

EBH-bladet

Nyhetsbrev för oss som jobbar med förorenade områden

Nr 2 • 2020

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

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.

Trots större statsanslag för sanering, har vi med nuvarande takt inte kunnat uppnå det nationella miljö kvalitetsmålet "Giftfri miljö" till 2020 som var målet. I MIRACHL-projektet har man fokuserat på områden med jord, berg och grundvatten förorenade med klorerade lösningsmedel, såsom tetrakloreten (PCE) och trikloreten (TCE) samt dess nedbrytningsprodukter, som är cancerframkallande.

Bakgrund till MIRACHL

Den huvudsakliga saneringsmetoden i Sverige har länge varit schaktning och deponering av förorenad jord, det vill säga vi flyttar föroreningarna från en plats till en annan. Denna strategi leder till tunga transporter och exponering av föroreningar för människor och miljö. Naturvårdsverket rekommenderar en ökad användning av alternativa metoder, och en ökad användning av *in situ*-sanering kan bättre bidra till att Sverige uppfyller kraven från EU:s vattendirektiv och våra nationella miljömål "Giftfri miljö" och "Grundvatten av god kvalitet".

Utvecklingen av *in situ*-saneringsmetoder har fördröjts på grund försiktighet och 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 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 och effektiviteten av *in situ*-sanering av områden förorenade med klorerade lösningsmedel. Det finns ett stort behov av bättre och mer effektiva metoder för övervakning av *in*

situ-saneringsåtgärder av just de klorerade lösningsmedel, då de är tyngre än vatten, löser sig dåligt och förekommer i flerfas, vilket innebär att de både finns i gasfas, som egen fri fas och till viss del löst i grundvattnet. Projektet har fokuserat på de utmaningar som är förknippade med övervakning och uppföljning av *in situ*-sanerade områden förorenade med klorerade lösningsmedel. Vår grupp representerar såväl den akademiska världen, näringslivet och ansvariga myndigheter, vilket utgör grunden för genomförandet av projektet där flera samhällsaktörer medverkar. Samverkan har möjliggjort en demonstration av forskningsresultaten i full skala och därigenom en praktisk användning av nya metoder och kombinationer av metoder i samhället.

I detta projekt arbetar vi med en integrerad övervakning med geofysiska, geokemiska halt och isotopanalyser och biologiska analyser i form av DNA-analys. Detta 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 och förstå utvecklingen under jord, det vill säga nedbrytning, kemiska reaktioner, gasdiffusion och föroreningstransport i mark och grundvatten.

Föroreningstransport i mark och grundvatten och sanering av klorerade lösningsmedel däri är ofta förknippat med stora osäkerheter vid förnyelse av före detta industrimark och urbana miljöer. Ett vanligt problem är att omfattningen av föroreningsproblematiken är svåröverblickbar, kostnaderna är stora för att sanera och kunskapen begränsad för att påvisa att marken och grundvattnet är tillräckligt rent för att få en godtagbar miljö att vistas i. Det är därför viktigt att i ett tidigt skede få en god överblick över situationen och planera rätt saneringsåtgärd. Vidare är det viktigt att ha effektiva verktyg för att verifiera och informera berörda om situationen före, under och efter saneringen och säkerställa att nödvändig efterbehandling uppnåtts.

Idag är övervakningen av saneringsåtgärder och bekräftelse på dess effektivitet, både dyr och mycket osäker, 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 förändringar i marken och kontrollera att saneringsåtgärderna är verksamma och till vilken grad.

Syfte med projektet

Målet med MIRACHL är att ta fram ett verktyg för att visualisera marken och de förändringar som sker där, det vill säga att kunna avgränsa föroreningar, planera borrhningar på rätt ställen, följa förändringar i marken såsom vid *in-situ* sanering. Genom detta kan vi 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, mer kostnadseffektiva lösningar och ett säkrare resultat. Det medför också att man kan informera berörda parter på ett mer pedagogiskt sätt, få förståelse och acceptans för vidtagna åtgärder.

Genomförande

Val av testlokal för fältbesök

Projektet är uppbyggt kring mät- och provtagningsstudier i samband med pilotförsök vid olika *in situ*-saneringar. Tre testlokaler som är kraftigt förorenade med klorerade lösningsmedel identifierades före projektstart; Kvarteret Färgaren i Kristianstad, Hagforstvätten samt FFV:s tvätter i Boden. Det framkom dock i ett tidigt skede av projektet att två av dessa lokaler inte var lämpliga, antingen för att saneringen genomfördes med annan metod än förväntat eller att saneringen inte skulle genomföras i tid för att passa projektet. Den initiala planeringen justerades och projektet har därför fokuserats på naturlig självrening vid Hagforstvätten (Åkesson med flera 2020) och pilotförsök med *in-situ* sanering vid Alingsåstvätten (Nivorlis med flera 2019) initierat hösten 2017.

Hittills utfört arbete vid Alingsåstvätten

Arbetet vid Alingsåstvätten började med insamling av arkivdata följt av inledande geofysiska mätningar, borrhningar, installation av observationsrör, provtagning av kemi och mikroorganismer i 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 (Nivorlis 2020).

Ett omfattande arbete har lagts ner på utveckling och installation av ett elektriskt mätsystem för DCIP (Direct Current resistivity and time-domain Induced Polarization) som anpassats för testlokalens förutsättningar. Systemet består delvis av standardkomponenter, såsom mätinstrumentet och delvis av delar som vi utvecklat specifikt för övervakningstillämpning, såsom reläomkopplare med inbyggt åskskydd. Vidare delar som skräddarsyttts för testlokalen, i form av robusta elektrodkablar lämpade för långtids övervakning och elektroder fästa på utsidan av grundvattenrör av PEH. Systemet har programmerats för att automatiskt mäta och skicka mätdata till en server i Lund dagligen.



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.
Foto: Torleif Dahlin.

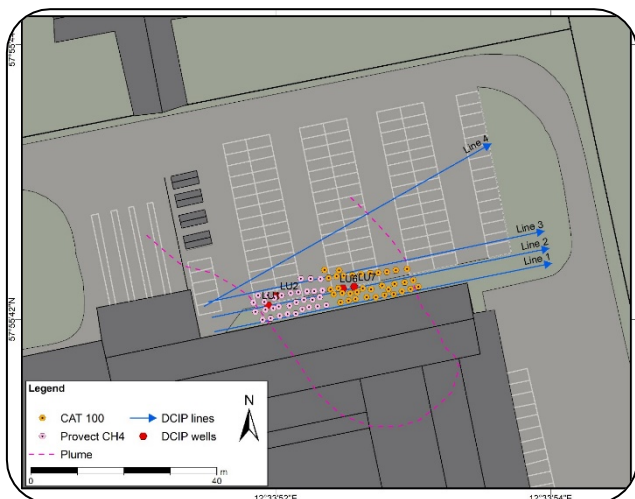
Konfigurering och installation av sensorer och dataloggrar har gjorts för grundvattennivå, konduktivitet och temperatur i grundvatten och mark samt redox-potential. Mätning görs flera gånger per dygn. I systemet ingår också en klimatstation för mätning av nederbörd och lufttemperatur.

Injekttering i marken med två saneringsmedel (Provectus ERD-CH4™ och SDC-9™ respektive CAT100™) som är avsedda att påskynda nedbrytningen av föroreningar gjordes under november 2017 enligt figur 1.

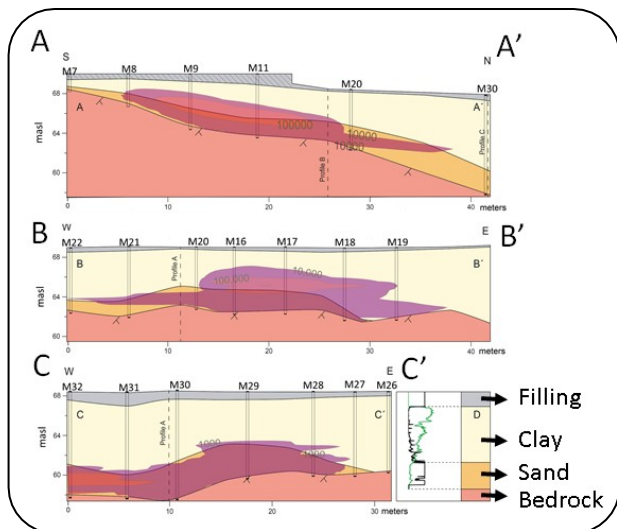
Undersökningar med refraktionsseismik gjordes för att komplettera punktinformationen om bergytans läge från borrdatabas så att den blev mera yttäckande.

Tillsammans med bakgrundmätningar med DCIP, grundvattenkemi och mikroorganismer gjorda före och strax efter pilotinjekteringarna, har detta sammanfattats i en baslinjebeskrivning av de geologiska samt mikrobiologiska förhållandena och föroreningsituationen.

Bakgrundsammanställningen resulterade i en uppdaterad förståelsemodell av mark- och grundvattenmiljön enligt figur 2.



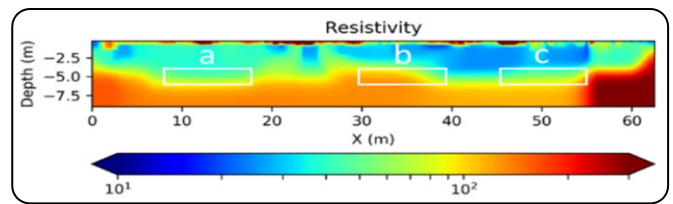
Figur 1. Placering av elektrodutlägg (blå linjer) och borrhålelektroder (röda punkter) i förhållande till testinjektering med Provectus ERD-CH4™ och SDC-9™ (lila punkter) respektive CAT100™ (orange punkter). Föroreningskällan ligger under tvätteribyggnaden (mörkgrå) och föroreningsplymens läge är markerat med lila streckad linje (Nivorlis 2020).



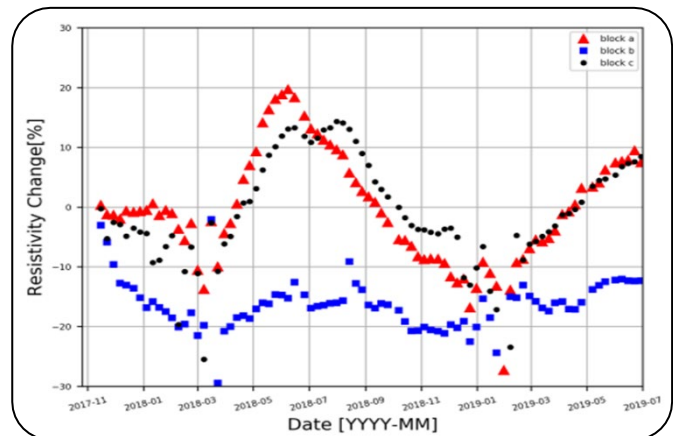
Figur 2. Uppdaterad konceptuell modell baserad på bakgrundsammanställningen. Plymen är markerad med lila (Nivorlis med flera 2019).

För att kunna tolka mätdata på ett rationellt sätt har arbete genomförts för en automatiserad, robust och repeterbar datahanteringsprocess. Det har skett genom utveckling av algoritmer för signalbehandling, filtrering och inversion (Nivorlis 2020; Meldgaard Madsen med flera 2020) för tolkning av data i form av djupsektioner av markens elektriska egenskaper (figur 3). Dessa analyseras med avseende på förändringar som kan kopplas till säsongsvariationer och nedbrytningsprocesser av förorening i marken.

Figur 4 visar relativ förändring i marken jämfört med förhållandena i veckan före starten av pilotförsöken. Här syns tre delar, markerade i Figur 2 med **a** och **b** som sammanfaller med de två injekterade zonerna, medan **c** ligger i en del som är obehandlad. Variationen i zon **a** är snarlik variationen i den obehandlade delen, vilket tyder på att den orsakas av normala markprocesser och 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 kemi och mikrobiologisk data från de andra metoderna innan man kan dra några säkra slutsatser.



Figur 3. Resultat från baslinjemätningen på Linje 3. Det tunna ytligaste lagret med hög resistivitet utgörs av fyllnadsmaterial, därunder följer leriga och sandiga sediment med lägre resistivitet, och i botten berg med högre resistivitet (Nivorlis 2020).



Figur 4. 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 2, motsvarande (a) Provectus ERD-CH4™ och SDC-9™, (b) respektive CAT100™ och (c) obehandlad mark. 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 (Nivorlis 2020).

Provtagning och analys av vattenprover med avseende på kemiska och mikrobiologiska parametrar har utförts med olika intervall och med olika analysmetoder. Utvärdering av dessa resultat är pågående. DNA-analyser används för att identifiera specifika typer av bakterier, både kända för att bryta ner klorerade lösningsmedel men även andra grupper som antingen kan utföra delar av nedbrytningsarbetet eller skapa gynnsamma förhållande för nedbrytningsprocessen. Slutligen har grundvattenhydrauliska analyser och grundvattenhydraulisk modellering utförts för att

skapa bättre förståelse för föroreningsspridningsmekanismerna. Allt detta kommer ligga till grund för en samlad utvärdering och tolkning för att på så sätt förstå processerna i marken och skapa en mer holistisk bild över vad som sker under en *in-situ* sanering.

Planerat fortsatt arbete

I skrivande stund pågår kompletterande kärnbronning, med provtagning och analys hydrauliska egenskaper, föroreningar, mikroorganismer och kemiska förändringar i jordmatrisen. I samband med detta installeras också kompletterande temperaturgivare på olika nivåer under markytan. Detta kommer ge ytterligare värdefulla data för utvärderingen av vad man kan detektera med hjälp av DCIP-övervakning och förståelse för förändringar på systemet med avseende på temperatur.

Övervakningen med hjälp av dagliga mätningar med DCIP, och övriga sensorer fortsätter, med syfte att kunna följa utvecklingen av *in-situ* saneringen. När en fullskalig sanering ska påbörjas är det av stort värde att ha en lång mätserie innan saneringen, för att med större säkerhet kunna skilja på säsongsvariationer och effekter av saneringen.

Fortsatt arbete framöver kommer till övervägande delen bestå samtolkning av alla olika mätdata och ytterligare analys av data från installationerna i Alingsås. För att få en bättre förståelse av marksystemet är vi beroende av samtliga data; geofysiska, geologiska, hydrologiska, kemiska, isotopkemiska, och mikrobiologiska, vilket utförs som ett samarbete mellan doktoranderna och forskarna i MIRACHL-projektet.

Finansiering

Projektet finansieras av Formas (ref. 2016-20099 och 2016-0080), SBUF – Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (ref. 13336 och 13938), ÅForsk (ref. 14-332), SGU, Sven Tyréns Stiftelse, Västra Götalandsregionen och Lunds universitet.

Torleif Dahlin, Teknisk geologi och Charlotte Sparrenbom, Geologiska institutionen, Lunds universitet

Referenser

Meldgaard Madsen L., Fiandaca G. & Auken E. (2020) 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*, 223, 2101-2116.

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.

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.*

Åkesson S., Sparrenbom C., Paul C., Jansson R. & Holmstrand H. (2020) Characterizing natural degradation of tetrachloroethene (PCE) using a multidisciplinary approach, *Ambio*, accepted/in press.