

# OPRENSNING I MORÆNELER - HVAD KAN VI I DAG ?

Civilingeniør, kemi, Ph.D Kirsten Rügge, COWI

## **ATV JORD OG GRUNDTVAND**

Risikovurdering af forurenede grunde i lavpermeable aflejringer  
- udfordringer og metoder

Møde 18. januar 2012

## RESUMÉ

Mulige afværgetoder til oprensning i moræneler er gennemgået og vurderet. Umiddelbart vurderes opgravning/opboring som de bedst egnede metoder på mindre sager mens de termiske metoder vurderes bedst egnede på de større sager. Der er behov for videreudvikling af de biologiske og kemiske metoder.

## INDLEDNING

De fleste jordforureninger i Hovedstadsområdet er beliggende i moræneler. In-situ oprensninger af forureninger i moræneler med biologiske eller kemiske metoder er næsten umulige inden for en kort tidshorisont på grund af lerens lave permeabilitet, som vanskeliggør tilsætning af de reaktive stoffer og kontakten til den forurenede lermatrice. Hurtige og effektive metoder til oprensning af forureninger i moræneler omfatter således kun opgravning/opboring af forureningskilden eller in-situ oprensning ved termiske metoder som f.eks. InSitu Thermal Desorption (ISTD) eller Electric Resistance Heating (ERH).

## FORMÅL

Formålet med dette indlæg er at give et overblik over hvilke muligheder vi har i dag for at gennemføre en oprensning i moræneler, herunder praktiske udfordringer og økonomi.

## MULIGE AFVÆRGEMETODER

Ved at anvende Videncenter for Jordforurenings digitale afværgekatalog fås følgende muligheder for oprensning i moræneler (her søgt på oprensning af chlorerede opløsningsmidler).

- Frakturering i kombination med andre teknikker
- Indeslutning
- Naturlig nedbrydning
- Opgravning - opboring, ekstern jordbehandling
- Phytooprensning
- Stimuleret biologisk nedbrydning - reduktion
- Varmeledning og vakuumeekstraktion (termiske metoder)

### Indeslutning ved Soil mixing

Soil mixing egner sig til oprensning af kraftigt forurenede kildeområder samt områder med fri fase.

Da metoden oftest indbefatter lertilsætning (bentonit), kaldes den ofte ZVI-CLAY. Metoden baserer sig på, at der via en hul borestang tilsættes en leropslemning samt f.eks. reaktivt jern, som med boresneglen opblandes i det forurenede jordvolumen. Opblandingen udført ved soil mixing medfører en forbedring af kontakten mellem forureningskomponenter og reaktivt jern,

og hermed en mere effektiv oprensning af forureningen i umættet såvel som eventuel mættet zone.

Soil mixing kan være en potentiel metode til oprensning af moræneler, men erfaringerne er begrænsede i Danmark. Metoden fravælges ofte, da den efterlader et geoteknisk ustabil jordvolumen.

### **Naturlig nedbrydning**

Som alternativ til egentlige afværgeforanstaltninger kan der udføres en monitoring af udviklingen i forureningskoncentrationen i grundvandet.

Monitoringen af den "naturlige" udvikling i forureningsindholdet adskiller sig på flere punkter fra en monitoring til påvisning af effektiviteten af en udført afværgeforanstaltning. De væsentligste punkter er:

- placering af monitoringspunkter
- analyseparametre
- tolkning

Ved monitoring i forbindelse med afværgeforanstaltninger forventes det, at monitoringen viser, at der sker et væsentligt fald i forureningskoncentrationerne nedstrøms forureningen. De observerede ændringer som følge af afværgeforanstaltningen forventes således at være væsentligt større end de fluktuationer i koncentrationen, som skyldes naturlig variationer i grundvandskoncentrationen. Tolkningen af monitoringsresultaterne vil derfor kun i begrænset omfang være påvirket af den naturlige variation.

Hvis der ikke er udført afværgeforanstaltninger forventes det, at der kun ses små ændringerne i koncentrationsniveauet inden for monitoringsperioden, og at disse ændringer typisk er i samme størrelsesorden som de fluktuationer, der forekommer ved naturlig variation. Derfor er tolkningen af monitoringsresultaterne mere følsomme over for naturlige variationer i grundvandskoncentrationerne. Det vil sandsynligvis være nødvendigt at kunne kvantificere den naturlige variation i et vist omfang, for med sikkerhed at kunne tolke på monitoringsresultaterne.

### **Opgravning/opboring**

Den typiske afværgemetode for forureninger i moræneler er jordfjernelse. Dette kan opnås via afgravning eller opboring med storformatboringer (ø90-ø100 cm). Fordelene er, at der er stor sikkerhed for massereduktion, at metoden er velafprøvet, at oprensningstiden og dermed gener i forbindelse hermed er begrænset, teknologien er simpel og der er ikke drift eller vedligehold efterfølgende.

Boringer, som skal udføres tæt på bygninger, opfyldes med beton samt evt. armering, mens øvrige boringer opfyldes med sand, som komprimeres op til passende styrke.

## Phytooprensning

Phytooprensning udnytter planter og træers evne til at optage og nedbryde forureningskomponenter i jorden. Teknikken vurderes ikke som egnet i forhold til oprensning af moræneler, og er derfor ikke yderligere beskrevet.

## Reduktiv dechlorering

Omsætningen af chlorerede opløsningsmidler kan i høj grad stimuleres og fremskyndes ved tilsætning af donor og udvalgte bakterier primært i den reducerede zone i kildeområdet. Omsætningen af donoren skaber hurtigt yderligere reducerede forhold ved fermentering af den tilsatte donor. Under disse anaerobe forhold reduceres de chlorerede ethener af de tilsatte bakterier. Donoren tilsættes i overskud, således at den forventeligt vil være til stede i formationen i en årrække.

Ved afværgeforanstaltningerne med stimuleret reduktiv dechlorering (SRD) baseres oprensningen derfor på enten injicering af velegnet donor eller bakterier eller begge dele.

Som elektrondonor kan f.eks. anvendes Newmanns Zone, der er baseret på en lactat- og sojabønneolieopløsning. Denne langsomt omsættelige donor er velegnet til grundvandsmagasiner med lille strømningshastighed. Som bakteriekultur kan f.eks. anvendes KB1-kultur, som indeholder *Dehalococcoides* med VCr -genet, som koder for nedbrydning af vinylklorid.

Den helt afgørende faktor for at opnå succes ved anvendelse af biologiske metoder er at få kontakt mellem forureningskomponenter og bakterier/substrat.

## Kemisk oxidation

Ved kemisk oxidation som afværgeteknik tilsættes stærke oxidationsmidler til forureningszonen, for på den måde at nedbryde de aktuelle forureningskomponenter ved aggressive oxidationsreaktioner. Ved nedbrydningen kan en lang række forureningskomponenter blive omdannet til ufarlige nedbrydningsprodukter, eller de kan blive mineraliseret (nedbrudt totalt) til kuldioxid, vand og uorganiske salte.

Kemisk oxidation er anvendelig til oprensning af mange forskellige forureningskomponenter. Oxidationsmidler, der anvendes i dag, omfatter ozon, hydrogenperoxid (specielt som Fentons reagens), persulfat samt natrium- og kaliumpermanganat. Oxidationsmidlerne kan enten tilsættes som fast stof, på opløst form eller som gas ( $O_3$ ). Endvidere findes der en lang række varemærkebeskyttede kommercielle oxidationsmidler som RegenOx m.fl.

Den helt afgørende faktor for at opnå succes ved anvendelse af kemisk oxidation er at få kontakt mellem forureningskomponenter og oxidationsmiddel.

## Termisk ved ISTD

Den forurenede jord opvarmes med varmelegemer og den flygtige forurening mobiliseres mod overfladen og opsamles i kombinerede varme- og vakuumboringer samt i udlagt

ventilationslag på overfladen. Der etableres en vaporcap af f.eks. polystyren samt en presenning over ventilationslaget til indeslutning af afdampende stoffer samt isolering/sikring mod nedtrængning af regnvand. Ved opvarmningen udtørres jorden lokalt omkring varmeboringerne, hvilket skaber en øget sprækkedannelse og dermed øget mulighed for mobilisering og bortventilering af forureningen.

Der etableres et antal kombinerede varme- og ventilationsboringer. Til overvågning af temperaturudviklingen i jorden etableres et antal boringer med digitale termofølere fordelt over oprensingsdybden.

Den opsugede luft ledes til et behandlingsanlæg, hvor luften først køles og derefter renses i et filter med aktivt kul. Vand fra en evt. grundvandssænkningen kan bruges til køling af luften, hvilket sparer køleenergi.

### **Termisk ved ERH**

Elektrisk opvarmning udføres ved at inducere en strøm i jorden, hvorved der afsættes energi i jorden afhængig af jordens ledningsevne. I ler og lerrige jordarter er der en god elektrisk ledningsevne, mens sandede/grusede aflejringer har meget ringe ledningsevne. Jorden opvarmes til over 80 °C, og forureninger med f.eks. chlorerede opløsningsmidler fordampes og opsamles ved vacuumekstraktion.

Der etableres et netværk af elektroder i oprensingsområdet samt et antal termoboringer til monitorering af varmeudbredelsen. I termoboringerne sættes temperatursensorer over oprensingsdybden.

Elektroderne sættes i forborede 10" boringer. I elektrodeboringerne etableres et dryppesystem til at holde elektroderne vandmættede samt vakuumfiltre. Elektroderne tilkobles vekselspænding, som er faseforskudt 120 grader (3-phase heating) mellem de enkelte elektroder, hvorved der mellem alle par af elektroder løber en elektrisk strøm.

Over arealet udlægges varmeisoleringsplader for at mindske varmetabet og herover en platsdug.

Vakuumfiltre i hver af elektrodeboringerne samles i vakuumstreng og føres til luft/vandudskillere. Luften føres forbi varmeveksler og renses i aktiv kulfilter. Vandet renses ligeledes i aktiv kulfilter (Holm & Terkelsen, 2011).

### **Termisk ved radiobølger**

Jords ledningsevne for radiobølger er mindre afhængig af vandindholdet end den elektriske ledningsevne. Med radiobølger kan jorden derfor opvarmes til næsten vilkårlige temperaturer. Energien tilføres enten via tre rækker elektroder (triplat array) eller ved dipol antenner

De væsentligste problemer med radiobølger er:

- Energital ved transformation fra elektrisk strøm til radiobølger.

- Stående bølger under opvarmningen som giver problemer med udstyr.
- Forholdsvis lille afstand mellem elektroderne er tilrådeligt, idet rækkevidden af radiobølgerne aftager med stigende frekvens.
- Problemer med at opnå kontrolleret, jævn opvarmning.

Princippet er det samme som ved de øvrige termiske metoder. Jorden opvarmes og flygtige komponenter fordamper og opsamles herefter (Miljøstyrelsen, 1998)

## VURDERING AF METODER

En vurdering af de ovennævnte metoders egnethed ses i tabel 1.

Teknik	Metode	Praktiske udfordringer	Samlet vurdering
<b>Frakturering</b>	Kun i kombination med andre teknikker	Kontakt/spredning	<b>Begrænset egnethed</b>
<b>Indeslutning</b>	Spuns	Ingen egentlig oprensning	<b>Ikke egnet</b>
	Soil mixing	Problemer med at en tilstrækkelig geoteknisk bæreevne af jorden	<b>Begrænset egnethed</b>
<b>Naturlig nedbrydning</b>	Monitering af naturlig nedbrydning	Tidsperspektiv/effektivitet	<b>Begrænset egnethed</b>
<b>Opgravning/opboring</b>	Jordfjernelse og ekstern behandling	Pladshensyn/bygninger	<b>Egnet</b>
<b>Phytooprensning</b>	Anvendelse af planter til oprensning	Effektivitet	<b>Ikke egnet</b>
<b>Stimuleret biologisk nedbrydning</b>	Tilsætning af substrat og evt. bakterier	Kontakt/spredning	<b>Begrænset egnethed</b>
<b>Bioaugmentering</b>	Tilsætning af bakterier eller svampe	Kontakt/spredning	<b>Begrænset egnethed</b>
<b>Kemisk oxidation</b>	F.eks. permanganat, persulfat, Ozon, Fentons Reagens	Kontakt/spredning	<b>Begrænset egnethed</b>
<b>Termisk rensning</b>	ISTD	Tilstrømmende vand	<b>Egnet</b>
	Radiobølger	Tilstrømmende vand, Begrænset erfaring i DK	<b>Egnet</b>
	ERH	Tilstrømmende vand, Begrænset erfaring i DK	<b>Egnet</b>

Tabel 1. Mulige afværgemetoder i moræneler og deres egnethed.

Økonomien for disse oprensningsmetoder vil være sagsspecifik, og bl.a. afhænge af:

- Geologi
- Areal
- Dybde
- Oprensningskriterier
- Forureningstype (blandingsforurening, enkeltkomponenter )
- Adgangsforhold
- Behov for grundvandsenkning

## KONKLUSION

Bedst egnede metoder

- Opboring/opgravning. Økonomisk rentabelt på mindre arealer
- Opvarmning. Økonomisk rentabelt på større arealer

Behov for videreudvikling

- Kemisk oxidation
- Biologiske metoder, specielt SRD
- Opvarmning, specielt til de mindre sager

Ikke umiddelbart egnede metoder

- Phytooprensning

Ovennævnte konklusioner er baseret på nedennævnte referencer

## REFERENCER

Broholm, M.M., Christiansen, C., Bjerg, P.L., Westergaard, C., Christophersen, M., & Petersen, J. (2010). Vurdering af fuldskala oprensning ved in-situ SRD af TCE i moræneler. Sortebrovej, Tommerup. I: ATV Jord og grundvand. Naturlig og stimuleret nedbrydning – processer og mikrobiologi. Schæffergården, Gentofte 21. april 2010.

Holm, J. & Terkelsen, M. (2011). Oprensning ved ERH. I: ATV Jord og grundvand. Vintermøde om jord- og grundvandsforurening. Vingstedcentret 8. og 9. marts 2011.

Kjeldsen, P. & Fjordbøge, A. (2008). Jernvægge, nano-ZVI og ZVI/clay – udviklings- og kombinationsmuligheder. I: ATV Jord og grundvand. Afværgeteknologier – State of the art. Schæffergården, Gentofte 22. oktober 2008.

Københavns Amt (2004). MW Gjøesvej, Reerslev. Afværgeprogram. Udarbejdet af Krüger februar 2004.

Miljøstyrelsen (1998). Termisk assisterede oprensninger. Miljøprojekt nr. 409.

Region Hovedstaden (2009a). Ådalsparkvej 63, 2970 Hørsholm. Afværgeprogram. Udarbejdet af COWI december 2009.

Region Hovedstaden (2009b). Gl. Hovedgade 8-14, 2970 Hørsholm. Afværgeprogram. Udarbejdet af COWI oktober 2009.

Region Hovedstaden (2009c). Ahornvej 3 A-D, 2970 Hørsholm. Afværgeprogram. Udarbejdet af COWI juni 2009.

Region Hovedstaden (2011). MW Gjøesvej, Reerslev. Entreprise 2 – anlægsentreprisen.  
Slutdokumentation. udarbejdet af NIRAS marts 2011.

Videncenter for jordforurening. <http://jordforurening.info/afvaergekatalog.php?lang=dk>