

NGU Rapport 2011.042

Sammenstilling av resistivitet, seismiske
hastigheter og naturlig gammastråling i
norske bergarter

Rapport nr.: 2011.042		ISSN 0800-3416		Gradering: Åpen	
Tittel: Sammenstilling av resistivitet, seismiske hastigheter og naturlig gammastråling i norske bergarter					
Forfatter: Harald Elvebakk			Oppdragsgiver: NGU		
Fylke:			Kommune:		
Kartblad (M=1:250.000)			Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)		
Forekomstens navn og koordinater:			Sidetall: 60		Pris: kr 200.-
Feltarbeid utført: 2000 - 2011			Rapportdato: 2.9.2011		Prosjektnr.: 329500
			Ansvarlig: <i>Jan S. Rønning</i>		
Sammendrag: I samarbeidsprosjektet "Forbedrede forundersøkelser for tunneler" mellom NGU og Vegdirektoratet har en av oppgavene vært å sammenstille verdier for resistivitet, seismiske hastigheter og naturlig gammastråling i norske bergarter. Dette er gjort ved å gå gjennom data fra ca 90 borehull som er logget av NGU siden år 2000. Hensikten har vært å finne standardverdier for resistivitet, seismisk hastighet og gammastråling i massiv bergart som ikke er oppsprukket. Både resistivitet og seismisk hastighet viser en nedgang ved økt oppsprekking og økt vanninnhold. Ved rutinemessige målinger av resistivitet og seismisk hastighet kan dermed måleresultatene sammenlignes med standardverdier og en kan få et begrep om fjellkvaliteten med hensyn til stabilitet. Andre parametere som påvirker resistiviteten er innhold av elektronisk ledende mineraler (grafitt, sulfider), leire og elektrisk ledningsevne i porevannet. Det er derfor viktig å bruke flere geofysiske metoder, og seismisk hastighet er en viktig parameter. Måling av vannets elektriske ledningsevne gjøres rutinemessig i borehull og IP-målinger kan gjøres for å kartlegge sulfider. Data for resistivitet, seismisk hastighet og naturlig gammastråling er sammenstilt både i tabellform og i diagrammer, og er klassifisert etter bergartstype, sedimentære, metamorfe og vulkanske. Data er presentert som gjennomsnittsverdier med standardavvik. Maksimum og minimumsverdier fra de områdene av hullene som er undersøkt er også presentert. Det er store variasjoner i resistivitetsverdiene. De kalkholdige kambrosilurbergartene i Oslofeltet har generelt lav resistivitet (< 1000 ohmm) og den varierer også mye internt. Gneis, granitt og gabbro har høy resistivitet (> 5000 ohmm) og resistivitetskontraster på grunn av oppsprekking vil lettere registreres i disse enn i bergarter med generell lav resistivitet. Modellering har vist at forutsetningen for vellykkede resultater ved forundersøkelser for tunneler er at det er tilstrekkelig kontrast i resistivitet (Reiser 2009). Dersom resistiviteten i massiv bergart i utgangspunktet er lav, vil en ikke få tilstrekkelig kontrast mellom massivt og oppsprukket fjell til å påvise oppsprekkingen. Seismisk hastighet (P-bølge) er noe lavere i sedimentære bergarter enn i metamorfe og vulkanske. Den varierer også mer, 4000 – 6000 m/s. Høyest seismisk hastighet er målt i gabbro, ca 6000 m/s, mens gneis, granitt og syenitt er målt til 5000 – 6000 m/s. Naturlig gammastråling, som er viktig for å identifisere bergarter og bergartsgrenser, viser store variasjoner. Alunskiferen skiller seg ut med veldig høy stråling (>1000cps, API-standard). Granitt og rombeporfyr har også forholdsvis høy stråling (300 -500 cps). De fleste andre bergarter ligger under 200 cps hvor grønnstein/grønnskifer er definitivt lavest med mindre enn 10 cps.					
Emneord: Geofysikk		Borehullslogging		Elektrisk måling	
Lydhastighet		Naturlig radioaktivitet		Optisk viewer	
				Fagrapport	

INNHold

1.	INNLEDNING	9
2.	BOREHULLSLOGGING	10
3.	MÅLEMETODER	11
3.1	Resistivitet	11
3.1.1	Resistivitet i borehull	11
3.1.2	Resistivitet og elektrisk ledningsevne i porevann	13
3.2	Seismisk hastighet	15
3.2.1	Analyse av seismiske data	16
3.2.2	Seismiske hastigheter i geologiske materialer	17
3.3	Naturlig gammastråling	17
4.	UNDERSØKTE BOREHULL	18
4.1	Oversikt over hull som er logget av NGU	18
4.2	Eksempler på logger	23
5.	SAMMENSTILLING AV RESISTIVITET, SEISMISKE HASTIGHETER OG NATURLIG GAMMASTRÅLING I NORSKE BERGARTER	27
5.1	Resistivitet	29
5.2	Seismisk hastighet	31
5.3	Naturlig gammastråling	33
5.4	Tabeller over resistivitet, seismiske hastigheter og naturlig gamma	37
6.	KONKLUSJON	40
7.	REFERANSER	41

DATABILAG

Forklaring til databilag	44
Databilag 1 – 16: Datablad med detaljerte opplysninger om undersøkte borehull	
Databilag 1: Datablad for Alstein Bh	45
Databilag 2: Datablad for Arnestad Bh	46
Databilag 3: Datablad for Berger Bh	47
Databilag 4: Datablad for Bidovagge Bh	48
Databilag 5: Datablad for Drag B	49
Databilag 6: Datablad for Fredrikstad B	50
Databilag 7: Datablad for Gaustad B	51
Databilag 8: Datablad for Grimstad B	52
Databilag 9: Datablad for Hamar Bh	53
Databilag 10: Datablad for Hurdal Bh	54
Databilag 11: Datablad for Holmestrand Bh	55
Databilag 12: Datablad for Leknes Bh	56
Databilag 13: Datablad for Lunner Bh	57
Databilag 14: Datablad for Lutvann Bh	58
Databilag 15: Datablad for Morskogen Bh	59
Databilag 16: Datablad for Vuottašjávri Bh	60

TABELLER

Tabell 1. Beregnet sementeringsfaktor (m) for krystalline bergarter i Norge...	14
Tabell 2. Seismiske P-bølgehastigheter for noen geologiske materialer.....	17
Tabell 3. Oversikt over borehull som er logget av NGU.....	19
Tabell 4. Målte gjennomsnittsverdier med standardavvik for resistivitet, seismiske hastigheter og naturlig gamma i norske sedimentære bergarter.....	37
Tabell 5. Målte gjennomsnittsverdier med standardavvik for resistivitet, seismiske hastigheter og naturlig gamma i norske metamorfe bergarter.....	38
Tabell 6. Målte gjennomsnittsverdier med standardavvik for resistivitet, seismiske hastigheter og naturlig gammastråling i norske vulkanske bergarter	39

FIGURER

Figur 1. Logging på Leknes i Lofoten.....	9
Figur 2. Noen av borehullssondene ved NGU.	10
Figur 3. Resistivitets-sonde.....	11
Figur 4. Eksempel på målt og korrigert resistivitetslogg og beregnet porøsitet. Kurve til høyre viser variasjonen i vannets elektriske ledningsevne (inngår i beregningene).	13
Figur 5. Resistivitet i bergart som funksjon av ledningsevne i bergartens porevann. Målte verdier og beregnet fra Archie's lov (heltrukken linje, porøsitet 0,5 og 0,75 %, elektrodekonfigurasjon SN og LN).....	14
Figur 6. Skisse av sonde for måling av seismiske hastigheter. TX1 er sender, mens RX1 og RX2 er mottakere.....	15
Figur 7. Registrert amplitude som funksjon av tid for nærmottager (Near) og fjern mottager (Far). C angir P-bølge ("Compressional"), Sh S-bølge ("Shear"), og St angir Stonley-bølger. Fl representerer en bølge som forplanter seg gjennom vannet i borehullet. (Robertson Geologging 2003, user manual).....	16
Figur 8. Oversiktskart over Norge som viser undersøkte borehull.....	19
Figur 9. Resistivitet, seismisk hastighet, sprekkefrekvens og bilde fra optisk televiewer i Bh 6 Lunner (for detaljer se Elvebakk 2001, 2011b).....	23
Figur 10. Arnestad skole, Asker. Geofysiske logger av temperatur, elektrisk ledningsevne i vann, naturlig gammastråling, resistivitet, seismiske hastigheter og tilsynelatende porøsitet (for detaljer se Elvebakk 2011d).	24
Figur 11. Berger, Skedsmo. Geofysiske logger av temperatur, elektrisk ledningsevne i vann, naturlig gammastråling, resistivitet, seismiske hastigheter og tilsynelatende porøsitet. Innfelt seismisk bølgetog med tolkning (for detaljer se Elvebakk 2011h).	25
Figur 12. Bh 3 Grimstad. Temperatur, elektrisk ledningsevne i vann og naturlig gamma.	26
Figur 13: Resistivitet i ikke oppsprukne norske bergarter.....	29
Figur 14: Seismiske hastigheter i ikke oppsprukne norske bergarter.....	31
Figur 15: Naturlig gammastråling i norske bergarter.....	33
Figur 15(forts.): Naturlig gammastråling i norske bergarter.....	35

1. INNLEDNING

Seismisk hastighet og resistivitet er viktige parametre for å karakterisere og kvalitetsbedømme bergarter. Med kvalitet menes oppsprekkingsgrad og vanninnhold, og bergartens stabilitet i forbindelse med fjell- og tunnelanlegg. Endringer i disse parametrene (nedgang) kan bety økt oppsprekkingsgrad og økt vanninnhold. For identifisering av bergarter er naturlig total gammastråling en viktig parameter. For å kunne benytte resistivitet og seismisk hastighet til kvalitetsbedømming av bergarter må en vite hva som er normale verdier for de enkelte bergarter. Normale verdier er de en vil finne i massiv bergart som ikke er oppsprukket.

NGU har siden år 2000 bygget opp kompetanse på geofysisk logging i borehull på Norges fastland. Logging av resistivitet, seismisk hastighet og naturlig gammastråling inngår som viktige faktorer i denne kompetansen. En rekke diamantborehull og brønner over hele landet er logget. Det meste av denne loggingen er rapportert i egne rapporter. I samarbeidsprosjektet "Forbedrede forundersøkelser for tunneler" mellom NGU og Vegdirektoratet har en av oppgavene vært å sammenstille resistivitet, seismiske hastigheter og naturlig gammastråling for norske bergarter. I denne rapporten er data fra alle borehull fram til mars 2011 sammenstilt. Det er utarbeidet tabeller for resistivitet, seismisk hastighet og naturlig gamma klassifisert etter bergartstype, sedimentære, metamorfe og vulkanske. Rapporten beskriver målemetodene for resistivitet, seismisk hastighet og naturlig gamma. Det vises eksempler på logger og hvordan disse kan tolkes.

Figur 1 viser logging av et 800 m dypt hull i Lofoten.



Figur 1. Logging på Leknes i Lofoten.

2. BOREHULLSLOGGING

Ved borehullslogging senkes en loggesonde ned i et borehull for å måle bestemte fysiske egenskaper til bergartene det bores i. Borehullslogging har i lang tid vært benyttet i oljebrønner for å karakterisere de ulike formasjonene og reservoarbergartene, hvor viktigste parametre er resistivitet, seismisk hastighet, tetthet og porøsitet. På land bores vanligvis med mye mindre dimensjon (borehulldiameter) og sondene må være tilpasset hulldimensjoner ned til 46 mm. Vanligvis brukes nå noe større dimensjon til diamantboring. Det finnes flere produsenter av loggeutstyr til "slim hole logging" på markedet. Da NGU startet opp med borehullslogging i 2000 valgte en utstyr fra Robertson Geologging Ltd, Wales (www.geologging.com).

NGU har investert i en rekke sonder som kan kartlegge fysiske og geologiske egenskaper i undergrunnen. Anvendelsesområdene er blant annet mineralletting, forundersøkelser for anlegg i fjell, miljøundersøkelser og grunnvannsundersøkelser. Bortsett fra Optisk televiewer (76 mm) kan alle sonder benyttes i diamantborehull (56 mm). Figur 2 viser noen av sondene som NGU har. Under er det en liste med alle sondene NGU benytter og hva de måler.



Figur 2. Noen av borehullssondene ved NGU.

Optisk televiewer, optisk bilde av borehullsveggen.

Akustisk televiewer, akustisk bilde av borehullsveggen

TCN-sonde, temperatur, ledningsevne (conductivity) i vann og naturlig gammastråling

Vannkvalitetssonde, temperatur, ledningsevne, vanntrykk, pH, Eh

Resistivitet, elektrisk motstand (resistivitet) i fjell + naturlig gamma

Seismisk sonde, seismisk hastighet(lydhastighet) i fjell, P- og S-bølgehastighet.

Avvikssonde, måler horisontal- og vertikalavvik, retning og fallvinkel

Strømningsmåler, måler vannstrøm langs borehull

Vannprøvetaker, kan ta vannprøver på 1 liter i dype borehull

Vinsjer, NGU har to vinsjer, 500 m og 1100 m.

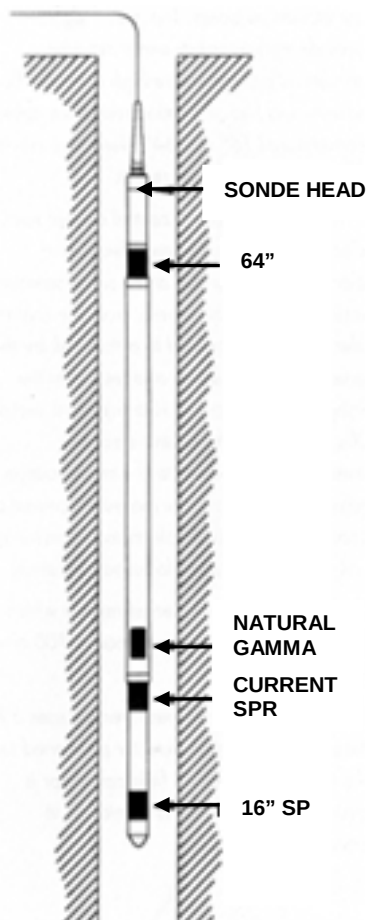
3. MÅLEMETODER

I dette kapittelet blir de enkelte loggeteknikkene kort beskrevet.

3.1 Resistivitet.

Spesifikk elektrisk motstand (resistivitet) av en bergart er en materialegenskap med benevnning ohm meter (Ωm). Resistivitet er det navnet som vanligvis brukes for denne egenskapen. Symbolet som brukes er vanligvis rho (ρ) og ofte brukes den inverse størrelsen konduktivitet med benevnningen Siemens pr. m (S/m) og symbolet sigma (σ). I dagligtale og rapporter brukes uttrykket "elektrisk motstand" eller "resistivitet". Bergarter har forskjellig resistivitet. Resistiviteten kan brukes til identifisering og kvalitetsbedømming av bergarten. Med kvalitet menes oppsprekkningsgrad leir- og vanninnhold, og bergartens stabilitet i forbindelse med fjell- og tunnelanlegg. En nedgang i en bergarts resistivitet kan bety oppsprukket bergart med økende vanninnhold. Faktorer som påvirker resistiviteten er oppsprekking (økt porøsitet og vanninnhold), ledende mineraler (sulfider), innhold av leirmineraler og elektrisk ledningsevne i bergartens porevann. Resistivitet kan måles både på bakken og i borehull.

3.1.1 Resistivitet i borehull



Elektrisk motstand (resistivitet) kan måles i borehull på tilnærmet samme måte som ved bakkemålinger. Borehullsmålinger kan bare utføres i vannfylte hull. Strøm sendes vanligvis ut gjennom to strømelektroder, mens potensialforskjeller måles ved hjelp av to andre elektroder. Ut fra målt strømstyrke, målt potensialforskjell og en geometrisk faktor bestemt av elektrodekonfigurasjonen, kan en elektrisk motstand (resistivitet) beregnes. Ofte kan resistiviteten i en bergart skifte så raskt at flere resistivitetsverdier vil opptre innenfor målevolumet. Derfor kalles den målte verdien "tilsynelatende resistivitet". Ved målinger i borehull er målevolumet så lite at de målte resistivitetsverdier med god tilnærming ofte kan settes lik de sanne verdier av resistivitet.

Elektrisk motstand kan i prinsippet måles både i løsmasser og fjell. På grunn av at en vanligvis må stabilisere løsmasser med rør av tett plast eller metall, er det ikke mulig å måle resistivitet i borehull gjennom løsmasser med en loggemetode som her omtales. Et plastrør isolerer borehullet elektrisk fra løsmassene omkring mens et stålrør kortsletter den elektriske strømmen slik at den ikke når ut i formasjonen. Dersom et foringsrør av plast perforeres er dette mulig, og i tette plastrør kan en benytte elektromagnetiske målemetoder for bestemmelse av resistivitet. NGU har ikke utstyr for det.

Figur 3. Resistivitets-sonde.

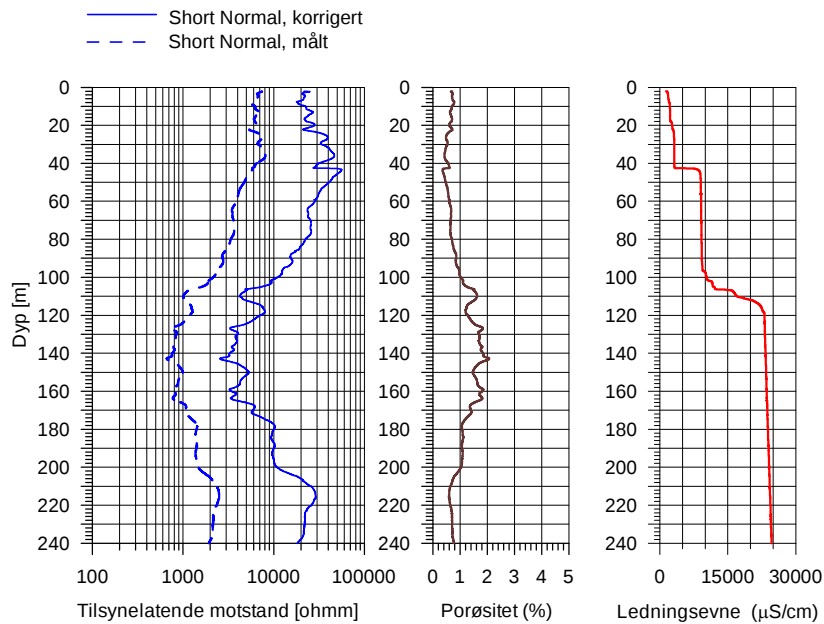
NGU benytter utstyr produsert av Robertson Geologging Ltd. ved logging av resistivitet i borehull. En prinsippskisse av sonden er vist i figur 3. Strøm sendes ut ved elektroden kalt SPR og i tillegg benyttes selve loggekabelen som strømelektrode. For å minimalisere effekten av en fjernelektrode (loggekabelen), er loggekabelen isolert i en lengde av 10 meter fra selve sonden. Potensialforskjeller måles mellom elektrodene merket 16" og 64" og en elektrode som plasseres på bakken. De to målingene kalles vanligvis "Short Normal" (SN) og "Long Normal" (LN). Dette er en såkalt pol/pol-konfigurasjon hvor avstanden mellom de aktive elektrodene er henholdsvis 16" (40.5 cm) og 64" (160 cm). Ved den korte konfigurasjonen (SN) er det kun volumet i en avstand på ca 10 cm rundt borehullet som påvirker måleresultatene. Ved LN-konfigurasjonen økes inntrengningsdypet til ca 30 cm. Denne sonden kan også utstyres med en sensor for detektering av naturlig radioaktiv stråling. NGUs sonde har denne muligheten. I tillegg til SN og LN måles også overgangsmotstanden ved sondens strømelektrode (SPR), en størrelse som på engelsk kalles "Single Point Resistance". Denne størrelsen bestemmes av resistiviteten i elektrodens umiddelbare nærhet. I tynne borehull hvor sonden kommer nær borehullsveggen, vil denne størrelsen være følsom for lokale variasjoner (f.eks sprekker) i borehullsveggen. Dersom en måler i borebrønner hvor diameteren kan være 13 – 15 cm, utviskes denne effekten. Sonden kan også måle selvpotensial (SP). Denne parameteren benyttes ikke ved undersøkelser av fjellkvalitet.

Den målte tilsynelatende resistiviteten påvirkes av borehullets diameter, sondens størrelse og den elektriske ledningsevnen i vannet i borehullet. Dersom en har tilgang på loggedata som viser variasjoner i borehullets diameter (caliper-logg) og målt elektrisk ledningsevne i vannet (Fluid conductivity), kan en korrigere for disse parametrene (Thunehed & Olsson 2005). Dersom caliper-logg mangler, kan en likevel gjøre visse korreksjoner ved å anta at borehullet har konstant diameter.

Ut fra beregnet elektrisk ledningsevne ($\sigma = 1/\rho$) i en bergart (σ_a) og målt elektrisk ledningsevne i porevannet (σ_w) kan porøsiteten (Φ) i en bergart beregnes (Archie 1942). En modifisert variant av Archie's lov kan uttrykkes som i ligning (1). (Thunehed & Olsson 2005):

$$\sigma = a \cdot \sigma_w \cdot \Phi^m + \sigma_s \quad (1)$$

der konstanten a blir kalt "kornformfaktor" og konstanten m "sementeringsfaktor". Størrelsen σ_s utgjør en nødvendig korreksjon for elektrisk ledningsevne i mineralene og på mineralenes overflate. I tilfeller hvor en har godt ledende mineraler (sulfider, oksyder og leirmineraler) kan denne faktoren dominere, og muligheter for å beregne porøsitet faller bort. Archie's lov ble opprinnelig utledet for sandsteiner, og i prinsippet må faktorene a og m bestemmes for hver enkelt bergart for å kunne gi gode estimat av porøsiteten. Måling av resistivitet og porøsitet på prøver av metamorft grunnfjell i Sverige har vist at en kan etablere en sammenheng mellom bergartens elektriske ledningsevne og porøsitet ved å sette størrelsene a , m og σ_s til henholdsvis 1.92, 1.1 og 10^{-5} (Thunehed & Olsson 2005). En kan benytte tilsvarende verdier for norsk grunnfjell, men da må en kun se på beregnet porøsitet som en relativ størrelse ved at verdiene avspeiler variasjonen av porøsitet langs borehullet. Figur 4 viser et eksempel på resistivitetslogg som er korrigert for vannets ledningsevne i hullet.



Figur 4. Eksempel på målt og korrigert resistivetslogg og beregnet porøsitet. Kurve til høyre viser variasjonen i vannets elektriske ledningsevne (inngår i beregningene).

3.1.2 Resistivitet og elektrisk ledningsevne i porevann

Målt resistivitet i en bergart er avhengig av den elektriske ledningsevnen i bergartens porevann. Når NGU angir en bergarts resistivitet er denne korrigert for vannets ledningsevne i borehullet. I krystalline bergarter er porøsiteten svært liten (0.5 – 1 %), men det viser seg at den målte resistiviteten er påvirket av porevannets ledningsevne. Sammenhengen mellom resistivitet i bergart ρ_0 , og resistivitet i porevann ρ_w , er gitt ved Archie's 1. likning (Archie 1942):

$$\rho_0/\rho_w = 1/\Phi^m$$

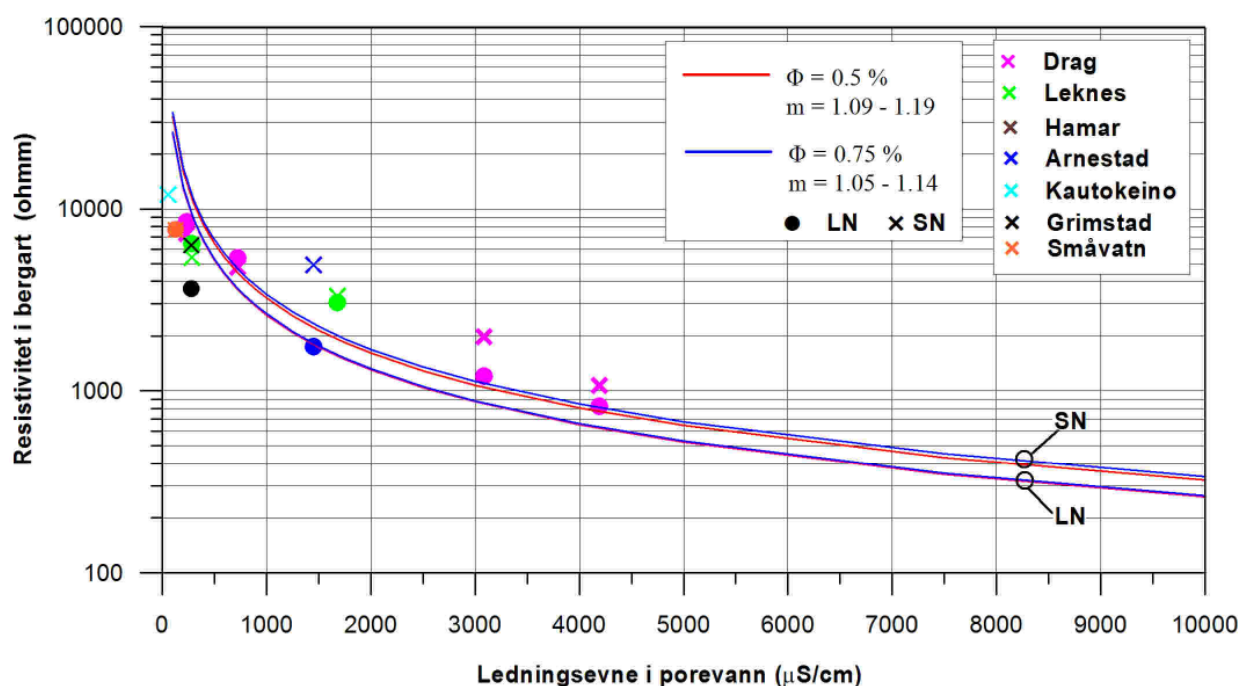
Φ = porøsitet, m = sementeringsfaktor.

Faktoren m bestemmes eksperimentelt og sammenhengen er utledet for sandsteiner, men kan også brukes på krystalline bergarter, se foran (Thunehed & Olsson 2005). Tabell 1 viser beregning av m i forskjellige krystalline bergarter i Norge for forskjellige verdier av porøsitet. Resistiviteten er målt i borehull og det er korrigert for borehullvannets ledningsevne. Ledningsevnen i vannet er også målt i borehull og det forutsettes at porevannet i bergarten har samme ledningsevne som vannet i borehullet. Det er benyttet data fra Drag, Leknes, Vuottašjávri, Hamar, Arnestad og Grimstad. Bergartene er granitt, gneis, granittisk gneis og syenitt. Det er benyttet porøsiteter på 0.5% og 0.75% noe som er vanlig for krystalline bergarter. Fra tabellen ser en at m har en gjennomsnittsverdi på 1.05 – 1.19. Thunehed og Olsson fant at $m=1.1$ passet godt for granitt og grønnstein (Thunehed & Olsson 2005). Med de beregnede verdier av m og porøsitet 0.5% og 0.75% er ρ_0 beregnet som funksjon av porevannets ledningsevne. Figur 5 viser dette. I figuren er også data fra overnevnte lokaliteter plottet inn.

$$\rho_0 = (1/\Phi^m) \cdot \rho_w$$

Tabell 1. Beregnet sementeringsfaktor (m) for krystalline bergarter i Norge.

Lokalitet/ Bergart	Ledningsevne $\mu\text{S/cm}$	Res. SN ohmm	Res. LN ohmm	m, $\Phi=0.5\%$	m, $\Phi=0.75\%$
Leknes Gr. gneis	285	5400	6450	0.95 0.98	1.03 1.06
Leknes Gran. gneis	1680	3300	3050	1.19 1.17	1.29 1.27
Drag Gneis/granitt	235	7275	8480	0.97 0.99	1.08 1.08
Drag Gneis/granitt	720	4760	5350	1.10 1.12	1.19 1.22
Drag Gneis/granitt	3085	1980	1200	1.21 1.11	1.31 1.21
Drag Gneis/granitt	4193	1070	825	1.15 1.10	1.25 1.19
Hamar Gneis	6000	2000	1500	1.33 1.28	1.44 1.39
Arnestad Granitt	1450	4900	1750	1.24 1.04	1.34 1.13
Grimstad Granitt	280	6288	3628	0.97 0.87	1.05 0.94
Småvatn Syenitt	127	7672	7714	0.86 0.87	0.93 0.94
Gjennomsnitt				1.09 1.05	1.19 1.14

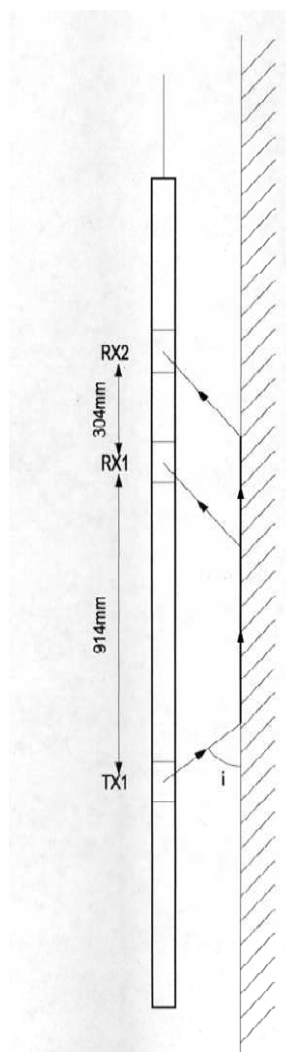


Figur 5. Resistivitet i bergart som funksjon av ledningsevne i bergartens porevann. Målte verdier (kryss og punkter) og beregnet fra Archie's lov (heltrukken linje, porøsitet 0,5 og 0,75 %, elektrodekonfigurasjon SN og LN).

Som en ser fra figur 5 har porevannets ledningsevne stor betydning for den målte resistiviteten når ledningsevnen er svært høy ($> 1000 \mu\text{S/cm}$). Det er derfor viktig å måle vannets ledningsevne når en skal vurdere resistiviteten i en bergart med hensyn til oppsprekking. Ledningsevnen i bergarters porevann på land i Norge er vanligvis mindre enn $500 \mu\text{S/cm}$.

3.2 Seismisk hastighet

Hensikten med en akustisk logging av borehull er å bestemme formasjonens seismiske hastigheter, både for P-bølge og S-bølge. For bergarter er dette relativt greit, men for løsmasser er det i praksis veldig vanskelig å logge seismiske hastigheter. Enheten for seismisk hastighet angis i meter pr. sekund (m/s), eller i enkelte tilfeller kilometer pr. sekund (km/s). Med informasjon om disse, kan Poisson's forhold beregnes. Har en i tillegg en tetthetslogg av borehullet kan også "Bulk Modulus", "Shear modulus" of Young's Modulus" beregnes med enhet GigaPascal (Gpa) (Robertson Geologging 2003).



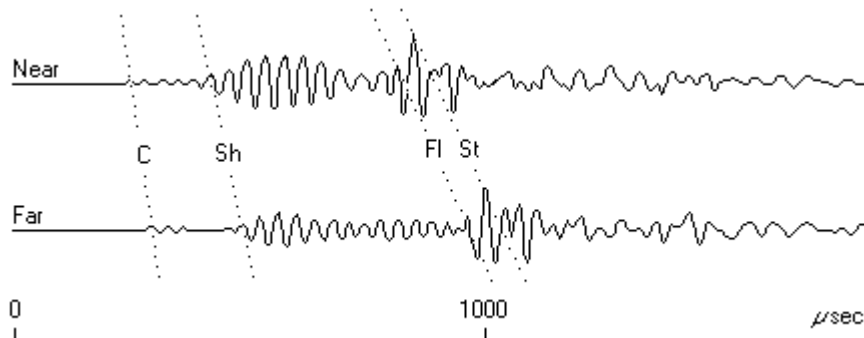
En prinsippskisse av en akustisk sonde, eller sonisk sonde som den også kalles, er vist i figur 6. Høyfrekvent lydimpulser (23 kHz) genereres i senderenheten (TX1) som består av et piezo-elektrisk keramisk element. Bølgene brer seg gjennom borehullsvannet, og ved borehullsveggen brytes disse kritisk og følger fjellet. Energien spres tilbake til to mottagere som er montert 91,4 og 112,8 cm fra senderen. Med dette oppsettet kan lyd hastigheten langs borehullsveggen bestemmes, uavhengig av hvor stor hastigheten er i borehullsvæsken. For å hindre at lyden kommer frem fortere langs sonden, er det lagt inn materiale som demper og forsinker signalene gjennom denne. Avstanden mellom de to mottagerne er valgt ut fra å få målbare gangtider for P- og S-bølgen som må komme før bølgen i vann. På grunnlag av dette har en valgt 30,4 cm (1 fot). Under normale forhold foretas en måling pr. cm, og med den korte avstanden mellom mottagerne gir dette en meget god oppløsning i seismiske hastigheter langs borehullsveggen.

Ved å beregne forskjell i gangtid for den først ankomne P-bølge og dividere denne med avstanden mellom mottagerne, blir den inverse størrelsen av P-bølgehastigheten ("Slowness") beregnet automatisk. Sonden digitaliserer også hele bølgetoget som ankommer de to mottagerne, og ut fra disse bildene ("Full waveform", se figur 7), kan en i tillegg til P-bølgehastighet også bestemme ankomsttid for S-bølgen og såkalte "Stonley"-bølger. Målingene forutsetter at avstanden fra borehullsvegg til de to mottagerne er den samme, og sonden må derfor sentraliseres i borehullet.

Figur 6. Skisse av sonde for måling av seismiske hastigheter. TX1 er sender, mens RX1 og RX2 er mottakere.

3.2.1 Analyse av seismiske data.

Som nevnt kan P-bølgens inverse hastighet ("Slowness", sekund pr. meter, s/m) bestemmes automatisk. Både P-bølgens (V_P) og S-bølgens (V_S) hastighet kan bestemmes ved å digitalisere henholdsvis førsteankomst og den senere ankomne S-bølge. Figur 7 illustrerer hvordan de seismiske bølgene opptrer. Når en vet avstanden mellom mottakerne kan P-bølgehastighet og S-bølgehastighet bestemmes. Når disse er bestemt, kan Poisson's forhold beregnes som vist nedenfor.



Figur 7. Registrert amplitude som funksjon av tid for nærmottager (Near) og fjern mottager (Far). C angir P-bølge ("Compressional"), Sh S-bølge ("Shear"), og St angir Stonley-bølger. Fl representerer en bølge som forplanter gjennom vannet i borehullet. (Robertson Geologging 2003, user manual).

$$\text{Poisson's Ratio (dimensjonsløs): } \sigma = (V_P^2 - 2V_S^2) / (2[V_P^2 - V_S^2])$$

V_P = P-bølgehastighet (km/s) og V_S = S-bølgehastighet (km/s).

Dersom en har tilgang på tetthetslogg fra det samme borehullet kan også de dynamiske moduler beregnes.

$$\text{Bulk modul (Gpa): } K = \rho (V_P^2 - [4/3] V_S^2)$$

$$\text{Skjær modul (Gpa): } G = \rho V_S^2$$

$$\text{Young's Modul (Gpa): } E = \rho V_S^2 (3V_P^2 - 4 V_S^2) / (V_P^2 - V_S^2)$$

der ρ = tetthet (kg/m³)

3.2.2 Seismiske hastigheter i geologiske materialer

Seismiske hastigheter i forskjellig geologisk materiale varierer, og i tabell 2 nedenfor er vist noen eksempler. Dette er erfaringstall fra målinger på bakken. Seismiske bølgers hastigheter i geologiske materialer avhenger blant annet av elastiske egenskaper (se foran) og tetthet. I tillegg kommer en bergarts oppsprekkingsgrad. I en oppsprukket bergart med høyt vanninnhold vil bergartens seismiske hastighet minke, og ut fra målt seismisk hastighet kan en kvalitetsbedømme bergarten med hensyn til stabilitet.

Tabell 2. Seismiske P-bølgehastigheter for noen geologiske materialer (erfaringstall).

Jordarter	P-bølgehastighet (m/s)	Bergarter, ikke oppsprukket	P-bølgehastighet (m/s)
Torv	150 – 500	Sandstein	3000 – 3500
Leire (tørr)	600 – 1200	Kalkstein	4000 – 6000
Sand (tørr)	400 – 900	Dolomitt	2500 – 6500
Grus (tørr)	400 – 1000	Kvartsitt	5500 – 6000
Morene (tørr)	400 – 1600	Granitt	4800 – 5500
Leire (vannmettet)	1200 – 1600	Gneis	4700 – 5800
Sand (vannmettet)	1400 – 1800	Diabas	5700 – 6500
Grus (vannmettet)	1400 – 1900	Gabbro	6200 – 6700
Morene (løs)	1500 – 1900	Ultramafisk	6500 – 7500
Morene (hard)	1900 – 2800		

3.3 Naturlig gammastråling

Naturlig gammastråling måles med en NaI-krystall (sylinder) med størrelse 50 mm x 25 mm. NGUs utstyr har ikke mulighet til å skille mellom de forskjellige elementene som gir naturlig stråling (U, Th og K). Det er derfor totalstrålingen som måles. Måleenheten er cps (counts per second) API standard (API cps). API er en felles internasjonal standard som sonden er kalibrert etter, slik at målinger med forskjellig utforming kan sammenlignes.

Med gammalogg kartlegges den naturlige gammastrålingen (totalstråling) langs borehullet. Forandringer i gammastråling er knyttet til endringer i geologien og den mineralogiske sammensetningen i bergartene. Det er i hovedsak elementene kalium, uran og thorium som gir gammastråling. Mest vanlig er kalium som finnes i feltspat. Feltspat (kalifeltspat) er et mineral som finnes i de vanligste bergartene. Sandstein, f. eks., har liten gammastråling (mye kvarts), mens noen granitter har sterkere stråling da de inneholder feltspat og i enkelte tilfeller uran og thorium. Alunskifer har høy stråling da den inneholder mye uran.

4. UNDERSØKTE BOREHULL

NGU har siden år 2000 logget et sted mellom 80 og 90 borehull over hele landet. De fleste målinger er gjort i Oslofeltet, men det er gjort målinger også på Sørlandet, Vestlandet, Trøndelag, og Nord-Norge. Mye av loggingen har vært gjort som en del av forundersøkelser for fjellanlegg for Jernbaneverket og Statens Vegvesen. I 2003 ble prosjektet ”Miljø- og samfunnstjenlige tunneler” avsluttet hvor borehullslogging var en integrert del (Rønning 2003).

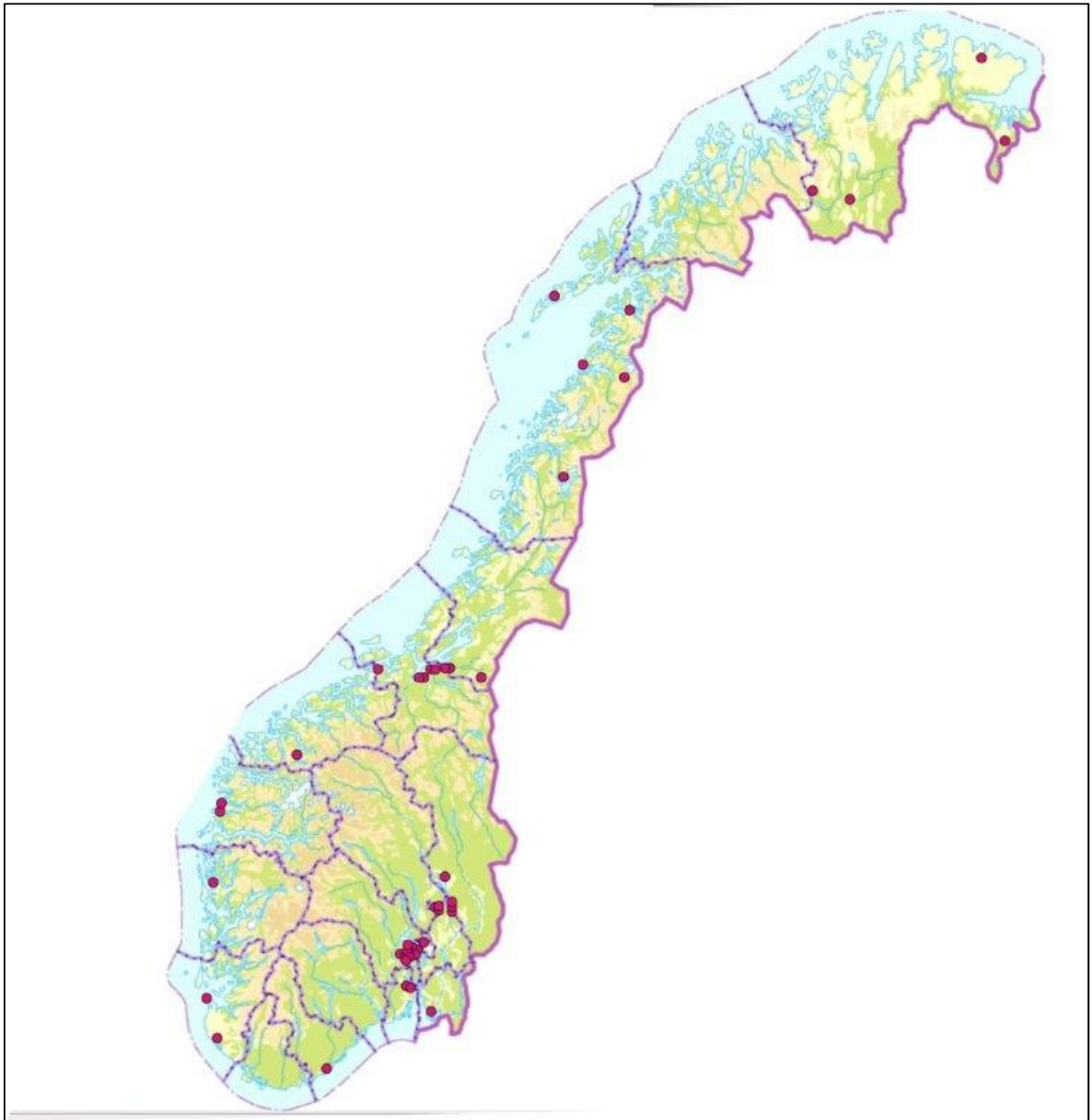
I samarbeid med oljeindustrien har NGU gjort temperaturmålinger i dype borehull på land for å modellere varmestrøm. I egeninteresse er det også logget resistivitet, seismisk hastighet og naturlig gamma i disse hullene. I en periode ble det logget mange hull i forbindelse med grunnvarmeprosjekter.

I prosjektet ”Forbedrede Forundersøkelser for Tunneler” (ForForUT) er data for resistivitet, seismisk hastighet og naturlig gamma fra alle disse borehullene gjennomgått og sammenstilt. Mange hull er også filmet med optisk televiewer som viser kontinuerlig opptak av innvendig borehullsvegg. Opptak fra de fleste hull er tilgjengelig på NGU.

4.1 Oversikt over hull som er logget av NGU

Tabell 3 viser en oversikt over borehull som er logget av NGU i perioden 2000 – 2011 og hvor måleresultatene sammenstilles i denne rapporten. Tabellen viser også hvilke parametre som er målt i de forskjellige hullene og om det er logget med optisk/akustisk televiewer. Data fra de fleste hull er rapportert og det er angitt referanse til NGU- rapporter som er tilgjengelig på NGU.

Figur 8 viser et kart over Norge med undersøkte borehull plottet inn.



Figur 8. Oversiktskart over Norge som viser undersøkte borehull.

Tabell 3. Oversikt over borehull som er logget av NGU.

Oslofeltet, Østlandet

Sted	Bergart	Resistivitet	Seismisk	Gamma	OPTV	Referanse
Skaugum, Asker	Kalk/skifre Kambrosilur	X		X	X	NGU Rapport 2003.006
Åstad, Asker	Kalk/skifre Kambrosilur	X		X	X	NGU Rapport 2003.006
Staverhagan, Asker	Basalt, Askergruppen Skifer og kalk	X		X	X	NGU Rapport 2003.006
Småvatn, Lommedalen	Syenittporfyr	X		X	X	NGU Rapport 2003.007
Lysaker-Sandvika 15 brønner, 4 Dbh	Kalkholdige skifre, Knollekalk Sandstein	X	X	X	X	NGU Rapport 2006.007, NGU Rapport 2007.046 NGU Rapport 2007.073, NGU Rapport 2008.065
Gullhaug, Bærums Verk	Rombeporfyr, basalt Askergr. sandstein			X	X	NGU Rapport 2004.013
Gaustad/Ciens	Kalkskifer, syenittganger	X	X	X	X	NGU Rapport 2011.012
Bryn, Sandvika	Ringerikesandstein			X	X	Doctoral Theses at NTNU 2004:161 NGU Rapport 2005.010
EAB, Sandvika	Kalkskifer			X	X	Doctoral Theses at NTNU 2004:161 NGU Rapport 2005.010
Borgen, Asker	Skifer/kalkstein			X	X	NGU Rapport 2001.036
Arnestad, Asker	Kambrosilurskifre Alunskifer, Granitt	X	X	X	X ¹	NGU Rapport 2011.016
Lutvann, Oslo	Glimmergneis m/granat	X	X	X	X	NGU Rapport 2011.008
SiA, Lørenskog	Dioritt	X		X	X	NGU Rapport 2001.021, NGU Rapport 2003.036
Berger/Skedsmo	Kvartsdioritt, dioritt Pegmatitt/granittganger	X	X	X	X	NGU Rapport 2011.015
Rødsmyra skole Fredrikstad	Idefjordgranitt	X	X	X	X ²	NGU Rapport 2011.013
Hamar Flyplass, Hamar	Kalk/Leirskifer, kalkstein, alunskifer, øyegneis	X	X	X		NGU Rapport 2008.079
Hurdal	Granitt, granodioritt		X	X		NGU Rapport 2011.011
Lunner Bh6	Syenitt	X	X	X	X	NGU Rapport 2011.009
Lunner Bh7	Rhyolitt, trakytt	X		X	X	NGU Rapport 2011.009
Lunner Bh3	Hornfels, syenitt	X	X	X	X	NGU Rapport 2011.009

Sted	Bergart	Resistivitet	Seismisk	Gamma	OPTV	Referanse
Holmestrand Fb 85.6	Basalt	X	X	X	X ³	NGU Rapport 2010.032
Holmestrand Fb 81.2-2	Basalt	X		X	X	NGU Rapport 2010.032
Holmestrand Fb 79.8	Sandstein	X	X	X	X	NGU Rapport 2010.032
Morskogen Eidsvoll, 8 brønner	Gabbro, granittisk gneis	X	X	X	X	NGU Rapport 2011.017

- 1) Meget dårlig opptak, mørkt
- 2) Bare øverste 150 m av 800 m.
- 3) Akustisk Televiwer

Sørlandet, Vestlandet, Møre, Trøndelag og Nord-Norge.

Sted	Bergart	Resistivitet	Seismisk	Gamma	OPTV	Referanse
Grimstad	Granitt, rombeporfyr Amfibolitt, båndgneis	X		X	X	
Nordås, Bergen	Gneis, granodiorittisk			X		NGU Rapport 2002.060
Folvåg, Askvoll	Metasandstein, skifer	X		X	X	NGU Rapport 2002.078
Alstein, Randaberg	Gabbro	X	X	X	X	NGU Rapport 2011.032
Holmedal, Askvoll	Granittisk gneis, migmatitt	X		X	X	NGU Rapport 2002.093 NGU Intern Rapport 2001.013, 2001.014, 2001.015
Åknes, Stranda	Biotittisk/granittisk/ diorittisk gneis	X	X	X	X ⁴	NGU Rapport 2008.030
Kjørsvik, Aure	Foliert kvartsdioritt	X		X	X	NGU Report 2005.032
Storsand, E39	Biotittskifer	X	X	X	X	NGU Rapport 2003.067
Viggja, E39	Biotittskifer	X		X	X	NGU Rapport 2003.067
Mannsfjell, E39	Grågrønn fylitt	X		X	X	NGU Rapport 2003.067
Brekka, Buvika	Grønnstein/grønnskifer			X	X	NGU Rapport 2003.067
Lade Alle, Tr.heim	Grønnstein, amfibolitt	X		X	X	
NGU, Trondheim	Grønnstein, amfibolitt Granitt/granodioritt	X	X	X	X	
Gjevingåsen, Hommelvika	Leirskifer/sandstein	X	X	X	X	NGU Rapport 2010.019
Meråker	Fylitt	-	-	X	X	
Bleikvassli	Marmor, biotittgneis, Muskovitt-biotittgneis	-	-	X	-	
Bodø	Kalkglimmerskifer	-	-	X	X	NGU Rapport 2002.061
Sulitjelma	Kalkglimmerskifer	-	-	X	-	
Leknes, Lofoten	Diorittisk/granittisk gneis	X	X	X	X ³	NGU Rapport 2011.014
Vouddasjavri	Gneis, amfibolitt	X	X	X	X ³	NGU Rapport 2011.010
Båtsfjord	Sandstein	-	-	X	-	NGU Report 2008.072
Svanvik, Passvik	Kvarts	-	-	X	-	
Drag, Tysfjord	Gneis/granitt	X	X	X	X ³	NGU Rapport 2011.014

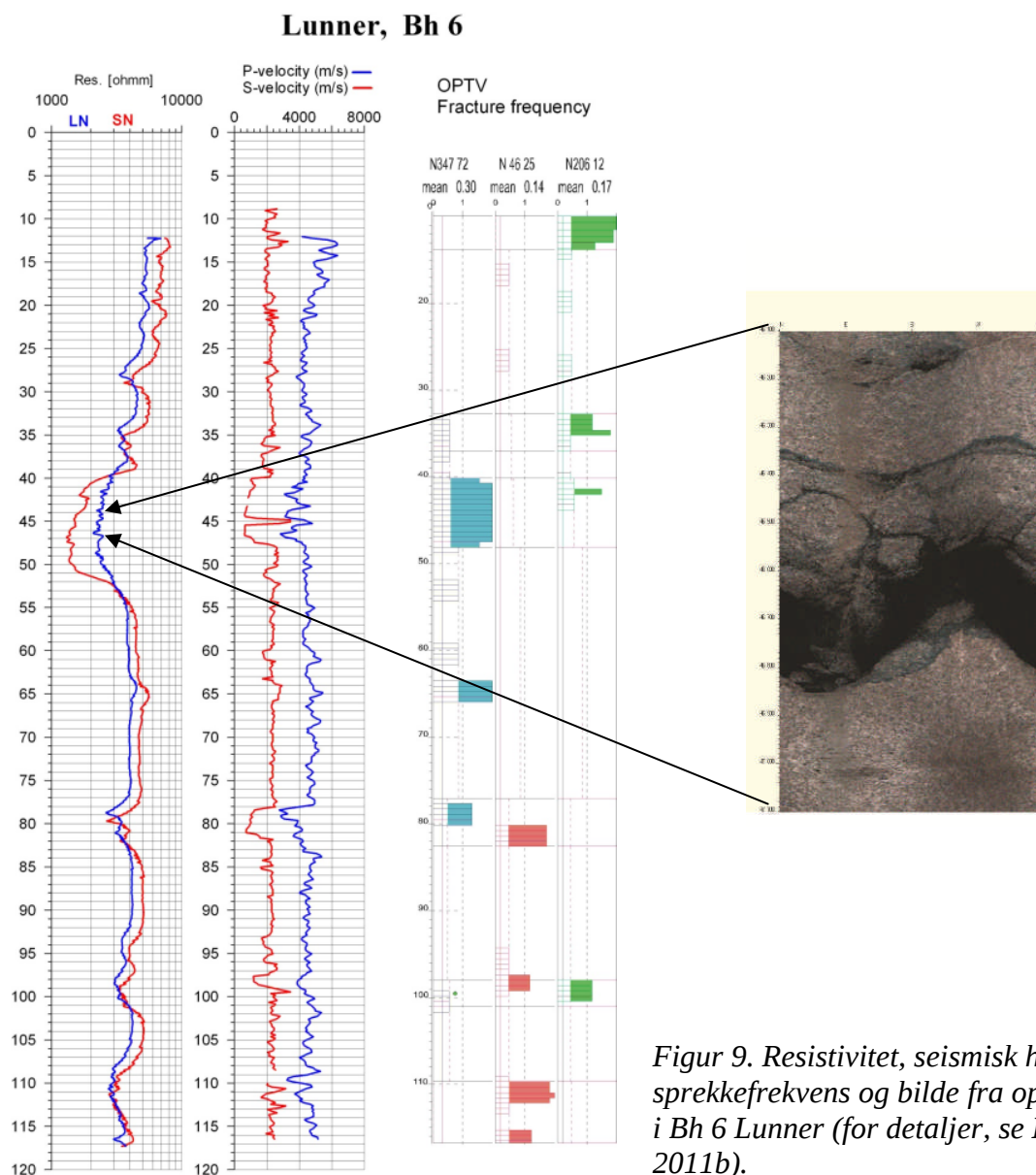
3) Akustisk televiewer

4) OPTV i 15 m av hullet

4.2 Eksempler på logger

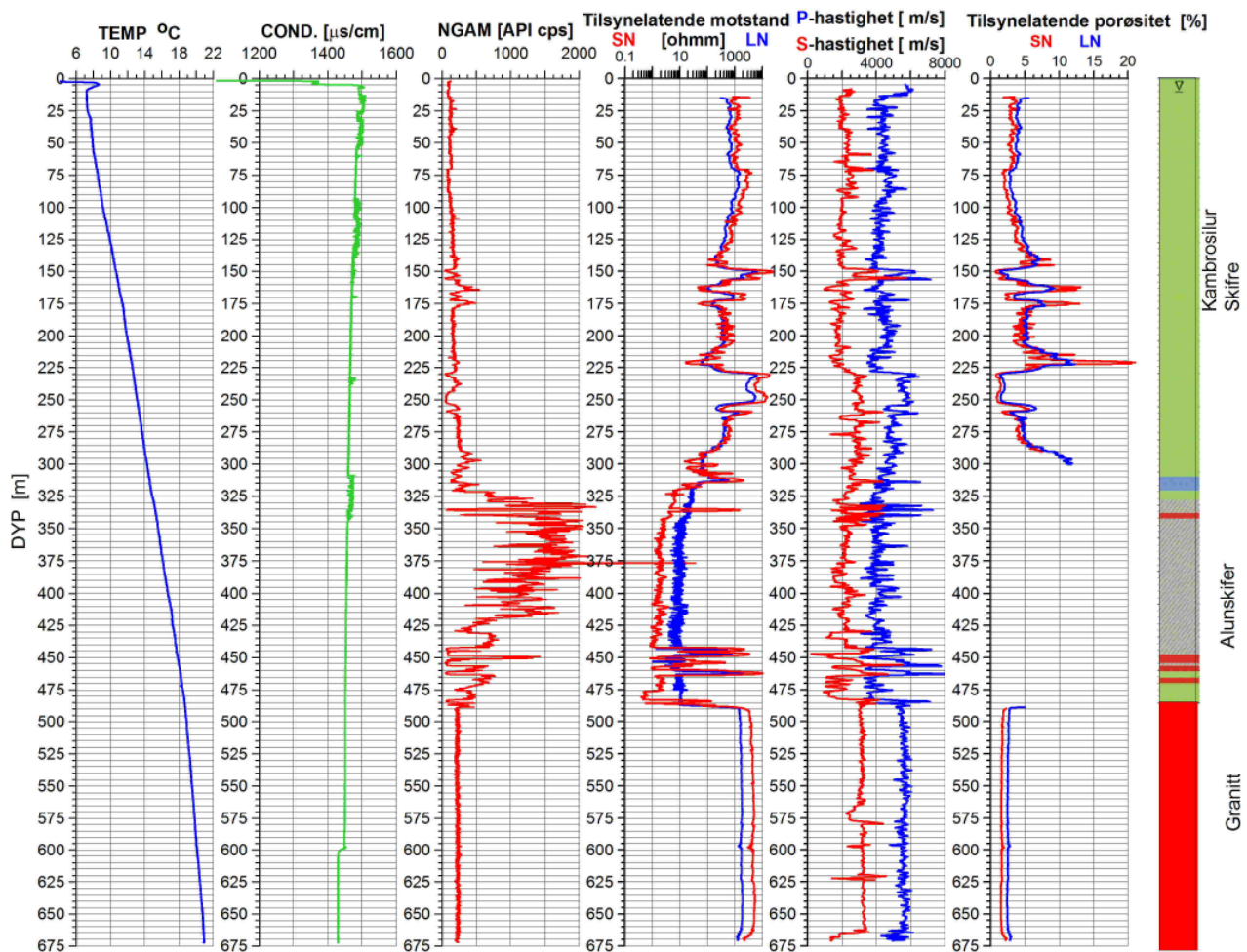
I dette kapitelet presenteres logger fra noen borehull og det blir gitt en kort kommentar som tolkning av loggene. For å kunne tolke en resistivitetslogg og eventuelle sprekkesoner er det viktig å kjenne bergartens resistivitet uten oppsprekking. For eksempel har de kambrosiluriske kalkbergartene i Oslofeltet en resistivitet under 1000 ohmm uten å være oppsprukket. Dersom en måler 1000 ohmm i en syenitt, som generelt har en resistivitet på ca 6000 ohmm, kan dette bety kraftig oppsprekking. Dette betyr også at det kan være vanskelig å kartlegge oppsprekking med resistivitet i kambrosilurbergartene (se Rønning 2003).

Figur 9 viser logg fra en brønn som ble logget i forbindelse med bygging av Lunnertunnelen (Elvebakk 2001, 2011b). Bergarten er en syenitt. Figuren viser resistivitet, seismisk hastighet og sprekkefrekvens beregnet fra optisk televiwer. Mellom 40 og 50 m dyp måles en resistivitet ned mot 1040 ohmm. Det er også tydelig nedgang i seismisk P-bølgehastighet (3000 m/s). Sprekkefrekvensen viser oppsprekking i samme dyp. Filming med optisk televiwer (OPTV) viste at det i dette tilfellet var flere åpne vannførende sprekker.



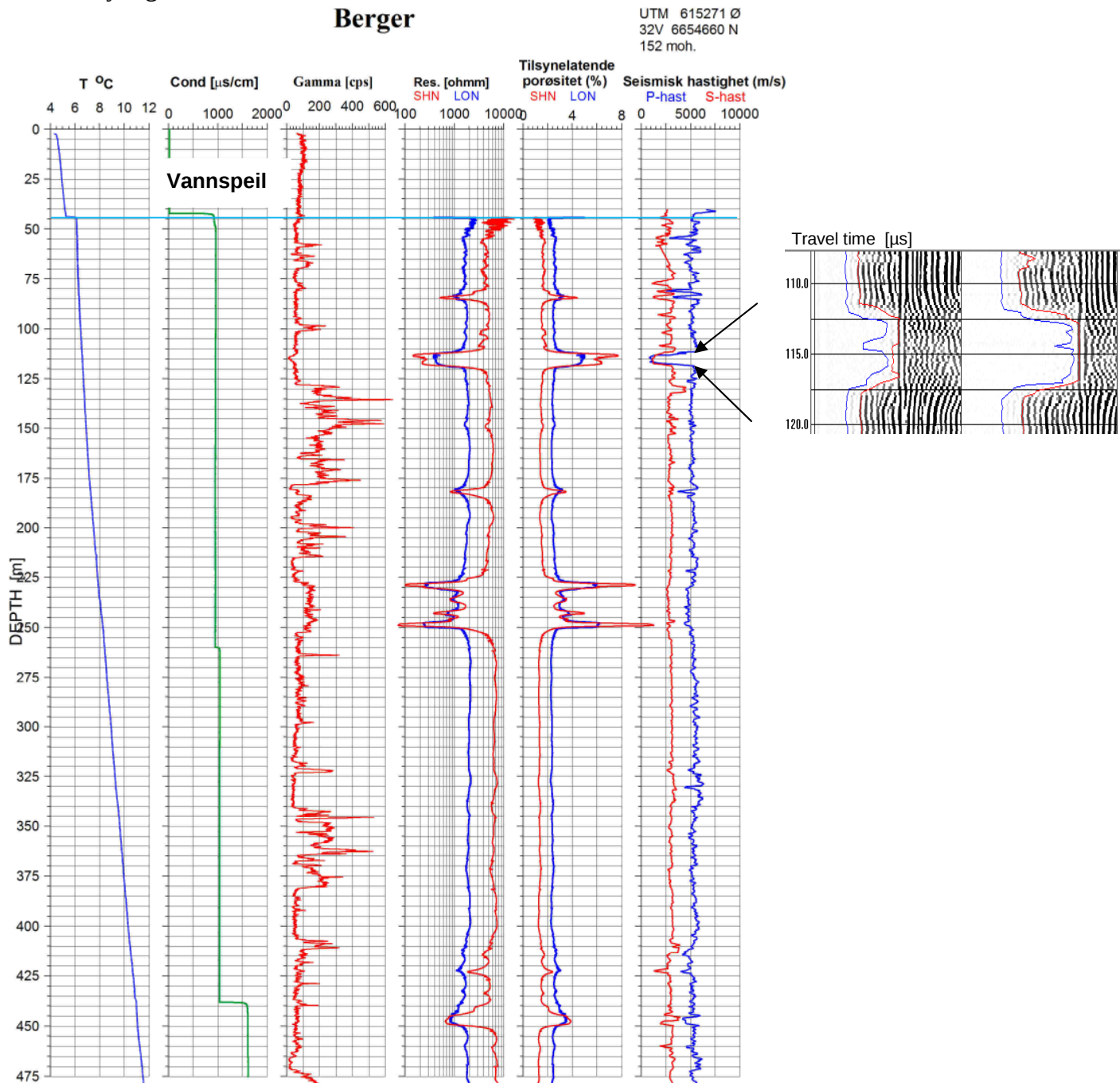
Figur 9. Resistivitet, seismisk hastighet, sprekkefrekvens og bilde fra optisk televiwer i Bh 6 Lunner (for detaljer, se Elvebakk 2001, 2011b).

Figur 10 viser flere logger fra en 675 m dyp brønn ved Arnestad skole i Asker (Elvebakk 2011d). Figuren illustrerer godt hvordan resistiviteten varierer i kalkskifrene i kambrosilur, alunskifer og underliggende granitt. Gammaloggen indikerer meget tydelig alunskiferen. Resistiviteten er under 1000 ohmm i kalkskifrene og interne variasjoner kan indikere oppsprekking. Alunskiferen har svært lav resistivitet (1 -10 ohmm) mens den underliggende granitten har høy resistivitet (ca 5000 ohmm). Seismisk hastighet varierer i kalkskifrene som kan indikere oppsprekking, likedan i alunskiferen. Den underliggende granitten har høyere og mer stabil P-bølgehastighet enn kalkskifrene og er trolig lite oppsprukket. I tillegg viser figuren temperatur, ledningsevne i vann og beregnet tilsynelatende porøsitet. På grunn av den lave resistiviteten (ledende mineraler) i alunskiferen vil beregnet porøsitet bli feil for denne.



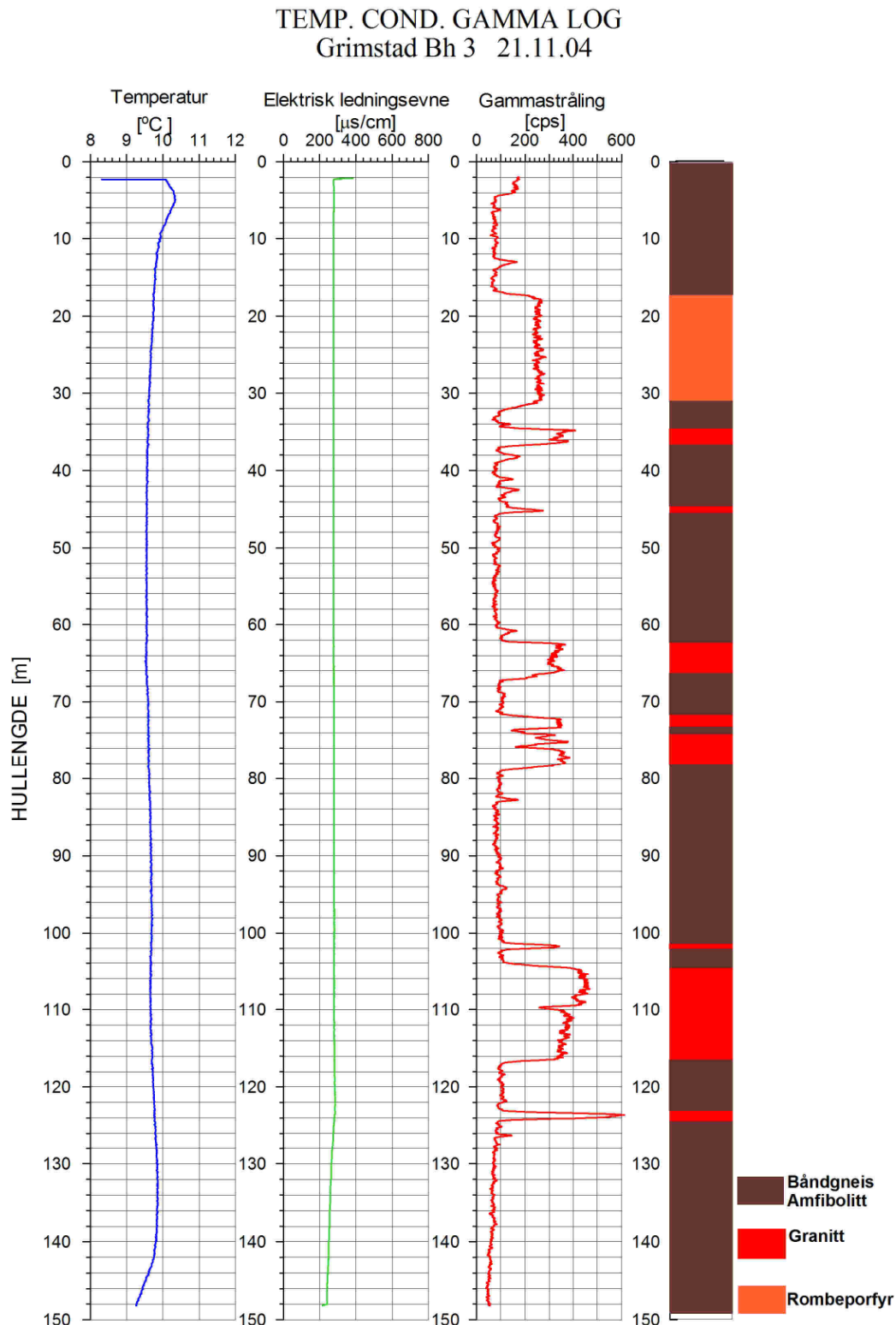
Figur 10. Arnestad skole, Asker. Geofysiske logger av temperatur, elektrisk ledningsevne i vann, naturlig gammastråling, resistivitet, seismiske hastigheter og tilsynelatende porøsitet (for detaljer se Elvebakk 2011d).

Den beste tolkningen av geofysiske logger får en ved samtolkning av flere parametere, som bl.a. resistivitet og seismisk hastighet. Figur 11 viser logger fra en brønn ved Berger, Skedsmo kommune (Elvebakk 2011h). Resistivitetsloggen viser flere soner med lav resistivitet som kan indikere oppsprekking. Flere av disse sonene er sammenfallende med soner med lav seismisk hastighet som ved 85 m, 115 m (se figur 11), 182 m, 422 m og 447 m dyp. Mellom 225 og 250 m dyp er det flere soner med svært lav resistivitet, men det er ingen tilsvarende nedgang i seismisk hastighet. Det er en svak nedgang i seismisk hastighet, men den skyldes trolig endring i bergart eller mineralsammensetning da det er en tydelig økning i gammastrålingen i dette området. Det er derfor usikkert om den lave resistiviteten skyldes oppsprekking. Derimot er ledende mineraler en mer sannsynlig årsak.



Figur 11. Berger, Skedsmo. Geofysiske logger av temperatur, elektrisk ledningsevne i vann, naturlig gammastråling, resistivitet, seismiske hastigheter og tilsynelatende porøsitet. Innfelt seismisk bølgetog med tolkning (for detaljer, se Elvebakk 2011h).

Figur 12 viser et godt eksempel på hvordan gammalogg avspeiler geologien. I Bh 3, Grimstad er det tre hovedbergarter, amfibolitt med lav gamma < 100 cps, rombeporfyr ca 250 cps og granitt 350 – 450 cps. Dette er viktige opplysninger i brønner der en ikke har borekjemner. Den geologiske loggen i figur 12 er basert på opptak med optisk televiwer og geologisk kart fra området (<http://www.ngu.no/>).



Figur 12. Bh 3 Grimstad. Temperatur, elektrisk ledningsevne i vann og naturlig gamma. Geologisk logg er basert på opptak med optisk televiwer.

5. SAMMENSTILLING AV RESISTIVITET, SEISMISKE HASTIGHETER OG NATURLIG GAMMASTRÅLING I NORSKE BERGARTER

I det følgende blir verdier for resistivitet, seismiske hastigheter og naturlig total gammastråling sammenstilt for norske bergarter. Data er hentet fra ca 90 brønner og diamantborehull som er logget av NGU i perioden 2000 – 2011. Data er presentert både i tabellform og diagram og er klassifisert etter bergartstype: sedimentær, metamorf og vulkansk.

Data er hentet fra steder i borehullene der bergartene er minst mulig oppsprukket. Til å vurdere dette er det i tillegg til resistivitet og seismisk hastighet benyttet informasjon fra optisk og akustisk televiewer. Endringer i temperatur og elektrisk ledningsevne i vann kan også indikere oppsprekking og er benyttet. Ettersom høy elektrisk ledningsevne i porevannet påvirker resistiviteten, har en forsøkt å unngå borehull med høy elektrisk ledningsevne i vannet.

I kapitlene 5.1 – 5.3 vises diagrammer for hhv. resistivitet, seismisk hastighet og naturlig total gammastråling i de vanligste norske bergarter. Det er gjennomsnittsverdier med standardavvik og målte maksimum – minimums verdier som er angitt. Videre er det angitt hvor målingene er gjort.

Resistiviteten i granitt og syenitt er høy (5000 – 9000 ohmm) og viser liten spredning både i standardavvik og maks/min verdier. Gabbro, og delvis gneis, viser samme tendens. Amfibolitt og grønnstein viser litt større spredning, mens det i Oslofeltets kambrosilurbergarter (kalksteiner) er stor spredning i resistivitetsverdiene og det er lave verdier. Det er logget om lag 15 hull i kambrosilur og alle viser resistivitetsverdier under 1000 ohmm. Verdiene i diagrammet viser gjennomsnitt fra flere hull.

Seismisk P-bølgehastighet viser moderat variasjon for metamorfe og vulkanske bergarter. For sedimentære bergarter er variasjonen tydelig større og den er generelt noe lavere, 4000 – 6000 m/s, mens den for metamorfe og vulkanske for det meste er større enn 5000 m/s.

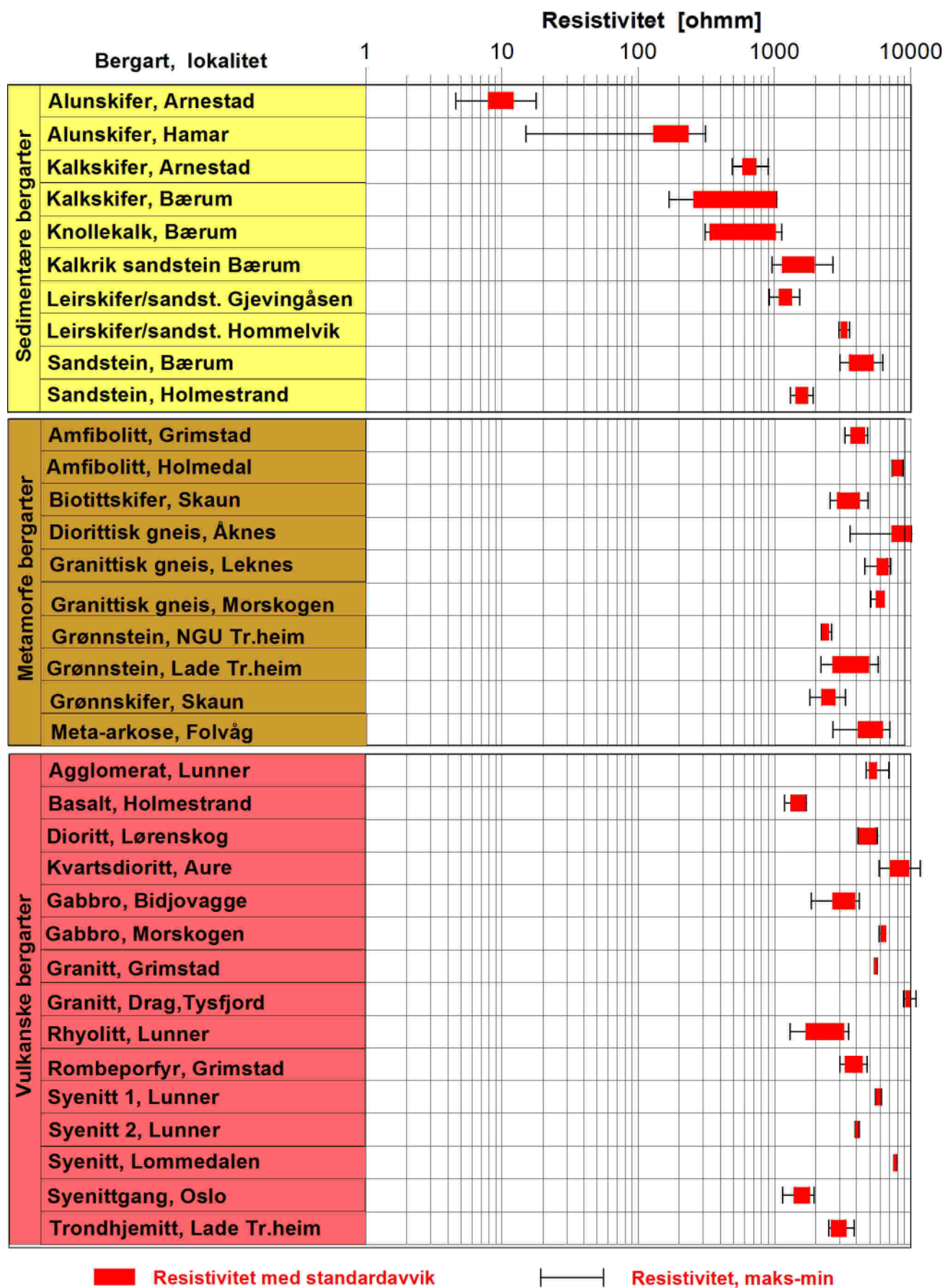
Seismisk hastighet (P-bølge) er høyest i gabbro, ca 6000 m/s, mens alunskiferen har lavest hastighet av de bergarter som er undersøkt med ca 4000 m/s. S-bølgehastigheten varierer generelt mer enn P-bølgehastigheten. Noe av dette kan skyldes noe usikkerhet i data da det ofte er vanskelig å plukke førsteankomst for S-bølgen.

Naturlig gammastråling varierer naturlig nok en del da det er mineralsammensetningen som bestemmer strålingen. Alunskifer har høyest stråling (> 1000cps) grunnet innhold av uran. Granitt og granittisk gneis har også høy stråling, 200 – 500 cps grunnet innhold av små mengder U og Th, i tillegg til økt innhold av kalium. Grønnstein/grønnskifer og anortositt har lavest stråling, < 10 cps.

I kapittel 5.4 er det vist tabeller over målte gjennomsnittsverdier med standardavvik for resistivitet, seismiske hastigheter og naturlig gammastråling for alle borehull som er logget og som danner grunnlaget for sammenstillingen i denne rapporten.

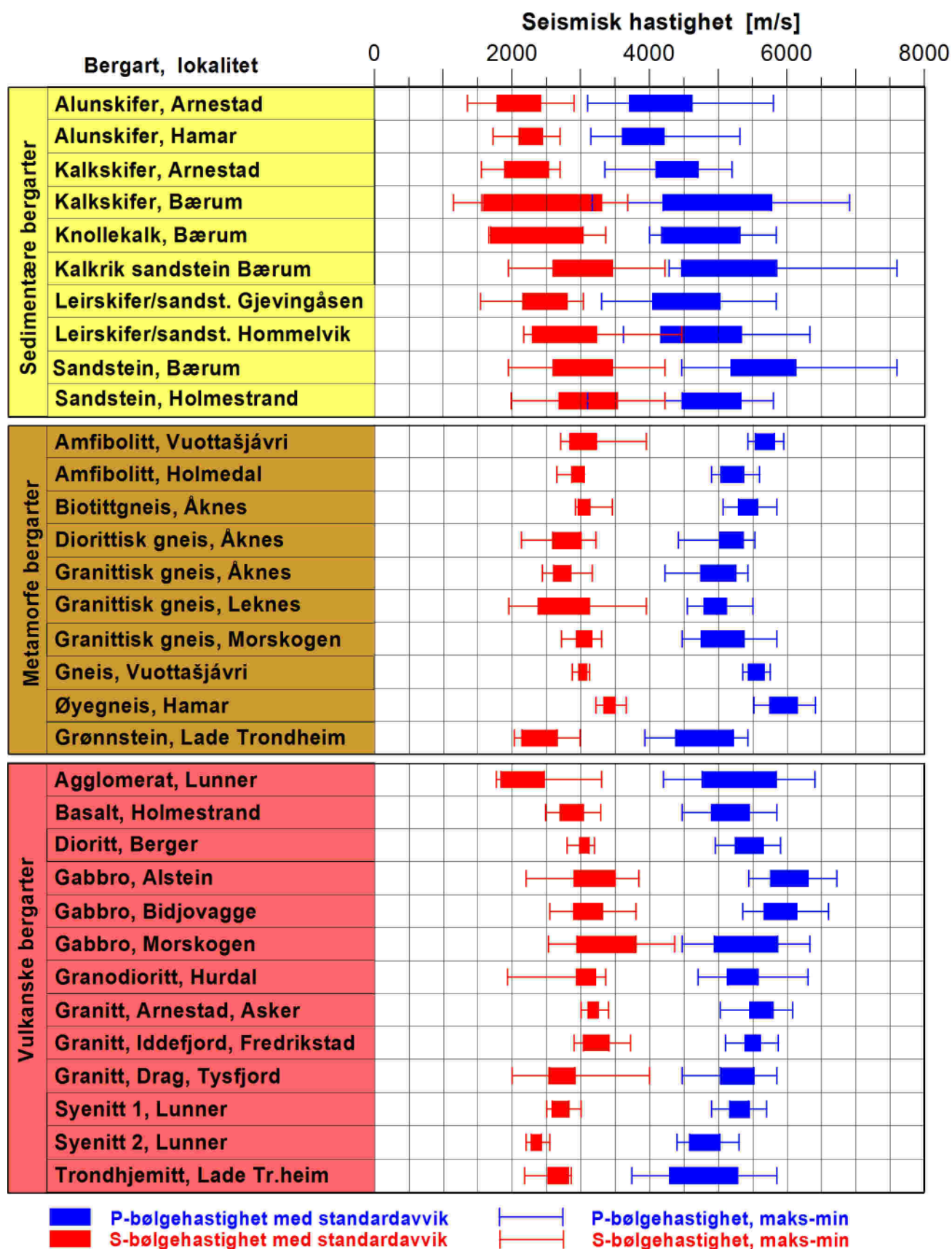
I databilag 1 – 15 vises datablad for noen av borehullene. Her vises bergartstype, hvilket dyp målingen er gjort på, maksimum og minimumsverdier for resistivitet, seismisk hastighet og naturlig gamma, standardavvik og elektrisk ledningsevne i vannet.

5.1 Resistivitet



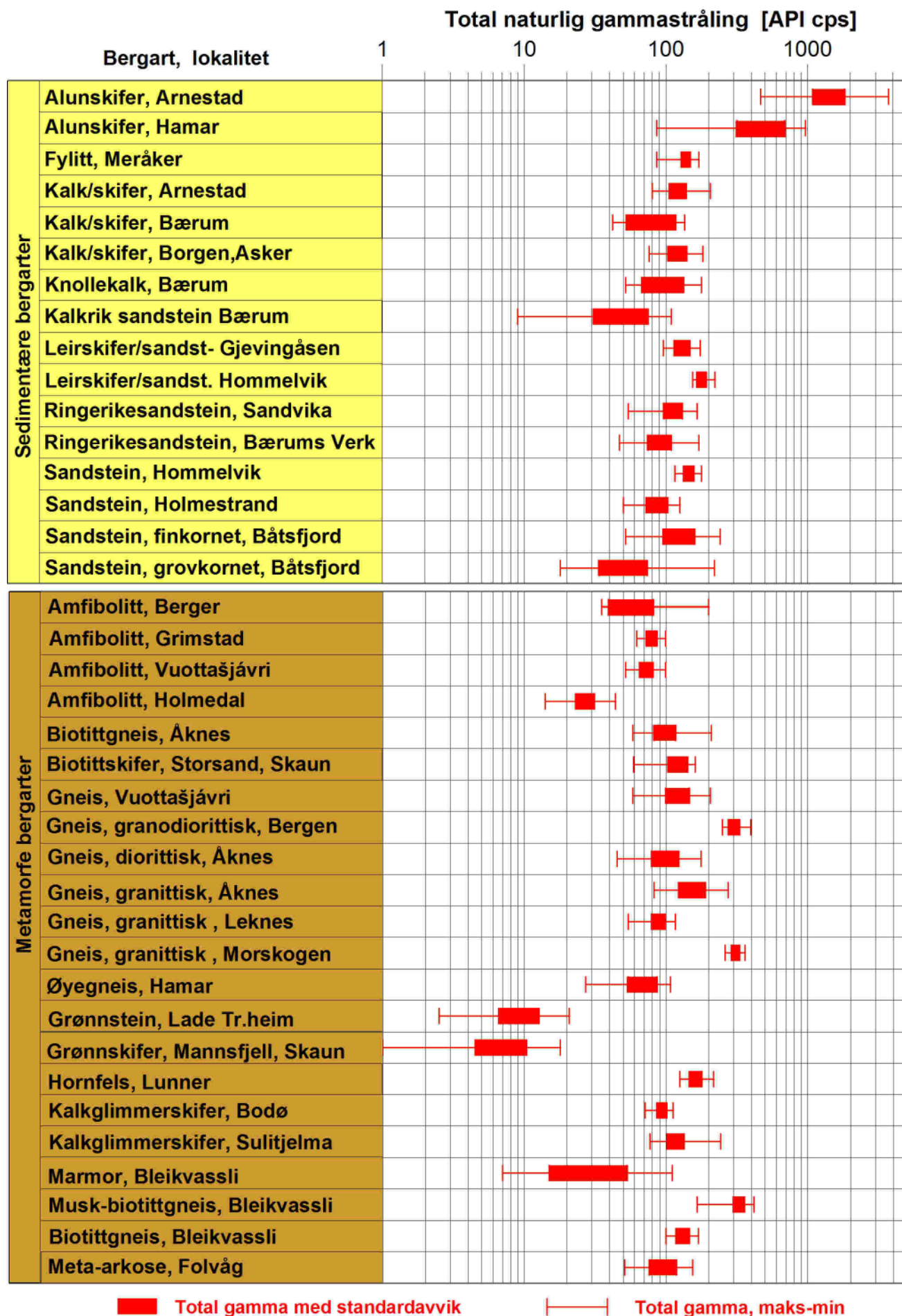
Figur 13: Resistivitet i ikke oppsprukne norske bergarter.

5.2 Seismisk hastighet

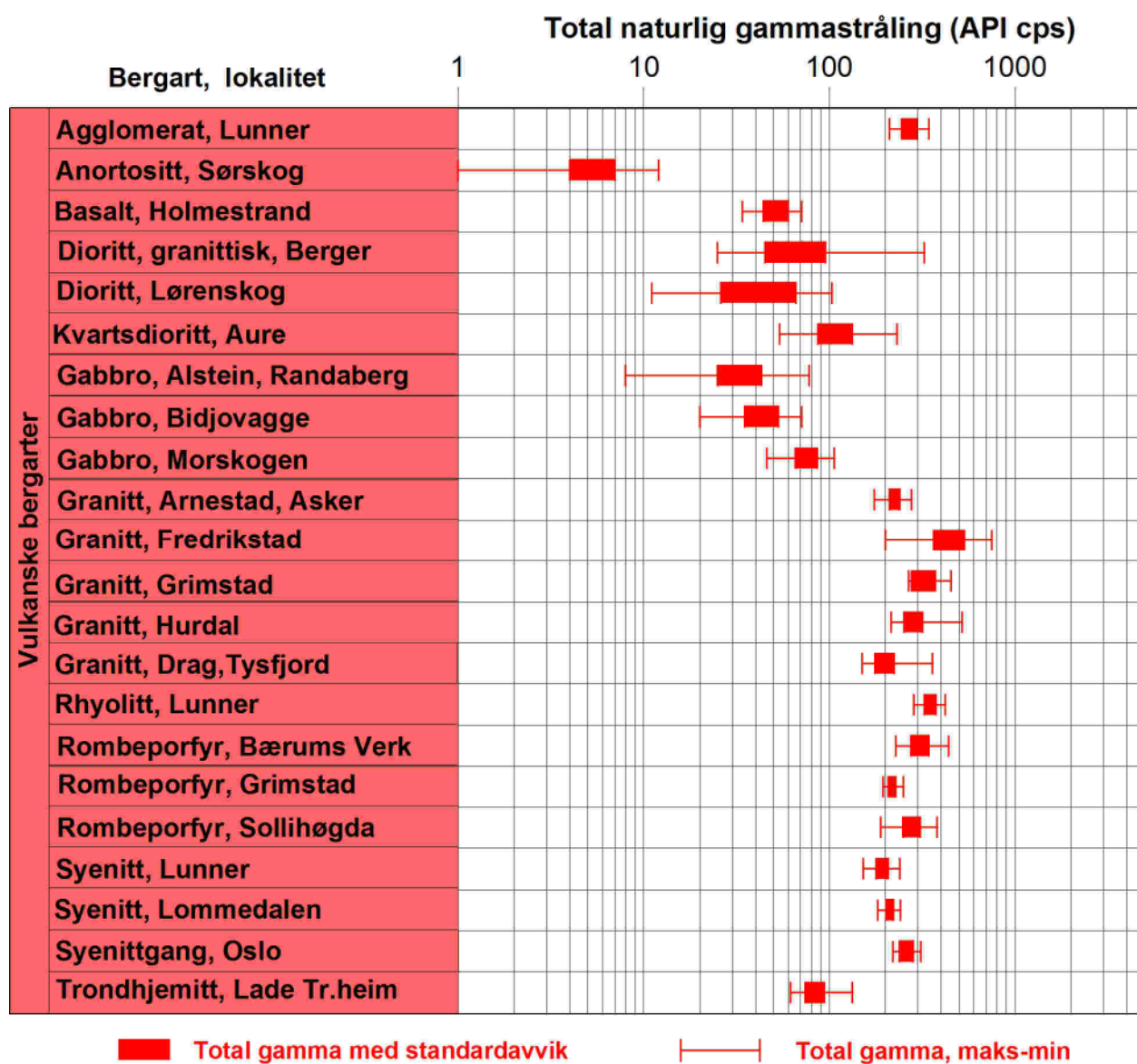


Figur 14: Seismiske hastigheter i ikke oppsprukne norske bergarter.

5.3 Naturlig gammastråling



Figur 15: Naturlig gammastråling i norske bergarter.



Figur 15(forts.): Naturlig gammastråling i norske bergarter.

5.4 Tabeller over resistivitet, seismiske hastigheter og naturlig gammastråling

Tabell 4. Målte gjennomsnittsverdier med standardavvik for resistivitet, seismiske hastigheter og naturlig gammastråling i norske sedimentære bergarter.

Bergart	Lokalitet	Resistivitet LN (ohmm)	Lydhastighet P-bølge (m/s)	Lydhastighet S-bølge (m/s)	Gamma API (cps)
Alunskifer	Arnestad	10 +/- 2	4150 +/- 443	2100 +/- 313	1450 +/- 368
Alunskifer	Hamar	180 +/- 50	3910 +/- 296	2270 +/- 167	500 +/- 187
Fyllitt	Meråker				140 +/- 10
Kalk/skifer	Arnestad	660 +/- 68	4400 +/- 298	2200 +/- 308	120 +/- 16
Kalk/skifer	Asker				120 +/- 18
Leirskifer	Gjevingåsen	1210 +/- 117	4530 +/- 486	2480 +/- 322	130 +/- 16
Leirskifer	Hommelvik	3250 +/- 135	4750 +/- 583	2770 +/- 462	180 +/- 13
Sandstein	Hommelvik	5480 +/- 175	5120 +/- 365	3030 +/- 143	145 +/- 12
Sandstein	Holmestrand	1590 +/- 149	4900 +/- 426	3110 +/- 421	90 +/- 15
Sandstein	Bryn, Bærum				115 +/- 17
Sandstein	Bærums Verk				90 +/- 17
Sandstein, fin	Båtsfjord				130 +/- 32
Sandstein, grov	Båtsfjord				55 +/- 20
Kambrosilur Bærum					
Kalk/skifer	Storengvn.	530 +/- 58	4880 +/- 398	2590 +/- 315	75 +/- 10
Kalk/skifer	Krokfaret	960 +/- 51	5330 +/- 438	2820 +/- 481	60 +/- 8
Kalk/skifer	Ballerud	420 +/- 41	4460 +/- 267	2330 +/- 158	105 +/- 9
Kalk/skifer	Løkkeveien	580 +/- 54	4800 +/- 461	1950 +/- 207	80 +/- 11
Kalk/skifer	Marstrander	750 +/- 74	4730 +/- 258	2140 +/- 350	80 +/- 12
Kalk/skifer	Engerjordet	310 +/- 53	4800 +/- 332	2000 +/- 445	108 +/- 9
Knollekalk	Jar	870 +/- 140	4670 +/- 207	2030 +/- 339	100 +/- 13
Knollekalk	Storengvn.	375 +/- 35	4630 +/- 461	2500 +/- 436	120 +/- 15
Knollekalk	Platåveien	650 +/- 49	4940 +/- 373	2700 +/- 183	90 +/- 8
Knollekalk	Stabekk	700 +/- 63	5100 +/- 161	2920 +/- 106	75 +/- 7
Kalk/sandst.	Ekebergveien	1600 +/- 137	5660 +/- 193	3240 +/- 111	60 +/- 6
Kalk/sandst.	Bauneveien	1560 +/- 376	5010 +/- 723	3010 +/- 408	65 +/- 6
Kalk/sandst.	Ekebergveien	4420 +/- 832	5660 +/- 471	3020 +/- 422	50 +/- 22
Kalk/sandst.	Engerjordet	1430 +/- 168	5450 +/- 270	3110 +/- 373	55 +/- 12

Tabell 5. Målte gjennomsnittsverdier med standardavvik for resistivitet, seismiske hastigheter og naturlig gammastråling i norske metamorfe bergarter.

Bergart	Lokalitet	Resistivitet LN (ohmm)	Lydhastighet P-bølge (m/s)	Lydhastighe t	Gamma API (cps)
Amfibolitt	Vuottašjávri		5680 +/- 137	3030 +/- 186	70 +/- 8
Amfibolitt	Berger		5200 +/- 162	2950 +/- 87	60 +/- 21
Amfibolitt	Grimstad	4050 +/- 401			80 +/- 7
Amfibolitt	Holmedal	7950 +/- 558			25 +/- 4
Biotittgneis	Bleikvassli				130 +/- 14
Muskovitt- Biotittgneis	Bleikvassli				330 +/- 30
Biotittgneis	Åknes		5430 +/- 135	3050 +/- 79	100 +/- 17
Biotittskifer	Storsand	3540 +/- 629			120 +/- 19
Gneis, diorittisk	Åknes	8620 +/-1324	5190 +/- 5359	2790 +/- 202	100 +/- 22
Gneis, granittisk	Åknes		5060 +/- 475	2790 +/- 172	160 +/- 33
Gneis, granittisk	Leknes	6200 +/- 494	4950 +/- 160	2750 +/- 370	90 +/- 9
Gneis, granittisk	Morskogen	5950 +/- 350	5060 +/- 312	3040 +/- 109	310 +/- 19
Gneis	Vuottašjávri		5550 +/- 113	3330 +/- 53	140 +/- 38
Øyegneis	Hamar		5940 +/- 198	3462 +/- 131	70 +/- 16
Gneis, gran.dior	Bergen				300 +/- 27
Grønnstein	Lade Tr.heim	2350 +/- 114	4800 +/- 415	2400 +/- 256	9 +/- 3
Grønnstein	Lade Tr.heim	3760 +/- 1076			8 +/- 3
Grønnskifer	Mannsfj. E39	2760 +/- 277			7 +/- 3
Grønnskifer	Brekka E39	2480 +/- 247			8 +/- 3
Kalkglimmer skifer	Bodø				93 +/- 7
Kalkglimmer skifer	Sulitjelma				118 +/- 16
Marmor	Bleikvassli				34 +/- 19

Tabell 6. Målte gjennomsnittsverdier med standardavvik for resistivitet, seismiske hastigheter og naturlig gammastråling i norske vulkanske bergarter.

Bergart	Lokalitet	Resistivitet LN (ohmm)	Lydhastighet P-bølge	Lydhastighet S-bølge (m/s)	Gamma API (cps)
Agglomerat	Lunner	5300 +/- 286	5300 +/- 540	2150 +/- 315	270 +/- 25
Anortositt	Sørskog				5 +/- 2
Basalt	Holmestrand	1420 +/- 94	5170 +/- 273	2870 +/- 170	50 +/- 8
Basalt	Holmestrand	1630 +/- 80			60 +/- 8
Dioritt	Lørenskog	5260 +/- 245			45 +/- 20
Dioritt	Lørenskog	4280 +/- 147			30 +/- 11
Dioritt	Berger		5450 +/- 202	3050 +/- 67	70 +/- 25
Kvartsdioritt	Aure	8310 +/- 1208			110 +/- 23
Gabbro	Alstein		6030 +/- 269	3190 +/- 296	35 +/- 9
Gabbro	Bidjovagge	3270 +/- 573	5900 +/- 236	3100 +/- 206	45 +/- 9
Gabbro	Morskogen	6330 +/- 185	5400 +/- 461	3370 +/- 427	76 +/- 10
Granodioritt	Hurdal		5350 +/- 217	3070 +/- 136	290 +/- 32
Granitt	Grimstad	5540 +/- 76			325 +/- 47
Granitt	Arnestad		5600 +/- 170	3180 +/- 75	225 +/- 14
Granitt	Iddefjord		5500 +/- 111	3220 +/- 185	450 +/- 84
Granitt	Tysfjord	9450 +/- 210	5250 +/- 120	2700 +/- 165	200 +/- 24
Rhyolitt	Lunner	2450 +/- 737			350 +/- 25
Rombeporfyr	Grimstad	3860 +/- 524			218 +/- 9
Rombeporfyr	Bærums Verk				310 +/- 35
Rombeporfyr	Sollihøgda				280 +/- 29
Syenitt	Lunner bh 3	5800 +/- 147	5300 +/- 137	2700 +/- 122	180 +/- 9
Syenitt	Lunner bh 6	4000 +/- 56	4800 +/- 220	2350 +/- 75	190 +/- 14
Syenitt	Lommedalen	7710 +/- 84			212 +/- 9
Syenittgang	Oslo	1600 +/- 194	4000 +/- 667		260 +/- 21
Trondhemitt	Lade, Tr.heim	2960 +/- 338	4780 +/- 490	2670 +/- 148	84 +/- 10

6. KONKLUSJON

I samarbeidsprosjektet "Forbedrede forundersøkelser for tunneler" mellom NGU og Vegdirektoratet har en av oppgavene vært å sammenstille verdier for resistivitet, seismiske hastigheter og naturlig gammastråling i norske bergarter. Dette er gjort ved å gå gjennom data fra ca 90 borehull som er logget av NGU siden år 2000. Hensikten har vært å finne standardverdier for resistivitet og seismisk hastighet i massiv bergart som ikke er oppsprukket. Både resistivitet og seismisk hastighet viser en nedgang ved økt oppsprekking og økt vanninnhold. Ved rutinemessige målinger av resistivitet og seismisk hastighet kan dermed måleresultatene sammenlignes med standardverdier og en kan få et begrep om fjellkvaliteten med hensyn til stabilitet.

Andre parametere som påvirker resistiviteten er innhold av ledende mineraler (grafitt, sulfider), leire og elektrisk ledningsevne i porevannet. Det er derfor viktig å bruke flere geofysiske metoder, og seismisk hastighet er derfor en viktig parameter. Måling av vannets elektriske ledningsevne gjøres rutinemessig i borehull og måling av indusert polarisasjon (IP) kan gjøres for å kartlegge sulfider.

Data for resistivitet, seismisk hastighet og naturlig gammastråling er sammenstilt både i tabellform og i diagrammer, og er klassifisert etter bergartstype, sedimentære, metamorfe og vulkanske. Data er presentert som gjennomsnittsverdier med standardavvik. Maksimum og minimumsverdier fra de områdene av hullene som er undersøkt er også presentert.

Det er store variasjoner i resistivitetsverdiene. De kalkholdige kambrosilurbergartene i Oslofeltet har generelt lav resistivitet (< 1000 ohmm) og den varierer også mye internt. Gneis, granitt og gabbro har høy resistivitet (> 5000 ohmm) og resistivitetskontraster på grunn av oppsprekking vil lettere registreres i disse enn i bergarter med generell lav resistivitet. Modellering har vist at forutsetningen for vellykkede resultater ved forundersøkelser for tunneler er at det er en tilstrekkelig kontrast i resistivitet (Reiser 2009). Dersom resistiviteten i massiv bergart i utgangspunktet er lav, vil en ikke få tilstrekkelig kontrast mellom massivt og oppsprukket fjell til å påvise oppsprekkingen.

Seismisk hastighet (P-bølge) er noe lavere i sedimentære bergarter enn i metamorfe og vulkanske. Den varierer også mer, $4000 - 6000$ m/s. Høyest seismisk hastighet er målt i gabbro, ca 6000 m/s, mens gneis, granitt og syenitt er målt til $5000 - 6000$ m/s.

Naturlig gammastråling, som er viktig for å identifisere bergarter og bergartsgrenser, viser store variasjoner. Alunskiferen skiller seg ut med veldig høy stråling (>1000 cps). Granitt og rombeporfyr har også forholdsvis høy stråling ($300 - 500$ cps). De fleste andre bergarter ligger under 200 cps hvor grønnstein/grønnskifer er definitivt lavest med mindre enn 10 cps.

7. REFERANSER

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

Dalsegg, E., Elvebakk, H. & Rønning, J.S. 2003: Tunnelprosjektet. Geofysiske bakkemålinger og borehullslogging, Jong – Asker, Asker og Bærum kommuner, Akershus. *NGU Rapport 2003.006*.

Dalsegg, E., Elvebakk, H. & Rønning, J.S. 2003: Tunnelprosjektet. Geofysiske bakkemålinger og borehullslogging på Krokskogen, Hole og Ringerike kommuner, Buskerud. *NGU Rapport 2003.007*.

Dalsegg, E., Elvebakk, H., Rønning, J.S., Muring, E. & Tønnesen, J.F. 2003: Tunnelprosjektet. Geofysiske bakkemålinger og borehullslogging, E-39, Skaun kommune Sør-Trøndelag. *NGU Rapport 2003.067*.

Elvebakk, H., Braathen, A., Rønning, J.S. & Nordgulen, Ø. 2001: Tunnelprosjektet. Borehullslogging og strukturgeologiske studier Gualia, Lunner kommune. *NGU Rapport 2001.117*.

Elvebakk, H. 2001a: Borehullsinspeksjon med optisk televiewer, SiA, Lørenskog, Akershus. *NGU Rapport 2001.021*.

Elvebakk, H. 2001b: Inspeksjon av borebrønn ved Borgen skole, Asker kommune, Akershus. *NGU Rapport 2001.036*.

Elvebakk, H. 2002: Borehullsinspeksjon med optisk televiewer, Ringveg Vest under Nordåstrømmen, Bergen. *NGU Rapport 2002.060*.

Elvebakk, H., Midttømme, K. & Skarphagen, H. 2002: Geologisk utredning av grunnvarmeanlegg på Hovdejordet, Bodø boligbyggerlag, Bodø. *NGU Rapport 2002.061*.

Elvebakk, H., Rønning, J.S. & Storror, G. 2002: Borehullslogging i fjellbrønn, Folvåg, Sunnfjord. En verifisering av lineamentsmodell med hensyn til oppsprekking og vanngiverevne. *NGU Rapport 2002.078*.

Elvebakk, H. 2006: Borehullslogging i forbindelse med ny jernbanetunnel Sandvika - Lysaker, Bærum kommune. *NGU Rapport 2006.007*.

Elvebakk, H. 2007a: Borehullslogging i forbindelse med ny jernbanetunnel Sandvika - Lysaker, Bærum kommune. *NGU Rapport 2007.046*.

Elvebakk, H. 2007b: Borehullslogging, ny jernbanetunnel Sandvika - Lysaker, Bærum kommune. *NGU Rapport 2007.073*.

Elvebakk, H. 2008a: Borehullslogging, ny jernbanetunnel Sandvika - Lysaker, Bærum kommune, del 2. *NGU Rapport 2008.065*.

Elvebakk, H. 2008b: Borehullslogging, Åknes, Stranda kommune. *NGU Rapport 2008.030*.

Elvebakk, H. 2008c: Geofysisk logging av borehull ved Hamar Flyplass. *NGU Rapport 2008.079*.

Elvebakk, H. 2010a: Geofysisk logging av 2 borehull ved Gjevingåsen jernbanetunnel, Hommelvik – Stjørdal. *NGU Rapport 2010.019*.

Elvebakk, H. 2010b: Geofysisk logging av 4 borehull langs planlagt jernbanetunnel Holm-Holmestrand-Nykirke. *NGU Rapport 2010.032*.

Elvebakk, H. 2011a: Geofysisk logging av borehull ved Lutvann, Oslo. *NGU Rapport 2011.008*.

Elvebakk, H. 2011b: Geofysisk logging av borehull ved Gualia, Lunner. *NGU Rapport 2011.009*.

Elvebakk, H. 2011c: Geofysisk logging av borehull ved Vuottašjávri og Bidjovagge, Kautokeino, Finnmark. *NGU Rapport 2011.010*.

Elvebakk, H. 2011d: Geofysisk logging av borehull ved Arnestad skole, Asker. *NGU Rapport 2011.011*.

Elvebakk, H. 2011e: Geofysisk logging av borehull ved Ciens Forskningspark, Gaustad, Oslo. *NGU Rapport 2011.012*.

Elvebakk, H. 2011f: Geofysisk logging av borehull ved Rødsmyra skole, Fredrikstad. *NGU Rapport 2011.013*.

Elvebakk, H. 2011g: Geofysisk logging av borehull på Drag, Tysfjord og Leknes, Lofoten. *NGU Rapport 2011.014*.

Elvebakk, H. 2011h: Geofysisk logging av borehull Berger, Skedsmo kommune. *NGU Rapport 2011.015*.

Elvebakk, H. 2011i: Geofysisk logging av borehull ved Arnestad skole, Asker. *NGU Rapport 2011.016*.

Elvebakk, H. 2011j: Logging av grunnvannsbrønner ved Morskogen, Eidsvoll kommune. *NGU Rapport 2011.017*.

Elvebakk, H. 2011k: Geofysisk logging av borehull på Alstein, Randaberg kommune, Rogaland. *NGU Rapport 2011.032*.

Midttømme, K. & Elvebakk, H. 2003: Borehullsbasert energilager ved Akershus Universitetssykehus – geologiske forundersøkelser 2002 – 2003. *NGU Rapport 2003.036*.

- Midttømme, K., Ramstad, R.K., Solli, A., Sørdal, T. & Elvebakk, H. 2004: Grunnvarmekartlegging i Asker og Bærum. *NGU Rapport 2004.013*.
- Pascal, C., Barrère, C., Davidsen, B., Ebbing, J., Elvebakk, H., Gernigon, L., Olesen, O., Roberts, D., Siedlecka, A., Skilbrei, J.R., Slagstad, T. & Wissing, B. 2008: HeatBear Report 2008, Basement Heat Generation and Heat Flow in the western Barents Sea- Importance for hydrocarbon systems. *NGU Report 2008.072*.
- Ramstad, R.K., Hilmo, B.O. & Skarphagen, H. 2005: Grunnvarme fra fast fjell – økt energiuttak ved hydraulisk trykking av borebrønner. *NGU Rapport 2005.010*.
- Ramstad, R.K. 2004: Ground source energy in crystalline bedrock – increased energy extraction by using hydraulic fracturing in boreholes. *Doctoral Theses at NTNU 2004:161*.
- Reiser, F., Dalsegg, E., Dahlin, T., Ganerød, G.V. & Rønning, J.S. 2009: Resistivity Modelling of Fracture Zones and Horizontal Layers in Bedrock. *NGU Rapport 2009.070*.
- Robertson Geologging Ltd. 2003: FWVS processing. Full-wave sonic processing manual.
- Rønning, J.S. 2003: Miljø og samfunnstjenlige tunneler. Sluttrapport delprosjekt A, Forundersøkelser. *NGU Rapport 2003.077*.
- Rønning, J.S. & Elvebakk, H. 2005: Onshore – Offshore Resistivity studies. Basement resistivity at the Frøya High. *NGU Report 2005.032*.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. & Keys, D.A. 1984: Applied Geophysics. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Thunehead, H. & Olsson, O. 2005: Borehole Corrections for a Thick Resistivity Probe. *Journal of Environmental & Engineering Geophysics*, Vol. 9, Issue 4, pp. 217- 224.

Forklaring til databilagene.

I databilag 1 – 16 er det vist detaljerte data for resistivitet, seismisk hastighet og naturlig gammastråling for de mest undersøkte hullene (der alle parametre er målt).

Lokalitet :

Stedsnavn og kommune. I noen tilfeller er nr. på borehull angitt. Dette er betegnelsen som oppdragsgiver har benyttet og er også referert til i NGU-rapportene.

Bergart: Bergartstype er bestemt fra geologiske kart eller av geolog som har logget hullet.

Dyp : Angir stedet (lengden) i borehullet hvor data er hentet fra.

Mean : Beregnet middelerdi i angitt lengde av borehullet.

Min. : Målt minimumsverdi i innenfor angitt lengde av hullet.

Max. : Målt maksimumsverdi innenfor angitt lengde av hullet.

St.avvik : Beregnet standardavvik av måleverdiene i angitt lengde av hullet.

SN : Short Normal elektrodekonfigurasjon ved resistivitetsmålinger. Måleverdi i borehullveggen umiddelbare nærhet.

LN : Long Normal elektrodekonfigurasjon ved resistivitetsmålinger. Måleverdi av et større volum noen desimeter fra borehullsveggen.

Ledn.e. : Elektrisk ledningsevne i vannet i borehullet.

**Lokalitet: Alstein
Randaberg kommune**

Naturlig Gamma

Bergart	Dyp [m]	Gamma [mean cps]	Gamma [min. cps]	Gamma [max. cps]	St.avvik.
Gabbro	30 - 90	34	8.4	78	9

Resistivitet Short Normal

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	St.dev.	Ledn.evne [μS/cm]	LN/SN
Gabbro	43 - 63	2195	1415	3050	377	2673	SN
Gabbro	70 - 100	600	433	880	82	9335	SN

Resistivitet Long Normal

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	St.dev.	Ledn.evne [μS/cm]	LN/SN
Gabbro	43 - 63	1560	1290	1850	142	2673	LN
Gabbro	70 - 100	670	570	775	46	9335	LN

Seismisk P-bølge hastighet

Bergart	Dyp [m]	P-bølge hast. [mean m/s]	P-bølge hast. [min. m/s]	P-bølge hast. [max.m/s]	St.avvik
Gabbro	50 - 100	6030	5440	6720	269

Seismisk S-bølge hastighet

Bergart	Dyp [m]	S-bølge hast. [mean m/s]	S-bølge hast. [min. m/s]	S-bølge hast. [max.m/s]	St.avvik
Gabbro	50 - 100	3190	2200	3840	293

Gjennomsnittsverdier

Bergart	Dyp [m]	P-bølge [m/s]	S-bølge [m/s]	Gamma [cps]	Resistivitet LN [ohmm]	Resistivitet SN [ohmm]
Gabbro	43 - 60	6030	3190	78	1290	1415

Lokalitet: Arnestad
Asker kommune, Akershus

Naturlig Gamma

Bergart	Dyp [m]	Gamma [mean cps]	Gamma [min. cps]	Gamma [max. cps]	St.avvik.
Kalkskifer, Leirstein	20 - 70	123	80	205	16
Alunskifer	350 - 400	1450	465	3700	368
Granitt	500 - 550	225	175	277	14

Resistivitet Short Normal

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	St.dev.	Ledn.e [μS/cm]	LN/SN
Kalkskifer, Leirstein	20 - 70	1100	600	1750	212	1500	SN
Alunskifer	350 - 400	1.9	0.1	6.2	0.9	1455	SN
Granitt	500 - 550	4300	3500	4900	282	1400	SN

Resistivitet Long Normal

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	St.dev.	Ledn.e [μS/cm]	LN/SN
Kalkskifer, Leirstein	20 - 70	660	490	900	68	1500	LN
Alunskifer	350 - 400	9.8	4.6	17.8	2.0	1455	LN
Granitt	500 - 550	1670	1510	1810	65	1400	LN

Seismisk P-bølge hastighet

Bergart	Dyp [m]	P-bølge hast. [mean m/s]	P-bølge hast. [min. m/s]	P-bølge hast. [max.m/s]	St.avvik
Kalkskifer Leirstein	20 - 70	4400	3350	5200	298
Alunskifer	350 - 400	4150	3100	5800	443
Granitt	500 - 550	5625	5025	6075	170

Seismisk S-bølge hastighet

Bergart	Dyp [m]	S-bølge hast. [mean m/s]	S-bølge hast. [min. m/s]	S-bølge hast. [max.m/s]	St.avvik
Kalkskifer Leirstein	20 - 70	2200	1550	3700	308
Alunskifer	350 - 400	2100	1350	2900	313
Granitt	500 - 550	3175	3000	3400	75

Gjennomsnittsverdier

Bergart	Dyp [m]	P-bølge [m/s]	S-bølge [m/s]	Gamma [cps]	Resistivitet LN [ohmm]	Resistivitet SN [ohmm]
Kalkskifer Leirstein	20 - 70	4400	2200	123	660	1100
Alunskifer	350 - 400	4150	2100	1450	9.8	1.9
Granitt	500 - 550	5600	3175	225	1670	4300

Lokalitet: Berger
Skedsmo kommune, Akershus

Naturlig Gamma

Bergart	Dyp [m]	Gamma [mean cps]	Gamma [min. cps]	Gamma [max. cps]	St.avvik
Dioritt/pegmatitt	130 - 175	230	60	650	88
Granittisk dioritt	255 - 320	70	25	325	25
Amfibolitt	425 - 437	60	35	200	21

Resistivitet Short Normal

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	St.avvik	Ledn.e [μS/cm]	LN/SN
Dioritt/pegmatitt	130 - 175	5550	4250	6250	467	1500	SN
Granittisk dioritt	255 - 320	6600	4550	7200	410	1455	SN
Amfibolitt	425 - 437	5000	4000	5500	361	1450	SN

Resistivitet Long Normal

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	St.avvik	Ledn.e [μS/cm]	LN/SN
Dioritt/pegmatitt	130 - 175	1900	1600	2050	102	1500	LN
Granittisk dioritt	255 - 320	2000	1750	2150	73	1455	LN
Amfibolitt	425 - 437	1600	1400	1700	69	1450	LN

Seismisk P-bølgehastighet

Bergart	Dyp [m]	P-bølgehast. [mean m/s]	P-bølgehast. [min. m/s]	P-bølgehast. [max.m/s]	St.avvik
Dioritt/pegmatitt	130 - 175	5100	4750	5500	133
Granittisk Dioritt	255 - 320	5450	4950	5900	202
Amfibolitt	425 - 437	5200	4900	5600	162

Seismisk S-bølgehastighet

Bergart	Dyp [m]	S-bølgehast. [mean m/s]	S-bølgehast. [min. m/s]	S-bølgehast. [max.m/s]	St.avvik
Dioritt/pegmatitt	130 - 175	2950	2552	4500	347
Granittisk Dioritt	255 - 320	3050	2800	3200	67
Amfibolitt	425 - 437	2950	2650	3050	87

Gjennomsnittsverdier

Bergart	Dyp [m]	P-bølge [m/s]	S-bølge [m/s]	Gamma [cps]	Resistivitet LN [ohmm]	Resistivitet SN [ohmm]
Dioritt/pegmatitt	130-175	5100	2950	230	1900	5550
Granittisk dioritt	255 - 320	5450	3050	70	2000	6600
Amfibolitt	425 - 437	5200	2950	60	1600	5000

Lokalitet: Bidjovagge, Bh 2008-01**Kautokeino kommune, Finnmark**

Naturlig Gamma

Bergart	Dyp [m]	Gamma [mean cps]	Gamma [min. cps]	Gamma [max. cps]	St.avvik.
Gabbro	20 - 40	44	20	71	9
Gabbro	160 - 225	35	15	67	8
Felsitt	75 - 125	175	50	570	68

Resistivitet Short Normal og Long Normal

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	Ledn.e. [μS/cm]	St.dev	LN/SN
Gabbro	20 - 40	4650	1325	6000	900	1014	SN
Gabbro	20 - 40	3250	1860	4175	900	558	LN

Seismisk P-bølgehastighet

Bergart	Dyp [m]	P-bølgehast. [mean m/s]	P-bølgehast. [min. m/s]	P-bølgehast. [max. m/s]	St.avvik
Gabbro	20 - 40	5900	5350	6600	236
Gabbro	160 - 225	6300	5350	7500	341
Felsitt	75 - 125	5400	4250	5900	244

Seismisk S-bølgehastighet

Bergart	Dyp [m]	S-bølgehast. [mean m/s]	S-bølgehast. [min. m/s]	S-bølgehast. [max.m/s]	St.avvik
Gabbro	20 - 40	3100	2550	3800	211
Gabbro	160 - 225	3400	2600	3900	272
Felsitt	75 - 125	3000	2150	3950	382

Gjennomsnittsverdier

Bergart, Leknes Bh	Dyp [m]	P-bølge [m/s]	S-bølge [m/s]	Gamma [cps]	Resistivitet LN [ohmm]	Resistivitet SN [ohmm]	Ledn.e. [μS/cm]
Gabbro	20 - 40	5900	3100	44	3250	4650	900
Gabbro	160 - 225	6300	3400	35	-	-	900
Felsitt	75 - 125	5400	3000	175	-	-	900

Lokalitet: Drag
Tysfjord kommune, Nordland

Naturlig Gamma

Bergart	Dyp [m]	Gamma [mean cps]	Gamma [min. cps]	Gamma [max. cps]	St.avvik.
Gneis/granitt	12 - 50	190	150	270	15
Gneis/granitt	110-150	200	150	360	24
Gneis/granitt	200-400	185	130	855	34

Resistivitet Short Normal

Drag Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	Ledn.e. [μS/cm]	St.dev	LN/SN
Gneis/granitt	12 - 50	8475	8450	8500	99	9	SN
Gneis/granitt	110-150	7600	7100	7750	236	187	SN
Gneis/granitt	200-400	4950	3150	6150	720	357	SN

Resistivitet Long Normal

Drag Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	Ledn.e. [μS/cm]	St.dev	LN/SN
Gneis/granitt	12 - 50	10800	10500	10900	99	68	LN
Gneis/granitt	110-150	9450	8850	9600	236	210	LN
Gneis/granitt	200-400	5400	3500	6300	720	380	LN

Seismisk P-bølgehastighet

Drag Bergart	Dyp [m]	P-bølgehast. [mean m/s]	P-bølgehast. [min. m/s]	P-bølgehast. [max. m/s]	St.avvik
Gneis/granitt	12 - 50	5150	5000	5450	108
Gneis/granitt	110-150	5270	4470	5850	243
Gneis/granitt	200-400	5550	4950	6850	256

Seismisk S-bølgehastighet

Drag Bergart	Dyp [m]	S-bølgehast. [mean m/s]	S-bølgehast. [min. m/s]	S-bølgehast. [max.m/s]	St.avvik
Gneis/granitt	12 - 50	2500	2350	2800	83
Gneis/granitt	110-150	2720	2000	4000	165
Gneis/granitt	200-400	2860	2050	4050	205

Gjennomsnittsverdier

Bergart, Drag Bh	Dyp [m]	P-bølge [m/s]	S-bølge [m/s]	Gamma [cps]	Resistivitet LN [ohmm]	Resistivitet SN [ohmm]	Ledn.e. [μS/cm]
Gneis/granitt	12 - 50	5150	2500	190	10800	8475	99
Gneis/granitt	110-150	5250	2700	200	9450	7600	236
Gneis/granitt	200-400	5550	2860	185	5400	4950	720

**Lokalitet: Rødsmyra, Fredrikstad
Fredrikstad kommune, Østfold**

Naturlig Gamma

Bergart	Dyp [m]	Gamma [mean cps]	Gamma [min. cps]	Gamma [max. cps]	St.avvik
Iddefjordgranitt	350 - 400	450	200	750	84

Resistivitet Short Normal og Long Normal

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	St.avvik	Ledn.evne [μS/cm]	LN/SN
Iddefjord- granitt	350 - 400	5500	3600	6500	486	2450	SN
Iddefjord- granitt	350 - 400	1550	1300	1800	121	2450	LN

Seismisk P-bølgehastighet

Bergart	Dyp [m]	P-bølgehast. [mean m/s]	P-bølgehast. [min. m/s]	P-bølgehast. [max.m/s]	St.avvik
Iddefjord- granitt	350 - 400	5500	5100	5870	111

Seismisk S-bølgehastighet

Bergart	Dyp [m]	S-bølgehast. [mean m/s]	S-bølgehast. [min. m/s]	S-bølgehast. [max.m/s]	St.avvik
Iddefjord- granitt	350 - 400	3220	2900	3720	185

Gjennomsnittsverdier

Bergart	Dyp [m]	P-bølge [m/s]	S-bølge [m/s]	Gamma [cps]	Resistivitet LN [ohmm]	Resistivitet SN [ohmm]
Iddefjord- granitt	350-400	5500	3220	450	1550	5500

Lokalitet: Gaustad, Ciens 1
Oslo kommune

Naturlig Gamma

Bergart	Dyp [m]	Gamma [mean cps]	Gamma [min. cps]	Gamma [max. cps]	St.avvik.
Syenittgang i kalkskifer	46 – 53 80 – 90	260	220	310	21

Resistivitet Short Normal

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	St.dev.	Ledn.e. [μS/cm]	LN/SN
Syenittgang i kalkskifer	46 - 53 80 - 90	2070	1070	3200	585	600	SN

Resistivitet Long Normal

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	St.dev.	Ledn.e. [μS/cm]	LN/SN
Syenittgang i kalkskifer	46 - 53 80 - 90	1600	1150	1950	194	600	LN

Seismisk P-bølgehastighet

Bergart	Dyp [m]	P-bølgehast. [mean m/s]	P-bølgehast. [min. m/s]	P-bølgehast. [max.m/s]	St.dev
Syenittgang i kalkskifer	46 - 53 80 - 90	4800	3100	6350	667

Seismisk S-bølgehastighet: Mangler data

Gjennomsnittsverdier

Bergart	Dyp [m]	P-bølge [m/s]	S-bølge [m/s]	Gamma [cps]	Resistivitet LN [ohmm]	Resistivitet SN [ohmm]
Syenittgang i kalkskifer	46 - 53 80 - 90	4800	-	260	1600	2070

Lokalitet: Høgskolen i Agder, Grimstad
Grimstad kommune, Aust-Agder

Naturlig Gamma

Bergart	Dyp [m]	Gamma [mean cps]	Gamma [min. cps]	Gamma [max. cps]	St.avvik.
Amfibolitt Bh 3	46 - 60	80	62	99	7
Rombeporfyr Bh 3	18 - 30	253	231	288	10
Rombeporfyr Bh 4	12 - 30	218	195	251	9
Granitt Bh 3	105 - 116	390	258	468	44
Granitt Bh 4	100 - 107	325	267	452	47

Resistivitet Short Normal

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	St.dev.	Ledn.e [μS/cm]	LN/SN
Amfibolitt Bh 3	46 - 60	3597	2914	4149	343	280	SN
Amfibolitt Bh 4	80 - 90	4021	3356	4527	290	85	SN
Rombeporfyr Bh 3	18 - 30	3709	3083	4080	218	280	SN
Rombeporfyr Bh 4	12 - 30	4411	3231	5759	719	120	SN
Granitt Bh 3	105 - 116	6288	5128	6876	457	280	SN
Granitt Bh 4	100 - 107	6343	5211	6679	239	83	SN

Resistivitet Long Normal

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	St.dev.	Ledn.e [μS/cm]	LN/SN
Amfibolitt Bh 3	46 - 60	2570	2223	2818	162	280	LN
Amfibolitt Bh 4	80 - 90	4103	3293	4793	451	85	LN
Rombeporfyr Bh 3	18 - 30	2620	2317	2786	106	280	LN
Rombeporfyr Bh 4	12 - 30	3860	3002	4769	524	120	LN
Granitt Bh 3	105 - 116	3628	2935	3860	235	280	LN
Granitt Bh 4	100 - 107	5536	5392	5697	76	83	LN

Seismiske hastigheter mangler

Gjennomsnittsverdier

Bergart	Dyp [m]	P-bølge [m/s]	S-bølge [m/s]	Gamma [cps]	Resistivitet LN [ohmm]	Resistivitet SN [ohmm]
Amfibolitt Bh 3	46 - 60	-	-	80	2570	3597
Amfibolitt Bh 4	80 - 90	-	-	-	4103	4021
Rombeporfyr Bh 3	18 - 30	-	-	253	2620	3709
Rombeporfyr Bh 4	12 - 30	-	-	218	3860	4411
Granitt Bh 3	105 - 116	-	-	390	3628	6288
Granitt Bh 4	100 - 107	-	-	325	5536	6343

Lokalitet: Hamar Flyplass
Hamar kommune, Hedemark

Naturlig Gamma

Bergart	Dyp [m]	Gamma [mean cps]	Gamma [min. cps]	Gamma [max. cps]	St.dev.
Leirskifer Kalkstein	0 -220	75	30	109	11.6
Mørk skifer	220-380	82	43	119	10.7
Kalkstein Grå skifer	380-393	42	12	91	14.1
Grønnlig skifer Kalkstein	485-507	128	53	198	19.3
Svartskifer Alunskifer	562-763	502	86	963	186
Øyegneis	770-816	70	27	107	16.4

Resistivitet Long Normal

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	St.dev.	Ledn.e [µS/cm]
Leirskifer Kalkstein	0 -220	282	177	581	70.7	485
Mørk skifer	220-380	315	194	483	56.4	494
Kalkstein Grå skifer	380-393	2211	655	4652	1067	490
Grønnlig skifer Kalkstein	485-507	404	317	528	34.0	537
Svartskifer Alunskifer	562-763	180	15	313	49.9	3485
Øyegneis	770-816	1548	1302	1770	115	6504

Seismisk P- og S-bølgehastighet

Bergart	Dyp [m]	Lydhastighet [mean m/s]	Lydhastighet [min. m/s]	Lydhastighet [max.m/s]	St.dev.
Leirskifer Kalkstein	0 -220	4250 P	3156 P	5439 P	257 P
	75-220	2542 S	1884 S	3342 S	181 S
Mørk skifer	220-380	4783 P	4137 P	5801 P	266 P
		2533 S	1818 S	3873 S	295 S
Kalkstein Grå skifer	380-393	5911 P	5512 P	6392 P	201 P
		3107 S	2969 S	3276 S	64 S
Grønnlig skifer Kalkstein	485-507	5075 P	4694 P	6170 P	291 P
		2826 S	2409 S	3367 S	198 S
Svartskifer Alunskifer	562-763	3907 P	3143 P	5315 P	293 P
		2269 S	1721 S	3441 S	167 S
Øyegneis	770-816	5944 P	5512 P	6409 P	198 P
		3412 S	3221 S	3658 S	81 S

Gjennomsnittsverdier

Bergart	Dyp [m]	Lydhastighet [m/s]	Gamma [cps]	Resistivitet [ohmm]
Leirskifer Kalkstein	0 -220	4250	75	282
Mørk skifer	220-380	4783	82	315
Kalkstein Grå skifer	380-393	5911	42	2211
Grønnlig skifer Kalkstein	485-507	5075	128	404
Svartskifer Alunskifer	562-763	3907	502	180
Øyegneis	770-816	5944	70	1548

Lokalitet: Hurdal
Hurdal kommune, Hedemark

Naturlig Gamma

Bergart	Dyp [m]	Gamma [mean cps]	Gamma [min. cps]	Gamma [max. cps]	St.dev.
Bh 3 Granitt/ granodioritt	250 -450	285	215	520	32
Bh 5 Granitt/ granodioritt	2 - 585	290	200	535	38

Resistivitet Short Normal: Mangler data

Resistivitet Long Normal: Mangler data

Seismisk P-bølgehastighet

Bergart	Dyp [m]	P-bølgehast. [mean m/s]	P-bølgehast. [min. m/s]	P-bølgehast. [max. m/s]	St.avvik
Bh 3 Granitt/ granodioritt	250 - 450	5350	4700	6300	217

Seismisk S-bølgehastighet

Bergart	Dyp [m]	S-bølgehast. [mean m/s]	S-bølgehast. [min. m/s]	S-bølgehast. [max.m/s]	St.avvik
Bh 3 Granitt/ granodioritt	250 - 450	3070	1930	3360	136

Gjennomsnittsverdier

Bergart	Dyp [m]	P-bølge [m/s]	S-bølge [m/s]	Gamma [cps]
Bh 3 Granitt/ granodioritt	250 - 450	5350	3070	285
Bh 5 Granitt/ granodioritt	2 - 585	-	-	290

Lokalitet: Holmestrand
Holmestrand, Sande kommune, Vestfold

Naturlig Gamma

Bergart	Dyp [m]	Gamma [mean cps]	Gamma [min. cps]	Gamma [max. cps]	St.dev.
Sandstein, Fb 79.8	36 – 57	88	50	125	15
Basalt, Fb 81.3	104 - 113	61	42	92	8
Basalt, Fb 85.5	16 - 23	52	34	71	8

Resistivitet Short Normal

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	St.dev.	Ledn.e. [μS/cm]	LN/SN
Sandstein, Fb 79.8	36 – 57	1251	840	1613	183	172	SN
Basalt, Fb 81.3	104 - 113	1348	1162	1541	92	247	SN
Basalt, Fb 85.5	16 - 23	1225	886	1512	202	277	SN

Resistivitet Long Normal

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	St.dev.	Ledn.e. [μS/cm]	LN/SN
Sandstein, Fb 79.8	36 – 57	1589	1312	1926	149	172	LN
Basalt, Fb 81.3	104 - 113	1625	1225	1707	80	247	LN
Basalt, Fb 85.5	16 - 23	1422	1181	1565	94	277	LN

Seismisk P-bølge hastighet

Bergart	Dyp [m]	P-bølge hast. [mean m/s]	P-bølge hast. [min. m/s]	P-bølge hast. [max.m/s]	St.dev
Sandstein, Fb 79.8	36 – 57	4903	3619	5846	426
Basalt, Fb 81.3	104 - 113	-	-	-	-
Basalt, Fb 85.5	16 - 23	5174	4470	5846	273

Seismisk S-bølge hastighet

Bergart	Dyp [m]	S-bølge hast. [mean m/s]	S-bølge hast. [min. m/s]	S-bølge hast. [max.m/s]	St.dev
Sandstein, Fb 79.8	36 – 57	3107	1984	4222	421
Basalt, Fb 81.3	104 - 113	-	-	-	-
Basalt, Fb 85.5	16 - 23	2865	2485	3286	170

Gjennomsnittsverdier

Bergart	P-bølge [m/s]	S-bølge [m/s]	Gamma [cps]	Resistivitet LN [ohmm]	Resistivitet SN [ohmm]
Sandstein, Fb 79.8	4903	3107	88	1589	1251
Basalt, Fb 81.3	-	-	51	1625	1348
Basalt, Fb 85.5	5174	2865	52	1422	1225

Lokalitet: Leknes
Vestvågøy kommune, Nordland

Naturlig Gamma

Bergart	Dyp [m]	Gamma [mean cps]	Gamma [min. cps]	Gamma [max. cps]	St.avvik.
Diorittisk/ granittisk gneis	4 - 55	88	54	116	9
Monsonittisk gneis	60 - 240	89	54	132	11

Resistivitet Short Normal

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	Ledn.e. [μS/cm]	St.dev	LN/SN
Diorittisk/ granittisk gneis	13 - 55	5050	3600	7700	280	453	SN
Monsonittisk gneis	60 - 240	2925	1970	3820	1680	297	SN

Resistivitet Long Normal

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	Ledn.e. [μS/cm]	St.dev	LN/SN
Diorittisk/ granittisk gneis	13 - 55	6200	4600	7100	280	494	LN
Monsonittisk gneis	60 - 240	2900	2170	3600	1680	244	LN

Seismisk P-bølgehastighet

Bergart	Dyp [m]	P-bølgehast. [mean m/s]	P-bølgehast. [min. m/s]	P-bølgehast. [max. m/s]	St.avvik
Diorittisk/ granittisk gneis	4 - 55	4950	4550	5500	160
Monsonittisk gneis	60 - 240	5350	4500	6000	213

Seismisk S-bølgehastighet

Bergart	Dyp [m]	S-bølgehast. [mean m/s]	S-bølgehast. [min. m/s]	S-bølgehast. [max.m/s]	St.avvik
Diorittisk/ granittisk gneis	4- 55	2750	1950	3950	370
Monsonittisk gneis	60 - 240	2800	1900	4100	325

Gjennomsnittsverdier

Bergart,	Dyp [m]	P-bølge [m/s]	S-bølge [m/s]	Gamma [cps]	Resistivitet LN [ohmm]	Resistivitet SN [ohmm]	Ledn.e. [μS/cm]
Diorittisk/ granittisk gneis	4- 55	4950	2750	88	6200	5050	280
Monsonittisk gneis	60 - 240	5350	2800	89	2900	2925	1680

Lokalitet: Lunner, Grualia.
Lunner kommune, Oppland
Naturlig Gamma

Bergart	Dyp [m]	Gamma [mean cps]	Gamma [min. cps]	Gamma [max. cps]	St.avvik.
Syenitt Bh 3	60 - 90	185	154	225	9
Syenitt Bh 6	66 - 77	193	152	240	14
Agglomerat Bh 6	12 - 20	270	210	344	25
Hornfels Bh 5	7 - 15	163	125	216	16
Ryolitt/trakytt Bh 7	20 - 30	350	286	420	25

Resistivitet Short Normal

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	St.dev.	Ledn.e. [μS/cm]	LN/SN
Syenitt Bh 3	60 - 90	7300	6800	8000	270	100	SN
Syenitt Bh 6	66 - 77	4800	4600	5300	127	120	SN
Agglomerat Bh 6	12 - 20	7000	5900	8200	490	117	SN
Hornfels Bh 5	7 - 15	-	-	-	-	32	SN
Ryolitt/trakytt Bh 7	20 - 30	-	-	-	-	100	SN

Resistivitet Long Normal

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	St.dev.	Ledn.e. [μS/cm]	LN/SN
Syenitt Bh 3	60 - 90	5800	5500	6100	147	100	LN
Syenitt Bh 6	66 - 77	4000	3900	4200	56	120	LN
Agglomerat Bh 6	12 - 20	5300	4700	6900	286	117	LN
Hornfels Bh 5	7 - 15	575	502	760	71	32	LN
Ryolitt/trakytt Bh 7	20 - 30	2450	1300	3500	737	100	LN

Seismisk P-bølgehastighet

Bergart	Dyp [m]	P-bølgehast. [mean m/s]	P-bølgehast. [min. m/s]	P-bølgehast. [max. m/s]	St.avvik
Syenitt Bh 3	60 - 90	5300	4900	5700	137
Syenitt Bh 6	66 - 77	4800	4400	5300	220
Agglomerat Bh 6	12 - 20	5300	4200	6400	540
Hornfels Bh 5	7 - 15	5100	4600	5600	235
Ryolitt/trakytt Bh 7	20 - 30	-	-	-	-

Seismisk S-bølgehastighet

Bergart	Dyp [m]	S-bølgehast. [mean m/s]	S-bølgehast. [min. m/s]	S-bølgehast. [max. m/s]	St.avvik
Syenitt Bh 3	60 - 90	2700	2500	3000	122
Syenitt Bh 6	66 - 77	2350	2200	2550	75
Agglomerat Bh 6	12 - 20	2150	1770	3300	315
Hornfels Bh 5	7 - 15	2575	1800	3200	300
Ryolitt/trakytt Bh 7	20 - 30	-	-	-	-

Gjennomsnittsverdier

Bergart	Dyp [m]	P-bølge [m/s]	S-bølge [m/s]	Gamma [cps]	Resistivitet LN [ohmm]	Resistivitet SN [ohmm]
Syenitt Bh 3	60 - 90	5300	2700	185	5800	7300
Syenitt Bh 6	66 - 77	4800	2350	193	4000	4800
Agglomerat Bh 6	12 - 20	5300	2150	270	5300	7000
Hornfels Bh 5	7 - 15	5100	2575	163	575	-
Ryolitt/trakytt Bh 7	20 - 30	-	-	350	2450	-

Lokalitet: Lutvann, Bh 11.
Oslo kommune

Naturlig Gamma

Bergart	Dyp [m]	Gamma [mean cps]	Gamma [min. cps]	Gamma [max. cps]	St.avvik.
Glimmergneis	5 - 22	63	43	115	11
Glimmergneis m/granat	24 - 26	41	32	64	5

Resistivitet Short Normal

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	St.dev.	Ledn.e. [μS/cm]	LN/SN
Glimmergneis	5 - 22	1160	470	2550	493	290	SN
Glimmergneis m/granat	24 - 26	3050	2775	3330	156	290	SN

Resistivitet Long Normal

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	St.dev.	Ledn.e. [μS/cm]	LN/SN
Glimmergneis	5 - 22	1730	1000	2900	550	290	LN
Glimmergneis m/granat	24 - 26	2175	1990	2350	127	290	LN

Seismisk P-bølgehastighet

Bergart	Dyp [m]	P-bølgehast. [mean m/s]	P-bølgehast. [min. m/s]	P-bølgehast. [max.m/s]	St.avvik
Glimmergneis	5 - 22	4900	3050	6900	625
Glimmergneis m/granat	24 - 26	5900	5400	6300	392

Seismisk S-bølgehastighet

Bergart	Dyp [m]	S-bølgehast. [mean m/s]	S-bølgehast. [min. m/s]	S-bølgehast. [max.m/s]	St.avvik
Glimmergneis	5 - 22	2260	1460	4550	484
Glimmergneis m/granat	24 - 26	2050	1850	2150	86

Gjennomsnittsverdier

Bergart	Dyp [m]	P-bølge [m/s]	S-bølge [m/s]	Gamma [cps]	Resistivitet LN [ohmm]	Resistivitet SN [ohmm]
Glimmergneis	5 - 20	4900	2260	63	1730	1160
Glimmergneis m/granat	24 - 26	5900	2050	41	2175	3050

Lokalitet: Morskogen
Eidsvoll kommune, Akershus

Naturlig Gamma

Bergart	Dyp [m]	Gamma [mean cps]	Gamma [min. cps]	Gamma [max. cps]	St.avvik.
Granittisk gneis Fb 195-18	3 - 17	309	260	361	19
Gabbro, Fb 195-37	2 - 14	76	46	106	10

Resistivitet Short Normal

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	St.dev.	Ledn.e. [μS/cm]	LN/SN
Granittisk gneis Fb 195-18	13 - 17	8150	6590	8890	624	280	SN
Gabbro, Fb 195-37	11 - 14	6260	5925	6650	227	520	SN

Resistivitet Long Normal

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	St.dev.	Ledn.e. [μS/cm]	LN/SN
Granittisk gneis Fb 195-18	13 - 17	5950	5100	6300	350	280	LN
Gabbro, Fb 195-37	11 - 14	6325	5850	6550	186	520	LN

Seismisk P-bølgehastighet

Bergart	Dyp [m]	P-bølgehast. [mean m/s]	P-bølgehast. [min. m/s]	P-bølgehast. [max.m/s]	St.avvik
Granittisk gneis Fb 195-18	3 - 17	5060	4470	5850	312
Gabbro, Fb 195-37	3 - 14	5400	4470	6330	461

Seismisk S-bølgehastighet

Bergart	Dyp [m]	S-bølgehast. [mean m/s]	S-bølgehast. [min. m/s]	S-bølgehast. [max.m/s]	St.avvik
Granittisk gneis Fb 195-18	3 - 17	3040	2715	3300	109
Gabbro, Fb 195-37	3 - 14	3370	2530	4360	427

Gjennomsnittsverdier

Bergart	P-bølge [m/s]	S-bølge [m/s]	Gamma [cps]	Resistivitet LN [ohmm]	Resistivitet SN [ohmm]
Granittisk gneis Fb 195-18	5060	3040	309	5950	8150
Gabbro, Fb 195-37	5400	3370	76	6325	6260

Lokalitet: Vuottašjávri
Kautokeino kommune, Finnmark

Naturlig Gamma

Bergart	Dyp [m]	Gamma [mean cps]	Gamma [min. cps]	Gamma [max. cps]	St.avvik.
Amfibolitt	90 - 120	86	53	135	13
Amfibolitt	220 - 255	73	52	99	8
Gneis	30 - 50	140	62	264	47
Gneis	390 - 415	122	58	205	23
Gneis	480 - 500	155	94	373	49

Resistivitet

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [mean ohmm]	Resistivitet [min. ohmm]	Resistivitet [max. ohmm]	Ledn.e. [μS/cm]	St.dev	LN/SN
Gneis		> 10000			55		LN/SN
Amfibolitt		>10000			55		LN/SN

Seismisk P-bølgehastighet

Bergart	Dyp [m]	P-bølgehast. [mean m/s]	P-bølgehast. [min. m/s]	P-bølgehast. [max. m/s]	St.avvik
Amfibolitt	90 - 120	5600	5200	6100	175
Amfibolitt	220 - 255	5675	5425	5950	137
Gneis	30 - 50	5550	5275	5775	116
Gneis	390 - 415	5550	5150	5850	144
Gneis	480 - 500	5550	5350	5750	113

Seismisk S-bølgehastighet

Bergart	Dyp [m]	S-bølgehast. [mean m/s]	S-bølgehast. [min. m/s]	S-bølgehast. [max.m/s]	St.avvik
Amfibolitt	90 - 120	3200	2750	4650	278
Amfibolitt	220 - 255	3025	2700	3950	186
Gneis	30 - 50	2950	2200	3275	285
Gneis	390 - 415	3050	2900	3300	87
Gneis	480 - 500	3025	2875	3125	53

Gjennomsnittsverdier

Bergart	Dyp [m]	P-bølge [m/s]	S-bølge [m/s]	Gamma [cps]	Resistivitet LN [ohmm]	Resistivitet SN [ohmm]	Ledn.e. [μS/cm]
Amfibolitt	90 - 120	5600	3200	86	> 10000	> 10000	55
Amfibolitt	220 - 255	5675	3025	73	> 10000	> 10000	55
Gneis	30 - 50	5550	2950	140	> 10000	> 10000	55
Gneis	390 - 415	5550	3050	122	> 10000	> 10000	55
Gneis	480 - 500	5550	3025	155	> 10000	> 10000	55