning og fallvinkel.	52
Figur 46. Beregnet foliasjon i Bh3, fallretning og fallvinkel.	53
Figur 47. Beregnet foliasjon i Bh5, fallretning og fallvinkel.	54

Figur 48. Rosediagram av foliasjonens fallretning og fallvinkel, Bh1, Bh2, Bh3 og Bh5.	55
Figur 49. Bh1, borehullsforløp. Vertikalprojeksjon i borehullsretning (øverst) og horisontalprojeksjon (nederst).....	56
Figur 50. Bh2, borehullsforløp. Vertikalprojeksjon i borehullsretning (øverst) og horisontalprojeksjon (nederst).....	57
Figur 51. Bh3, borehullsforløp. Vertikalprojeksjon i borehullsretning (øverst), horisontalprojeksjon (nederst).....	58
Figur 52. Bh5, borehullsforløp. Vertikalprojeksjon i borehullsretning (øverst) og horisontalprojeksjon (nederst).....	59

TABELLER

Tabell 1. Data for alle borehull.....	11
Tabell 2. Målte parametere med loggehastighet og samplingstetthet.....	15

1. INNLEDNING

Bergmesteren Raudsand AS og Veidekke ASA planlegger å sprengre ut store fjellhaller for lagring av uorganisk farlig avfall like vest for jerngruvene ved Raudsand. Dette vil bli et nasjonalt deponi. I desember 2016 og januar 2017 ble det boret i alt fem brønner i det aktuelle området, der tre av brønnene går ned til nivået for deponihallene, dvs. havnivå. Hensikten med brønnene er å vurdere fjellkvaliteten med hensyn til oppsprekking, sulfidinnhold og om det finnes mer jernmalm enn tidligere kjent. Måling av pH og vannprøvetaking i brønnene vil også være viktig.

NGU har gjort geofysisk logging og filmet borehullsveggen innvendig i brønnene. De geofysiske parametre som ble logget var resistivitet i fjell, induert polarisasjon (IP), seismisk hastighet (P-bølge), magnetisk susceptibilitet, selvpotensial (SP), temperatur, elektrisk ledningsevne i vann og total naturlig gammastråling. Bh5 og deler av Bh4 ble logget med spektral gamma der en beregner innholdet av de radioaktive elementene U, Th og K. Alle hull ble filmet med optisk televiewer for å kartlegge berggrunnsgeologi, oppsprekking og foliasjon. Målingene ble utført i perioden 17.01 – 25.01.2017 av Harald Elvebakk, NGU.

Sulfider kan registreres med IP, resistivitet og SP (selvpotensial). Jernmalm registreres med de samme metoder, men vil i tillegg gi utslag på magnetisk susceptibilitet (magnetisk egenskap). Leire kan også gi IP-effekt. Sprekker registreres med resistivitet, seismisk hastighet (lydhastighet) og optisk televiewer.

Det er gjort måling av vannstrøm og tatt vannprøver i alle hull. Dette er gjort samtidig med pumping. Brønnenes kapasitet (vanngiversevne) ble også målt. Disse målingene ble gjort i tiden 14.03. – 17.03.2017 av Øystein Jæger og Harald Elvebakk, NGU. Alle resultater som beskriver grunnvannets opptreden og kvalitet presenteres i egen tolkningsrapport (Rønning m. fl. 2017).

2. TIDLIGERE UNDERSØKELSER

Høsten 2016 utførte NGU magnetiske, elektromagnetiske og radiometriske målinger fra helikopter vest for Raudsand i et område hvor det kan være aktuelt å etablere nasjonalt deponi for uorganisk farlig avfall i fjellhaller (Ofstad 2016, Rønning et al. 2016). Det var av interesse å kartlegge eventuelle ukjente jernmalm-kropper i området, om det er dypforvitret fjell som kan skape problemer ved bygging og drift av deponihallene og om det er uheldige konsentrasjoner av radioaktive elementer i bergartene.

De magnetiske data indikerte en ny jernmalmskropp i forlengelsen av Z-malmen, og denne kan komme i kontakt med fjellhaller slik de er planlagt. Det ble derfor bestemt å bore på denne magnetiske anomalien. En fikk også indikasjon på dypforvitret fjell (Olesen & Rønning 2008) som det ble boret på. Tidligere 2D resistivitetsmålinger har indikert dypforvitrede soner i området (Nasuti 2009).

Sulfider er uønsket i hallområdet da det kan føre til surt vann. Helikoptermålingene ga ingen indikasjoner på større massive sulfidmineraliseringer i det målte området. Det ble ikke påvist unormale problematiske konsentrasjoner av de radioaktive elementene uran, thorium eller kalium i de blottede bergartene ved Raudsand. En kan imidlertid ikke si noe om tilstedeværelse av disse elementene mot dypet ut fra helikoptermålingene.

NGU velger ikke å liste opp alle undersøkelser som er utført i forbindelse med gruvedriften ved Raudsand da dette ikke er relevant for den aktuelle problemstillingen.

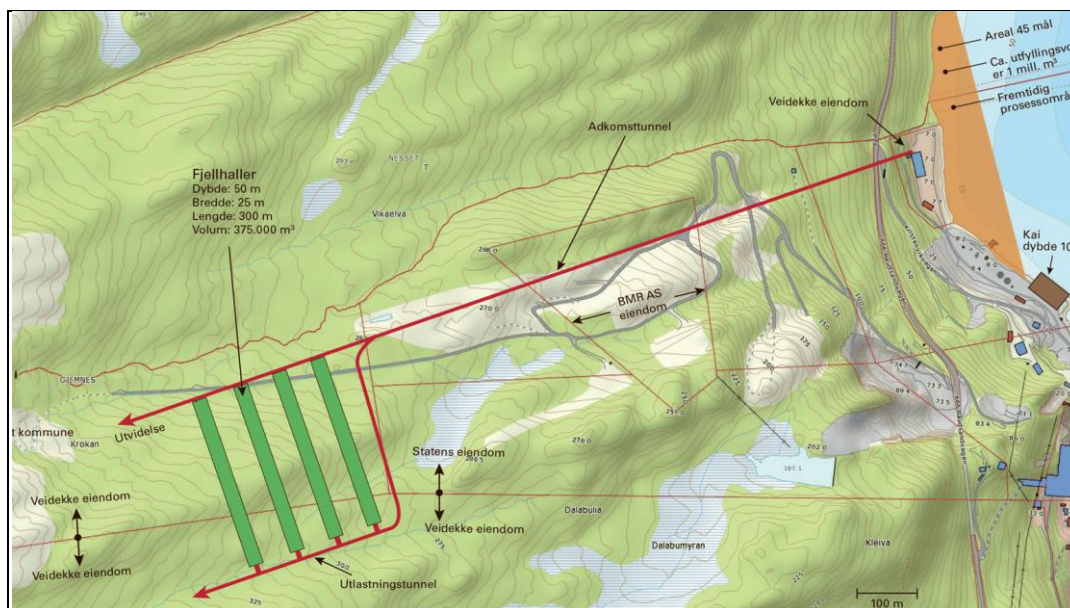
3. MÅLEOMRÅDE OG BOREHULL

Raudsand ligger i Nesset kommune ved Sunndalsfjorden. Rødsand Gruber kom i drift i 1910 og ble drevet fram til 1982 (malmbasert underjordsdrift). Malmen besto av vanadiumholdig jernmalm (magnetitt). Figur 1 viser et oversiktskart.



Figur 1. Oversiktskart som viser beliggenheten av Raudsand.

Figur 2 viser planlagt hallområde med adkomsttunnel. Bygging av nye haller vil fortsette vestover fra de som er angitt på figuren.



Figur 2. Kart som viser planlagt hallområde med adkomsttunnel.

Tabell 1 viser tekniske data for alle borehull. Hullene ble logget i løpet av januar. Det var mye snø i området men Veidekke hadde sørget for god brøyting og strøing etter at det satte inn med mildvær.

Tabell 1. Data for alle borehull

Borehull	Nord wgs 84	Øst wgs 84	Sone	Høyde m.o.h.	Dato logging	Fall	Retning	Diam (cm)	Dyp (m)	Boring
Bh1	6968628	454333	32W	245	21.- 22.01	70°	N220	14	300	Des. 2016
Bh2	6968294	453606	32 W	315	19 - 20.01	70°	N130	14	345	Des. 2016
Bh3	6968322	453788	32 W	298	17 - 19.01	70°	N160	14	351	Des. 2016
Bh4	6968060	453710	32 W	349	25.01	75°	N160	14	240	Jan. 2017
Bh5	6968058	453710	32 W	349	22 - 24.01	85°	N158	14	351	Jan. 2017

Figur 3 viser bilde over undersøkt område med borehullene plassert. Bh1 er på nordsiden av det gamle dagbruddet (Bergmesteren) og var rettet mot planlagt adkomsttunnel. Bh2 og Bh3 ble boret langs veien opp til Bergmester Høgfjell (tidligere utdrevet malmkropp). Disse hullene er boret mot indikert dypforvitringssone og ned til planlagt hallområde. Bh4 og Bh5 er boret mot magnetisk helikopteranomali som indikerte en magnetisk kropp (jernmalm). Bh4 nådde ikke ned til ønsket dyp (350 m) på grunn av en knusningssone. Bh5 ble derfor boret fra samme sted men noe brattere, se tabell 1.

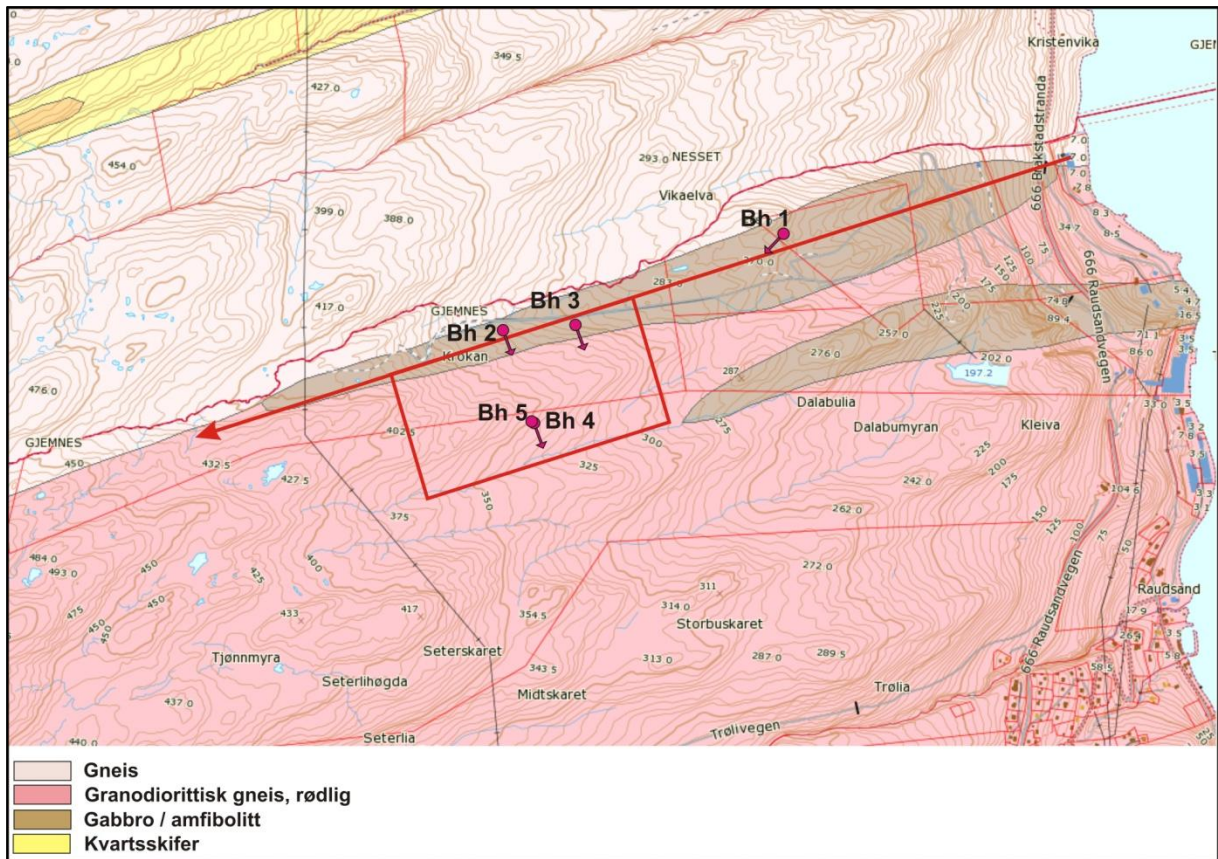
Boringene ble utført av Båsum Brønnboring med slagboring, med hulldiameter 14 cm. Denne type boring gir ikke kjerner og det var derfor meget viktig å logge hullene med geofysisk måleutstyr for å kunne karakterisere fjellet med hensyn til oppsprekking og mineralisering. Det ble tatt kaksprøver for hver tredje meter i alle hull.



Figur 3. Bilde over måleområdet med plassering av fem borehull.

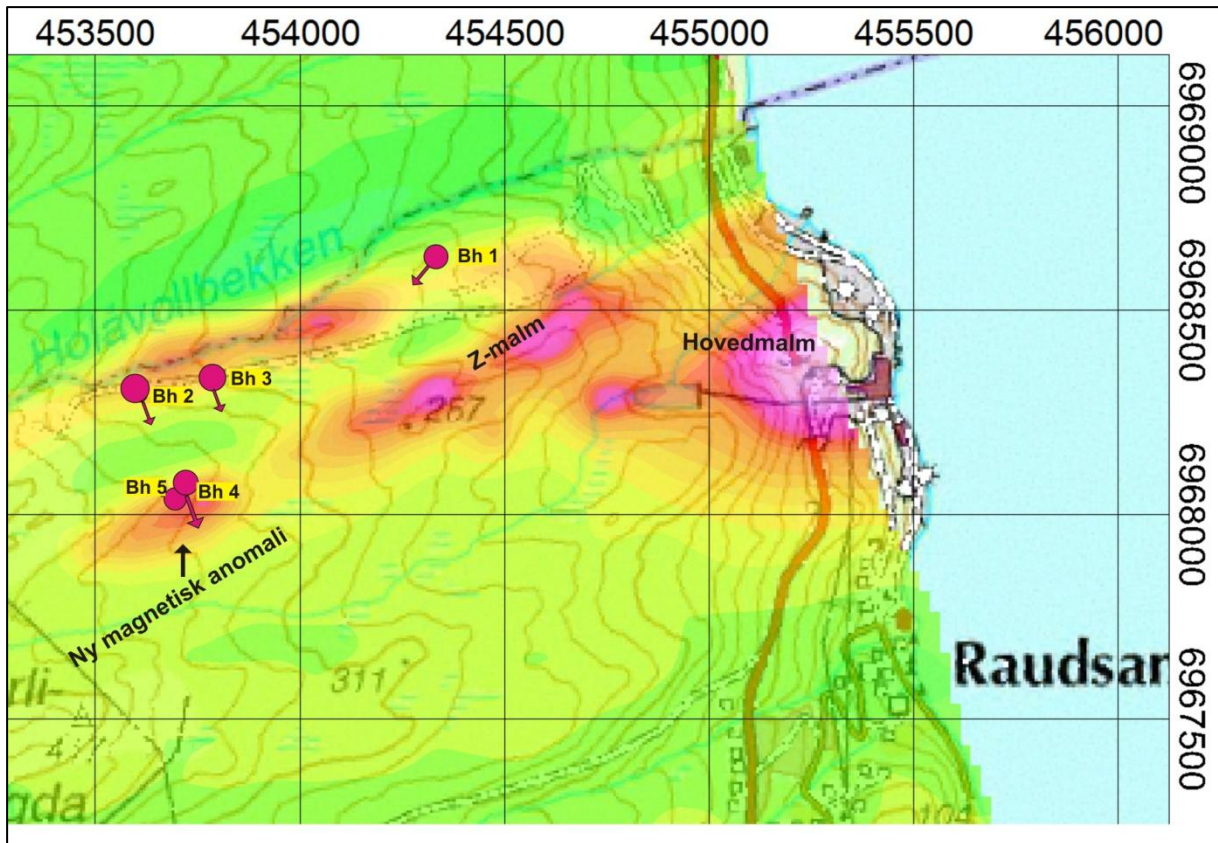
3.1 Geologi

Hovedbergartene på Raudsand er gneiser og amfibolitt. Bergartene er foldet sammen til en øst-vest gående synklinal, Molde – Tingvoll synklinalen. Raudsandgruppen hører til i denne synklinalen og i denne finnes amfibolitter som er malmførende (magnetitt med noe ilmenitt). Malmen danner linser og plater og ligger konkordant de omliggende gneiser. Amfibolittene opptrer gjerne i nærheten av en karakteristisk rød gneis. Gneisene, og dermed malmen, har et steilt fall mot nord-nordvest. Råmalmens Fe-gehalt er ca. 30 %, men kun 21 % er magnetisk Fe da resten er bundet i hornblende, granat og ilmenitt. Figur 4 viser et geologisk kart over området med adkomsttunnel og østligste del av hallområdet tegnet inn.



Figur 4. Geologisk kart over Raudsandområdet.

Figur 5 viser deler av det magnetiske kartet fra helikoptermålingene i 2016. Bh4 og Bh5 er boret like nord for en magnetisk anomali. Denne anomalien ligger i fortsettelsen av Z-malmens strøkreting og var ikke kjent i den tiden gruva var i drift. Bh4 og Bh5 påtraff ca. 30 m magnetittmalm i en amfibolitt.



Figur 5. Magnetisk kart fra helikoptermålinger utført i 2016.

Figur 6 viser bilder av en typisk rød gneis (granodiorittisk gneis) og en grå gneis.



Figur 6. Typiske bergarter på Raudsand. Rød gneis (venstre) og grå gneis (høyre).

4. 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/borhullsgeofysikk>

Tabell 2 viser loggehastighet og samplingstetthet for de ulike målesondene.

Tabell 2. Målte parametere med loggehastighet og samplingstetthet.

Målt parameter	Loggehastighet	Samplingstetthet
Resistivitet i fjell inkl. SP	5 m/min	1 cm
Seismisk hastighet	4 m/min	1 cm
Magnetisk susceptibilitet	5 m/min	1 cm
Indusert Polarisasjon	5 m/min	1 cm
Naturlig total gammastråling	3 m/min	1 cm
Gammaspektrometri, U, Th, K	1 m/min	1 cm
Temperatur	3 m/min	1 cm
Ledningsevne i vann	3 m/min	1 cm
pH	3 m/min	1 cm
Eh	3 m/min	1 cm
Optisk televiewer (OPTV)	1 m/min	1 mm
Borehullsavvik (fra OPTV)	1 m/min	1 m

4.1 Målemetoder og målte parametere.

Temperatur, elektrisk ledningsevne i vann pH og Eh måles med samme sonde. Gammastråling måles i cps er tilpasset API-standard, og data kan sammenlignes med data målt med andre sensorer med samme standard.

Gammaspektrometri. Sonden måler innholdet av kalium (%), uran (ppm) og thorium (ppm). Total naturlig gammastråling (API standard) måles også. Det kan gjøres en kontinuerlig logg med loggehastighet 1 m/min, eller det kan tas punktmålinger i 5 – 6 minutter for å kartlegge hele energispekteret for mer nøyaktig konsentrasjonsbestemmelse.

Resistivitet i berget måles med to forskjellige elektrodekonfigurasjoner, Long Normal (LN) og Short Normal (SN). Dette er to pol-pol konfigurasjoner med elektrodeavstand henholdsvis 1,6 og 0,4 m. Fjern potensialelektrode plasseres på bakken mens loggewire 10 m over sonde utgjør fjern strømelektrode. Resistiviteten er korrigert for vannets ledningsevne i borehullet, borehulldiameter og sondens størrelse (diameter) (Thunhead & Olsson 2004). Sonden måler også total gammastråling og selvpotensial (SP).

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:

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

σ = ledningsevne i bergarten

σ_w = ledningsevne i porevannet

σ_s = ledningsevne på kornoverflate

Faktorene a og m (kornform, sementeringsfaktor) er avhengig av bergartstype og bestemmes ved laboratoriemålinger. Ved beregningen av porøsiteten for krystalline bergarter brukes $a=1.928$ etter Thunehed og 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. Den beregnede verdi må derfor betraktes som en **tilsynelatende porøsitet**. En stor feilkilde ved denne tilpasningen vil være tilstedeværelsen av elektronisk ledende mineraler (grafitt, sulfider, oksider). Opptre disse mineralene kan ikke Archie's lov benyttes til beregning av porøsitet.

Selvpotensial (SP) måles som en integrert del i resistivitetssonden og er et naturlig potensial som settes opp i undergrunnen over (massive) sulfidmalmer og grafitt (elektronledende mineraler). Strømmende vann kan også gi SP-anomalier.

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 nedover i borehullet. 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. Lavere 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 elektronisk 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.

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 $SI \cdot 10^{-6}$. Andre magnetiske mineraler er magnetkis (0,05 – 0,5) og ilmenitt (0,03 – 0,3). Data er korrigert etter borehulldiameter.

Optisk televiewer filmer innvendig borehullsvegg kontinuerlig nedover med en pixelstørrelse på ca. 1 x 1 mm. Ved å digitalisere bildet kan en identifisere og beregne sprekkers fall og retning (Robertsson Geologging 2004). Data presenteres som sprekkestereogram, frekvenshistogram og rosedigram. Ved åpne sprekker kan åpningen beregnes dersom den er større enn 1 mm. Geologiske grenser kan kartlegges samt strøk og fall til observert foliasjon, lagdeling.

Borehullsavvik måles som en integrert del av optisk televiewer. Det måles fallvinkel og retning til hullet. Retningen måles med et 3-aksialt magnetometer. Dette kan gi feil i data ved metallisk foringsrør og i magnetiske bergarter. Fallvinkel måles med 3-aksialt akselerometer og er ikke påvirket av magnetisme.

5. RESULTATER GEOFYSISK LOGGING OG VANNKVALITET

I det følgende presenteres data (logger) fra alle hull uten nevneverdige diskusjoner og tolkninger. Dette vil bli gjort i en egen rapport (Rønning m. fl. 2017). Generelt kan sies at lav resistivitet og seismisk hastighet kan indikere oppsprukket berg. Gneiser av denne typen kan ha en resistivitet i uoppsprukket bergart på 5000 – 8000 ohmm og en seismisk hastighet på 5000 – 6000 m/s (Elvebakk 2011). Verdier betydelig under dette kan bety oppsprukket bergart. Sulfider og jernoksider vil også gi lav resistivitet. Forhøyet IP kan skyldes ledende mineraler (sulfider, oksider og grafitt). Magnetisk susceptibilitet er spesielt høy i magnetitt (jernmalm) men de fleste bergarter vil ha et visst Fe-innhold og lav susceptibilitet. Gammastrålingen vil være middels høy i gneiser, 200 – 300 API og er betydelig lavere i amfibolitt og magnetittmalm. Gammastrålingen kan brukes til å bestemme geologiske bergartsgrenser. SP vil gi negativ anomali over elektronisk ledende mineraler.

På grunn av havari på sonde for måling av seismisk hastighet mangler slike data i Bh1 og Bh 5. Resistivitet, seismisk hastighet, SP, IP kan bare måles i vannfylte hull.

Det presenteres en samlelogg for seismisk hastighet, total gamma, magnetisk susceptibilitet, resistivitet, IP, SP og tilsynelatende porøsitet. Videre presenteres en vannkvalitetslogg med temperatur, elektrisk ledningsevne i vann, pH og Eh.

Det er utarbeidet geologisk logg for hvert hull på grunnlag av kaksprøver og optisk televiewer. Dette er ikke gjort i Bh4 hvor det ikke var logget med televiewer. Det var vanskelig å identifisere type bergart bare ved hjelp av kaksprøvene da mesteparten av kakset var svært finkornet, nesten som mel. Ole Lutro har bidratt ved utarbeidelsen av de geologiske loggene.

5.1 Resultater geofysiske logger og vannkvalitet, Bh 1

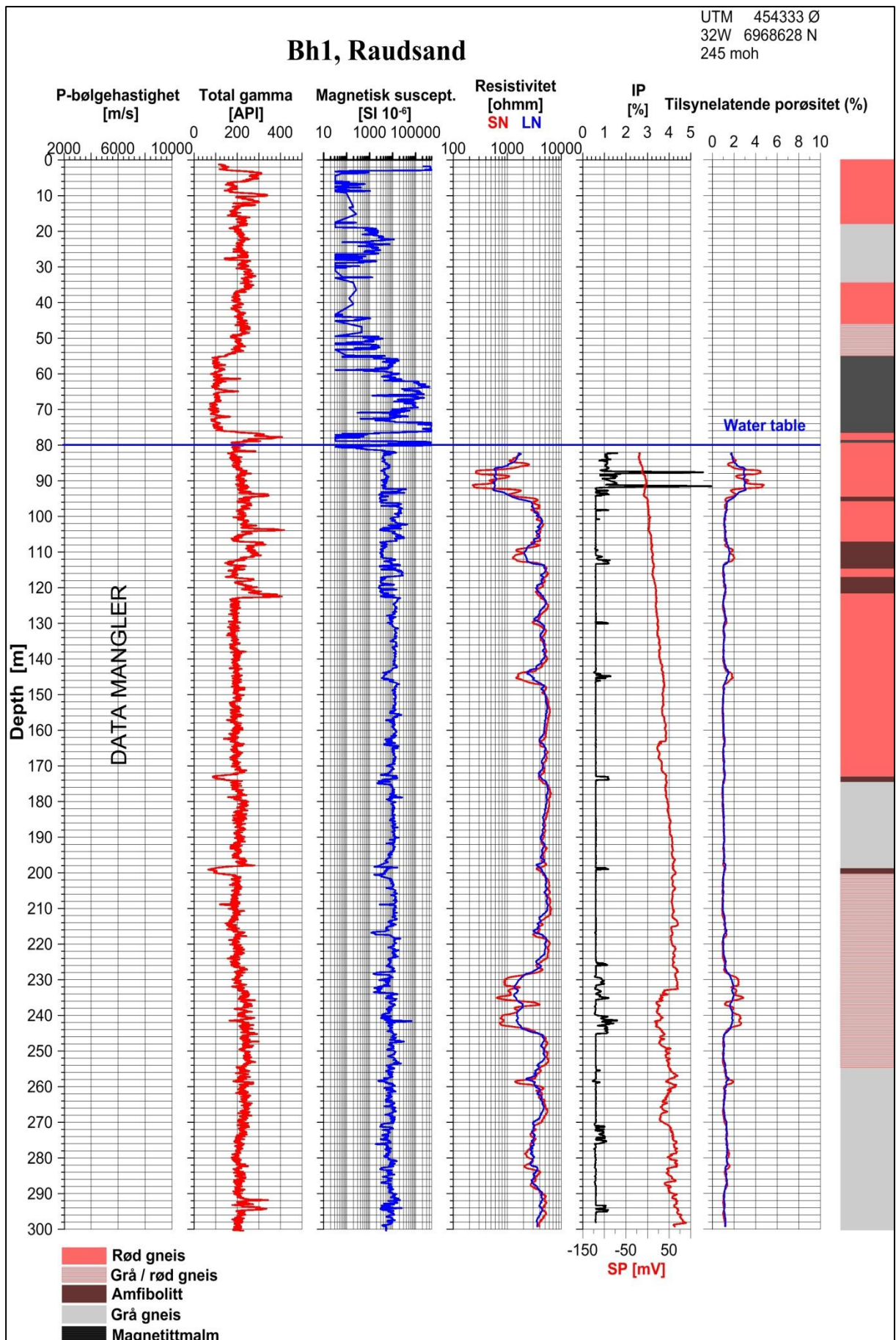
Figur 7 viser bilde av logging i Bh1. Borehullet er boret på nordsiden av gamle Bergmester dagbrudd. Her var vannspeilet på 81,6 m. Dette skyldes mest trolig nærheten til det dype dagbruddet.

Figur 8 viser samlelogg og figur 9 vannkvalitetslogg for Bh1. Soner med høy magnetisk susceptibilitet over vannspeilet tyder på noe magnetittmalm.

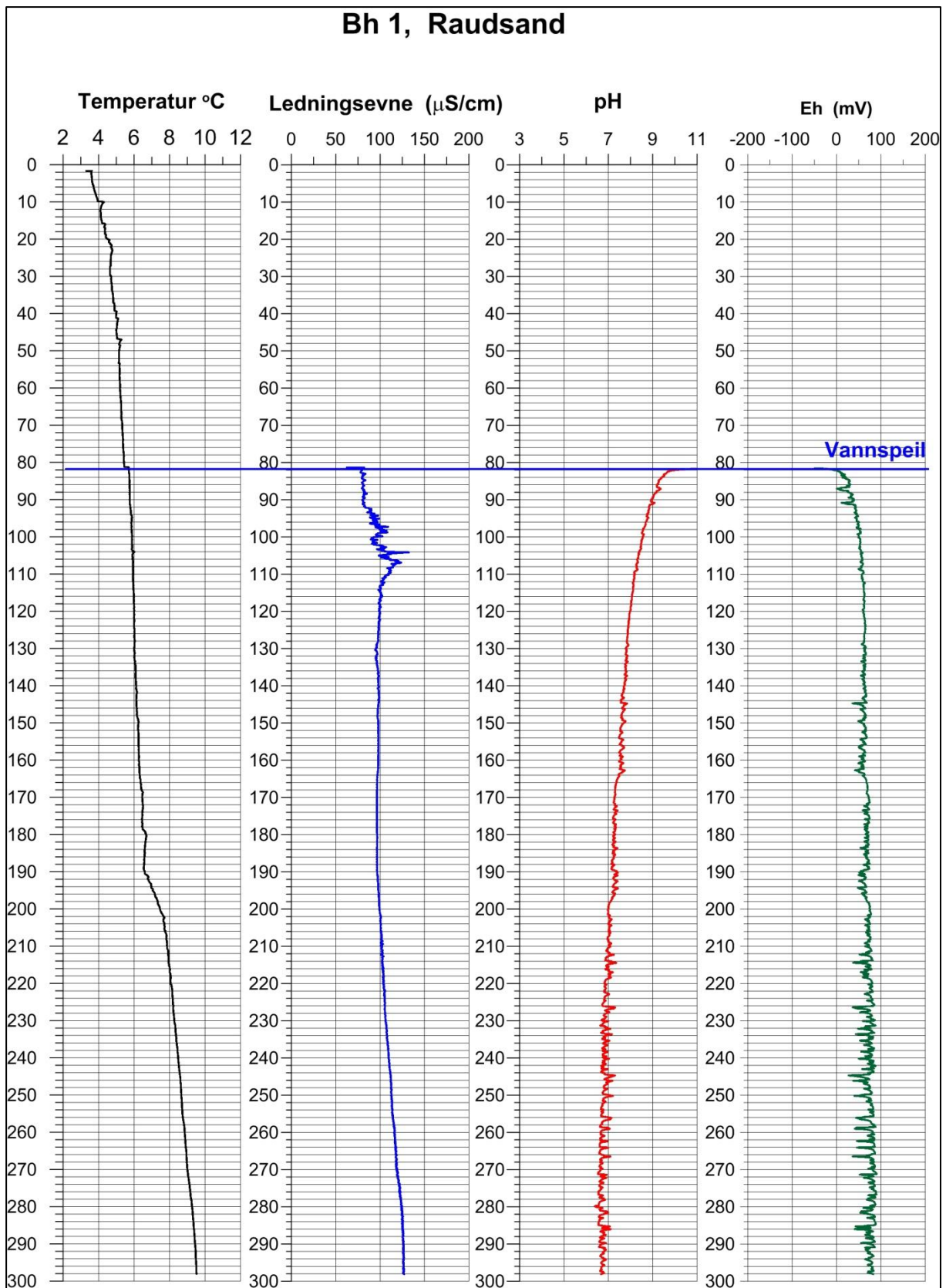
Det er flere soner med noe lav resistivitet.



Figur 7. Logging i Bh1 nord for Bergmester dagbrudd.



Figur 8. Geofysiske logger i Bh1



Figur 9. Vannkvalitetslogg, temperatur, ledningsevne, pH og Eh i Bh1.

5.2 Resultater geofysiske logger og vannkvalitet, Bh2

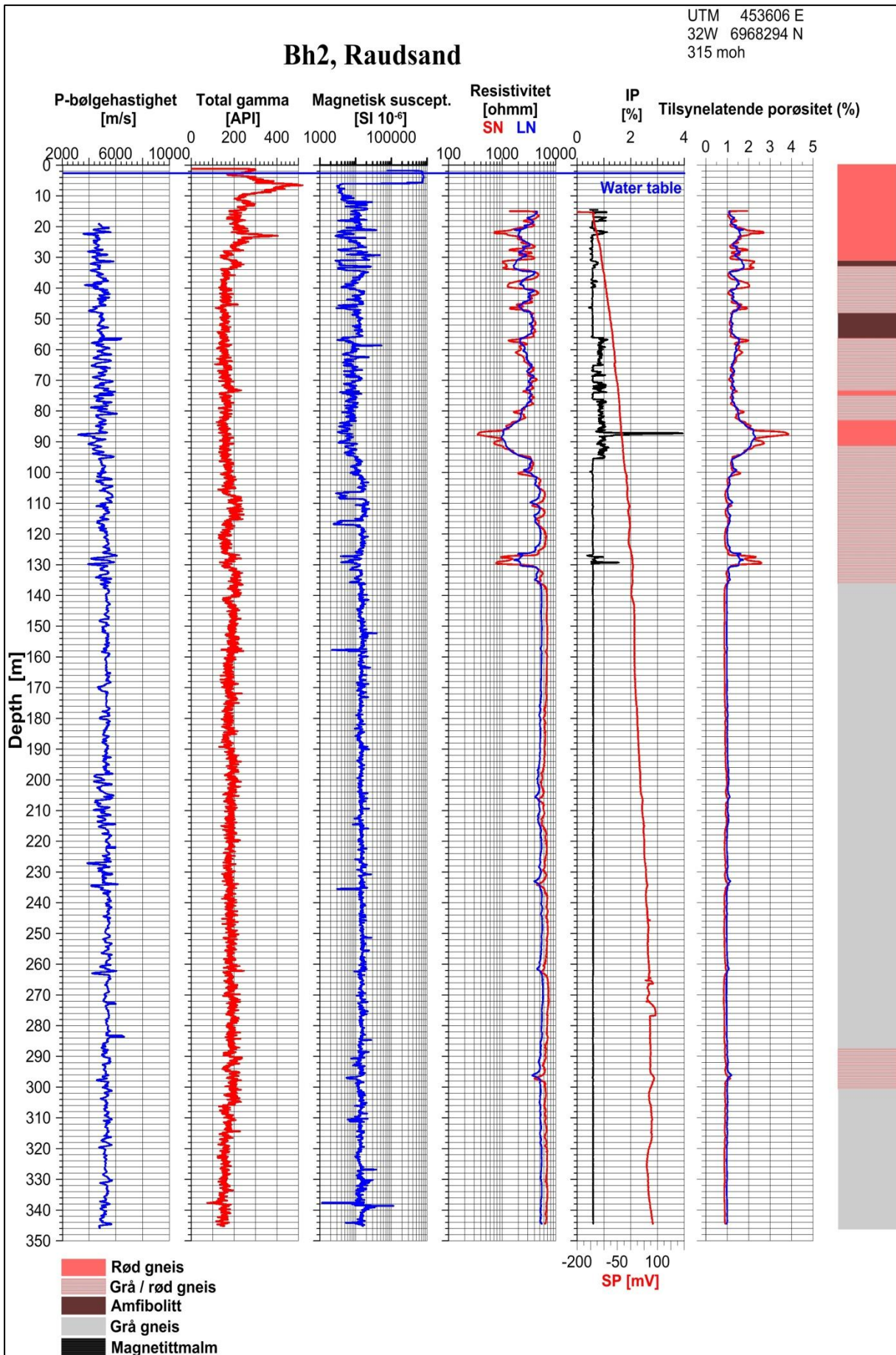
Figur 10 viser logging i Bh2 som er boret langs veien opp til Bergmester Høyfjell. Dette hullet ble boret mot indikert dypforvitret sone fra helikoptermålingene. Hullet går ned til topp hallområde.

Figur 11 viser samlelogg for geofysiske logger i Bh2. Både resistivitet og seismisk p-bølgehastighet varierer noe de øverste 100 m. Dypere opptrer normale verdier for gneisbergartene, 5000 - 6000 ohmm og 5500 m/s (Elvebakk 2011).

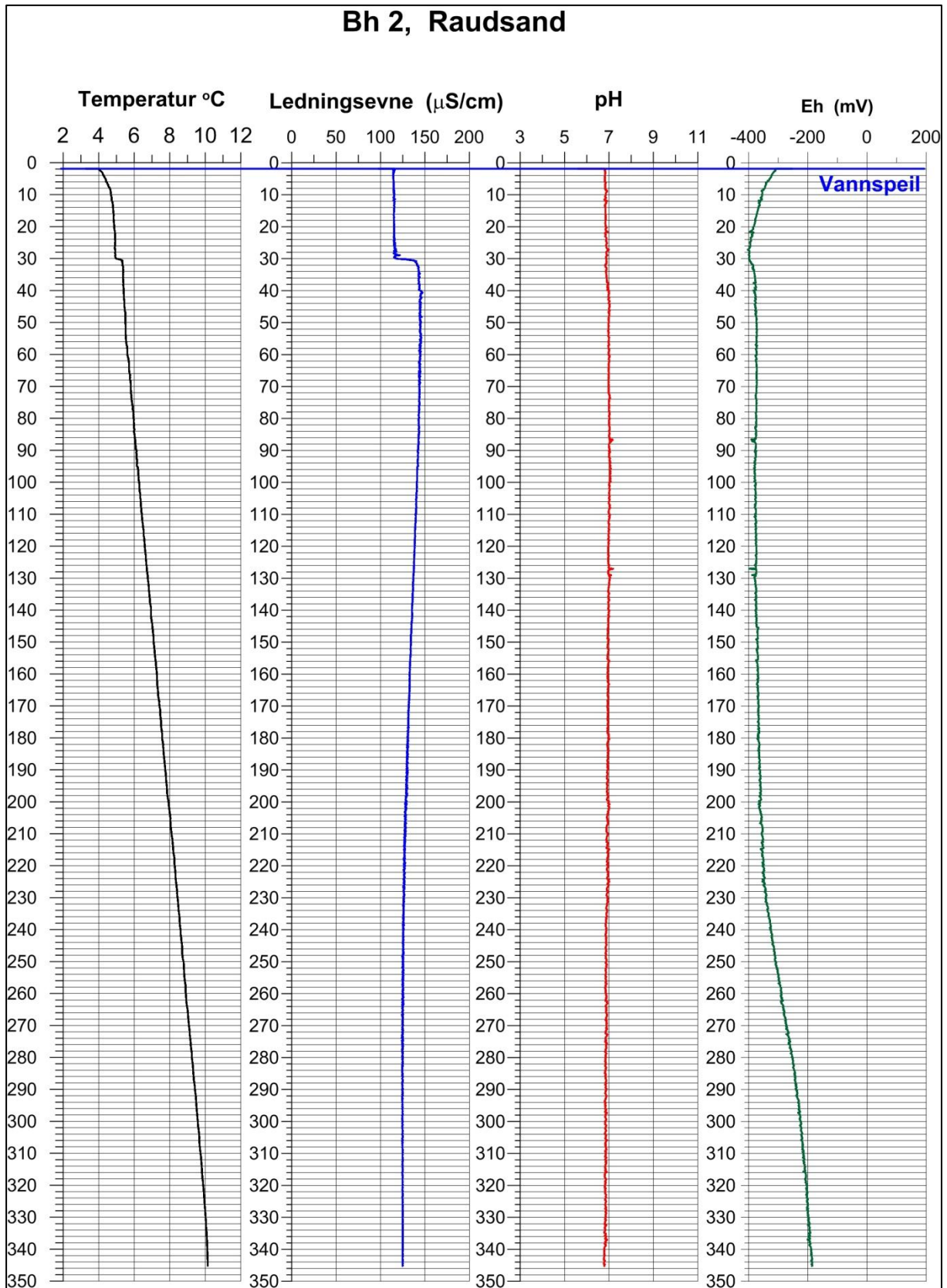
Figur 12 viser vannkvalitetslogg for Bh2.



Figur 10. Logging i Bh2 ved vei opp til Bergmester Høyfjell.



Figur 11. Geofysiske logger i Bh2.



Figur 12. Vannkvalitetslogg, temperatur, ledningsevne, pH og Eh i Bh2.

5.3 Resultater geofysiske logger og vannkvalitet, Bh3

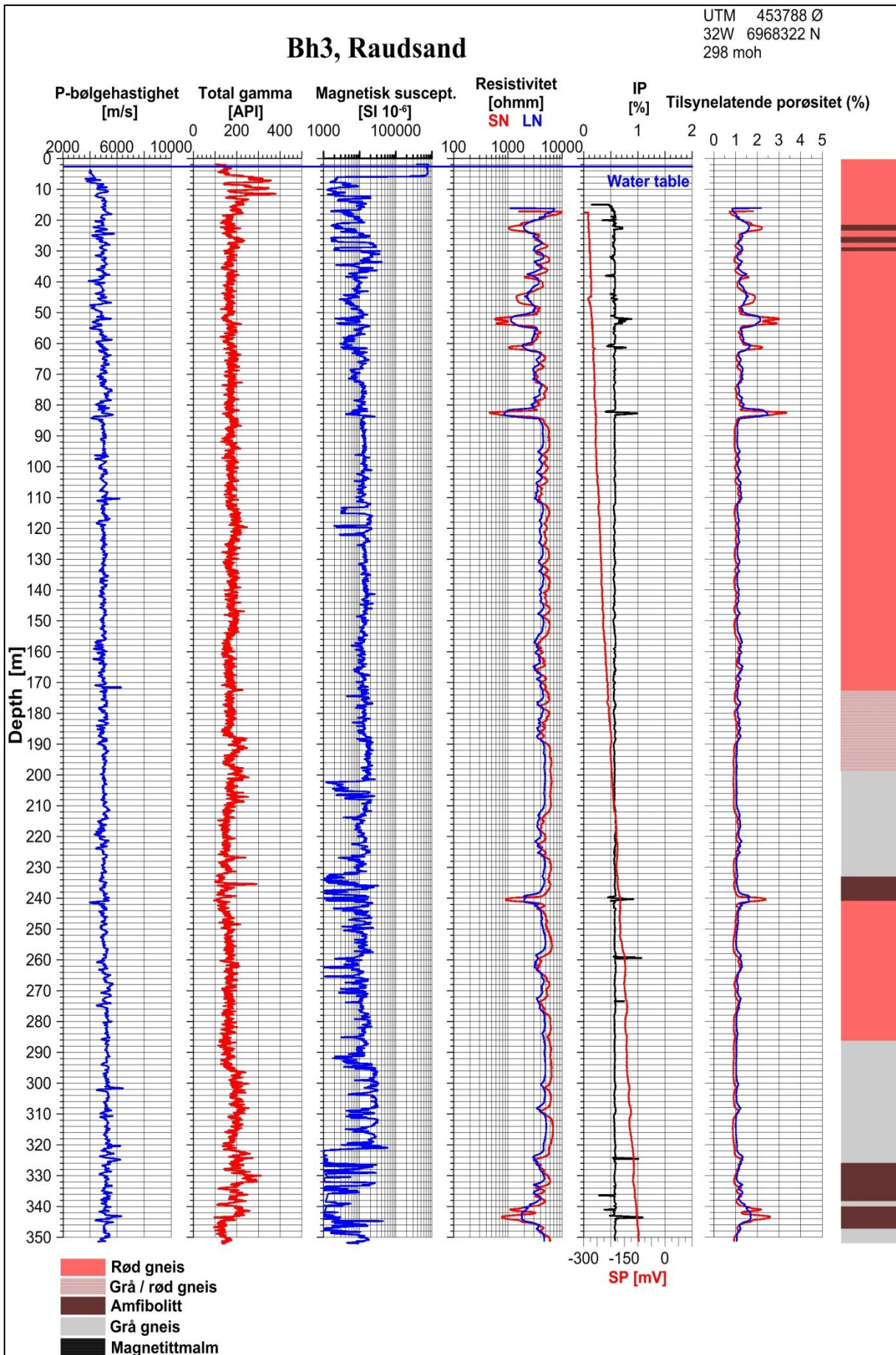
Figur 13 viser logging i Bh3. Det var mye snø i området, men hullene var lett tilgjengelig. Hullet står på høydekote 298. Med en lengde på 350 m og 70 ° fall, går hullet ca. 25 m ned i hallområdet.

Figur 14 viser samlelogg for geofysiske logger i Bh3. Det er samme tendens i dette hullet som i Bh2 med noe lavere og varierende seismisk hastighet og resistivitet i de øverste 80 m av hullet.

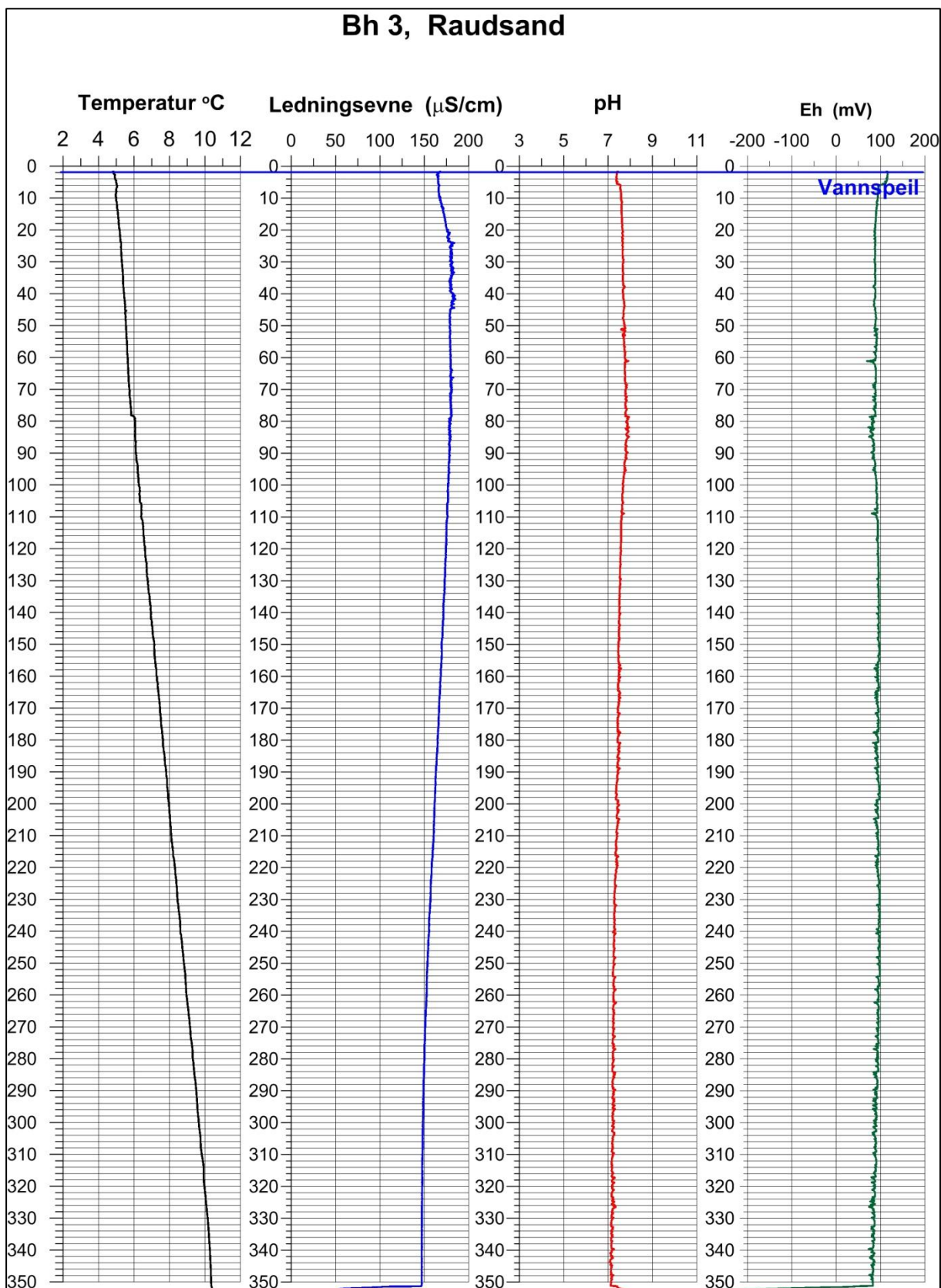
Figur 15 viser vannkvalitetslogg for Bh3.



Figur 13. Logging i Bh3.



Figur 14. Geofysiske logger i Bh3.



Figur 15. Vannkvalitetslogg, temperatur, ledningsevne, pH og Eh i Bh3.

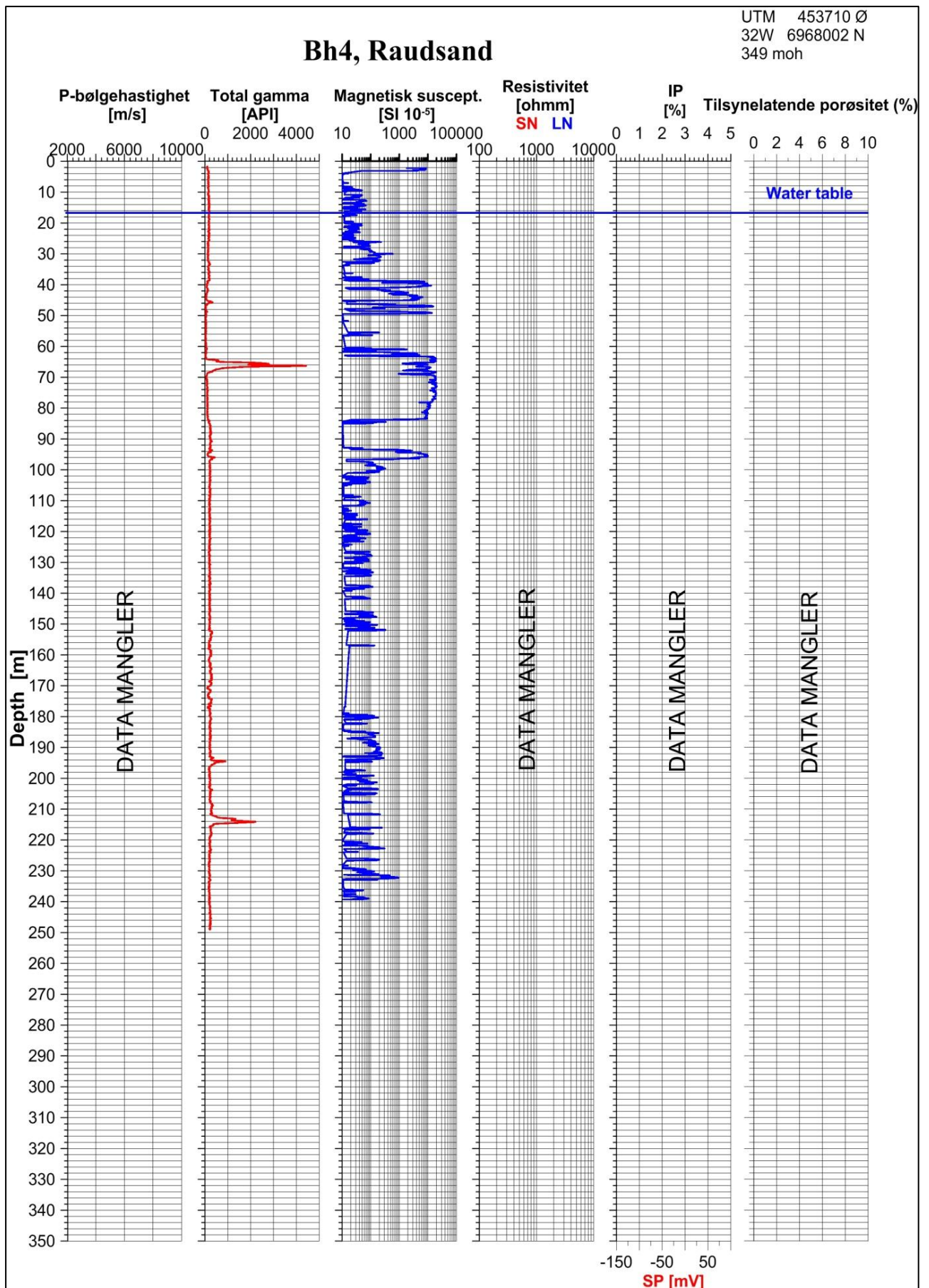
5.4 Resultater geofysiske logger, Bh4

Bh4 ble boret mot den nye magnetiske anomalien fra helikoptermålingene. Hullet ble boret med 15° fall mot sørøst. Figur 16 viser lokaliteten for Bh4 (og Bh5). Boringen stoppet ved ca. 240 m på grunn av en knusningssone som man ikke fikk boret gjennom. Nytt borehull Bh5 ble derfor boret ved samme lokalitet med 85° fall. I Bh4 ble det kun logget magnetisk susceptibilitet og total gammastråling for å kartlegge magnetittmalmen som ble påtruffet i begge borehull. Utvalgte soner ble logget med spektral gamma da det ble målt kraftig total gamma i to soner i hullet.

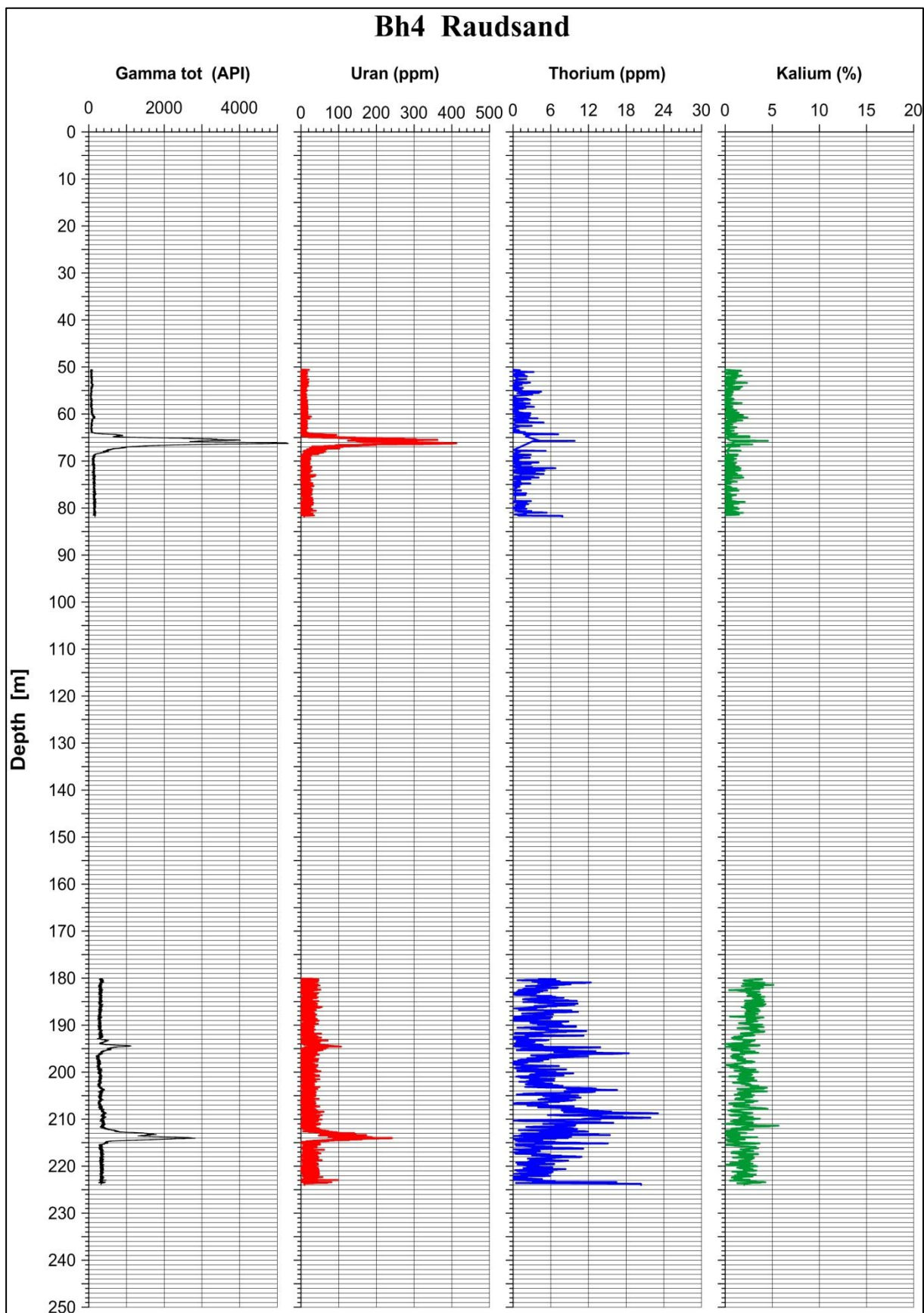
Figur 17 viser magnetisk susceptibilitet og total gamma i Bh4. Høy susceptibilitet indikerer magnetittmalm. To soner med spesielt høy gammastråling observeres ved ca. 64 m og 215 m. Det ble målt med spektral gamma over disse sonene. Den høye totalstrålingen skyldes hovedsakelig uran, se figur 18.



Figur 16. Lokalitet for Bh4 og Bh5.



Figur 17. Magnetisk susceptibilitet og total gamma i Bh4.



Figur 18. Innhold av U, Th og K i utvalgte soner i Bh4.

5.5 Resultater geofysiske logger og vannkvalitet, Bh5

Logging i Bh5 er vist i figur 19. Borehullet var boret et stykke opp i en bratt skråning. Vannstanden var her på 16,3 m og hullet ble boret til 351 m. Det rakk da ned til toppen av hallområdet.

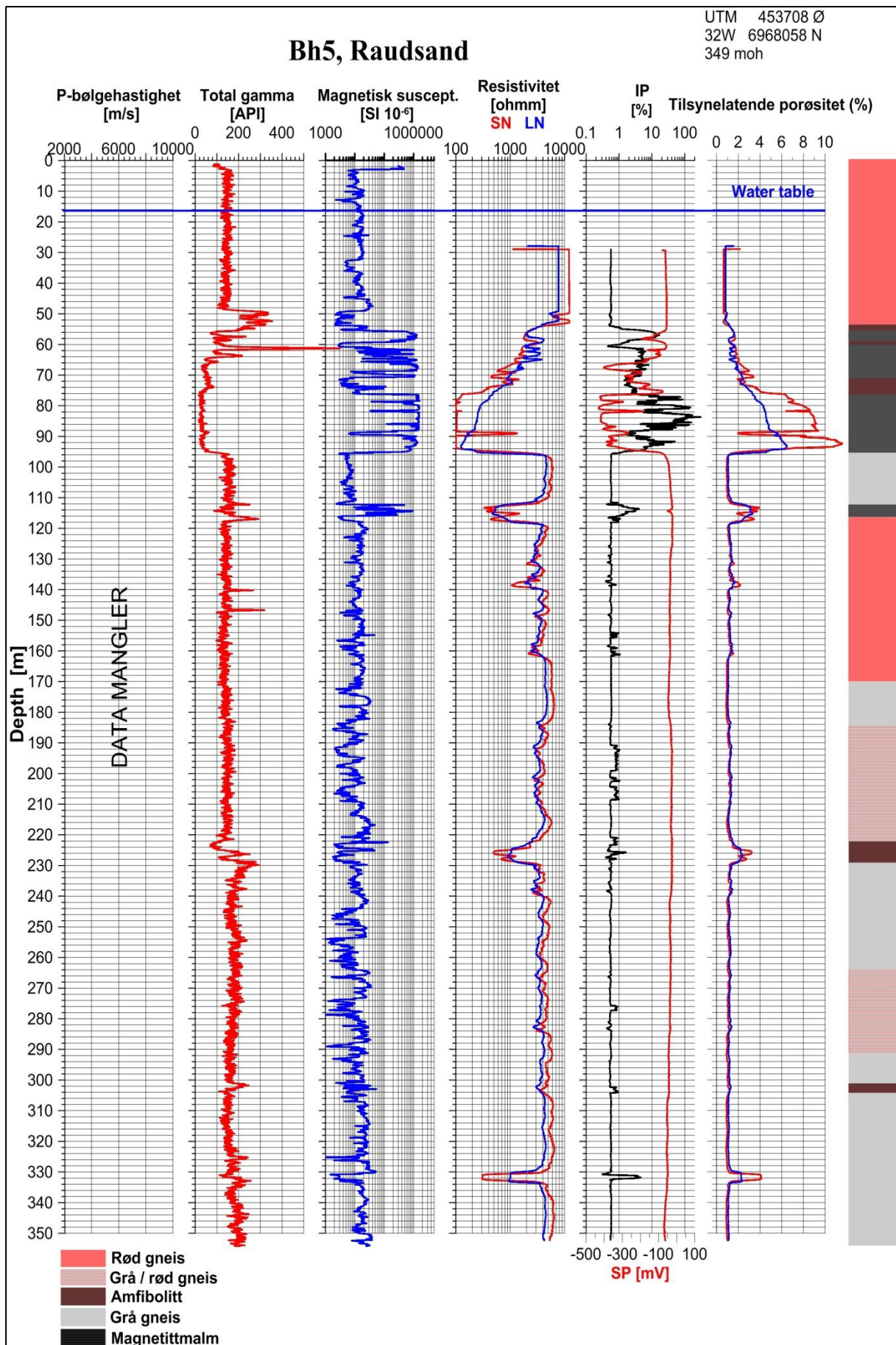
Figur 20 viser samlelogg av geofysiske logger. Påtruffet magnetittmalm indikeres tydelig på magnetisk susceptibilitet, resistivitet, IP og SP.

Vannkvalitetslogg er vist i figur 21.

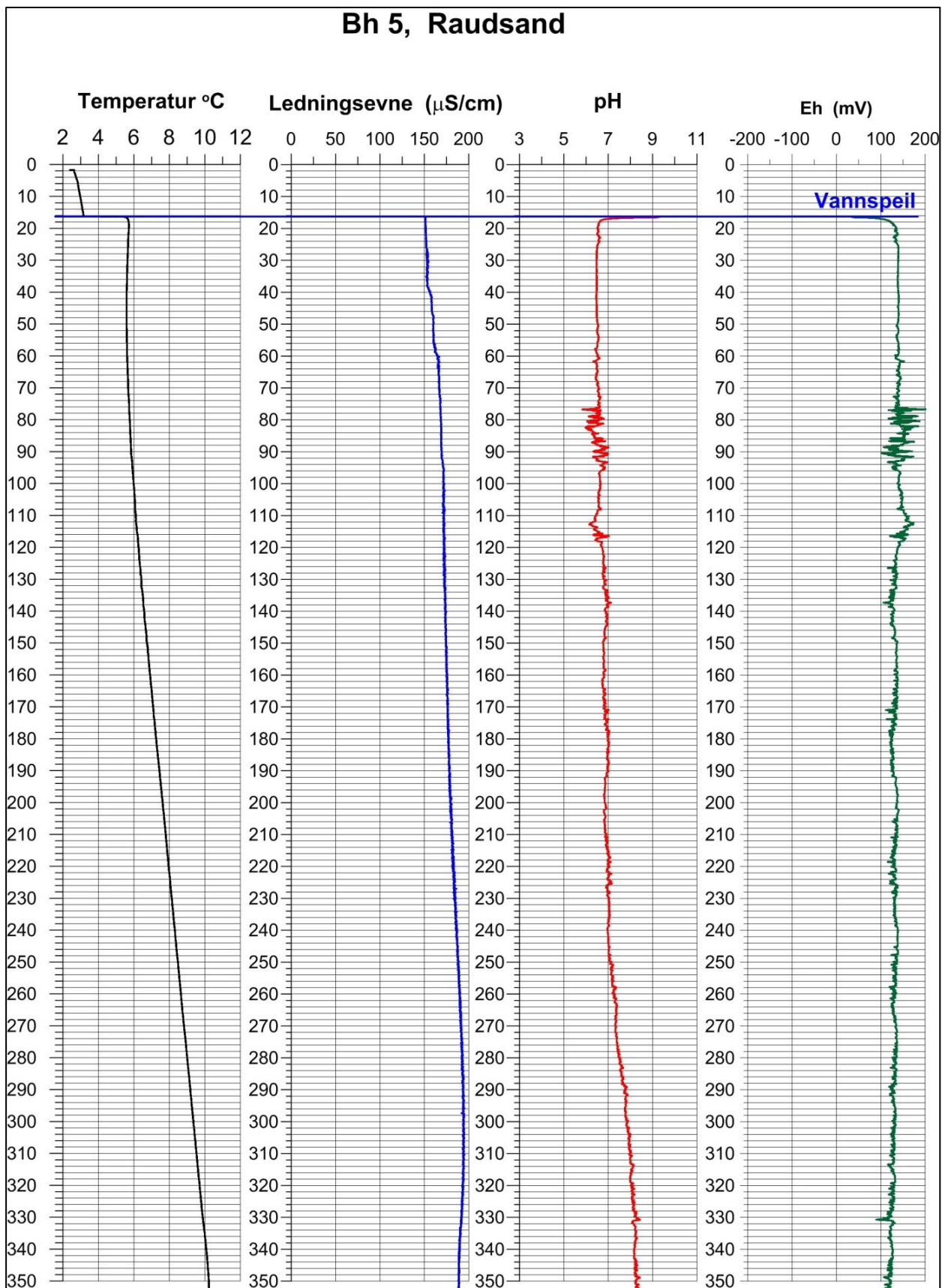
I dette hullet ble det også målt spektralgamma der innholdet av U (ppm), Th (ppm) og K (%) måles direkte. Dette er vist i figur 22.



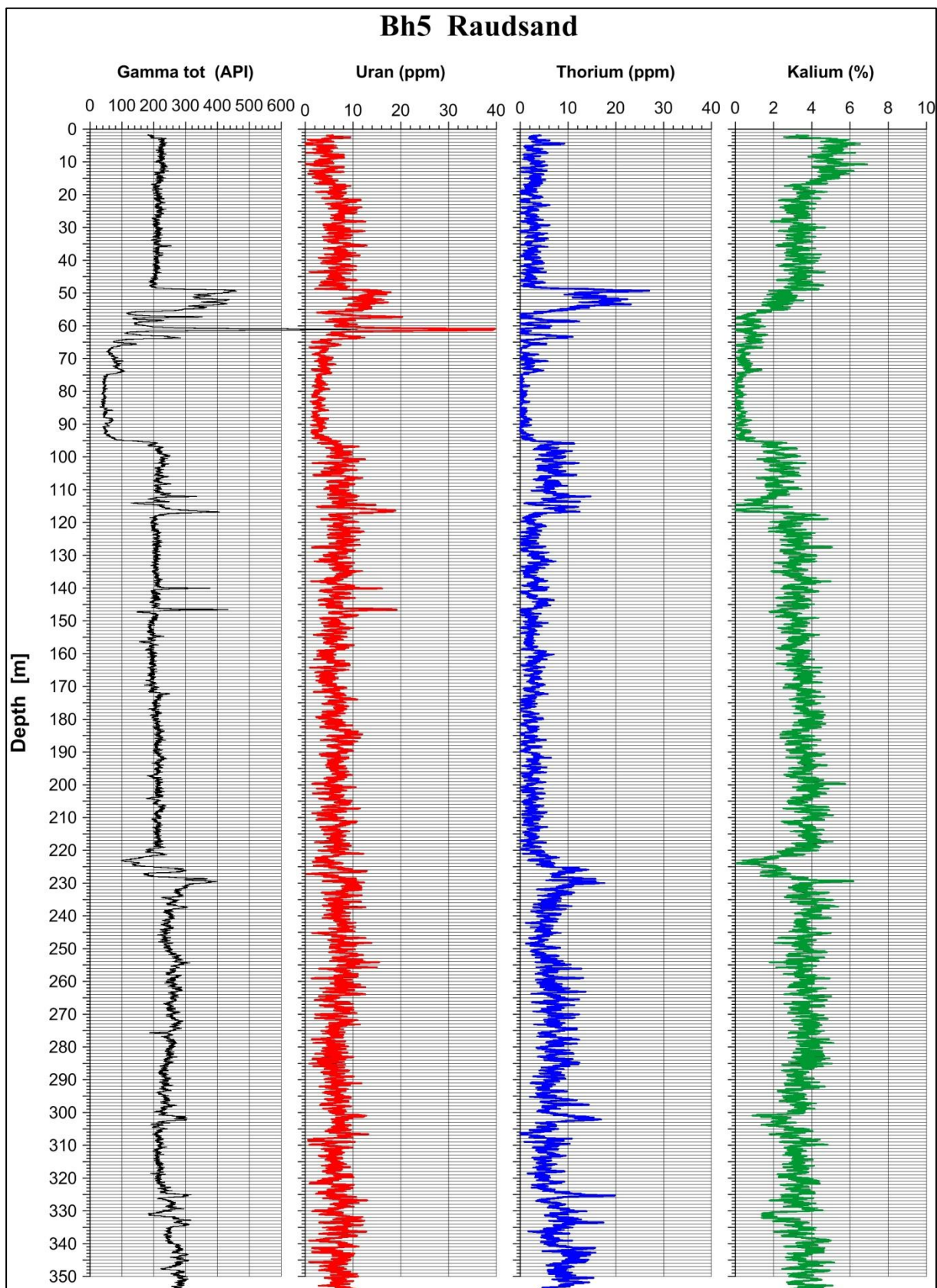
Figur 19. Logging i Bh5.



Figur 20. Geofysiske logger i Bh5.



Figur 21. Vannkvalitetslogg, temperatur, ledningsevne, pH og Eh i Bh5.



Figur 22. Spektral gamma. Innhold av U, Th og K i Bh5.

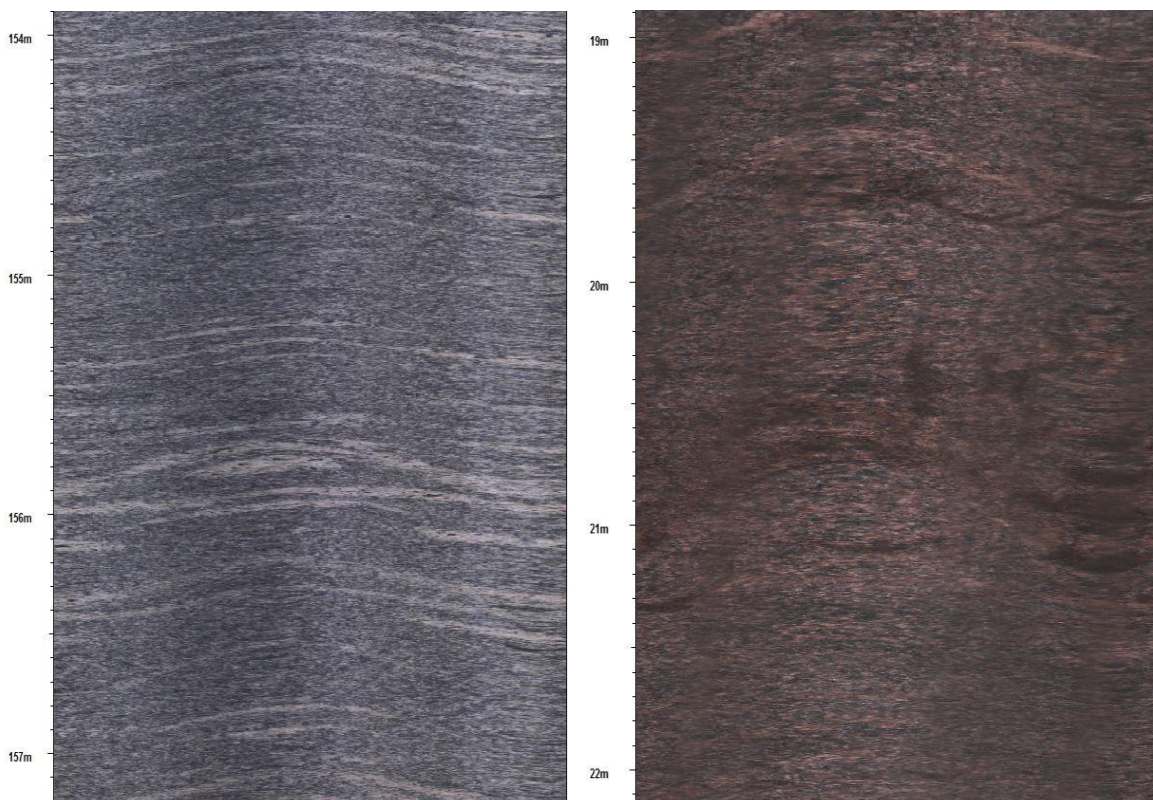
6. SPREKKE- OG FOLIASJONSKARTLEGGING MED OPTISK TELEVIEWER

Alle borehull ble filmet innvendig med optisk televiewer. Med denne sonden kan en kartlegge sprekker og geologiske hendelser i borehullet. Ved å digitalisere hver enkelt sprekke kan en beregne strøk, fall, sprekkefrekvens. Data presenteres i sprekkefrekvenshistogram, stereogram og rosedigram.

På frekvenshistogrammene plottes til venstre hver enkelt sprekke i et nålplott der nålen peker i sprekkenes fallretning ("azimuth") og nålehodet angir sprekkenes fall. Ved hjelp av stereogrammene er sprekkene delt inn i grupper med noenlunde samme fall og "azimuth". Gruppene har fått hver sin farge og disse går igjen i frekvenshistogrammene. Helt til høyre på plottet er vist borehullsforløp og RQD indeks (Rock Quality Designation). Jo lavere RQD indeksen er jo større er oppsprekningen.

I tillegg til sprekker kan også bergartenes foliasjon beregnes langs hele hullet.

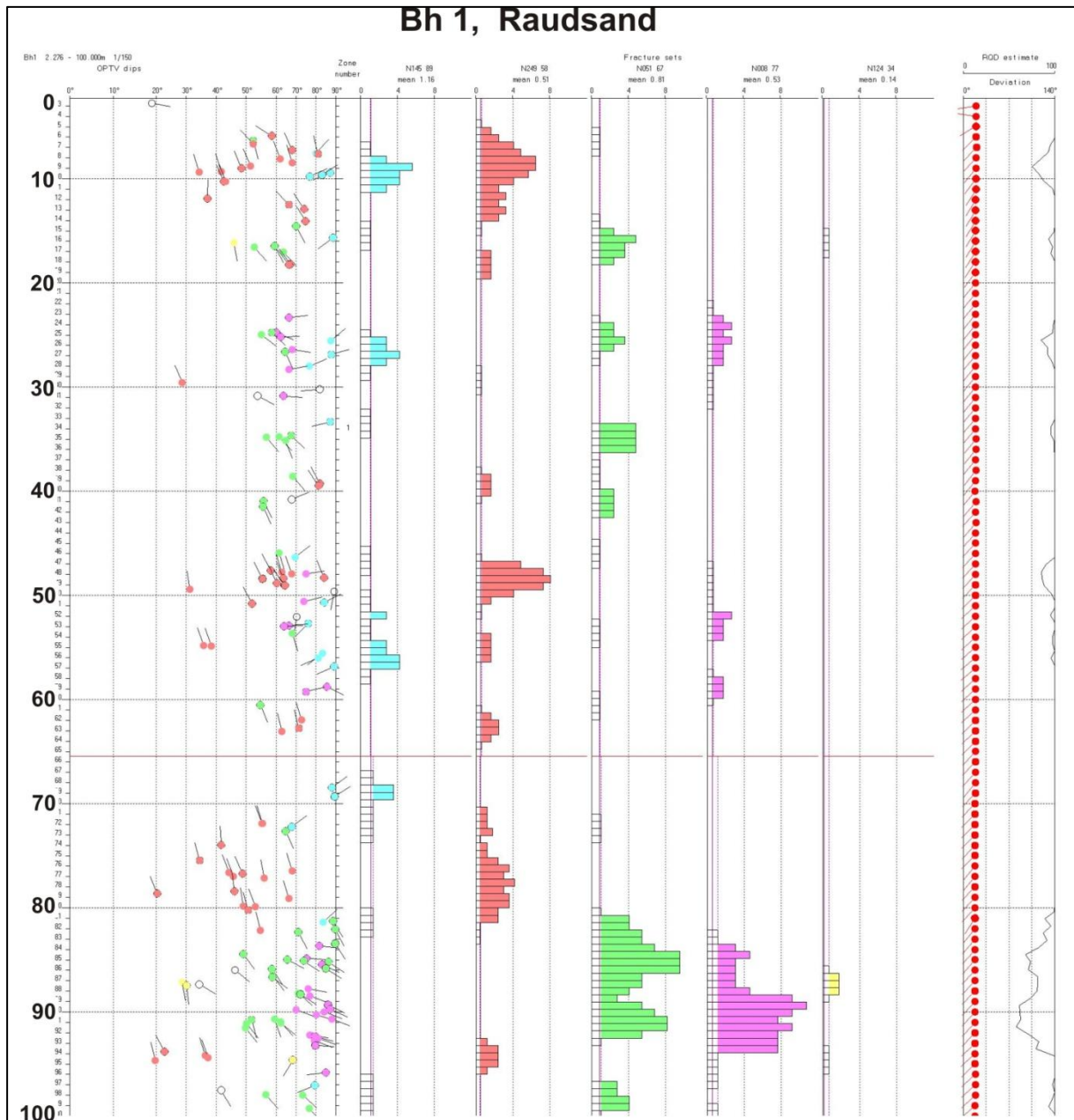
På figur 23 er vist eksempel på televiewer opptak av grå gneis (Bh2) og rød gneis (Bh5).



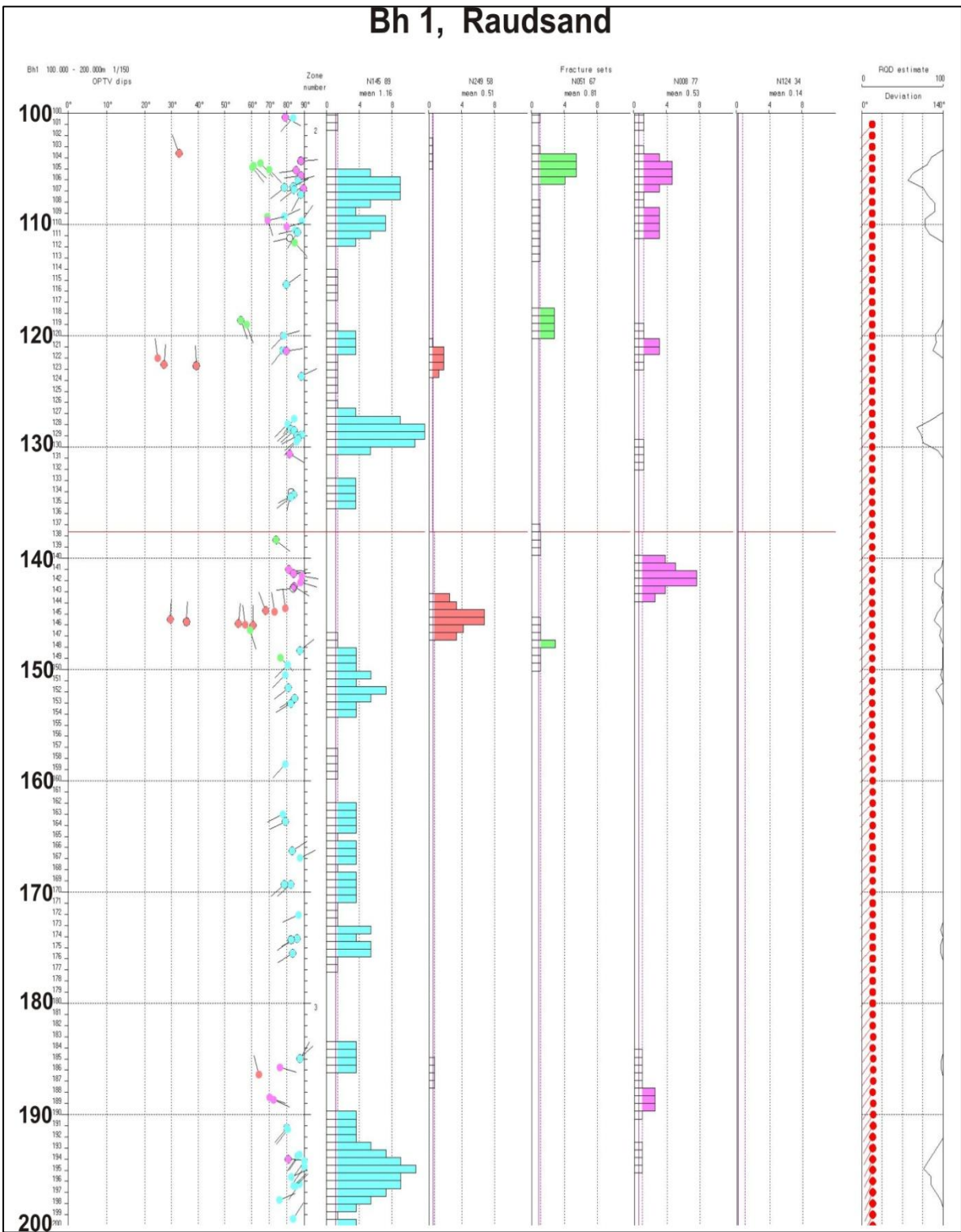
Figur 23. Bilder fra optisk televiewer av grå gneis (venstre) og rød gneis (høyre).

6.1 Sprekkefrekvens Bh1

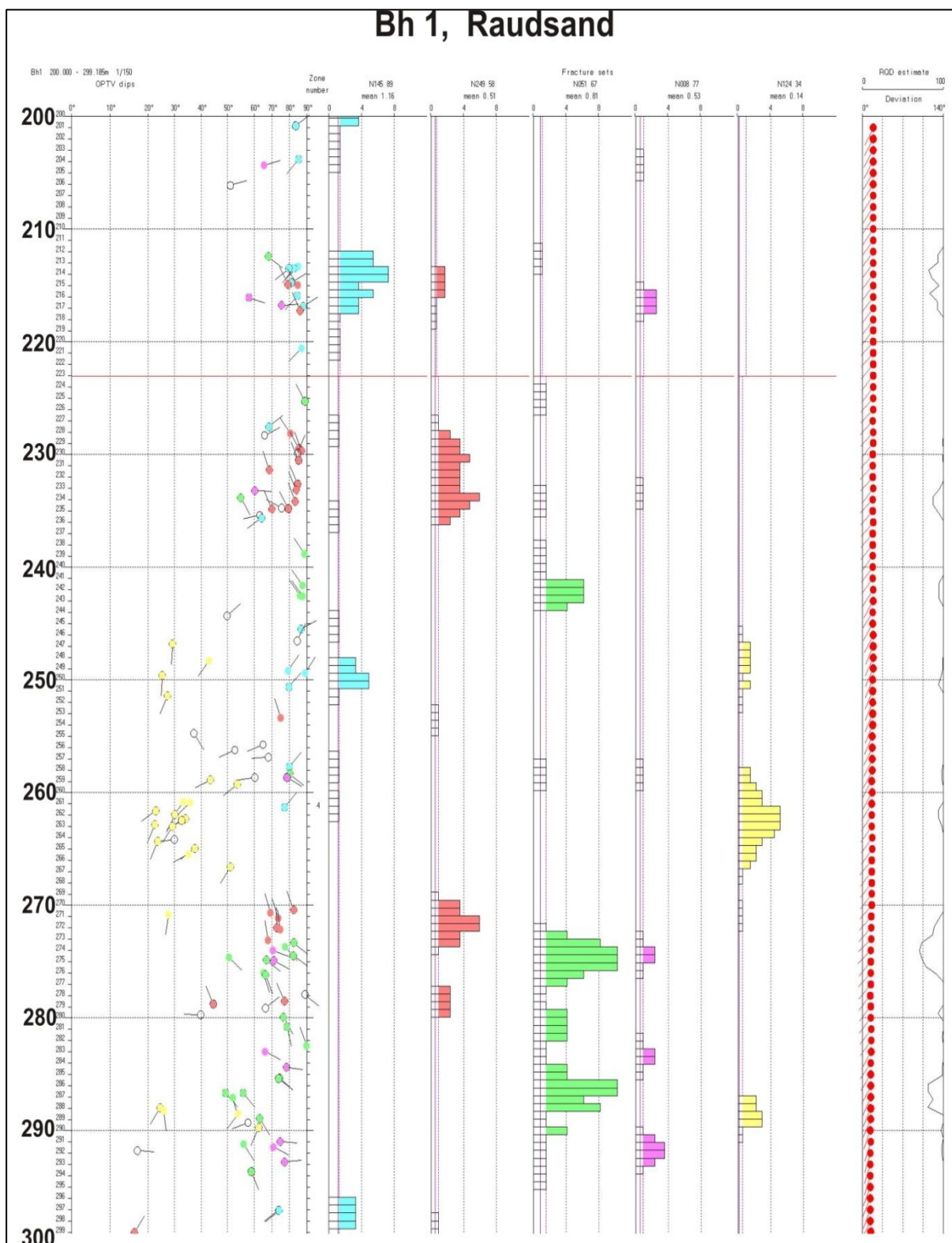
Figurene 24, 25 og 26 viser individuelle sprekker og sprekkefrekvenshistogram for forskjellige deler av Bh1. Til høyre vises borehullets forløp som nåleplott og RQD-indeks.



Figur 24. Sprekkefrekvenshistogram for Bh1, 0 – 100 m.



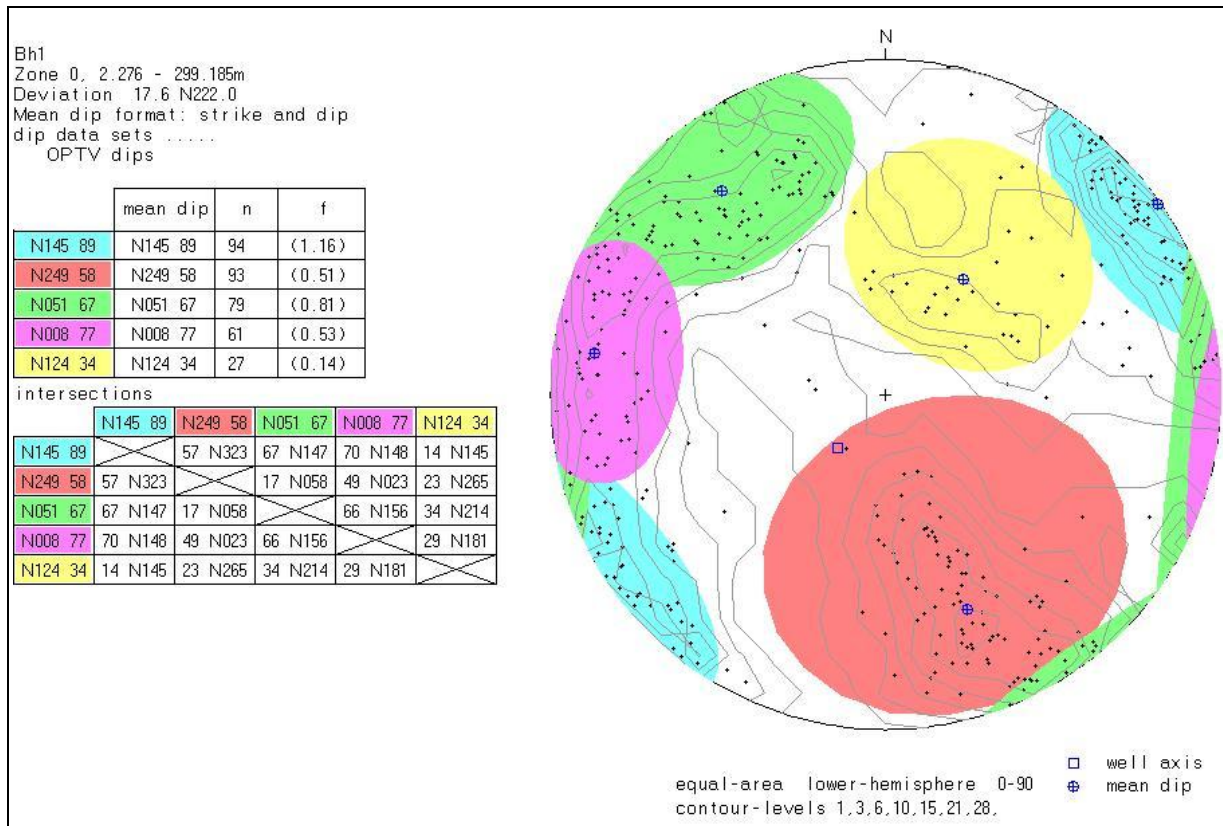
Figur 25. Sprekkefrekvenshistogram for Bh1, 100 – 200 m.



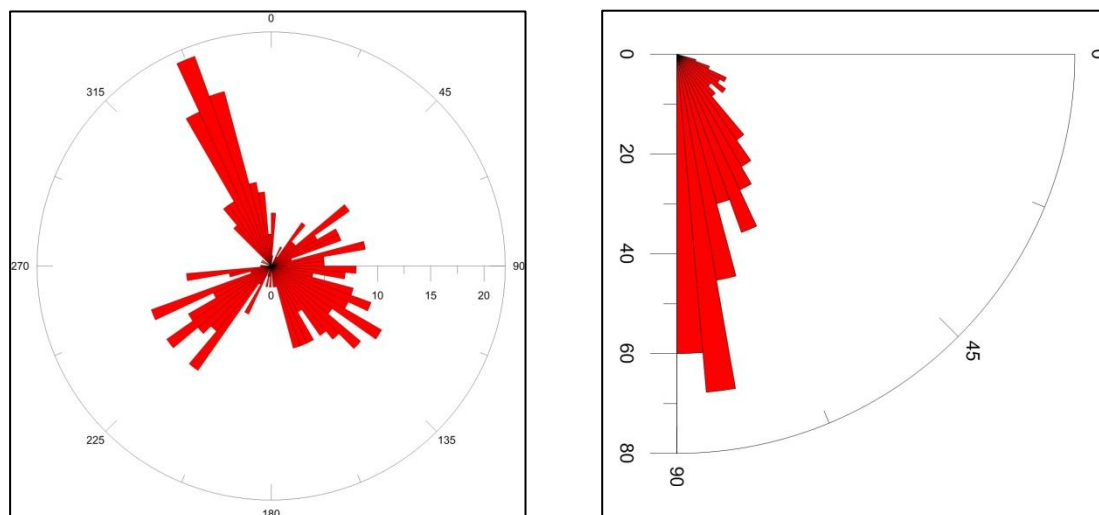
Figur 26. Sprekkefrekvenshistogram for Bh1, 200– 300 m.

I figur 27 vises sprekkestereogram for alle indikerte sprekker i Bh1. Sprekkegrupper er indikert med ulike farger, de samme som på frekvenshistogrammene. Den øverste

tabellen viser sprekkenes gjennomsnittlig strøk og fall i hver gruppe. Den nederste tabellen viser skjæringslinjen mellom to gjennomsnittlige sprekkeplan. Figur 28 viser rosediagram for fallretning ("azimuth") og fallvinkel for sprekker i Bh1.



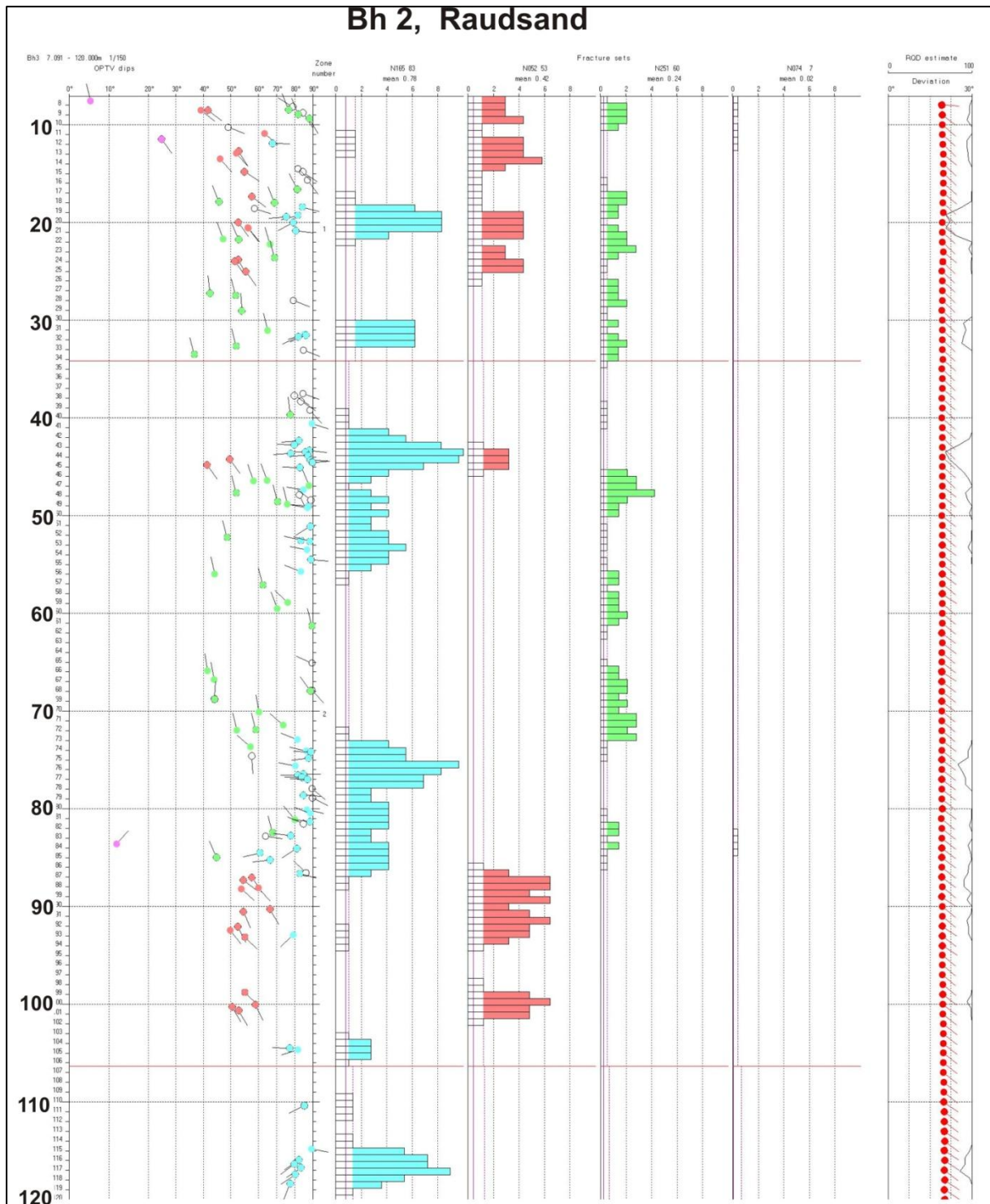
Figur 27. Sprekkefrekvenshistogram for Bh1.



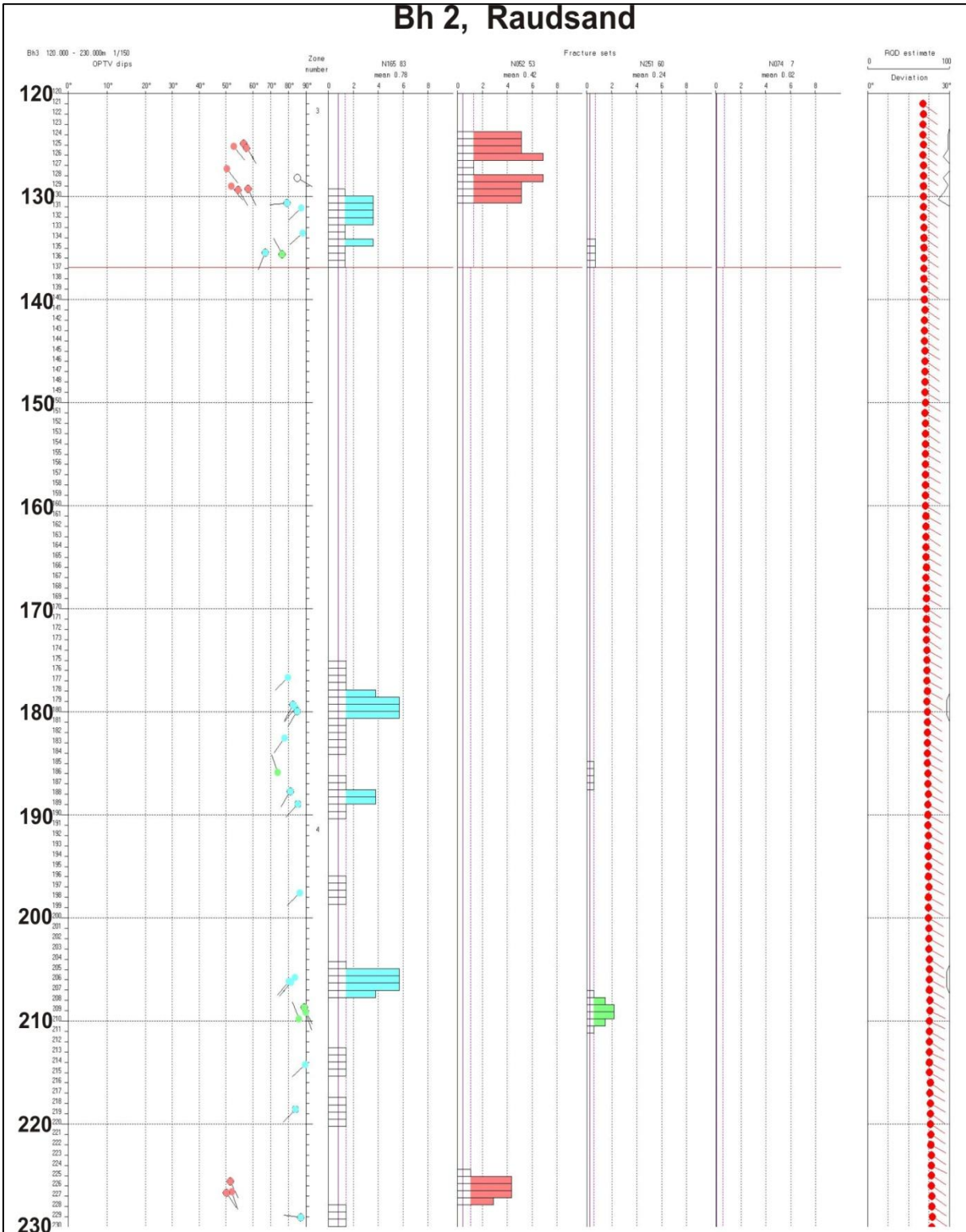
Figur 28. Rosediagram for fallretning (venstre) og fall vinkel (høyre), Bh1.

6.2 Sprekkefrekvens Bh2

Figurene 29, 30 og 31 viser individuelle sprekker som nåleplott og sprekkefrekvens-histogram for Bh2. Til høyre vises borehullets forløp som nåleplott og RQD-indeks.

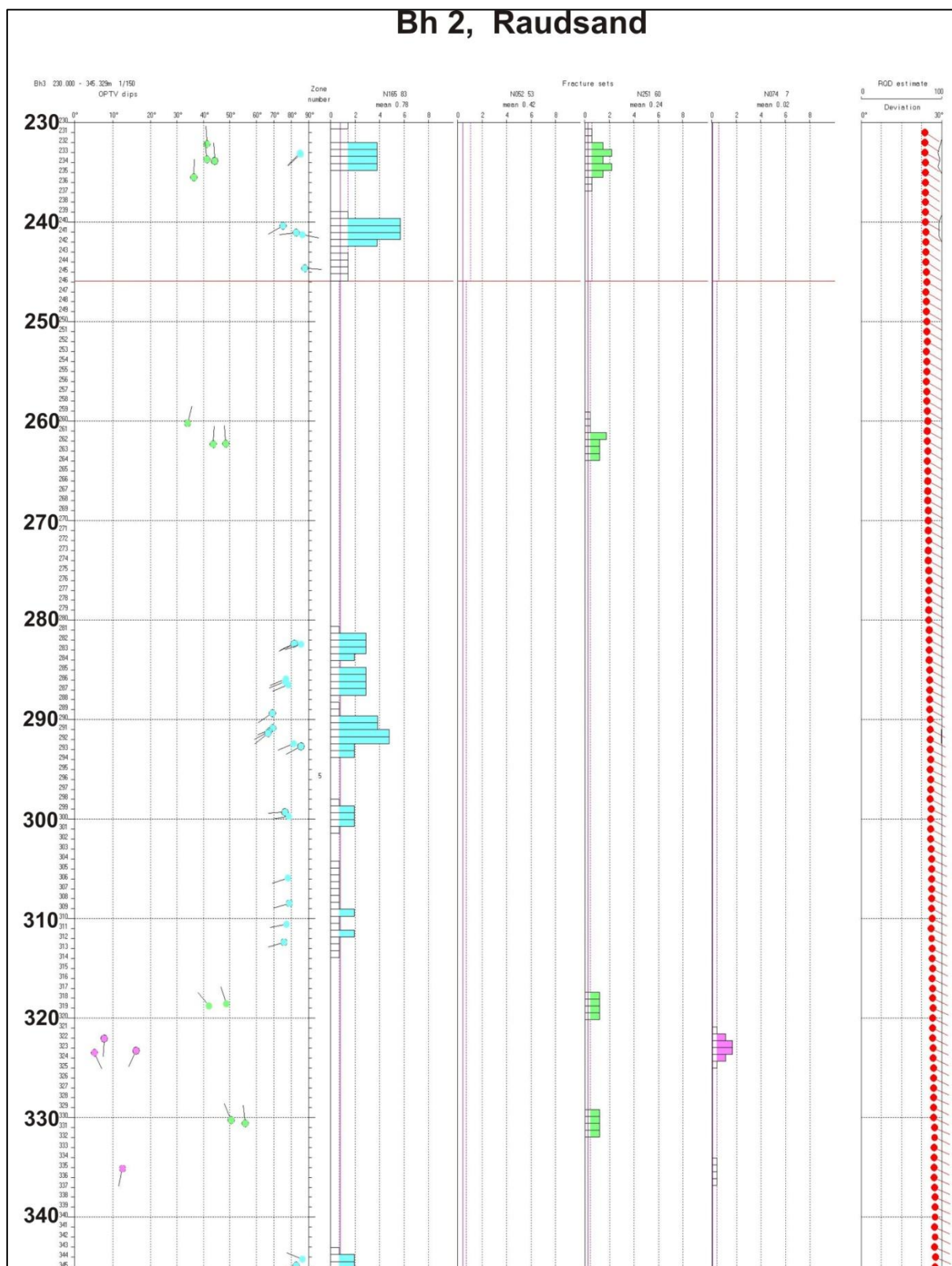


Figur 29. Sprekkefrekvenshistogram for Bh2, 0 – 120 m.



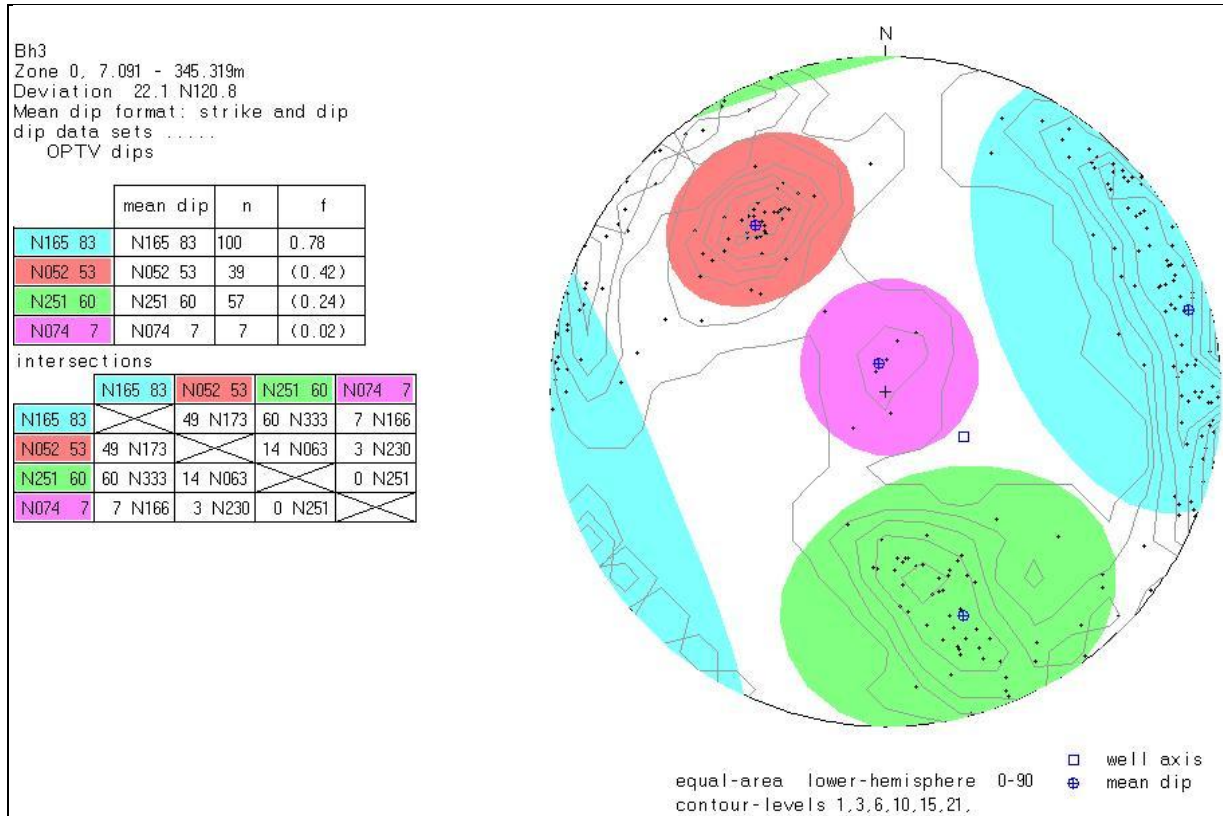
Figur 30. Sprekkefrekvenshistogram for Bh2, 120 – 230 m.

Bh 2, Raudsand

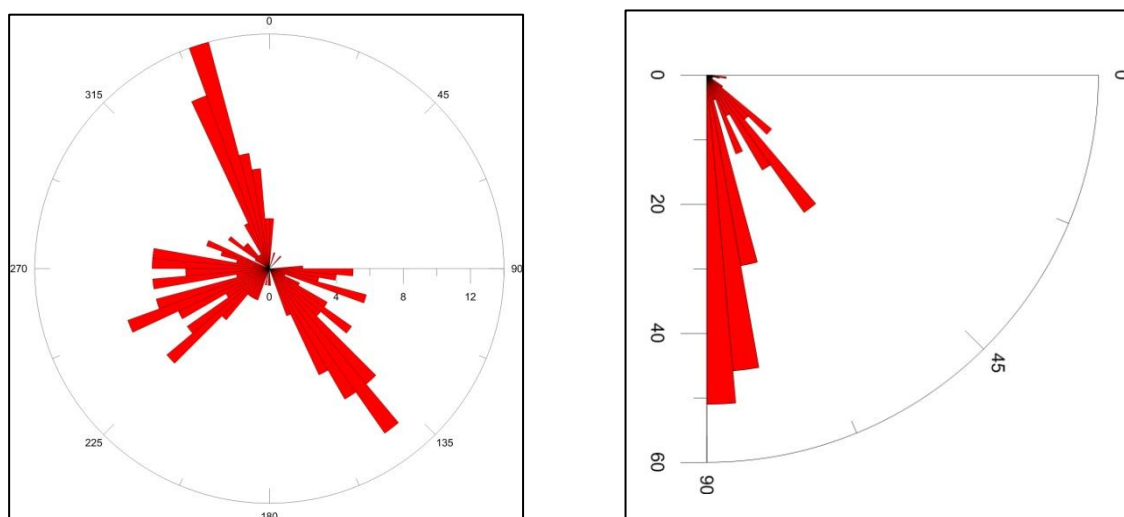


Figur 31. Sprekkefrekvenshistogram for Bh2, 2300 – 345 m.

I figur 32 vises sprekkestereogram for alle indikerte sprekker i Bh2. Sprekkegrupper er indikert med ulike farger, de samme som på frekvenshistogrammene. Øverste tabell viser sprekkenes gjennomsnittlig strøk og fall i hver gruppe. Den nederste tabellen viser skjæringslinje mellom de gjennomsnittlige sprekkeplanene. Figur 33 viser rosediagram for fallretning ("azimuth") og fall vinkel for sprekker i Bh2.



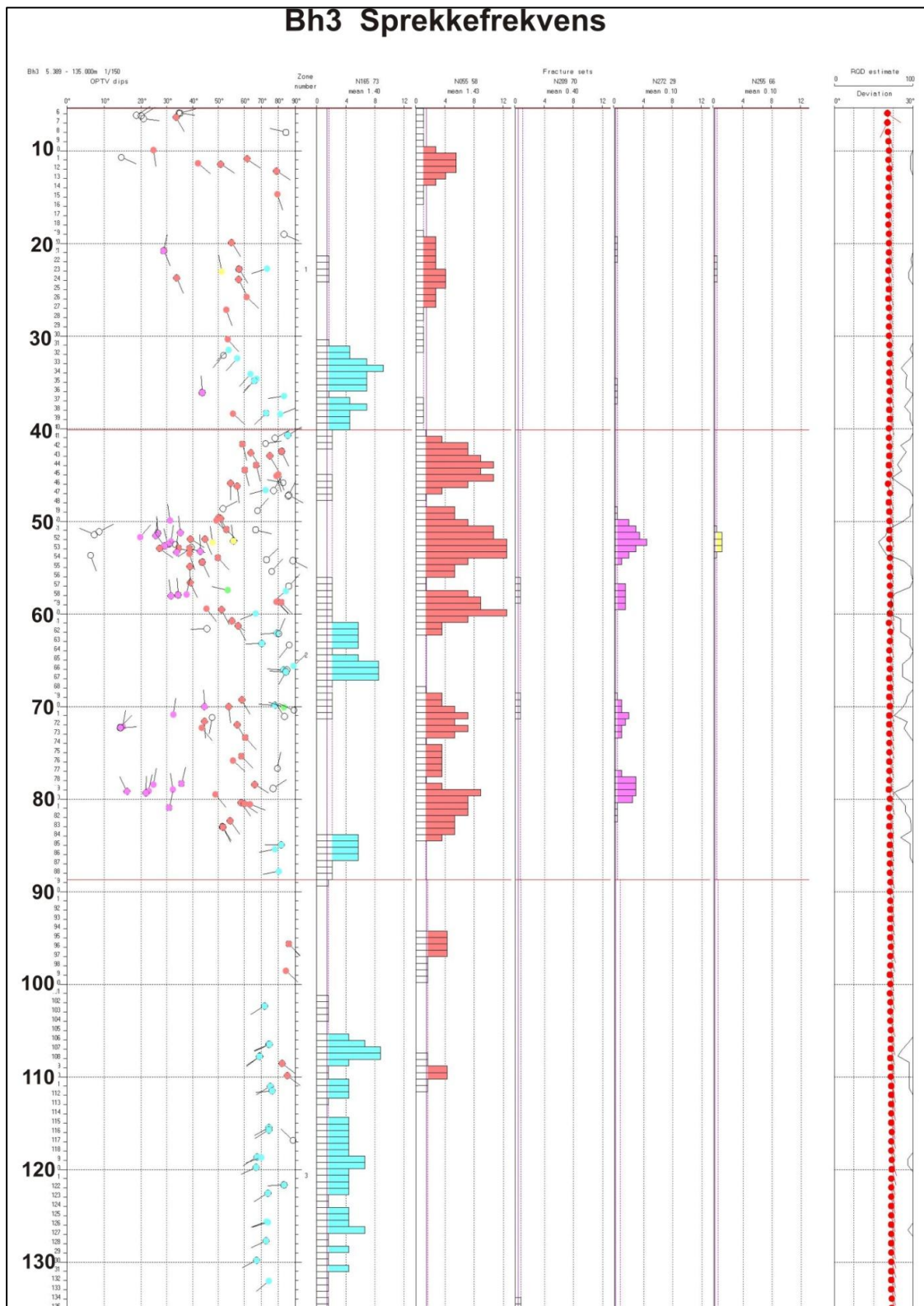
Figur 32. Sprekkefrekvenshistogram for Bh2.



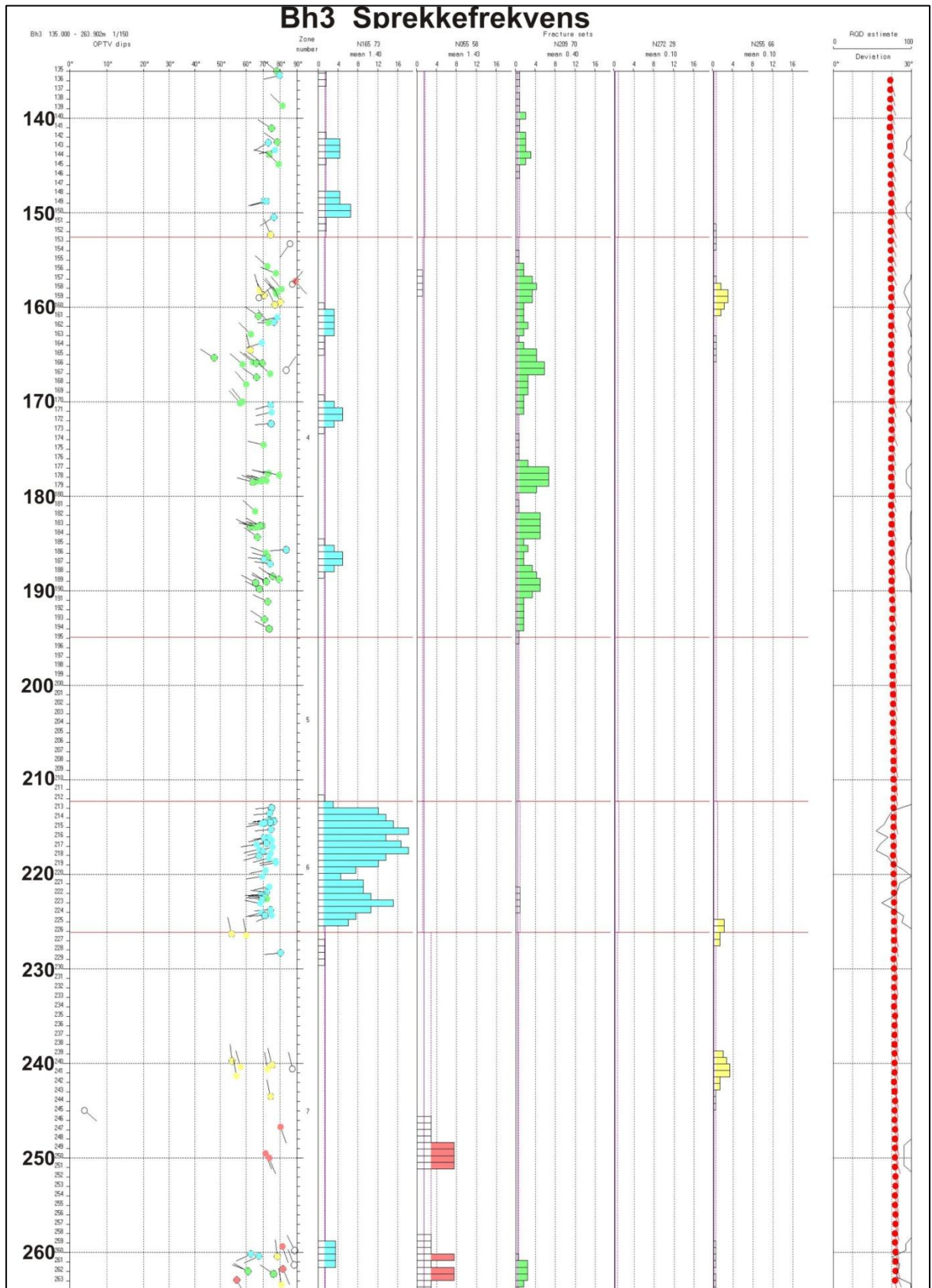
Figur 33. Rosediagram for fallretning (venstre) og fall vinkel (høyre), Bh2.

6.3 Sprekkefrekvens Bh3

Figurene 34, 35 og 36 viser individuelle sprekker som nåleplott og sprekkefrekvens-histogram for forskjellige deler av Bh3. Til høyre vises borehullets forløp som nåleplott og RQD-indeks.

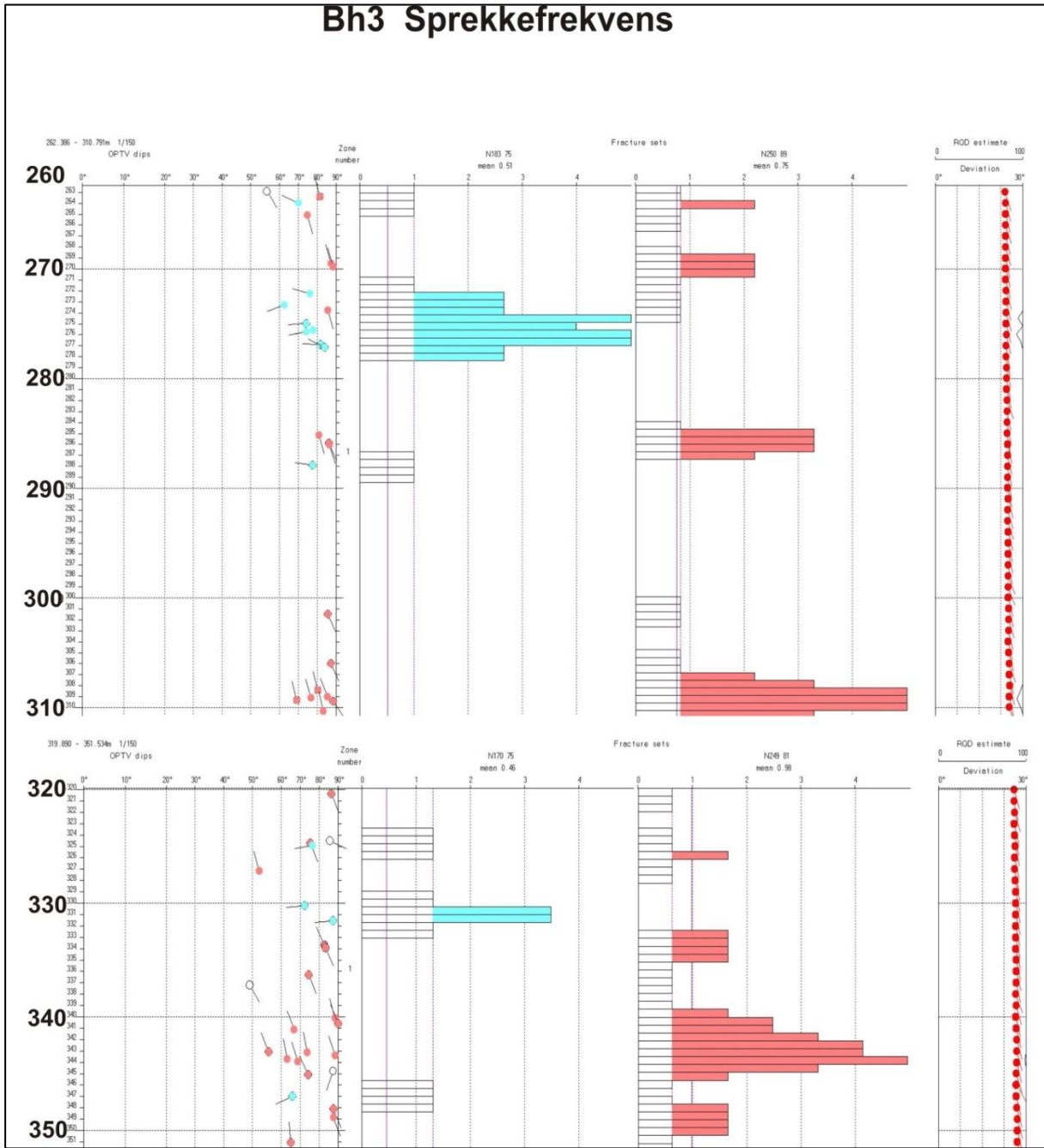


Figur 34. Sprekkefrekvenshistogram for Bh3, 5 – 135 m.



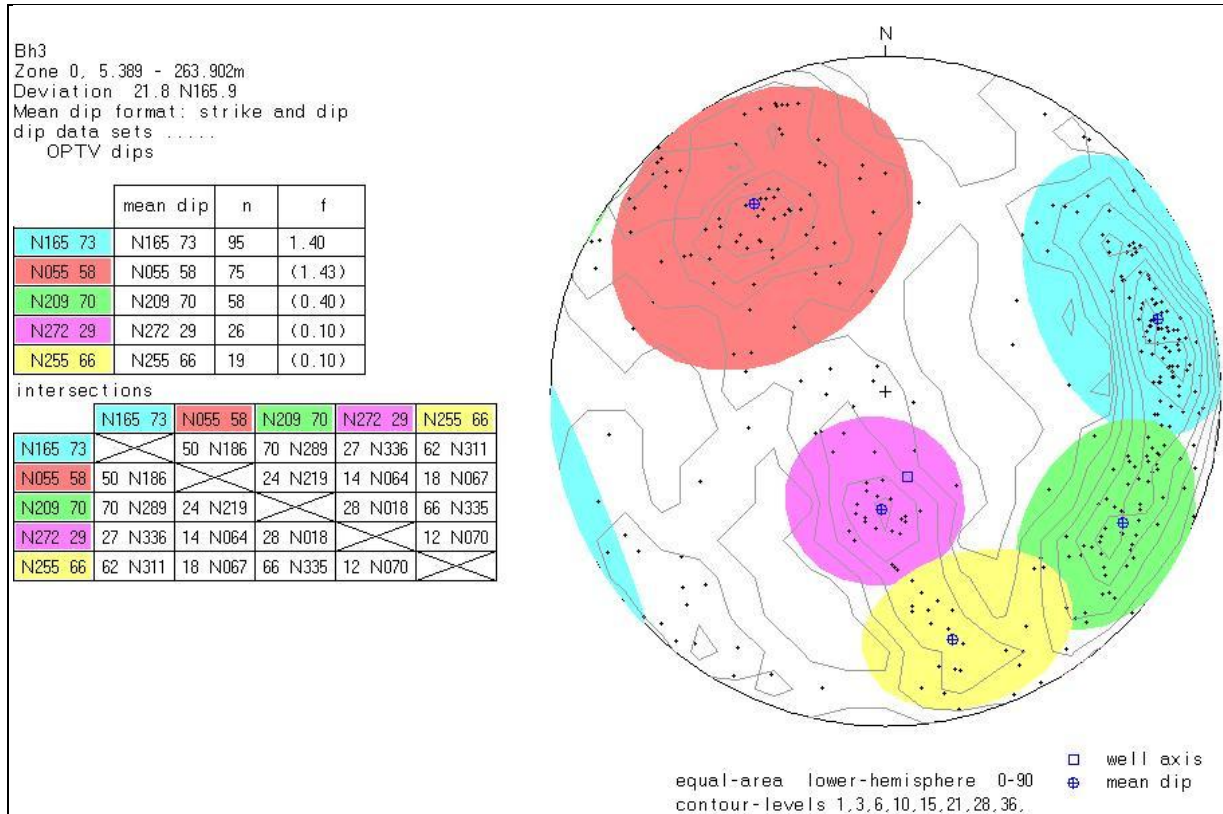
Figur 35. Sprekkefrekvenshistogram for Bh3, 135 – 260 m.

Bh3 Sprekkefrekvens

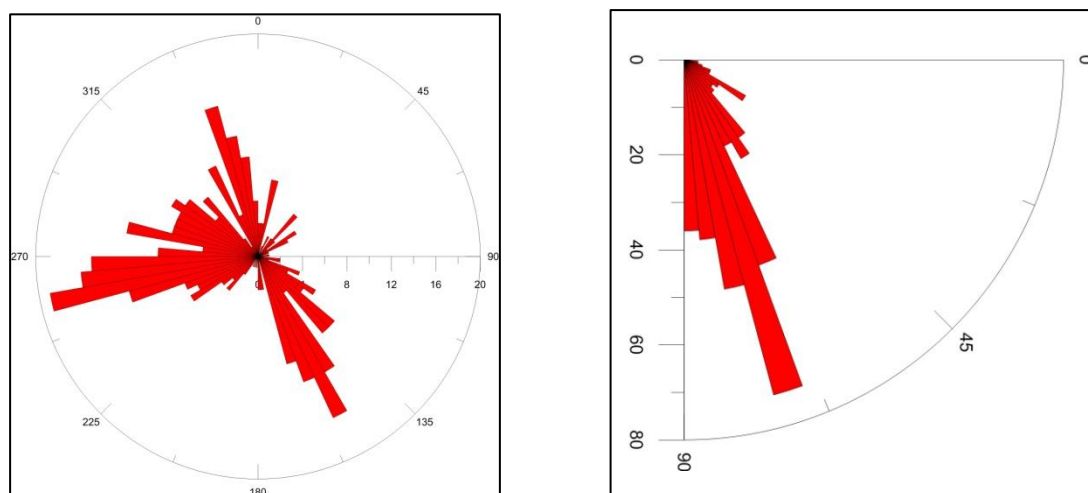


Figur 36. Sprekkefrekvenshistogram for Bh3, 260 – 350 m.

Figur 37 viser sprekkestereogram for alle indikerte sprekker i Bh3. Sprekkegrupper er indikert med ulike farger, de samme som på frekvenshistogrammene. Øverste tabell viser sprekkenes gjennomsnittlig strøk og fall i hver gruppe. Nederste tabell viser skjæringslinjen mellom gjennomsnittlige sprekkeplan. Figur 38 viser rose-diagram for fallretning ("azimuth") og fall vinkel for sprekker i Bh3.



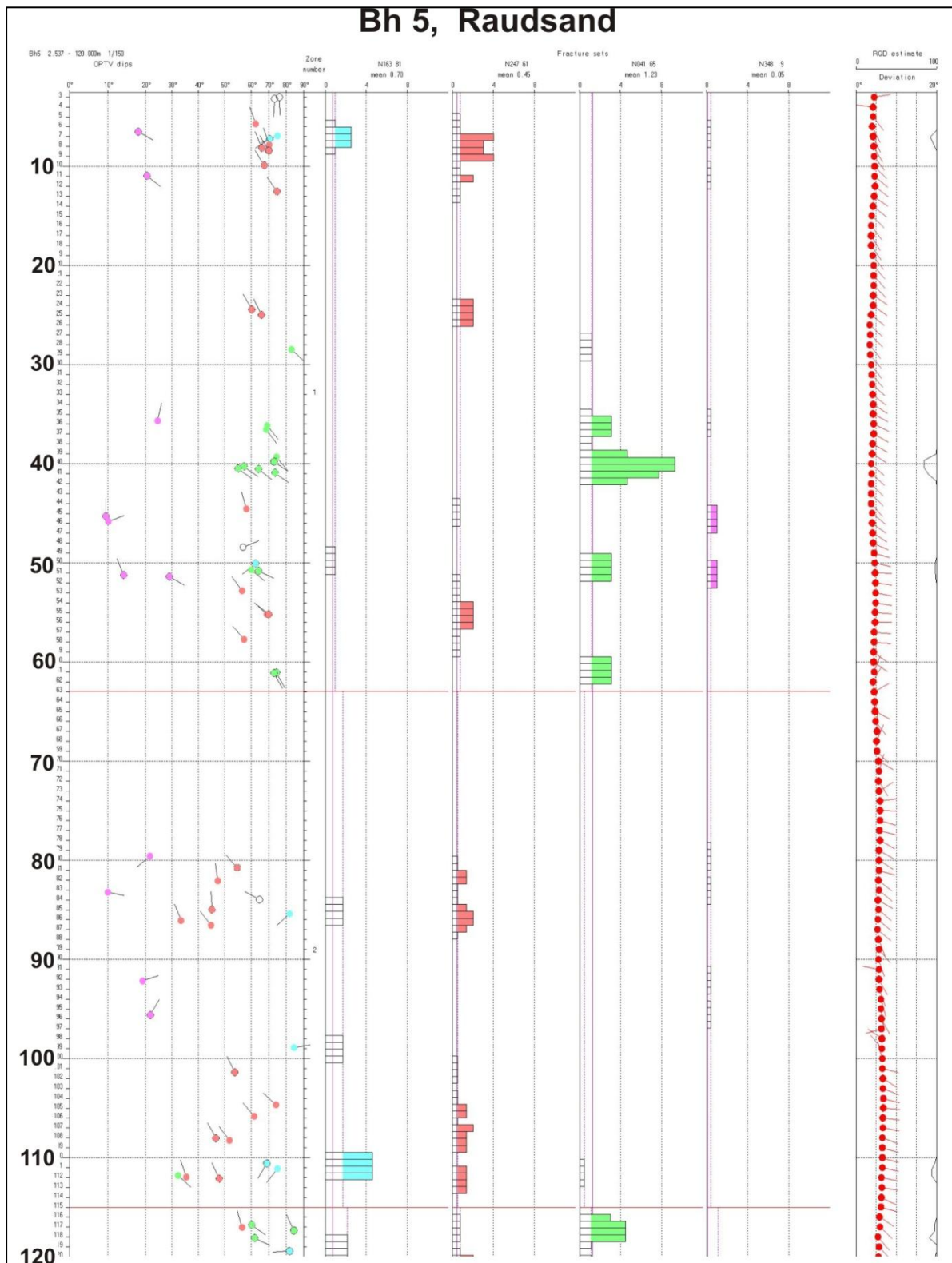
Figur 37. Sprekkefrekvenshistogram for Bh3.



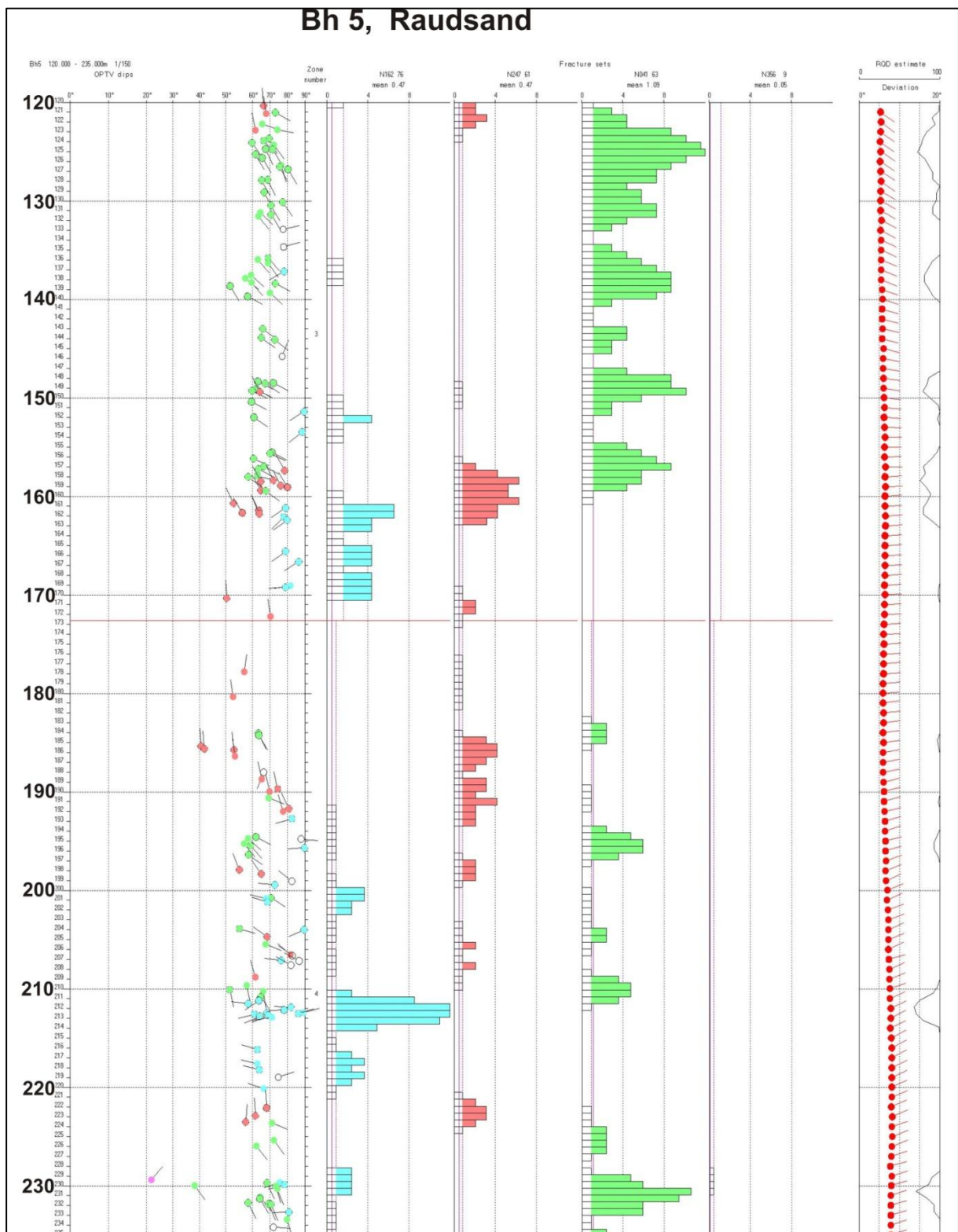
Figur 38. Rosediagram for fallretning (venstre) og fall vinkel (høyre), Bh3.

6.4 Sprekkefrekvens Bh5

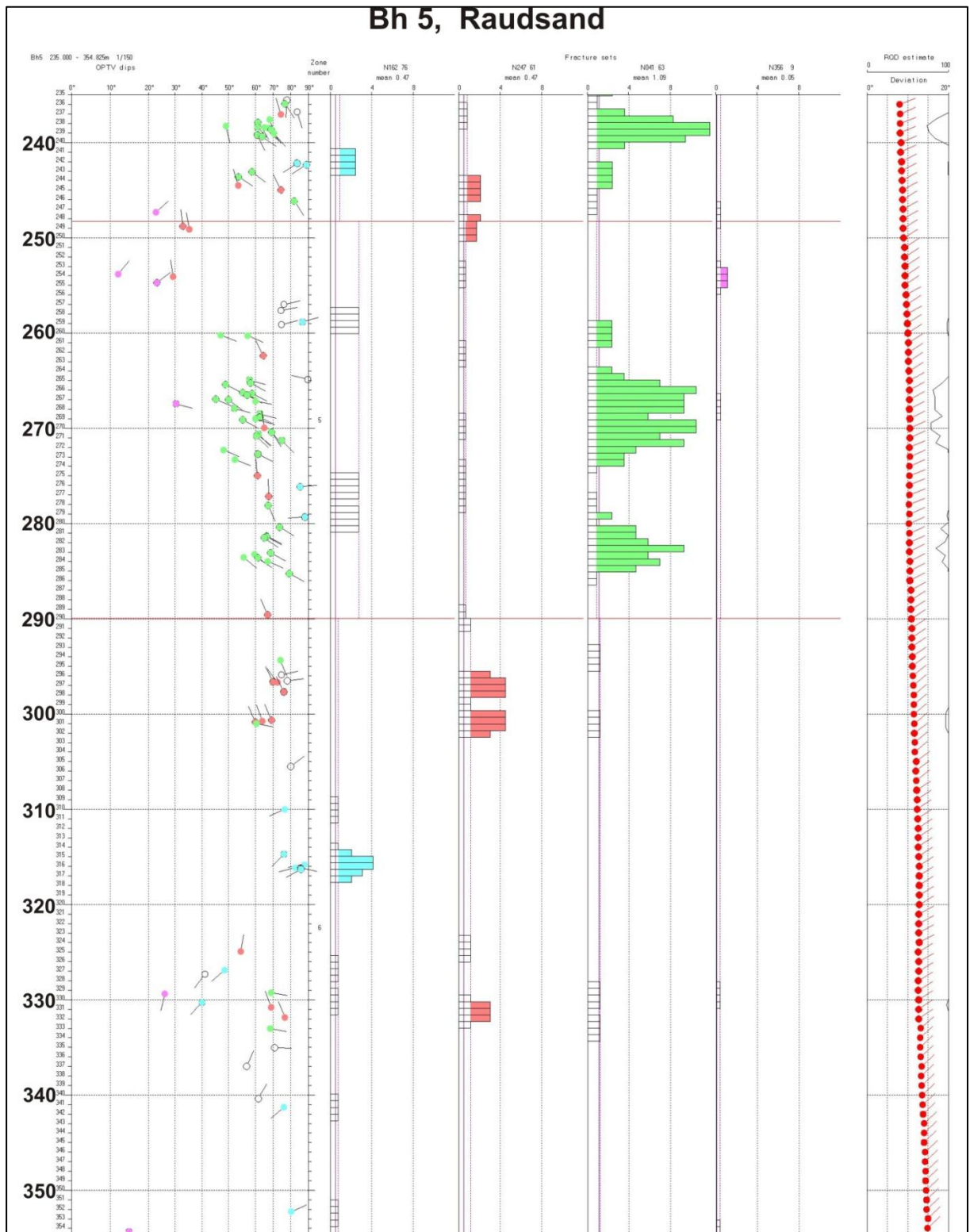
Figurene 39, 40 og 41 viser individuelle sprekker som nåleplott og sprekkefrekvens-histogram for forskjellige deler av Bh5. Til høyre vises borehullets forløp som nåleplott og RQD-indeks.



Figur 39. Sprekkefrekvenshistogram for Bh5, 0 – 120 m.

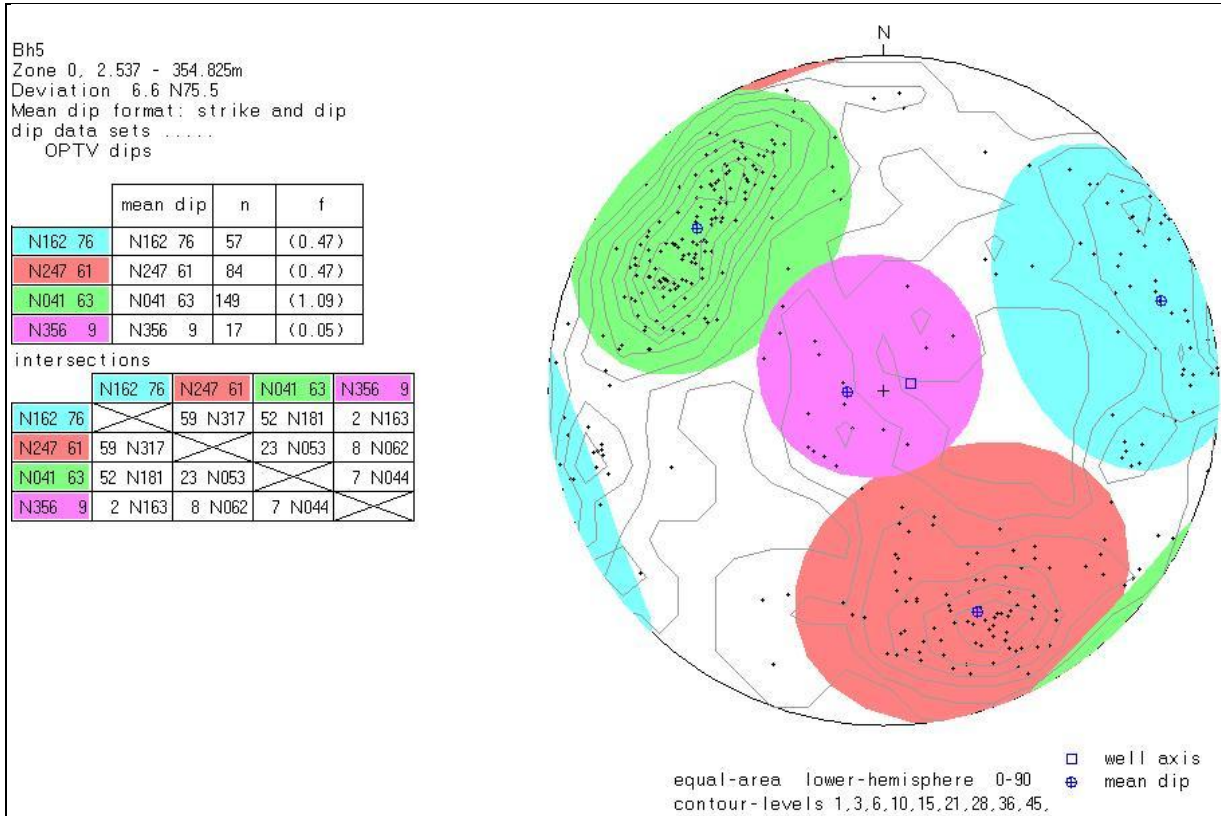


Figur 40. Sprekkefrekvenshistogram for Bh5, 120 – 235 m.

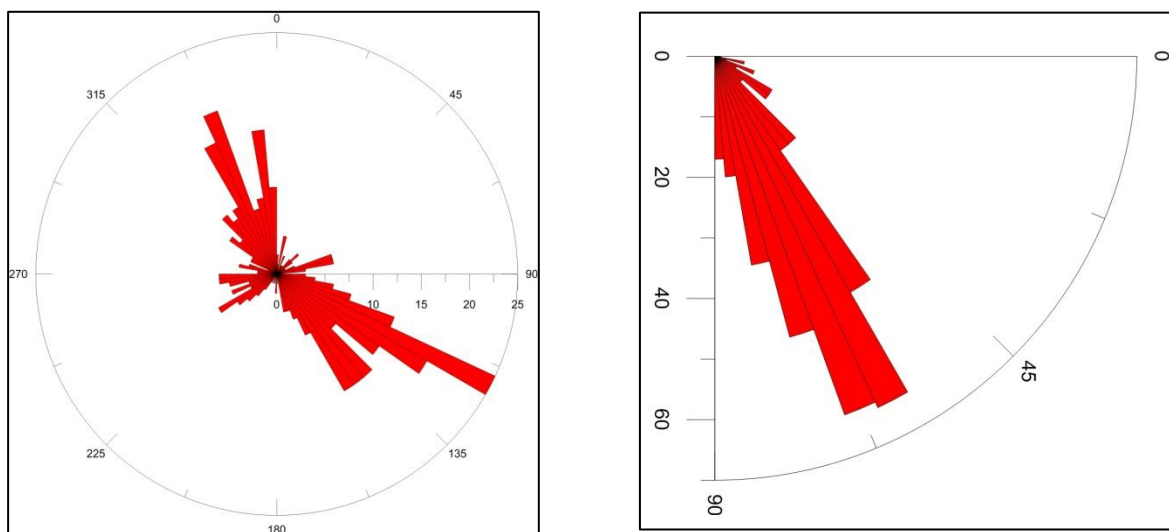


Figur 41. Sprekkefrekvenshistogram for Bh5, 235 – 355 m.

Figur 42 viser sprekkestereogram for alle indikerte sprekker i Bh5. Sprekkegrupper er indikert med ulike farger, de samme som på frekvenshistogrammene. Øverste tabell viser sprekkenes gjennomsnittlig strøk og fall i hver gruppe. Nederste tabell angir skjæringslinjen mellom gjennomsnittlige sprekkeplan. Figur 43 viser rosediagram for fallretning ("azimuth") og fall vinkel for sprekker i Bh5.



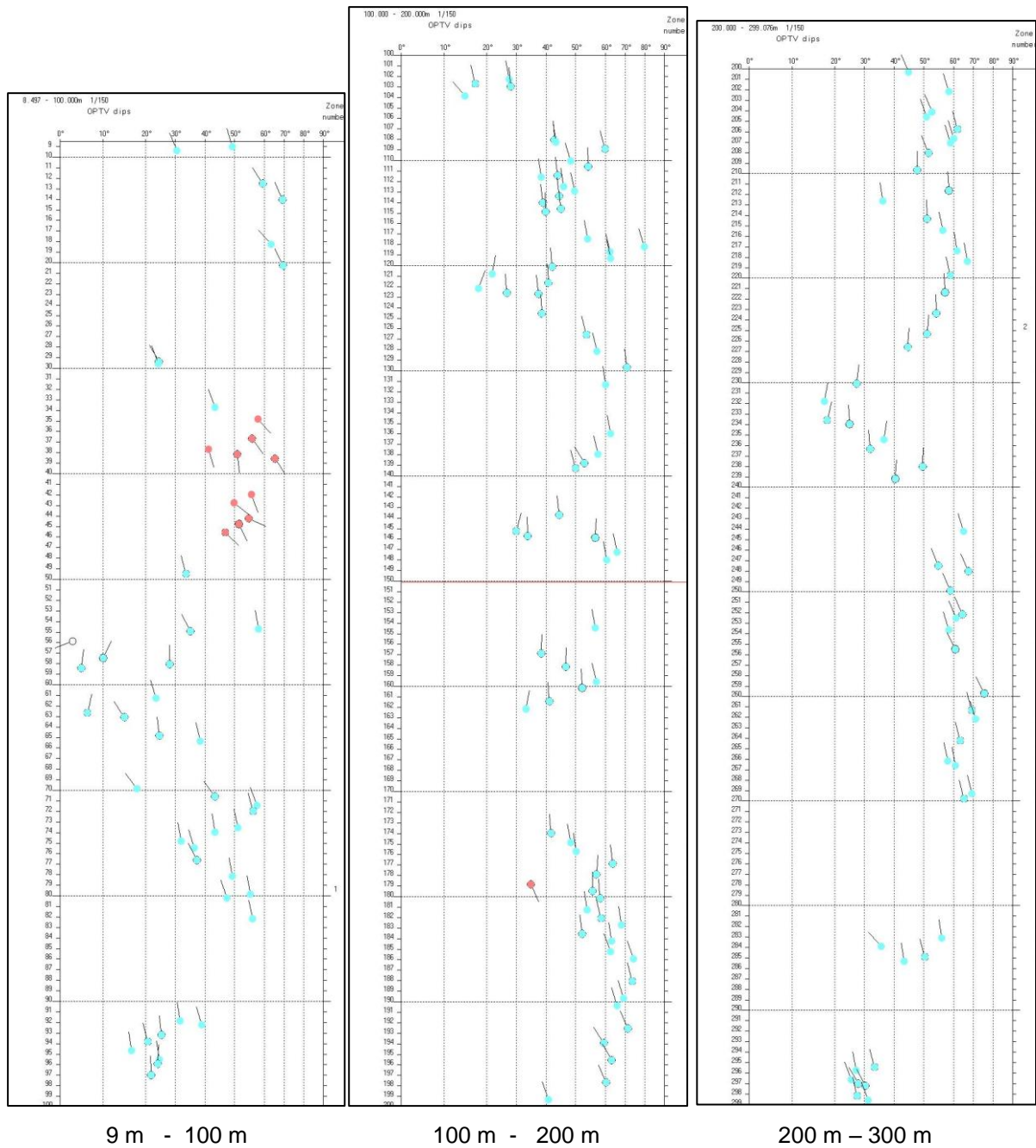
Figur 42. Sprekkefrekvenshistogram for Bh5.



Figur 43. Rosediagram for fallretning (venstre) og fall vinkel (høyre), Bh5.

6.5 Folasjon Bh1

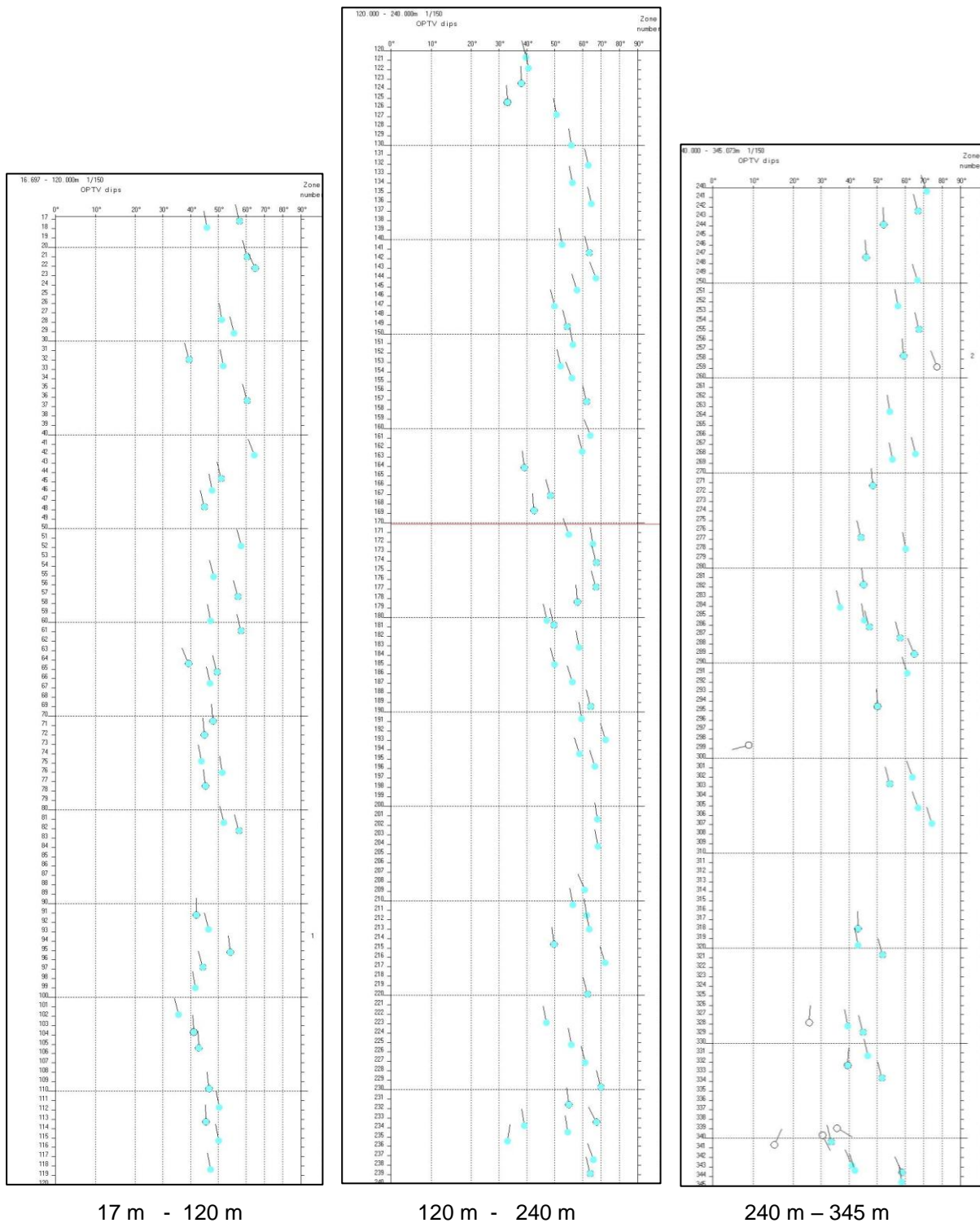
Figur 44 viser beregnet foliasjon i Bh1. Nåleplottene representerer hver enkelt sprekk hvor nålen peker i fallretning der nord er opp. Nålehodet viser fallvinkel som leses av på den horisontale akse øverst (0 -90 °).



Figur 44. Beregnet foliasjon i Bh1, fallretning og fallvinkel.

6.6 Foliasjon Bh2

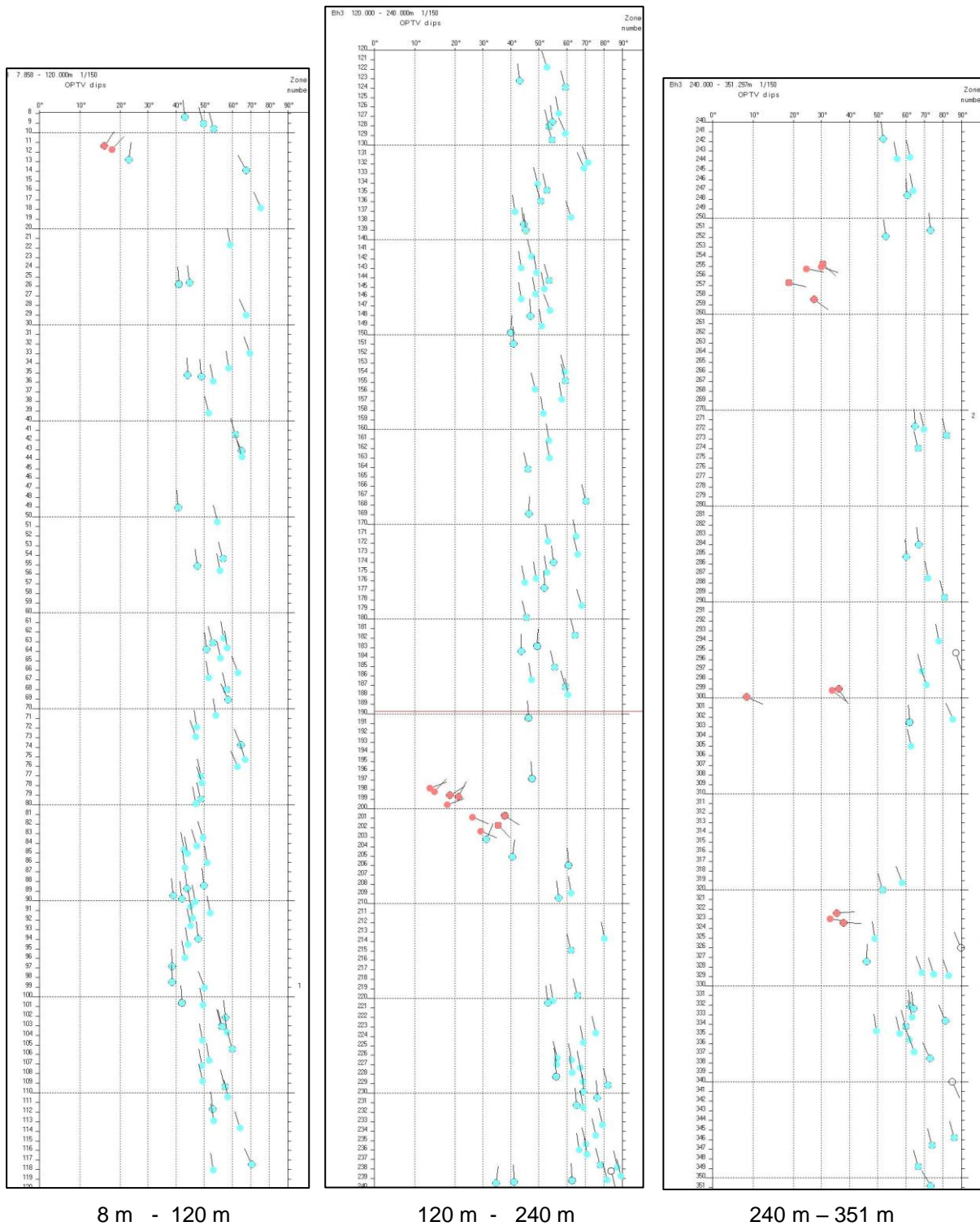
Figur 45 viser beregnet foliasjon i Bh2. Nåleplottene representerer hver enkelt sprekk hvor nålen peker i fallretning der nord er opp. Nålehodet viser fallvinkel som leses av på den horisontale akse øverst (0 - 90 °).



Figur 45. Beregnet foliasjon i Bh2, fallretning og fallvinkel.

6.7 Foliasjon Bh3

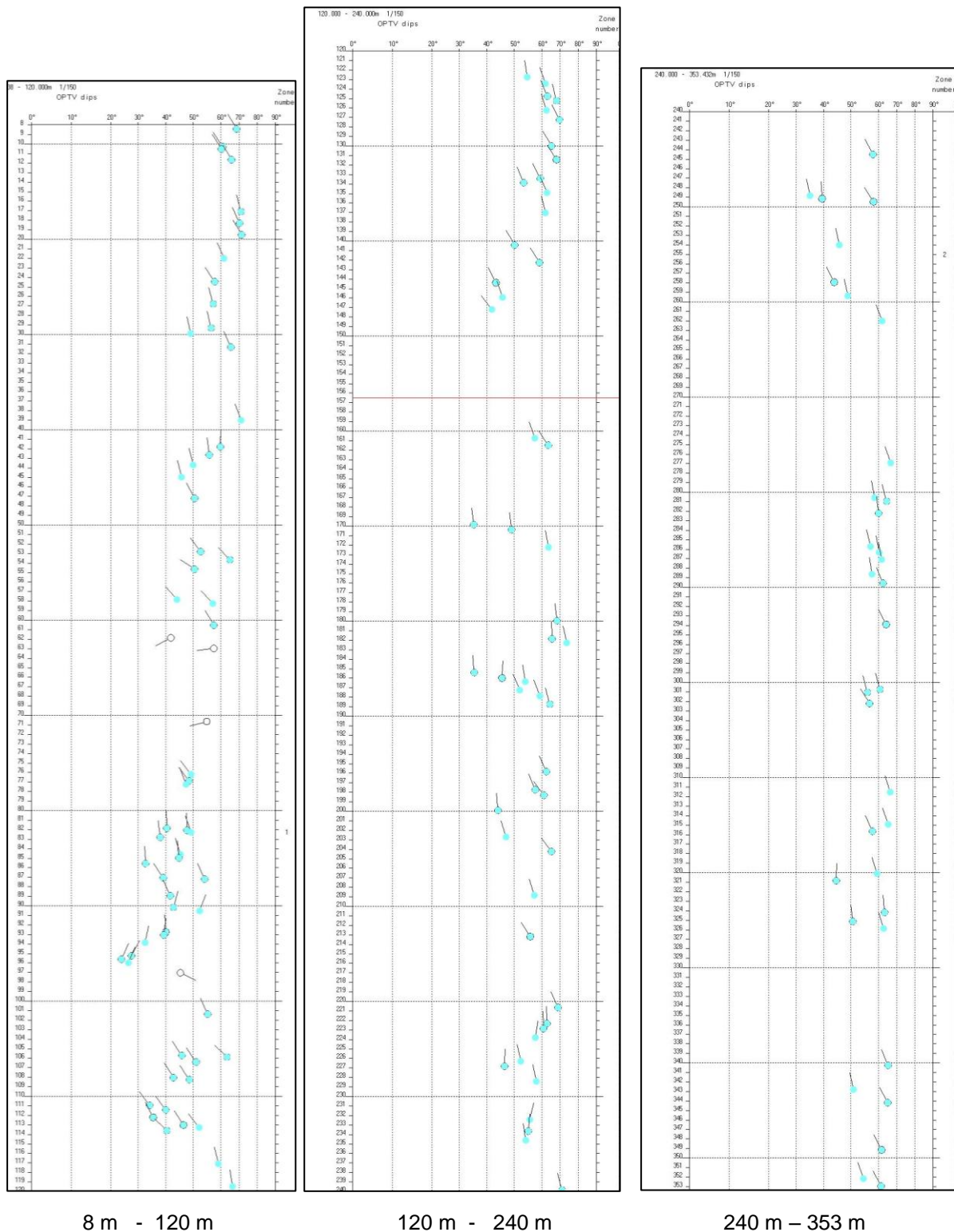
Figur 46 viser beregnet foliasjon i Bh3. Nåleplottene representerer hver enkelt sprekk hvor nålen peker i fallretning der nord er opp. Nålehodet viser fallvinkel som leses av på den horisontale akse øverst (0 -90 °).



Figur 46. Beregnet foliasjon i Bh3, fallretning og fallvinkel.

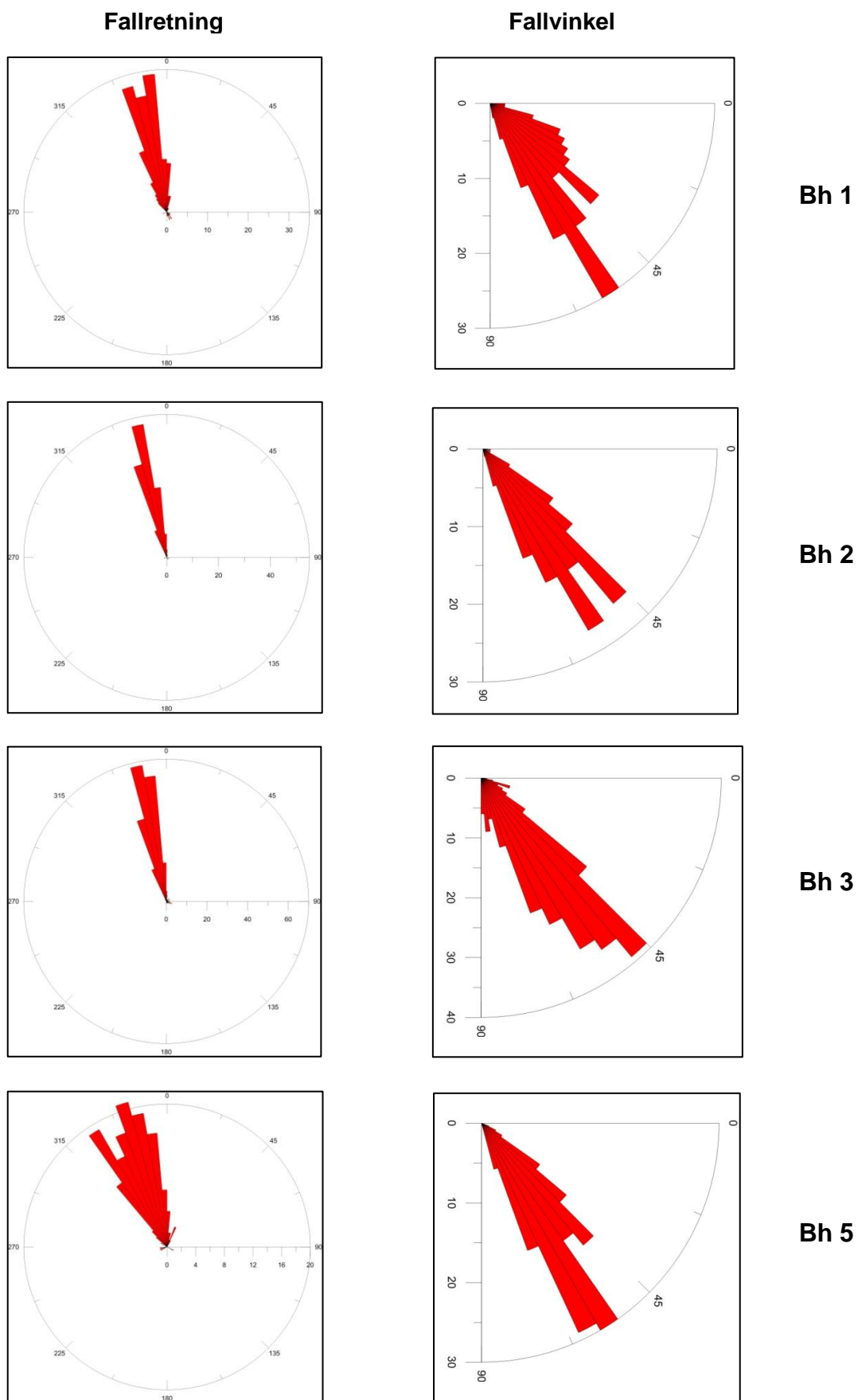
6.8 Foliasjon Bh5

Figur 47 viser beregnet foliasjon i Bh5. Nåleplottene representerer hver enkelt sprekk hvor nålen peker i fallretning der nord er opp. Nålehodet viser fallvinkel som leses av på den horisontale akse øverst (0 -90 °).



Figur 47. Beregnet foliasjon i Bh5, fallretning og fallvinkel.

6.9 Foliasjon, rosediagram



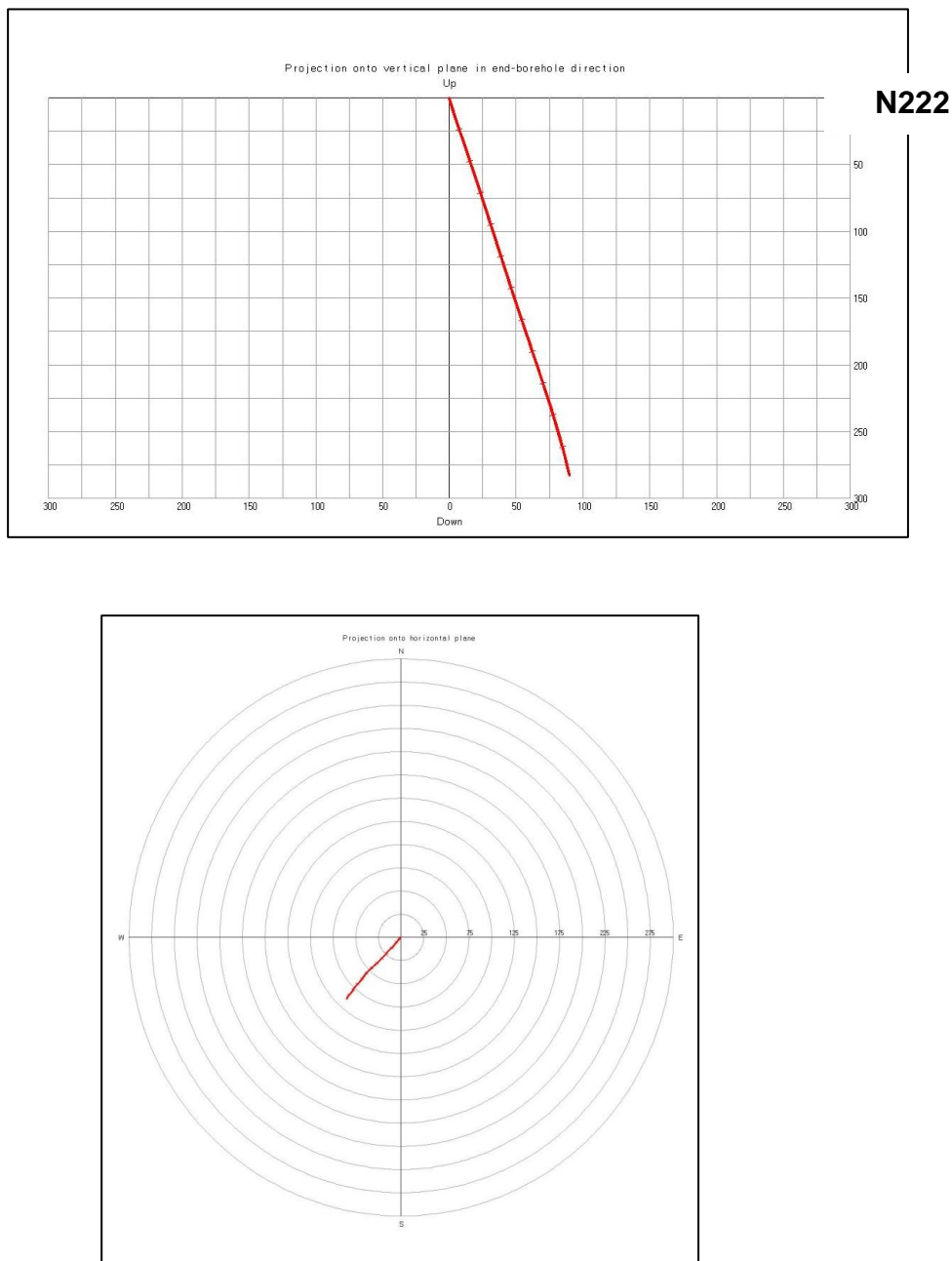
Figur 48. Rosediagram av foliasjonens fallretning og fallvinkel, Bh1, Bh2, Bh3 og Bh5.

7. BOREHULLSFORLØP KARTLAGT MED OPTISK TELEVIEWER

Borehullenes forløp mot dypet blir beregnet på grunnlag av målinger med tre-komponent magnetometer og akselerometer som integrerte deler av optisk televiewer. Merk at i sterkt magnetiske bergarter kan retningsbestemmelse være usikker (Bh5).

7.1 Borehullsforløp Bh1

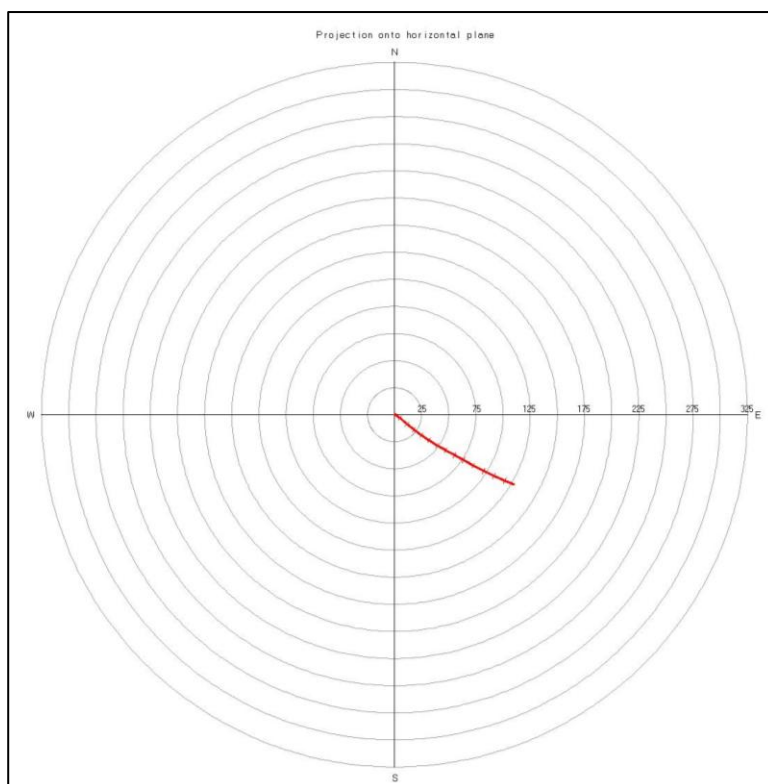
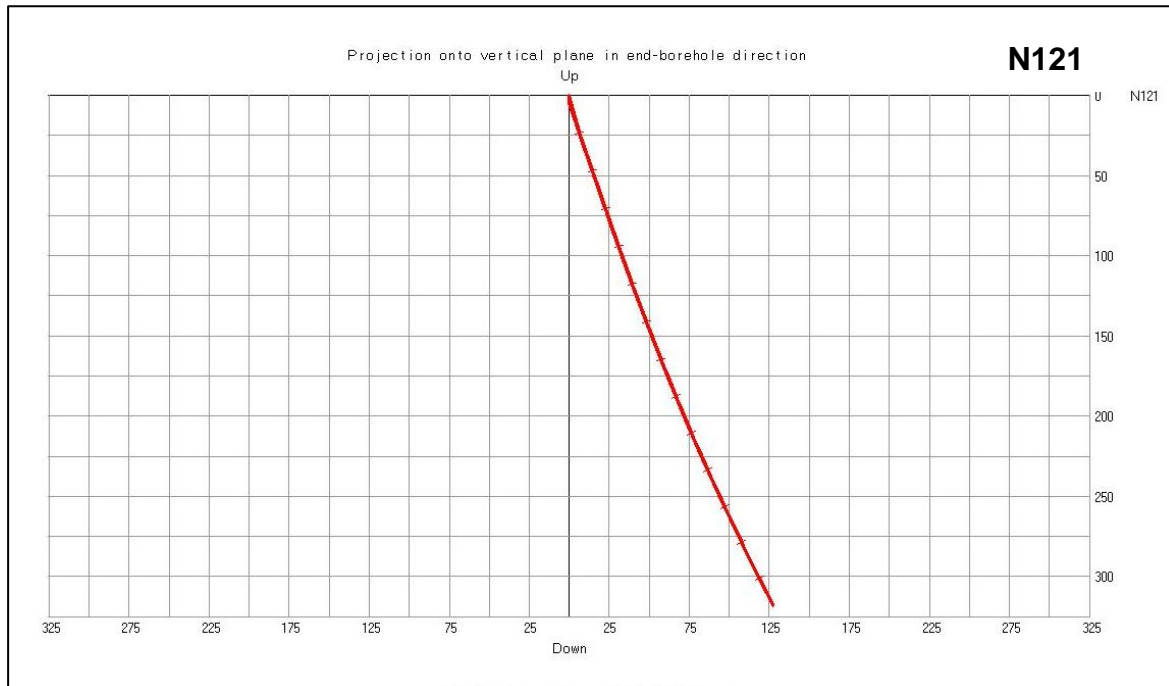
Figur 49 viser borehullsforløp for Bh1. Øverst vises vertikalprojeksjon i borehullets retning i bunn av hullet, N222 (sørvest). Nederst vises horisontalprojeksjonen.



Figur 49. Bh1, borehullsforløp. Vertikalprojeksjon i borehullsretning (øverst) og horisontalprojeksjon (nederst).

7.2 Borehullsforløp Bh2

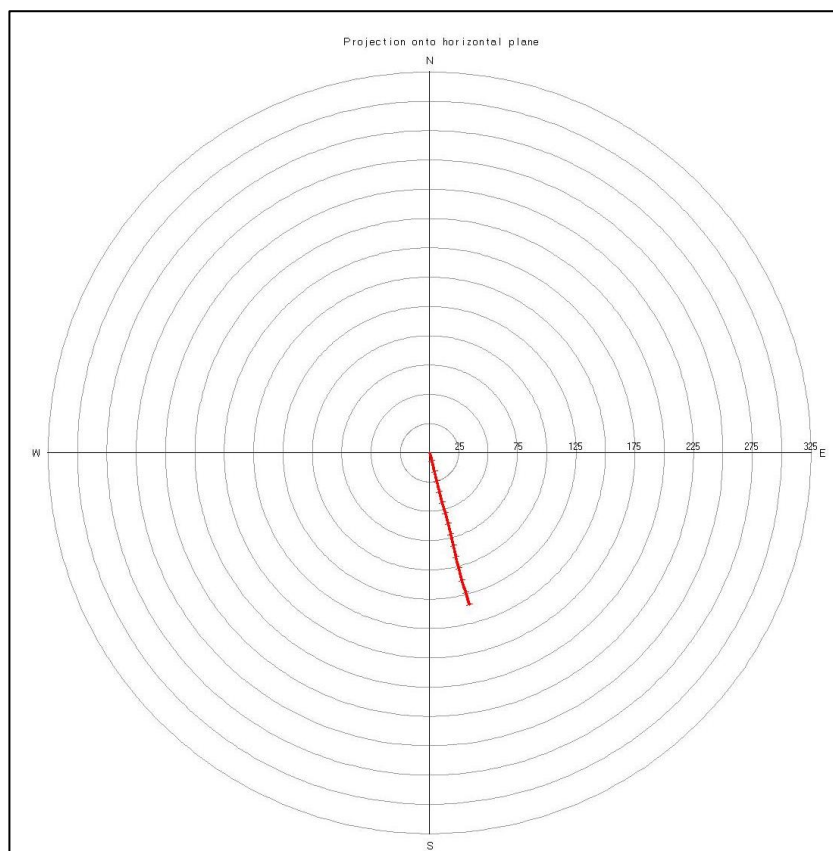
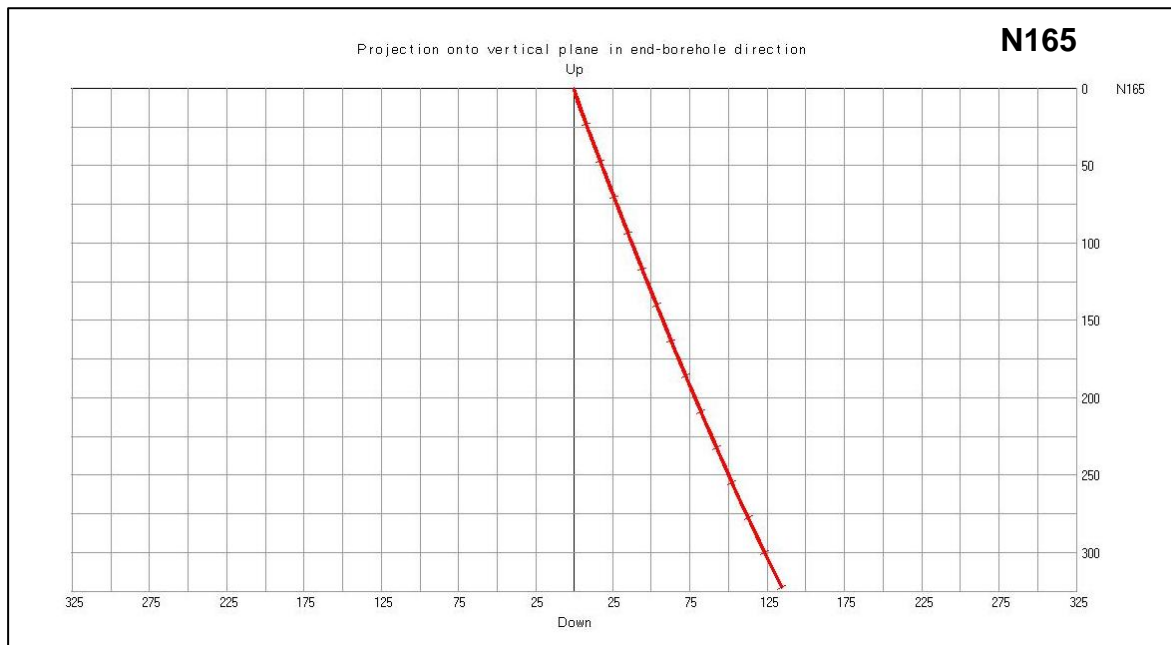
Figur 50 viser borehullsforløp for Bh2. Øverst vises vertikalprojeksjon i borehullets retning i bunn av hullet, N121 (sørøst). Nederst vises horisontalprojeksjon.



Figur 50. Bh2, borehullsforløp. Vertikalprojeksjon i borehullsretning (øverst) og horisontalprojeksjon (nederst).

7.3 Borehullsforløp Bh3

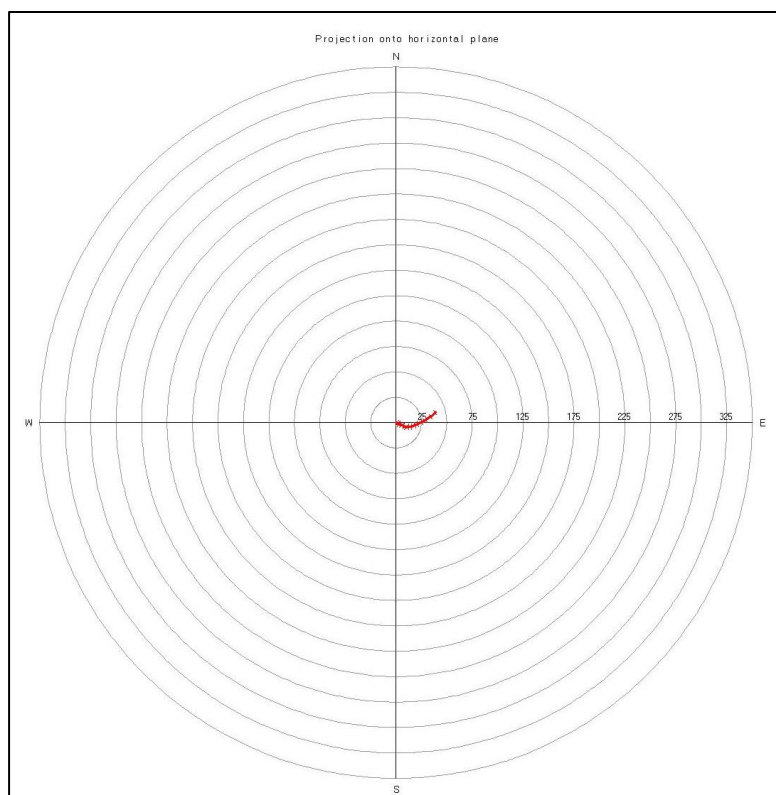
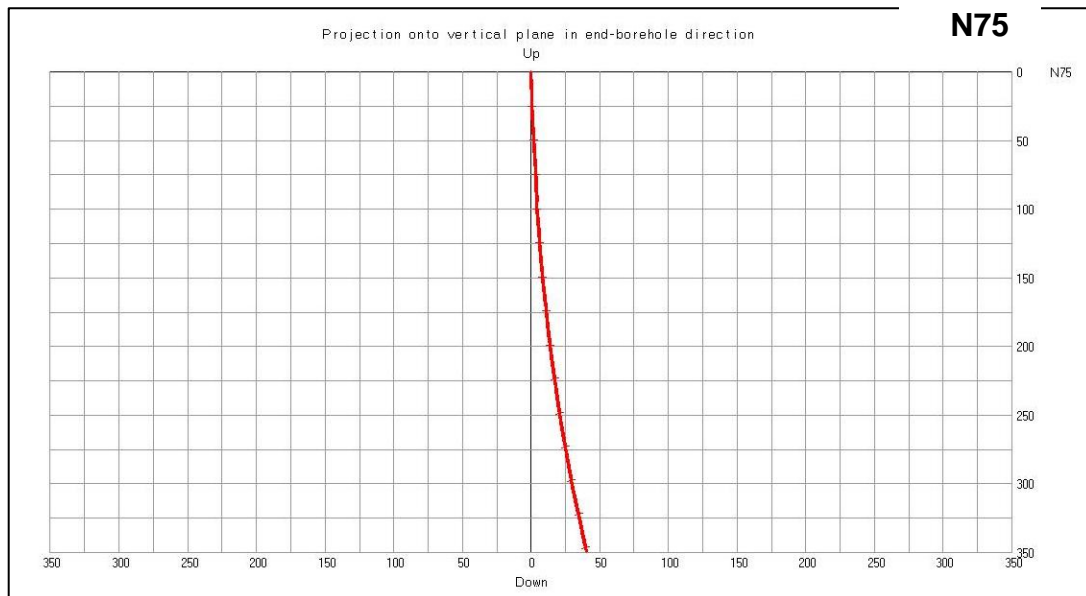
Figur 51 viser borehullsforløp for Bh3. Øverst vises vertikalprojeksjon i borehullets retning i bunn av hullet, N165 (sør-sørøst). Nederst vises horisontalprojeksjon.



Figur 51. Bh3, borehullsforløp. Vertikalprojeksjon i borehullsretning (øverst), horisontalprojeksjon (nederst).

7.4 Borehullsforløp Bh5

Figur 52 viser borehullsforløp for Bh5. Øverst vises vertikalprojeksjon i borehullets retning i bunn av hullet, N75 (øst-nordøst). Nederst vises horisontalprojeksjon.



Figur 52. Bh5, borehullsforløp. Vertikalprojeksjon i borehullsretning (øverst) og horisontalprojeksjon (nederst).

8. SAMMENDRAG

NGU har gjort geofysisk borehullslogging i fem borehull like vest for tidligere Rødsand Gruber på Raudsand i Nesset kommune. Det planlegges et nasjonalt deponi for farlig uorganisk avfall. Avfallet tenkes lagret i store utsprengte fjellhaller. Vinteren 2016/2017 ble det boret i alt fem fjellbrønner i det aktuelle området. Hensikten med borehullsloggingen var å kartlegge fjellkvaliteten med hensyn på oppsprekking. Videre ville en undersøke om det var metalliske mineraler (jernoksider, sulfider) som kunne ha påvirkning på grunnvannskvaliteten.

Parametre som ble logget var, resistivitet i fjell, seismisk hastighet, magnetisk susceptibilitet, Indusert Polarisasjon, selvpotensial, total naturlig gammastråling, spektralgamma (i ett hull), elektrisk ledningsevne i vann og temperatur. I tillegg er fire av brønnene logget med optisk televiwer for å kartlegge sprekker og geologiske grenser. Ved hjelp av optisk televiwer er bergartenes foliasjon (fallretning og fallvinkel) bestemt i alle hull.

Resultatene fra loggingen er tolket og beskrevet i egen NGU-rapport (Rønning m. fl. 2017).

9. 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.

Elvebakk, H. 2011: Sammenstilling av resistivitet, seismiske hastigheter og naturlig gammastråling i norske bergarter. *NGU Rapport 2011.042*.

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

Ofstad, F. 2016: Helicopter-borne magnetic, electromagnetic and radiometric geophysical survey in Rausand, Nesset municipality, Møre & Romsdal county. *NGU Report 2016.037*.

Olesen, O. & Rønning, J.S. 2008: Deep weathering: Past climates cause tunnel problems. *Gråsteinen no. 12*. Geological Survey of Norway, Trondheim.

Rønning, J.S., Baranwal, V.C. & Ofstad, F. 2016: Grunnundersøkelser ved Raudsand, Nesset kommune i Møre og Romsdal. Resultater fra helikoptermålinger og forslag til videre arbeid. *NGU Rapport 2016.043*.

Rønning, J.S., Elvebakk, H., Lutro, O., Dagestad, A. & Jæger, Ø. 2017: Grunnundersøkelser ved Raudsand, Nesset kommune i Møre og Romsdal. Tolkning av borehullslogging og vannanalyser. *NGU Rapport 2017.024 (62 s.)*.

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