

# **TRANSPARENT UNDERGROUND STRUCTURE (TRUST) – SVERIGES STÖRSTA GEO-FOU NÅGONSIN**

***Maria Ask (LTU); Rosqvist, H. (Rosqvist Resurs AB/LU);  
Svensson, M. (Tyréns AB)***

## **Sammanfattning**

TRUST är ett mångvetenskapligt FoU-projekt inom underjordsbyggande som finansieras av Formas, Trafikverket med flera andra aktörer genom den riktade utlysningen GeoInfra. Den totala budgeten från 2013-2016 är över 70 MSEK. TRUST är därmed sannolikt det största geoteknologiska FoU-projektet i Sverige någonsin. Det är även första gången forskare från Sveriges Bygguniversitet (SBU), Uppsala universitet, Sverige geologiska undersökningar och ett antal privata företag samarbetar på denna nivå.

Delprojekten omfattar en stor del av den design- och byggtekniska processen för ett infrastrukturprojekt under mark och sträcker sig från utveckling av avancerade förundersökningsmetoder till utveckling av injekteringsteknik i byggskedet, hantering av förorenade områden samt effektiv lagring- och hantering av alla georelaterade data. Vi studerar även innovationsprocessen och implementeringen av nya resultat i branschen. TRUST har en gemensam fallstudie i urban miljö som utgörs av enstaka tunnelavsnitt av Förbifart Stockholm samt inledningsvis vid Äspölaboratoriet i Oskarshamn. Mätningar kommer även att utföras på andra platser i landet. För att skapa ett gott och effektivt arbetsklimat fokuserar vi även på att utveckla vårt interna nätverk och ta fram gemensamma spelregler för samverkan. Mer information om TRUST finns på [www.trust-geoinfra.se](http://www.trust-geoinfra.se).

## **1 INLEDNING**

### **1.1 Bakgrund**

För att möta ökande transportbehov och utvidga arbetskraftsregionerna planeras och genomförs omfattande investeringar i det svenska väg- och järnvägssystemet, framför allt i Trafikverkets (TRVs) regi. Med ett växande väg- och järnvägsnät blir det allt viktigare att bygga kostnadseffektiva underjordsanläggningar som är säkra, miljövänliga, energisnåla och lätt att underhålla. Traditionellt är stabilitet och vattenläckage de två största problemen för underjordskonstruktioner, och det är också inom de områdena

som kostnadsökningarna är störst. På senare tid har de svenska och europeiska energi- och miljömålen skärps, liksom regelsystemen. Det är därför angeläget att proaktivt utveckla och implementera nya och förbättrade metoder och tekniker för planering, projektering och byggande av underjordsanläggningar. För att överbrygga klyftan mellan forskning och praktisk tillämpning krävs ett konstruktivt samarbete mellan universitetsbaserad forskning, FoU-funktioner inom TRV och andra aktörer inom sektorn, liksom med de ledare och specialister som är verksamma i design- och byggskedena i byggprojekten. TRUST-projektet fokuserar på dessa aspekter

Underjordsanläggningar är särskilt utmanande att bygga eftersom de genomförs i ett slutet rum med i stort sett okända och ofta mycket varierande egenskaper hos bergmassan och oförutsedda underjordsförhållanden leder till betydande kostnadsökningar (t.ex. minst 430 MSEK för Botniabanan, motsvarande 10 % av den totala kostnadsökningen).

## **1.2 GeoInfra-utlysningen**

GeoInfra-utlysningen under våren 2012 omfattade totalt 150 MSEK för forskning om hållbar utveckling av urban underjordisk infrastruktur under 2012 – 2016. En mycket viktig aspekt var att forskningen skulle utföras med ett mång- och tvärvetenskapligt angreppssätt. Fyra områden pekades ut: (1) Utformning, drift och underhåll; (2) Effektivitet och logistik; (3) Vatten – interaktion med en underjordisk anläggning; samt (4) Riskhantering.

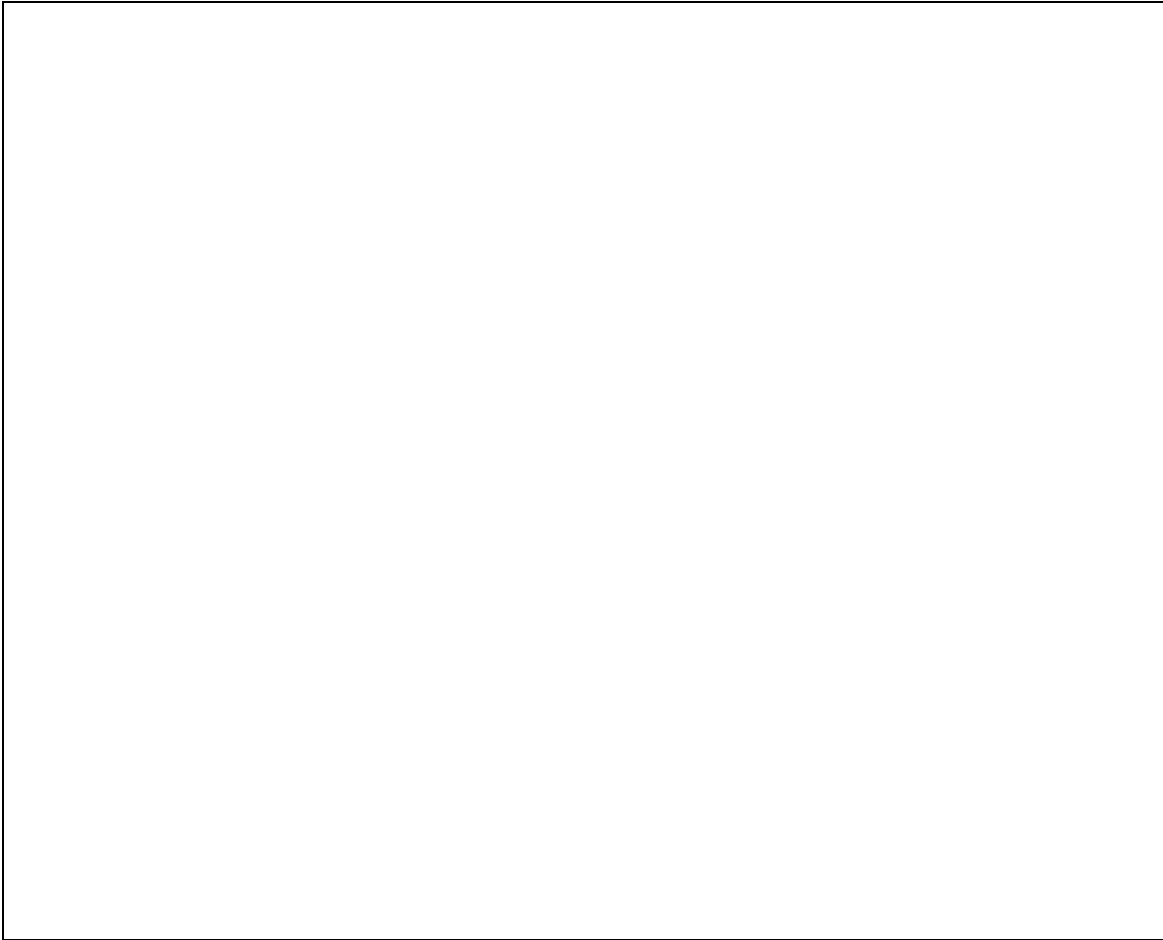
TRUST-konstellationen skapades för att uppnå ett mång- och tvärvetenskapligt angreppssätt genom att bygga samarbeten mellan flera forskargrupper på olika universitet, institut, myndigheter och företag. Vi har utnyttjat nätverket som byggts upp inom samarbetsorganisationen Sveriges Bygguniversitet (SBU), d.v.s. forsknings- och utbildningsenheterna på Chalmers, Kungliga Tekniska Högskolan, Luleå tekniska universitet (LTU) och Lunds tekniska högskola (LTH) som är knutna till utbildning av civilingenjörer inom väg- och vattenbyggnad eller motsvarande. Vi involverar även forskare från Lunds universitet (LU), Uppsala universitet (UU), Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) och olika branschföretag (Tabell 1). Vi fick god – om än inte komplett utdelning hos Formas och TRV. Åtta av tio ansökningar är fullt finansierade. Vi avser att söka medel för kvarvarande projekt så att TRUST-projektet kan genomföras enligt plan. Vi är öppna för att utöka TRUST-samarbetet med andra aktörer.

Tabell 1. Utförare och finansiärer

Nr.	Deltagare	Finansiärer
1	Alireza Malehmir, UU; Anna Kadefors, Chalmers; Emma Larsson, Studio Sueca; Fredrik Johansson, KTH; Håkan Rosqvist, LU/Rosqvist Resurs; Lars-Olof Dahlström, Chalmers/NCC; Maria Ask, LTU (projektledare); Mats Svensson, Tyréns AB; Stefan Larsson, KTH; Thomas Olofsson, LTU; Torleif Dahlin, LTH/LU	Formas, SBUF, BeFo
2.1	Charlotte Sparrenbom, LU; David Hagerberg, Tyréns AB; Esben Auken, Aarhus universitet; Gianluca Fiandaca, Aarhus universitet (postdok); Jonas Moberg, ABEM; Håkan Rosqvist, LU/Rosqvist Resurs; Mats Svensson, Tyréns AB; Mehrdad Bastani, SGU; Per-Ivar Olsson, LTH/LU (doktorand); Sara Johansson, LTH/LU (doktorand); Torleif Dahlin, LTH/LU (projektledare)	Formas, SBUF, BeFo, Tyréns AB
2.2	Alireza Malehmir, UU (projektledare); Bojan Brodic, UU (doktorand); Christopher Juhlin, UU; Joachim Place, UU (postdok); Laust B. Pedersen, UU; Mehrdad Bastani, SGU; Shunguo Wang, UU (doktorand); Suman Mehta, UU (doktorand)	Formas, SGU, NGI, UU, SBUF, BeFo, Boliden, First Quantum Minerals Ltd.
2.3	Alireza Malehmir, UU; Catrin Edelbro, LTU ; Christina Wanhainen, LTU; Håkan Schunnesson, LTU; Jan-Erik Rosberg, LTH/LU; Maria Ask, LTU; Torleif Dahlin, LU	TBN
2.4	Anders Selander, CBI; Bror Sederholm, KIMAB; Fredrik Mossmark, Chalmers (doktorand); Jan Erik Lindqvist, CBI; Jan Trädgård, CBI; Johan Ahlström, KIMAB; Lars-Olof Dahlström, Chalmers; Lars O. Ericsson, Chalmers (projektledare); Lars-Ove Lång, SGU/Chalmers; Malin Norin, Chalmers/NCC; Urs Mueller, CBI	Formas, SBUF, SKB, NCC, SGU, BESAB, Elforsk, TRV, KIMAB, Cementa, CBI
3.1	Daniel Johansson, LTU; Håkan Schunnesson, LTU (projektledare); Thomas Olofsson, LTU; Weizhuo Lu, LTU	BeFo; TBN
3.2	Fredrik Johansson, KTH (projektledare); Håkan Stille, KTH; N.N., KTH (doktorand); Stefan Larsson, KTH	BeFo, SBUF, SVC, SKB, Besab
3.3	Almir Draganovic, KTH (projektledare); Ali Nejad Ghafar, KTH (doktorand); Håkan Stille, KTH; Stefan Larson, KTH	TRV, SBUF, BeFo
4.1	Anders Prästings, KTH (doktorand); Mats Svensson, Tyréns AB; Olof Friberg, Tyréns AB; Peter Jonsson, LU; Pål Hansson, Tyréns AB; Pär Hagberg, Tyréns AB; Stefan Larsson, KTH (projektledare)	Formas, Tyréns AB
4.2	Esben Auken, Aarhus Universitet; Marcus Wennermark, LTH/LU (doktorand); Nils Rydén, LTH/LU, Thomas Günther, LIAG; Torleif Dahlin, LTH/LU (projektledare)	LU, BeFo, SBUF, LIAG, Aarhus University

## 2 TRUST PROJEKTET

TRUST-projektet består av fyra huvudteman med olika delprojekt (Figur 1). Dessa presenteras kortfattat nedan.



Figur 1. Schematisk bild över TRUST.

## 2.1 Tema 1. Management

TRUST 1 (Management) utgör paraplyorganisationen för hela TRUST-projektet och består av två delar: (1) Samordning och kommunikation, vilket utgör grunden för vår vision av att hela TRUST-projektet bildar en integrerad och transdisciplinär FoU-plattform för dess deltagare och det omgivande samhället; samt (2) Innovation och implementering. Inom denna del är syftet att ta fram modeller och riktlinjer för hur samarbete mellan universitet och näringsliv bör organiseras för att främja kreativ samverkan och nyttiggörande i anläggningsprojekt och organisationer i infrastruktursektorn.

## 2.2 Tema 2. Holistiska undersökningsmetoder

Inom Tema 2 ligger fokus på att karakterisera bergmassans egenskaper. Tre delprojekt är fullt finansierade medan ett fjärde projekt för närvarande saknar finansiering.

TRUST 2.1 syftar till att anpassa geoelektriska undersökningar med DCIP-metoden för användning i stadsmiljöer. I projektet kommer datainsamlingsmetodik, prototyp mätutrustning, databehandling, inversionsteknik och relationer mellan geofysiska- och tekniska/geotekniska/miljö-parametrar att utvecklas. Detaljerad projektplanering och strategi för att hantera risker i genomförandet av projektet kommer att säkerställa projektets framgång och en effektiv spridning av föreslagna resultat.

TRUST 2.2 syftar till att utveckla mätmetoderna multikomponentseismik och radiomagnetotellurik i urbana områden. Systemen kommer att testas på utvalda platser i tillsammans med våra partners. Huvudmålen med projektet är att: (1) Analysera och utvärdera befintliga geofysiska och geotekniska data för planering och design av nya mätmetoder; (2) Ta fram verktyg och tekniker för ultragrunda undersökningar i urbana omgivningar; samt (3) Demonstrera dugligheten av multikomponentseismik för karakterisering av områden med geotekniska problem.

Inom TRUST 2.4 är det övergripande målet att vidareutveckla standarder för att uppfylla funktionella krav på underjordsanläggningar med avseende på den kemiska miljön i form av grundvattenkemi och atmosfärens sammansättning under jord. Projektet förväntas att ge en grund för att bygga säkrare tunnlar med kostnadseffektivt underhåll, samt att ge underlag för att förbättra innehållet i miljökonsekvensbeskrivningar i samband med undermarksprojekt.

Ett projekt, TRUST 2.3, är i dagsläget ofinansierat. Huvudtanken med detta projekt är att på ett integrerat sätt genomföra en mängd direkta geologiska, strukturella, geomekaniska och geokemiska mätningar i borrhål och på borrhärnor som är viktiga för övriga TRUST-projekt.

### **2.3 Tema 3. Smart underjordskonstruktion**

Inom Tema 3 försöker man optimera, anpassa och styra olika verksamheter i byggfasen. Det finns två fullt finansierade projekt (3.2 och 3.3) och ett delvis finansierat projekt (3.1)

TRUST 3.1 är i dagsläget delvis finansierat men arbete pågår för att säkra full finansiering. Projektet syftar till att optimera byggandet av underjordiska konstruktioner med hjälp av simulering, probabilistiska designmetoder och MWD (*Measure While Drilling*), en teknik för loggning av geomekaniska

egenskaper. Med bättre kunskaper om den omgivande bergmassan kan framdriften (borrning, sprängning, lastning, förstärkning) av undermarksanläggningar anpassas i takt med att produktionen fortskrider. Simulering kommer att användas för att analysera och anpassa planeringen så att prestandan mätt i form av ekonomi, energianvändning och utsläpp av växthusgaser kommer att minimeras.

TRUST 3.2 behandlar dimensionering av bergtunnlar och bergrum med hjälp av sannolikhetsbaserade beräkningar. Till följd av de stora osäkerheter som geoteknisk och bergmekanisk dimensionering är förknippade med, samt det faktum att gränstillstånden är komplexa och baserade på samverkan mellan förstärkning och bergmassa, är dimensionering med sannolikhetsbaserade beräkningar ibland önskvärda. Riktlinjer för detta saknas idag. Det finns två forskningsfrågor: (1) Val av dimensioneringsmetod utifrån de metoder som föreslagits i Eurokod för olika bergmekaniska frågeställningar; samt (2) Studie av olösta frågeställningar kring användning av sannolikhetsbaserade metoder för dimensionering av bergmekaniska problem enligt Eurokod. Projektet kommer att löpa från 2014 – 2017 och har potential att påverka Eurokod avseende dimensionering av bergtunnlar och bergrum.

TRUST 3.3 rör utveckling och implementering av RTGCM (*Real-Time Grouting Control Method*) för rationellt tunnelbyggande. Projektets tyngdpunkt ligger på att studera brukets inträngningsförmåga och dess verkliga spridning. Idag baseras bestämning av vidden av den minsta sprickan som ett bruk kan penetrera på mätdata från filterpress eller –pump, vilket ger konservativa resultat och därigenom påverkar beräknade inträngningslängder och injekteringstider på ett överskattat sätt. Kunskap om vilka sprickor ett bruk kan injektera är viktiga för att förutse brukets spridning i berget och för att optimera injekteringen. I projektet kommer man: (1) Ta fram underlag för att kunna värdera vilken minsta sprickavidd som ett bruk kan penetrera; samt (2) Verifiera RTGC-metodens spridningsmodell.

#### **2.4 Tema 4. Informationsmodeller, datastrukturer och visualisering**

Tema 4 integrerar insamlad information och utgör ryggraden för samordning mellan olika aktörer och mellan planering, byggande, drift och underhåll av underjordsanläggningar. Två delprojekt ingår.

I TRUST 4.1 utvecklas verktyg för multivariatanalys av geodata. Man bygger även en databas för att visualisera uppnådd geomodell i 2D och 3D. Databasen kommer att utvecklas för att importera och exportera alla tillgängliga typer av geo-data (t.ex.-kartor, geofysiska data, geotekniska

sonderingar och kärnklassificering). Ett visualiseringsverktyg kommer att utvecklas för tolknings- och kommunikationsändamål, både för ingenjörer inom ett infrastrukturprojekt och det övriga samhället. Kvalitetssäkring av alla data ingår i multivariatanalysen.

Arbetet i TRUST 4.2 omfattar tillämpning, anpassning och utveckling av programvara för att tolka mätdata genom att skapa modeller av underjordens uppbyggnad. Syftet är att på ett objektivet och repeterbart sätt skapa modeller av markens egenskaper genom att informationen från olika typer av undersökningsmetoder viktas samman så optimalt som möjligt. Genom att kombinera data från olika geofysiska och icke-geofysiska metoder kommer osäkerheterna minskas och modellerna bli mer tillförlitliga. Arbetet innehåller utvecklandet av prognosmetoder för bergbyggnadstekniska parametrar. Kalibrering och utvärdering av utvecklade metodik och algoritmer kommer att ske mot både syntetiska modelldata och mätdata från verkliga tunnelobjekt.

### **3 FALLSTUDIE**

För att skapa möjlighet till samverkan identifierades på ett tidigt stadium att de olika delprojekten i TRUST skall arbeta på gemensamma fallstudier, d.v.s. samma fältlokal. Inledningsvis kommer de grundare delarna av SKBs (Svensk Kärnbränslehantering AB) Äspölaboratorium att utnyttjas. Där förväntas alla TRUST-delprojekt kunna genomföra koordinerade mätningar. Vi ser även att två till flera delprojekt hittar andra gemensamma fallstudier.

### **3 RESULTAT**

Så här långt uppnådda resultat kan delas in i tre huvudgrupper, metodutveckling, mätresultat och möten.

#### **3.1 Metodutveckling**

I flera delprojekt pågår intensivt arbete med metodutveckling, några av dessa sammanfattas nedan.

I TRUST 2.2. har man utvecklat den första multikomponentseismiska systemet i Sverige vilket består av en landstreamer på vilken 80 geofoner monterats med 2 eller 4 m avstånd. Landstreamern dras längs marken och geofonerna behöver inte planteras för att få tillräcklig markkoppling som konventionella geofoner. Systemet innehåller 3-komponent signalkällor och 3-komponent geofoner vilket möjliggör insamling av P- och S-vågs data som kan användas för att beräkna dynamiska egenskaper. Man har även arbetat med RMT systemet för att öka dess tidseffektivitet och nya mer utmanande mätmiljöer.

Flera TRUST projekt arbetar med metodutveckling för laborietester. I TRUST 2.1 byggs ett IP (inducerad polarisation) modellsystem upp i miniatyr-laborationsskala för att mäta jonfördelning i artificiella geologiska prov, och försök planeras t.ex. i synkrotronljuslaboratoriet MAX-IV i Lund. I TRUST 3.3 pågår design och konstruktion av VALS (*Varying Aperture Long Slot*), en utrustning för att mäta injekteringsmedlens nedre gräns för inträngning mellan tunna spalter.

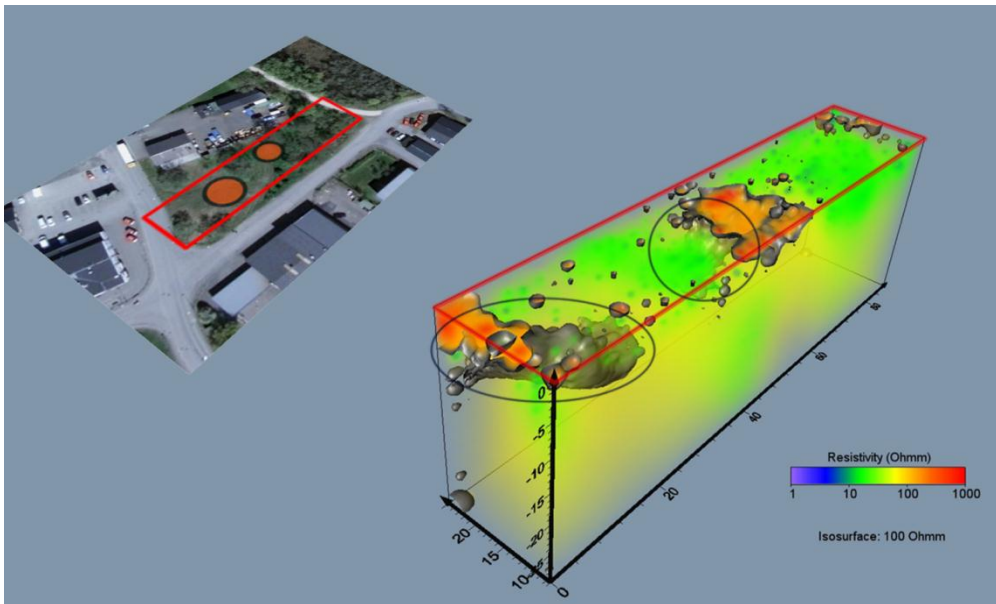
I TRUST 4.1-projektet har arbetet med att välja databasmodell och visualisering pågått. Man har nu valt en databasmodell (*GeoSuite data model*) som kommer att anpassas till TRUST-projektets behov. Samma modell används inom det norska systemprogrammet, GeoFuture (<http://www.ngi.no/en/Project-pages/GeoFuture/>), Geoteknisk sektorsportal, BGI, samt Stockholm Stads Geoarkiv.

### 3.2 Mätresultat

Fältkampanjer ovan jord har genomförts i två projekt (TRUST 2.1, 2.2). Resultaten visas nedan (se 3.2, Mätresultat). Två projekt (TRUST 2.4, 3.3) söker lämpliga testområden under jord för fältförsök. TRUST 2.4 vill undersöka beständigheten för sprutbetong med olika kemisk sammansättning. TRUST 3.3 vill testa injekteringsbrukets spridning i tunnelmiljö med RTGCM.

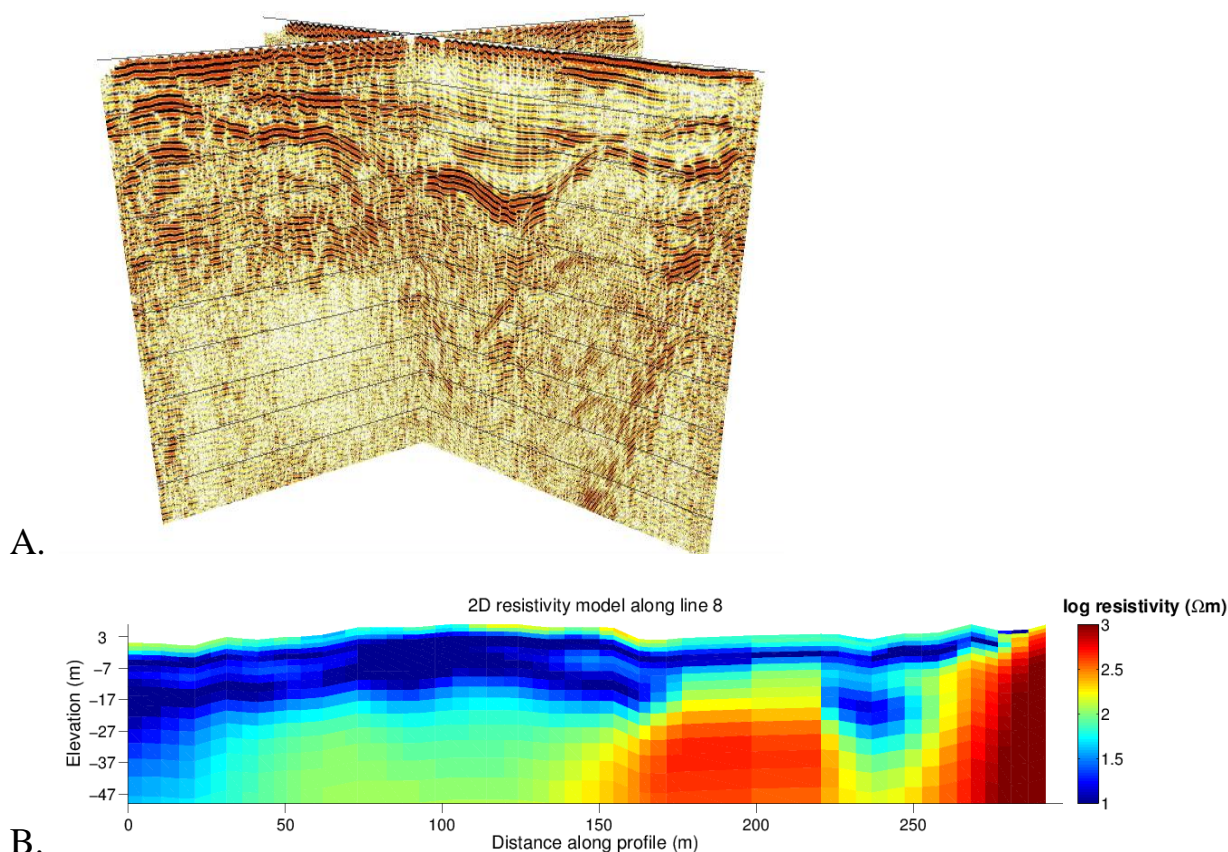
TRUST 2.1 har genomfört mätningar på en så kallad *miljösite*, det vill säga en fältlokal med syfte att utveckla geoelektriska metoder för miljötillämpning. Kvarteret Färgaren i Kristianstad kommun är ett intressant projekt med PCE-föreningar från en nedlagd kemtvätt där TRUST-projektet har fått möjlighet att samarbeta med kommunen och andra aktörer. Figur 2 visar resultat av resistivitetmätningar i 3D och ett flygfoto med de tidigare konstaterade föroreningskällorna på fastigheten inritade. Resistivitetmätningarna ger två anomalier på djupet i samma område som föroreningarna kan antas befinna sig (Johansson et al. 2014).





Figur 2. Resultat av resistivitetsmätningar i 3D vid Kvarteret Färgaren i Kristianstad kommun.

Två mätkampanjer har genomförts inom TRUST 2.2 projektet längs *Förbifart Stockholm*: I april 2012 samlades RMT data in från tre områden av Mälaren och i november 2013 genomfördes den första kampanjen med multikomponentseismik-systemet. Båda kampanjerna anses vara lyckade med nya metodutvecklingar som resulterar i data av god kvalitet som produceras på ett tidseffektivt sätt (Malehmir et al. 2014; Mehta et al. 2014). De processade resultaten från RMT mätningarna indikerar flera förekomster av sprickzoner vid passagerna över Mälaren. Arbete pågår också med att göra gemensam tolkning av dessa båda typer med hjälp av data som samlats in med en tidigare versioner av RMT- och multikomponentseismik-systemen (e.g. Malehmir et al. 2013). Figur 3A-B visar att resultat från multikomponentseismik respektive RMT mätningar från ett skredbenäget område vid Göta Älv med kvicklera. De två datatyperna uppvisar god korrelation gällande ytnära strukturer och läget av bergrundsytan.



Figur 3. Resultat från skredbenäget område vid Göta Älv med kvicklera. A. Multikomponentseismikprofiler. B. RMT profil.

### 3.3 Möten

Fysiska och digitala mötesplatser är viktigt för att möjliggöra samverkan och integration. Vi har lanserat TRUST projektets hemsida ([www.trust-geoinfra.se](http://www.trust-geoinfra.se)) för att informera om projektet till omvärlden samt har en projektplattform för intern informationshantering (Webforum). Projektledarna har ett telefonmöte en gång per månad och alla TRUST deltagare träffas två gånger per år på TRUST workshops, i februari och augusti. Ämnena som har behandlats inkluderar: (1) Lära känna TRUST projektets deltagare och projekt, och få statusuppdateringar om delprojekten; (2) Besluta generella spelregler samt undersöka synergier och risker med samarbete mellan de olika delprojekten; (3) Välja objekt för fallstudier inklusive att identifiera kriterier för gemensamma fältstudier; samt (4) Öka förståelsen om nyttoaspekter från akademins såväl som från branschens synvinklar. Två konferenser med bredare deltagande är planerat då resultaten presenteras. I tillägg har varje delprojekt referensgrupper där deltagarna träffas 1-2 gånger per år för att diskutera respektive projekt.

## 4 SLUTORD

TRUST är ett unikt forskningsprojekt eftersom det är första gången en tvärvetenskaplig gemensam ansökan lämnats in av forskare från Sveriges ledande universitet inom geoteknologi, tillsammans med myndigheter och privata företag. Projektet är drivs därmed som ett så kallat *Tripple Helix*, med ambitionen att utveckla tekniker som implementeras i nära samarbete med avnämare inom privat och offentlig verksamhet. Projektet innehåller ett brett spektrum av världsledande experter och stort antal nyanställda doktorander sörjer för den långsiktiga kompetensen i branschen. De fysiska mötena är viktiga för att öka samverkan mellan grupperna. Som ett exempel på detta planerar TRUST 2.2 projektet att genomföra mätningar på Kvarteret Färgaren i Kristianstad, en lokal där tidigare undersökningar utförts av TRUST 2.1 och 4.2 och där TRUST 4.1 står för hantering av den digitala data.

TRUST är en ny modell för samarbete med ambitionen att skapa ett internationellt konkurrenskraftigt forskningskluster. TRUST-projektet bygger en FoU-plattform som kommer att bli långlivad med hög potential för att vara tongivande i framtida EU ansökningar och medverka i andra nationella och internationella sammanhang.

## 5 REFERENSER

Johansson S., Olsson P.-I., Lumetzberger M., Dahlin T, Hagerberg D., Rosqvist H. & Sparrenbom C. (2014) Delineation of a free phase chlorinated hydrocarbon plume with resistivity and TDIP, Procs. 3rd International Workshop on Induced Polarization, 6 – 9 April 2014, Oléron Island, France.

Malehmir, A., B Brodic, J. Place, C. Juhlin, M. Bastani, 2014. Development of near surface seismic methods for urban and mining applications. Geophysical Research Abstracts, 16, EGU2014-1375-1, 2014, EGU General Assembly 2014.

Malehmir, A., Bastani, M., Krawzyck, C., Gurk, M., Ismail, N., Polom, U., and Persson, L., 2013. Geophysical assessment and geotechnical investigation of quick-clay landslides - a Swedish case study. Near Surface Geophysics, 11, 341–350. doi:10.3997/1873-0604.2013010

Mehta, S., M. Bastani, A. Malehmir, S. Wang, L. Pedersen, 2014. Shallow water radio-magnetotelluric (RMT) measurements in urban environment: A case study from Stockholm city. Geophysical Research Abstracts, 16, EGU2014-4196, 2014, EGU General Assembly 2014