



Automatiserad Resistivitetsmätning - metodblad

Principen för resistivitetsmätning är känd sedan början av 1900-talet. Under framförallt 1990-talet genomgick metoden en kraftig utveckling där automatisering av datainsamlingen samt utveckling inom datormodellering har förbättrat metodens användbarhet i geotekniska, miljötekniska och hydrogeologiska tillämpningar avsevärt.

Metodbeskrivning

Mätning med Automatiserad Resistivitets-mätning har ett brett användningsområde. Tekniken kan användas för att kartera jordlagerföljder, djup till berg, bergkvalitet samt kartar förorenad mark och lakvatten. I detta metodblad skall främst handla om kartering av jordlagerföljder. Vidare är detta blad begränsat till att handla om tvådimensionell mätning och tolkning.

Resistiviteten eller specifikt elektriskt motstånd varierar i jord av kornstorlek, mineralporositet och vattenhalt. I berg beror resistiviteten främst på vatten i sprickor och porer. Även temperaturen påverkar resistiviteten vilket i praktisk mening främst har betydelse vid mätning i de ytliga jordlagren. En viktig parameter för både jord och

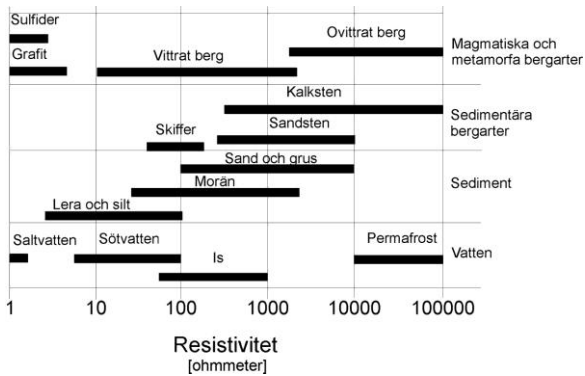
berg är mängden lösta joner i grundvattnet. Hög jonhalt medför kraftigt sänkt resistivitet. Det gäller havsvatten och inte minst förorenat vatten från till exempel deponier.

Syftet med metodblad för de geofysiska metoderna och tillämpningar är att skapa ett hjälpmedel som ger en översiktlig bild av metoderna och deras tillämpning samt ge exempel på redovisning. Beställare av geofysiska undersökningar har ofta att välja mellan olika metoder och varianter på deras tillämpning för samma uppdrag vilket kan göra metodvalet svårt.

Svenska Geotekniska Föreningen

Fältkommittén i samarbete med Jörgen Brorsson.

Kontaktperson
Agne Gunnarsson, agne.gunnarsson@v.se



Figur 1 Typiska resistivitetvärden i jord och berg.

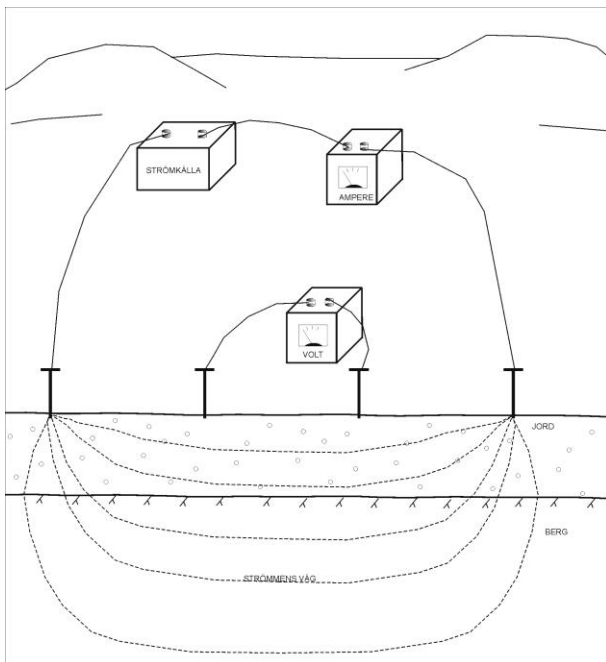
Principen för resistivitetmätning

Resistivitet är en materialparameter som uttrycker ett materials elektriska motstånd. Enheten är ohmmeter, Ωm .

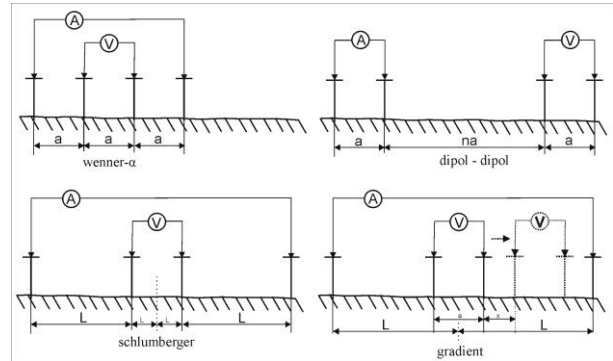
- Ohms lag säger förenklat att $U = R \times I$
- Resistansen i en cylindrisk, homogen ledare av längden L och med tvärsnittsarea A ges av $R = \frac{L \times \rho}{A}$ där ρ är materialets resistivitet.
- Detta ger att resistiviteten kan uttryckas som $\rho = \frac{R \times A}{L} = \frac{U}{I} \times \frac{A}{L}$

I *Parasnis 1995* ges en utförligare teoretisk beskrivning av resistiviteten i ett material.

Markens resistivitet mäts genom att sända en elektrisk ström av känd storlek genom två elektroder och samtidigt mäta den potential som uppstår i marken.



Figur 2 principskiss resistivitetmätning.



Figur 3 Skiss över några olika elektrodkonfigurationer.

Figur 3 visar de vanligaste elektrodkonfigurationerna. De olika varianterna har var och en sina fördelar och begränsningar när det gäller störkänslighet, utrymmebehov och känslighet för vertikala respektive horisontella strukturer. De vanligast använda är wenner- α , schlumberger, gradient samt dipol-dipol. De flesta utrustningar på marknaden kan hantera samtliga elektrodkonfigurationer. Gradientkonfigurationen är särskilt lämplig för flerkanalsmätning vilket dock ställer krav på att utrustningen är anpassad för detta.

Resistiviteten fås genom $\rho = k \times R$ där k är en geometrisk faktor som beror på elektrodkonfigurationen. I *Milsom 1996* finns ytterligare beskrivet om elektrodkonfigurationer. Vid mätning fås den skenbara resistiviteten ρ_a , vilken är resistiviteten hos den homogena halvsfär som strömmen genomflutit. Naturen är dock inte homogen eller isotrop utan för att få den sanna resistiviteten måste någon form av tolkning till. Detta kan ske genom kurvpassning eller modernare med datormodellering.

Utrustning

Det finns ett flertal tillverkare av utrustning för resistivitetmätning på marknaden. Bilden nedan visar utrustning från ABEM i Stockholm. Den består av ABEM SAS4000 resistivitetsinstrument, ES464 reläomkopplingsenhet, multiledarkablar, stål-elektroder och kopplingsanordningar samt batterier. Till detta bör läggas en gummihammare för att slå ner elektroderna i marken och anteckningsmateriel.



Figur 4 ABEM Lund Imaging System. Här visad med två olika kabelsystem, minsta elektroavstånd om två respektive 5 meter.

Mätning i fält

Även om linjen i förväg har stakats ut bör operatören göra en kontroll i fält om linjen är lämplig för resistivitetsmätning. Några viktiga punkter att tänka på är att linjen skall vara rak, resistiviteten beror av avståndet mellan elektroderna varför om linjen knycker mycket förändras avståndet mellan elektroderna. Vidare bygger mätprincipen på att elektrisk kontakt finns mellan elektrod och jord. Det medför svårigheter vid hårdgjorda ytor, berg i dagen och mycket torra jordar. När utrustningen så släpats till linjen påbörjas utläggning av kablar. Tänk på att kablarna kan ha en framåtriktning och därför måste läggas ut på ett visst sätt. Detta gäller även de kopplingsstycken som används för att koppla ihop två kablar. Viktigt också att som tidigare nämnts att kabeln ligger i en rak linje. Elektroderna slås sedan ner vid varje uttag på kablarna. Viktigt att elektroden slås ner ordentligt så att god elektrisk kontakt erhålls. Kablarna anslutes sedan till reläomkopplingsenheten i rätt uttag. SAS4000 styr mätningen efter protokollfiler som anger vilka elektrodkombinationer som skall mätas. Innan mätning påbörjas genomförs alltid ett elektrodtest i syfte att kontrollera att god elektrisk kontakt uppnåtts med alla elektroder. Om elektroderna inte godkänns kan kontakten förbättras genom att elektroden slås ner djupare eller i extremfall genom vattenbegjutning av jorden närmast elektroden, eventuellt då med tillsats av något viskositetshöjande medel och koksalt. Detta är dock omständligt och tidskrävande och bör endast användas i undantagsfall.

Under normala förhållande bör kapaciteten för Automatiserad Resistivitetsmätning kunna vara mellan 400 till 1000 meter per arbetsdag. Detta är beroende på avståndet mellan elektroderna samt framförallt terrängen. Normalt är det två man i fält men i besvärlig terräng och/eller långa elektrodavstånd är det en fördel med ytterligare 1-2 hantlangare. Framförallt är terrängen styrande för tidsåtgången och det kan därför ofta vara lönsamt att företa en röjning av linjen före mätning.

Tillämpningsområden

Resistivitetsmätning lämpar sig bäst när det är stora skillnader i resistivitet mellan olika strukturer i marken. Det kan gälla till exempel mellan finkornig jord och grovkornig jord, mellan sprickfritt berg och sprickzoner samt mellan förorenad jord och icke förorenad jord. Sålunda finns några områden där resistivitetsmätning inte är den lämpligaste metoden. Det kan till exempel gälla att avgöra bergnivå när jorden består av grov morän och berggrunden är kraftigt uppsprucken. Vidare är resistivitetsmätning generellt bättre att hitta lågresistiva strukturer än tvärtom. Det medför att resistivitetsmätning är en bra metod för att kartera lerlinser i sand men sämre när det gäller sandskikt i lera.

Resistivitetsmätning är generellt bra på att kartera:

- Jordlagerföljder
- Sprick- och krosszoner i berg
- Lakvatten och föroreningar
- Havsvatteninträngning i kustnära områden
- Deponier och förorenad mark

Kvalitet

För ett gott resultat krävs självfallet att utrustningen är kalibrerad enligt tillverkarens anvisningar men en av de viktigaste parametrarna är elektrodplaceringen. Att elektroderna är placerade på korrekt avstånd utmed en rät linje samt att de har god galvanisk kontakt med marken. Detta har stor betydelse för korrekta resistivitetsvärden. Svårighet att uppnå detta föreligger framförallt i besvärlig terräng.

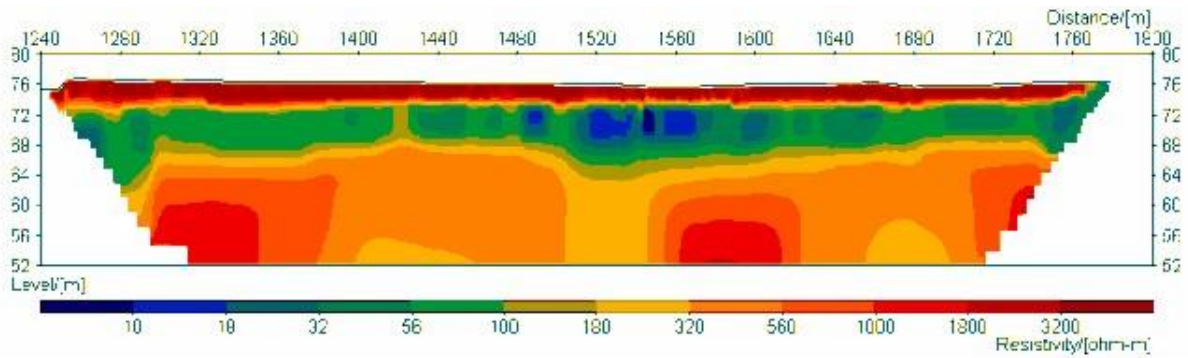
Vid mätning med automatiserade system finns oftast en inbyggd kontroll av mätdata i fält. Detta kan göras exempelvis genom att varje mätning utförs minst två gånger och mätvärdet accepteras endast om variansen är mindre än till exempel 1 %. För att göra en mer utförlig kontroll innan en större mätomgång påbörjas kan en så kallad reciprok mätning utföras i syfte att kontrollera till exempel förekomsten av höga självpotentialer i marken samt utrustningens kondition. Detta bygger på att resistiviteten skall vara densamma även om ström- och potentialelektroder byter plats. I praktiken kommer ändå en viss skillnad i resistivitet att uppmätas.

Begränsningar

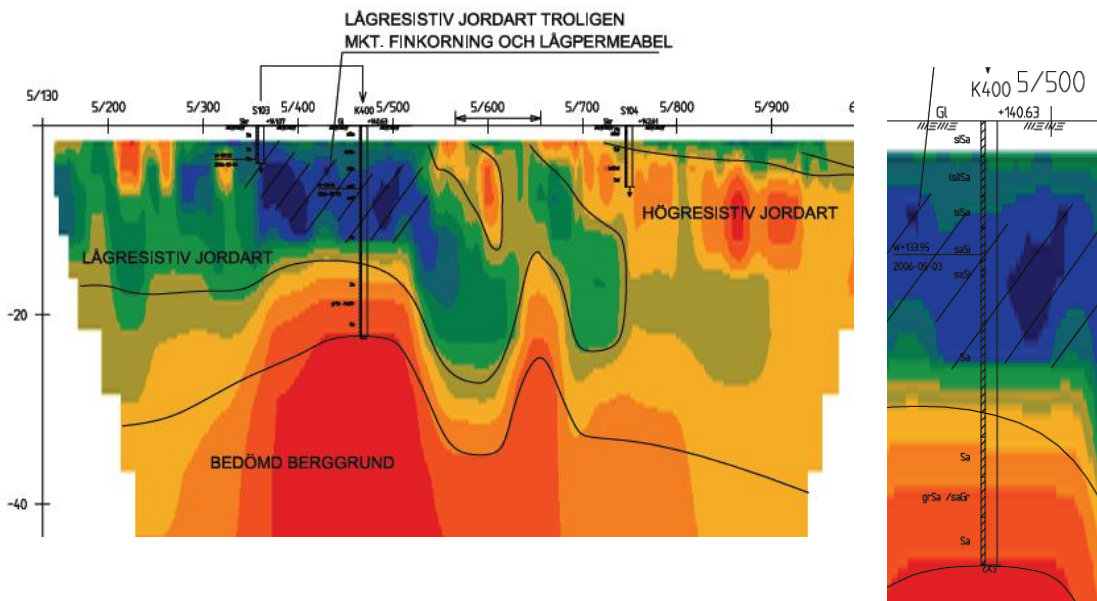
Resistivitetsmätning kan störas av metallstaket, ledningar och liknande. Elektriska installationer av låg kvalitet som läcker ström ut i marken kan påverka mätningarna. Den vanligaste orsaken till dåliga data är dock dålig galvanisk kontakt samt vid mätning i mycket högresistiva områden är dåligt signal/brus förhållande. Detta kan motverkas genom förbättring av elektrodkontakten samt höja utsänd strömstyrka. Vid regnväder kan fukt i multiledarkablarna orsaka kortslutningar.

Tolkning

Som tidigare nämnts modelleras de uppmätta, skenbara resistiviteter. Ett program som kan användas är RES2DINV från Geotomo Software. Det finns även andra program och tillverkare. I programmen kan olika parametrar ställas in, topografin inkorporeras och den färdiga numeriska modellen presenteras vanligen sedan i färgskala. För ytterligare information hänvisas till respektive tillverkare. Modellens överensstämmelse med mätdata uttrycks vanligen i % av skillnaden som bör vara så liten som möjligt. Dock är det enbart en modell som sedan skall tolkas i geologiska termer, föroreningar med mera. Väsentligt för alla tolkningar är att dålig kvalitet på mätdata in ger en usel modell ut. Kalibrering är ofta nödvändig med någon direkt metod som till exempel geoteknisk undersökning eller progrop.



Figur 5 Resultat som resistivetsprofil efter modellering.



Figur 6 Resistivetsprofil med borrhningar.

Dokumentation och redovisning

Den skriftliga redovisningen bör omfatta dels en faktadel (sk RGeo) med enbart omfattning och utförande. I denna kan eventuellt mätdata redovisas som pseudosektion eller i tabellform. Den numeriska modellen samt geologisk tolkning redovisas som separat geofysiskt PM eller ingående i den geotekniska redovisningen. Ofta sker samtolkning med geotekniska undersökningar och redovisning enligt SGF standard bör därför eftersträvas.

Referenser och Litteratur

Dahlin, T 1993 On the automation of 2D resistivity surveying for engineering and environmental purposes Lund University ISBN 91-628-1032-4

Paranis D S 1997 Principles of applied geophysics 5th ed. Chapman & Hall ISBN 0-412-64080-5

Milsom J 1996 Field Geophysics John Wiley & Sons ISBN 0-471-96634-7

Geotomo Software Manual RES2DINV
<http://www.goelectrical.com>