

Rapport för Byggrådet-projekt

Integrerad tolkning av data för geotekniska tillämpningar



Förberedelse för fältmätning med resistivitet och seismik i vattenpassage i Stockholm med undersökningsbåten i förgrunden (foto: Elisabeth Lindvall).

Lund 2019-05-09

Torleif Dahlin & Roger Wisén, Teknisk geologi, LTH / Lunds universitet

Inledning

Efterfrågan på information om den rumsliga fördelningen av materialegenskaper i jord och berg förväntas öka med ny planerad infrastruktur, ökat undermarksbyggande, återanvändning av industrimark och avfalldeponier, etc. Detta gäller såväl mekaniska som hydrauliska egenskaper. Det är dock omöjligt att beskriva fördelningen av materialegenskaper med tillräcklig datatäckning och kontinuitet enbart med hjälp av traditionella in-situ metoder som geoteknisk sondering, borrhning, provtagning, osv. Geofysiska metoder kan å andra sidan ge tredimensionella (3D) modeller av underjorden. Det finns dock alltid osäkerheter och begränsningar i upplösning inneboende i modeller baserade på en geofysisk metod. Vidare ger resultaten geometrisk information men inte parametrarna av primärt intresse, dvs mekaniska och hydrauliska egenskaper. En kombination av metoder baserade på olika fysikaliska principer gör att man kan få tillförlitligare modeller med mindre osäkerheter. Tolkningen sker dock manuellt idag, och det är svårt att på ett objektivt sätt samtolka information från olika metoder i rumsliga modeller. Oförutsedda grundförhållanden leder ofta till förseningar och stora extrakostnader för infrastrukturbyggande. De två största riskerna är instabil mark och inflöde av grundvatten, ett välkänt exempel på detta är Hallandsåstunneln. Andra problem är skador på byggnader och infrastruktur som kan uppstå på grund av sättningar eller förändring av geokemiska förhållanden. Infrastrukturprojekt är nära kopplade till miljön, och ofullständiga förundersökningar leder ofta till negativ påverkan på miljön, och ibland på människors hälsa. Noggrant utformade och relevanta platsundersökningar kan i gengäld minska risken för både miljömässiga och tekniska problem.

En annan drivkraft för mer geoinformationen är en önskan från geotekniker och konstruktörer att ta interaktion mark-struktur i beaktande i konstruktion av byggnader och infrastruktur. Motiveringen är att det kan leda till mer kostnadseffektiva konstruktioner. Detta kräver dock detaljerad kunskap om fördelningen av mekaniska egenskaper i marken. För att kunna tolka geofysiska data används invers numerisk modelltolkning, s.k. inversion. Detta görs genom att skapa en finita element (FEM) modell av fördelningen av resistivitet eller seismisk gånghastighet. En sådan modell kan vara tvådimensionell (2D) eller tredimensionell (3D) beroende på syfte och upplägg på undersökningen. Modellerna skapas genom en iterativ optimeringsprocess där modellen stegvis anpassas så att beräknade modellsvar så väl som möjligt stämmer överens med mätdata.

Geofysiska data i en smart kombination med andra geodata kan vara nyckeln till en framgångsrik hantering av de problem som beskrivs ovan. Det är dock nödvändigt att utveckla robusta och automatiserade tekniker för gemensam tolkning på grund av komplexiteten av problemen.

Syfte

Teknisk geologi har stark kompetens på fältundersökning i allmänhet och geofysiska metoder i synnerhet. Det är dock en uttalad målsättning att avdelningen skall hålla en hög nivå i Sverige såväl som internationellt och behöver därför arbeta aktivt med rekrytering och utveckling av kompetens på de teoretiska aspekterna bakom kombinerad datatolkning för att fullt ut dra nytta av de data som genereras i förundersökningsprocessen. Målsättningen vid tillfället för ansökan 2015 var att få en postdoktorforskare med en stark bakgrund inom invers numerisk modellering till gruppen. Dock fokuserades fakultetens medel till de stora

forskningsanläggningarna ESS och Maxlab IV vilket gjorde detta svårt. Vid denna tidpunkt öppnades det ett alternativ med finansiering av en adjungerad lektor med rätt kompetens för uppdraget, Roger Wisén, som till en början var tillgänglig för en 20% anställning. Detta skulle vara en mycket attraktiv rekrytering för att komplettera gruppen på ett bra sätt. Medlen från Byggrådet syftade till att finansiera denna anställning i ca två år, tillsammans med tillskjutande medel från avdelningens verksamhet. Avsikten var att lägga grunden för framtida forskning och undervisning i riktning mot en integrerad förundersökningsmetodik med det övergripande syftet är att bli bättre på bestämning av materialegenskaperna i jord och berg, vilket är i linje med andra strävanden inom LTH/Lunds Universitet att bygga upp världsledande kompetens och laborativ kapacitet kring materialegenskaper.

Den ursprungliga tanken med arbetet var att fokusera på samtolkning av olika typer av geofysiska och icke-geofysiska geodata med fokus på metoderna resistivitesmätning (ERT – Elektrisk Resistivitets Tomografi), refraktionsseismik och ytvågsseismik. Syftet med detta var att:

- Kombinera resistivitetsdata med data från refraktionsseismik och ytvågsseismik för att få mera tillförlitliga modeller geometriskt sett.
- Kombinera geofysiska data (resistivitet, refraktionsseismik och ytvågsseismik) med data från geoteknisk borrhning och sondering för att ytterligare öka tillförlitligheten i bestämning av fördelningen av materialegenskaper i modellerna.
- Uppskatta fördelningen av mekaniska egenskaper i marken med hjälp av kombinerad tolkning av geofysiska data med data från geotekniska och hydrauliska fält- och labundersökningar.
- Utveckla metoder för att beräkna och presentera osäkerhetsuppskattningar för modellerna. Det övergripande syftet är att skapa objektsmodeller i tre dimensioner över fördelningen av mekaniska och hydrauliska egenskaper i marken som kan användas som en del i ett kvalificerat underlag för dimensionering av grundläggning, geokonstruktioner och samverkanskonstruktioner.

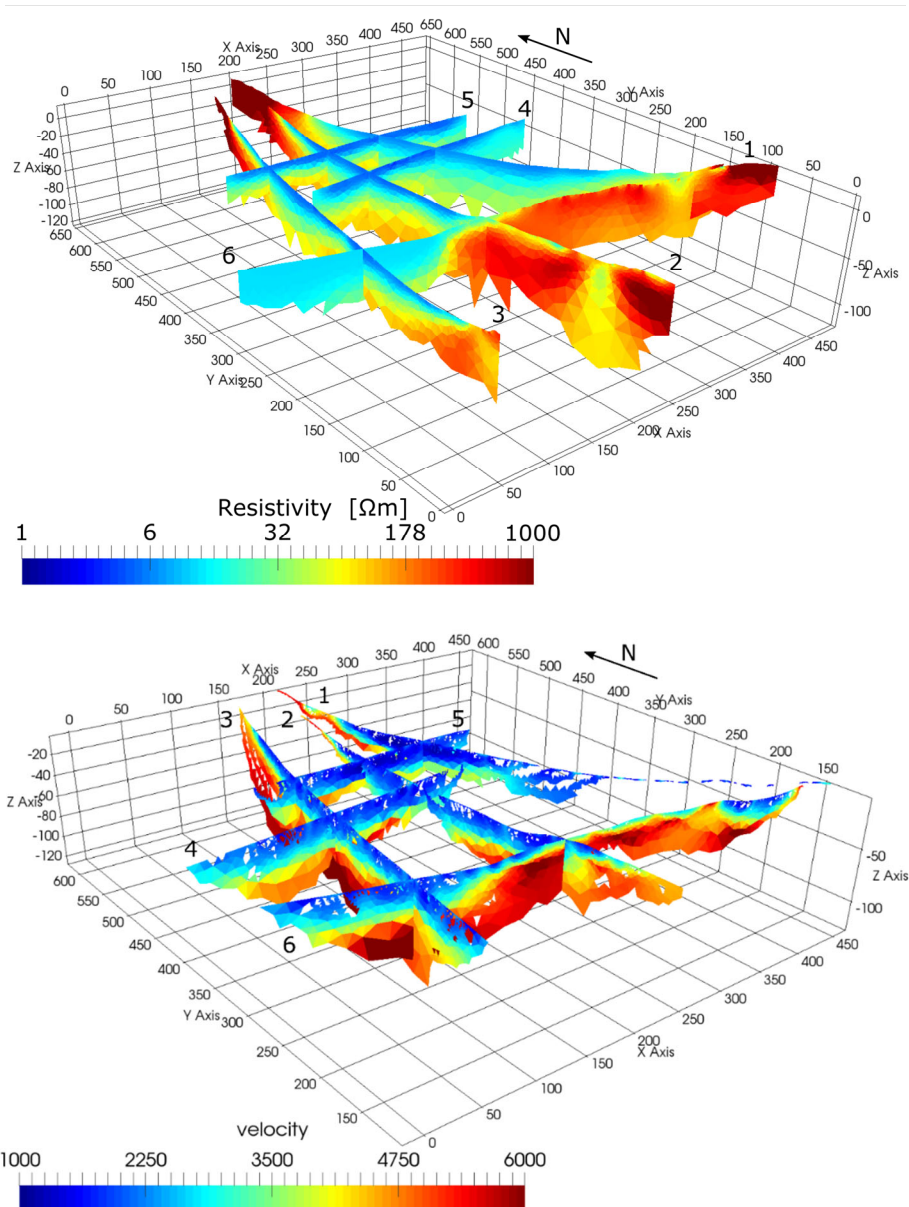
En uttalad målsättning var vidare att Roger skulle fungera som biträdande handledare för doktorander och examensarbetare vid avdelningen.

Resultat

De syften och mål som sattes upp i 2015 har definitivt varit i fokus i det arbete som utförts med finansiering från Byggrådet. Minst lika viktigt är att tillsättning av Roger Wisén som adjungerad lektor i 2015 inte stannade vid en tvåårig tjänst på 20% utan har lett vidare till en fortsättning. I skrivande stund innebär detta att Roger har en 50% tjänst som adjungerad lektor med finansiering minst t.o.m. 2019 och med ambitionen att fortsätta detta arbetet.

Sedan 2015 har detta inneburit en möjlighet till kompetens för handledning av doktorander och studenter på master- och kandidatnivå med fokus på integrerad tolkning och förundersökningsmetodik. Det har också givit en möjlighet till ökad samverkan på detta tema inom geofysikgruppen på avdelningen för Teknisk Geologi och till rekrytering av en erfaren postdoktorresurs.

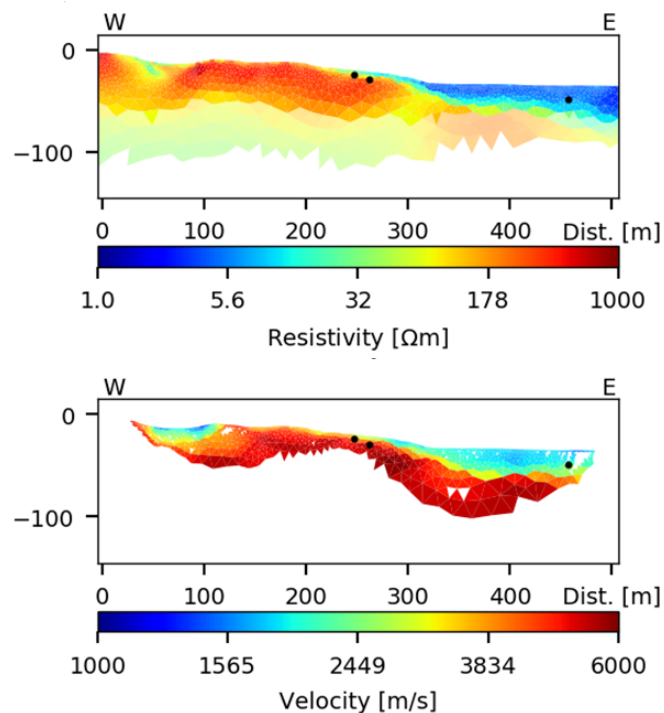
Projektet TRUST¹ och GESP² inkluderade båda doktorander och handledning av dessa var central i arbetet. På grund av personliga skäl valde en av doktoranderna dock att avsluta forskarutbildningen vilket skapade ett tillfälligt avbräck men i förlängningen ledde det till rekrytering av Mathias Ronzcka som postdoktor på avdelningen. Detta skapade ett nära samarbete med LIAG (Leibniz Institute of Applied Geophysics) och ett par år av framgångsrikt arbete med och vidareutveckling av GIMLi (Geophysical Inverse Modelling Library) som har varit och är ett viktigt mjukvarupaket för arbetet med integrerad tolkning. Figur 1 visar exempel på modeller skapade m.h.a. GIMLi, där de olika typerna av data tolkats var för sig. Modellsektionerna i Figur 2 är baserade på en kopplad modelltolkning, där både resistivitets- och seismikdata tolkas simultant med syfte att minska osäkerheten i modellerna.



Figur 1. Resultat från förundersökning för avloppstunnel vid Hägersten; resistivitetsmodeller (överst), och refraktionsseismiska modeller (nederst).

¹ TRansparent UndergrounD STructure (<http://www.trust-geoinfra.se/>)

² Environmental assessment of road geology and ecology in a system perspective



Figur 2. Saminversionsresultat för Linje 6 från avloppstunnelundersökningen vid Hägersten, som visar resistivitetsfördelningen (överst) och hastighetsfördelningen (nederst). Svarta prickar markerar djup till berg enligt JB-sondering.

Utöver detta arbete har två viktiga examensarbetsprojekt på masternivå utförts (Lindvall och Warberg Larsson, 2016; Stövring-Nielsen, 2017), bägge med syfte att utveckla olika aspekter av ämnesområdet integrerad förundersökningsteknik. Omslagsfotot togs i samband med det förra. Figur 3 visar ett foto som togs i samband med fältförsök i anslutning till Äspö berglaboratorium, från vilket preliminära resultat redovisades i ett examensarbete på kandidatnivå (Lasheras Maas 2015).

Ovanstående aktiviteter har genererat ett betydande antal publikationer som redovisas i Bilaga 1.

För tillfället är Roger delaktig i tre forskningsprojekt på Teknisk geologi, bl.a. som projektledare för InfraSweden/Vinnova projekt 2018-00643 och BeFo 405 med titeln ”Integrerad geofysik för kartläggning av jorddjup och bergkvalitet i vattenpassager” som är en direkt spin-off från Byggrådets stöd. Ytterligare medel är sökta och det är ett långsiktigt mål att Roger skall stanna kvar på avdelningen för teknisk Geologi som adjungerad lektor.

Slutsatser

De medel från Byggrådet som 2015-2016 användes för att rekrytera Roger Wisén som adjungerad lektor till avdelningen för Teknisk Geologi har varit en mycket värdefull investering. Det har givit möjlighet till viktig komplettering av kompetens för handledning och forskning samt genererat projekt och värdefulla samarbeten. Utöver det arbete som pågår har ytterligare medel sökts och om dessa beviljas är finansieringen av Roger som adjungerad lektor tryggt fram till 2022.



Figur 3. Fältförsök med kombinerad resistivitets- och seismikmätning tvärs en vattenpassage vid Äspö berglaboratorium (foto: Torleif Dahlin).

Bilaga 1. Lista över publikationer

Internationella vetenskapliga tidskriftsartiklar

1. Ronczka M., Wisén R. & Dahlin T. (2018) Geophysical pre-investigation for a Stockholm tunnel project: Joint inversion and interpretation of geoelectric and seismic refraction data with the Python BERT/GIMLi package, Special issue on urban geophysics, *Near Surface Geophysics*, 16, 258-268.
2. Ronczka M, Hellman K, Günther T, Wisén R & Dahlin T (2017) Electric resistivity and seismic refraction tomography, a challenging joint underwater survey at Äspö Hard Rock Laboratory. *Solid Earth*, 8, 671–682.

Konferensartiklar

1. Dahlin T. & Wisén R. (2019) Geofysisk kartläggning av sedimentdjup och strukturer i berg under vatten i Stockholm, in *Procs. Bergmekanikdagen 2019*, 19 March 2019, Stockholm, 10p.
2. Wisén R, Dahlin T & Forsberg O (2019) Geofysik som en självklar del vid förundersökningar i komplex geologi? Exempel från Saltsjön i Stockholm, in *Procs. Grundläggningdagen 2019*, 14 March 2019, Stockholm, 16p.
3. Dahlin T. & Wisén R. (2017) Geofysisk kartläggning av sedimentdjup och strukturer i berg under vatten, in *Procs. Grundläggningdagen 2017*, in *Procs. 16 March 2017*, Stockholm, 129-142.
4. Dahlin T, Wisén R & Rossi M (2016) Urban Underwater ERT for Site Investigation in Lake Mälaren, Sweden. in *Procs. 22nd European Meeting on Environmental and Engineering Geophysics*, 5-6 September 2016, Barcelona, Spain, We 22 B15, 5p.
5. Ronczka M, Wisén R, Wennermark M, Dahlin T & Hellman K (2016) ERT and seismic refraction tomography test at Äspö Hard Rock Laboratory, *Procs. NGM 2016*, 17th Nordic Geotechnical Meeting, Reykjavik, Iceland, 25th - 28th of May 2016.
6. Dahlin T & Wisén R (2016) Underwater ERT Surveys for Urban Underground Infrastructure Site Investigation in Central Stockholm, *Procs. NGM 2016*, 17th Nordic Geotechnical Meeting, Reykjavik, Iceland, 25th - 28th of May 2016.
7. Hellman K, Wisén R, Dahlin T & Ronczka M (2016) Automated co-interpretation of geophysical data for site investigation, *Procs. NGM 2016*, 17th Nordic Geotechnical Meeting, Reykjavik, Iceland, 25th - 28th of May 2016.

Examensarbeten

1. Stovring-Nilsson O (2017) GeoScene3D för Infrastrukturprojekt - En programvaruutvärdering, MSc Thesis, Engineering Geology, Lund University, VTG820, ISRN LUTVDG / (TVTG- 5150) / 1- 81 / (2017).

2. Lindvall E & Warberg Larsson E (2016) *Kombinerad förundersökning för tunnlar med resistivitet och refraktionsseismik i urban undervattensmiljö*, MSc Thesis, Engineering Geology, Lund University, VTG820, ISRN LUTVDG / (TVTG-5145) / 1-80 /(2016).
3. Lasheras Maas N (2015) *Site Characterization at the Äspö Hard Rock Laboratory through Seismic Refraction method*, BSc Thesis, Engineering Geology, Lund University, ISRN LUTVDG/(TVTG--5141)/1-33/(2015)/BACHELOR.