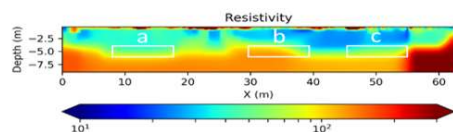
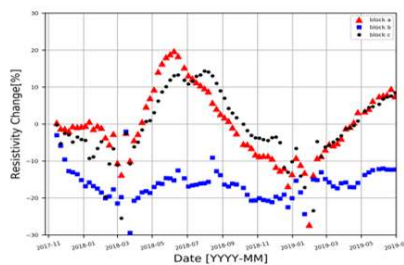
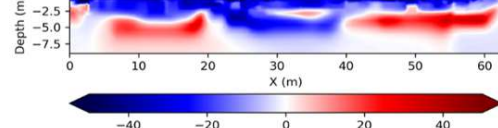
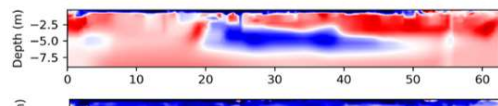
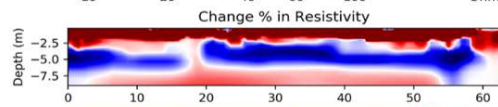
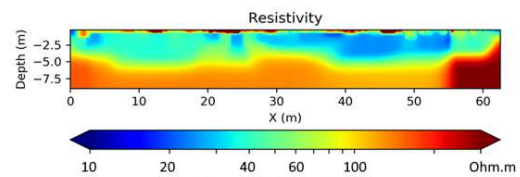


# Multidisciplinär karaktärisering och övervakning av in-situ sanering av mark förorenad med klorerade kolväten (MIRACHL)

## Steg 1



**Torleif Dahlin, Aristeidis Nivorlis, Matteo Rossi**

**2020-09-14**

## A. Bakgrund

För att möta framtidens utmaningar inom stadsutvecklingen och det stora behovet av fler bostäder, sker förtätning av städerna. Detta är en viktig fråga för en framtida hållbar stadsplanering. Förtätning av städer görs ofta genom att expandera bostadsområden in i gamla förorenade industriområden.

Sverige har ca 82 000 förorenade områden. Trots större statsanslag för sanering, har vi mednuvarande takt inte kunnat uppnå det nationella miljö kvalitetsmålet "Giftfri miljö" till innevarande år 2020 som var målet. En växande oro är områden som är förorenade med klorerade kolväten. I Sverige har cirka 3 000 sådana områden registrerats. De flesta av dessa är f.d. eller pågående kemtvättar eller industrier som använder klorerade lösningsmedel. I detta projekt fokuserar vi på områden med jord, berg och/eller grundvatten förorenade med klorerade kolväten, såsom tetrakloreten (PCE) och trikloreten (TCE). Dessa föreningar är starkt cancerframkallande.

Den huvudsakliga saneringsmetoden i Sverige är idag urgrävning och deponering av förorenad jord, d.v.s. vi flyttar föroreningarna från en plats till en annan. Denna strategi har kritiserats eftersom den leder till tunga transporter och exponering av människor och miljö för farliga föroreningar. Dessutom är grävning dyrt och ekologiskt skadligt för den lokala miljön. Därför rekommenderar Naturvårdsverket ökad användning av alternativa metoder till 2020, jämfört med den nuvarande "gräva och deponera". En ökad användning av *in situ*-sanering skulle leda till stora besparingar på miljarder kronor som idag spenderas på sanering, och bidra till att Sverige uppfyller kraven från EUs vattendirektiv och våra nationella miljömål "Giftfri miljö" och "god grundvattenkvalitet".

Utvecklingen av *in situ*-saneringsmetoder har fördröjts på grund av tvivel om dess effekter. Under de senaste åren har dock flertalet vetenskapliga publikationer visat på en god saneringseffekt från *in situ*-metoderna. Många platser är dessutom bara möjliga att sanera *in situ*, på grund av den lokala geologin och/eller hydrogeologin eller områdets urbana karaktär. Det finns ett stort behov av ett tvärvetenskapligt förfarande för övervakning och kontroll av saneringsprocesserna på grund av dess *in situ* karaktär.

Detta projekt syftar till att förbättra förståelsen av villkoren för *in situ*-sanering av områden förorenade med klorerade kolväten. Just klorerade kolväten är förknippade med stora risker för människors hälsa och miljö och är dessutom ett vanligt problem runtom i världen, mestadels i form av kemtvätsverksamhet inne i bebyggda områden eller i industriområden. Det finns ett stort behov av bättre och mer effektiva metoder för övervakning av *in situ*-saneringsåtgärder på dessa platser. Projektet har fokuserat på de utmaningar som är förknippade med övervakning och uppföljning av *in situ*-sanerade områden förorenade med klorerade kolväten. Vår grupp representerar såväl den akademiska världen, som näringslivet och ansvariga myndigheter, och detta har utgjort grunden för genomförandet av projektet där flera samhällsaktörer medverkar. Denna samverkan har möjliggjort en demonstration av forskningsresultaten i full skala och därigenom att få ut metoderna i praktisk användning i samhället.

I detta projekt arbetar vi med en integrerad övervakning med geofysiska, geokemiska, biologiska och isotopanalyser för att bättre förstå och följa initierade saneringsprocesser på plats. Kontinuerliga geofysiska mätningar under saneringsåtgärden kan tillsammans med biogeokemisk provtagning och analys hjälpa oss att följa utvecklingen under jord, d.v.s. nedbrytning, föroreningstransport i mark och grundvatten samt genom gasdiffusion.

Ur ett entreprenadperspektiv är en föroreningsproblematik med klorerade kolväten ofta förknippat med stora osäkerheter som uppstår vid exploatering av f.d. industrimark och annan förorenad mark i stadsmiljö. Entreprenören ställs generellt inför störst risker om man även är en markköpare, eller fungerar som totalentreprenörer. Ett vanligt problem är att omfattningen av föroreningsproblematiken är svåröverblickbar och kostnaderna för att sanera marken och arbete med att påvisa att det är en god miljö att vistas i ökar. Det är därför viktigt för entreprenören att i ett tidigt skede få en god överblick över situationen och planerar rätt saneringsåtgärd. Vidare att ha effektiva verktyg för att verifiera och informera berörda om situationen före, under och efter saneringen. För att på så sätt även kunna säkerställa att erforderlig efterbehandling uppnåtts.

Idag är övervakningen av saneringsåtgärder och bekräftelse på dess effektivitet, både dyrt och mycket osäkert, på grund av att verifiering görs genom punktundersökningar på ett fåtal ställen i det sanerade området. Med vår nya kombinerade metodik, kan vi få en heltäckande beskrivning av förändringarna under mark i tid och rum och samtidigt minska både osäkerhet och kostnader för övervakning och uppföljning av *in situ*-sanering. Metoden ger också ett verktyg att visualisera undermarken och motivera vilka sanerings- och övervakningsåtgärder som utförs.

## B. Syfte

Målet med MIRACHL är att ta fram ett verktyg för att visualisera undermarken och de förändringar som sker där, d.v.s. att kunna avgränsa föroreningar, planera borrningar på rätt ställen, följa förändringar i undermarken såsom *in-situ* sanering, etc. Genom detta kunna förstå och visualisera föroreningsstatus och förändringar genom att tillhandahålla verktyg för att kommunicera och informera visuellt hur det ser ut och om de förändringar som sker. Bättre förståelse för egenskaper och processer i marken banar väg för bättre miljö och mera kostnadseffektiva lösningar. Det medför också att man kan informera berörda parter på ett mer pedagogiskt sätt, och få förståelse och acceptans för föreslagna och vidtagna åtgärder.

Syftet med föreliggande SBUF-projekt, som är en påbyggnad på det FORMAS-finansierade MIRACHL-projektet, var att koppla en doktorand till projektet. Doktoranden, Aristeidis Nivorlis, arbetar som en integrerad del av projektgruppen med fokus på geoelektrisk karaktärisering och övervakning.

## Förväntade resultat och effekter

Sedan några år tillbaka har Naturvårdsverket en uttalad strävan efter en ökad användning av alternativa saneringsmetoder, helst *in situ*, istället för den idag vanligaste metoden "gräva och deponera". Eftersom svenska entreprenörer generellt i en mycket högre grad arbetat

med grävsanering, är kunskapen och erfarenhet av *in situ* saneringsmetoder i Sverige begränsad, medan man i Europa och andra delar av världen har större erfarenhet och lyckats visa på goda saneringsresultat *in situ*. De stora utmaningarna idag med *in situ* sanering är övervakning och verifiering av saneringsresultaten och det är här det föreslagna "Multidisciplinär karaktärisering och övervakningsprojektet" kan bidra med lösningar. Den entreprenör som kommer att kunna ta ett helhetsgrepp, kan komma in tidigt i undersöknings-/saneringsprocessen och kommer i framtiden att få konkurrensfördelar på den Svenska marknaden. De entreprenörer som bygger upp kompetens och erfarenhet av dessa lösningar kommer även kunna bli en aktör på den Europeiska marknaden.

## C. Genomförande

Projektet genomförs som doktorandprojekt av Aristeidis Nivorlis, och har finansierats av SBUF fram till licentiatexamen som nyligen slutförts. Finansiering för resterande del av doktorandarbetet söks nu. Projektet är knutet till ett större forsknings- och utvecklingsprojekt, MIRACHL, med seniorforskare, ett par postdoktorer och ytterligare tre heltidsdoktorander knutna till projektet (se Bilaga 1 "Organisation"). Samtliga artiklar, examensarbeten och avhandlingar som publicerats eller skickats in till sakkunniggranskning i MIRACHL-projektet återfinns i Bilaga 2 "Publikationer" (där de som tagits fram i detta doktorandprojekt är understruken).

### Val av testlokal för fältförsök

Projektet är uppbyggt kring mät- och provtagningsförsök i samband med pilotförsök vid en *in situ*-sanering. Tre testlokaler som är kraftigt förorenade med klorerade kolväten identifierades före projektstart; Kv Färgaren i Kristianstad, Hagforstvädden samt FFVs tvätter i Boden. Det framkom dock i ett tidigt skede av projektet att dessa lokaler inte var lämpliga, antingen för att saneringen genomfördes med annan metod är förväntat eller att saneringen inte skulle genomföras i tid för att passa projektet. Den initiala planeringen justerades och föreliggande projektet har istället fokuserats på Alingsåstvädden där pilotförsök med *in-situ* sanering initierades hösten 2017.

Därutöver har NCC i en nära dialog med LTH/LU lagt ner betydande ansträngningar för att hitta en ytterligare testlokal. Detta har dock misslyckats av olika orsaker, bl.a. att byggherren inte velat riskera fördröjningar p.g.a. att man måste ta hänsyn till forskare under pågående entreprenadarbeten. Under rådande omständigheter är detta dock inget problem eftersom testlokalen i Alingsås genererar stora mängder data av god kvalitet, och intressanta vetenskapliga frågeställningar. Mängden information som varit möjlig att erhålla från Alingsåstvädden har varit tillräcklig för att såväl genomföra föreliggande licentiatprojekt som att vidare bearbeta, tolka och rapportera resultaten fram till en doktorsavhandling (upplägg för detta arbete presenteras i en ny ansökan till SBUF).

### Hittills utfört arbete vid Alingsåstvädden

Beskrivningen som följer har fokus på doktorandprojektet och är en sammanfattning av licentiatavhandlingen (Nivorlis 2020, Bilaga B). Arbetet vid Alingsåstvädden började med

insamling av arkivdata följt av inledande geofysiska mätningar, borrhningar, provtagning av grundvatten och jordmatrisen för att få en uppfattning om platsens egenskaper. Detta låg till grund för konfigurering av mätsystemen för övervakning och för vidare planering av fortsatta provtagningar.



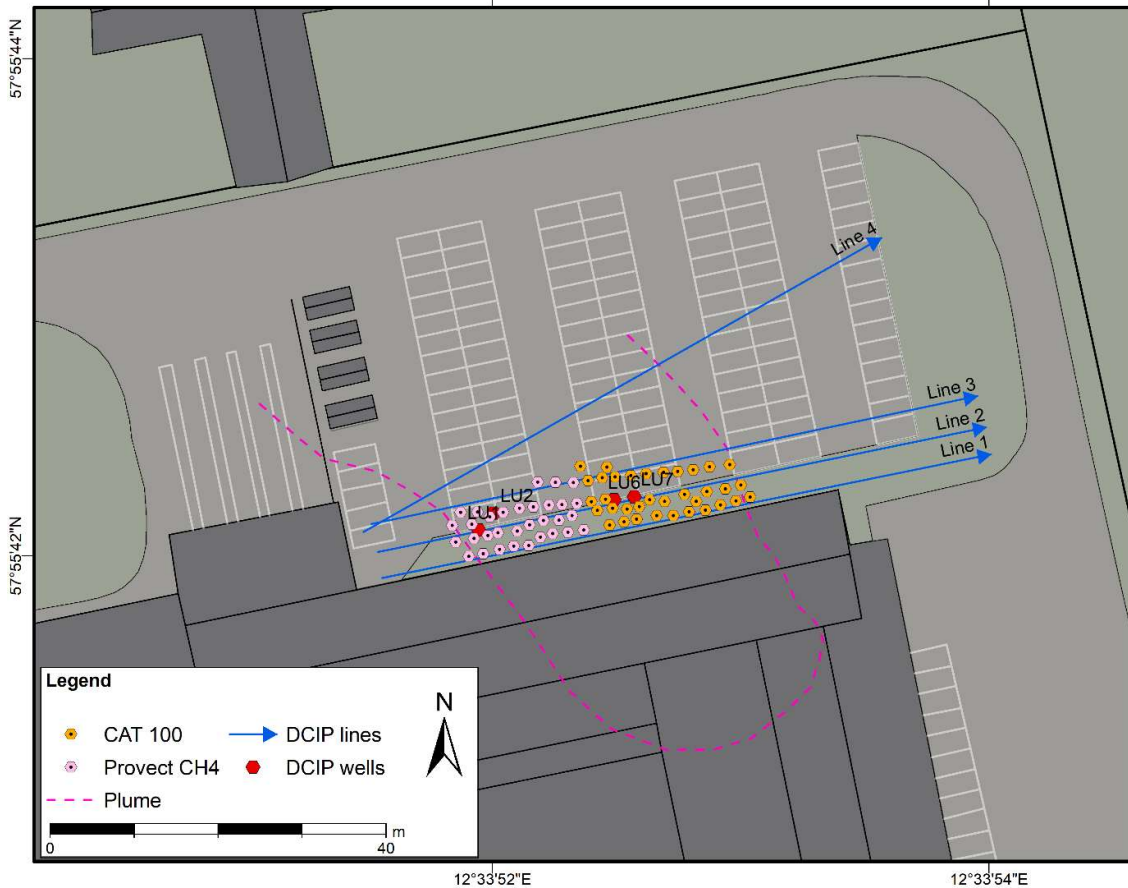
Figur 1. Installation av elektroder och elektrodkablar gjordes i grunda diken som fylldes igen så att parkering och gräsmatta kunde återställas. Alla elektroder och sensorer mättes in med differentiell GNSS.

Ett omfattande arbete har lagts ner på utveckling och installation av DCIP systemet som anpassats för testlokalens förutsättningar. Systemet består delvis av standardkomponenter, såsom mätinstrumentet, och delvis av delar som vi utvecklat specifikt för övervaknings-tillämpning, såsom reläomkopplare med inbyggt åskskydd. Vidare delar som skräddarsytt för testlokalen, i form av robusta elektrodkablar lämpade för långtidsövervakning och elektroder anbringade på utsidan av grundvattenrör av PEH. Systemet har programmerats för att automatiskt mäta och skicka mätdata till en server i Lund dagligen.

Konfigurering och installation av sensorer och dataloggrar har gjorts för grundvattennivå, konduktivitet och temperatur i grundvatten och mark samt redox-potential så att mätning görs flera gånger per dygn. I systemet ingår också en klimatstation för mätning av nederbörd och lufttemperatur.

Nya borrhål med foderrör av PEH har installerats för att ge fler provtagningspunkter för grundvatten, och det var dessa som även utnyttjades för elektrodinstallationer.

Pilotförsök med *in-situ* sanering genom injektering av två saneringsmedel (Provectus ERD-CH4™ och SDC-9™ respektive CAT100™) som är avsedda att påskynda nedbrytningen av föroreningar gjordes under november 2017.

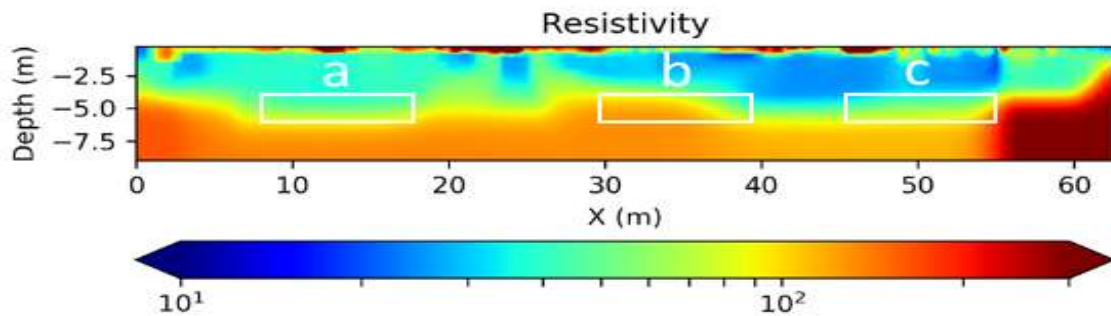


Figur 2. Placering av elektrodutlägg (blå linjer) och borrhåselektroder (röda punkter) i förhållande till testinjekteringen med Provectus ERD-CH4™ och SDC-9™ (lila punkter) respektive CAT100™ (orange punkter). Föroreningskällan ligger under tvätterbyggnaden (mörkgrå) och föroreningsplymens läge är markerat med lila streckad linje.

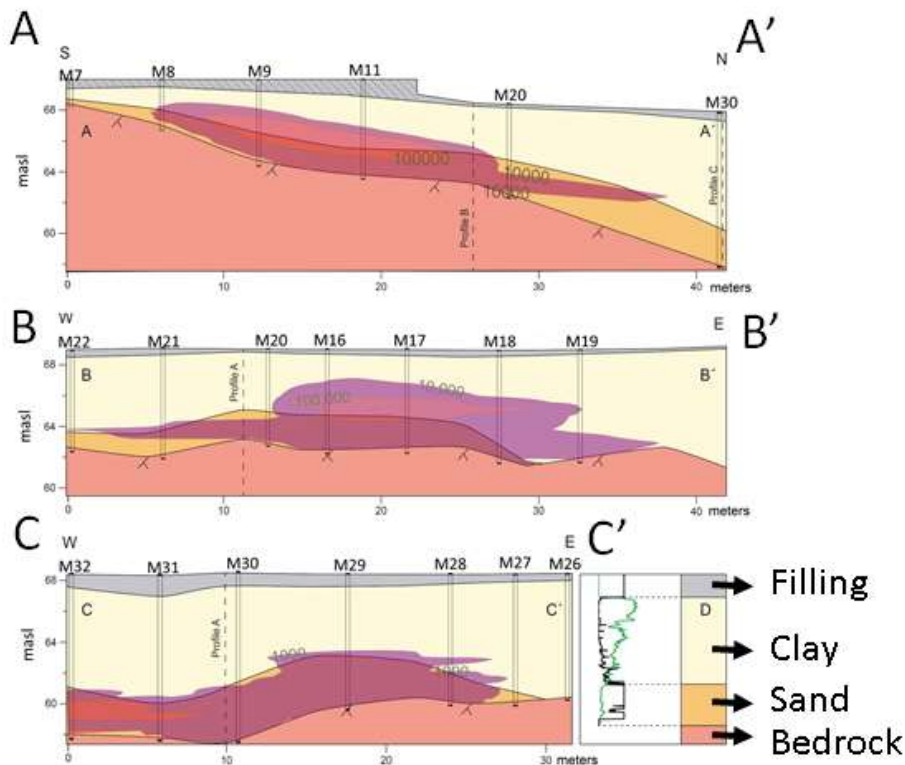
Undersökningar med refraktionsseismik gjordes för att komplettera punktinformationen om bergytans läge från borrhdata så att den blev mera yttäckande. Vidare har ytterligare arkivdata samlats in, inklusive MIP-sonderingsdata. Tillsammans med bakgrundmätningar med DCIP gjorda före och strax efter pilotinjekteringarna (Figur 3), har detta sammanfattats i en baslinjebeskrivning av de geologiska förhållandena och föroreningssituationen. Bakgrundsammanställningen resulterade i en uppdaterad konceptuell modell (Figur 4) som ligger till grund för det fortsatta arbetet, och har publicerats i artikel 1 som ingår i licentiatavhandlingen.

För att kunna tolka mätdata på ett rationellt sätt har arbete genomförts för att få till stånd en automatiserad, robust och repeterbar datahanteringsprocess. Det har skett genom utveckling av algoritmer för signalbehandling, filtrering och inversion (invers numerisk modellering) för tolkning av data i form av djupsektioner av markens elektriska egenskaper. Dessa har därefter analyserats med avseende på förändringar som skulle kunna kopplas till säsongsvariationer och nedbrytningsprocesser av förorening i marken. Figur 5 visar relativ förändring jämfört med förhållandena i veckan före pilotförsöket med injektering påbörjades. Figur 6 visar relativ förändring i tre delar av tvärsnittet som är markerade i Figur

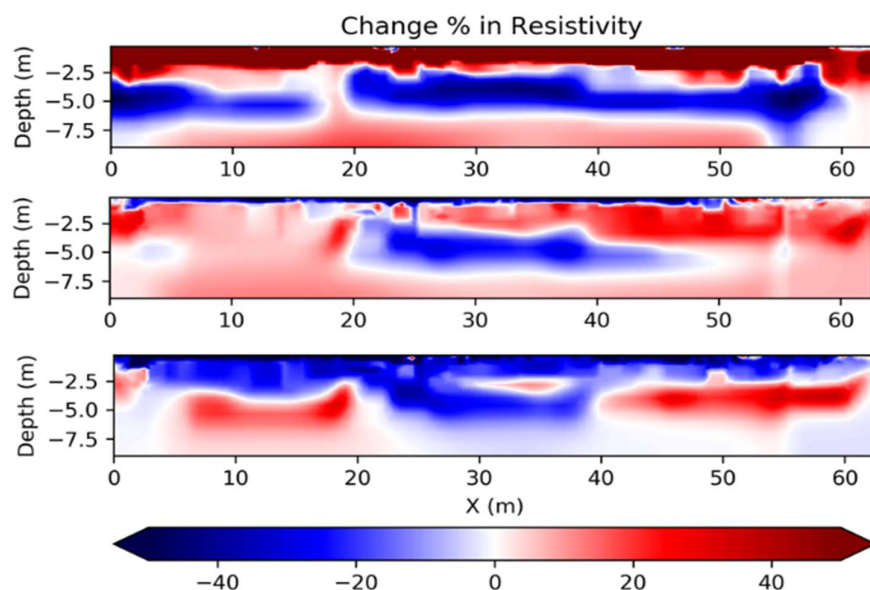
3, där **a** och **b** sammanfaller med de två injekterade zonerna medan **c** ligger i en del som är obehandlad. Som framgår av Figur 6 är variationen i zon **a** snarlik den i den obehandlade delen, vilket tyder på att den orsakas av normala årstidsvariationer, medan det för zon **b** har ett helt annat förlopp. Det betyder att injekteringen endast har haft signifikant effekt på DCIP-resultaten i zon **b**, men att det inte syns någon tydlig geoelektrisk effekt i zon **a**. Detta kan innehålla värdefull information om hur saneringen framskrider i respektive zon, men måste följas upp med data från andra metoder innan man kan dra några säkra slutsatser.



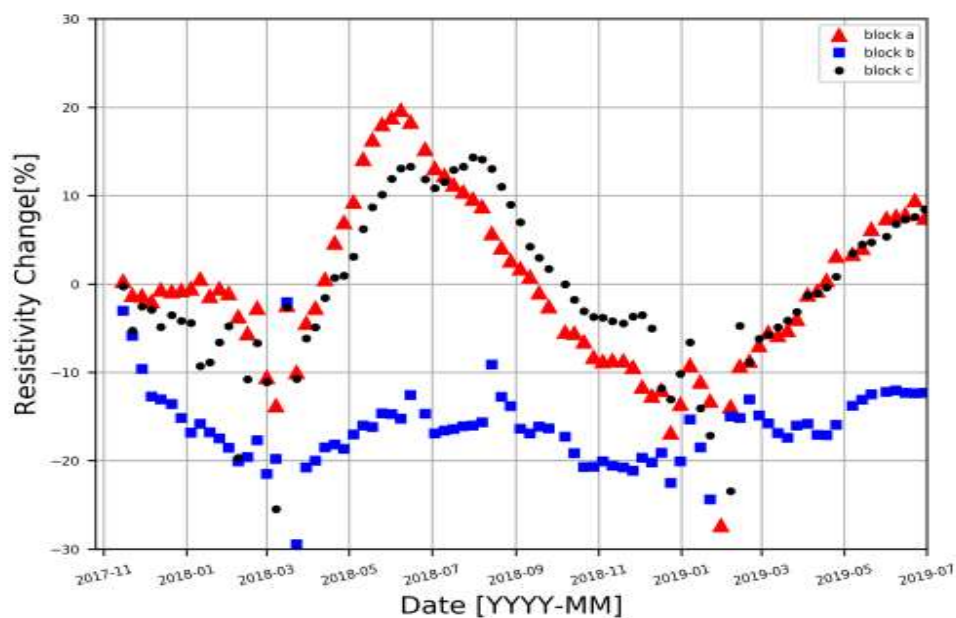
Figur 3. Resultat från baslinjemätningen på Linje 3. Det tunna ytligaste lagret med hög resistivitet utgörs av fyll, därunder följer leriga och sandiga sediment med lägre resistivitet, och i botten berg med högre resistivitet.



Figur 4. Uppdaterad konceptuell modell baserad på bakgrundsmanställningen. Föroreningsplymen är markerad med lila.



Figur 5. Förändring i resistivitet relativt bakgrundmätningen före pilotförsöket startades för olika tidpunkter under år 2018; mars (överst), april (mitten) och juli (nederst). Ökad resistivitet (rött) kan bero på bl.a. lägre temperatur (minskad mobilitet för jonerna) och lägre vattenhalt (det var väldigt blött i marken i samband med bakgrundmätningen). Sänkt resistivitet (blått) kan bero på t.ex. förändrad kemiska sammansättning (p.g.a. av injektering eller nedbrytning av klorerade kolväten) och högre temperatur.



Figur 6. Resultat från långtidsmätningen på Linje 3 i form av relativ förändring av resistivitet. De tre kurvorna visar förändring i genomsnittlig resistivitet i de tre markerade rutorna i Figur 3, motsvarande Provectus ERD-CH4™ (a) respektive CAT100™ (b) och obehandlad mark (c). Man kan notera att (a) uppför sig på liknande sätt som (c), vilket skulle kunna tolkas som att den behandlingen inte har någon nämnvärd effekt, vilket kommer följas upp med analys av de kemiska och bakteriologiska data vi har.



Provtagning och analys av vattenprover med avseende på kemiska och bakteriologiska parametrar har gjorts av andra doktorander och forskare i MIRACHL-projektet, och utvärdering och tolkning av resultaten pågår. I detta ingår DNA-analyser för att identifiera specifika typer av bakterier som är kända för att bryta ner klorerade kolväteföreningar. Vidare är det gjorts isotopspecifika analyser för identifiering av nedbrytningsprodukter av klorerade kolväteföreningar. Slutligen har grundvattenhydrauliska analyser och grundvattenhydraulisk modellering utförts för att skapa bättre förståelse för förorenings-spridningsmekanismerna. All detta kommer ligga till grund för en samlad utvärdering och tolkning tillsammans med DCIP-resultaten.

### **Planerat arbete i nästa steg**

En fortsättning på detta projekt kommer att innefatta kompletterande kärnborring under hösten, med provtagning och analys av jord- och vattenprover. I samband med detta kommer kompletterande temperaturgivare installera på olika nivåer under markytan i samband med detta. Detta kommer ge ytterligare värdefulla data för utvärderingen av vad man kan detektera med hjälp av DCIP-övervakning.

Övervakningen med hjälp av dagliga mätningar med DCIP, och övriga sensorer fortsätter, med syfte att kunna följa den fortsatta utvecklingen av pilotförsöket av *in-situ* saneringen. Ifall det tas beslut om en fullskalig sanering är det av stort värde att ha en lång mätserie innan saneringen av övriga delar av området påbörjas, för att göra det möjligt att med större säkerhet skilja på säsongsvariationer och effekter av saneringen.

Doktorsarbetet som är planerat i nästa steg av doktorandarbetet kommer till övervägande delen bestå av analys av data från installationerna i Alingsås, såväl redan mätta som ytterligare data som genereras under arbetets gång. Parallellt med detta kommer vidareutveckling av analysverktygen ske för att möjliggöra och effektivisera analyserna. Till detta kommer andra typer av data som tjänar som referensdata för tolkning och utvärdering av metodiken. Följande specifika uppgifter är planerade för doktorandprojektet:

- Spektral analys och inversion av DCIP data för utvärdering av mera subtil information i mätdata. Huvudansvarig är Aristeidis Nivorlis i nära samarbete med Line Melgaard Madsen, Aarhus Universitet.
- Analys av temperaturer, grundvattennivåer, etc. för identifiering av årstidsvariationer i mätdata så att det går att kompensera för det i tolkningen av resultaten. Huvudansvarig är Aristeidis Nivorlis i samarbete med Gianluca Fiandaca, University Milano / Aarhus Universitet.
- Samtolkning av samtliga data; geofysiska, geologiska, hydrologiska, kemiska, isotopkemiska, bakteriologiska. Samarbete mellan alla doktorander och forskare i MIRACHL-projektet.

Vardera punkten ovan ska leda fram till minst en vetenskaplig sakkunniggranskad artikel. Valda delar av dessa kommer sammanfattas i en doktorsavhandling av Aristeidis Nivorlis.

## Bilaga 1. Organisation

### Aktiva projektparter

- Torleif Dahlin, Teknisk geologi, Lunds Universitet (projektledare / forskare / handledare)
- Charlotte Sparrenbom, Geologiska Inst., Lunds Univ. (koordinator / forskare / handled.)
- Catherine Paul, Teknisk mikrobiologi, Lunds Universitet (forskare / handledare)
- Matteo Rossi, Teknisk geologi, Lunds Universitet (post doc / handledare)
- Tina Martin, Teknisk geologi, Lunds Universitet (post doc / handledare)
- Aristeidis Nivorlis, Teknisk geologi, Lunds Universitet (doktorand)
- Sofia Åkesson, Geologiska Inst., Lunds Universitet (doktorand)
- Nikolas Höglund, Geologiska Inst., Lunds Universitet (doktorand)
- Line Melgaard Madsen, Geosciences Dept., Aarhus Universitet (doktorand, klar VT 2020)
- Mats Svensson, Tyréns AB (forskningsansvarig / konsult / näringslivspartner)
- Håkan Rosqvist, Lunds Univ./Sustainable Business Hub (forskare / näringslivspartner)
- Henry Holmstrand, Stockholms Universitet (forskare)
- Gianluca Fiandaca, University Milano / Aarhus Universitet (forskare / handledare)

### Styrgrupp

- Torleif Dahlin
- Charlotte Sparrenbom
- Catherine Paul
- Matteo Rossi
- Mats Svensson

### Referensgrupp

- Malin Norin, NCC AB
- Henrik Alsterling, PEAB AB
- David Hagerberg, Tyréns
- Helena Branzén, SGI
- Kristin Forsberg, SGU
- Ulf Winnberg, SGU
- Björn Johansson, Naturvårdsverket
- Nina Tuxen, Region Hovedstaden, Danmark
- Charlotta Olsson, Region Väst

### Vetenskaplig referensgrupp

- Beth Parker, G360 / University of Guelph
- Jason Gerhard, Western University
- Christopher Power, Western University
- Panagiotis Tsourlos, University of Thessaloniki
- Giorgio Cassiani, University of Padova
- Marco Petrangeli Papini, "Sapienza" University of Rome

## Bilaga 2. Publikationer<sup>1</sup>

### Vetenskapliga tidskriftsartiklar

- Nivorlis A., Rossi M. & Dahlin T. (submitted) Temporal filtering and time-lapse inversion of daily geoelectrical data for long-term monitoring of in-situ bioremediation, *Geophysical Journal International*.
- Åkesson S., Sparrenbom C., Paul C., Jansson R. & Holmstrand H. (submitted) Characterizing natural degradation of tetrachloroethene (PCE) using a multidisciplinary approach, *Ambio*.
- Meldgaard Madsen L., Fiandaca G. & Auken E. (submitted) 3D time-domain spectral inversion of resistivity and induced polarization data – full solution of Poisson's equation and modelling of current waveform, *Geophysical Journal International*.
- Nivorlis A., Dahlin T., Rossi M., Höglund N. & Sparrenbom C. (2019) Multidisciplinary characterization of chlorinated solvents contamination and in-situ remediation with the use of the Direct Current resistivity and time-domain Induced Polarization tomography. *Geosciences*, 9, 487.

### Konferensbidrag

- Åkesson S., Paul C. & Sparrenbom C. (2019) Detektion av mikrober i utmanande miljöer, in *Procs. Grundvattendagarna 2019*.
- Höglund N., Åkesson S., Sparrenbom C., Björn J. & Power C. (2019). Hydrogeological response to injection fluids, in *Procs. Grundvattendagarna 2019*
- Nivorlis A., Dahlin T., Rossi M., Sparrenbom C., Åkesson S. & Höglund N. (2019) Geophysical Monitoring of Initiated In-Situ Bioremediation of Chlorinated Solvent Contamination, in *Procs. Grundvattendagarna 2019*.
- Martin T., Åkesson S. & Paul C.J. (2019) Induced Polarisation (IP) laboratory measurements on E. coli-sand mixtures, in *Procs. Grundvattendagarna 2019*.
- Nivorlis A., Dahlin T. & Rossi M. (2019) Geophysical Monitoring of Initiated In-Situ Bioremediation of Chlorinated Solvent Contamination, in *Procs. 25<sup>th</sup> European Meeting on Environmental and Engineering Geophysics*, The Hague, 8-12 September 2019, 5p.
- Martin T. & Paul C. (2019) Induced Polarisation (IP) Laboratory Measurements on Escherichia Coli (E. Coli)-Sand Mixtures. in *Procs. 25<sup>th</sup> European Meeting on Environmental and Engineering Geophysics*, The Hague, 8-12 September 2019, 5p.
- Madsen L. M., Fiandaca G. F. & Auken E. (2019). An algorithm for 3D modelling of direct current resistivity and full-response time-domain induced polarization data. in *Procs. 25<sup>th</sup> European Meeting on Environmental and Engineering Geophysics*, The Hague, 8-12 September 2019, 5p.
- Nivorlis A., Dahlin T. & Rossi M (2018) Monitoring of in-situ remediation of chlorinated solvents contamination with the use of the Direct Current resistivity and time-domain Induced Polarization method, in *Procs. 5th International Workshop on Induced Polarization* Rutgers University, Newark. October 3-5
- Martin T. and Paul C. (2018) IP lab measurements on E. coli-sand mixtures, in *Procs. 5th International Workshop on Induced Polarization*, Rutgers University, Newark. October 3-5, p38.

---

<sup>1</sup> De som SBUF-doktoranden Aristeids Nivorlis är huvud- eller medförfattare till är understrukna.

- Martin T., Flores-Orozco A., Guenther T. & Dahlin T. (2018) Comparison of TDIP and SIP measurements in the field scale, in *Procs. 5th International Workshop on Induced Polarization*, Rutgers University, Newark. October 3-5, p32.
- Dahlin T. (2018) Field applications of Time Domain Induced Polarisation – Invited talk, in *Procs. 5th International Workshop on Induced Polarization*, Rutgers University, Newark. October 3-5, p23.
- Nivorlis A., Dahlin T, Rossi M. & Wei H (2018) Monitoring of In Situ Remediation with the Direct Current Time-Domain Induced Polarization Method, in *Procs. 24th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, 9-12 September, Porto, Portugal, 5p.*
- Rosqvist H., Sparrenbom C., Dahlin T., Rossi M., Svensson M., Paul C. & Holmstrand H. (2018) Development of an innovative methodology for monitoring of in situ remediation of chlorinated solvents – the MIRACHL-project, in *Procs 7th Joint Nordic Meeting on Remediation of Contaminated Sites*, International Conference, 3-6 September, Helsingør, Denmark.
- Åkesson S., Jansson R., Sparrenbom C.J., Paul C.J., Holmstrand H. & Dahlin T. (2018) Multidisciplinary approach to characterize natural degradation of PCE, in *Procs 7th Joint Nordic Meeting on Remediation of Contaminated Sites*, International Conference, 3-6 September, Helsingør, Denmark.
- Nivorlis A., Dahlin T., Rossi M., Åkesson S. & Sparrenbom C. (2018) Geophysical monitoring of bio-remediation using the Direct Current resistivity and time-domain Induced Polarization (DCIP) method, in *Procs 7th Joint Nordic Meeting on Remediation of Contaminated Sites*, International Conference, 3-6 September, Helsingør, Denmark.
- Rosqvist H. Åkesson M. & Svensson M. (2017) Interaktiv 3D-metodik för bättre kommunikation i efterbehandlingsprojekt, in *Procs Renare Marks vårmöte*, Malmö, 29-30 mars 2017 (in Swedish)
- Sparrenbom C. Dahlin T., Rosqvist R., Holmstrand H., Paul C. & Rossi M. (2017) Characterisation and monitoring of in situ remediation of chlorinated hydrocarbon contamination using an interdisciplinary approach (MIRACHL), in *Procs Aquaconsoil 2017*.

### Avhandlingar

- Nivorlis A. (2020) Multimethod characterization of a chlorinated solvents contaminated site and geoelectrical monitoring of in-situ bioremediation, Licentiate thesis, Lund University, ISBN (print) 978-91-7895-622-7, 97p.
- Meldgaard Madsen L. (2019) *Monte Carlo analysis and 3D spectral inversion of full-decay induced polarization data*, Doctorate thesis, Aarhus University, 54p.

### Examensarbeten

- Björn J. (2019) *Undersökning av påverkan på hydraulisk konduktivitet i förorenat område efter in situ-saneringsförsök*, BSc thesis 561, Geology Dept., Lund University, 41p.
- Jansson R. (2018) *Multidisciplinary perspectives on a natural attenuation zone in a PCE-contaminated aquifer*, MSc thesis 528, Geology Dept., Lund University, 111p.
- Wey H. (2018) *Interpretation of geophysical and geochemical data in a 3D geological model construction of a contaminated site - A case study at Alingsås drying-cleaning facility, Sweden*, MSc thesis, Engineering Geology, Lund University, ISRN LUTVDG/(TVTG--5157)/1- 86/(2018), 86p.

- Jönsson H. & Wiberg A. (2017) *Application of ERT and IP for localisation of chlorinated hydrocarbons at a former dry-cleaning facility*, MSc thesis, Engineering Geology, Lund University, ISRN LUTVDG / (TVTG-5154) / 1 - 50 / (2017), 50p.

#### **Övriga publikationer**

- Rosqvist H. (2017) Ny metod kartlägger markföroreningar. *Recycling och miljöteknik*, Nr. 2, 2017