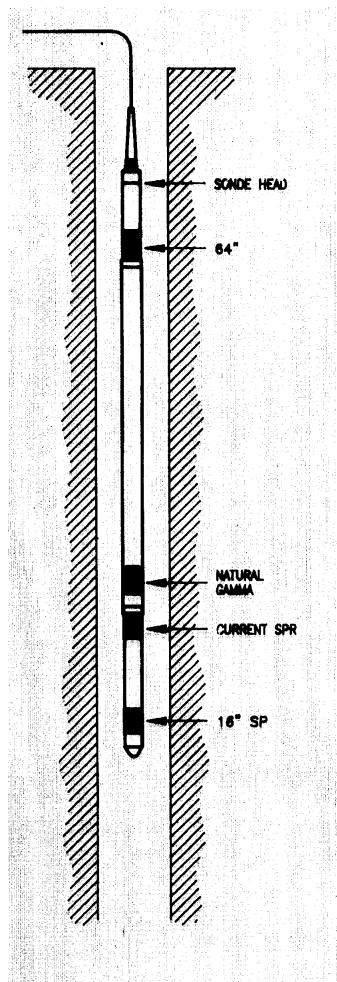


Logging av elektriske motstand (ledningsevne) i borehull.

Spesifikk elektrisk motstand 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 ledningsevne (konduktivitet) med benevnningen siemens pr. m (S/m) og symbolet sigma (σ). I dagligtale og rapporter brukes uttrykket "elektrisk motstand" eller bare "motstand" når dette ikke kan misforståes.

Elektrisk motstand (resistivitet), eller den inverse størrelsen elektrisk ledningsevne, kan måles i borehull på tilnærmet samme måte som ved bakkemålinger. 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. Som oftest er variasjonen av resistivitet i bergarter så stor at det som måles er en blanding av flere forskjellige virkelige resistiviteter innen 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 kortslutter 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 benytter vanligvis utstyr produsert av Robertsson Geologging Inc. ved sine elektriske borehullslogginger. En prinsippskisse av sonden er vist i figur 1. Strøm sendes ut ved elektrodene kalt SPR og i tillegg benyttes selve loggekabelen som fjern strømelektrode. For å oppnå en god inntrengning i mediet, er loggekabelen isolert i en lengde av 10 meter fra selve sonden. Potensial-forskjeller 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" (36 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 måle-resultatene. Ved LN-konfigurasjonen økes inntregingsdypet til ca 30 cm. Denne sonden kan også utstyres med en sensor for detektering av naturlig radioaktiv stråling.

Figur 1: Resistivitets-sonde.

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

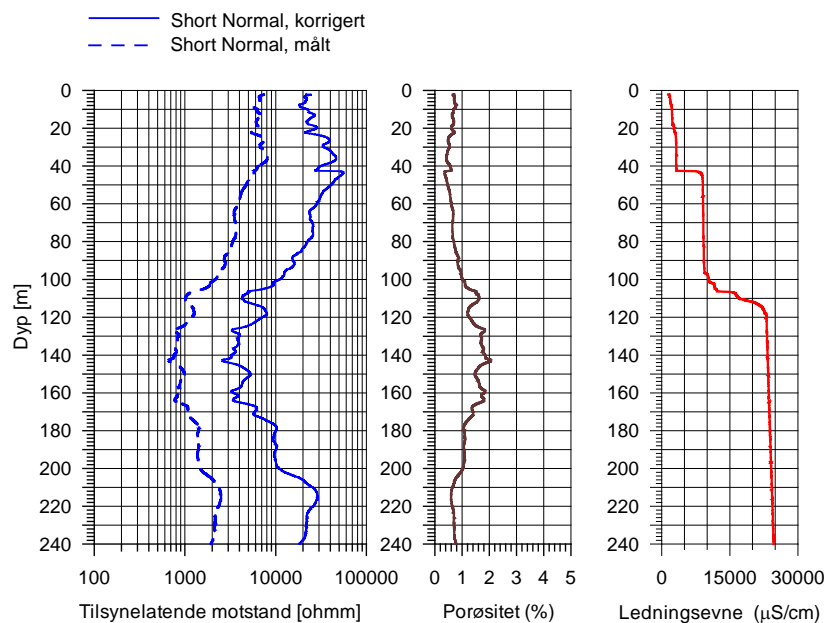
borehullsveggen, vil denne størrelsen være følsom for lokale variasjoner (f.eks sprekker) i borehullsveggen. Dersom en måler i borebrønner hvor diameteren kan være 13 – 15 cm, utviskes denne effekten.

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 resistivitet i en bergart (ρ_a) og målt elektrisk resistivitet i porevannet (ρ_w) kan porøsiteten (Φ) i et materiale beregnes (Archie 1942). En modifisert variant av denne sammenhengen kan uttrykkes ved hjelp den inverse størrelsen, elektriske ledningsevnen ($\sigma = 1/\rho$, $\sigma_w = 1/\rho_w$) (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 på mineralenes overflate. I tilfeller hvor en har godt ledende mineraler (sulfider, oksyder og leirmineraler) kan denne faktoren være dominerende, og muligheter for å beregne porøsitet faller bort. Archies lov ble opprinnelig utledet for sandstener, 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 2: Eksempel på målt og korrigert resistivitetslogg og beregnet porøsitet. Kurve til høyre viser variasjonen i vannets elektriske ledningsevne (inngår i beregningene).

Internasjonal litteratur viser at resistiviteten i forskjellige bergarter kan variere betydelig (Tabell 1). Ut fra NGUs målinger både på bakken og i borehull får en fått et klarere bilde av verdier for norske bergarter (tabell 2).

Vulkanske og metamorfe bergarter	Resistivitet (Ωm)	Sedimentære bergarter	Resistivitet (Ωm)
Granitt	300 – 1 000 000	Skifre	20 – 2 000
Syenitt	100 – 1 000 000	Konglomerat	2 000 – 10 000
Dioritt	10 000 – 100 000	Sandstein	1 – 640 000 000
Diabas	20 – 50 000 000	Kalkstein	50 – 10 000 000
Gabbro	1000 – 1 000 000	Dolomitt	350 – 5 000
Basalt	10 – 13 000 000		
Hornfels	8 000 – 60 000 000		
Grafittskifer	10 – 100		

Tabell 1: Resistivitet på utvalgte bergarter (Fra Telford & al. 1984).

Bergart	Resistivitet, massiv (Ωm)	Resistivitet oppsprukket (Ωm)
Grunnfjellsbergarter, Gneiser, granitter o.l	4 000 – 50 000	500 – 5 000
Dekkebergarter i Trøndelag, grønnstein, skifre	3 000 – 10 000	200 – 3 000
Oslofeltet, rombeporfyr	3000 – 15 000	1000 – 4000
Oslofeltet, syenitt	3 000 – 30 000	300 – 3 000
Oslofeltet, Syenittporfyr	10 000 – 30 000	3000 – 10000
Oslofeltet, leirskifer, kalkskifer og knollekalk	300 – 3 000	30 – 200
Oslofeltet, sandstein, breksje, konglomerat	700 – 1200	
Oslofeltet, alunskifer	10 – 20	

Tabell 1: Resistivitet på utvalgte norske bergarter målt av NGU ved bakke- og borehullsmåling.

Referanser:

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

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.