

NGU RAPPORT
2017.024

Grunnundersøkelser ved Raudsand,
Neset kommune, Møre og Romsdal.
Tolkning av borehullslogging og
vannanalyser.



Rapport nr.: 2017.024	ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)	Gradering: Konfidensiell til 31.05.2018	
Tittel: Grunnundersøkelser ved Raudsand, Nesset kommune i Møre og Romsdal. Tolkning av borehullslogging og vannanalyser.			
Forfatter: J.S. Rønning, Harald Elvebakk, Ole Lutro, Atle Dagested og Øystein Jæger.		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 UTM 32 V 455000 – 6967000		Sidetall: 62 Kartbilag:	Pris: 250,-
Feltarbeid utført: Januar – mars 2017	Rapportdato: 30.04.2017	Prosjektnr.: 373900	Ansvarlig:
Sammendrag: NGU har i samarbeid med Bergmesteren Raudsand AS utført grunnundersøkelser ved mulig deponi for farlig uorganisk avfall i fjellhaller ved Raudsand. Det er utført geofysiske målinger fra helikopter og tolkninger av resultatene. Det er senere boret i alt fem brønner og foretatt geofysiske og hydrogeologiske undersøkelser av disse. I foreliggende rapporten beskrives resultater på følgende tema: • Berggrunnsgeologi inklusive en påvist ny mindre forekomst av jernmalm • Bergmassekvalitet generelt og en mulig dypforvitringssone • Mulige sulfider og radioaktive elementer i berget • Grunnvannets opptreden og kvalitet • Temperaturforhold. Ut fra de data som foreligger nå, ser ikke NGU at geologiske forhold vil skape problemer med å etablere et deponi for uorganisk farlig avfall i fjellhaller vest for den gamle jernmalmgruva ved Raudsand.			
Emneord: Geofysikk	Grunnundersøkelse	Borehullslogging	
Jernmalforekomster	Fjellkvalitet	Sulfider	
Radioaktivitet	Grunnvannskvalitet	Fagrapport	

Innhold

1. INNLEDNING.....	7
2. UTFØRTE BORINGER	8
3. GEOFYSISKE OG ANDRE LOGGEMTODER	9
4. GEOFYSISK LOGGING, UTFØRELSE OG RESULTATER	11
5. GEOFYSISK LOGGING, TOLKNINGER.....	17
5.1 Berggrunnsgeologi inklusive nye jernmalmmineraliseringer.....	17
5.2 Mulig dypforvitret fjell	19
5.3 Mulige sulfidmineraliseringer	21
5.4 Naturlig radioaktivitet.....	23
6. BERGMASSEKVALITET	26
7. GRUNNVANNETS OPPTREDEN OG KVALITET	29
7.1 Logging av vannkvalitet	29
7.2 Vanngiverevne og vannstrømning.....	34
7.3 Vannprøvetaking og analyse	41
7.4 Sammenligning av analyseverdier.....	43
8. KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER.....	44
9. REFERANSER	46

1. INNLEDNING

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

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

1. Finnes det hittil ukjente jernmalmkropper i det aktuelle området for fjellhaller?
2. Finnes det dypforvitret fjell som vil skape byggetekniske problemer ved etablering av fjellhaller (stabilitetsproblemer, innlekkasje av grunnvann?)
3. Er det sulfider i bergartene som kan bidra til surt grunnvann som kan skape problemer ved avfallsdeponi i fjell?
4. Finnes det radioaktive elementer (uran og thorium) i berggrunnen slike mengder at det kan bidra til uheldig arbeidsmiljø i lagringshallene?

NGU utførte magnetiske, elektromagnetiske og radiometriske målinger fra helikoptermålinger i det aktuelle området i begynnelsen av oktober 2016. Datainnsamling og prosessering av måledata er beskrevet i egen NGU Rapport (Ofstad 2016). En tolkning av oppnådde resultater og anbefaling om videre undersøkelser ble beskrevet i NGU Rapport 2016.043 (Rønning m.fl. 2016). Ved denne undersøkelsen ble det:

1. indikert en ny jernmalmkropp som kunne komme i kontakt med deponihaller i forlengelsen av Z-malmen
2. påvist mulig dypforvitring som kunne skape problemer ved etablering og drift av fjellhaller
3. ikke påvist større massive sulfidforekomster, men mindre sulfidkonsentrasjoner kunne ikke utelukkes
4. ikke påvist dagnære unormale forhøyede konsentrasjoner av de radioaktive elementene uran, thorium og kalium, men undersøkelsene gir ingen informasjon om konsentrasjonen av radioaktive elementer mot dypet.

For å avklare disse problemstillingene, og i tillegg skaffe informasjon om bergartsfordeling, bergmassekvalitet, grunnvannets opptreden og grunnvannskjemi, anbefalte NGU grunnboringer med oppfølgende borehullslogging. I alt 5 brønner ble boret ved årsskiftet 2016-2017 og disse ble logget geofysisk i slutten av januar. Brønnene ble prøvepumpet i midten av mars 2017 og det ble tatt grunnvannsprøver til fysikalske og kjemisk analyser.

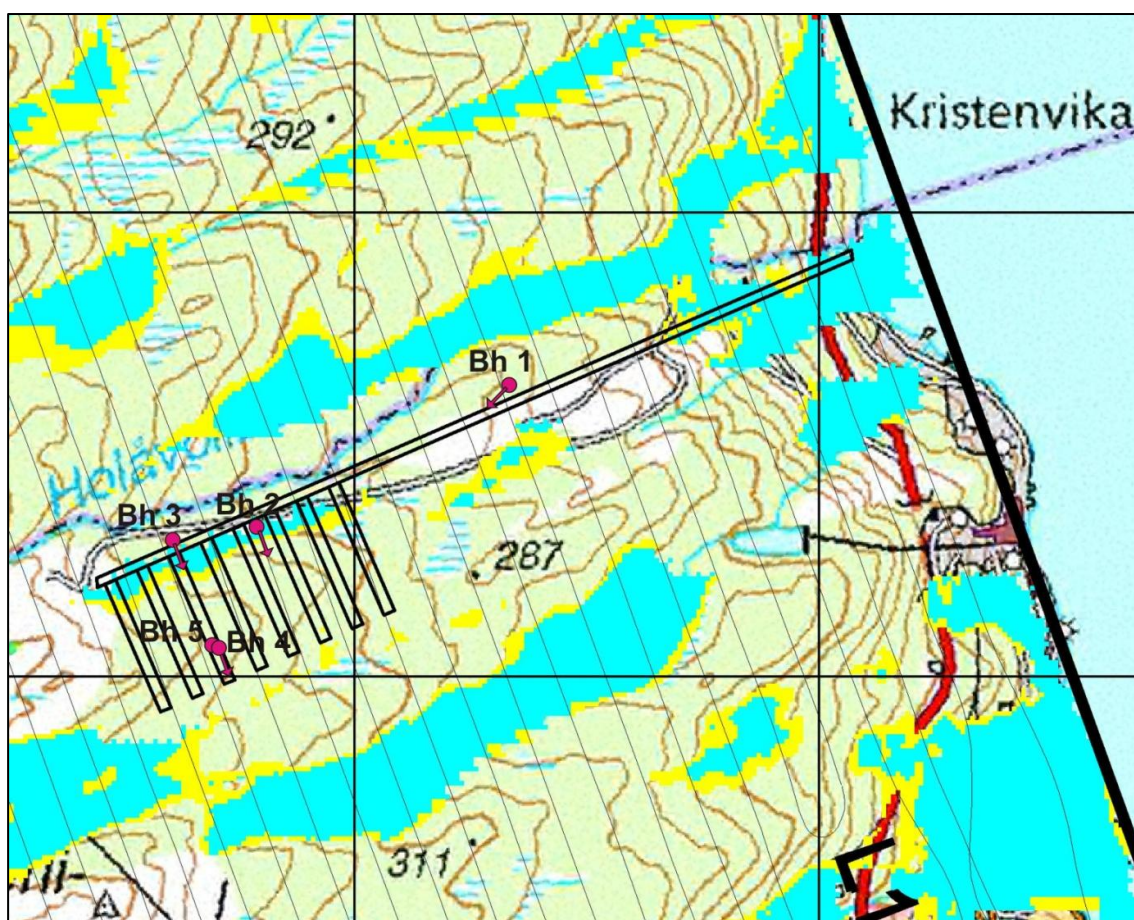
Brønnene ble boret av firma Båsum Brønnboring as, mens Harald Elvebakk utførte geofysisk logging og Øystein Jæger grunnvannsstudier i felt. Ole Lutro bisto i bergartsklassifisering og Atle Dagestad har vurdert grunnvannskvalitet. Jan S. Rønning har ledet prosjektet og sammenstilt resultatene.

2. UTFØRTE BORINGER

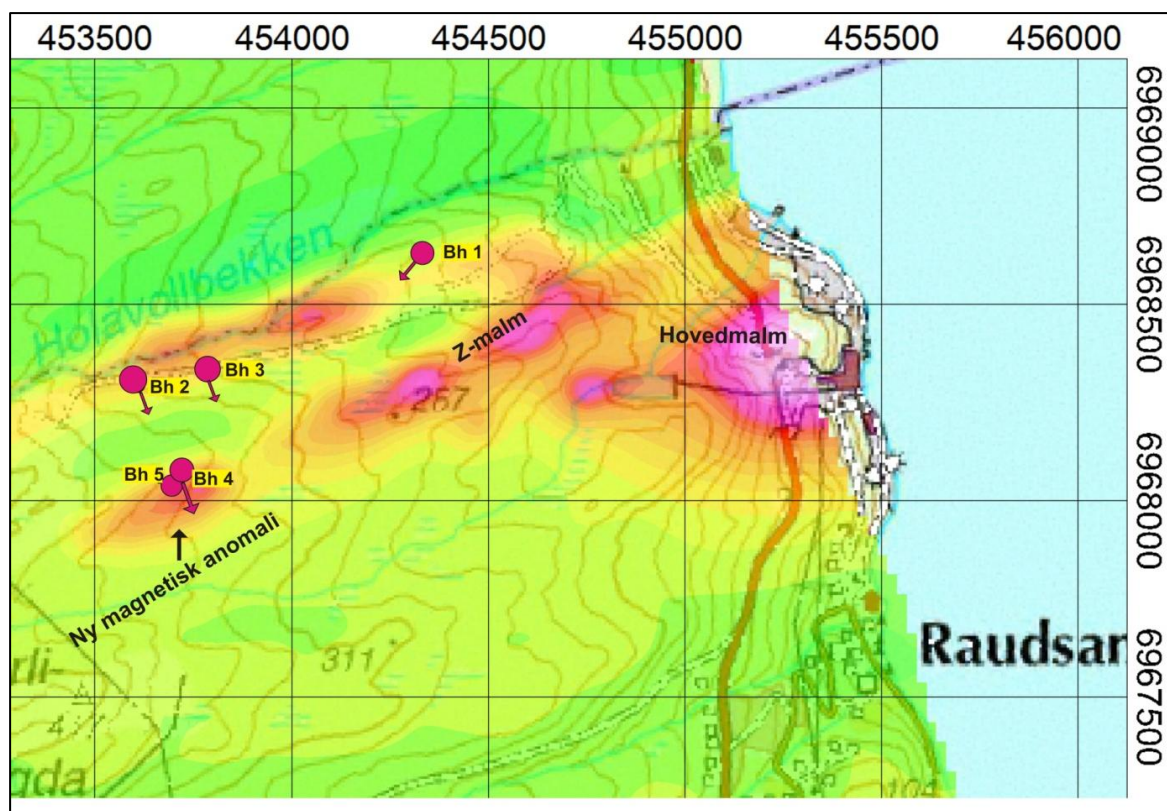
I alt er det boret 5 brønner til forskjellig dyp. Plasseringen av brønnene i forhold til planlagt adkomsttunnel, haller, mulig dypforvitring, og en magnetisk anomali som indikerer en hittil ukjent jernmalmforekomst, er vist figurene 1 og 2 og i tabell 1.

Bh1 ble boret 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 en dypforvitringssone indikert ut fra geofysiske målinger og videre ned til planlagt hallområde. Bh4 og Bh5 er boret mot en mulig jernmalmforekomst som ble indikert ved magnetiske helikoptermålinger. Bh4 nådde ikke ned til ønsket dyp (350 m) på grunn av en knusningssone. For å kompensere for dette ble Bh5 boret fra samme sted, men noe brattere, se tabell 1.

Antall borehull og plasseringen av disse ble bestemt i et samarbeid mellom oppdragsgiver og NGU.



Figur 1: Borehullenes plassering i forhold til mulig dypforvitring. Blå og gule område viser henholdsvis sannsynlig og mindre sannsynlig dypforvitring.



Figur 2: Borehullenes plassering i forhold til magnetiske anomalier.

Tabell 1: Tekniske data for borehullene.

Bore-hull	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	21-22.01.17	70 °	N220	14	300	12. 2016
Bh2	6968294	453606	32 W	315	19-20.01.17	70 °	N130	14	345	12. 2016
Bh3	6968322	453788	32 W	298	17-19.01.17	70 °	N160	14	351	12. 2016
Bh4	6968060	453710	32 W	349	25.01.17	75 °	N160	14	240	01. 2017
Bh5	6968058	453710	32 W	349	22-24.01.17	85 °	N158	14	351	01. 2017

3. GEOFYSISKE OG ANDRE LOGGEMTODER

Basert på tidligere erfaring og ønske fra Bergmesteren Raudsand AS foreslo NGU å logge borehullene på Raudsand med Optisk og/eller Akustisk televiewer, Seismisk sonde, Resistivitetssonde, Indusert Polarisasjon (IP), Magnetisk susceptibilitet og Vannkvalitetssonde. Flere av sondene vil også måle total gammastråling. Dersom det ble påvist større utslag på total gammastråling kunne det være aktuelt å logge spektral gammastråling som gir konsentrasjoner av uran, thorium og kalium. I det følgende beskrives hvilken informasjon de forskjellige loggene kan gi. I tillegg foreslo NGU å foreta strømningsmålinger i brønnene under pumping samt prøvetaking av vann for fysikalsk og kjemisk analyse. NGU har ved hjelp av borekaks og loggedata fra borehullene utarbeidet en berggrunnsgeologisk logg langs borehullene.

Optisk televiever er et optisk kamera som filmer borehullsveggen i 360 grader. Sonden er orientert i borehullet og kan produsere et orientert optisk bilde av borehullsveggen. Ut fra opptakene kan sprekker, foliasjon, ganger og bergartsgrenser avdekkes og digitaliseres for beregning av retning og fall. I tillegg kan også sprekkenes åpning kartlegges. Metoden krever klart vann for å få gode opptak, noe som betyr at borehullet må renpumpes før opptak.

Akustisk televiever skyter seismiske bølger mot borehullsveggen, og reflektert amplitude og tovegs gangtid kan gi tilsvarende informasjon som Optisk televiever. Sonden trenger vannfylte borehull, men vannet trenger ikke å være klart. Ut fra målt gangtid kan det beregnes en "ovialisering-logg" som viser hvordan borehulldiameteren varierer nedover hullet. Dette kan gi informasjon og horisontale spenningsretninger i boreområdet. Siden Optisk televiever gav gode bilder av borehullene, ble ikke akustisk televiever benyttet i dette prosjektet.

Seismisk sonde beregner hastigheten for p- og s-bølger i borehullsveggen og vil være en god indikator på oppsprekking og bergmassekvalitet. S-bølgeankomster kan noen ganger være vanskelig i identifisere, og gjør det vanskelig å bestemme s-bølgehastigheten.

Resistivitetssonde måler bergartens resistivitet i borehullsveggen og noe lengre inn i berget. Resistiviteten gir også et bilde av bergmassekvaliteten og kan gi informasjon om leiomvandling i forvitringssoner. Sonden måler også **Selv-Potensial (SP)** som kan indikere sulfid- og jernoksidmineraliseringer i borehullet. For ikke å forveksle resistivitetsanomalier som skyldes spredte sulfider, jernoksider eller grafitt med dårlig fjell, må Indusert Polarisasjon (IP) logges.

Indusert Polarisasjon (IP) gir respons på sulfider, jernoksider og eventuelt grafitt uten at de aktuelle mineralene har elektrisk kontakt og gir utslag på den elektriske resistiviteten.

Magnetisk susceptibilitet avspeiler først og fremst magnetittkonsentrasjonen i berget. Andre mineraler som hematitt, ilmentitt og magnetkis påvirker også den magnetiske susceptibiliteten, men i langt svakere grad. Denne informasjonen vil være viktig dersom det blir aktuelt å modellere mulig jernmalmkropp i hallområdet (jfr. diskusjon i Rønning m.fl. 2016).

Total gamma-log gir en oversikt over mulige radioaktive elementer i grunnen, men kan ikke avklare hvilke elementer som bidrar til radioaktiv stråling.

Spektral gamma-log vil gi konsentrasjoner av uran, thorium og kalium i borehullene. Denne loggen skulle bare utføres dersom det viser seg å være høy totalstråling i borehullet.

Vannkvalitetssonde måler temperatur, vanntrykk, vannets elektriske ledningsevne, oksidasjonspotensial (Eh) og surhetsgrad (pH). Detaljert temperaturlogg kan gi informasjon om innstrømning av vann i tillegg til selve temperaturen. Vannets elektriske ledningsevne avspeiler ioneinnholdet i vannet, og kan, sammen med **temperaturlogg**, gi informasjon om innstrømning av vann i borehullet. Eh og pH vil gi

informasjon om de kjemiske forholdene i borehullene, og spesielt er pH-målingene viktige.

Strømningsmåling i borehullet kan gi informasjon om vann strømmer oppover eller nedover i borehullet, og vannstrømningen kan kvantifiseres. Erfaring tilsier at strømningsmåling bør kombineres med pumping slik at en induserer strømning i borehullene. Ved pumping kan borehullets totale vanngiverevne kartlegges og strømningsmåling kan vise hvor i borehullene grunnvannet strømmer inn. Strømningsmåling foretas ved å senke og heve strømningsmåleren (Impeller flowmeter) med konstant hastighet ned og opp i borehullene.

Prøvetaking vil hente opp vannprøver fra forskjellig nivå til kjemisk analyse. NGU så for seg at prøvetakingen måtte skje samtidig med pumping. På denne måten sikrer en seg best mulig at prøvetatt vann representerer porevann fra de forskjellige nivåene i berget og ikke vann som har rent ned fra overflaten eller sprekker høyere oppe i borehullene.

Berggrunnslogg i borehullene kan konstrueres ved å inspisere borekaks og sammenholde dette med bilder fra Optisk televiewer og de andre borehullsloggene. Borekaks ble prøvetatt hver tredje meter nedover i borehullene.

All borehullslogging ved NGU fortas med utstyr fra Robertsson Geologging ltd. (se NGU rapport 2017.020, Elvebakk 2017).

4. GEOFYSISK LOGGING, UTFØRELSE OG RESULTATER

Geofysisk logging og prosessering er beskrevet i NGU Rapport 2017.020 (Elvebakk 2017), og omtales ikke nærmere her.

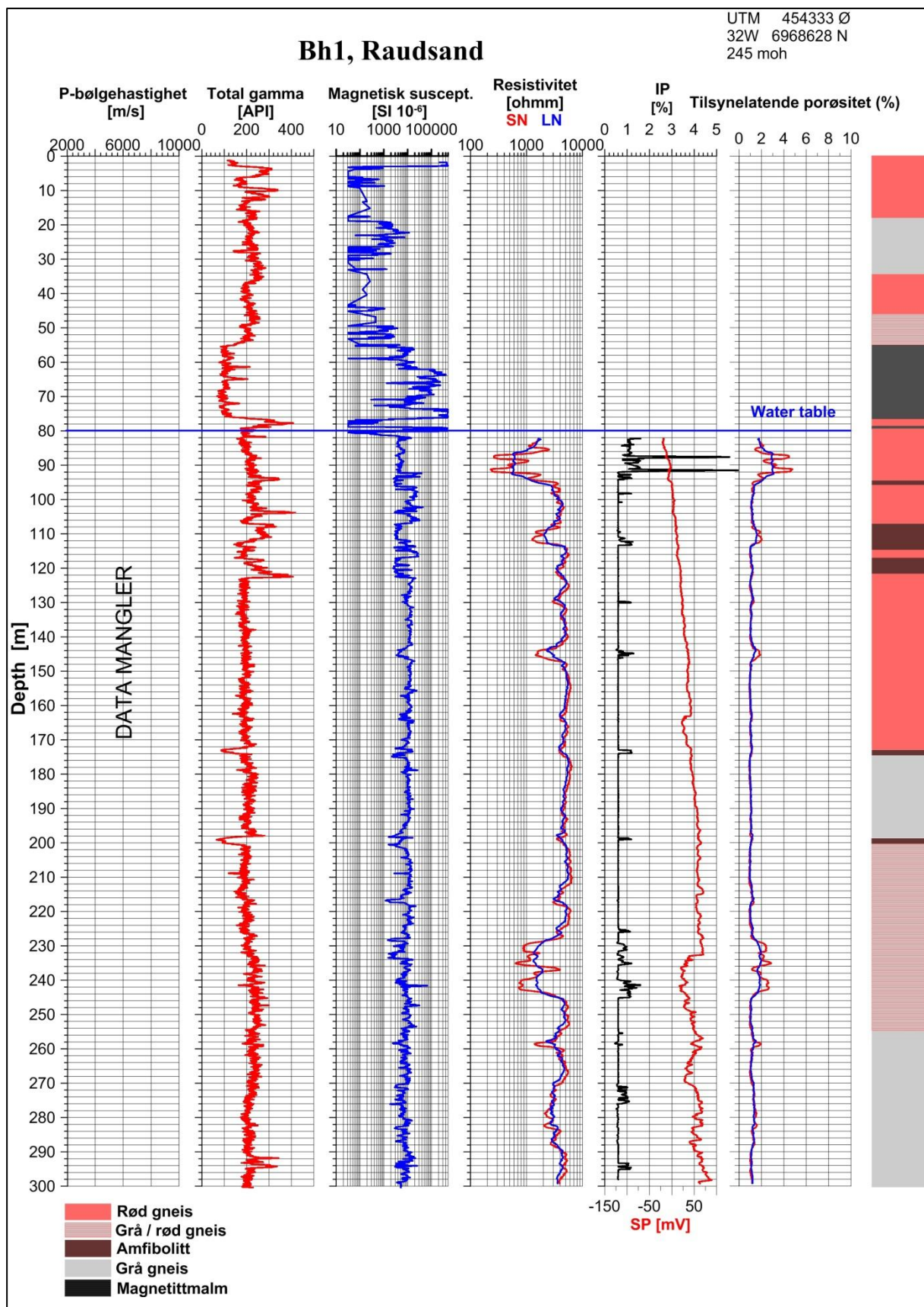
Tolkning av de geofysiske loggene blir beskrevet i kapittel 5.

Vurdering av bergmassekvalitet beskrives i kapittel 6.

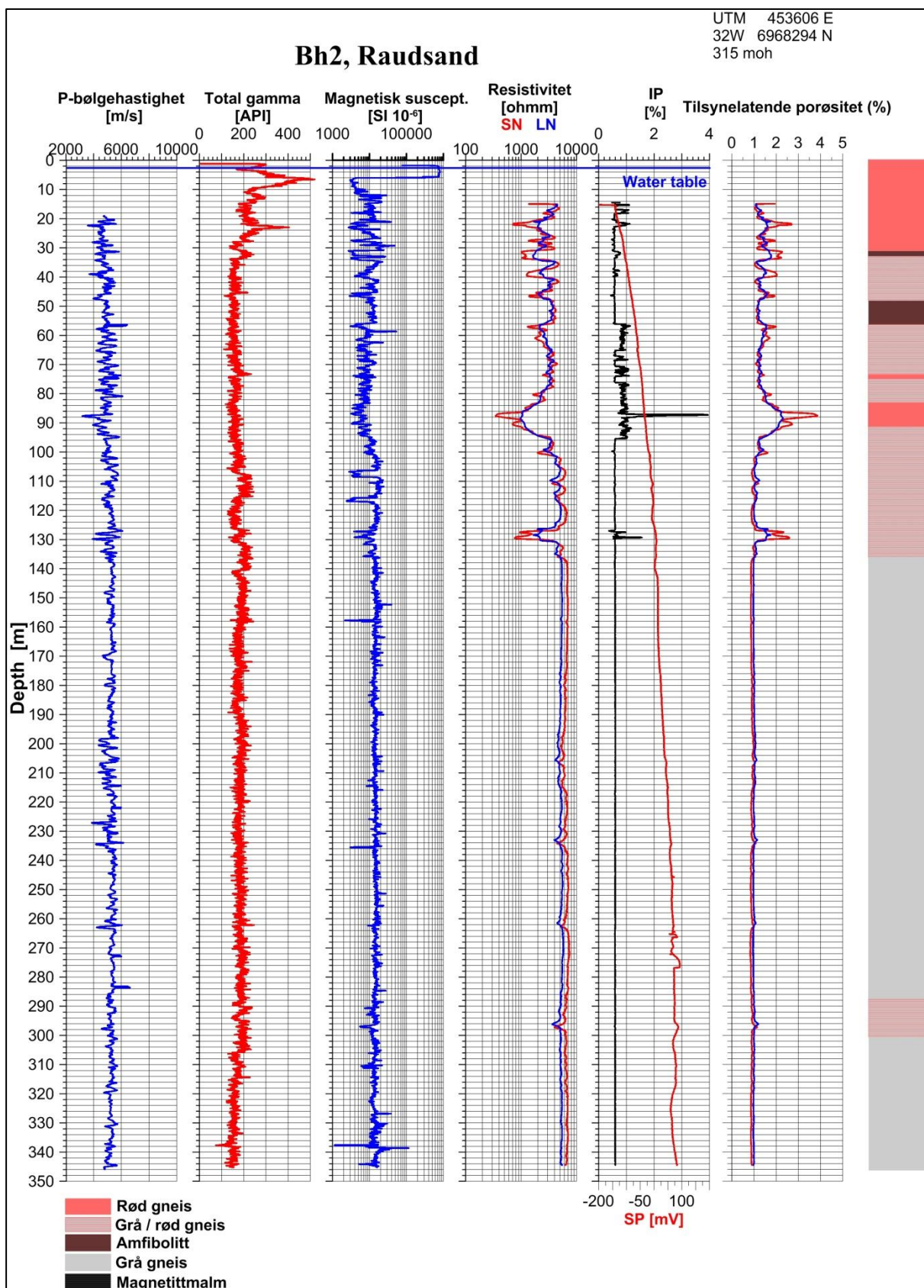
Strømningsmåling, prøvetaking og vannanalyser beskrives i kapittel 7.

Figurene 3 til 7 viser de geofysiske loggene fra borehullene 1, 2, 3, 4, og 5. På grunn av at Bh4 og Bh5 står så nært hverandre ble det kun foretatt logging av magnetisk susceptibilitet, total gammastråling og stedvis spektral gammastråling i Bh4. Under måling sviktet seismikksonden og p-bølge hastighet ble ikke målt i Bh1 og Bh5.

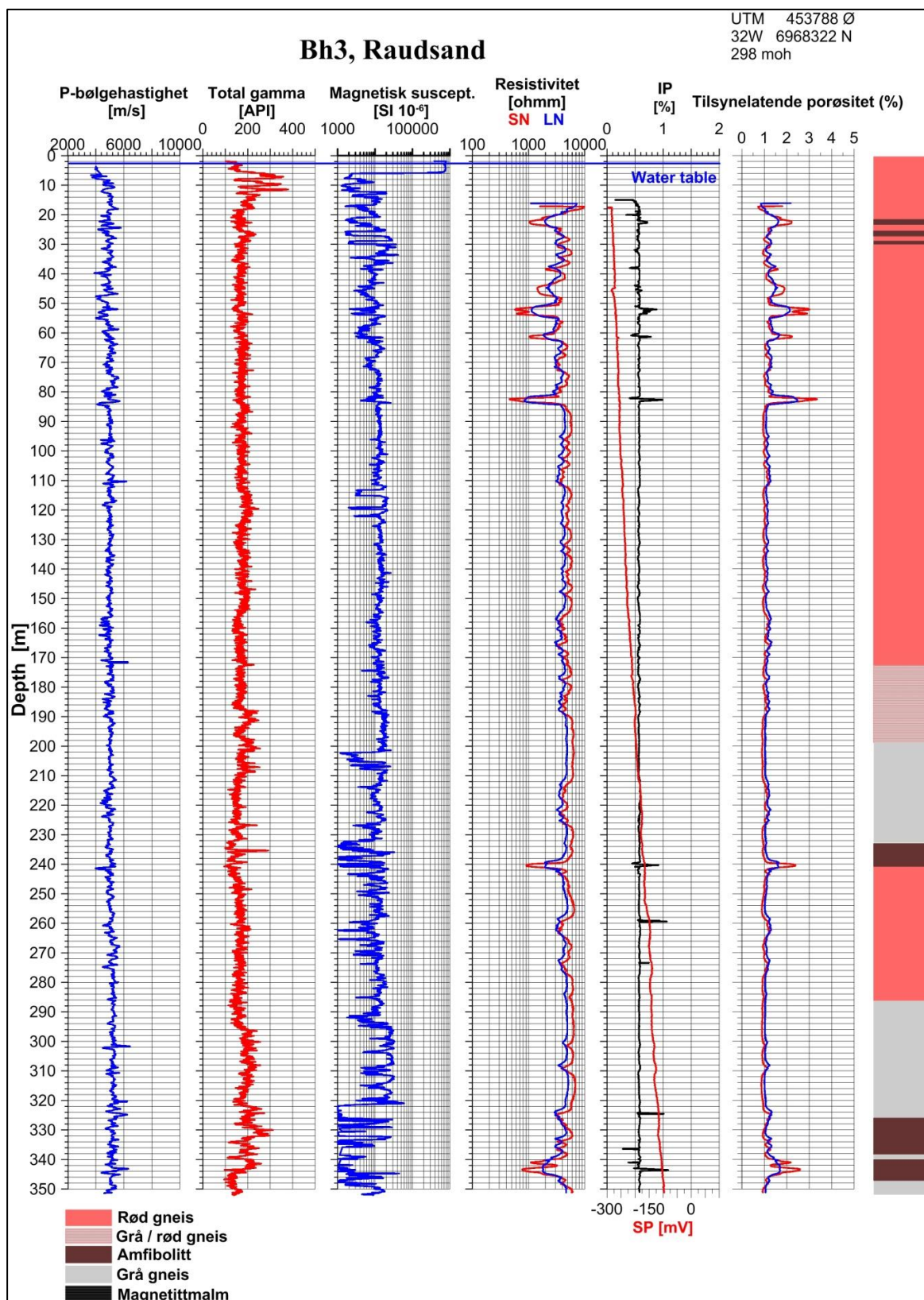
Berggrunnsgeologien, som er fremstilt også i figurene 3 til 7, er bestemt hovedsakelig på grunnlag av filming med optisk televiewer (OPTV) med noe støtte fra inspisering av borekaks.



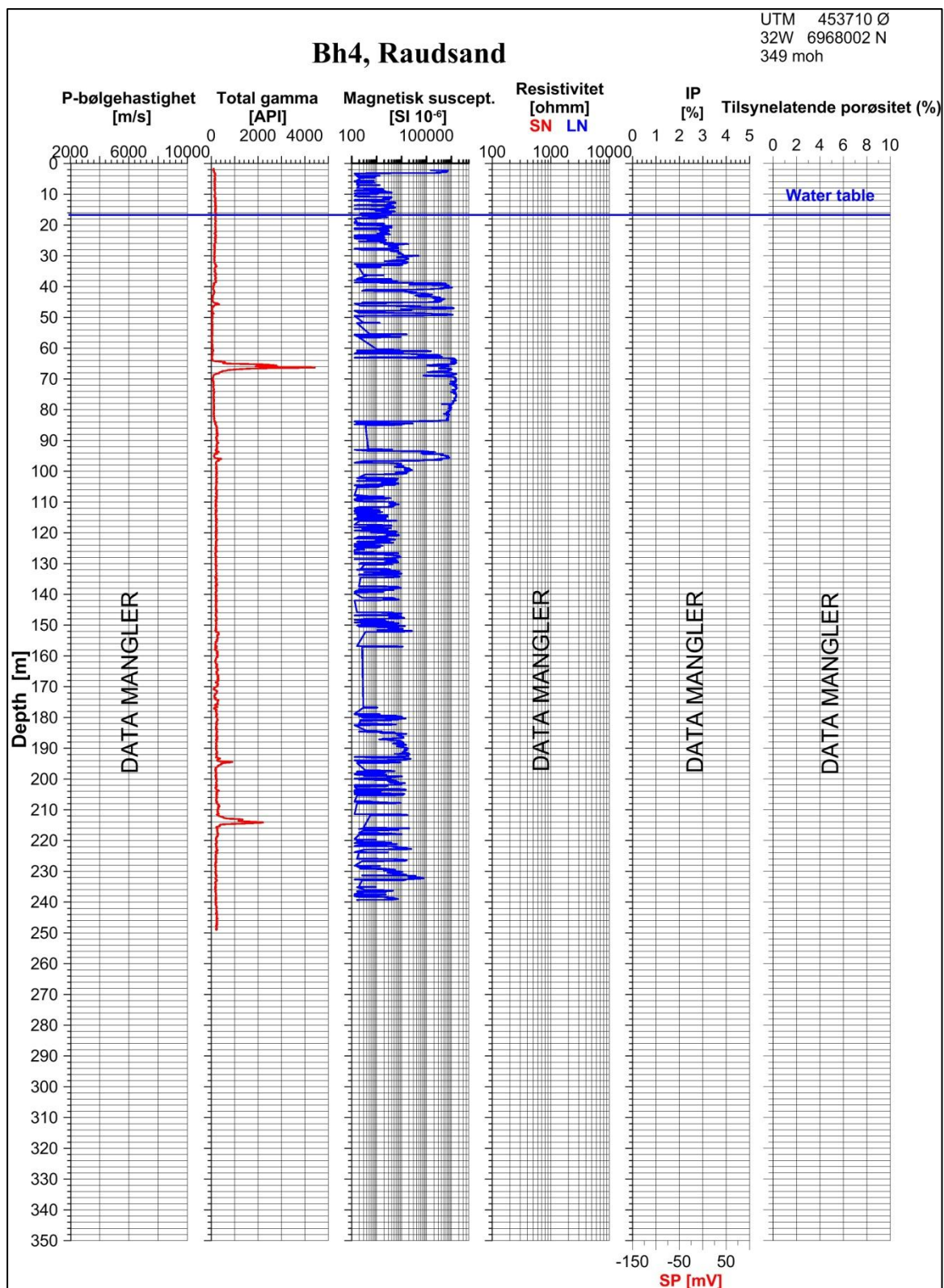
Figur 3: Geofysisk og geologisk logg fra borehull 1. Fra venstre: Total gammastråling, magnetisk susceptibilitet, resistivitet med to elektrodekonfigurasjoner, Indusert Polarisasjon (IP), Selvpotensial (SP), tilsynelatende porøsitet og bergart.



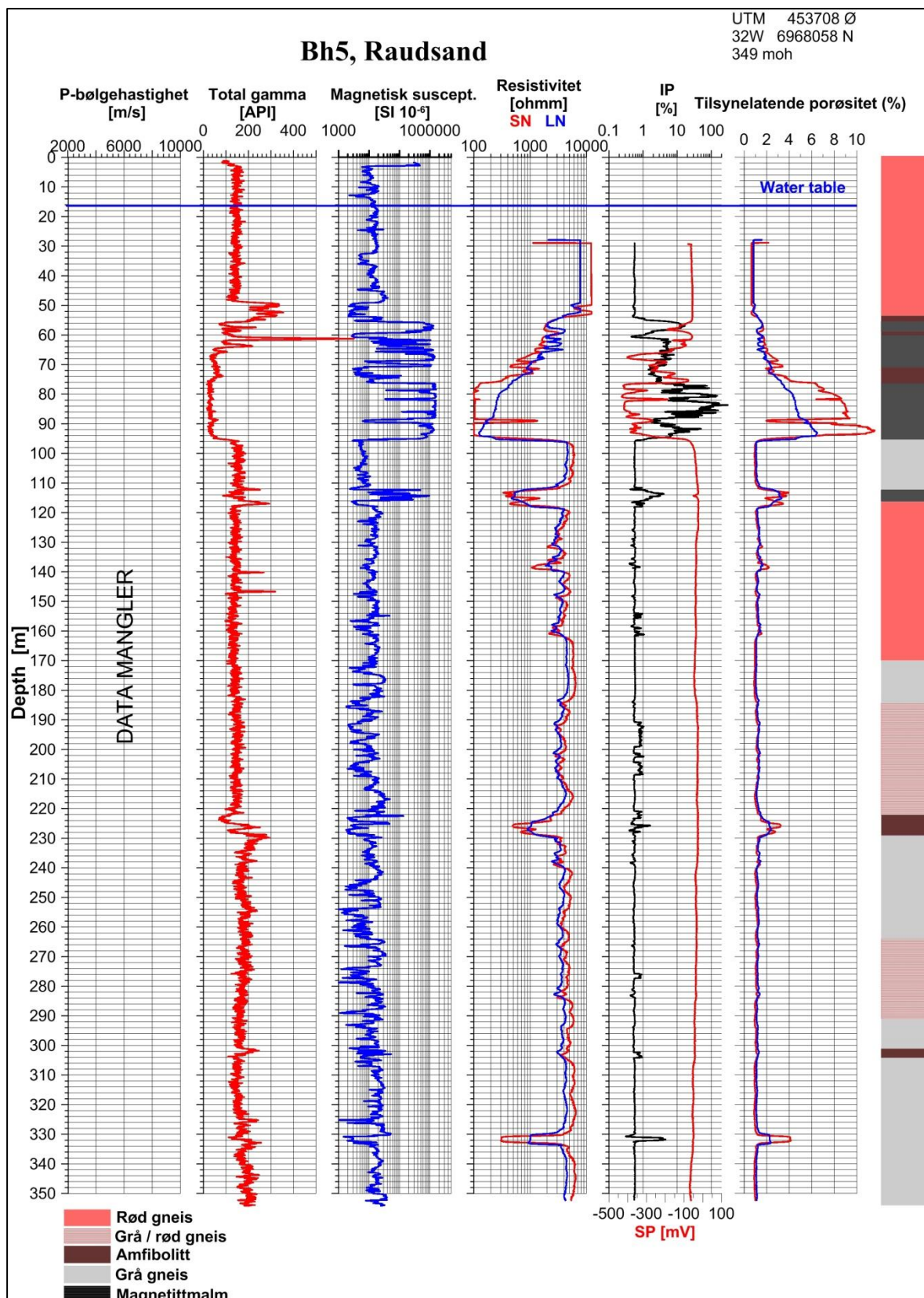
Figur 4: Geofysisk og geologisk logg fra borehull 2. Fra venstre: Seismisk p-bølgehastighet, total gammastråling, magnetisk susceptibilitet, resistivitet med to elektrodekonfigurasjoner, Indusert Polarisasjon (IP), Selvpotensial (SP), tilsynelatende porøsitet og bergart.



Figur 5: Geofysisk og geologisk logg fra borehull 3. Fra venstre: Seismisk p-bølgehastighet, total gammastråling, magnetisk susceptibilitet, resistivitet med to elektrodekonfigurasjoner, Indusert Polarisasjon (IP), Selvpotensial (SP), tilsynelatende porøsitet og bergart.



Figur 6: Geofysisk logg fra borehull 4. Total gammastråling og magnetisk susceptibilitet.



Figur 7: Geofysisk og geologisk logg fra borehull 5. Fra venstre, total gammastråling, magnetisk susceptibilitet, resistivitet med to elektrodekonfigurasjoner, Indusert Polarisasjon (IP), Selvpotensial (SP), tilsynelatende porøsitet og bergart.

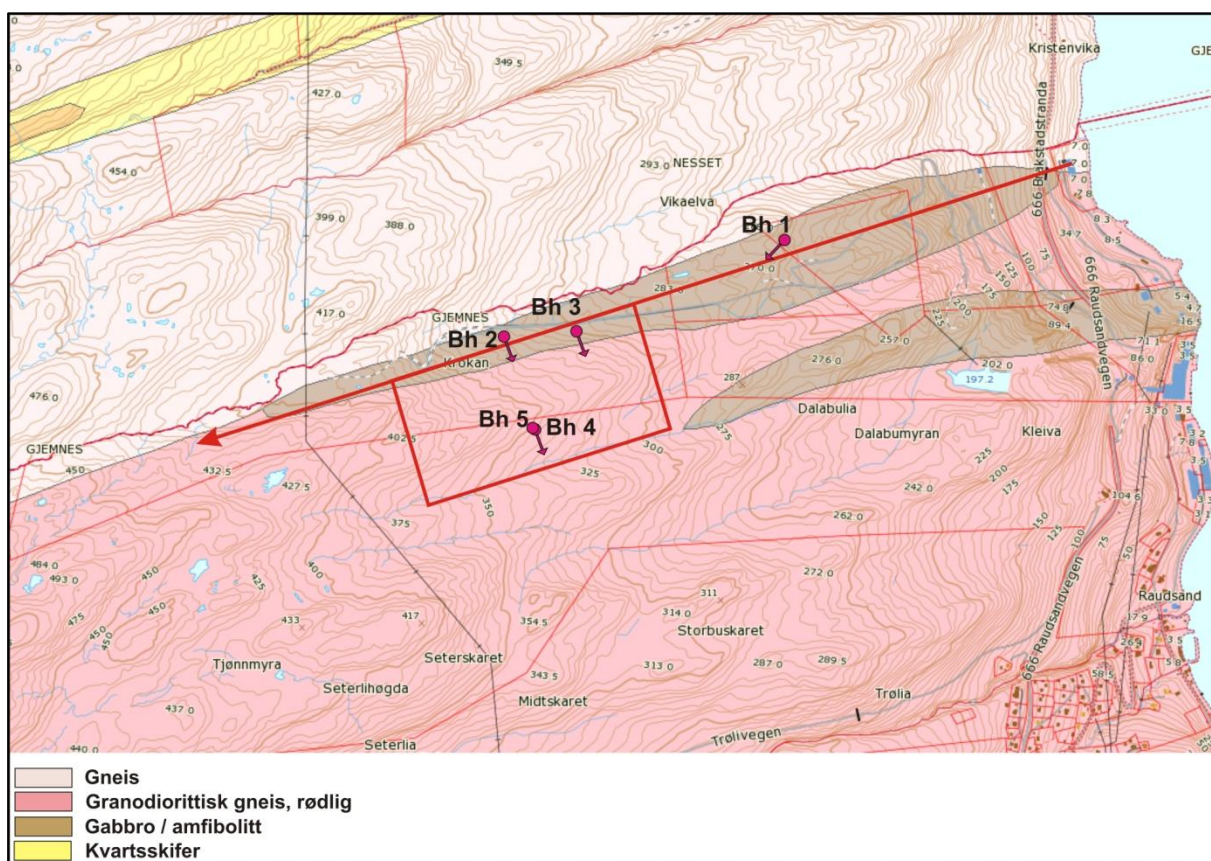
5. GEOFYSISK LOGGING, TOLKNINGER

I de følgende avsnitt blir resultatene fra den geofysiske loggingen tolket med henblikk på de problemstillinger som ble skissert innledningsvis, og det blir anbefalt videre undersøkelser der dette ansees som nødvendig.

5.1 Bergrunnsgeologi inklusive nye jernmalmmineraliseringer

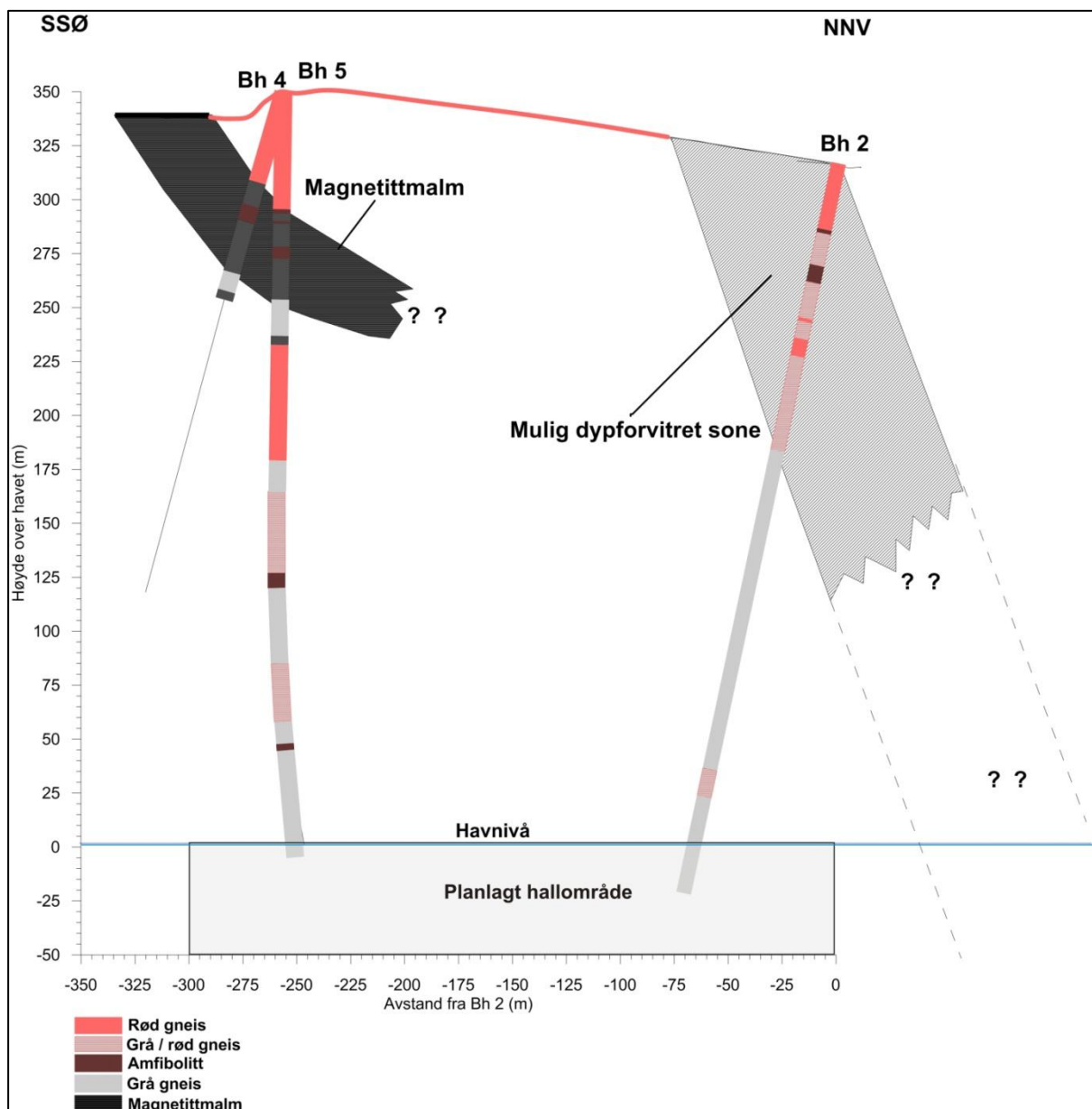
Figur 8 viser bergrunnsgeologien (skala 1: 50.000) slik den fremstår på NGUs nettsider (www.ngu.no). I hovedsak opptrer tre bergarter i det aktuelle hallområdet, to gneisvarianter og en amfibolitt hvor vi også finner jernmalmsforekomstene (ikke angitt på kartet). Våre analyser basert på bilder fra Optisk televiewer og vurdering av borekaks viser som forventet at geologien er mer sammensatt enn det berggrunnskartet viser.

Bilder av de to gneisvariantene fra felt og bilder av de samme to gneisene og en grå variant med røde bånd filmet med optisk televiewer er vist i vedlegg 4.



Figur 8: Forenklet berggrunnsgeologi og plassering av borehull ved det planlagte hallområdet ved Raudsand. Adkomsttunnel og hallområde indikert med rød sterk.

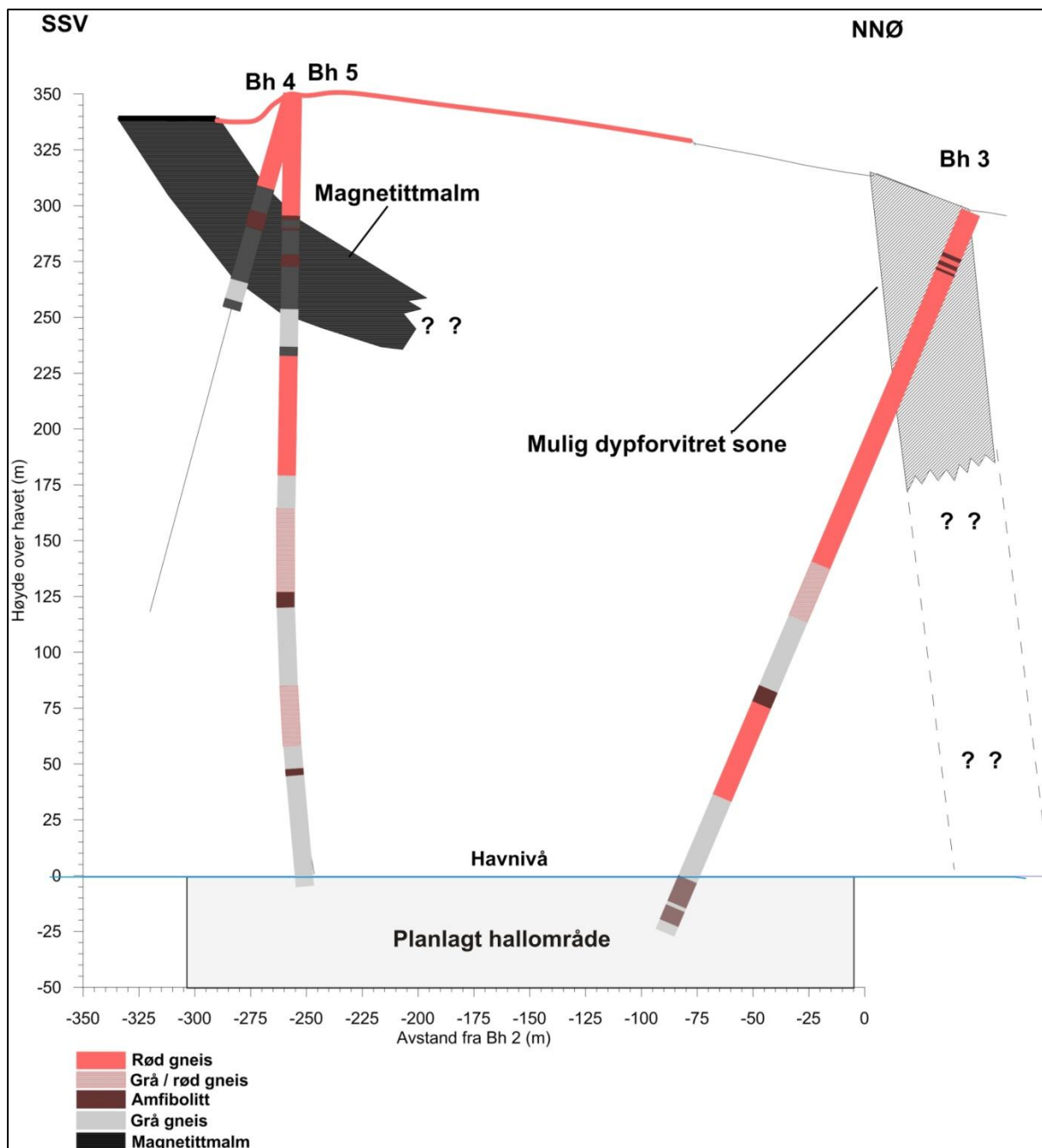
Figur 1 viser hvordan borehullene 4 og 5 er plassert i forhold til indikert dypforvitring og Figur 2 plasseringen i forhold til den nye magnetiske anomalien i forlengelsen av Z-gangen.



Figur 9: Bergrunnsgeologi og forløp av forvitringssone i et profil gjennom borehullene 2, 4 og 5.

I figur 9 og Figur 10 er tolket berggrunnsgeologi langs borehullene sammenstilt. Den magnetiske susceptibiliteten i Bh4 og Bh5 er stedvis så høy at anomaliårsaken må karakteriseres som jernmalm og denne forklarer den magnetiske anomalien som ble påvist ved de magnetiske helikoptermålingene. Borehullsdata indikerer at malmkroppen flater ut i dypet og vil ikke komme i berøring med de planlagte deponihallene. NGU anbefaler magnetiske modelleringer for å få en sikrere bestemme formen på denne kroppen.

Mulig dypforvitringssone tolkes og beskrives i kapittel 5.2.



Figur 10: Bergrunnsgeologi og forløp av forvitringssone i et profil gjennom borehullene 3, 4 og 5.

5.2 Mulig dypforvitret fjell

En metode for påvisning av mulig dypforvitret fjell er utviklet av NGU (Olesen et al. 2007). Metoden bygger på at forvitringen som skjedde i Trias- og Jura-tiden (Fredin m. f. 2017) omvandlet silikatmineraler til leirmineraler samtidig som magnetitten i bergartene ble omvandlet til mindre magnetiske mineraler (hematitt og jernhydroksyder). Effekten av dette er en svak bergart som lett eroderes og hvor magnetfeltet er svekket. Mulige dypforvitrede soner tolkes ved å sammenholde forsenkninger i terrenget med lavt magnetfelt.

Ved analyse av de helikoptermålte magnetiske data ble det påvist mulig dypforvitring i flere områder og spesielt ved starten av de planlagte deponihallene i nord (se figur 1). Borehullene 2 og 3 ble boret for å avklare om det finnes dypforvitret berg i aktuelle området og samtidig vurdere bergmassekvalitet generelt. De geofysiske loggene fra disse to hullene er vist i figurene 4 og 5.

Den geofysiske loggen fra borehull 2 (Figur 4) viser et uregelmessig mønster med stedvis lav resistivitet ned til dyp 136 m. Seismisk p-bølgehastighet viser også variasjoner og noe lavere nivå i dette intervallet. Magnetisk susceptibilitet viser et varierende og lavere nivå i dette området. Indusert polarisasjon (IP) viser et svakt, men markert høyere nivå mellom dypene 56 m og 96 m, noe som kan skyldes leiromvandling. Alle disse forholdene indikerer at berget er forvitret.

I borehull 3 (Figur 5) ses et tilsvarende mønster ned til dyp 86 m. I dette borehullet er ikke utslagene så klare, men også her indikeres en forvitringssone. Gjennomsnittlig verdier for p-bølgehastighet, resistivitet og magnetisk susceptibilitet i de forskjellige nivåene i borehullene 2 og 3 er vist i tabell 2.

Tabell 2: Gjennomsnittlig p-bølgehastighet, resistivitet (SN og LN) og magnetisk susceptibilitet i mulig forvitret (øverst) og uforvitret (nederst) berg i Bh2 og Bh3.

Petrofysisk egenskap	Bh2, 0-136 m	Bh2, 136 – 350 m	Bh3, 0 – 86 m	Bh3, 86 – 238 m
P-bølgehastighet (m/s)	4950	5265	4864	4890
Resistivitet SN (Ωm)	3404	6511	3498	5154
Resistivitet LN (Ωm)	3157	5242	3111	4136
Mag, suscept. (10^{-6} SI)	10450	14450	9220	12650

Figur 9 og Figur 10 viser hvordan den mulige forvitringssonen går mot dypet. Variasjonene i petrofysiske egenskaper vist i tabell 2, kan imidlertid også skyldes variasjoner i berggrunnsgeologien. I Bh2 faller grensen mellom mulig forvitring sammen med overgang fra rød og rød/grå gneis til grå gneis ved dyp 136 m (se Figur 4). Tilsvarende bergartsskifte både i Bh2 og de andre borehullene viser ikke tilsvarende endringer i de petrofysiske egenskapene, og en kan konkludere med at en forvitringssone er meget sannsynlig. Dessverre har en ikke kontroll på forløpet mot dypet, men ved det fallet på sonen som indikeres kan det se ut som adkomsttunnel og deponihalle blir liggende på liggsiden, under forvitringssonen dersom denne strekker seg ned til nivået for de planlagte deponihallene.

Oppsummering svakhetssone.

P-bølgehastighet, resistivitet og magnetisk susceptibilitet indikerer at det går en dypforvitret svakhetssone langs nordenden av de planlagte deponihallene. Geometrien antyder at denne sonen faller mot nord over hallene slik de i dag er planlagt. Loggingen av Bh2 og Bh3 viser at p-bølgehastigheten ikke er kritisk lav og i følge Barton (2007) er bergmassekvaliteten i forvitringssonen god.

5.3 Mulige sulfidmineraliseringer

Det er tidligere rapportert ca. 1 % sulfider i malmen i gamle Rødsand gruve (Cramer m. fl. 2015). Sulfider kan være svært ugunstig i deponisammenheng ved at sulfider kan oksideres og gi surt grunnvann, noe som igjen kan løse ut og mobilisere tungmetaller fra deponiet og forurenses grunnvannet. Det er derfor viktig å kartlegge sulfidinnholdet og potensialet for sulfidoksidasjon ved planlegging av deponi for uorganisk farlig avfall i fjellhaller.

Større massive sulfidmineraliseringer kan lett påvises ved ElektroMagnetiske (EM) målinger fra helikopter. Dersom sulfidmineralene opptrer i adskilte korn (disseminert malmtypen) vil ikke disse påvises med EM-målinger da de vanligvis ikke har nevneverdig økt elektrisk ledningsevne. Denne type mineraliseringer kan påvises ved det som kalles Indusert Polarisasjon (IP). IP-effekt kan kartlegges ved elektriske målinger med elektroder på bakken eller i borehull. Selvpotensialmålinger (SP) gir utslag på sulfider, jernoksider og grafitt, og kan derved bidra til å påvise sulfider ved borehullslogging.

Ved helikoptermålingene høsten 2016 ble det ikke påvist elektromagnetiske anomalier som kunne skyldes større massive sulfidmineraliseringer i det målte området. For å sjekke om det kunne finnes sulfider i mindre mengder i bergmassen i det undersøkte området, ble borehullene logget med IP og SP i tillegg til resistivitet. IP og SP logg fra Bh1, Bh2, Bh3 og Bh5 er vist i Figurene 3, 4, 5 og 7. I Bh4 er det ikke foretatt IP- og SP-logging.

Indusert polarisasjon (IP) viser jevnt over verdier lavere enn 1 % i alle de fire målte borehullene. Dette representerer bakgrunnsnivået for bergarter uten sulfidmineraliseringer. Det finnes imidlertid unntak fra dette. Mest markert økningen i IP registreres i mineraliseringen med jernmalm påvist fra nivå 54 m til nivå 96 m i Bh5 og fra 38 m til 86 m i Bh4. I Bh5 påvises tildels meget høye IP-verdier, opp mot 100 %. Dette skyldes sannsynligvis jernoksider, men en kan ikke se bort fra at også noe sulfider i malmen bidrar til de høye IP-verdiene.

Også SP gir markerte anomalier (opp mot 400 mV) over den nye mineraliseringen med jernmalm. Denne kan også utelukkende skyldes jernoksider, men også jernoksider i kombinasjon med sulfider. Uansett, denne mineraliseringen ser ikke ut til å strekke seg ned til nivået for deponihallene, og bør ikke skape problemer med surt vann i deponiområdet. Svake IP-anomalier er påvist stedvis utenom den nye mineraliseringen av jernmalm, og dersom disse faller sammen med SP-anomalier kan det være en indikasjon på at det finnes sulfider. Det er derfor av interesse å tolke samspillet mellom alle de petrofysiske egenskapene magnetisk susceptibilitet, resistivitet, IP og SP.

Tabell 3 viser samspillet mellom anomalier (+) og manglende anomalier (-) på magnetisk susceptibilitet, resistivitet, IP og SP, og tolkningen av disse variasjonene. Her er benyttet følgende verdier for angivelse av anomali:

Magnetisk susceptibilitet:	$> 10.000 \cdot 10^{-6}$ (SI-enheter)
Resistivitet:	$< 2000 \Omega m$
IP-effekt:	$> 1 \%$
SP-anomali:	$> 50 \text{ mV}$

Tabell 3: Samspill mellom forskjellige anomalier (magnetisk susceptibilitet, resistivitet, IP-effekt og SP-anomali) i forskjellige anomale soner fra borehullene 1, 2, 3, 4 og 5 og tolkning av disse.

Bh nr.	Dyp (m)	Mag.Susc.	Resistivity	IP	SP	Tolkning
1	62 - 78	+	?	?	?	Jernmalm, dårlig?
1	84 - 94	-	+	+	-	Leirsone
1	140 - 148	-	+	+	-	Leirsone
1	173 - 174	-	(-)	+	-	Leirsone
1	229 - 246	-	+	+	+	Mulig sulfidsone
2	10 – 136	-	+++	+	-	Dypforvitring, delvis leire
3	10 – 86	-	++	-	-	Dypforvitring
3	242 – 244	-	+	-	-	Knusningssone
4	38 – 50	+	?	?	?	Jernmalm
4	60 – 84	+	?	?	?	Jernmalm
4	94 – 98	+	?	?	?	Jernmalm
5	56 – 96	+	+	+	+	Jernmalm
5	112 – 120	+	+	+	+	Jernmalm
5	224 – 232	-	+	+	-	Knusningssone, leire?
5	330 – 334	-	+	+	-	Leirsone

NGU vil understreke at IP-anomaliene utenom de påviste jernmineraliseringene er meget svake (marginalt større enn 1 %), og at de kan også skyldes kunstige effekter i samspillet med variasjonene i resistiviteten. Ut fra tabell 3 kan vi konkludere at det bare i ett tilfelle er påvist et anomalimønster som kan skyldes sulfider, fra 229 m til 246 m i Bh1. Siden SP-anomalien er så lav, kan det godt være andre årsaker til denne anomalien også. NGU presiserer at disse resultatene kun beskriver geologien i borehullene.

Svovelinholdet i enkelte borekaksprøver ble analysert med håndholdt XRF (ThermoFisher Niton XL3tGOLDD) etter at prøvene kom til NGU. Det ble foretatt måling på 26 borekaksprøver, og for det meste var svovelinholdet lavere enn deteksjonsgrensen for instrumentet som var 0,02 % for svovel. Borekakset kan være et sammenblandet materiale fra flere deler av borehullene, analysevolumet er svært lite og analysene kan derfor bli noe tilfeldig. Det ble imidlertid ikke målt over 0,2 % S på kaksprøver utenfor jernmalmineraliseringen. Kaksprøver fra jern-malmen viste et noe høyere nivå med 0,8 % S som høyeste målte verdi.

Oppsummering mulige sulfidmineraliseringer.

Elektromagnetiske målinger fra helikopter påviste ikke større massive sulfidmineraliseringer rundt Raudsand. Detaljerte målinger av resistivitet, Indusert Polarisasjon (IP) og Selvpotensial (SP) antyder en mulig sone som kan inneholde mindre sulfider i Bh1. Denne sonen ligger utenfor området for de planlagte deponihallene. Analyse av svovel med XRF på 26 prøver av borekaks viste svært lave konsentrasjoner.

5.4 Naturlig radioaktivitet

I vurderingen av egnetheten til fjellhaller ved Raudsand som deponi for uorganisk farlig avfall ble det også fokusert på mulig lagring av radioaktivt avfall (Cramer m. fl. 2015). For å avklare om det naturlige innholdet av radioaktive elementer (U, Th og K) er så høyt at det kan gi et miljøproblem ved etablering og drift av deponihaller, målte NGU konsentrasjonen av disse elementene på bakken ved helikoptermålingene.

Ut fra undersøkelsene høsten 2016 kunne en konkludere med at konsentrasjonene av de radioaktive elementene uran, thorium og kalium innenfor det helikoptermålte området ved Raudsand er å betrakte som lave (Rønning m.fl. 2016). Selv den granittiske gneisen ved fjellhallene viste lave urannivåer. Løsmasser og vann skjermer for den radioaktive strålingen fra berggrunnen, men i dette området opptreer bart fjell relativt hyppig, og dersom det fantes et forhøyet nivå av noen av elementene ville dette blitt registrert. Strålingen som registreres med de radiometriske målingene stammer fra den øvre halve meteren av bakken, og hvert målepunkt representerer en flate på ca. 150 m x 150 m. Det betyr at det kan skjule seg radioaktive kropper både mot dypet og innefor det målte arealet for hvert målepunkt, og det var derfor av interesse å undersøke radioaktiviteten i borehullene.

I hovedsak ligger den totale gammastrålingen i alle borehullene lavere enn 250 cps (counts per second, API standard, se Figurene 3 til 7), noe som ligger svakt høyere enn hva en kan forvente i gneiser (Elvebakk 2011). Enkelte soner fremstår med klart forhøyede verdier, og de meste markerte er ved dypene 66 og 214 m i Bh4 og stedvis i Bh5. Disse sonene er fulgt opp med måling av spektral gammastråling som bestemmer innholdet av uran, thorium og kalium. Resultatene fra disse målingene er vist i figurene 11 (Bh4) og 12 (Bh5).

Figur 11 viser at den radiometriske anomalien (> 4000 cps, API) ved 66 meters dyp i Bh4 er i hovedsak styrt av et forhøyet nivå i uran. Høyeste verdi er ca. 400 ppm uran. Den andre sonen i Bh4 ved dyp 214 m skyldes også en anrikning av uran (ca. 200 ppm). Dette er høyt, men de aktuelle sonene er relativt tynne, trolig ikke tykkere enn noen få desimeter, og vil ikke ha noen betydning for arbeidsmiljø i deponihallene.

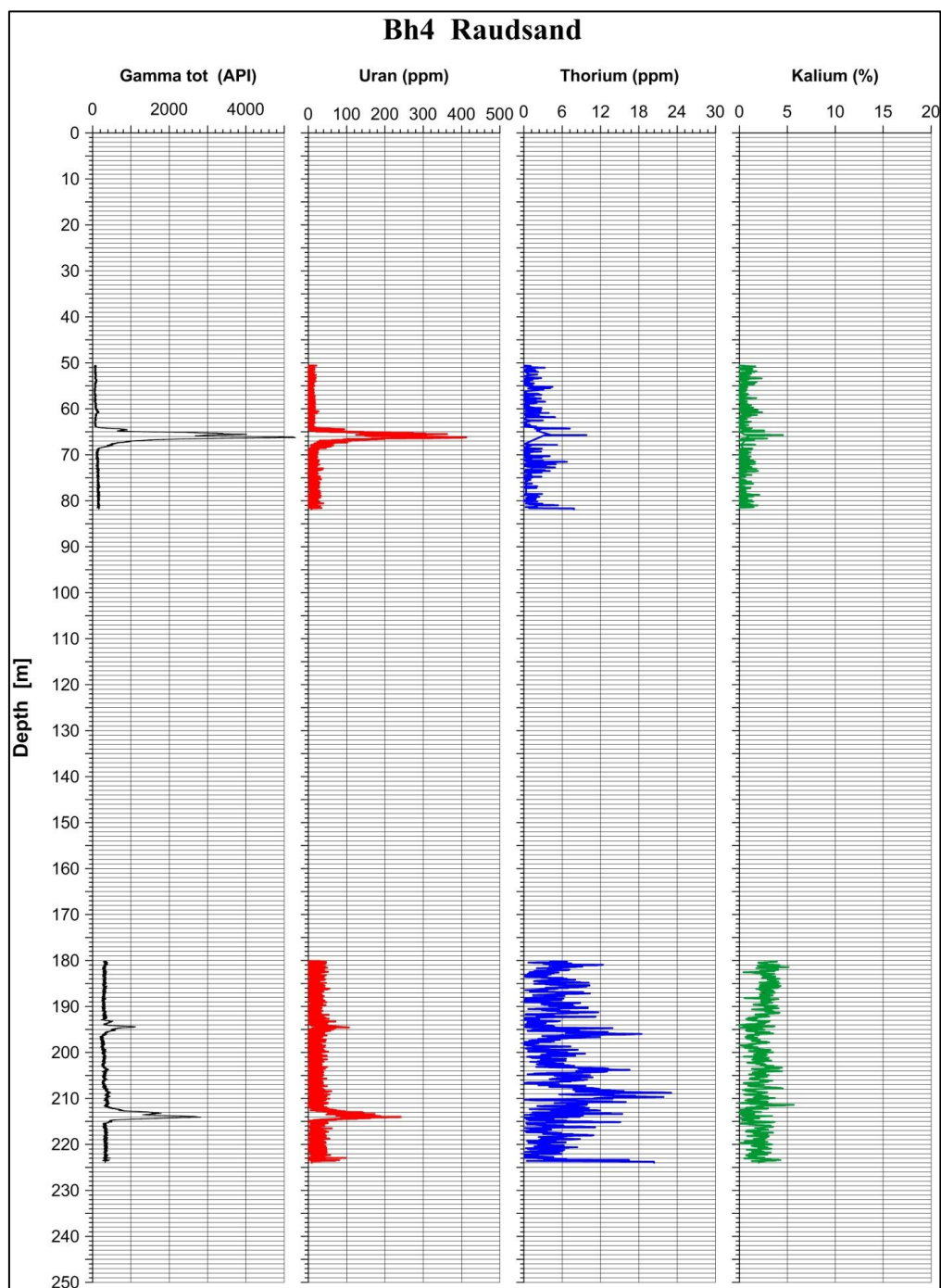
I Bh5 er det foretatt en kontinuerlig logging av elementene uran, thorium og kalium (Figur 12). Rett over malmen i Bh5, ved dyp 50 m til 65 meter er det et noe forhøyet nivå av uran (ca. 15 ppm) og thorium (ca. 18 ppm). Dette kan være forårsaket av en pegmatittgang, men dette fremgår ikke klart av den optiske filmingen.

Malmsonen i Bh5, fra 66 m til 96 m, viser som forventet et meget lavt innhold av både uran, thorium og kalium.

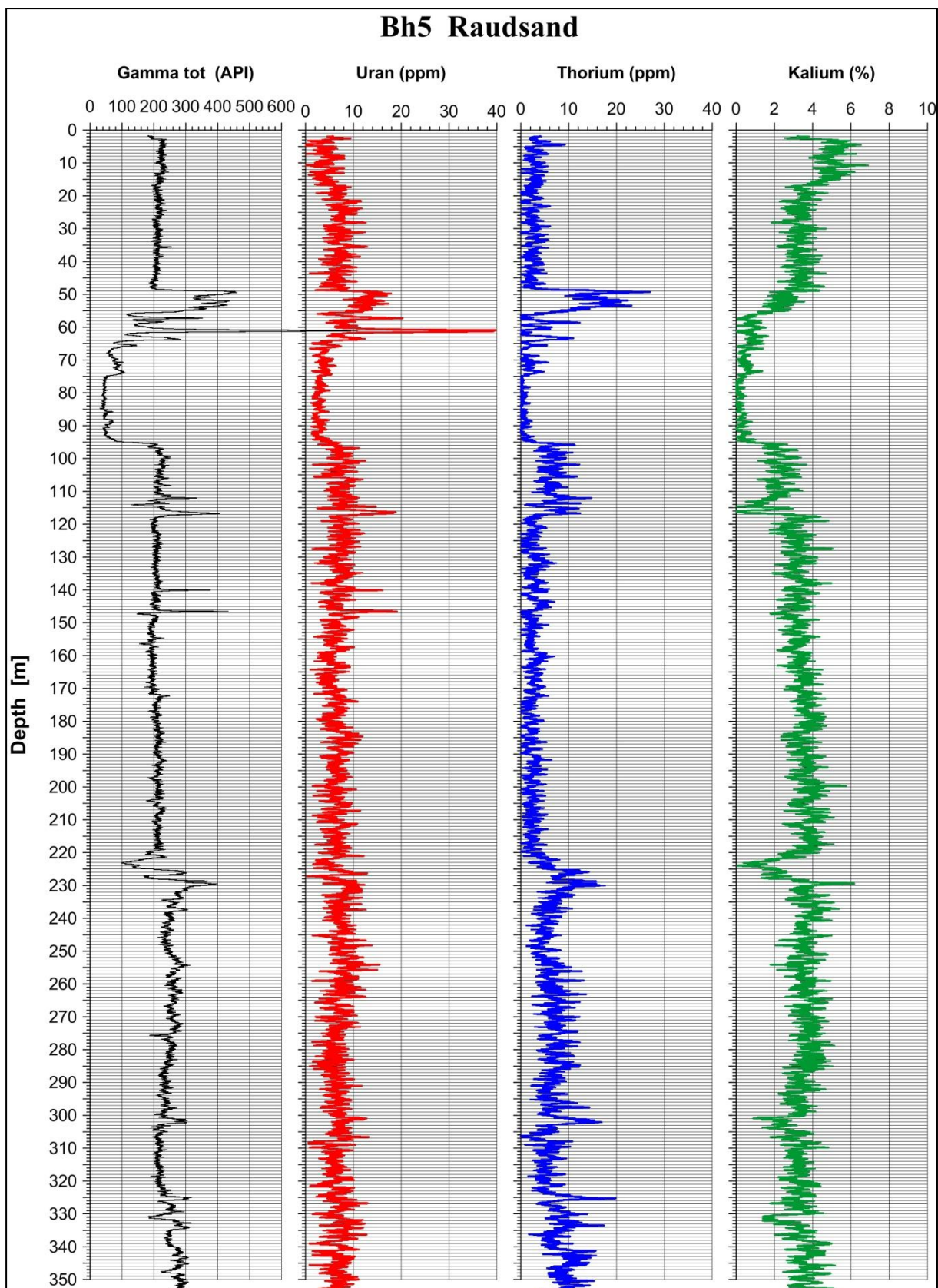
Ved ca. dyp 225 m i Bh5, fremstår en spesiell sone med noe forhøyet thorium, lavt kaliuminnhold, mens uran ligger relativt uendret på i underkant av 10 ppm. Tilsvarende mønster finnes også ved 303 m, 325 m og 333 m. Dette er interessante observasjoner, men årsaken er vanskelig å avklare uten tilgang på borekjerner. Borekasset kan ikke benyttes til å avklare anomaliårsak. Disse små nyansene må karakteriseres som uvesentlige og vil ikke ha noen betydning for etablering og drift av deponihaller ved Rausand.

Oppsummering naturlig radioaktivitet.

Ut fra helikoptermålingene høsten 2016 ble det konkludert med lave konsentrasjoner av de radioaktive elementene uran, thorium og kalium på overflaten. Borehullsloggingen bekrefter også lave konsentrasjoner av radioaktive elementer mot dypet. Innholdet av radonproduserende uran er jevnt over klart lavere enn 10 ppm. Enkelte soner fremstår med forhøyet uraninnhold (ca. 200 og 400 ppm), men disse er tynne og vil ikke ha noen betydning for etablering og drift av deponihaller ved Raudsand.



Figur 11: Konsentrasjonen av elementene uran, thorium og kalium stedvis i Bh4 målt med gammaspektroskopi.



Figur 12: Konsentrasjonen av elementene uran, thorium og kalium i Bh5 målt med gammaspektroskopi.

6. BERGMASSEKVALITET

Bergmassekvalitet kan studeres ut fra seismisk hastighet, resistivitet og ikke minst filming med Optisk Televiwer (OPTV).

Opptreden av en mulig dypforvitringssone er diskutert i kapittel 4.2. Analyse av data fra optisk televiwer (OPTV) er utførlig beskrevet i NGU Rapport 2017.020 (Elvebakk 2017), og NGU henviser til denne for detaljer. I det følgende blir det gjort en kort oppsummering av sprekkeforløp generelt i fire av de fem borehullene.

Tabell 4: Oppsummering av bergmassekvalitet. Antall sprekker totalt, antall sprekker pr. m og soner med RQD mindre enn 75 kartlagt med optisk televiwer.

Borehull	# sprekker totalt	# sprekker pr. m	Sone med RQD < 75, dyp i m
1	384	1,28	84 – 94, 105 – 107, 128 – 129, 274 - 275
2	227	0,66	19 – 21, 43 - 45
3	319	0,91	51 – 54, 213 - 218
5	333	0,94	124, 159, 238

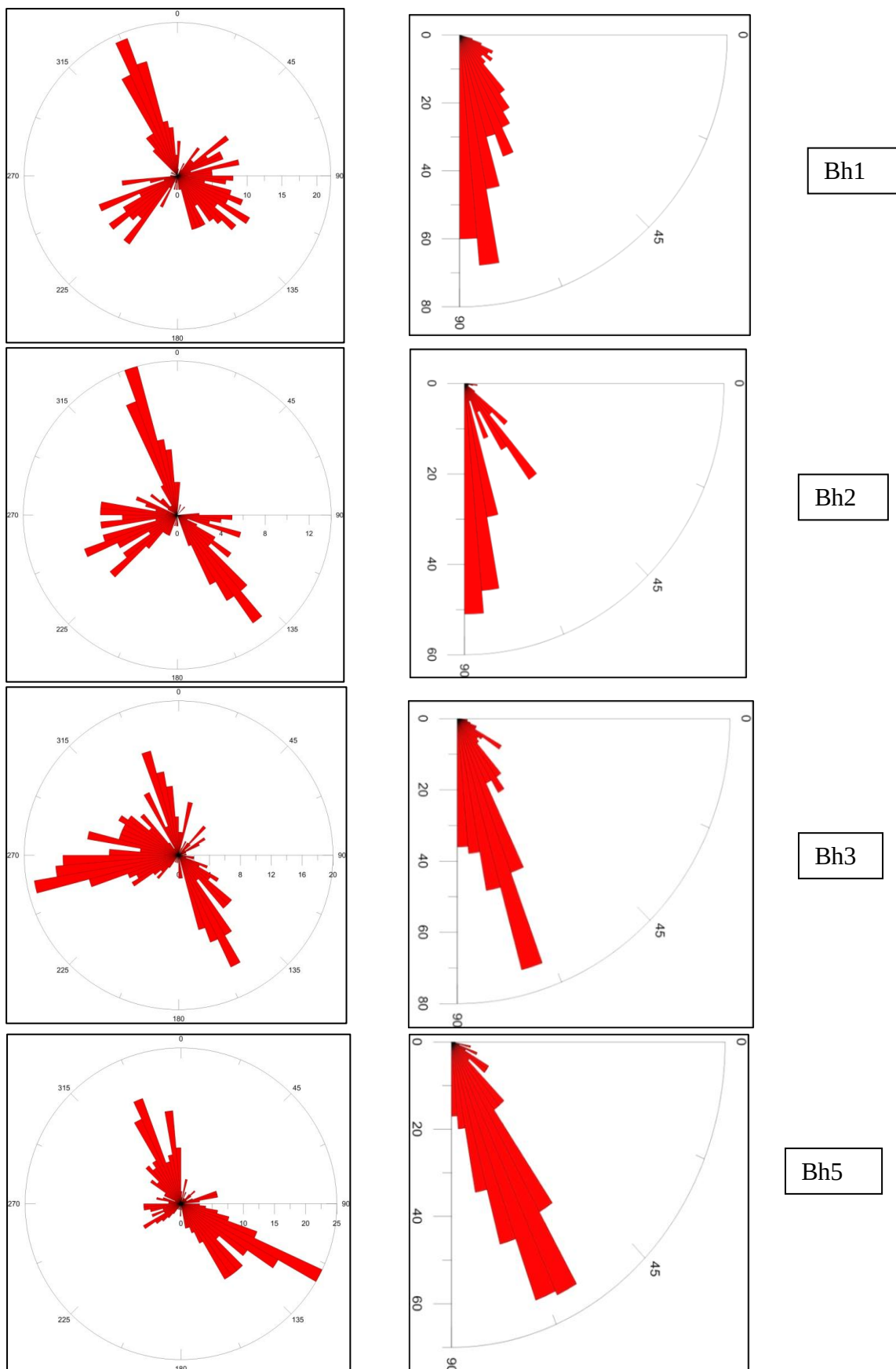
I følge tabell 4 og de individuelle sprekkeanalysene i NGU Rapport 2017.020 er Bh1 det mest oppsprukne. Her indikeres flere soner med RQD (Rock Quality Designation) mindre enn 75, og den dypeste ligger på 275 meters dyp (ca. 30 m under havoverflaten). Kvaliteten i bergmasse med RQD-verdi i intervallet 50 – 75 beskrives som moderat, og er på ingen måte kritisk for etablering av deponihaller. Den dypeste sonen berører trolig ikke deponihallene, men adkomsttunnelen kan komme i kontakt med sonen. I de andre borehullene kan det se ut som bergmassekvaliteten er relativt god i hallnivå, men en må her ta et forbehold om at dypforvitringssonen indikert i starten av Bh2 og Bh3 kan fortsette mot dypet. Dessverre finnes ikke noen annen måte å undersøke forløpet mot dypet på enn å foreta en ny boring.

I tabell 5 er antall sprekker og sprekkefrekvens beregnet for intervaller på 50 m nedover i borehullene. Det er en tendens til noe mer intens oppsprekning øverst i hullene, men dette varierer. Borehullene 2, 3 og 5 viser moderat oppsprekning i planlagt nivå for deponihaller (Bh5 når akkurat ned til hallnivået).

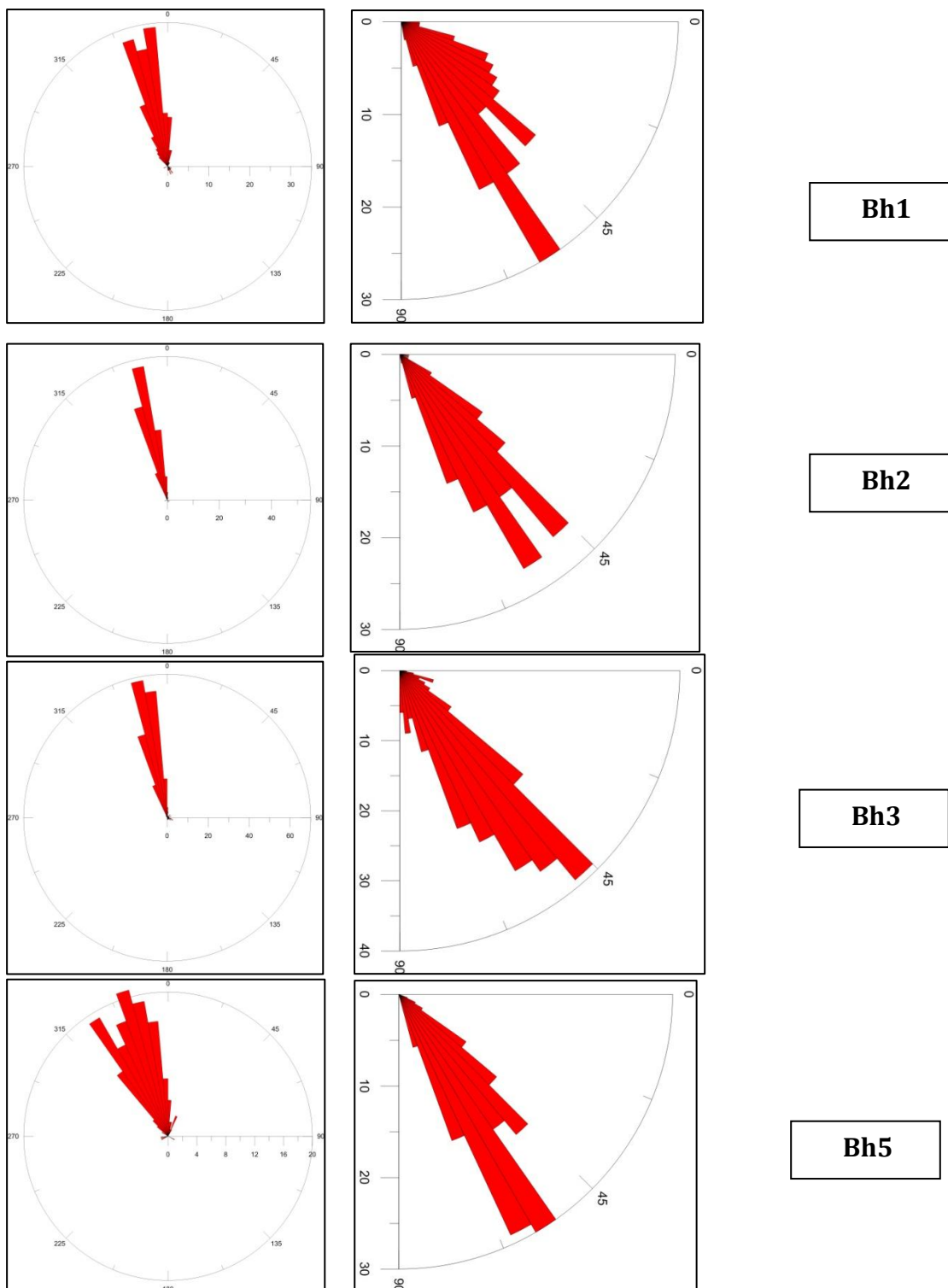
Tabell 5: Antall sprekker og sprekkefrekvens for hver 50 meter nedover i borehullene 1, 2, 3 og 5. deler av borehull som går ned til deponihallene er markert med gult.

Dyp (m) #/f (#/m)	0-50 # / f	50 – 100 # / f	100-150 # / f	150-200 # / f	200-250 # / f	250-300 # / f	300-350 # / f
Bh1	70 / 1,4	91/1,8	68 / 1,4	34 / 0,7	48 / 1,0	73 / 1,5	
Bh2	77 / 1,5	63 / 1,3	24 / 0,5	9 / 0,2	22 / 0,4	16 / 0,4	16 / 0,4
Bh3	61 / 1,2	95 / 1,9	33 / 0,7	56 / 1,1	51 / 1,0	27 / 0,5	33 / 0,7
Bh5	26 / 0,5	43 / 0,9	66 / 1,3	52 / 1,0	69 / 1,4	53 / 1,1	24 / 0,4

Rosediagrammene som viser sprekkenes fallretning og fall (Figur 13) viser varierende fallretning, men at hovedtyngden av sprekkenes faller relativt steilt, 70° – 90°. Figur 13 viser foliasjonen i bergartene i de fire borehullene 1, 2, 3 og 5.



Figur 13: Rosediagram som viser sprekkenes fallretning (venstre) og fall (høyre) i borehullene 1, 2, 3 og 5.



Figur 14: Rosediagram av foliasjonens fallretning og fallvinkel, Bh1, Bh2, Bh3 og Bh4.

Bergartenes foliasjon er kartlagt med optisk televiwer på samme måte som sprekkenes fall og fallretning. Figur 14 viser at foliasjonen (lagdelingen i bergartene) faller jevnt over relativt steilt (45 til 70°) mot NNV (ca 340°).

For flere detaljer knyttet til sprekke mønster, sprekkefrekvens, foliasjon og borehullenes forløp, se NGU Rapport 2017.020 (Elvebakk 2017).

7. GRUNNVANNETS OPPTREDEN OG KVALITET

Grunnvannets opptreden og vannkjemien er studert ved vannkvalitetslogging i brønnene, prøvepumping i kombinasjon med strømningsmåling og prøvetaking med påfølgende fysikalske og kjemisk analyser.

7.1 Logging av vannkvalitet

Logging av vannkvalitet mot dypet i brønnene ble foretatt samtidig med den geofysiske loggingen (se kapittel 4). Borehullene 1, 2 og 3 ble logget 7 til 5 uker etter avsluttet boring og renspling og det var forventet at vannkvalitet og temperatur var tilnærmet stabilisert. Borehullene 4 og 5 ble logget ca. to uker etter boring, og her er stabiliseringen mer tvilsom. Vannkvalitetslogg (temperatur, vannets elektriske ledningsevne, pH og Eh) for de fire borehullene er vist i figurene 13 til 16.

I **Bh1** sto vannet på 82 meters dyp ved logging (Figur 15). En hørte vann renne ned i borehullet, og uregelmessigheter i temperaturen fra 0 til 82 meters dyp kan være uttrykk for vanninnslag. Uregelmessigheter i temperaturen ved dyp 180 m og 190 m indikerer vannstrømning. Strømningsmålingen (kapittel 7.2) viser klart utstrømning av vann ved dyp 190 m. Vannets elektriske ledningsevne varierer noe men er mindre enn 125 $\mu\text{S}/\text{cm}$, noe som er helt normalt i denne type berggrunn. pH varierer fra ca. 10 til i underkant av 7. Den høye pH og det uvanlige mønsteret pH viser i Bh1, kan indikere innlekkasje av forurenset grunnvann fra deponerte forurensede masser i dagbruddet ovenfor Bh1.

Bh2 viser svært stabile verdier (Figur 16) bortsett fra ved dyp 30 m der temperatur, vannets ledningsevne og delvis Eh indikerer inn- eller utstrømning av vann. Dette kunne ikke bekreftes under prøvepumping siden pumpa var plassert på 40 meters dyp. Vannets elektriske ledningsevne er stabilt under 30 meters dyp og er under 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ noe som er normalt. pH ligger stabilt på ca 7.

Heller ikke **Bh3** viser noen overraskelser (Figur 17). Små uregelmessigheter på alle fire parametrene ved dyp 78 m indikerer en mindre vannstrøm inn eller ut av borehullet.

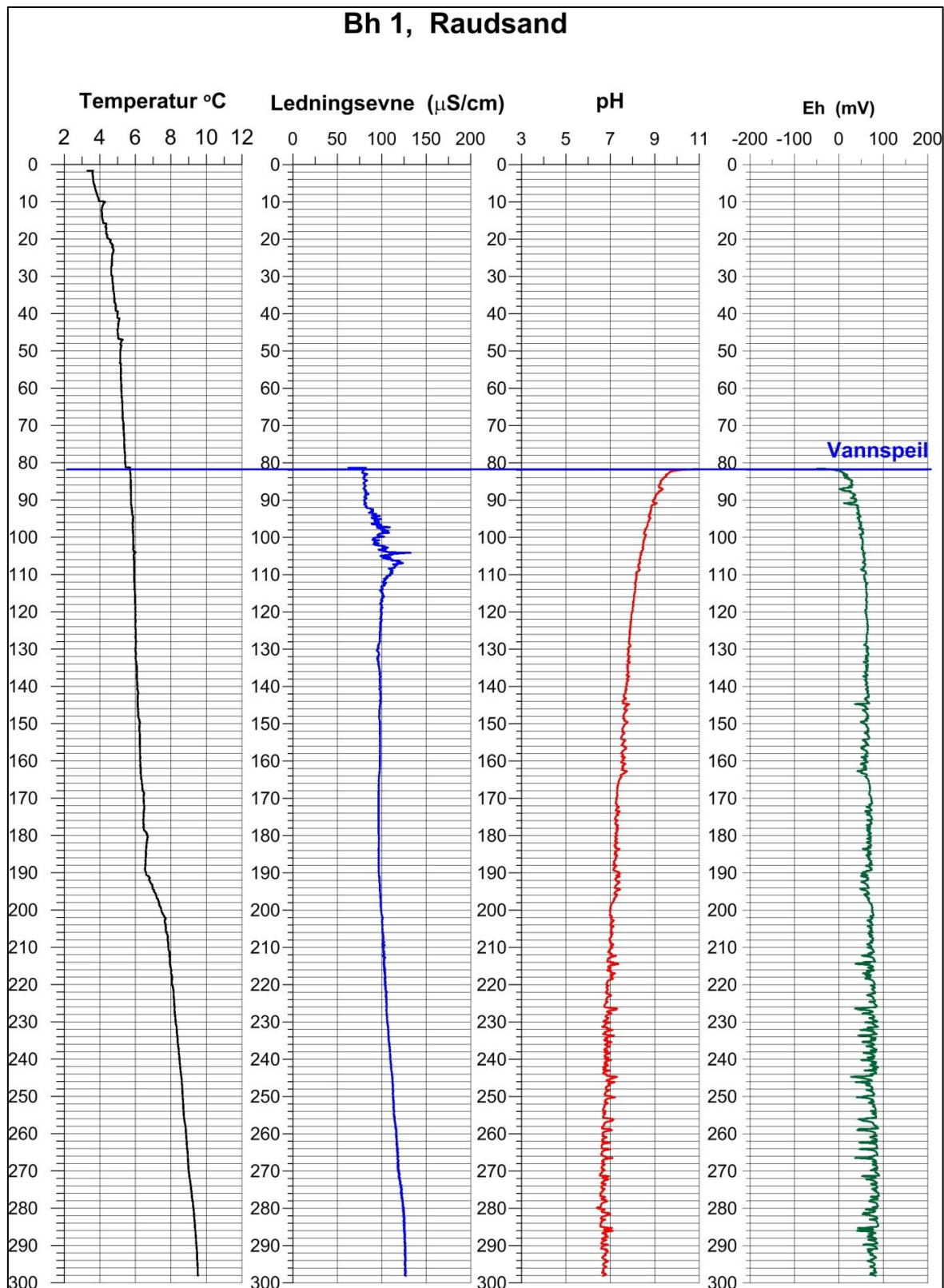
Bh5 (Figur 18) viser normalt temperaturforløp, mindre variasjoner på vannets ledningsevne som i sin helhet er lavere enn 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Mindre uregelmessigheter ved 36 og 60 meters dyp kan skyldes mindre inn- eller utstrømning av vann. Uregelmessigheter i pH og Eh i dypene 56 til 96 meter og 112 til 116 meter faller sammen med jernmalmforekomstene og disse utgjør trolig årsaken.

Oppsummering vannkvalitetslogg.

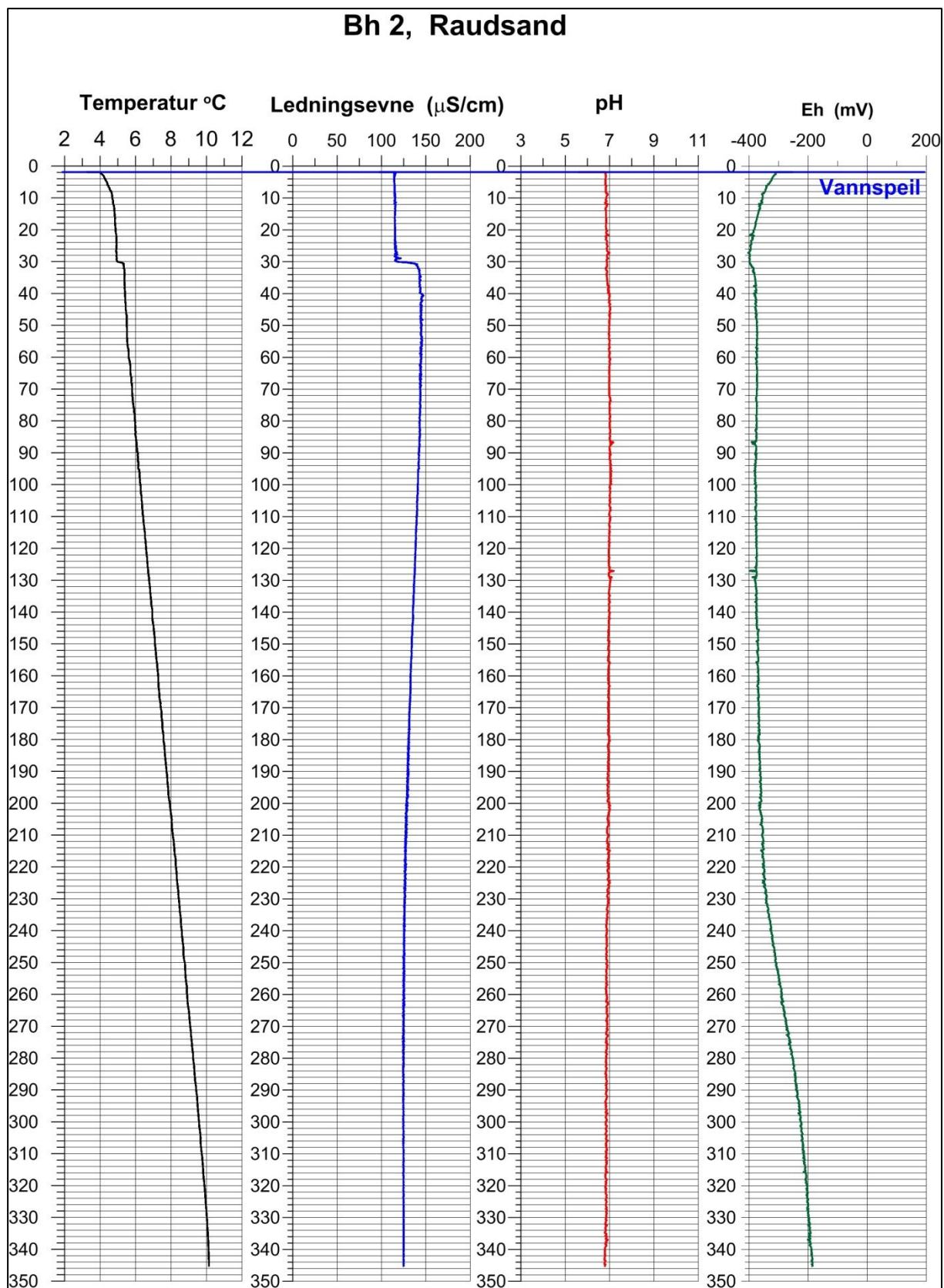
Temperaturloggen sammen med de andre loggene indikerer inn- eller utstrømning av vann på enkelte steder. Temperaturen i hall nivå ligger mellom 10 og 11 °C. Temperaturgradienten under 200 meters dyp er på 18 °C/1000m.

Vannets elektriske ledningsevne er lavere enn 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ noe som er normalt for de bergarter vi finner her.

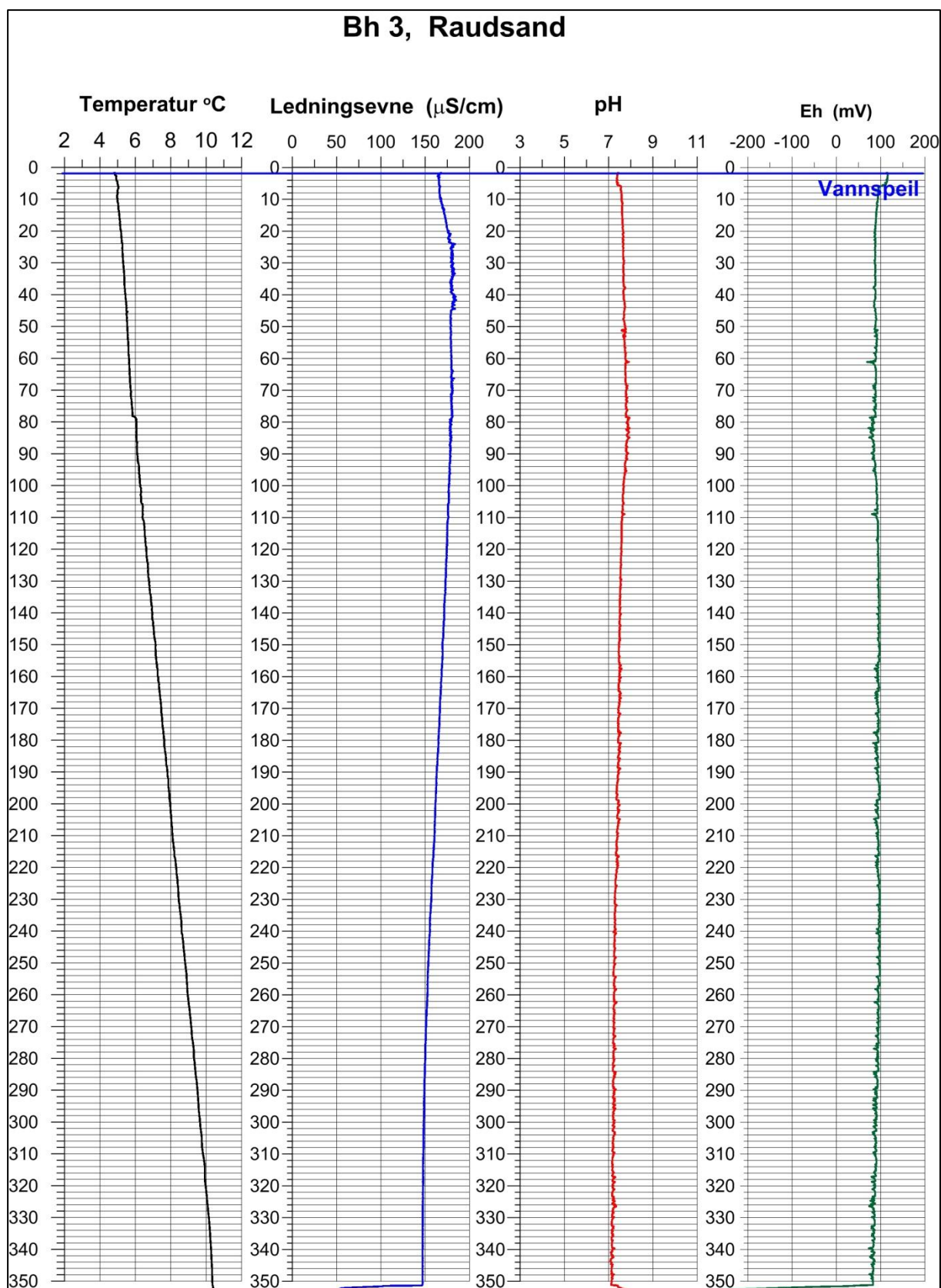
pH varierer noe rundt 7, men senere analyser viser at pH ved loggingen er noe lavere enn analysert i felt og på laboratorium. Dette betyr at pH er stabilt i overkant av 7, men viser noen variasjoner i malmsonen i Bh5.



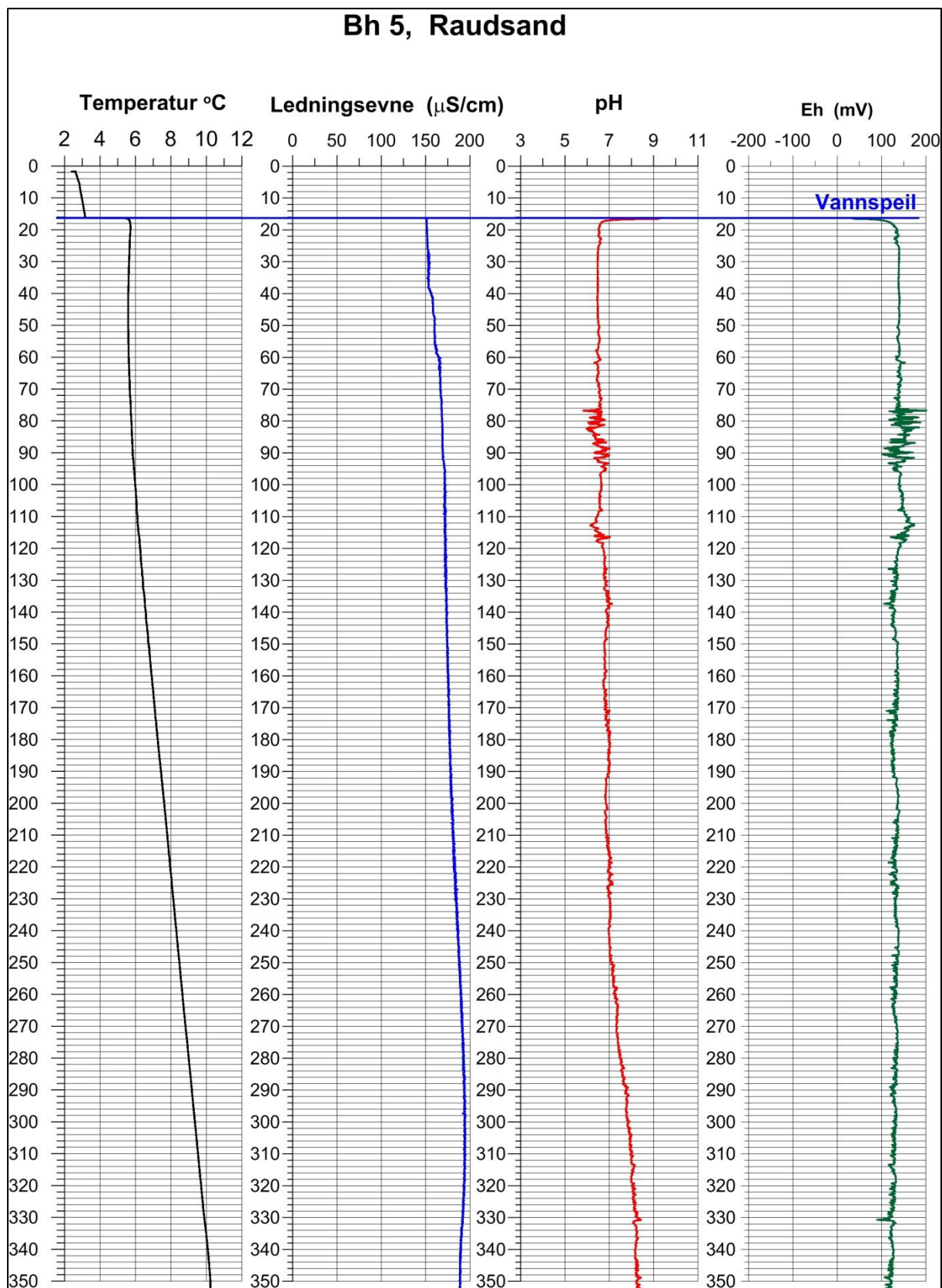
Figur 15: Vannkvalitetslogg, temperatur, ledningsevne, pH og Eh i Bh1.



Figur 16: Vannkvalitetslogg, temperatur, ledningsevne, pH og Eh i Bh2.



Figur 17: Vannkvalitetslogg, temperatur, ledningsevne, pH og Eh i Bh3.



Figur 18: Vannkvalitetslogg, temperatur, ledningsevne, pH og Eh i Bh5.

7.2 Vanngiverevne og vannstrømning

Logging av vannstrømning i borehull kan foretas som statiske målinger på enkelte steder i borehullene eller som dynamiske målinger der en strømningsmåler (en propell) senkes og heves med konstant hastighet i borehullene. Ved å summere rotasjonstallene nedover og oppover vil vannstrøm i hullet vises som netto rotasjonstall forskjellig fra null. Metoden kan vise naturlig strømning i borehull, men som regel er en avhengig av pumping for å aktivere strømning på sprekke og en får da også brønnenes vanngiverevne. Negative netto rotasjonstall viser strømning oppover i hullet og tilsvarende viser positive tall strømning nedover. Turbulens i strømmingen, ujevn hastighet på sonde og varierende posisjon i strømningsprofilen vil gi støy i rotasjonstallene.

Strømningsmåleren kjøres ned og opp i borehullet med en konstant hastighet på 5 m/min. Uten strømning i borehullet tilsvarer dette et rotasjonstall på 50 rpm (runder pr. minutt), negative tall på tur ned og positive på tur opp.

Total vanngiverevne

Vanngiverevne ble bestemt ved å senke vannstanden ned til pumpenivå for deretter å foreta såkalt "slurpepumping".

I Bh1 sto vannet på ca. 81 meters dyp, og det var ikke mulig å foreta prøvepumping p.g.a. stor løftehøyde og begrenset pumpekapasitet. Ved inspeksjon kunne en registrere at det strømmet vann inn i hullet over grunnvannsnivået, og det kunne detekteres vannstrømning nedover i borehullet og utstrømning ved ca. 190 meter (se figur 17).

Tabell 6 viser plassering av pumpe, grunnvannssenkning og total vanngiverevne i borehullene 2, 3 og 5. Grunnvannssenkningen er beregnet ut fra vannnivå ved den geofysiske loggingen i januar 2017.

Tabell 6: Pumpedyp, grunnvannssenkning og total vanngiverevne for Bh2, Bh3 og Bh5.

Borehull	Pumpedyp (m)	Grunnvannssenkning (m)	Vanngiverevne (l/t)
2	40	37	900
3	40	37	600
5	40	24	170

Vanngiverevnen i de tre borehullene ved Raudsand ligger i et nivå som en kan forvente i granittiske gneiser (Gundersen & DeBeer 2009). Medianverdien for 8034 brønner i diorittisk til granittisk gneis ligger på i underkant av 500 l/t mens første og tredje kvartil ligger på henholdsvis ca. 200 og 1200 l/t.

Strømning i borehullene.

Strømningsmåling i Bh1 ble foretatt uten pumping på grunn av stor løftehøyde. I de tre andre borehullene (Bh2, Bh3 og Bh5) ble først strømningsmålingen senket ned i borehullet og deretter ble pumpen senket ned. Når stabil pumperate var etablert ble strømningsmålingene foretatt. Strømningsdata fra Bh1, Bh2, Bh3 og Bh5 er vist i figurene 17 til 20.

En kvantitativ tolkning av strømningsdata er vist i tabell 7. Her er gjennomsnittlig rotasjonstall målt for hver cm i borehullet beregnet (100 verdier pr. m borehull), og strømning opp og ned i borehullet beregnet. NGU vil poengtere at dette viser omtrentlige verdier da det er flere faktorer som kan påvirke rotasjonstallene, ikke minst hvor i strømningsprofilen sonden står ved måling.

Tabell7: Oversikt over strømning i borehullene 1, 2, 3 og 5. I borehull 1 er det naturlig strømning mens det i de andre tre borehullene er provosert strømning ved pumping.

Borehull	Dyp fra – til (m)	Strømning (l/t)	Retning	Kommentar
Bh1	0 - 82	?	Ned	Observert over vannnivå
Bh1	82 - 136	130	Ned	130m: Ca. 100 l/t inn
Bh1	136 – 190	230	Ned	190m: Ca. 360 l/t ut
Bh1	190 – 258	130	Opp	258m: Ca. 90 l/h ut
Bh1	258 – 297	210	Opp	
Bh2	0 – 40	380	Ned	Innstrømning over pumpe
Bh2	40	900		Ca. 900 l/h pumpet ut
Bh2	50 – 127	520	Opp	127: Ca. 390 l/t ut?
Bh2	127 – 174	810	Opp	174: Ca. 320 l/h inn
Bh2	174 – 280	490	Opp	280: Ca. 430 l/h inn
Bh2	280 – 340	60	Opp	
Bh3	0 - 40	430	Ned	Innstrømning over pumpe
Bh3	40			Ca. 600 l/h pumpet ut
Bh3	47 – 124	170	Opp	124m: Ca. 100 l/h inn
Bh3	124 – 350	70	Opp	
Bh5	40	170		Ca. 170 l/h pumpet ut
Bh5	50 - 132	?	?	Støy, usikre data
Bh5	132 – 215	240	Opp	215: Ca. 180 l/h inn
Bh5	215 – 330	60	Opp	330: Ca. 140 l/h ut?
Bh5	330 – 349	200	Opp	

Som nevnt ble det i **Bh1** observert innstrømning av vann over grunnvannspeilet på ca. 81 meters dyp. Strømningsmålingene (Figur 19) er beheftet med noe støy, men fra 82 meters dyp og nedover til ca. 190 meters dyp indikeres klart en strømning nedover i borehullet. Det antydes også et mindre vanninnslag (100 l/h) ved 136 meters dyp. Ved dyp 190 m strømmes ca. 360 l/h ut av borehullet. Under dette indikeres strøm oppover i hullet, med et vannutslag (ca. 90 l/h) ved ca. dyp 258.

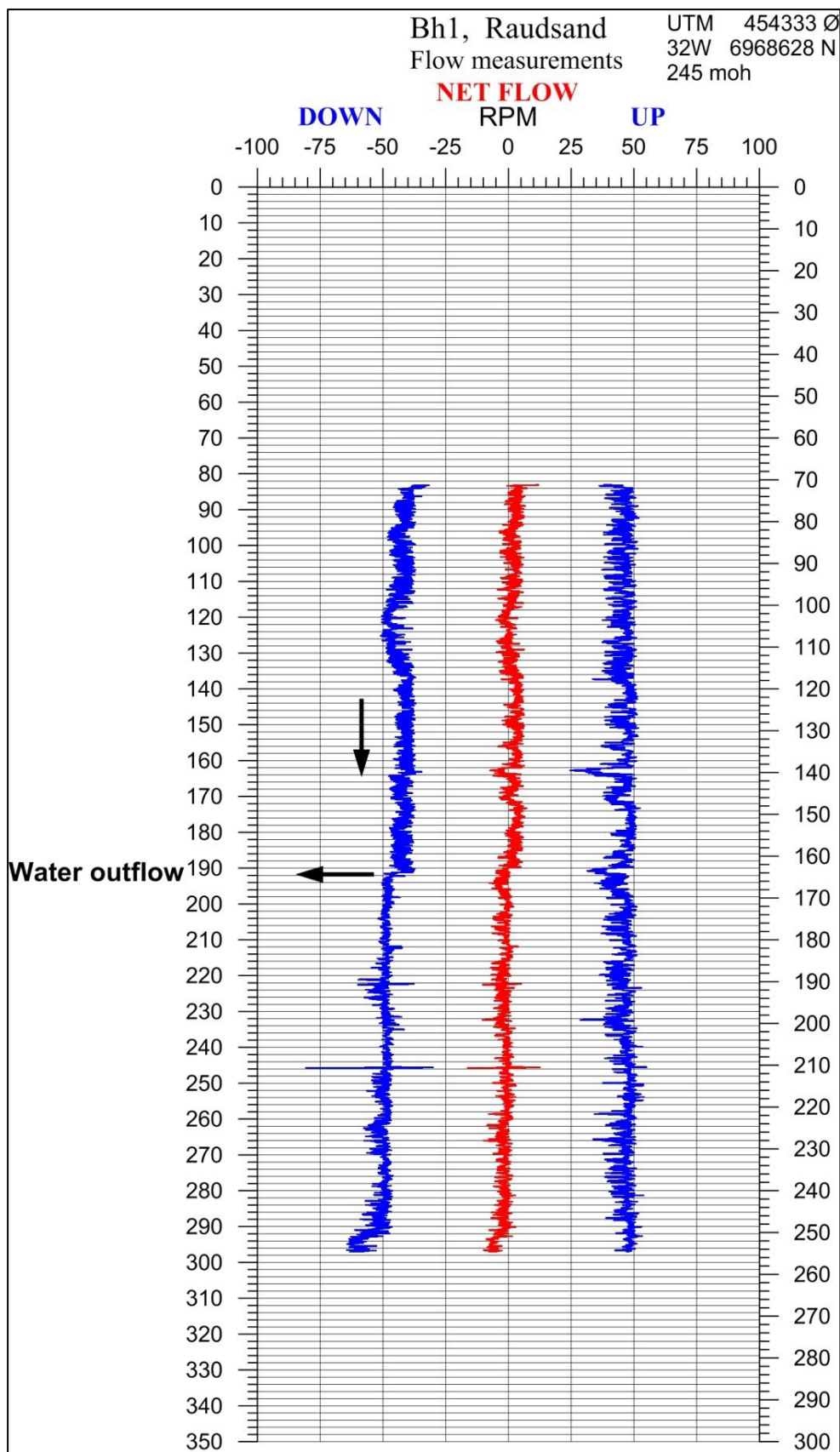
Ved pumping viste **Bh2** en vanngiverevne på 900 l/h. Strømningsmålingen (Figur 20) indikerer endringer i vannstrømning ved 127 m, 174 m og 280 m. Mellom dypene 50 og 127 m indikeres en strøm oppover i hullet på ca. 520 l/h. Dette betyr at ca. 380 l/h må komme fra sprekker over pumpa da utpumpingen på 40 m viste 900 l/h. Det indikeres et større vanninnslag ved 280 meters dyp (ca. 430 l/h) og en markert utstrømning (ca. 390 l/h) ved dyp ca 127.

Strømningsloggen fra **Bh3** (Figur 21) viser i praksis liten strømning i borehullet, noe som bekreftes av relativt liten vanngiverevne (170 l/h). Det indikeres et lite vanninnslag på ca. 100 l/h ved ca. dyp 124, og ca 70 l/h fra dypere deler. Siden borehullet viste en total vanngiverevne på 600 l/t må det meste av vannet (ca. 430 l/h) komme fra nivået over pumpa på 40 meter.

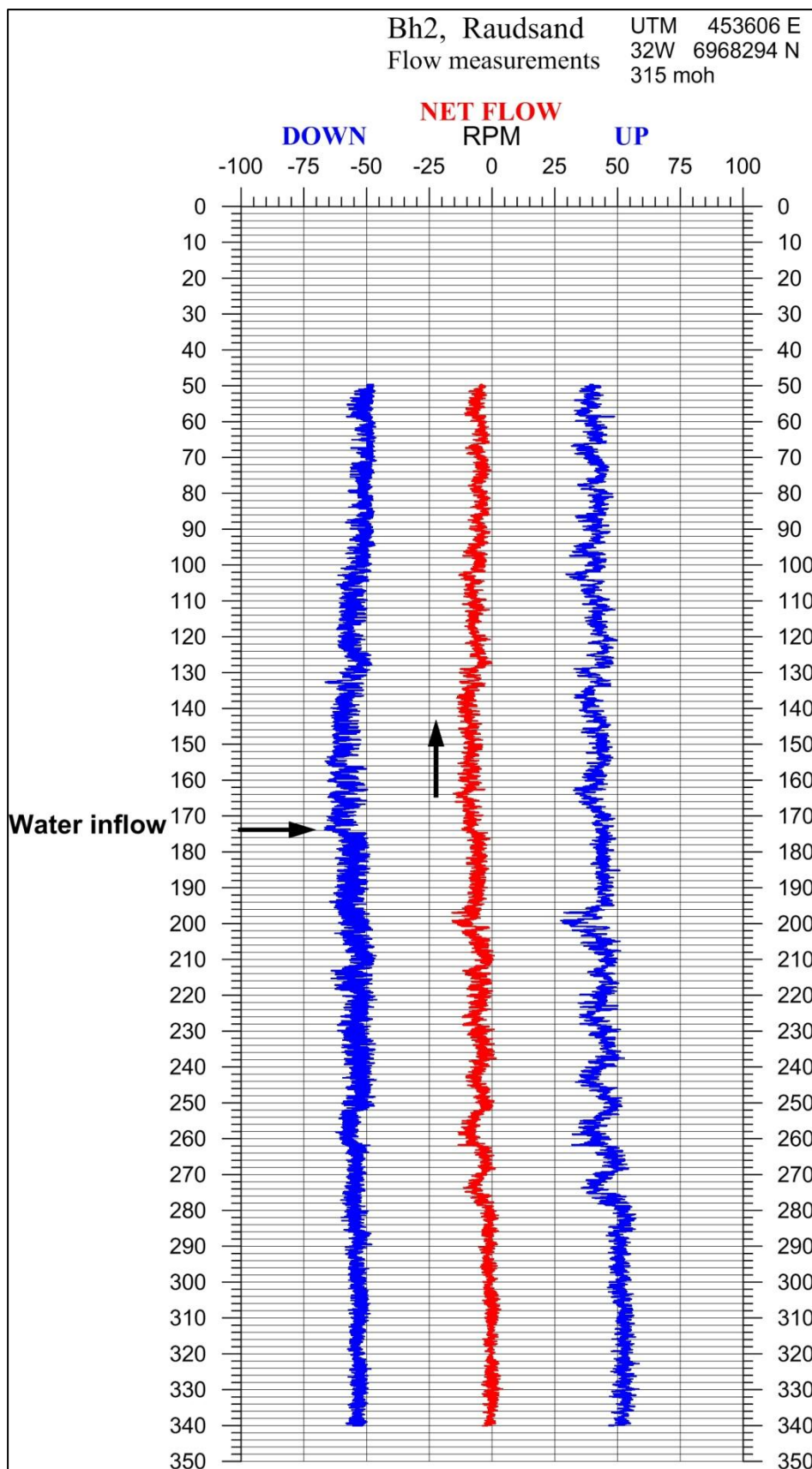
Strømningsloggen i **Bh5** (Figur 22) er beheftet med noe mer støy enn de andre borehullene, og det er vanskeligere å tolke vanninnslag. Det ser ut til å være et mindre innslag ved ca. dyp 215 m (ca. 180 l/h), og dette kan tilsvare den totale vanngiverevnen i hullet. Det indikeres også noe høyere vannstrøm oppover i hullet under 330 meters dyp, noe som tilsier en mindre utstrømning ved dette nivået.

Oppsummering vanngiverevne og vannstrømning.

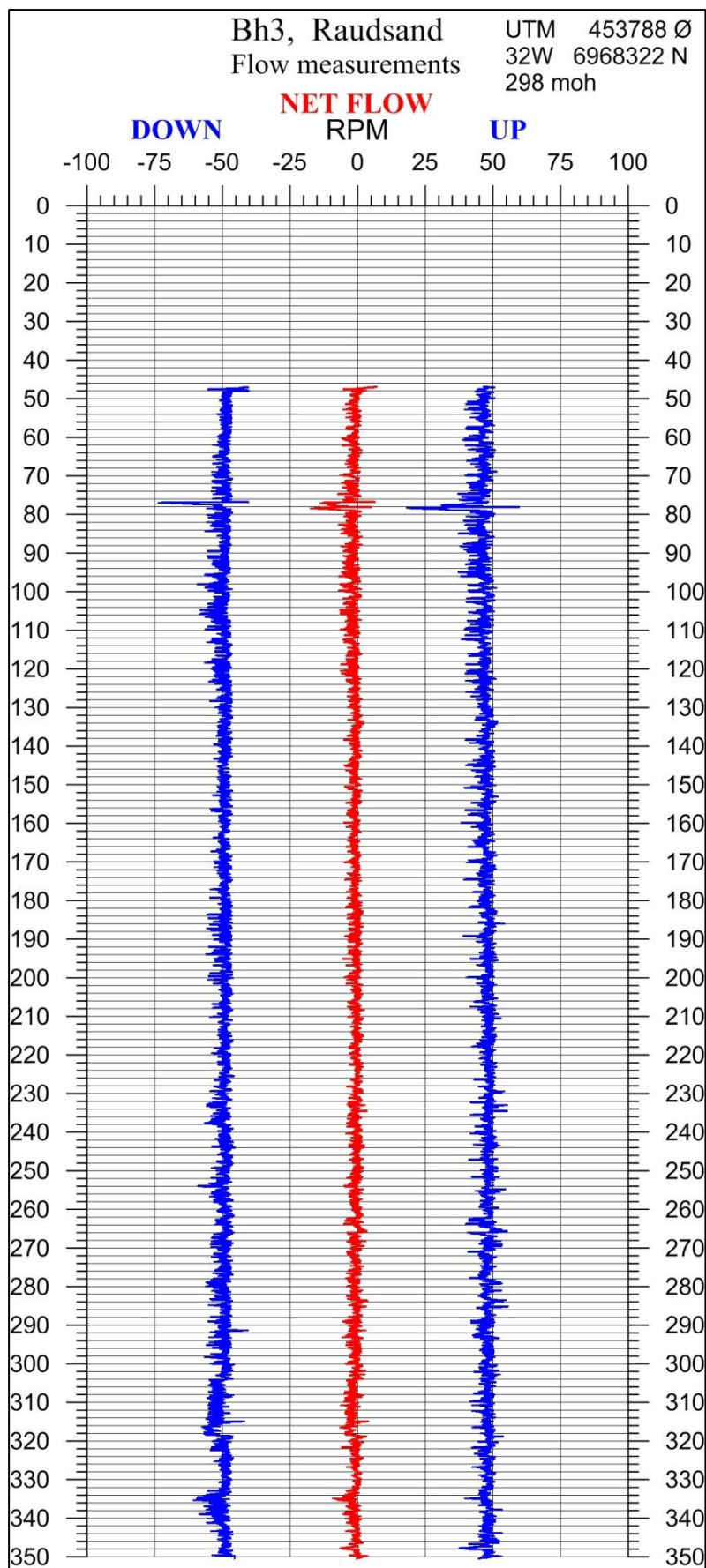
De tre borehullene som ble prøvepumpet viste normale kapasiteter for de bergartene en finner ved Raudsand. Bh2 gav 900 l/t, Bh3 600 l/t mens Bh5 ikke gav mer enn 170 l/t. Medianverdi for brønner i diorittisk til granittisk gneis lik berggrunnen i undersøkelsesområdet ligger på i underkant av 500 l/t (Gundersen & deBeer 2009). Strømningsmåling i tre av borehullene (Bh2, Bh3 og Bh5) viser moderate vanninnslag på flere nivå. Generelt kan en si at brønnene gir lite vann på dyp ned mot det planlagte nivået for deponihallene.



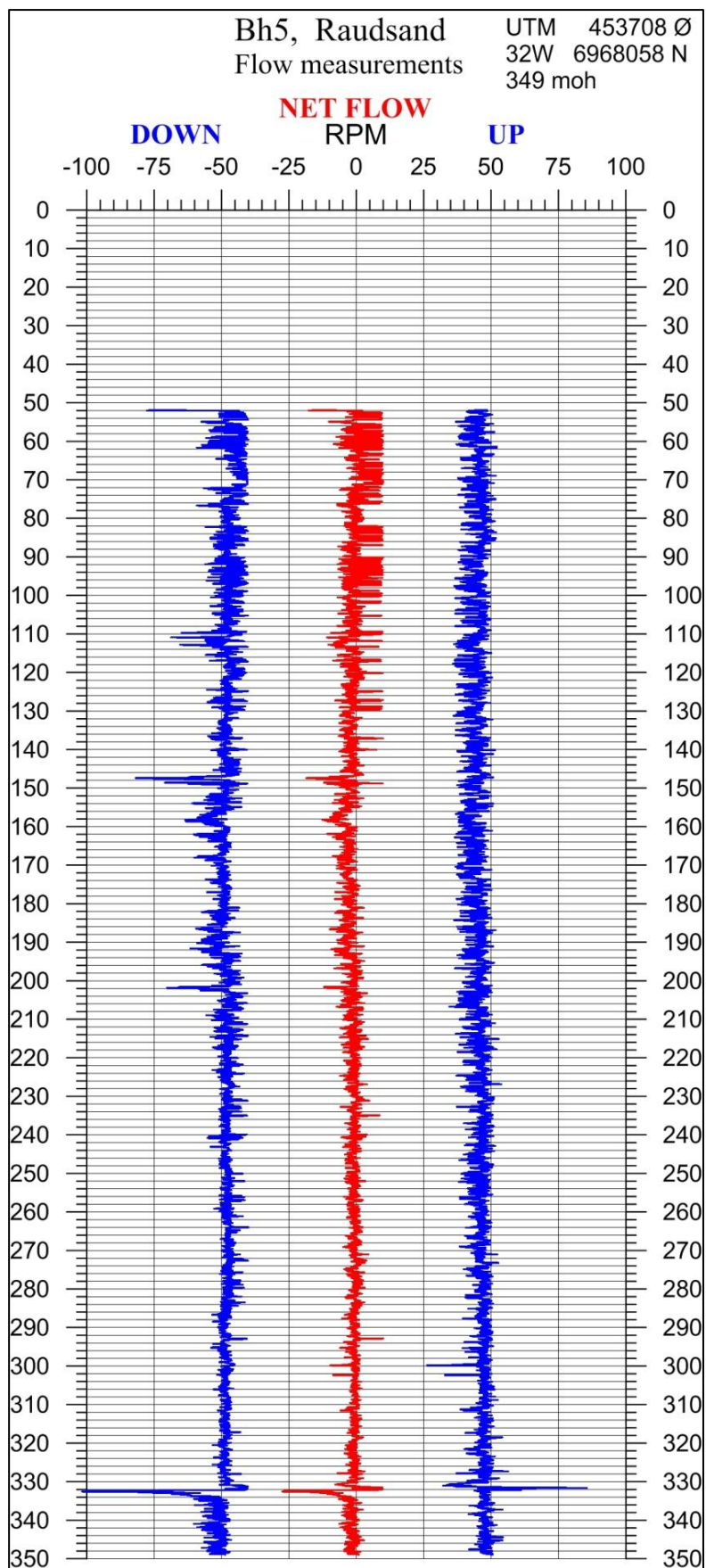
Figur 19: Strømningsmåling i Bh1. Netto vannstrøm er vist med rødt.



Figur 20: Strømningsmåling i Bh2. Netto vannstrøm er vist med rødt.



Figur 21: Strømningsmåling i Bh3. Netto vannstrøm er vist med rødt.



Figur 22: Strømningsmåling i Bh5. Netto vannstrøm er vist med rødt.

7.3 Vannprøvetaking og kjemiske analyser

I alle brønner, unntatt Bh4, er det tatt vannprøver på bestemte dyp. Prøvedyp ble bestemt ut fra observerte sprekker på bildelogg fra optisk televiewer og fra resultatet av strømningsmålingene i samråd med oppdragsgiver og oppdragsgivers konsulent på grunnvann i fjell. Prøvetakingen i Bh1 ble foretatt under naturlig strømming i borehullet, mens i de tre andre borehullene (Bh2, Bh3 og Bh5) ble prøvetakingen foretatt i kombinasjon med pumping. Dette for om mulig å sikre at det ble prøvetatt vann som ble trukket ut av sprekke i berget og ikke tilfeldig vann som har rent ned i borehullene.

Vannprøvetaking ble utført med en prøvetaker som ved hjelp av loggevinsjen senkes ned til ønsket dyp. På vei ned strømmer vann gjennom prøvetakeren (åpent rør). Når dypet er nådd, låses ca. 1 liter vann i røret som da heises opp. Behandling av vannprøvene i felt ble utført etter de samme prosedyrer som benyttes ved NGUs prøvetaking for Landsomfattende mark- og grunnvannsnett (LGN) beskrevet i vedlegg 5. Vannet ble filtrert og deretter ble pH, vannets elektriske ledningsevne og alkalitet målt på stedet for hver prøve. Disse instrumentene ble benyttet ved feltmålingene:

pH-meter: Mini-Lab, ISFET pH Meter, modell IQ125

Alkalitet: Merck, MColortest TM, Alkalinity Test.

Det ble ikke foretatt måling av løst oksygen i grunnvannet fordi det ikke var mulig å skjerme prøvene for kontakt med luft under prøvetakingen. Vannet ble så tappet på standard prøveflasker, som ble merket og oppbevart kjølig før de ble levert laboratorium for analyse.

Tabell 7 viser resultatet av de fysikalske målingene av pH, ledningsevne og alkalitet målt på prøvene i felt.

Tabell 7: Feltmålinger – grunnvannsprøver fra Raudsand. Måling av pH, elektrisk ledningsevne og alkalitet i felt.

Vannprøve nr.	Borehull	Prøvedyp (m)	pH	Elektrisk ledningsevne $\mu\text{S/cm}$	Alkalitet mmol/l	Merknad
1	2	85	7.8	210	1.6	Svak metallsmak
2	2	126	7.7	207	1.9	
3	2	165	8.0	206	2.0	
4	2	261	7.9	204	1.9	
5	2	295	7.9	200	2.0	
6	3	77	8.3	219	2.3	
7	3	239	8.3	220	2.2	
8	3	340	8.1	217	2.1	
9						Blankprøve av MILLI-Q vann
10	5	53	7.8	201	1.9	Ingen lukt/smak
11	5	109	7.4	196.4	1.8	Ingen lukt/god smak
12	5	220	7.4	202	1.8	Ingen lukt/god smak
13	5	329	7.5	204	2	
14	1	87	6.6	108.9	0.6	
15	1	185	6.6	131	0.7	
16	1	230	6.7	137.5	0.9	

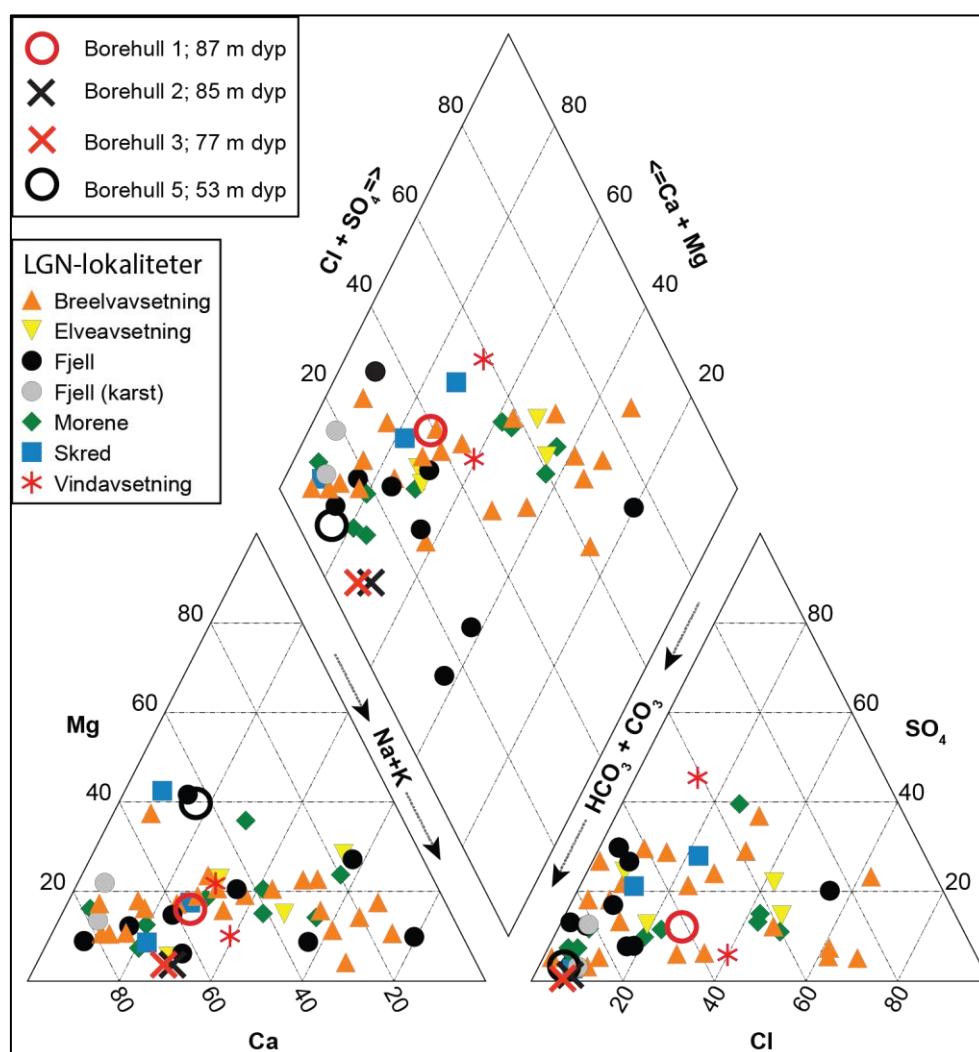
Prøvene fra Raudsand og en blankprøve (nr. 9) ble analysert på følgende parametre ved Analysesenteret Trondheim Kommune og NGU-lab.:

- Fysikalske analyser (ufiltrert prøve): pH, ledningsevne, alkalitet, turbiditet, fargetall. Analysert ved Analysesenteret, Trondheim kommune.
- Anioner, analysert på IC (filtrert prøve): F^- , Cl^- , NO_2^- , Br^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} (mg/l). Analysert ved NGU-lab. Analyserapport 2017.0057.
- Kationer, analysert på ICP-AES (filtrert og surgjort): 32 elementer (mg/l). Analysert ved NGU-lab. Analyserapport 2017.0057

Rapport fra Analysesenteret er lagt ved som Vedlegg 2, side 1 til side 4.

Resultatene fra anion og kationanalyser ved NGU-lab er lagt ved som Vedlegg 3.

I Figur 23 er utvalgte representative vannanalyser fra de fire borehullene ved Raudsand plottet i Piper-diagram sammen med analysedata fra over 50 LGN-lokaliteter (Landomfattende mark- og grunnvannsnett). Vannkjemien ved Raudsand skiller seg på ingen måte ut fra hva som er normale naturlige bakgrunnsverdier i grunnvann i fjell og løsmasser. Vannprøven fra Bh1 plotter forholdsvis høyt på $Cl+SO_4$ -aksen, men vannkjemien skiller seg ikke ut fra hva som er naturlige bakgrunnsverdier for grunnvann i Norge.



Figur 23: Vannanalyser fra Raudsand plottet i piperdiagram sammen med analysedata fra LGN (Landsomfattende mark og grunnvannsnett).

7.4 Sammenligning av analyseverdier.

I tabell 8 sammenlignes resultatene fra fysikalske data (pH, ledningsevne og alkalitet) fra feltmålinger, laboratorieanalyser og brønnlogging (ikke alkalitet).

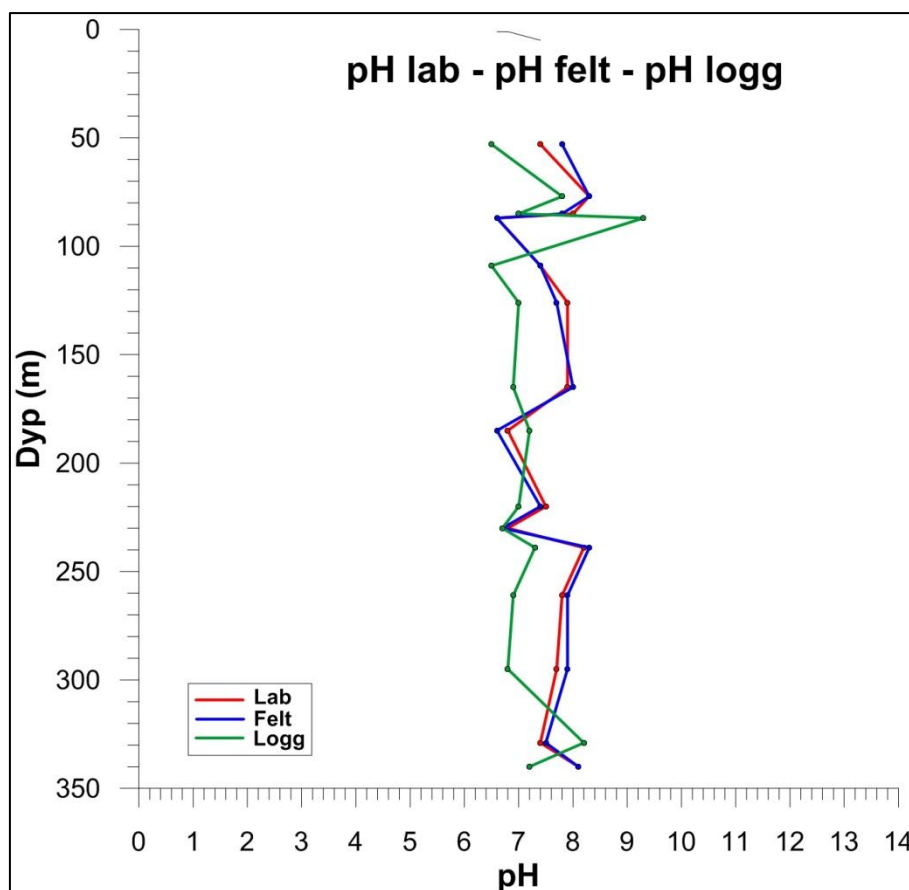
Tabell 8: Resultater pH, ledningsevne, alkalitet fra felt, Analysesenteret (Lab) og logging.

BH nr	Dyp (m)	pH Felt	pH Lab	pH Logg	Ledn. evne Felt (µS/cm)	Ledn. evne Lab (µS/cm)	Ledn. evne Logg µS/cm)	Alkalitet Felt (mmol/l)	Alkalitet Lab (mmol/l)
2	85	7.8	8.0	7.0	210	207	143	1.6	1.9
2	126	7.7	7.9	7.0	207	203	137	1.9	1.9
2	165	8.0	7.9	6.9	206	202	133	2.0	1.9
2	261	7.9	7.8	6.9	204	200	125	1.9	1.9
2	295	7.9	7.7	6.8	200	196	124	2.0	1.8
3	77	8.3	8.3	7.8	219	222	180	2.3	2.1
3	239	8.3	8.2	7.3	220	219	155	2.2	2.1
3	340	8.1	8.1	7.2	217	214	147	2.1	2.0
5	53	7.8	7.4	6.5	201	203	161	1.9	1.9
5	109	7.4	7.4	6.5	196.4	198	171	1.8	1.9
5	220	7.4	7.5	7.0	202	207	183	1.8	2.0
5	329	7.5	7.4	8.2	204	204	192	2	1.9
1	87	6.6	6.6	9.3	108.9	108	80	0.6	0.59
1	185	6.6	6.8	7.2	131	130	97	0.7	0.81
1	230	6.7	6.8	6.7	137.5	136	106	0.9	0.86

Denne sammenligningen viser at alle analyser i felt og laboratorieanalyser stemmer godt overens. pH og elektrisk ledningsevne målt med vannkvalitetslogg i borehullene ligger noe lavere enn analyseverdiene fra felt og laboratorium. Dette kan skyldes en systematisk målefeil, men kan også skyldes at det er målt på forskjellig vannkvaliteter. Vannkvalitetsloggingen ble foretatt rett etter boring mens de kjemiske analysene er utført på vann som ideelt sett er nettopp pumpet ut av fjellet. Det er derfor ikke direkte sammenlignbare verdier.

I Figur 24 er pH målt på de tre forskjellige metodene sammenlignet. Måleverdier analysert i felt og på laboratorium følger hverandre relativt bra. Logget pH ligger generelt noe lavere enn analysert, og følger i hovedsak de samme trendene. Prøve nr. 4 (Bh1-87m), nr. 8 (Bh1 – 185 m) og prøve nr. 15 (Bh5 – 329) er de som avviker i trend. pH loggen fra Bh1 viser uvanlig forløp med spesielt høy pH øverst i borehullet og kan som nevnt skyldes innlekkasje av forurenset sigevann fra deponi i området.

Uansett forløp og forskjellig nivå, analysert pH på prøver fra borehullene 2, 3 og 5 som alle ligger i det planlagte hallområdet og hvor vann ble pumpet ut av sprekker i berget, viser pH-verdier større enn 7,4. Alle tre prøvene fra Bh1 utenfor hallområdet og hvor det også ble antydnet sulfidmineralisering, viser analysert pH i området 6,6 til 6,8. Ingen pH-verdier er alarmerende lave.



Figur 24: Sammenligning av alle pH-verdier analysert i lab, analysert i felt og målt ved logging. Dyp angir respektive dyp i alle borehull.

8. KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER

Som et ledd i forundersøkelser for etablering av et spesialdeponi for uorganisk avfall ved Raudsand har NGU utført geofysiske målinger fra helikopter (Ofstad 2016). I en tolkingsrapport fra denne undersøkelsen (Rønning m.fl. 2017) ble det fokusert på mulighetene for hittil ukjente jernmalmforekomster, mulig dypforvitringssone som kunne skape problemer ved etablering av lagringshaller, sulfider som kunne forsure grunnvannet og radioaktive elementer som kunne påvirke arbeidsmiljø. I tillegg var det av interesse å studere berggrunnsgeologien og bergmassekvaliteten generelt i området samt grunnvannets opptreden og kjemi. Det ble boret i alt 5 borehull (brønner med diameter 14 cm) og de fleste av disse ble logget geofysisk og med optisk televiewer (OPTV), det ble utført prøvepumping samtidig med strømningsmåling, og grunnvannet ble prøvetatt og analysert.

Berggrunnsgeologien i området er noe mer nyansert enn det NGU kjente til på forhånd. En finner imidlertid igjen de samme bergartene; en grå gneis, en rødlig gneis, amfibolitt og en ny til nå **ukjent jernmalm** ble påtruffet i to av borehullene. I tillegg er det mulig å skille ut en grå gneis med rødlig bånd. Forløpet av den nye jernmalmen fra overflaten og med skjæring i to borehull indikerer liten utstrekning mot dypet. Utstrekningen kan bestemmes mer nøyaktig med modellering der en benytter målt magnetfelt fra helikopter og magnetisk susceptibilitet målt i borehull.

En mulig **dypforvittringssone** tolket ut fra de magnetiske helikoptermålingene gjenfinnes i to av borehullene. Sonen gir klare avvik på resistiviteten og den magnetiske susceptibiliteten, men gir ikke vesentlig redusert seismisk hastighet. Etter standard tolkingsmetode (Barton 2007) kan bergmassekvaliteten i denne sonen karakteriseres som god.

Større **sulfidmineraliseringer** kunne ikke påvises ved helikoptermålingene. Kombinasjonen av IP-målinger (Indusert Polarisasjon), SP (Selv-Potensial), resistivitet (invers av elektrisk ledningsevne) og magnetiske egenskaper målt i borehullene indikerer en enkelt sone i de fire analyserte borehullene som kan skyldes mindre mengder sulfider. Ut over dette er det ikke påvist sulfider i målbare mengder.

Radioaktiviteten i de analyserte borehullene viser relativt lavt og normalt nivå for de aktuelle bergartene. To soner med uraninnhold på ca. 400 og 200 ppm opptrer, men tykkelsen av disse sonene er et fåtalls dm. De er så tynne at de ikke kan påvirke arbeidsmiljøet, og de ligger dessuten høyt over de planlagte deponihallene.

Bergmassekvaliteten generelt må betraktes som god. Seismisk p-bølgehastighet og resistivitet ligger jevnt over høyt, men det påvises stedvis svakhetssoner med lavere verdier. Sprekkefrekvensen er stedvis relativt høy, men den synes å avta mot dypet. I nivå med deponihallene er sprekefrekvensen klart lavere enn 1 sprekk pr. meter målt i tre borehull.

Prøvepumping av tre av de fem borehullene viser normal og til dels lav **vanngiverevne** i berget. Strømningsmåling indikerer stedvis mindre vanninnslag. De største vanninnslagene ligger alle over eller til side for de planlagte deponihallene.

Vannkvalitetslogging (elektrisk ledningsevne, pH og Eh) viser normalt lav elektrisk ledningsevne i vannet og pH varierer rundt 7. Analyse av vannprøver viser imidlertid at loggingen viser for lave verdier og grunnvannet må karakteriseres som svakt basisk.

Temperaturen i hallnivå vil ligge mellom 10 og 11 °C.

Vannkjemien viser lave konsentrasjoner av både anioner og kationer, noe som også avspeiles i vannets lave elektriske ledningsevne.

Ut fra de data som foreligger nå, ser ikke NGU at geologiske forhold vil skape problemer med å etablere et deponi for uorganisk farlig avfall i fjellhaller vest for den gamle jernmalmgruva ved Raudsand.

9. REFERANSER

Barton, N. 2007: Rock quality, seismic velocity, attenuation and anisotropy. Taylor & Francis Group, London UK.

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

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

Elvebakk, H. 2017: Logging av 5 borehull ved Raudsand, Nesset kommune, Møre og Romsdal. NGU Rapport 2017.020.

Fredin, O., G. Viola, et al. 2017: The inheritance of a Mesozoic landscape in western Scandinavia. *Nature Communications* **8**: 14879.

Gundersen, P. & DeBeer, H. 2009: Statistisk vannanalyse i forskjellige bergarter. ForForUT deloppgave 3. Statusrapport 2009. NGU Rapport 2009.066, (9 s., 7 bilag).

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

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

Rønning, J.S., Baranwal, V.C & Ofstad, F. 2016: Grunnundersøkelser ved Raudsand, Nesset kommune i Møre og Romsdal. Resultater fra helikoptermålinger og forslag til videre undersøkelser. NGU Rapport 2016.043 (19 s.).

Vedlegg 1 side 1: Løpenumer, NGU prøvenummer, Borehullsnummer og dyp for prøver fra Raudsand.

Løpenr.	NGU prøvenr.	Prøve-ID
1	136761	Bh2 - 85 m
2	136762	Bh2 - 126 m
3	136763	Bh2 - 165 m
4	136764	Bh2 - 261 m
5	136765	Bh2 - 295 m
6	136766	Bh3 - 77 m
7	136767	Bh3 - 239 m
8	136768	Bh3 - 340 m
9	136769	Blankprøve
10	136770	Bh5 - 53 m
11	136771	Bh5 - 109 m
12	136772	Bh5 - 220 m
13	136773	Bh5 - 329 m
14	136774	Bh1 - 87 m
15	136775	Bh1 - 185 m

Vedlegg 2: Analyserapport fra Analysesenteret Trondheim Kommune, fysikalske egenskaper.

Vedlegg 3: Analyserapport fra NGU-lab, anioner og kationer.

Vedlegg 4: Bilde av bergarter ved Rausand, i felt og på filmopptak med Optisk televiewer.

Vedlegg 5: Protokoll for prøvetaking og feltmålinger (LGN-prøvetaking).



NGU
Norges Geologiske undersøkelse
Postboks 6315 Sluppen
7491 TRONDHEIM
v/Øystein Jæger

Dato: 24.03.2017
Prøve: 2017-1499
ver 1

ANALYSERESULTATER

Ordre: Prosj: 373900

Prøvene blir rapportert uten akkreditering fordi de er for gamle i forhold til de standardene vi bruker. Alkalitet på prøve 1-7 kan mulig være opp til 10% for høy. Dette er etter vurdering av vår kontrollprøve som endret seg fra første test til test etter disse. Det var for lite prøve til å reanalysere. Prøve 8-16 er kjørt etter ny start og ny kontrollprøve som gir vår normalverdi. eip 22.03.2017

Prøvemottak: 21.03.17

Analyseperiode: 21.03.17 - 24.03.17

2017-1499-1 Grunnvann

Tatt ut: 14.03.17
Referansenr: 136761

Kundemerking: BH 2 - 85 m

Parameter	Metode	Resultat	Enhet
•pH,surhetsgrad	NS-EN ISO 10523	8,0	
•Temperatur ved pH-måling		23,3	°C
•Fargetall, 410 nm	ISO 7887:2011	2	
•Konduktivitet	NS ISO 7888	20,7	mS/m
•Turbiditet	NS-EN ISO 7027	24	NTU
•Alkalitet	Intern metode	1,9	mmol/l

2017-1499-2 Grunnvann

Tatt ut: 14.03.17
Referansenr: 136762

Kundemerking: BH 2 - 126 m

Parameter	Metode	Resultat	Enhet
•pH,surhetsgrad	NS-EN ISO 10523	7,9	
•Temperatur ved pH-måling		23,4	°C
•Fargetall, 410 nm	ISO 7887:2011	2	
•Konduktivitet	NS ISO 7888	20,3	mS/m
•Turbiditet	NS-EN ISO 7027	29	NTU
•Alkalitet	Intern metode	1,9	mmol/l

2017-1499-3 Grunnvann

Tatt ut: 15.03.17
Referansenr: 136763

Kundemerking: BH 2 - 165 m

Parameter	Metode	Resultat	Enhet
•pH,surhetsgrad	NS-EN ISO 10523	7,9	
•Temperatur ved pH-måling		23,5	°C
•Fargetall, 410 nm	ISO 7887:2011	2	
•Konduktivitet	NS ISO 7888	20,2	mS/m
•Turbiditet	NS-EN ISO 7027	5,2	NTU
•Alkalitet	Intern metode	1,9	mmol/l

Side 1 av 5

Postadresse
NO-7004 Trondheim
analyseSentret.postmottak@trondheim.kommune.no
www.trondheim.kommune.no/analyseSentret

Leder
Erik Lunde
Telefon +47 72 54 10 51

Telefon +47 72 54 10 30
Telefaks +47 72 54 10 31
Telefon Mikrobiologisk lab: +47 72 54 10 53
Telefon Kjemisk lab: +47 72 54 10 60



2017-1499-4 Grunnvann

Kundemerking: BH 2 - 261 m

Dato: 24.03.2017
Prøve: 2017-1499
ver 1
Tatt ut: 15.03.17
Referanse nr: 136764

Parameter	Metode	Resultat	Enhet
•pH,surhetsgrad	NS-EN ISO 10523	7,8	
•Temperatur ved pH-måling		23,5	°C
•Fargetall, 410 nm	ISO 7887:2011	4	
•Konduktivitet	NS ISO 7888	20,0	mS/m
•Turbiditet	NS-EN ISO 7027	13	NTU
•Alkalitet	Intern metode	1,9	mmol/l

2017-1499-5 Grunnvann

Kundemerking: BH 2 - 295 m

Tatt ut: 15.03.17
Referanse nr: 136765

Parameter	Metode	Resultat	Enhet
•pH,surhetsgrad	NS-EN ISO 10523	7,7	
•Temperatur ved pH-måling		23,5	°C
•Fargetall, 410 nm	ISO 7887:2011	4	
•Konduktivitet	NS ISO 7888	19,6	mS/m
•Turbiditet	NS-EN ISO 7027	6,6	NTU
•Alkalitet	Intern metode	1,8	mmol/l

2017-1499-6 Grunnvann

Kundemerking: BH 3 - 77 m

Tatt ut: 15.03.17
Referanse nr: 136766

Parameter	Metode	Resultat	Enhet
•pH,surhetsgrad	NS-EN ISO 10523	8,3	
•Temperatur ved pH-måling		23,6	°C
•Fargetall, 410 nm	ISO 7887:2011	1	
•Konduktivitet	NS ISO 7888	22,2	mS/m
•Turbiditet	NS-EN ISO 7027	22	NTU
•Alkalitet	Intern metode	2,1	mmol/l

2017-1499-7 Grunnvann

Kundemerking: BH 3 - 239 m

Tatt ut: 15.03.17
Referanse nr: 136767

Parameter	Metode	Resultat	Enhet
•pH,surhetsgrad	NS-EN ISO 10523	8,2	
•Temperatur ved pH-måling		23,6	°C
•Fargetall, 410 nm	ISO 7887:2011	1	
•Konduktivitet	NS ISO 7888	21,9	mS/m
•Turbiditet	NS-EN ISO 7027	1,0	NTU
•Alkalitet	Intern metode	2,1	mmol/l

2017-1499-8 Grunnvann

Kundemerking: BH 3 - 340 m

Tatt ut: 15.03.17
Referanse nr: 136768

Parameter	Metode	Resultat	Enhet
•pH,surhetsgrad	NS-EN ISO 10523	8,1	
•Temperatur ved pH-måling		22,9	°C
•Fargetall, 410 nm	ISO 7887:2011	1	
•Konduktivitet	NS ISO 7888	21,4	mS/m
•Turbiditet	NS-EN ISO 7027	10	NTU
•Alkalitet	Intern metode	2,0	mmol/l

Side 2 av 5

Postadresse
NO-7004 Trondheim
analysecenteret.postmottak@trondheim.kommune.no
www.trondheim.kommune.no/analysecenteret

Leder
Erik Lunde
Telefon +47 72 54 10 51

Telefon +47 72 54 10 30
Telefaks +47 72 54 10 31
Telefon Mikrobiologisk lab: +47 72 54 10 53
Telefon Kjemisk lab: +47 72 54 10 60



TRONDHEIM
KOMMUNE



ANALYSESENTERET
vann mat miljø luft

Dato: 24.03.2017
Prøve: 2017-1499
ver 1

2017-1499-9 Vann, generelt

Tatt ut: 16.03.17
Referansenr.: 136769

Kundemerking: Blankprøve

Parameter	Metode	Resultat	Enhet
•pH, surhetsgrad	NS-EN ISO 10523	5,8	
•Temperatur ved pH-måling		23,0	°C
•Fargetall, 410 nm	ISO 7887:2011	<1	
•Konduktivitet	NS ISO 7888	0,2	mS/m
•Turbiditet	NS-EN ISO 7027	0,16	NTU
•Alkalitet	Intern metode	<0,02	mmol/l

2017-1499-10 Grunnvann

Tatt ut: 16.03.17
Referansenr.: 136770

Kundemerking: BH 5 - 53 m

Parameter	Metode	Resultat	Enhet
•pH, surhetsgrad	NS-EN ISO 10523	7,4	
•Temperatur ved pH-måling		23,0	°C
•Fargetall, 410 nm	ISO 7887:2011	<1	
•Konduktivitet	NS ISO 7888	20,3	mS/m
•Turbiditet	NS-EN ISO 7027	1,7	NTU
•Alkalitet	Intern metode	1,9	mmol/l

2017-1499-11 Grunnvann

Tatt ut: 16.03.17
Referansenr.: 136771

Kundemerking: BH 5 - 109 m

Parameter	Metode	Resultat	Enhet
•pH, surhetsgrad	NS-EN ISO 10523	7,4	
•Temperatur ved pH-måling		23,1	°C
•Fargetall, 410 nm	ISO 7887:2011	<1	
•Konduktivitet	NS ISO 7888	19,8	mS/m
•Turbiditet	NS-EN ISO 7027	2,1	NTU
•Alkalitet	Intern metode	1,9	mmol/l

2017-1499-12 Grunnvann

Tatt ut: 16.03.17
Referansenr.: 136772

Kundemerking: BH 5 - 220 m

Parameter	Metode	Resultat	Enhet
•pH, surhetsgrad	NS-EN ISO 10523	7,5	
•Temperatur ved pH-måling		23,3	°C
•Fargetall, 410 nm	ISO 7887:2011	<1	
•Konduktivitet	NS ISO 7888	20,7	mS/m
•Turbiditet	NS-EN ISO 7027	3,0	NTU
•Alkalitet	Intern metode	2,0	mmol/l

2017-1499-13 Grunnvann

Tatt ut: 16.03.17
Referansenr.: 136773

Kundemerking: BH 5 - 329 m

Parameter	Metode	Resultat	Enhet
•pH, surhetsgrad	NS-EN ISO 10523	7,4	
•Temperatur ved pH-måling		23,4	°C
•Fargetall, 410 nm	ISO 7887:2011	1	
•Konduktivitet	NS ISO 7888	20,4	mS/m
•Turbiditet	NS-EN ISO 7027	15	NTU
•Alkalitet	Intern metode	1,9	mmol/l

Side 3 av 5

Postadresse
NO-7004 Trondheim
analyse@trondheim.kommune.no
www.trondheim.kommune.no/analysecenteret

Leder
Erik Lunde
Telefon +47 72 54 10 51

Telefon +47 72 54 10 30
Telefaks +47 72 54 10 31
Telefon Mikrobiologisk lab: +47 72 54 10 53
Telefon Kjemisk lab: +47 72 54 10 60



2017-1499-14 **Grunnvann** Dato: 24.03.2017
Kundemerking: BH 1 - 87 m Prøve: 2017-1499
Tatt ut: 17.03.17 ver 1
Referansenr: 136774

Parameter	Metode	Resultat	Enhet
•pH, surhetsgrad	NS-EN ISO 10523	6,6	
•Temperatur ved pH-måling		23,3	°C
•Fargetall, 410 nm	ISO 7887:2011	15	
•Konduktivitet	NS ISO 7888	10,8	mS/m
•Turbiditet	NS-EN ISO 7027	0,96	NTU
•Alkalitet	Intern metode	0,59	mmol/l

2017-1499-15 **Grunnvann** Tatt ut: 17.03.17
Kundemerking: BH 1 - 185 m Referansenr: 136775

Parameter	Metode	Resultat	Enhet
•pH, surhetsgrad	NS-EN ISO 10523	6,8	
•Temperatur ved pH-måling		23,1	°C
•Fargetall, 410 nm	ISO 7887:2011	15	
•Konduktivitet	NS ISO 7888	13,0	mS/m
•Turbiditet	NS-EN ISO 7027	0,99	NTU
•Alkalitet	Intern metode	0,81	mmol/l

2017-1499-16 **Grunnvann** Tatt ut: 17.03.17
Kundemerking: BH 1 - 230 m Referansenr: 136776

Parameter	Metode	Resultat	Enhet
•pH, surhetsgrad	NS-EN ISO 10523	6,8	
•Temperatur ved pH-måling		23,1	°C
•Fargetall, 410 nm	ISO 7887:2011	13	
•Konduktivitet	NS ISO 7888	13,6	mS/m
•Turbiditet	NS-EN ISO 7027	0,99	NTU
•Alkalitet	Intern metode	0,86	mmol/l

* Laboratoriet er ikke akkreditert for denne analysen

< betyr: Mindre enn

Målesikkerhet: Vi henviser til www.trondheim.kommune.no/analysesenteret eller ved henvendelse til laboratoriet.
Resultatene gjelder bare for prøvene i rapporten. Rapporten må ikke gjengis i utdrag uten skriftlig tillatelse.

Med hilsen

Arne M. Jensen
Arne Magnus Jensen
Fagleder
72 54 10 64

Kjell Morten Denstad
Kjell Morten Denstad
Assisterende Fagleder
72 54 10 65

Kopi til
NGU, Øystein Jæger, 7491 TRONDHEIM, v/Øystein Jæger (E-mail)

Side 4 av 5

Postadresse	Leder	Telefon	+47 72 54 10 30
NO-7004 Trondheim	Erik Lund	Telefaks	+47 72 54 10 31
analysesenteret.postmottak@trondheim.kommune.no	Telefon +47 72 54 10 51	Telefon Mikrobiologisk lab:	+47 72 54 10 53
www.trondheim.kommune.no/analysesenteret		Telefon Kjemisk lab:	+47 72 54 10 60

INSTRUMENT: Dionex Ionkromatograf ICS-1100
METODE: Metodeoppsettet er beskrevet i NGU-SD 3.4: IC-analyse av anioner

NEDRE BESTEMMELSESRENSER (LLQ) OG ANALYSEUSIKKERHETER (1 mg/l = 1 ppm):

	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ^{-*}	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻
LLQ, mg/l:	0.05	0.1	0.1	0.1	0.25	0.4	0.2
INFO: laveste måleområde, mg/l	0.05 – 1.0	0.10 – 1.0	0.10 – 1.0	0.10 – 1.0	0.25 – 2.5	0.40 – 4.0	0.20 – 2.0
Usikkerhet (laveste måleområdet)	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %
INFO: høyeste måleområde, mg/l	1.0 – 2.0	1.0 – 8.0	1.0 – 8.0	1.0 – 8.0	2.5 – 20	4.0 – 20	2.0 – 20
Usikkerhet (høyeste måleområde)	10 %	10 %	10 %	10 %	10 %	10 %	10 %

Oppgitte usikkerheter har dekningsfaktor 2 (2 standardavvik), noe som tilsvarer et konfidensintervall på 95 %.

*) NGU-lab er ikke akkreditert for NO₂⁻

PRESISJON : Det analyseres rutinemessig kontrollprøver som føres i kontrolldiagram (X-diagram). Disse kan forevises om ønskelig.

Prøve ID	F ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	Br ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	PO ₄ ³⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l
Bh2 - 85 m	0.639	5.22	<0.1	<0.1	<0.25	<0.4	1.20
Bh2 - 126 m	0.645	5.18	<0.1	<0.1	<0.25	<0.4	1.13
Bh2 - 165 m	0.663	5.16	<0.1	<0.1	<0.25	<0.4	1.06
Bh2 - 261 m	0.758	5.08	<0.1	<0.1	<0.25	<0.4	0.961
Bh2 - 295 m	0.762	5.11	<0.1	<0.1	<0.25	<0.4	1.03
Bh3 - 77 m	0.669	5.12	<0.1	<0.1	<0.25	<0.4	0.893
Bh3 - 239 m	0.661	5.01	<0.1	<0.1	<0.25	<0.4	0.885
Bh3 - 340 m	0.657	4.97	<0.1	<0.1	<0.25	<0.4	0.880
Blankprøve	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.25	<0.4	<0.2
Bh5 - 53 m	0.114	5.06	<0.1	<0.1	<0.25	<0.4	1.35
Bh5 - 109 m	0.117	4.95	<0.1	<0.1	<0.25	<0.4	1.35
Bh5 - 220 m	0.122	4.96	<0.1	<0.1	<0.25	<0.4	1.35
Bh5 - 329 m	0.138	4.94	<0.1	<0.1	<0.25	<0.4	1.36
Bh1 - 87 m	0.0565	8.59	<0.1	<0.1	0.525	<0.4	6.91
Bh1 - 185 m	0.0632	8.28	<0.1	<0.1	0.475	<0.4	8.29
Bh1 - 230 m	0.0642	8.27	<0.1	<0.1	0.469	<0.4	8.57

NGU Rapport 2017.024
Vedlegg 3 side 1

Utdrag av NGU Analyserapport
2017.0057: Anionanalyser



7491 TRONDHEIM
Tlf.: 73 90 40 00
Telefaks: 73 92 16 20

ICP-AES ANALYSER
VANN
ANALYSEKONTRAKTNR. 2014.0121



INSTRUMENT: ICP-AES type Perkin Elmer Optima 4300 Dual View

METODE: Metodoppsettet er beskrevet i NGU-SD 3.1: ICP-AES -analyse av vann

NEDRE BESTEMMELSESGRENSER (LLQ) OG HØYESTE MÅLEOMRÅDE VED VANNANALYSER

(For vannprøver som fortynnes blir deteksjonsgrensene automatisk omregnet)

(1 mg/l = 1 ppm)

	Si	Al	Fe	Ti	Mg	Ca	Na	K	Mn	P	Cu	Zn	Pb	Ni	Co	V		
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		
LLQ	0.02	0.02	0.002	0.001	0.05	0.02	0.05	0.5	0.001	0.05	0.005	0.002	0.005	0.005	0.001	0.005		
Høyeste målegrense	5	50	50	5	100	100	250	20	5	10	5	5	5	5	5	5		
	Mo	Cd	Cr	Ba	Sr	Zr	Ag	B	Be	Li	Sc	Ce	La	Y	As	Sb	(Se)	(Sn)
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
LLQ	0.005	0.0005	0.002	0.002	0.001	0.002	0.005	0.02	0.001	0.005	0.001	0.02	0.005	0.001	0.01	0.005	0.01	0.01
Høyeste målegrense	5	10	50	5	5	5	1	5	5	5	5	5	5	5	20	5	10	10

ANALYSEUSIKKERHET:

NB! Analyse for Se og Sn leveres kun på forespørsel.

i) Nedre måleområde (LLQ - 5*LLQ):

± 50 rel. %: As, Sb (Se, Sn) ± 37.5 rel. %: K, Pb

± 25 rel. %: Ag, Al, B, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, La, Li, Mg, Mo, Mn, Na, Ni, P, Si, Sc, Sr, Ti, V, Y, Zn, Zr

ii) Øvre måleområde (> 5*LLQ):

± 20 rel. %: As, Sb (Se, Sn) ± 15 rel. %: K, Pb

± 10 rel. %: Ag, Al, B, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, La, Li, Mg, Mo, Mn, Na, Ni, P, Si, Sc, Sr, Ti, V, Y, Zn, Zr

Oppgitte usikkerheter har dekningsfaktor 2 (2 standardavvik), noe som tilsvarer et konfidensintervall på 95 %

NB! I området LLQ - 2*LLQ kan usikkerheten overstige gitt verdi.

PREVISJON:

Det analyseres rutinemessig kontrollprøver som føres i kontrolldiagram (X-diagram). Disse kan forevises om ønskelig.



7491 TRONDHEIM
Tlf.: 73 90 40 00
E-post: lab@ngu.no



Prøve ID	Si [mg/L]	Al [mg/L]	Fe [mg/L]	Ti [mg/L]	Mg [mg/L]	Ca [mg/L]	Na [mg/L]	K [mg/L]	Mn [mg/L]	P [mg/L]	Cu [mg/L]	Zn [mg/L]	Pb [mg/L]	Ni [mg/L]	Co [mg/L]	V [mg/L]
BH 2 - 85 m	4.16	<0.02	0.284	<0.001	1.33	28.2	12.2	0.98	0.0453	<0.05	<0.005	0.138	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
BH 2 - 126 m	3.74	<0.02	0.296	<0.001	1.37	28.2	11.8	1.05	0.0560	<0.05	<0.005	0.196	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
BH 2 - 165 m	3.62	<0.02	0.391	<0.001	1.38	27.8	11.8	1.00	0.0625	<0.05	<0.005	0.155	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
BH 2 - 261 m	3.61	<0.02	0.409	<0.001	1.40	27.6	11.7	1.10	0.0696	<0.05	<0.005	0.127	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
BH 2 - 295 m	3.60	<0.02	0.569	<0.001	1.40	26.8	11.4	1.22	0.0769	<0.05	<0.005	0.108	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
BH 3 - 77 m	3.13	<0.02	0.0062	<0.001	1.41	31.7	13.2	0.94	0.0176	<0.05	<0.005	0.113	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
BH 3 - 239 m	2.98	<0.02	0.0055	<0.001	1.62	30.7	12.5	1.66	0.0285	<0.05	<0.005	0.0920	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
BH 3 - 340 m	2.94	<0.02	0.0369	<0.001	1.59	29.4	12.1	1.93	0.0326	<0.05	<0.005	0.0687	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
Blankprøve	<0.02	<0.02	<0.002	<0.001	<0.05	<0.02	<0.05	<0.5	<0.001	<0.05	<0.005	0.0035	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
BH 5 - 53 m	3.69	<0.02	0.0059	<0.001	9.98	17.7	6.79	2.31	0.831	<0.05	<0.005	0.236	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
BH 5 - 109 m	3.75	<0.02	0.0053	<0.001	10.2	15.9	6.55	2.56	0.974	<0.05	<0.005	0.169	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
BH 5 - 220 m	3.84	<0.02	0.0155	<0.001	9.53	17.6	6.99	2.59	0.851	<0.05	<0.005	0.163	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
BH 5 - 329 m	3.96	<0.02	0.0459	<0.001	8.59	19.1	7.10	2.85	0.739	<0.05	<0.005	0.159	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
BH 1 - 87 m	2.44	0.207	0.0497	0.0013	1.94	10.8	5.86	0.80	0.0255	<0.05	0.0073	0.133	<0.005	<0.005	0.0010	<0.005
BH 1 - 185 m	2.67	0.178	0.0472	0.0013	2.10	15.1	6.53	0.82	0.0421	<0.05	0.0089	0.198	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005
BH 1 - 230 m	2.81	0.143	0.0449	0.0011	2.07	16.3	6.79	0.86	0.0261	<0.05	0.0155	0.246	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005

Utdrag av NGU Analyserapport 2017.0057: Kationanalyser 1.

NGU Rapport 2017.024
Vedlegg 3 side 4



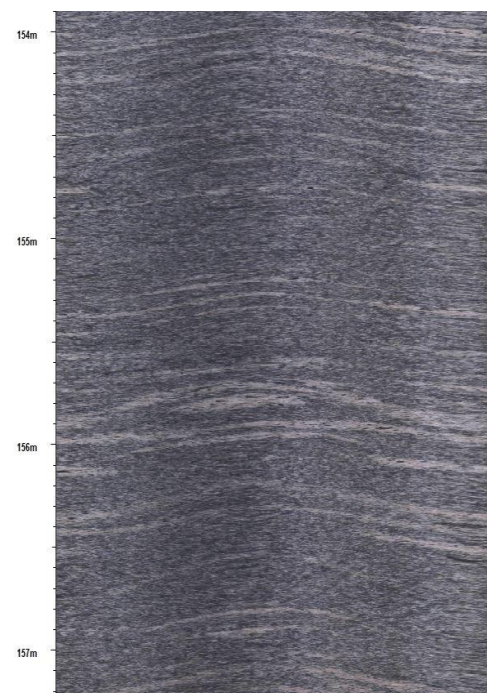
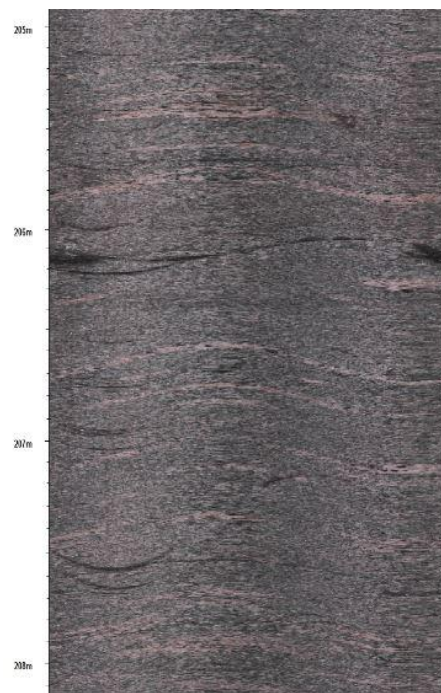
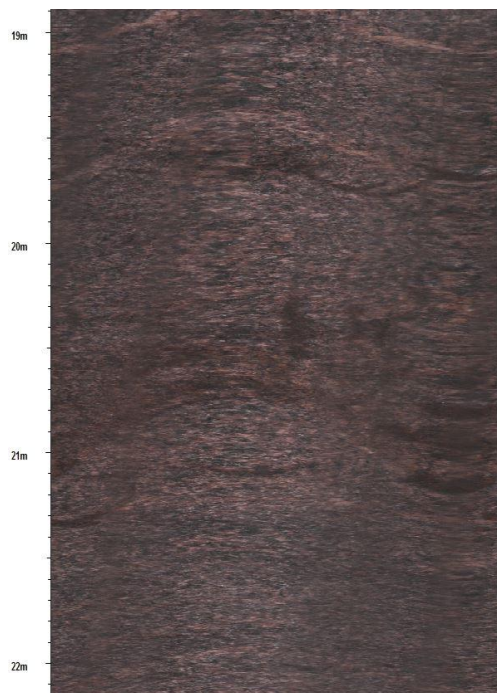
Prøve ID	Mo [mg/L]	Cd [mg/L]	Cr [mg/L]	Ba [mg/L]	Sr [mg/L]	Zr [mg/L]	Ag [mg/L]	B [mg/L]	Be [mg/L]	Li [mg/L]	Sc [mg/L]	Ce [mg/L]	La [mg/L]	Y [mg/L]	As [mg/L]	Sb [mg/L]
Bh2 - 85 m	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0175	0.337	<0.002	<0.005	<0.02	<0.001	0.0051	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
Bh2 - 126 m	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0176	0.329	<0.002	<0.005	<0.02	<0.001	<0.005	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
Bh2 - 165 m	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0182	0.320	<0.002	<0.005	<0.02	<0.001	0.0059	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
Bh2 - 261 m	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0129	0.293	<0.002	<0.005	<0.02	<0.001	0.0057	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
Bh2 - 295 m	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0140	0.295	<0.002	<0.005	<0.02	<0.001	0.0059	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
Bh3 - 77 m	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0111	0.376	<0.002	<0.005	<0.02	<0.001	<0.005	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
Bh3 - 239 m	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0157	0.363	<0.002	<0.005	<0.02	<0.001	<0.005	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
Bh3 - 340 m	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0135	0.344	<0.002	<0.005	<0.02	<0.001	<0.005	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
Blankprøve	<0.005	<0.0005	<0.002	<0.002	<0.001	<0.002	<0.005	<0.02	<0.001	<0.005	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
Bh5 - 53 m	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0175	0.118	<0.002	<0.005	<0.02	<0.001	<0.005	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
Bh5 - 109 m	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0206	0.104	<0.002	<0.005	<0.02	<0.001	<0.005	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
Bh5 - 220 m	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0212	0.138	<0.002	<0.005	<0.02	<0.001	<0.005	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
Bh5 - 329 m	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0196	0.171	<0.002	<0.005	<0.02	<0.001	<0.005	<0.001	<0.02	<0.005	<0.001	<0.01	<0.005
Bh1 - 87 m	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0093	0.125	<0.002	<0.005	<0.02	<0.001	<0.005	<0.001	<0.02	<0.005	0.0012	<0.01	<0.005
Bh1 - 185 m	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0145	0.176	<0.002	<0.005	<0.02	<0.001	<0.005	<0.001	<0.02	<0.005	0.0014	<0.01	<0.005
Bh1 - 230 m	<0.005	<0.0005	<0.002	0.0116	0.191	<0.002	<0.005	<0.02	<0.001	<0.005	<0.001	<0.02	<0.005	0.0017	<0.01	<0.005

Utdrag av NGU Analyserapport 2017.0057: Kationanalyser 2.

Vedlegg 4 side 1: Bilde av bergarter ved Rausand, i felt og på filmopptak med Optisk televiewer.



Rød gneis og grå gneis observert i felt.



Rød gneis (venstre, Bh5 19 – 22 m), grå gneis med røde bånd (midten, Bh1 205 – 208 m) og grå gneis (høyre, Bh 2 154 – 157 m), sett med optisk televiewer i borehull.

Protokoll for prøvetaking og feltmålinger

Versjon 1.5: (22.03.2011)

Bygger i hovedsak på:

Banks, D. & Midtgård, Aa. K. (1998) Vannprøvetaking. Dokumentering av feltrutiner.

Dokument 4.3.1. Faggruppe for geokjemi og hydrogeologi, NGU.

Bearbeidet av Bjørn Frengstad og Øystein Jæger.

Innhold

1	Dokumentasjon av vannprøvetaking.....	58
2	Rensing av brønnen.....	58
2.1	Løsmassebrønner	58
2.2	Fjellbrønner	58
2.3	Kilder	58
3	Prøvetaking	59
3.1	Flasker	59
3.2	Rensing av utstyret	59
3.3	Prøvetaking.....	59
3.4	Filtrering	59
3.5	Konservering	60
3.6	ICP-MS Analyse.....	61
4	Feltmålinger	61
4.1	Temperatur.....	61
4.2	pH	61
4.3	Alkalitet	62
4.4	Ledningsevne.....	62
4.5	Oksygenmetning.....	62
5	Transport og lagring av prøver	63
6	Ved ankomst på laboratoriet	63

1. Dokumentasjon av vannprøvetaking

Informasjon om prøvetakingspunkt og feltnålinger dokumenteres i standard feltskjema for LGN samt i Standard for stedfestning av lokaliteter og prøver. Kopi av sistnevnte (prøveliste) skal alltid følge prøvene til laboratoriet. Følgende ekstra informasjonen er viktig:

- prøvens utseende (farge, turbiditet)
- prøvens lukt (om det kan merkes)
- avvik fra vanlig filtertype (0.45 µm) eller avvik i antall forbrukte filter
- oppbevaringstemperatur (f.eks. transport i kjølebag)
- avvik fra prøveprotokollen (inkludert problemer underveis, utstyr som ikke fungerte)

2. Rensing av brønnen

Vann som har stått lenge i kontakt med brønnrør eller foringsrør kan inneholde kjemiske stoffer som er oppløst fra brønnkonstruksjonen. Brønnen skal derfor pumpes før prøvetaking slik at vannet renner klart og man trekker "ferskt" grunnvann.

2.1 Løsmassebrønner

I løsmasseakviferer bør man ideelt pumpe vannet inntil det renner tilsynelatende klart og elektrisk ledningsevne og temperatur er stabile, minimum 15 minutter. Det brukes vanligvis en sugepumpe med slange som føres ned i prøvetakingsbrønnen. Slangen kan tapes fast over brønnrøret for å få bedre sug. I brønner med liten kapasitet eller brønner med stor sugehøyde brukes liten 12 V elektrisk senkpumpe med turtallsregulator. Turtallet reguleres slik at pumpa ikke trekker luft.

2.2 Fjellbrønner

Det er viktig å unngå å prøveta stagnant vann fra brønnen. Det brukes en turtallsstyrt senkpumpe med 60 meter slange. Vann-nivået i brønnen senkes til like over dette nivået og turtallet på pumpa reguleres slik at senkningshøyden er stasjonær. Det pumpes deretter til ledningsevne og temperatur er stabile, minimum 15 minutter, før prøven tas.

2.3 Kilder

Ved prøvetaking av kilder er det ikke behov for å vente før man tar prøven. Prøven bør tas så nært utstrømningspunktet som mulig. Ved lav vannføring kan det være hensiktsmessig å bruke et PEH-rør for å konsentrere vannstrømmen. Man bør passe på å:

- i. ikke trekke inn sediment eller vegetasjon i prøven
- ii. prøveta fortrinnsvis hurtigstrømmende vann
- iii. ikke stå oppstrøms prøvetakingsstedet slik at bunnsediment forstyrres

3. Prøvetaking

3.1 Flasker

Det tas rutinemessig følgende prøver:

- i. 1 x 500 ml prøve (ufiltrert) som analyseres for pH, alkalitet, elektrisk ledningsevne (EC), fargetall og turbiditet.
- ii. 1 x 100 ml prøve (ufiltrert) som analyseres for totalt organisk karbon (TOC). Prøvetas bare på høstrunden.
- iii. 1 x 100 ml prøve (filtrert på 0,45 µm) som analyseres for anioner vha. ionekromatografi (IC).
- iv. 1 x 50 ml prøve (filtrert på 0,45 µm) som analyseres for kationer/metaller vha. ICP-AES og ICP-MS.
- v. 1 x 100 ml prøve (filtrert på 0,45 µm) som analyseres for ammonium vha. spektrofotometer,

Prøvene tas i polyetenflasker. Det brukes alltid nye flasker (evt. godkjente, syrevaskede flasker).

3.2 Rensing av utstyret

Filtrerte prøver tas vha. 0,45 µm Minisart disk-filtre, sammen med en polyeten sprøyte. Filtrene er engangsfiltre, men sprøyten kan brukes om igjen. Det er derfor viktig å skylle sprøyten grundig tre ganger med vannet som skal prøvetas, før man begynner med prøvetakingen.

Flaskene renses i vannet som skal prøvetas. Flasker for analyse (i) og (ii) renses grundig tre ganger med det aktuelle vannet. Flasker for analyser (iii), (iv) og (v) renses *i tillegg* to ganger med vann som er filtrert gjennom 0,45 µm filter.

3.3 Prøvetaking

Prøvene tas vanligvis fra et punkt nærmest mulig pumpen.

Flaskene (i) og (ii) fylles helt opp og lukkes med kork.

De andre flaskene fylles med vann fra sprøyten filtrert gjennom filteret. Pass på at hendene ikke kommer i kontakt med spissen på filteret, sprøyten eller innsiden av flaske/kork. Flaskene lukkes med kork og merkes F (filtrert). Det skal brukes engangshansker ved all berøring av flaske (iv) (prøven for kationer/metaller).

3.4 Filtrering

Prøver som skal analyseres for metaller og kationer skal filtreres gjennom et membranfilter med porestørrelse 0,45 µm for å fjerne partikulært stoff.

Det første vannet som passerer filteret skal ikke tas med i prøveflasken. Filtrering må utføres før konservering med syre (som skjer på laboratoriet etter innlevering av prøven). Dersom filtrering er vanskelig, kan det være nok med 10-20 ml prøve for ICP-AES/ICP-MS analyse. Dersom filtrering ikke er mulig, skal ikke prøven konserveres med syre (med mindre man kan begrunne at prøven ikke inneholder partikulært stoff).

Ved filtrering finnes det flere feilkilder en bør kontrollere:

- filteret kan lekke ut stoff
- adsorpsjon og ionebytte kan skje i filteret
- gjentetting av filteret under filtreringen kan forandre filterets egenskaper (feks. filterstørrelse)

Dersom det er høy konsentrasjon av jern i vannet, eller hvis jern eller assosierte tungmetaller er av stor betydning, bør det også analyseres en prøve med ufiltret vann ettersom jernutfelling (med samtidig utfelling av tungmetall) kan forekomme i filteret. Her er det eneste tilfelle hvor man KAN surgjøre en ufiltret prøve (prøven merkes U - ufiltret).

Prøver for anionanalyser bør også filtreres (men dette er mindre kritisk enn for ICP-analyser).

Filtere er forbruksvarer. Det er akseptabel praksis å benytte ett filter for filterting av alle prøver fra et prøvetakingspunkt (dvs. IC-, ICP-AES/ICP-MS- og ammoniumprøver). Et nytt filter skal alltid benyttes for hvert nytt prøvetakingspunkt eller prøvetakingsdyp.

3.5 Konservering

Fra en vannprøve blir tatt og inntil den analyseres (transport og lagring) kan prøvens kjemiske sammensetning ha blitt forandret. Dette kan delvis forhindres ved å konservere prøven.

Årsakene til forandringene kan skyldes:

- utfelling
- adsorpsjon på prøveflaskens vegger
- adsorpsjon på partikulært materiale i prøven
- biologisk påvirkning

Det brukes HNO_3 til konservering av ICP-AES/ICP-MS prøven etter innlevering på laboratoriet. pH-verdien bør senkes til <2 og som tommelfingerregel tilsettes 5 dråper syre til 50 ml vannprøve. Surgjøringen hindrer utfelling eller adsorpsjon av metall på flaskeveggene.

Ufiltrede prøver skal ikke surgjøres ettersom syren vil oppløse alle partiklene som er til stede.

Vær obs på at det ikke er lov å transportere konsentrert syre med fly i Norge. Det er derfor akseptabel praksis å tilsette syren til de filtrerte prøvene etter innlevering på laboratoriet. Prøven må imidlertid stå i minst 24 timer før analyse, slik at evt. utfelte / adsorberte metaller blir tatt opp i løsning på nytt.

Prøven til ammoniumanalyse, prøve (v), må konserveres med 40 μl konsentrert svovelsyre så snart som mulig etter prøvetaking. Syren doseres med hjelp av en pipette med engangs pipettespiss.

3.6 ICP-MS Analyse

Prosedyren for prøvetaking for ICP-MS analyser er i utgangspunktet den samme som for ICP-AES, men det stilles enda sterkere krav til renslighet. Det skal benyttes latex-hansker (uten pulver eller glidemiddel) under prøvetaking, og kvaliteten til syren som benyttes til konservering må kunne dokumenteres. Man skal alltid bruke ny syre for surgjøring av ICP-MS prøver.

4. Feltmålinger

Det stilles samme krav til feltmålinger som til "ferskt grunnvann", omtalt i seksjon 2.1. Før man tar en endelig avlesning, bør vannet ha en stabil temperatur, tilsvarende akviferens. Elektrisk ledningsevne og pH bør også være stabile, selv om dette ikke vil være mulig i noen tilfeller hvor man har store naturlige variasjoner i grunnvannsmagasinet.

4.1 Temperatur

Temperatur skal måles i felt. Dette gjøres enten ved termometer eller termofølsom elektrode (installert på de fleste ledningsevne-målere).

4.2 pH

Under transport og lagring kan CO₂ avgasses. Dette kan medføre endringer i både pH og alkalitet, særlig i prøver med lavt ioneinnhold. Derfor bør pH og alkalitet måles i felt.

pH måles vanligvis med elektronisk pH-meter som må kalibreres i felt. Man bruker vanligvis to løsninger, enten pH= 4 og pH= 7 for sure vannprøver, eller pH= 7 og pH = 10 for alkaliske vannprøver. Husk at pH på bufferløsningen varierer med temperaturen. De fleste moderne pH-metre tar automatisk hensyn til dette under kalibreringen. Bufferløsningene skal lages ferskt av laboratoriet før hver feltreise (eller tas fra en ferdig-laget "batch" fra laboratoriet), eller man kan bruke tabletter som løses opp i destillert/avionisert vann i felt.

Kalibreringen bør kontrolleres før hver ny måling. Som minstekrav, bør kalibrering mot bufferløsninger finne sted i begynnelsen av hver feltdag, ved lunsjtid og ved slutten av dagen.

Ved rapportering av pH-målinger, oppgi alltid vanntemperatur.

pH- og temperatur-elektrodene skylles med destillert/avionisert vann mellom hver ny prøve eller løsning. Ikke mål pH i vannprøvene som skal brukes til senere laboratorieanalyse da spor av konserverings- eller elektrodevæske kan forurense prøven.

pH/temperatur/Eh-målinger bør fortrinnsvis foregå i strømmende vann. Det er lurt å ta med en egen flaske hvor man foretar pH/Eh/temperatur-målinger; vann fra kranen eller pumpe-slange renner ned i flasken slik at en gjennomstrømning av vann finner sted. Ved måling i kilder, kan målingen foregå direkte i vannet.

4.3 Alkalitet

Alkalitet måles i felt ved hjelp av en titrering med syre. Alkaliteten defineres som den mengden syre (i meq/l) som må tilsettes for å senke pH til en bestemt verdi. Aquamerck 11109 testkit for alkalltet, tillater måling av to typer alkalitet:

- p-alkalitet ved titrering til pH = 8.2 (fenolphthalein indikator). Dette er et grovt mål på karbonationer i løsningen (CO_3^{2-}).
- t-alkalitet - titrering til pH = 4.3 (blandet indikator - metylgul-basert). Dette er et grovt mål på bikarbonat pluss karbonat ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$).

Titreringsutstyret har en oppgitt nøyaktighet på $\pm 0,1$ mekv/l.

Det er vanlig praksis å ta tre duplikatmålinger av alkalitet på vannprøven. Disse bør ligge innen 0,2 mekv/l av hverandre. Gjennomsnittet av målingene benyttes.

Dersom man måler alkalitet på meget ionefattig vann, kan man bruke en fortynnet syreløsning. Syren, som leveres av Aquamerck, har en styrke på 0,1 ekv/l ($100 \text{ mekv/l} = 0,1 \text{ N}$). Laboratoriet kan forberede en løsning $0,02 \text{ eq/l}$ ($20 \text{ meq/l} = 20 \text{ N}$) saltsyre (HCl). Om man bruker fortynnet syre, ganger man den avleste målingen med en faktor på 5.

4.4 Ledningsevne

Ledningsevne måles på samme måte som pH, men det stilles ikke samme krav til feltkalibrering av utstyret. Det stilles også lignende krav til vedlikehold av ledningsevneelektroden. Kontroll av kalibrering foretas av NGUs laboratorium før hver prøvetakingsrunde.

4.5 Oksygenmetning

Oksygeninnholdet i vannet endres når vannet kommer i kontakt med luft. Det er derfor viktig å måle oksygenmetningen i felt straks det er pumpet opp fra brønnen eller kommer ut av kilden.

Oksygenmetningen måles vanligvis i mg/l med elektronisk O_2 -meter som må kalibreres før hver måling. Kalibreringen foretas mot vannmettet luft i et kalibreringskammer.

Når det skal måles oksygenmetning i vann som er pumpet opp fra brønner i fjell eller løsmasser ledes vannet til en målebøtte via en plastslange med utløpet nedsenket i vann for å unngå at luft blandes i vannet før måling. Av samme grunn må målinger i kilder foretas i punktet der vannet kommer fram i dagen.

Ved målinger av oksygenmetningen i vann fra brønner er det viktig å avpasse pumperaten slik at det ikke trekkes luft gjennom pumpa eller brønnfilteret.

Av hensyn til målesonden bør det ikke gjøres målinger i vann som har høy turbiditet.

5. Transport og lagring av prøver

Vannprøvene bør beholdes kjølig i felt. Dette kan oppnås ved:

- i. å lagre dem i kjøleskapet
- ii. å lagre dem i en kjølebag
- iii. å lagre dem utendørs (hvis det er kaldt)

Men prøvene bør ikke fryse. Frysing kan medføre sprengning av emballasjen og endringer i grunnvannskjemi. Forsøk på laboratoriet har påvist at frysing blant annet kan medføre at Si og Fe kan forsvinne fra løsning (f.eks. felles ut), selv fra surgjorte løsninger.

Unngå å transportere prøvene i passasjerdelen av bilen.

6. Ved ankomst på laboratoriet

Ved ankomst på laboratoriet skal prøvene registreres på standard skjema og få et unikt nummer og umiddelbart lagres på et kjølerom. Prøvene for metall-/kationanalyser (ICP-AES/ICP-MS) konserveres med syre.