

EBH-bladet

Nyhetsbrev för oss som jobbar med förorenade områden

Nr 2 • 2020

Vad gör Naturvårdsverket, SGI och SGU för att saneringsåtgärder ska bli mer hållbara?

"Genom att tillsammans ta tillvara på innovationsvilja och stimulera till att tänka nytt skapar vi förutsättningar för nya lösningar och använder alla verktyg i verktygslådan. Vi har enkla samarbetsvägar mellan myndigheter och skapar tillsammans känsla även med andra aktörer. Vår långsiktiga satsning på utveckling och innovation förmedlar uthållighet och skapar trygghet för att fortsätta utveckla, använda och investera i ny teknik."

En stark vision signerad Naturvårdsverket, SGI och SGU. Men vad gör vi egentligen för att förverkliga visionen?



Naturvårdsverket ser en stark vilja i branschen att använda annan teknik än traditionell schakt och deponi. Vi på Naturvårdsverket behöver arbeta för att stödja denna vilja genom vägledning och ställningstaganden.

Vi arbetar just nu med att uppdatera vägledningen från 2009. Exempelvis genom uppdaterade utgångspunkter för avhjälpandeåtgärder och vägledning om riskvärdering. Vägledningen ska bidra till mindre resurskrävande åtgärder än schakt och deponi för att vi ska bidra positivt till fler miljömål och därigenom till den ekologiska dimensionen av agenda 2030.

Naturvårdsverket använder det sakanslag vi förfogar över för att bidra till etablering av mer innovativa åtgärdslösningar som minskar behov av schakt och deponi. Detta gör vi genom att prioritera åtgärdsansökningar som bedöms ha betydelse för etablering av sådana åtgärder.

Vi har också gett SGU i uppdrag att driva beställarnätverket Samverkan för innovation. Här samlas kommunala huvudmän med bidragsprojekt för att få dessa att lära av varandra och ta fram underlag för val av innovativa åtgärder.

Ett resultat av nätverket är att ett antal aspekter som förvårar implementering av innovativa åtgärder har identifierats. Utifrån detta arbetar vi nu med att justera avgörande principer samt hur bidragsprojekten finansieras. Genom detta vill vi ge tydligare uppmuntran och underlätta val av andra åtgärder än schakt och deponi. Vi vill också lyfta fram betydelsen av, och ge förutsättningar för, att öka kvaliteten i åtgärdsutredning och riskvärdering.



SGI:s bedömning är att antalet innovativa åtgärdslösningar kommer att öka de kommande åren. Vi på SGI behöver stödja detta genom att bidra med kunskapsuppbyggnad och teknikutveckling.

Genom teknikutvecklingsprogrammet TUFFO har vi beviljat bidrag till tio åtgärdsinriktade forskningsprojekt. Resultaten från de första projekten redovisas under våren 2021.

Biokolprojektet är ett exempel på teknikutveckling som SGI drivit i samarbete med branschen och universitet. Om biokol kan användas som behandlingsteknik kan jorden användas som resurs i stället för att köras till en deponi. Ni kan läsa mer om projektet i en annan artikel i detta EBH-blad.

För att nya åtgärdslösningar ska bli verklighet är det viktigt att det finns förutsättningar för att metoderna ska komma i praktisk användning.

Vilka hinder finns det? Det finns inget säkert svar på detta och exempel på hinder kan vara rädsla för bakslag och problem i framtiden, negativa erfarenheter, upplevd trygghet i att använda metoder som fungerar, kunskapsbrist, svårigheter vid upphandling etc. SGI kommer under 2021 att kartlägga vad som kan åstadkommas för en ökad implementering och tillämpning av alternativ till gräv och schakt.



SGU ser ett behov av att i större utsträckning

efterbehandla med andra metoder än traditionell schakt och deponi. SGU bidrar till teknikutveckling i branschen genom att delta i forskningsprojekt och genom att i egen regi genomföra test och pilotförsök.

Som exempel kan nämnas undersökningarna som görs vid det tidigare sågverket i Hjortsberga. Här utreds de mikrobiella förutsättningarna för stimulerad reduktiv deklorering av pentaklorfenol med så kallade advanced biotrapas. I glasrikeprojekten Älgåult och Gadderås har vi visserligen genomfört schaktåtgärder, men en schakt där glasavfallet tagits omhand separat för att möjliggöra framtida återvinning.

Vi tror på tematiska satsningar, där vi hanterar fler projekt av samma typ i samma organisation. På så sätt kan vi upptäcka fördelar med nya angreppssätt, lära oss och anpassa arbetssättet.

Vi planerar för att genomföra ett pilotförsök med skonsam sanering, jordförbättring och fytostabilisering vid en av de många tidigare skogsplanteskolor myndigheten ansvarar för. Ensam hade det inte varit så anmärkningsvärt att schakta bort föroreningen men tittar man på den större problematiken med plantskolorna så ser vi en stor vinning med att testa andra möjliga åtgärder. Projektet hoppas komma igång, delvis med hjälp av finansiering via TUFFO, våren 2021.

Nätverket Samverkan för innovation, som SGU driver på uppdrag av Naturvårdsverket har tagit fart på allvar under hösten och nu planeras det för en entreprenörsdag till våren. Syftet med dagen är att utbyta kunskap kring tekniker och informera entreprenörer om kommande projekt som planeras med innovativa metoder.

Avslutningsvis vill vi, Naturvårdsverket, SGI och SGU, framhålla att även om vi gör mycket för att efterbehandlingsbranschen ska bli mer hållbar så behöver vi alla hjälpas åt om vi ska lyckas.

Annika Ryegård, Naturvårdsverket

Mikael Stark, SGI

Léni Litgård-Maot, SGU

EBH-bladet

Nyhetsbrev för oss som jobbar med förorenade områden

Nr 2 • 2020

Sökhundar och biokol – två steg på vägen mot hållbar efterbehandling?

Om vi ska klara av att ställa om till en mer hållbar efterbehandlingsbransch behövs utveckling och implementering av innovativa metoder och teknik. Det pågår för närvarande många spännande forskningsprojekt som kopplar till förorenade områden och vi har brett två av dessa att kort berätta om sina projekt och hur de kan bidra till ett mer hållbart arbete.

Kan hundar hitta DDT, TRI och Perklor?

Hundar används för alla möjliga sorters eftersök och spårning. Narkotika och försvunna människor är kanske det vi först tänker på men varför skulle hundnosen inte gå att använda även till att hitta föroreningar?

Jens Frank och Susanne Kummel driver ett forskningsprojekt med syftet att undersöka om hundar kan detektera och påvisa olika föroreningar. I projektet undersöks om hundarna kan påvisa DDT som förekommer vid nedlagda skogsplanteskolor samt tri- och perkloretylen som bland annat finns vid nedlagda kemtvättar eller ytbehandlingsindustrier. Föroreningstyperna har valts eftersom de är vanligt förekommande samt att de har olika egenskaper, vilket kan påverka hundens möjlighet att påvisa dem. Projektet, som pågår till mars 2021, ska ge svar på vid vilken lägsta koncentration hundarna kan påvisa respektive förorening med tillräcklig säkerhet samt kostnaden för att använda hundar för detta syfte.

Hundar som detekterar markföroreningar kan bidra till att påskynda både kartläggning och sanering av förorenade områden samt minska kostnaderna för provtagning och analyser i samband med detta. Hundnosen kan också underlätta att hitta hot-spots på större arealer där provtagning antingen är omöjlig eller inte kan göras representativ med rimlig kostnad.

Hur går projektet då till i praktiken? Jens berättar att först testas hundarna i laboriemiljö på jordprover med kända föroreningshalter. Om laborietesterna faller väl ut går projektet

vidare med att genomföra fälttester på DDT. Så långt har hundarna testats på DDT och DDE i laboriemiljö med lovande resultat och i slutet på oktober är det dags för tester i fält.

– Vi har redan visat att hundar kan detektera DDT och att olika isomerer av ämnet luktar likadant för dem fortsätter Jens. Vi känner oss förvissade om att de även kommer att kunna detektera tri- och perkloretylen.



Sökhunden Sjaak söker på karusellen. Vill du se en film när Sjaak söker så hittar du den [här](#).

Foto: Jessica Åberg.

Susanne vill passa på att framhålla att projektet genomförs i nära samarbete med slutanvändarna. Susanne menar att det är en viktig framgångsfaktor och då särskilt för forskningsprojekt som ligger nära praktisk tillämpning. Projektet har också en referensgrupp med slutanvändare som löpande påverkar projektets inriktning med sin input och löpande tar del av resultaten.

De slutliga resultaten kommer att presenteras i en rapport och i vetenskapliga och populärvetenskapliga artiklar. Jens och Susanne hoppas också på att medverkan i EBH-bladet kan bidra till att sprida information om projektet och väcka intresse hos läsarna. Vill man följa projektet går det bra att höra av sig till [Jens](#) eller [Susanne](#) och vara med på sändlistan för att få löpande uppdateringar om hur det går.

Avslutningsvis passar de på att tacka TUFFO för finansieringen och hintar om en fortsättning på projektet.

– Då vill vi utbilda ett begränsat antal operativa hundar för arbete i fält samt testa hundar på ytterligare två föroreningar, varav PFOS troligen blir en.

Jens Frank, SLU

Susanne Kummel, Kummel Consulting AB

Biokol – kan organiskt avfall bli en resurs?

Hantering av organiskt avfall och sanering av förorenad mark är två helt olika miljöutmaningar. Tänk om de kunde kombineras för att slå två flugor i en smäll.

Anja Enell har just kommit i mål med ett projekt som siktade på att utveckla en behandlingsteknik med biokol tillverkat av organiskt avfall för att stabilisera föroreningar i jord och förbättra jordens kvalitet i syfte att främja en hållbar masshantering och bidra till en resurseffektivare avfallshantering.

Projektet har varit ett samarbete mellan SGI, SLU, Nordvästra Skånes Renhållnings AB (NSR), Örebro Universitet (ORU) och KTH. Projektet finansierades av ingående partners och med stöd från det strategiska innovationsprogrammet RE:Source.

Biokol har använts i tusentals år för att öka bördigheten i marken, till exempel genom svedjebruk. Genom sin porösa struktur kan kolet hjälpa till att hålla vatten, luft och näring i jorden och skapa bättre förutsättningar för växtlighet. Strukturen på kolet ger också goda möjligheter att binda föroreningar.

Enligt Anja kan dock biokolet få olika egenskaper beroende på hur det tillverkas. I projektet har det undersökts hur biokolet ska vara tillverkat för att få egenskaper som passar för att binda tungmetaller och organiska miljögifter. Detta har gjorts genom både laboratorie- och fältförsök, fältförsöket var anlagt hos NSR i Helsingborg. Genom att blanda förorenade jordmassor med biokol och torv i olika kombinationer har effekterna på markecosystemet och föroreningarnas biotillgänglighet i jord av olika markkvalitet kunnat studeras.

–Vi har undersökt hur biokol påverkar utlakning av metaller och PAH:er och hur dessa kan tas upp av växtlighet och även effekter på dagmaskar fortsätter Anja.



Biokol. Foto: Anja Enell.

Med hjälp av fältförsöket var det möjligt att kvantifiera miljöpåverkan av biokolsbehandling som åtgärds metod för sanering av förorenad jord ur ett livscykelperspektiv. Livscykelanalysen omfattade både biokol som åtgärds metod när tekniken används på jord på samma plats som den grävts upp (on-site) och på annan plats (off-site). Dessa scenarier har sedan jämförts med alternativet att schakta upp jorden och deponera den.

Fältförsöket visade att en inblandning av 3 viktprocent biokol räcker för att minska spridningen av PAH radikalt. Utlakningen minskade med 99 procent jämfört med obehandlad jord. Effekten på koppar, kvicksilver och zink var också god, men val av biokol spelar stor roll. De ekotoxikologiska försöken visade också att jorden var mindre giftig för daggmaskar efter denna behandling. De kunde föröka sig, vilket de inte kunde i den obehandlade jorden.

Livscykelanalysen visade att biokolbehandling har betydligt lägre miljöpåverkan jämfört med schaktsanering och deponering. Både on-site och off-site behandling är mycket klimatsmarta åtgärder. Den främsta orsaken är att biokolet ger upphov till kolinlagring och färre transporter, men även att behovet av jungfruliga jordresurser för återfyllnad reduceras. Faktum är att som åtgärdsmetod skulle biokolsbehandling ge upphov till ett negativt koldioxidutsläpp eftersom biokolet i marken kan vara en stabil kolsänka i hundratals år.

En annan del av projektet har undersökt vilka lagar och regler som gäller då åtgärden används on-site eller off-site.

Slutsatserna av detta visade dock att den som vill använda biokol för att stabilisera föroreningar behöver göra många juridiska ställningstaganden för att säkerställa lagefterlevnad. Projektet har identifierat ett antal kritiska frågor som en användare av biokol kan ta ställning till för att navigera rätt genom nuvarande miljörättsliga regelverk. Resultatet pekar också ut områden där lagstiftningen behöver förtydligas i syfte att skapa klara rättsliga förutsättningar för ett hållbart resursutnyttjande av såväl avfall som jord. På det hela bör det vara lätt att göra rätt, vilket idag inte upplevs vara fallet när det gäller avfall och cirkulär materialåtervinning.

Vad gäller hinder för användning av biokol som behandlingsmetod vill Anja framhålla att det kan behövas ett annat tänk kring riskbedömningarna. Risker med förorenade områden bedöms i nuläget oftast utifrån markens totala halter av förorening, trots att det är den biotillgängliga halten som kan ge upphov till toxiska effekter och påverkar spridningen. Det är en stor pedagogisk utmaning att förklara och visa att biokolsbehandling kan minska riskerna för människors hälsa och miljön, trots att mängden förorening på platsen inte ändras. Det kommer att behövas vägledning kring riskbedömning och råd om lämpliga haltkriterier (eller effektkriterier) som den reducerade biotillgängligheten kan jämföras emot.

För att tekniken ska kunna få acceptans som åtgärdsteknik behövs också fler goda exempel på att tekniken fungerar i verkliga saneringsprojekt. Fler verkliga exempel skulle också öka möjligheterna till långtidsuppföljningar och ge bättre kunskap om beständigheten.

Ett sätt att sänka tröskeln för att våga testa biokol skulle kunna vara att införa krav på kontrollprogram när biokolbehandling genomförs föreslår Anja. Genom kontrollprogram skulle behandlingens effektivitet och stabilitet kunna följas över tid och eventuella ökade risker för miljö och hälsa skulle kunna upptäckas och åtgärdas.

Anja avslutar med att tipsa om projektets slutrapport och syntesrapport som kommer i november och vill även passa på att lyfta det stora engagemanget från alla som deltagit.

–Det har verkligen varit en av framgångsfaktorerna för att lyckas med allt det vi föresatte oss inom en väldigt snäv tidsram.

Anja Enell, SGI

EBH-bladet

Nyhetsbrev för oss som jobbar med förorenade områden

Nr 2 • 2020

How to innovate useful technology – and put it to use!

In these pages, we have previously written about the Danish Regions and their involvement in development of environmental technology. A question remains: What has come out of all the inventiveness, and what are the tricks to put something useful into actual use? In this article, we will give some insights.

The five Danish Regions are major public problem owners, being responsible for mapping, investigating and remediating orphan contaminated sites. The number of sites and the number of recognized pollutants are growing, which places regional budgets under stress. And the task is expected to last several decades, if not more than a hundred years (read more in [Prognose for regionernes indsats på jordforureningsområdet](#)). The big question is, can we protect our groundwater-based drinking water supply and surface waters in time, and protect indoor air in houses and schools? The answer lies in informed prioritization and development of cost-effective solutions.

Here we will dig into the second part of the answer by looking how we in the Capital Region of Denmark (CRD) involve ourselves in developing new promising solutions, that can be compared to the existing market standards.

Developing useful technology

Invent stuff that users demand, and then let them use it. It sounds simple and obvious. But reality is rarely that straightforward, and we have seen too many projects flounder or left forgotten on a shelf. We have seen a need to increase our focus on inventing solutions that meet real needs and on paving the way for implementing useful solutions in our operations. To operationalize this, we (the CRD Technology Development Team) are currently fine-tuning our innovation processes with

inspiration from an innovation management standard (*European Committee for Standardization (2014): Innovation Management Standard CS/TEN 16555. This standard is currently being updated and released as the ISO 56000-family of standards*).



The CRD Technology Development Team at a strategy day in 2019. Photo: CRD.

Here we will highlight three of the central aspects of our process: Identification of user needs; evaluation of cost-effectiveness and continuous 'pressure testing'. And give examples of how we work with these concepts.

Identification of user needs

Before we begin an innovation project, we examine what the potential users need and how this need can be fulfilled by new or alternative solutions. Our users are our colleagues and ourselves who carry out investigations and remediations. Sometimes the need is obvious (e.g. "we need to remove PFAS from water"), and sometimes it is vaguer (e.g. "we want to increase digitization"). In the latter cases, we can investigate the apparent wish or demand with the users to determine the underlying need. The 'design thinking' methodology provides several easy-to-use tools for this (read more about design thinking [here](#)).

One of the central tools is going through and talking through the users' journey when doing their tasks the traditional way. What are the obstacles and annoyances along the way? This helps us dig down and understand what the users need, not only what they want. Reaching a consensus with users on what we want to solve is also the first step in putting the new solution to use at the project's final stage. We want to create a "pull" for useful solutions among users, instead of "pushing" new solutions, that the users did not know they wanted.

In 2019 we ran a digitization project, which started out with the vague aim of improving preventive maintenance in our pump-and-treat (P&T) operations through better data integration. Data from P&T plants were collected and kept in several different data sources and formats, and we had the idea to improve decision support by developing a digital platform that integrated all those data and presented an overview and trends.

We held workshops with the users to map the key operating decisions, the necessary data support and investigate the journey toward making the decisions. Next, we discussed possible solutions and their advantages and drawbacks. Through this process we discovered that yes, a digital platform would be nice, but the foremost need was a user-friendly way to digitize several close-to-analog registrations. So, the project was re-framed to focus on creating a 'digital logbook' that could handle these registrations. Handle them in a way that would both ease the user's routines and support integration with other P&T data at a later point. The logbook is currently implemented on 20 P&T plants in CRD, and the remaining 70 plants are expected to follow in January 2021.

Evaluation of cost-effectiveness

How do you define and measure if a new solution is cost-effective? In the Capital Region, we define a cost-effective solution as being cheaper, having less environmental impact and being at least as practically applicable as a comparable traditional solution.

We measure the cost-effectiveness by calculating the economic and environmental cost and the general trouble of performing a real-life "job to be done". Defining a comparable "job to be done" concretely can be challenging, but it is very helpful when you get to the point of evaluating the performance of a new solution. Examples of such "jobs" are: Cleaning a volume of soil or water; containing a certain risk or gathering a number of quality data points.

We are currently evaluating the cost-effectiveness of the most promising new solutions we have tested for remediating chlorinated solvents in clay till. The purpose is to help answer the question of "which method to use where and why", to overcome the temptation of just sticking with the traditional "safe" option. The new solutions are scrutinized and compared with each other – and traditional methods – with different specific "jobs to be done" as the framework.

The following new solutions have all been developed to a proof-of-concept stage with full or pilot scale applications:

- high-pressure ("jet") injection of sand and iron products using geoprobes for in situ chemical reduction,
- electrokinetically aided in situ biological degradation,
- soil mixing where iron products are added for in situ chemical reduction and a binder is added for stabilization. The technology has been developed in part through a Swedish-Danish project funded by the EU Interreg programme.

The new solutions are compared with the more traditional options of excavation and thermal remediation. The "jobs to be done" have been defined as four different realistic contamination source zones, each of which must be removed to a certain concentration threshold.

Each solution is evaluated on seven parameters representing the cost, environmental impact, timeframe, certainty of effect and general practicality. The different solutions can be

compared either by looking at radar-diagrams showing all parameters or through a single “final score” where the parameters are weighted based on context.

The results are not yet published, but the exercise shows that one of the new solutions appears to perform very convincingly compared to traditional methods. We had a “good feeling” about that solution to begin with, and its advantages and disadvantages have now been made apparent. Hopefully this informed overview will make it easier to consider newer and less familiar methods when deciding on remediation methods in future projects.

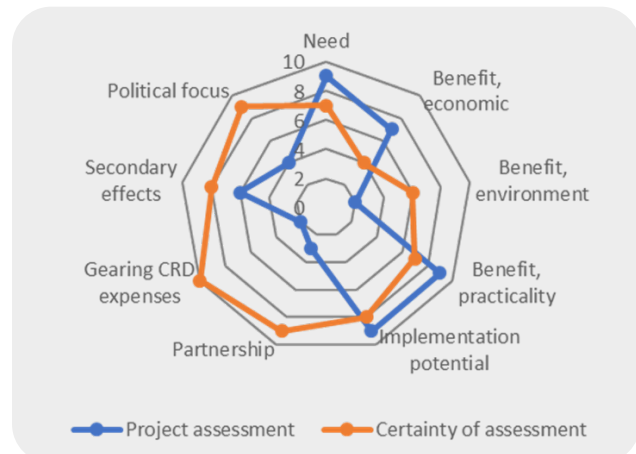
An important lesson from this exercise is that if you only evaluate price and certainty of effect, the new solutions will not appear competitive. In part because possible beginner’s problems are unknown and in part because the new solutions have not yet been price-optimized on the market. So, if we want to be serious about sustainable remediation, we must be willing to choose the more uncertain and perhaps more expensive option sometimes, if we assess that it may have an advantage in the long run.

Continuous pressure testing

Before we turn a good idea into a real project, we examine the critical assumptions about the project idea. We do this by going through a one-page checklist in which we define the need, the expected project outcome (or “product”), how we expect it to improve cost-effectiveness, and we evaluate the project risks, the strength of the partnership and the potential for implementation with ourselves and with commercial partners.

A radar diagram shows how strongly (or weakly) the idea or project is expected to perform on key parameters and how certain we are of these assessments. We use this overview to identify critical assumptions and uncertainties that need to be examined, ideally before project start or as soon as possible during the project phase. This is called “Fail fast”, meaning that we want to come to a possible negative conclusion as fast as possible (e.g. “this solution cannot remove PFAS

more cost-efficiently than activated carbon” or “we don’t have a significant number of sites needing this remediation”). If a project passes the initial ‘pressure test’, the following project plan can be designed with go/no go gates based on further examination of the critical assumptions. Throughout this process, the checklist is updated as new information is gathered. In this way we can keep ourselves updated without drowning in paperwork.



Overview diagram for a development project. The diagram shows the strength of nine key parameters (blue, 10 is best) and how well the parameters are assessed (orange, 10 is most certain). In the example, we expect a high economic benefit (i.e. our operations will be cheaper), but the assessment is based only on quick estimates, giving a low certainty to that parameter.

An example of the “Fail fast”-approach was a project proposal about using different specific tracer compounds to investigate how volatile compounds spread from soil to indoor air by different pathways. Initial examination of the proposal showed a critical uncertainty related to the toxicity of the proposed tracers. We did a literature study which revealed that several of the tracers would be potentially toxic in the design concentrations. This was an unsolvable showstopper for the project, and it was terminated only a few steps from the starting line.

Quality testing grounds are still important

We have introduced three valuable concepts in our framework for driving innovation processes toward useful and used solutions. We have left out how we form innovation partnerships and how the actual projects and testing is carried out, since this is very different from project to project. But we will highlight one powerful tool for carrying out well-documented projects without too many surprises, and that is access to quality testing facilities.

In these pages we have previously written about the Danish network of contaminated test sites. These sites are owned or administered by the Regions and offer freedom to test and display new solutions on real-world contaminations in controlled environments (**National network of test sites**). The big advantage is not having to take site owner concerns in relation to the space and time used, the uncertainty of effect and the freedom to build up supporting infrastructure like technical installations and meeting facilities. And not worrying about having to make another hole in a wall or in the ground as seen in the picture.



Drilling holes in the Innovation Garage test site for vapor transport experiments. The trailer on the left belongs to a private consortium, who tested a new groundwater remediation method at the site.

Photo: N.D. Overheu, Capital Region of Denmark.

The advantage of test sites can be illustrated by an ongoing development project, that would not work without access to such a site. At the Innovation Garage site in Greater Copenhagen, we are conducting a project on how to understand and control chlorinated solvent vapors under a building. We do this in order to develop more cost-

effective solutions for mitigating vapor transport to indoor air. Several ventilation screens have been installed under the floor through holes in the foundation, and numerous measuring points have been installed in the concrete floor and walls. Throughout three years, this setup is used to gather data on system response to different ventilation scenarios as well as rebound effects. With the experience gained, we are better prepared to design optimal ventilation solutions at the many other sites requiring vapor remediation – without spending three years there.

*This was quick peek into some of the things that are currently top-of-mind in the CRD Development Team. Do not hesitate to **contact us** if you want to know more – or if you want to come visit us when the coronavirus has released its hold.*

Niels Døssing Overheu (with co-workers), Capital Region of Denmark (CRD), Environmental Unit

EBH-bladet

Nyhetsbrev för oss som jobbar med förorenade områden

Nr 2 • 2020

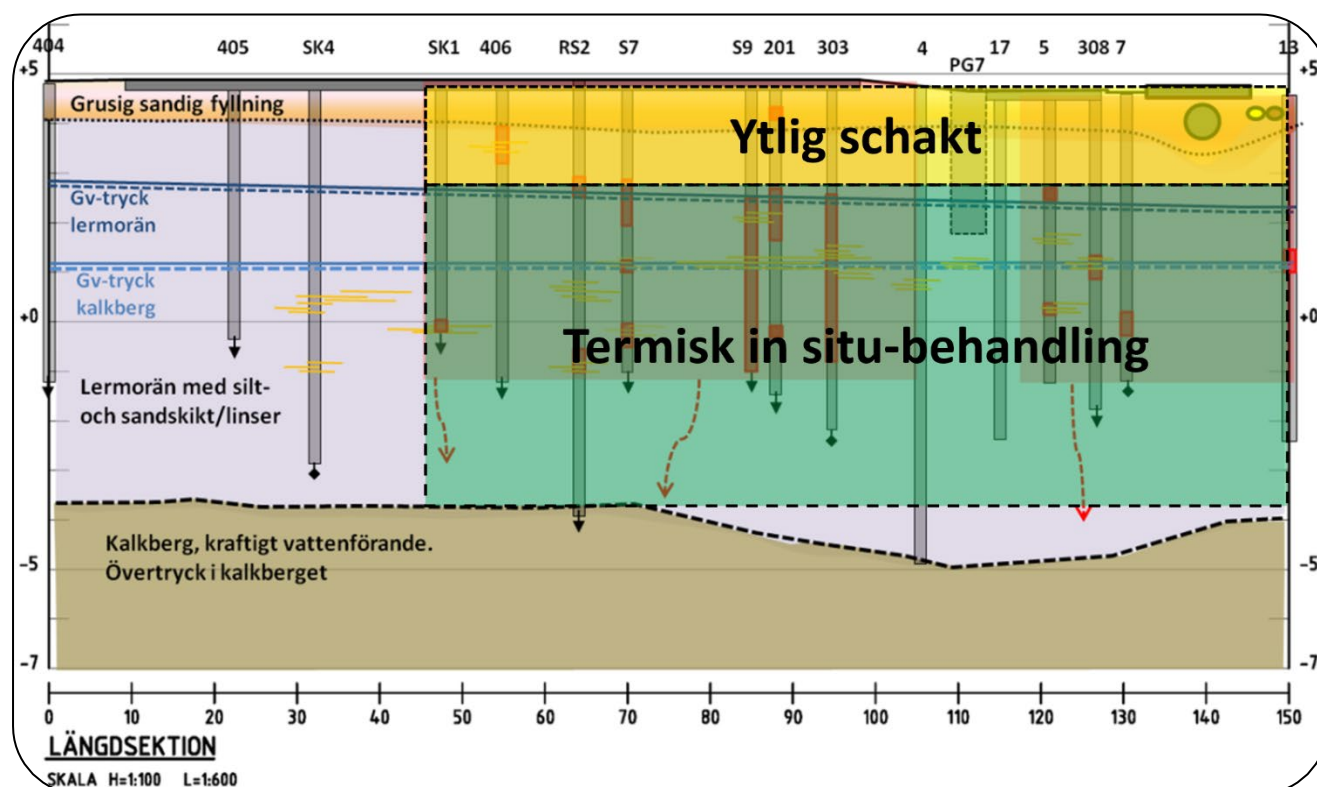
Termisk behandling in situ – funkar det?

Svaret på frågan kan tyckas given, det finns många lyckade exempel på termisk behandling in situ, inte minst av klorerade ämnen. Frågan är om det även fungerar på kreosot som är svårare att driva av och dessutom när förhållandena i marken är sådana att det bara går att värma upp till 100 °C?

Kreosoten i fråga, eller mer korrekt den kreosotliknande produkten, kommer från destillation av tjärprodukter vid den kemisk-tekniska fabriken Phylatterion i Trelleborg. Fabriken startade i slutet av 1800-talet och bedrev verksamhet fram till 1930-talet. Sedan dess har det bedrivits en rad andra verksamheter på platsen men ingen som hanterade kreosot så vi vet att det rör sig om mycket gamla föroreningar.

Den industriella verksamheten på området avvecklades helt år 2000. En omfattande förorening av kreosot, inklusive fri fas, har sedan dess kartlagts genom ett flertal undersökningar och utredningar. Riskvärderingen under huvudstudien kom fram till att området bör åtgärdas med en omfattande schaktsanering kompletterad med en in situ-behandling på större djup. Det förordade åtgärdsalternativet skulle kosta cirka 100 miljoner kronor.

Enligt bidragsansökan ska den förordade schaktsaneringen projekteras under förberedelseskedet som projektet nu befinner sig i. Samtidigt skulle en alternativ åtgärd med en mer omfattande termisk in situ-behandling testas och utredas, se principskiss nedan.



Principskiss termisk in situ-behandling. Modifierad från en skiss från Relement Miljö Väst AB.

Eftersom in situ-saneringen skulle göras i morän strax ovanför det kraftigt vattenförande kalkberget antogs att uppvärmning bara kunde ske till cirka 100 °C. För att nå högre temperaturer fordras spontning en bra bit ner i kalkberget och en kraftig grundvattensänkning. En temperatur på 100 °C kanske låter otillräcklig men det finns flera rapporter där man påvisat bra effekt på kreosotförorenade massor som värmts upp till denna temperatur. De tyngre komponenterna påverkas inte men genom att driva av de lättare komponenterna blir resten av kreosoten orörig. Den största risken som behöver åtgärdas vid Phylatterion är just att fri fas av kreosot når kalkberget och förorenar grundvattnet.

Eftersom termisk in situ-sanering av kreosot på större djup genom uppvärmning till 100 °C inte var en etablerad teknik behövde tester göras. I de pågående förberedelserna inför åtgärd ingår därför pilottester för att utvärdera tekniken.

Första steget var att hitta en utförare av testerna, helst en icke kommersiell utförare för att få teknikneutrala försök. Vi fick dock inte in några bra förslag från icke kommersiella aktörer utan valde istället en kommersiell aktör som fick krav på sig att utforma testerna teknikneutralt. Det innebär att testet ska utvärdera termisk behandling i allmänhet och inte vara bundet till en speciell uppvärmningsteknik.

Första steget i testerna var att få fram tillräckliga mängder med massor förorenade med fri fas kreosot. Det var dock inte det lättaste då fri fas kreosot oftast hittas i oregelbundet förekommande sandlinser i moränleran. Då de mäktigaste sandlagren med fri fas kreosot hittats på några meters djup bestämdes att de skulle tas upp genom skruvborrning. Oregelbundenheten visade sig genom att borrhål på en halvmeters avstånd kunde ge rikligt med fri fas kreosot i sand det ena hålet men relativt ren morän i det andra. Slutligen kunde dock tillräckligt med massor från tre olika delar av området tas upp och skickas iväg för termiska tester.



*Bild på skruv med tydliga spår av fri fas kreosot.
Foto: Relement Miljö Väst AB.*

Testerna gjordes i liten skala på laboratorium. Tanken var att om testerna visade att tekniken fungerade skulle de skalas upp och göras i fält. Försöksutrustningen var enkel men funktionell. Ett vattenbad användes för uppvärmning vilket gjorde att det inte fanns någon risk att proverna hettades upp till mer än 100 °C. Komponenter i avgående gasfas samlades upp dels genom kondensation i en kylare dels genom absorption i ett filter. Halter analyserades i massorna före och efter behandling, dessutom gjordes lakteter på massorna före och efter.

I alla tre testerna minskade den totala halten av polycykliska aromatiska kolväten (PAH) med 20 - 30 %, de lättare fraktionerna minskade mer och de tyngre något mindre. De flyktiga komponenterna försvann i princip helt och de lättare oljefraktionerna minskade väsentligt. Det ser inte ut att vara någon fri fas kreosot i de behandlade proverna, men tyvärr hittades inte någon etablerad analys för kvantifiering av fri fas.



Försöksutrustning innan försök (kompletterades bland annat med isolering och kylslangar).

Foto: Tomas Henrysson.

I två av testerna minskade lakbarheten av de flesta komponenterna men i det tredje försöket ökade lakbarheten. Termisk behandling kan alltså i värsta fall öka lakbarheten. För att undvika detta rekommenderade utföraren en långvarig termisk behandling, helst med ånga som driver ut föroreningen. En komplicerande faktor är att viskositeten på kreosoten minskar och är som minst vid 60 °C. En minskad viskositet ökar risken för spridning av fri fas till kalkberget.

Med tanke på risken för ökad lakbarhet och minskad viskositet togs beslut att inte gå vidare med in situ tester i större skala. Det skulle bli svårt att få till en långvarig termisk behandling med ånga där man inte samtidigt riskerar en ökad spridning till kalkberget under behandlingen. Detta gäller speciellt som den termiska in situ behandlingen är tänkt att användas just ovanför kalkberget.

Inom projektet har nu alternativ till den termiska behandlingen på större djup börjat diskuteras. De två alternativ som för närvarande utreds är antingen grävborrning eller djupschakt. Djupschakt kommer med stor sannolikhet att kräva omfattande spontning och grundvattensänkning men grävborrning kan troligen genomföras utan detta. Om båda dessa alternativ av någon anledning väljs bort kommer ett par reservalternativ att utredas, dessa är schakt under vatten respektive inneslutning/stabilisering med jet grouting.

Projektet befinner sig i en intensiv fas och vi har som målsättning att skicka in en bidragsansökan för åtgärder någon gång under nästa år. Sen kommer vi att vänta med spänning på besked.

Tomas Henrysson, miljökonsult och biträdande projektledare för saneringen av Phylatterion, Conviro AB

EBH-bladet

Nyhetsbrev för oss som jobbar med förorenade områden

Nr 2 • 2020

Kan tillsynsmyndigheten bidra till en hållbar sanering?

Flera Länsstyrelser jobbar med att på olika sätt bidra till hållbarare saneringar. I Östergötland har vi tillsammans med EnviFix AB jobbat med att ta fram en kunskapssammanställning om hur man inom tillsynen kan arbeta för att bidra till hållbar efterbehandling.

Sammanställningen är i första hand tänkt som ett stöd för miljöskyddshandläggare på kommuner och länsstyrelser. Vi har även tagit fram checklistor med exempel på tips och frågor för att beakta hållbarhetsaspekten i olika skeden i EBH-processen. Det är viktigt att poängtera att kunskapssammanställningen och checklistorna inte är kompletta men likväl är förhoppningen att de kan utgöra ett stöd för den enskilde handläggaren och på så sätt bidra till en mer hållbar efterbehandling. Du kan ladda ned [kunskapssammanställningen](#) och [checklistorna](#) via länkarna eller läsa mer om INSURE på [projektets webbsida](#).

En avgörande faktor är att lyfta in hållbarhetsaspekterna i ett tidigt skede i EBH-processen. Det skapar handlingsutrymme och ger exploatören eller problemägaren möjlighet att kunna studera olika alternativ och komma fram till en hållbar efterbehandlingsmetod.

Erfarenhetsmässigt är det mycket som tyder på att en tidigt påbörjad och återkommande dialog med motparten är en av de viktigaste ingredienserna för att uppnå en hållbar sanering. En ömsesidig förståelse för varandras roller, utgångspunkter och utmaningar kan underlätta och bidra till en förbättrad dialog samt till att engagemang och resurser läggs på väsentliga frågor.

Vår erfarenhet är att möjligheten att hitta hållbarare lösningar ökar om det är huvudmannen, exempelvis en ansvarig verksamhetsutövare, som

driver ärendet framåt och själv upptäcker fördelarna med hållbarare metoder. I ett tidigt skede är det därför bra att med hjälp av information och råd bidra till att motparten får kännedom om EBH-processen och hur man stegvis jobbar med att utreda och åtgärda ett förorenat område, vilka lagar och regler som reglerar arbetet och fördelarna med att utarbeta och genomföra en hållbar efterbehandling.

Om vi i ett tidigt skede tillsammans med problemägaren eller exploatören kan formulera en problembeskrivning och diskutera målbilden för det aktuella området, det vill säga vilken framtida markanvändning som ska kunna bedrivas inom och intill det förorenade området så bygger man gemensamt en bra grund för det fortsatta arbetet.



Bidragsfinansierad termisk sanering i Norrköping. Erfarenheter från bidragsprojekt kan användas vid tillsynsdrivna projekt. Foto: Markus Gustafsson.

Hållbarhetsaspekterna behöver sedan beaktas i alla steg i EBH-processen. I undersökningsskedet kan det handla om att inkludera och utvärdera flera parametrar exempelvis TOC, pH, redox och grundvattennivåer. Tanken med detta är att bedöma förutsättningarna för olika åtgärdsmetoder. På det sättet kan vissa

åtgärdsmetoder tidigt uteslutas och man kan tidigare se vilken typ av data som behöver samlas in i mer detaljerad omfattning. Följaktligen är exempelvis granskning av provtagningsplaner ett viktigt arbetsmoment för tillsynsmyndigheten.

Riskbedömningen är ett annat viktigt moment och tillsynsmyndigheten kan göra stor nytta genom att kontrollera att antagna förutsättningar och förhållanden i tillämpade riktvärden är relevanta för den aktuella platsen. Tänk på att en åtgärd som utförs i onödan aldrig är hållbar, detsamma gäller för en förorening som felaktigt lämnats trots att den utgör en oacceptabel risk. Genom att se till att Naturvårdverkets vägledningar tillämpas och att riskbedömningen utförs på riktigt sätt så bidrar tillsynsmyndigheten till en hållbar efterbehandling.

Åtgärdsutredningen bör normalt sett omfatta flera åtgärdsmetoder. Finns det relevanta åtgärdsmetoder som inte tagits upp i åtgärdsutredningen kan tillsynsmyndigheten efterfråga en motivering till varför de inte är utredda. I många fall är det totalt sett billigare att använda en annan åtgärdsteknik än schaktsanering. Tillsynsmyndigheten har således goda skäl att ifrågasätta om en problemägare eller exploatör schablonmässigt avvisar andra åtgärdsmetoder med hänvisning till att det blir för dyrt.

Vid så kallade blandföroreningar eller vid områden där föroreningssammansättningen eller materialsammansättningen varierar mycket, exempelvis vid förorenade fyllnadsmassor så kan det vara svårt att hitta en fungerande behandlingsmetod. Då kan schaktsanering vara ett bra alternativ att utreda. Då kan man istället som tillsynsmyndighet fokusera på att ställa frågor som rör sortering och klassificering av massor samt möjligheter till återanvändning.

Hållbarheten för varje metod är projektspecifik och en metod som bedöms vara mest hållbar vid en ytligt liggande markförorening behöver inte vara det för en förorening som är belägen på 4 meters djup. Det går därför inte att säga något generellt om huruvida en metod är hållbar eller ej.

Se dock till att det görs en riskvärdering i varje projekt. Det är ett moment som kan göras på olika sätt och med hjälp av olika metoder. I riskvärderingen finns möjligheten att verkligen utvärdera om metoden kan räknas som hållbar. Tillsynsmyndigheten bör alltid se till att det genomförs en bra riskvärdering.

I materialet som vi tagit fram får man även lite tips kring hur tillsynsmyndigheten kan agera under förberedelseskedet, genomförandet och vid uppföljning av åtgärden. Som tillsynsmyndighet bör vi verka för att efterbehandlingen genomförs med rätt ambitionsnivå, det är en betydelsefull aspekt för hållbar efterbehandling. Det är viktigt att efterbehandlingen kontrolleras och följs upp på ett bra sätt. Brister i genomförandet kan orsaka betydande konsekvenser för miljön eller människors hälsa.

Det finns mycket man kan jobba vidare med. Nästa steg i vårt arbete är att tillsammans med EnviFix AB ta fram och genomföra en utbildning för tillsynshandläggare. Vår förhoppning är att andra län ska kunna använda det material som tas fram. Vår ambition är också att på sikt göra framtaget material mer användbart via EBH-portalen och koppla ihop det med annat vägledningsmaterial.

Markus Gustafsson, Länsstyrelsen Östergötland

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 miljökvalitetsmålet "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 av 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 Alingsåstvädden (Nivorlis med flera 2019) initierat hösten 2017.

Hittills utfört arbete vid Alingsåstvädden

Arbetet vid Alingsåstvädden 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 skräddarsytts 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.

Injektering 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.

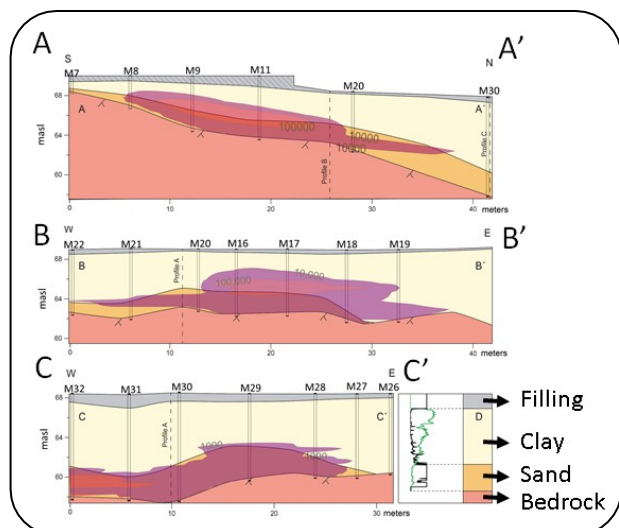
Undersökningar med refraktionsseismik gjordes för att komplettera punktinformationen om bergytans läge från borrhdata så att den blev mera yttäckande.

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.



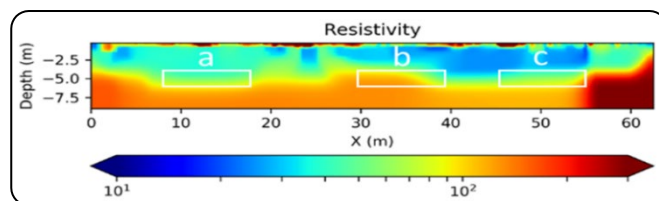
Figur 1. Placering av elektrodutlägg (blå linjer) och borrhålelektroder (röda punkter) i förhållande till testinjekteringen med Provectus ERD-CH4™ och SDC-9™ (lila punkter) respektive CAT100™ (orange punkter). Föroreningskällan ligger under tvätteribyggnaden (mörkgrå) och föroreningsplymens läge är markerat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



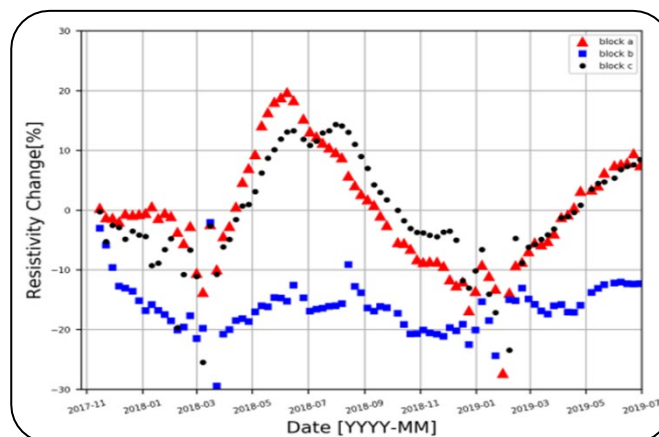
Figur 2. Uppdaterad konceptuell modell baserad på bakgrundsammanställningen. Plymen är markerad med lila (Nivorlis med flera 2019).

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 kärnborrning, 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.