

Geoelektriska metoder som verktyg för byggande av tunnlar och bergrum

Berit Ensted Danielsen

Inledning

Oförutsedda grundförhållanden är en riskfaktor som ofta leder till förseningar och extrakostnader i samband med anläggningsarbeten. Ofullständiga förundersökningar kan leda till skador på t.ex. grundvattenmiljön och ekosystem som beror av grundvattnet. Omsorgsfullt utförda och relevanta förundersökningsinsatser är en förutsättning i sig för varje projekt, och bör också syfta till att minska risken för såväl miljömässiga som tekniska problem vid utförande av anläggningsarbetet.

Takahashi (2004) och Takahashi et al. (2006) har för ISRM (International Society for Rock Mechanics) sammanställt och föreslagit olika geofysiska mätmetoder som är användbara inom bergbyggnad. Stanfors et al. (2001) ger även ökad kunskap om fördelar och nackdelar vid olika geofysiska mätmetoder. Inom andra branscher t.ex. oljeindustrin används geofysik som en naturlig del av planeringsskedet. I dagsläget används geofysiska data dock sällan på ett optimalt sätt för planering och byggande av tunnlar och bergrum.

Utvecklingen av tunnelbygget vid Hallandsåsen är inte unikt i sammanhanget men utgör ett aktuellt exempel där flera problem kan relateras till bergmassans komplexa egenskaper. Till exempel har oönskad grundvattensänkning i både tid och rum inträffat liksom tidigare även förorening av miljön, flera års förseningar av färdigställandet av tunneln, och omfattande kostnadsökningar.

Syfte

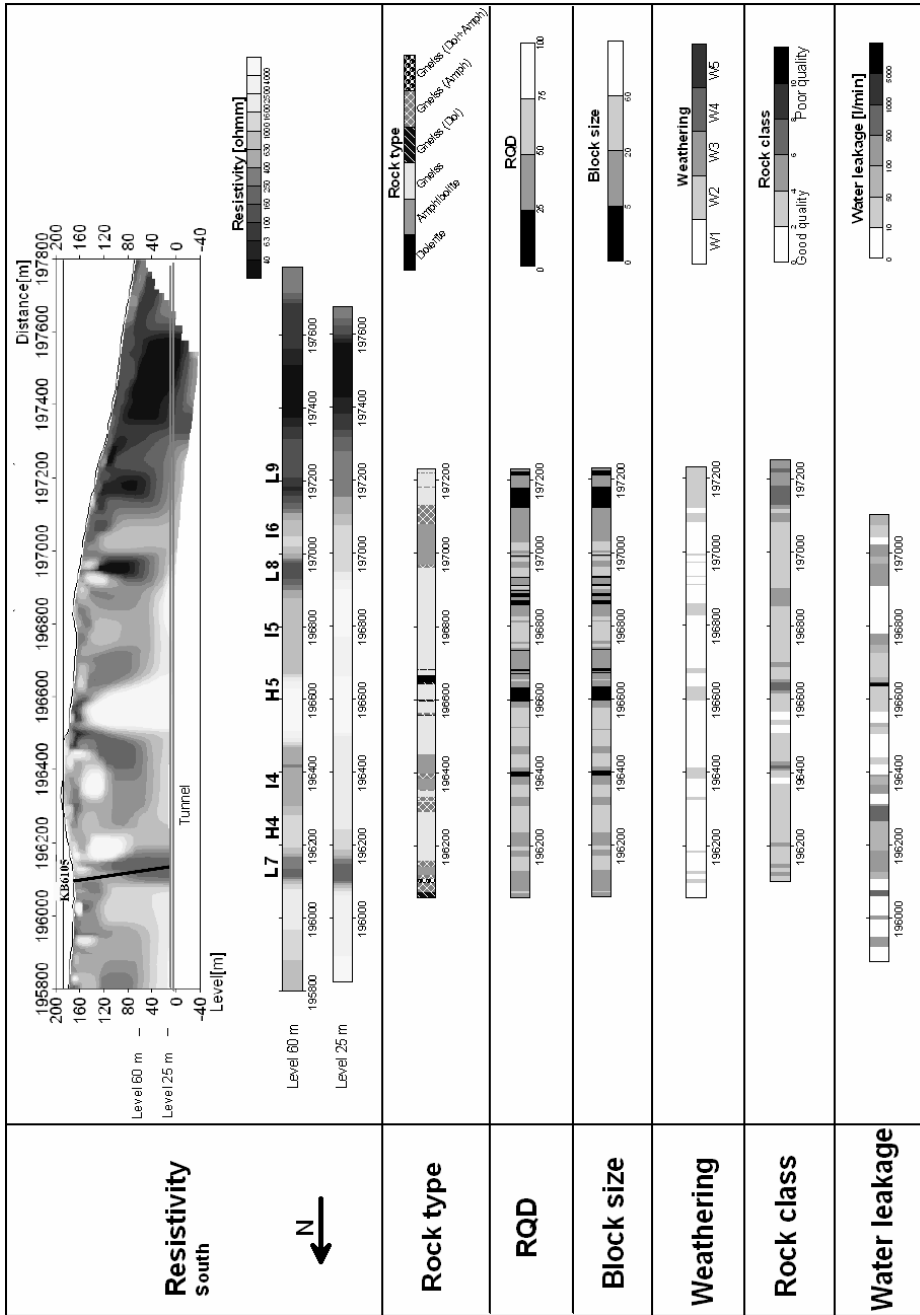
Syftet med detta projekt har varit att demonstrera hur geofysiska mätmetoder, med fokus på geoelektriska metoder, kan användas för undersökning av bergets egenskaper för byggande av tunnlar i berg, med tunnelbygget vid Hallandsåsen som tillämpnings-exempel.

Arbetsmoment

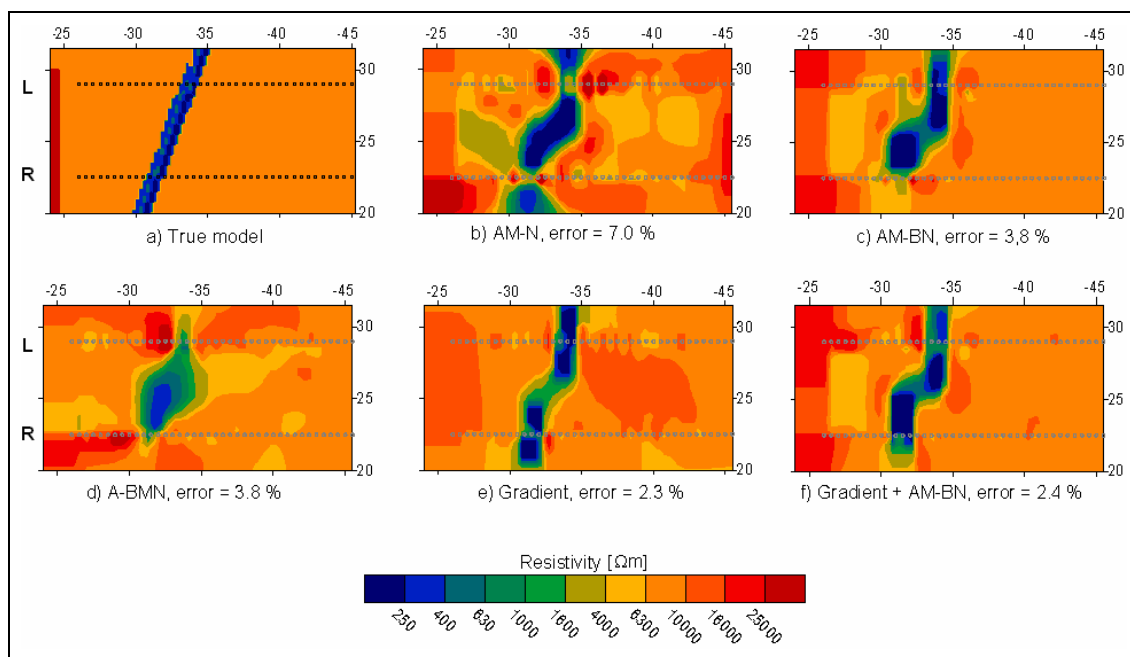
Projektet har i huvudsak bestått av två arbetsmoment:

- Existerande resistivitetsdata har sammanställts tillsammans med bergkarteringen från tidigare tunneldrivning och den nu pågående tunnelborrningen genom Hallandsåsen. Data har analyserats med syfte att utvärdera möjligheter och begränsningar med avseende på prognostisering av bergmassans egenskaper framförallt med fokus på byggbarhet.
- För resistivitetsmätningar i horisontella borrhål i Hallandsåstunneln har ett koncept med styva elektrodkablar utvecklats, som gör det möjligt att få högupplösande geoelektriska in-sitodata. Numerisk modellering har gjorts för att

värdera upplösningen av metoden och betydelsen av borrhålsgeometrin för resultatet. Modelleringen har också utförts för att värdera vilka elektrodkonfigurationer som ger det bästa resultatet.



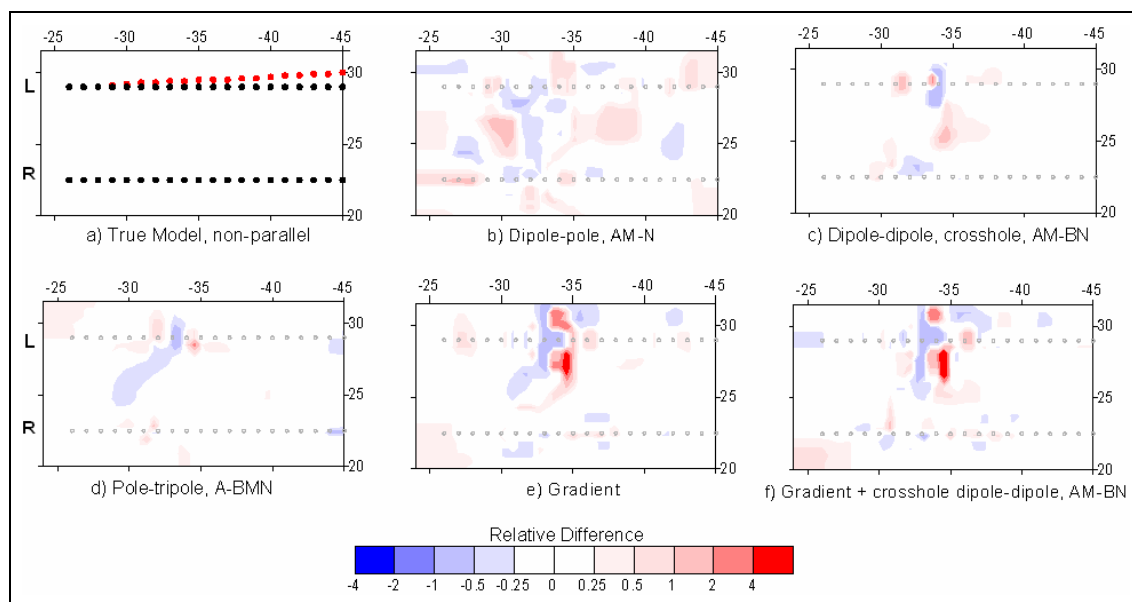
Figur 1. Visualisering av resistivitet och tunnelkartering från den södra delen av Hallandsåstunneln. Karteringen är gjord framför tunnelborrmaskinen vid varje stopp. De karterade data är bergartstyp, RQD, blockstorlek, vittringsgrad, geologisk klassificering och vattenläckage. Resistivitetsmodellen visas överst som full modell och som sub-modeller vid 60 meter och 25 meter över havet. De lågresistiva zonerna är markerade med L7, L8 och L9. Högresistiva zoner är markerade med H4 och H5. Zoner med intermediär resistivitet är markerade med I4, I5 och I6.



Figur 2. Numerisk modellering med olika elektrod konfigurationer vid mätning i borrhål. a) Den sanna modellen framställt i RES2DMOD. Modell av sprickzon med en resistivitet på 300 Ωm i en 8000 Ωm matrix. Modellen är sedd från ovan med ett vänster (L) och ett höger (R) borrhål. b) dipole-pole (AM-N), c) cross-hole dipole-dipole (AM-BN), d) pole-tripole (A-BMN), e) gradient, f) kombination av gradient och cross-hole dipole-dipole. Svarta och grå prickar är elektroder i borrhålen. Avstånden är i meter.

Sonderingshål borrar framför tunnelbormaskinen för att uppnå information om geologin framför maskinen. Dessa borrhål ger punktinformation och genom att använda hålen för resistivitetmätningar erhålls information om geologin mellan borrhålen. För resistivitetmätningar i horisontella borrhål har numerisk modellering gjorts för att värdera upplösningen av metoden, se figur 2. Dessutom har betydelsen av borrhålsgeometrin för resultatet utvärderats, se figur 3. Modelleringen har också utförts för att utvärdera vilka elektrodkonfigurationer som ger det bästa resultatet och hur vatten i borrhålen påverkar resultatet.

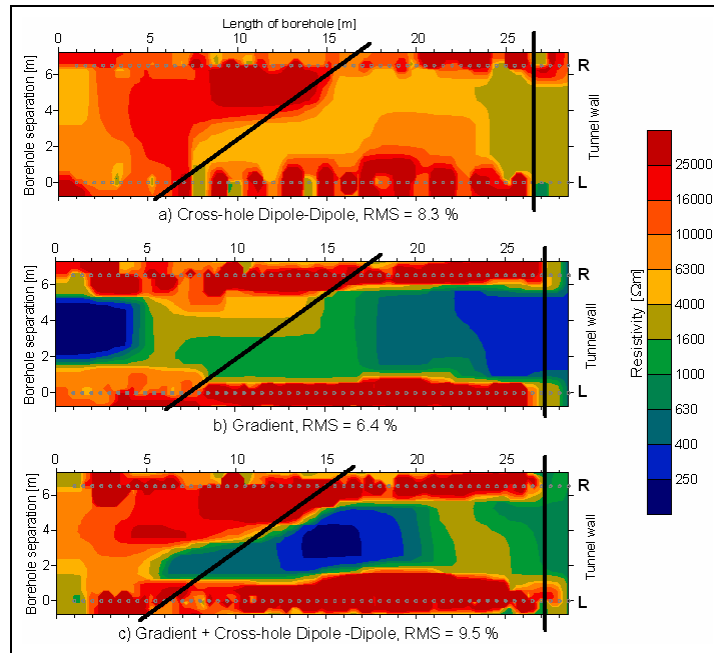
Baserat på den numeriska modelleringen användes ”cross-hole dipole-dipole”, ”multiple gradient array” och en kombination av dessa för testmätningar i horisontella borrhål. Borrhålen är 28 meter långa och belägna 6,5 meter från varandra. Prototyper av styva elektrodkablar gjorde det möjligt att mäta effektivt och snabbt. Resultaten indikerar en högresistiv bergmassa, se figur 4. Det förefaller som att gnejs-graniten har litet högre resistivitet än gnejsen. Nära tunnelväggen resulterar sprutbetongen i låg resistivitet. Mätningarna verkar ge användbar information, men ytterligare utveckling och flera testmätningar är nödvändiga innan resistivitetmätningar kan användas vid produktion. Genom att utföra resistivitetmätningar i en liten skala uppnås information om geologin mellan borrhålen, så att tunnelpersonalen kan vara bättre förberedd på det som finns framför tunnelfronten. Den ytterligare informationen kan sannolikt bidra till en mera effektiv TBM drift.



Figur 3. Den relativa skillnaden mellan modeller mätta med parallella och icke-parallella borrhål. a) De röda prickarna är positionen av elektroder vid generering av data. De svarta prickarna är positionen av elektroder vid invertering av data. b) dipole-pole (AM-N), c) cross-hole dipole-dipole (AM-BN), d) pole-tripole (A-BMN), e) gradient, f) kombination av gradient och cross-hole dipole-dipole (AM-BN). De grå prickarna är antagen position för elektroder i borrhålen vid invertering av data. Avstånden är i meter.

Slutsatser

Resistivitetsmetodens förmåga att indikera ändringar i bergmassans egenskaper vid ändringar i resistivitet gör den till en användbar metod vid förundersökningar och vid produktion. Det har dock inte alltid varit möjligt att relatera en ändring i resistivitet till en ändring i bergmassans egenskaper, t.ex. beroende på skillnader i skala och upplösning. Beslutfattarna kan använda ändringarna i resistivitet som ett tecken på att iaktta försiktighet och att ytterligare undersökningar kan vara nödvändiga. Erfarenheten från byggandet av Hallandsåstunneln kan användas för att förbättra tolkningen av resistivitetsmodellerna. Det är viktigt att notera att fokus i detta arbete ligger på ändringar i resistivitet och inte på absoluta numeriska värden. Detta är gjort för att ändringarna i bergmassans egenskaper har stor betydelse för planeringen och genomförandet av tunnelbygget. Även om resistivitetsmetoden inte visar alla ändringar i egenskaperna bidrar den med viktig information inom de begränsningar upplösningen sätter. Resistivitetsmetodens bidrag är att den reducerar antalet okända förändringar i bergmassans egenskaper. I kombination med andra metoder kan flertydigheten och osäkerheten kring berggrunden minskas.



Figur 4. Inversionsresultaten från resistivitetsmätningar i horisontella borrhål vid användning av olika elektrodkonfigurationer. Borrhålen är sedda från ovan och tunnelväggen är till höger i figuren. Det vänstra borrhålet, sett från tunneln, är markerat med **L** och det högra med **R**. De tjocka svarta linjerna visar de möjliga strukturerna. a) Cross-hole dipole-dipole array, b) Gradient array, c) Kombination av gradient och cross-hole dipole-dipole. De grå prickarna är positionen för elektroderna. Elektroderna är separerade med 0.5 meter.

Referenser

- Stanfors, R., Triumf, C.-A., and Emmelin, A., 2001, *Geofysik för bergbyggare: SveBeFo* (Swedish Rock Engineering Research), Stockholm.
- Takahashi, T. (2004). ISRM Suggested Methods for land geophysics in rock engineering. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 41, 885-914.
- Takahashi, T., Takeuchi, T., & Sassa, K. (2006). ISRM Suggested Methods for borehole geophysics in rock engineering. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 43, 337-369.