Miljøministeriet
Naturstyrelsen

Erfaringsopsamling med injektion af oxidanter i moræneler

Baldersbækvej 6 - 2635 Ishøj

KOLOFON

Titel: Erfaringsopsamling med injektion af oxidanter ii i moræneler, Baldersbækvej 5, 2635 Ishøj

Emneord: Jordforurening, oxidation, persulfat, oprensning.

Projektmidler: Projektet er gennemført med støtte fra tilskudsmidlerne i forbindelse med den miljøteknologiske handleplan

Ansvarlig udgiver: Naturstyrelsen

Udførende: Orbicon A/S, Ringstedvej 20, 4000 Roskilde

Copyright: Naturstyrelsen
Må citeres med kildeangivelse.

Forfattere: Katerina Tsitonaki og Pernille Palstrøm

Sprog: Dansk

År: 2011

URL: http://www.naturstyrelsen.dk/

ISBN nr. elektronisk version: 978-87-7279-210-1

Udgiverkategori: Statslig

Resume: Rapporten samler de opnåede resultater og erfaringer med injektion af oxidationsmidler i moræneler, med henblik på oprensning af organiske opløsningsmidler. Laboratorieforsøgene viser, at persulfat og permaganat kan nedbryde forurening med chlorerede opløsningsmidler i moræneler. Feltforsøgene viser dog, at det er vanskeligt at fordele oxidationsmidlerne ensartet i lermatricen, og dermed at skabe kontakt mellem forureningen og oxidationsmidlerne.

Ansvarsfraskrivelse Naturstyrelsen offentliggør rapporter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøministeriet. Offentliggørelsen betyder, at Naturstyrelsen finder indholdet af væsentlig betydning for en bredere kreds. Naturstyrelsen deler dog ikke nødvendigvis de synspunkter, der kommer til udtryk i rapporterne.

RESUME

Nærværende rapport samler de opnåede resultater og erfaringer med injektion af oxidationsmidler i moræneler. Feltaktiviteterne er udført på Baldersbækvej 5 i Ishøj. Projektet er udført af Orbicon A/S for Region Hovedstaden med støtte fra Miljøstyrelsens og By- og Landskabsstyrelsens pulje til udvikling af miljøeffektiv teknologi.

I projektet er der udført 2. injektionsrunder, hvor der er afprøvet henholdsvis hydrogenaktiveret persulfat og natriumpermanganat, som oxidationsmiddel. Resultaterne fra begge injektionsrunder har vist, at det er vanskeligt at fordele oxidationsmidlerne ensartet i lermatricen og dermed at skabe kontakt mellem forureningen og oxidationsmidlerne.

I projektet er der ligeledes udført laboratorieforsøg, der viser, at persulfat og permaganat kan nedbryde forurening med chlorerede opløsningsmidler i moræneler.

I projektet er der afprøvet forskellige injektionsmetoder, men det har ikke været muligt indenfor projektets rammer at finde de parametre, der er styrende for udbredelsen af oxidationsmidlerne i moræneler.

INDHOLDSFORTEGNELSE

1 Indledning 5
1.1 Formål 6
1.2 Udførte aktiviteter og afrapporteringer 7

2 Baggrund for projektet 8
2.1 Historik 8
2.2 Arealanvendelse 8
2.3 Geologi og hydrogeologi 8
2.3.1 Regionale forhold 8
2.3.2 Lokale forhold 8
2.3.3 Opdateret potentialekort 9
2.4 Forureningssituation før injektion 10
2.4.1 Indsatsområdet 10
2.4.2 Øvrigt område 12
2.5 Vurdering af nedbrydning 13
2.6 Masseberegning for indsatsområdet 13

3 Afværgeforanstaltninger 13
3.1.1 In situ kemisk oxidation (ISCO) 13
3.2 Afprøvning af ISCO med hydrogenperoxid aktiveret persulfat 14
3.2.1 Baggrund for valg af hydrogenperoxid aktiveret persulfat 14
3.2.2 Testinjektionsforsøg 14
3.2.2.1 Erfaringer fra testinjektionsforsøg: 16
3.2.3 Fuldskala injektion af hydrogenperoxid aktiveret persulfat 16
3.2.3.1 Aktiviteter 17
3.2.3.2 Resultater fra d. 1. injektion 18
3.2.4 Erfaringsopsamling fra injektion af hydrogenperoxid aktiveret persulfat . 19
3.3 Afprøvning af forskellige injektionsteknikker 20
3.3.1 Baggrund om injektionsteknik 20
3.3.2 Forløbet for afprøvning af forskellige injektionsteknikker 20
3.3.2.1 Erfaringer fra tryk-flow test 21
3.3.3 Dokumentationsteknikker 22
3.4 Afprøvning af ISCO med natriumpermanganat 22
3.4.1 Treatability forsøg 22
3.4.2 Fuldskala afprøvning af natrium permanganat 23
3.4.3 Erfaringer fra d. 2 injektion 25

4 Monitering 26

5 Anbefalinger og Erfaringer fra projektet 29

6 Konklusion 31

7 Referencer 32

BILAGSFORTEGNELSE

Bilag 1: Analyseblanketter sorbiceller, december 2010
Bilag 2: Analyseresultater for sorbiceller i tabel

1 INDLEDNING

Orbicon A/S har for Region Hovedstaden udført et oprensningsprojekt med støtte fra Miljøstyrelsens og By- og Landskabsstyrelsens pulje til udvikling af miljøeffektiv teknologi. Projektet er desuden medfinansieret af Orbicon. Projektet er udført på Baldersbækvej 5, Ishøj (matr. nr. 13q Ishøj By, Ishøj) i perioden fra januar 2009 til april 2011. Ejendommens placering er vist på Figur 1.1.

Figur 1.1: Oversigtskort, Baldersbækvej 5. Målforhold 1:25.000.

Afværgeforanstaltningerne har taget udgangspunkt i de tidligere undersøgelser udført på lokaliteten /1-3/, hvor der er konstateret forurening med chlorerede opløsningsmidler. Fokus har været på kildeområdet udfor indgangspartiet, se foto 1.

Foto 1: Foto af indsatsområdet foran indgangspartiet.

På ejendommen er det tidligere vurderet at der ligeledes findes fri fase forurening med chlorerede opløsningsmidler omkring en olieudskiller, som ikke har været en del af dette projekt. Forureningen er spredt i det sekundære grundvandsmagasin og kan udgøre en risiko for områdets grundvandsressource.

Projektet har omfattet afprøvning af in situ kemisk oxidation med hydrogenperoxid aktiveret persulfat. Resultaterne fra 1. injektionsrunde viste, at det var vanskeligt at få spredt oxidationsmiddel i moræneleret på ejendommen. Herefter blev der udført en test for at bestemme jordens fraktureringstryk samt en evt. sammenhæng mellem flow og tryk, så oxidationsmidlet kunne fordeles bedre i 2. injektionsrunde. Herudover er der udført treatability test for at bestemme det mest velegnede oxidationsmiddel, hvorfor permanganat er brugt som oxidationsmiddel i forbindelse med 2. injektionsrunde.

1.1 Formål

Formålet med projektet, som beskrevet i ansøgningen til projektet, er at afprøve in situ kemisk oxidation (ISCO) med hydrogenperoxid aktiveret persulfat under danske forhold. Formålet er at undersøge om teknologien kan bruges med succes på morænelerslokaliteter, udvikle know-how i forhold til tekniske udfordringer (injektion, dosering) og dokumentere oprensningseffekt i forhold til både koncentrations- og fluxniveauet. Ambitionen er at udvikle en solid basis for et teknologisk koncept, der kan anvendes på mange forurenede lokaliteter i Danmark.

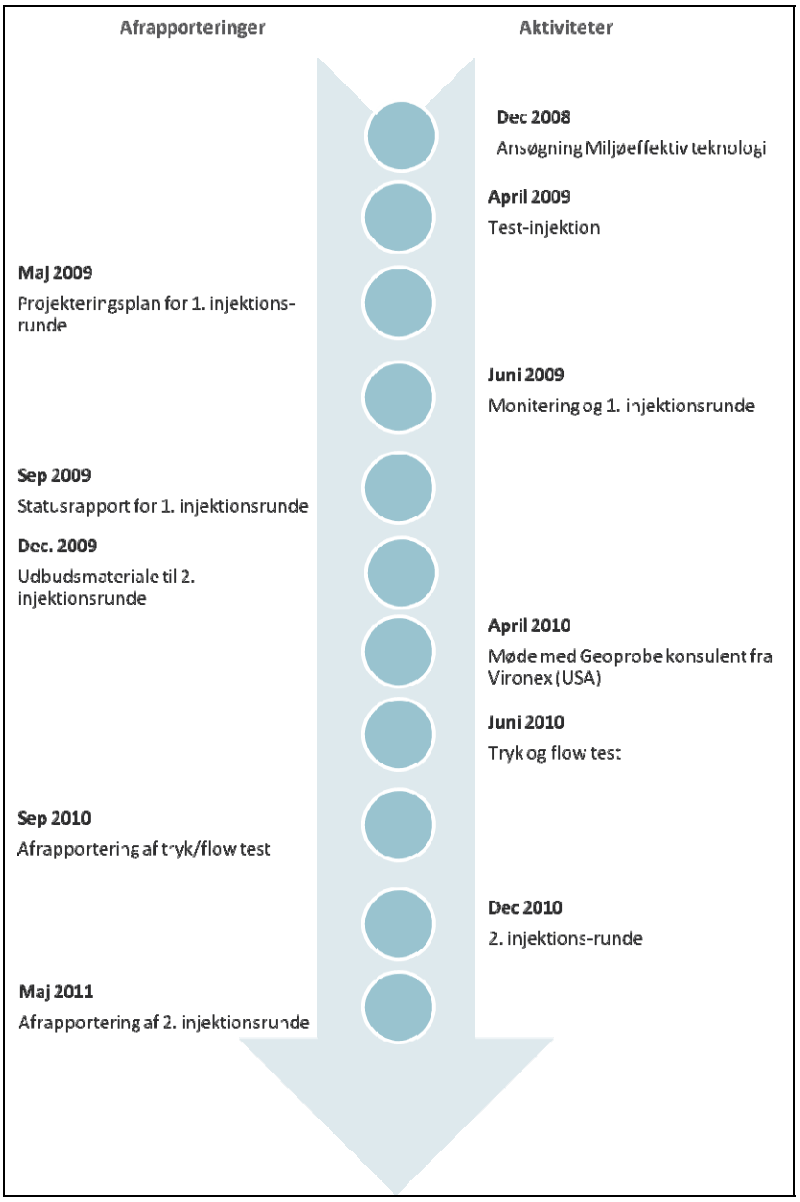
Formålet har ændret sig undervejs i projektet efter, at det i 1. injektionsrunde ikke lykkedes at injicere de forventede mængder oxidationsmiddel. Desuden viste treatability test at permanganat var et mere velegnet oxidationsmiddel

på den konkrete lokalitet. Fokus har været på at få spredt oxidationsmiddel i lermatricen og ikke på, hvor meget forureningsmasse, der kunne fjernes.

Formålet med denne rapport er at samle resultaterne af de udførte aktiviteter i forbindelse med afværgeforanstaltningerne. Sidst i rapporten er de erfaringer, der er opnået i projektet beskrevet. Dele af resultaterne er afrapporteret tidligere, som beskrevet i afsnit 1.2.

1.2 Udførte aktiviteter og afrapporteringer

I figur 1.2. er aktiviteterne og afrapporteringerne i projektet vist. Projektets aktiviteter er angivet til højre for pilen og de tidligere afrapporteringer er vist til venstre for pilen. Der vil i kapitel 3 blive henvist til de tidligere afrapporteringer.



Figur 1.2 Oversigt over aktiviteter (til højre for pilen) og afrapporteringer (til venstre for pilen) i projektet.

2 BAGGRUND FOR PROJEKTET

2.1 Historik

Fra 1970 til 1990 har der været et filmlaboratorium på lokaliteten, og fra 1990 til omkring 2004 har der været en reprografisk virksomhed. Det er oplyst, at ejendommen ved tvangsauktionen i 1990 både inden- og udendørs fremstod misligholdt. Blandt andet henstod mange tønder og dunke, hvoraf flere var gennemtærede, på et ubefæstet areal på den nordvestlige del af matriklen. Blandt kemikalierne var TCE og formaldehyd foruden fixérvæske og andre gængse kemikalier, som anvendes på filmlaboratorier /1-3/.

2.2 Arealanvendelse

Ejendommen anvendes i dag til privathospital. Ejendommen er beliggende i et erhvervskvarter. Der er således tale om en ikke følsom arealanvendelse. Forureningens kildeområde ligger på den nordvestlige del af matriklen, der primært er ubebygget, og strækker sig sandsynligvis ind under en glastilbygning, som er opført senere end det formodede spild og under en del af bygningen.

2.3 Geologi og hydrogeologi

2.3.1 Regionale forhold

Den regionale geologi og hydrogeologi er beskrevet i de tidligere undersøgelser /1-3/. Der henvises til disse rapporter for yderligere oplysninger.

2.3.2 Lokale forhold

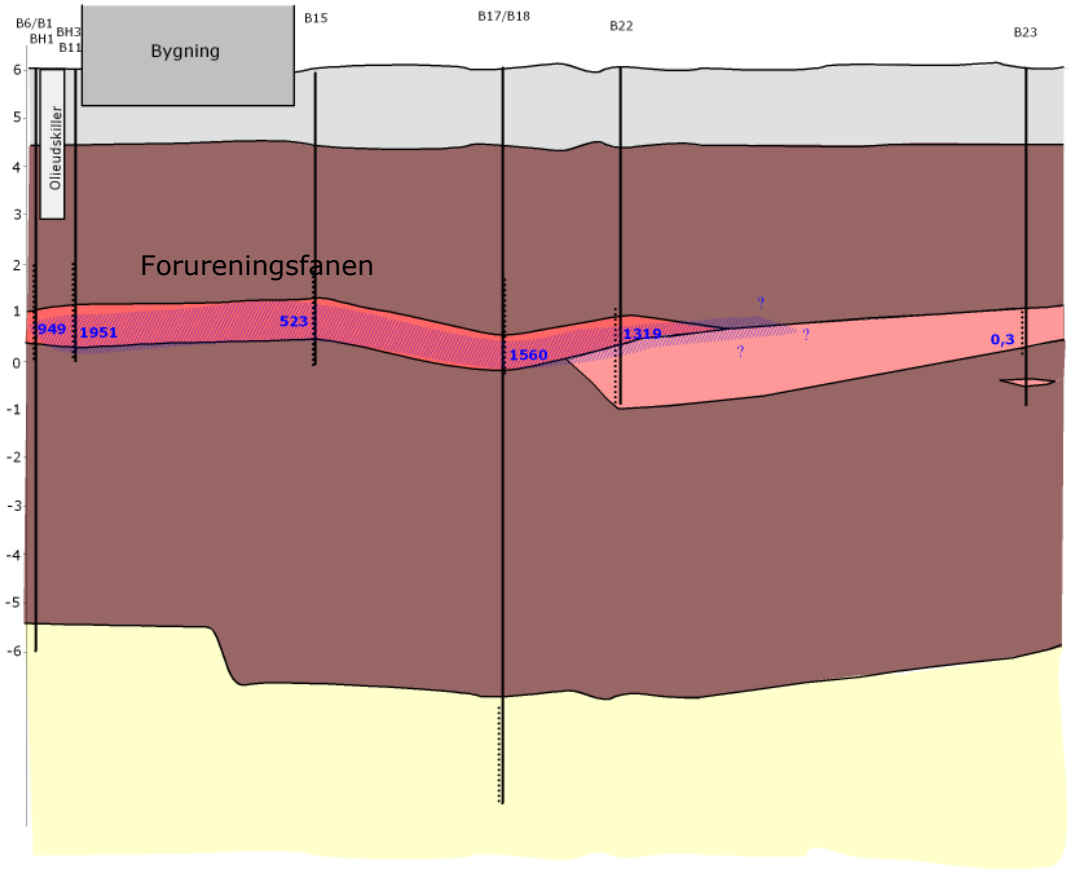
Den lokale geologi i behandlingsområdet er illustreret i Figur 2.1.

Terrænet på lokaliteten er beliggende i kote ca. +6 m DVR90. Terrænet er relativt fladt på og omkring lokaliteten.

Der er øverst truffet fyld til mellem 1,2 og 2,4 m u.t. Fyldet består af sand, muld og ler. Under fyldet træffes moræneler. I moræneleret er der indslag af smeltevandssand i dybden 4,8 – 5,6 m u.t. svarende til omkring kote +0,5 til +1,5 m DVR90. Laget har en tykkelse på 0,5 – 0,9 m. Herudover observeres der mindre sandlinser i forskellige dybder. Det øverste moræneler er opsprækket i nogen grad. /1-3/. I ca. 4-5 m dybde ændrer moræneleret karakter fra siltet ler til en mere fed moræneler /5/. Kalkoverfladen træffes mellem 11,0 og 12,9 m u.t. svarende til omkring kote – 5 til – 7 m DVR90.

Et sekundært grundvandsmagasin er knyttet til sandlaget i moræneleret. Potentialet er bestemt til omkring kote +5 m DVR90. Strømningsretningen er rettet mod syd og grundvandshastighederne er tidligere beregnet til 15 m/år fra kildeområdet og til B22 og til 5 m/år i området omkring B23 (se figur 2.2) /3/.

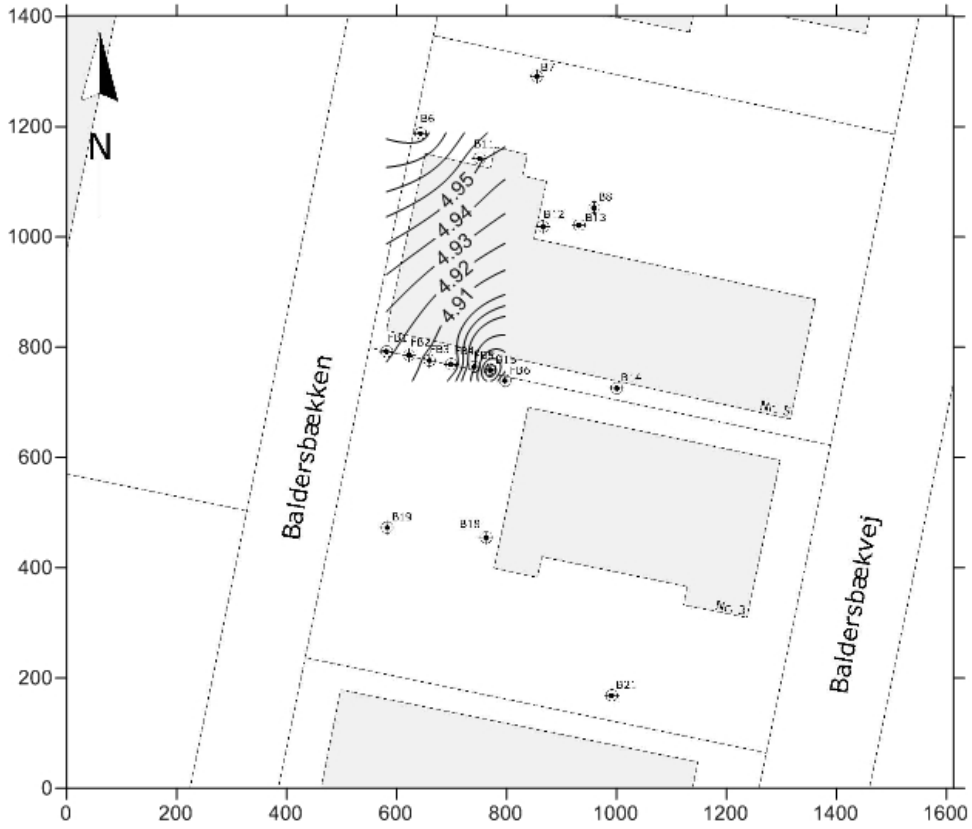
Umiddelbart vest for grunden ligger Baldersbækken med bund ca. 2,5 m u.t. Baldersbækken er brolagt i bunden og anlagt med skrænt (ca. 2,5 meter høj) op mod de tilstødende grunde. Det er i de tidligere undersøgelser af lokaliteten vurderet, at det sekundære grundvandsmagasin ikke afvander til Baldersbækken/1-3/.



Figur 2.1 Geologisk snit af kilde og faneområdet.

2.3.3 Opdateret potentialekort

I forbindelse med 1. injektionsrunde i juni 2009 og tilhørende prøvetagning er potentialekortet for det sekundære magasin opdateret. Den overordnede grundvandsstrømning er mod sydøst. Figur 2.2. viser potentialebilledet for d. 8. juni 2009 (før injektion).



Figur 2.2 Potentialekort fra juni 2009.

2.4 Forureningssituation før injektion

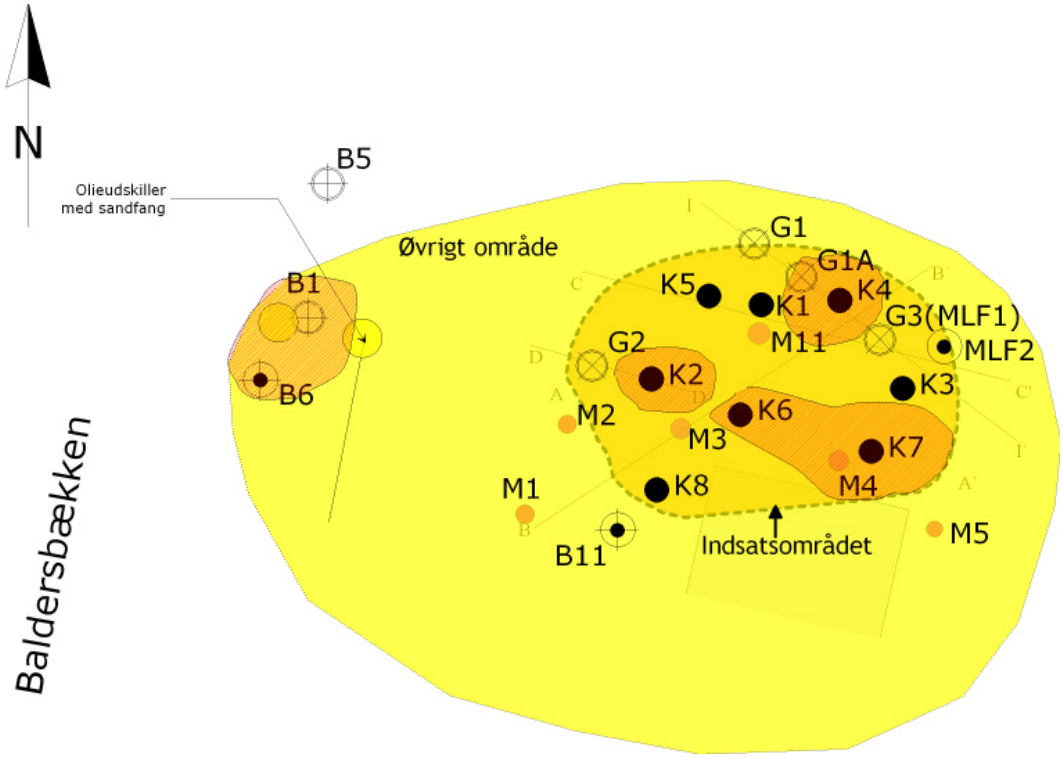
Forureningssituationen er beskrevet på baggrund af undersøgelser fra 2004 og 2006 /1-3/ og den supplerende karakterisering af kildeområdet fra april 2009 /5/.

2.4.1 Indsatsområdet

Indsatsområdet for dette projekt har været et ca. 45 m2 stort område (se Figur 2.2). Hovedparten af forureningen i indsatsområdet er knyttet til moræneleret, men har spredt sig til det underliggende sandlag (ned til ca. 5,5 m u.t.). Forureningen var afgrænset opad på baggrund af MIP sonderinger /3/, som viser meget lave udslag i de øverste 3 m. Afværgeindsatsen er derfor koncentreret i 2,5-6 meters dybde. Senere undersøgelser /6/ viste at forureningsindhold allerede fra 2,5 m u.t.

Undersøgelsen fra 2006 viste, at forureningen ved boring B11, M3 og M4 domineres af chlorerede ethener (især PCE), men der er også påvist chlorerede ethaner i sandmagasinet (især 1,1-DCA og CA).

I april 2009 blev der udført 8 kerneboringer med GeoProbe (K1 til K8) i indsatsområdet. Der blev udtaget jordkerner fra ca. 3-6 m u.t. Boringernes placering fremgår af
Figur 2.2.



Figur 2.2 Placering af K1-K8 og opdateret forureningsudbredelse før injektionerne. De orange arealer markerer områder, hvor der er mistanke om fri fase forurening.

De højeste koncentrationer af PCE er målt i boring K6 og K7 (se figur 2.3), op til 76 mg/kg TS. Det højeste indhold af TCE (20 mg/kg TS) er fundet i K4.

Der er i kildeområdet i det sekundære grundvandsmagasin påvist indhold af PCE, TCA, TCE samt nedbrydningsprodukterne cisDCE, VC, 1,1-DCE, 1,1-DCA og CA. Der er målt op til 1300 µg/l PCE og 1500 µg/l TCE i vandprøverne i kildeområdet. Generelt er koncentrationerne af PCE og TCE i vandprøverne lavere end forventet ud fra de målte jordkoncentrationer.

Forureningens udbredelse i det sekundære grundvand er vist på figur 2.4.

Figur 2.3 Udbredelsen af chlorerede opløsningsmidler i det sekundære grundvand. Fra /3/.

I 2009 er der udtaget vandprøver fra de tre filtersatte kerneboringer (K1-K3) i forbindelse med kildekarakteriseringen.

Generelt ses det, at forureningskoncentrationer for PCE og TCE ligger på samme niveau som i de tidligere undersøgelser /1-3/, mens der i de seneste vandprøver ikke er fundet 1,1,1 TCA. Til gengæld er der i 2009 målt et større indhold af CA, hvilket indikerer, at der sker naturlig nedbrydning. Det skal dog bemærkes, at vandkoncentrationerne ikke kan sammenlignes direkte, da der er tale om forskellige boringer.

2.4.2 Øvrigt område

Der er påvist forurening med chlorerede ethener og ethaner samt nedbrydningsprodukter heraf /1-3/. Forureningen er lokaliseret i både jord, poreluft og grundvand. Området er vurderet til et areal på ca. 150 m2 (se Figur 2.2) /1-3/. I nærheden af olieudskilleren ved boring B1 og B6 findes der et andet hotspot, hvor forureningen af især ethanerne i vand (1,1,1-TCA, 1,1-DCA og CA) er kraftigere end det generelle niveau, og koncentrationen af ethenerne (primært TCE og PCE) er også højere her. Dette hotspot ligger udenfor indsatsområde for dette projekt.

2.5 Vurdering af nedbrydning

I forbindelse med en række supplerende undersøgelser i kilde- og faneområdet er det vurderet, at der sker en vis nedbrydning af ethenerne via reduktiv dechlorering, men at nedbrydningen ikke går helt til ende (til ethen) /3/. Der er tidligere observeret et lille indhold af Dehalococcoides ethenogens1 og vinylreduktase i kildeområdet men ikke i fanen. Ligeledes er der nogle tegn på, at der sker en vis omsætning af chlorethanerne til CA i kildeområdet.

2.6 Masseberegning for indsatsområdet

På baggrund af resultater fra april 2009 /5/, er der estimeret en masse af chlorerede opløsningsmidler på ca. 4 kg som hovedsagelig består af chlorerede ethener. På baggrund af porevandskoncentrationerne i K1-K3 er massen i porevandet beregnet til ca. 40 g ethener og 8 g ethaner i indsatsområdet.

Tidligere var massen i området beregnet til ca. 7 kg /3/, men den reviderede masseberegning anses for at være mere pålidelig, da den er baseret på flere prøver. Det skal dog bemærkes, at der stadig er stor usikkerhed hvad angår mængden af fri fase forurening.

3 AFVÆRGEFORANSTALTNINGER

Dette kapitel er en opsummering af tidligere rapporter og notater /4,5,6,8,9,10/.

Afværgeforanstaltningerne på lokaliteten har bestået af 3 hovedaktiviteter:

- Afprøvning af in situ kemisk oxidation med hydrogenperoxid aktiveret persulfat
- Afprøvning af forskellige injektionsteknikker
- Afprøvning af in situ kemisk oxidation med natriumpermanganat

Projektets aktiviteter har været fokuseret på afprøvning af in situ kemisk oxidation (ISCO) som oprensningsmetode i lavpermeable aflejringer.

3.1.1 In situ kemisk oxidation (ISCO)

In situ kemisk oxidation involverer injektion af forskellige oxidationsmidler i undergrunden, hvor de kan oxidere forureningskomponenter til mindre skadelige stoffer eller helt uskadelige stoffer som fx kuldioxid, salte og vand. Oprensningshastigheden og teknologiens brede anvendelighed til mange forskellige og kraftige forureninger har øget interessen for teknologien i udlandet og i Danmark. Der findes mange oxidationsmidler. De mest anvendte er permanganat, hydrogenperoxid (modificeret Fentons) og persulfat (aktiveret persulfat). En oversigt over oxidationsreaktionerne for persultat og permanganet kan ses i tabel 3.1.

[1] Dehalococcoides ethenogens er bakterier, der kan nedbryde chlorerede opløsningsmidler til ethen

Tabel 3.1 Oversigt over oxidationsreaktioner

Oxidant	Reaktioner
Persulfat (S2O82-)	S2O8-2 + 2e- → 2 SO_4^{2-} or S2O8-2 + (+ UV/varme/peroxid/jern) → 2 SO_4^{-}-•
Aktiveret persulfat (SO_4^{-}•)	2 SO_4^{-}•+ 2H2O→2H SO_4^{-} + 2OH•
Permanganat (Mn O_4^{-})	MnO_4^{-} + 4H+ + 3e- → MnO2 (s) + 2H2O

3.2 Afprøvning af ISCO med hydrogenperoxid aktiveret persulfat

3.2.1 Baggrund for valg af hydrogenperoxid aktiveret persulfat

I den første fase af projektet var formålet at teste hydrogenperoxid aktiveret persulfat som oxidationsmiddel til in situ oprensning af forurenede lokaliteter fordi:

- Persulfat er stabilt og kan fordeles/recirkuleres i jorden indtil det kommer i kontakt med aktiveringsmidlet. Dvs. det kan trænge længere ind i jordmatricen end andre oxidationsmidler /11/ og er derfor anset for mere egnet til lavpermeable aflejringer.
- Persulfat reagerer mindre med jordens naturlige organiske materiale end andre oxidationsmidler, hvilket betyder, at der spildes mindre mængder oxidationsmiddel på disse reaktioner /11/.
- Persulfat kan nedbryde stoffer, som de andre oxidationsmidler er ikke effektive overfor, såsom chlorerede ethaner, der er til stede i mindre omfang på Baldersbækvej.

Der findes forskellige aktiveringsmidler for persulfat. De hyppigst anvendte er varme, tilsætning af hydrogenperoxid, med eller uden Fe(II), samt tilsætning af base f.eks. (NaOH). Formålet med aktiveringsmidlerne er at omdanne persulfat til mere reaktive reagenter kaldt radikaler, primært sulfat og hydroxyl radikaler. Oftest dannes der sulfat og hydroxyl radikaler, som begge er meget potente oxidationsmidler.

På denne lokalitet blev der i 2009 valgt at afprøve hydrogenperoxid som aktiveringsmetode fordi:

- Det var pt. den mest anvendte aktiveringsmetode i USA /11/
- Hydrogenperoxid vurderes at have det største markedspotentiale, idet det er det billigste aktiveringsmiddel.
- Hydrogenperoxid virker som oxidationsmiddel ud over at virke som aktiveringsmiddel, og bidrager derfor til forureningsdestruktionen.
- Kombinationen af persulfat-peroxid kræver kun en lille mængde hydrogenperoxid, hvilket betyder at håndteringen af dette reaktive kemikalie bliver lettere, og gas- og varmedannelse minimeres. Derfor kræves der ikke de samme arbejdsmiljømæssige foranstaltninger som ved anvendelse af nogle af de andre aktiveringsmidler.

3.2.2 Testinjektionsforsøg

I april 2009 blev der udført en testinjektion på lokaliteten. Formålet var at afklare hvilken injektionsmetode, der er mest velegnet til injektion af persulfat og hydrogenperoxid.

Injektionsmetoden skulle sikre at:

- Der ikke blev dannet ukontrolleret trykopbygning ved gasdannelser der kunne resultere fra oxidationsreaktionen
- Der kunne injiceres store vandmængder, omkring 1500 m3 pr. injektionsboring, indenfor en praktisk tidsramme, f.eks. 2-3 timer
- En jævn vertikal og horisontal fordeling af de injicerede væsker i indsatsområdet, samt sikre at hydrogenperoxid og persulfat kommer i kontakt med hinanden i jorden

Det detaljerede forløb af testinjektionsforsøget er præsenteret i /5/. Tre forskellige metoder blev testet i tre forskellige testfelter:

Testfelt A: Hydrogenperoxid injektion med GeoProbe 1 m fra persulfat injektionen.
Testfelt B: Injektion med GeoProbe i samme hul eller få cm fra persulfat injektionen.
Testfelt C: Langsom injektion af hydrogenperoxid ved brug af filtersatte boringer.

De væsentligste resultater er opsummeret nedenfor:

- Der var ingen væsentlig trykopbygning eller gasdannelse i forbindelse med injektioner
- Der var ingen tekniske problemer med at injicere hydrogenperoxid i samme hul som persulfat.
- Det var muligt at injicere de ønskede store vandmængde (1500 L per boring), i 3-6 m u.t., indenfor kun 2,5 timer per boring ved brug af GeoProbe.
- Der kunne opnås en horisontal spredning op til 1,5 m, som dog var ujævn i de forskellige retninger. Den vertikale spredning af de injicerede væsker var også ujævn til trods for den tætte injektionstæthed.
- I løbet af hver injektion blev der flere gange observeret, at vand kom op til overfladen via gamle undersøgelsesboringer, eller naturlige sprækker.

Foto 3.1. Injektion af persulfat med GeoProbe

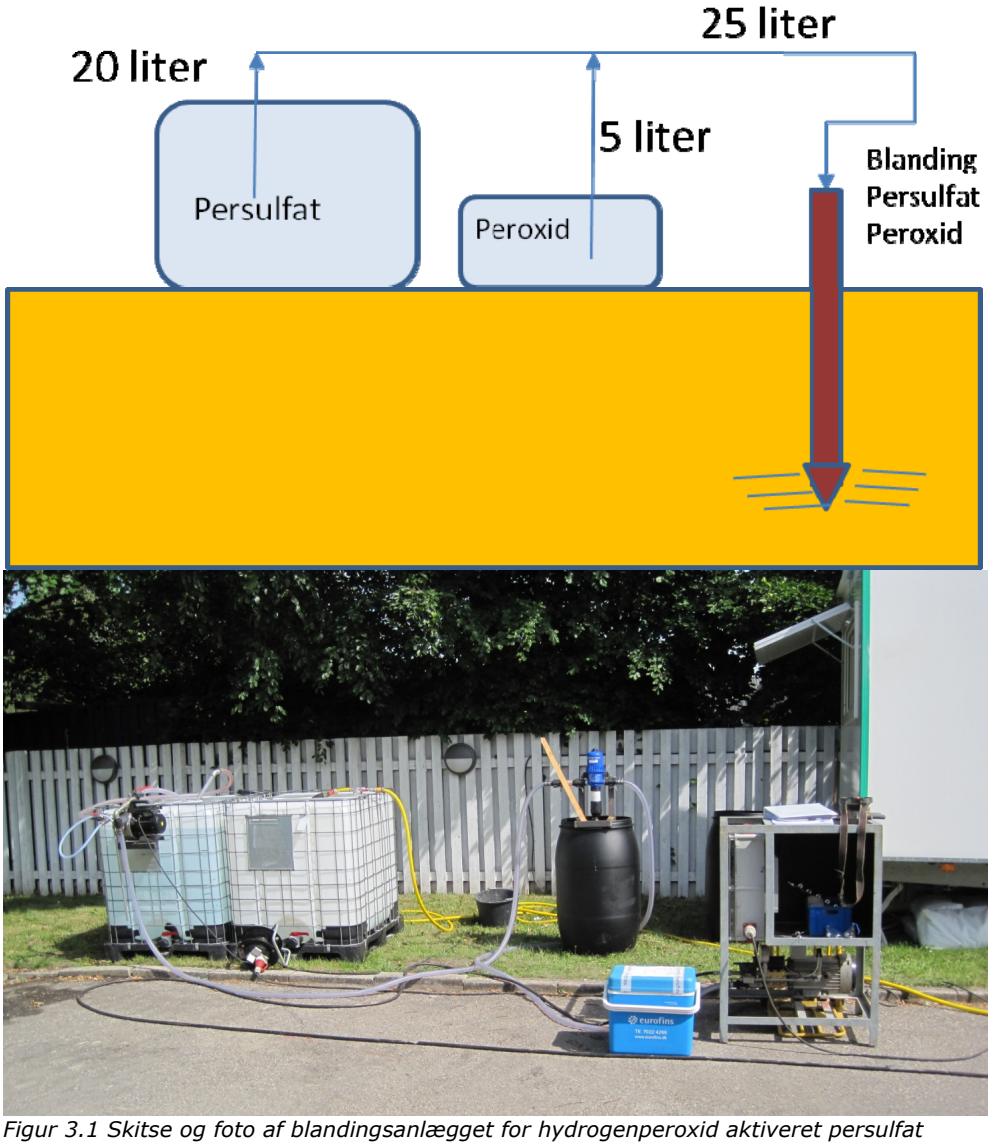
3.2.2.1 Erfaringer fra testinjektionsforsøg:
På baggrund af resultaterne fra testinjektion blev følgende beslutninger truffet ang. dimensionering af fuldskala projektet med injektion af hydrogenperoxid aktiveret persulfat:

- At injicere persulfat og hydrogenperoxid i blanding
- At øge det molære forhold mellem persulfat/peroxid fra 1:10 til 1:1, da der ikke forekom problematisk gasdannelse.
- At øge injektionstæthed for at opnå en mere jævn fordeling.

3.2.3 Fuldskala injektion af hydrogenperoxid aktiveret persulfat

Denne aktivitet omfattede injektion af hydrogenperoxid aktiveret persulfat på lokaliteten. Forløbet og resultater er beskrevet i /6/. Formålet med injektionen var, udover afprøvning af teknologien, at fjerne en del af den konstaterede forurening.

Et anlæg til blanding af reagenterne vha. af en doseringspumpe, som vist på Figur 3.1 blev brugt til projektet. Anlægget tillader optimal blanding og kort opholdstid, således at der ikke sker et tab af reaktiviteten inden reagenterne injiceres i jorden.



Figur 3.1 Skitse og foto af blandingsanlægget for hydrogenperoxid aktiveret persulfat

3.2.3.1 Aktiviteter

Der var planlagt 23 injektioner i et 45 m2 indsatsområde fra 2,5-6 m u.t. med et 5 cm vertikal interval, hvor der skulle injiceres 25 L pr. punkt.

Injektionsforløbet viste, at det var problematisk at levere det planlagte volumen af oxidationsvæskerne i indsatsområdet. I løbet af hver injektion blev der flere gange observeret, at væske kom op til overfladen via gamle boringer og naturlige sprækker. Det var især svært at injicere væske mellem 3 og 4,5 m u.t., hvilket betød at en stor del af det forurenede jordvolumen ikke blev behandlet. Mængden af overløb var betydelig større end ved testinjektionsforsøget. Sandsynligvis er der tale om at jordens effektive porøsitet blev "fyldt" op med væske i løbet af de første injektioner, hvorefter det blev vanskeligere og vanskeligere at få yderligere væske ned. Denne problemstilling fremgik ikke af testinjektionen.

På grund af disse injektionstekniske vanskeligheder blev der kun injiceret omkring ¼ af den ønskede mængde reagenter og væske i jorden. I alt blev der

injiceret ca. 11.000 L vand, 102 kg persulfat og 14 kg hydrogenperoxid i indsatsområdet.

For at dokumentere effekten af denne injektionsrunde blev der udført:
- MIP sonderinger, for at dokumentere oxidantudbredelse og forurenings-fjernelse
- Jordkerner
- Vandprøver fra det behandlede område

Udover dette blev der udført monitering af forureningssituation og evt. mobilisering af tungmetaller i nedstrømsboringerne FB1-FB6. For flere detaljer se kapitel 4.

3.2.3.2 Resultater fra d. 1. injektion

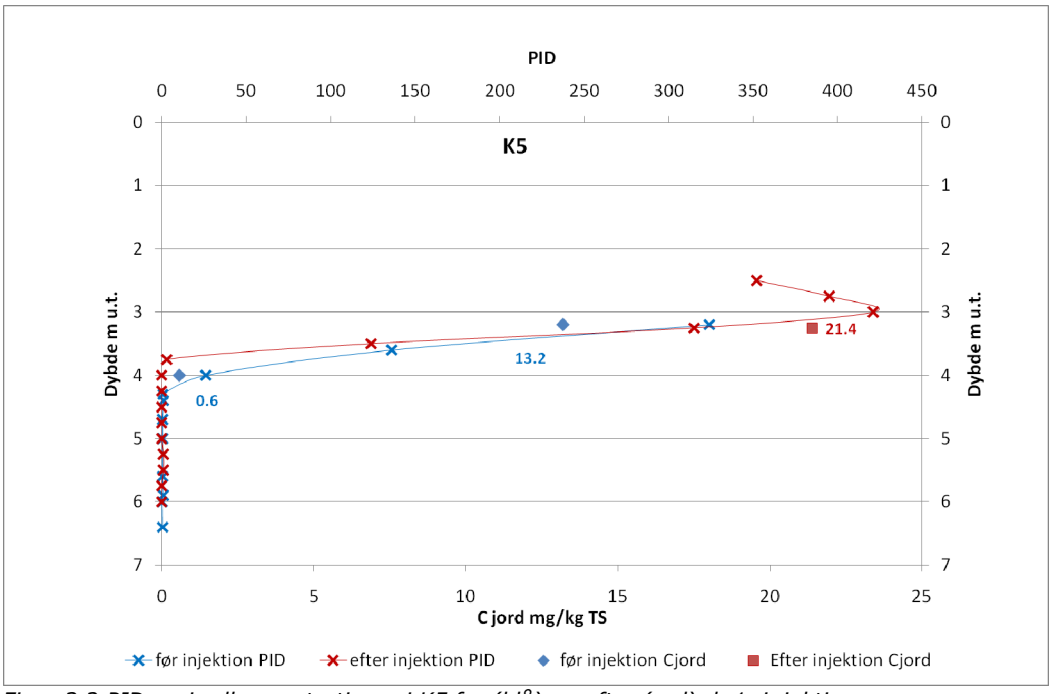
MIP sonderinger

I /5,6/ har en høj ledningsevne i porevandet vist en god korrelation med områder, hvor der har været en høj persulfatkoncentration. Det var dermed forventningen, at MIP profilerne ville kunne give et billede af den vertikale fordeling af persulfat ud fra ændringer i jordens ledningsevne, men der blev ikke observeret betydelige forskelle. Derudover kunne en sammenligning af forureningsniveauerne i MIP fra 2006 og 2009 ikke udføres, da baseline niveauet på MIP sonden var meget forskelligt. For flere detaljer henvises der til /6/.

Jordkerner

Efter 1. injektionsrunde blev der udtaget jordkerner for at vurdere effekten af oprensningen. Boringerne blev udført så tæt på de forrige kerneboringer (K1-K8) som muligt. Jordprøverne blev analyseret for chlorerede ethener. Analysearbejdet er udført af Eurofins.

Figur 3.2 viser resultater fra en jordkerne før og efter den 1. injektion. Det ses at de høje PID udslag mellem 3 og 4 m u.t. stadigvæk er til stede efter injektionen. Der er heller ikke noget betydelige fald i jordkoncentrationer af de analyserede jordprøver, som er valgt i ca. de samme dybde som de tidligere prøver.



Figur 3.2 PID og jordkoncentrationer i K5 før (blå) og efter (rød) d. 1. injektion

Resultaterne skal ses i sammenhæng med injektionsforløbet. Det har vist sig meget vanskeligt at levere injektionsvæske i de øverste lag 3,0-4,5 m. Derfor er dette område kun behandlet med oxidationsmidlet i begrænset omfang. For de dybere lag, hvor der tidligere var registreret lave PID udslag på omkring 10-20, er resultaterne efter injektionen under detektionsgrænsen.

3.2.4 Erfaringsopsamling fra injektion af hydrogenperoxid aktiveret persulfat

Forløbet og resultater fra den 1. injektionsrunde har vist, at der er tilknyttet en del udfordringer ved udførelse af kemisk oxidation med hydrogenperoxid aktiveret persulfat på lokaliteten.

Teknisk set har håndtering og blanding af oxidationsmidlerne været uproblematisk, men der har været en del udfordringer knyttet til opskalering og til tilførsel af oxidationsmidler i lavpermeable, og meget heterogene geologiske lag.

Det har vist sig vanskeligt at skabe kontakt mellem hydrogenperoxid aktiveret persulfat og forureningen i lerlaget fra 3 til 4,5 mut. Hovedparten af forureningen formodes at ligge diffunderet i matricen, og kun en lille del findes i sprækker. For at opnå oprensning af matricen skal oxidationsmidlerne diffundere ind i matricen. Dette kan dog ikke ske med hydrogenperoxid aktiveret persulfat, da reaktionerne er overstået i løbet af få timer. Langsomt reagerende midler, hvor reaktionerne forløber i løbet af flere uger (f.eks. ikke aktiveret persulfat, eller permanganat) vil være mere velegnet til en diffusions baseret oprensning. I /8/ blev det beregnet, at persulfat i løbet at 4 uger ville kunne diffundere ca. 3 cm ind i matricen.

3.3 Afprøvning af forskellige injektionsteknikker

Efter d. 1. fuldskala injektion med persulfat var det tydeligt at de væsentligste udfordringer ved anvendelse af kemisk oxidation i lavpermeable aflejringer var knyttet til selve injektionen.

1. Det var svært at injicere de ønskede væskemængder uden at det resulterede i overløb fra præferentielle strømningsveje.
2. Det var svært at opnå jævn og tilfredsstillende fordeling af oxidationsmidlerne i jorden således de kan komme i kontakt med forureningsstofferne.

For at adressere denne udfordring blev der som et led i planlægning af en evt. 2. fuldskala injektion afprøvet forskellige injektionsteknikker. Afprøvningen blev udført i samarbejde mellem Orbicon og det amerikanske firma Vironex som har stor erfaring indenfor injektionsteknik.

3.3.1 Baggrund om injektionsteknik

For at lette injektionen og forbedre fordelingen i de lavpermeable lag er der udviklet forskellige injektionssonder. Der foreligger endnu ikke dokumentation for hvilke sonde, der er bedst under hvilke forhold. Herudover er der udviklet værktøjer hvor injektionen foregår under pulserende tryk. For flere oplysninger ang. injektionsteknikker henvises der til andre studier, udført i samarbejde mellem DTU og Region Hovedstaden /12,13/. Hverken i Danmark eller i udlandet findes der endnu tilstrækkelig erfaring på området, således at der kan træffes ensartet valg, eller anbefales en bestemt sonde /strategi for en bestemt geologi, men erfaringsmæssigt vurderes det at valg af disse emner altid vil være lokalitetsspecifikt. Det har derfor været nødvendigt også i dette projekt at afprøve forskellige injektionsteknikker.

Ved injektion skelner man mellem to forskellige principper:
- Injektion uden sprækkedannelse
- Injektion med sprækkedannelse (frakturering)

Hvis jordens permeabilitet er høj nok kan der ved relativt lave injektionstryk fordeles væske i hele matricen, og resultatet er en nogenlunde ensartet fordeling af det injicerede væske. Er jordens permeabilitet imidlertid lille er det nødvendigt at danne nye sprækker (kaldet frakturering) hvori de injicerede væsker fordeles. Jo tættere sprækkenetværket er, desto mere ensartet bliver fordelingen af den injicerede væske. Det tryk der skal overstiges for at danne en sprække kaldes for fraktureringstrykket.

Ulempen ved injektion med højt tryk og sprækkedannelse er, at sprækkernes orientering og radius er vanskelig at kontrollere og at risikoen for ukontrolleret transport, fx via kortslutning til eksisterende sprækker eller gamle boringer, er stor.

3.3.2 Forløbet for afprøvning af forskellige injektionsteknikker

Det blev i juni 2010 udført en afprøvning af forskellige injektionsteknikker på lokaliteten. De tekniske detaljer om forløbet og resultater kan ses i /10/.

Formålet med testen var at bestemme:
- fraktureringstrykket for forskellige dybder i formationen
- om der kunne injiceres ved et tryk mindre end fraktureringstrykket

- om nogle injektionssonder var bedre end andre for at opnå en kontrolleret injektion (se foto 3.2).

Der blev afprøvet:
- En ”Jetting-2” Geoprobesonde, som har 6 injektionsporte fordelt rundt om sonden med 60° imellem portene. Sonden ligner Ejlskovs sonde fra d. 1. injektion men mangler et fjederbelastet stempel.
- En sonde på 30 cm ”screen tool” med i alt 16 injektionsporte jævnt fordelt rundt om sonden.
- Om injektion under pulserende tryk havde en gunstig effekt.

Det formodes at hvis injektion under lav tryk (uden frakturering) er mulig, vil det resultere i en mere kontrolleret og homogen tilsætning af væsken og reducere problemer med overløb.

Testen blev udført ved at injicere vand, og data om tryk og flow blev registreret.

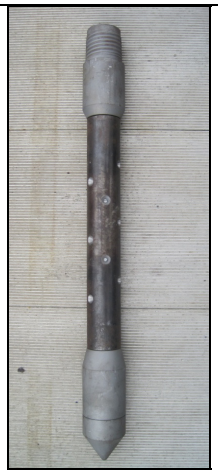
		
”Jetting-1” sonde fra Ejlkov, brugt v. 1 og 2. injektion, med stempel	”Screen tool” sonde fra Vironex	”Jetting-2” sonde fra Vironex, uden stempel

Foto 3.2. Injektionssonder anvendt på Baldersbækvej

3.3.2.1 Erfaringer fra tryk-flow test

Testen viste, at uanset hvilke injektionstryk der blev anvendt, var det nødvendigt at overstige formationens fraktureringstryk for overhovedet at injicere noget væske i moræneleret (2,5 til 3,7 mut). Efter 3,7 m u.t., hvor moræneleret skifter karakter til lidt mere sandet var det muligt at injicere under faktureringstrykket ved at kombinerende pulserende tryk med ”jetting-2” sonde. Dette resultat kunne dog ikke genskabes ved en senere afprøvning.

I det sandede lag 4-4,5 m u.t. var det muligt at injicere uden at overstige fraktureringstrykket ved brug at ”screen tool” sonden.

Det var på baggrund af testens resultater ikke muligt at udpege en injektionssonde der ville kunne opnå injektion uden at overstige fraktureringstrykket. Testen viste at frakturering er nødvendig på denne lokalitet for at behandle det lavpermeable lag af moræneler.

3.3.3 Dokumentationsteknikker

For at dokumentere fordeling af de injicerede væsker kan forskellige metoder anvendes:

- Ledningsevnemålinger med sonde (Wenner probe eller dipol), såfremt de injicerede væsker har en høj ledningsevne
- Direkte metode ved udtagning af jordkerner og måling af relevante parametre eller observation af farvede væsker
- Kamerasonde til observation af farvede tracere
- LIF sonde (Laser-sonde) til observation af fluorescerende tracer

Det var planlagt at afprøve og sammenligne ovennævnte dokumentationsteknikker i forbindelse med d. 2. injektion på Baldersbækvej. Desværre blev det ikke muligt pga. logistiske udfordringer. Teknikkerne er afprøvet på en anden morænelerslokalitet og erfaringerne derfra kan læses i /14/.

3.4 Afprøvning af ISCO med natriumpermanganat

I planlægning af d. 2. injektionsrunde blev der inddraget eksperter fra USA. Det blev besluttet følgende ændringer ift. d. 1. injektion:

- Den injicerede væskevolumen nedsættes markant.
- Det vertikale injektionsinterval sættes til 10 cm (ift. 5 cm).
- Der anvendes langsomt reagerende oxidationsmiddel, f.eks. permanganat eller ikke aktiveret persulfat.
- Der anvendes markant højere koncentration af oxidationsmiddel for at øge koncentrationsgradienten.
- Indsatsområdet for injektionen fokuseres omkring dybden af det mest forurenede lag 2,5-4,5 m u.t.

En væsentlig forudsætning for at anvende strategien med lave væskemængder og efterfølgende diffusion, er at oxidationsmidlet ikke nedbrydes i den nødvendige tidsperiode, inden det kommer i kontakt med forureningen.

3.4.1 Treatability forsøg

Jordens oxidantforbrug er en kritisk faktor, når oprensningen baseres på diffusion. Det er nødvendigt, at den mængde oxidationsmidler der diffunderer ind i matricen er så stor, at den ikke er forbrugt af jordens naturlige reduktionsevne. Jordens oxidantforbrug kan beregnes teoretisk men de mest pålidelige resultater kommer fra lokalitetsspecifikke forsøg. Der er derfor valgt at udføre laboratorieforsøg med ikke aktiveret persulfat og permanganat for denne lokalitet med det formål at:

- bestemme hvilket af de to oxidationsmidler der vil være mest egnet på denne lokalitet, og
- bestemme oxidant forbruget og dermed den rigtige oxidant dosis.

Testen blev udført af firmaet KCH Envirotech i Connecticut USA. En jordkerne med materiale fra lokaliteten blev udtaget i september 2010. Tekniske detaljer om treatabilityforsøgene kan læses i KCH Envirotechs rapport /16/.

Der blev testet 3 forskellige doser af persulfat og permanganat i jord/vand mikrokosmer. Fjernelse af forureningsstoffer og oxidantforbrug blev målt efter 14 og 21 dage.

Resultaterne viste >90 % fjernelse af forureningsstofferne med permanganat efter 21 dage, hvorimod persulfat i den samme periode kun havde fjernet op til 45 %. Det skyldes bl.a. at persulfatreaktionen er langsommere. Det er dog sandsynligt, at persulfat ville opnå en større forureningsfjernelse ved en længere reaktionsperiode (der var stadig mere end 40 % af persulfaten tilbage efter 21 dage, hvorimod der var kun ca. 20% af permanganat tilbage). På baggrund af denne test blev det besluttet, at d. 2. injektion skulle udføres med permanganat.

3.4.2 Fuldskala afprøvning af natrium permanganat

I december 2010 er der udført en fuldskala injektion med natriumpermanganat på Baldersbækvej. De tekniske detaljer over forløbet er rapporteret i et selvstændigt notat i /16/

Der var planlagt ca. 24 injektioner i intervallet 2,5 til 4,5 m u.t. med 15 % NaMnO4 opløsning med en indbyrdes afstand på 1,5 m. For at sikre den bedst mulig fordeling af oxidationsmidler i jorden, er der parallelt med injektionen udført dokumentation af NaMnO4 fordeling ved brug af ledningsevne målinger (dipol) og udtagning af jordkerner. Ved løbende at dokumentere resultatet af hver injektion er der mulighed for løbende at tilpasse injektionsstrategien, f.eks. ved at justere injektionstryk, skifte injektionssonde eller ændre på placering af injektionerne.

Feltarbejdet blev udført af Ejlskov A/S under tilsyn og rådgivning fra Orbicon og Vironex. Inden injektionsstart blev asfaltlaget i indsatsområdet fjernet for at kunne observere evt. overløb til terræn.

Det blev i alt udført 8 injektioner med to forskellige injektionssonder (”jetting-1” og ”screen-tool”). Projektet blev afbrudt på d. 4. dag, da der blev observeret udslip af permanganat i den nærliggende bæk. Udslippet viste sig senere, at skyldes et ældre rørbrud i kloakken, som ellers havde været afproppet under injektionen. Monitering i bækken har vist at udslippet ikke har udgjort en miljømæssig risiko. Hændelsesforløbet er rapporteret til Ishøj Kommune og Region Hovedstaden /15/.

Foto 3.3. Injektion af permanganat, december 2010

Foto 3.4. Natriumpermanganat, 40 %. Det blev fortyndet til en 15 % opløsning på lokaliteten

3.4.3 Erfaringer fra d. 2 injektion

Efter hver injektion er der udført ledningsevnesonderinger til dokumentation af udbredelsen af natriumpermanganat, og der blev udtaget jordkerner i intervallet 0-6 m u.t. Kernerne blev visuelt inspiceret i felten og derefter transporteret til laboratoriet, hvor de blev udskåret, fotograferet og prøvetaget. Natriumpermanganat har en stærk lilla farve (se Foto 3.5), hvorfor det er muligt at vurdere udbredelsen visuelt. Udvalgte prøver er analyseret for mangan.

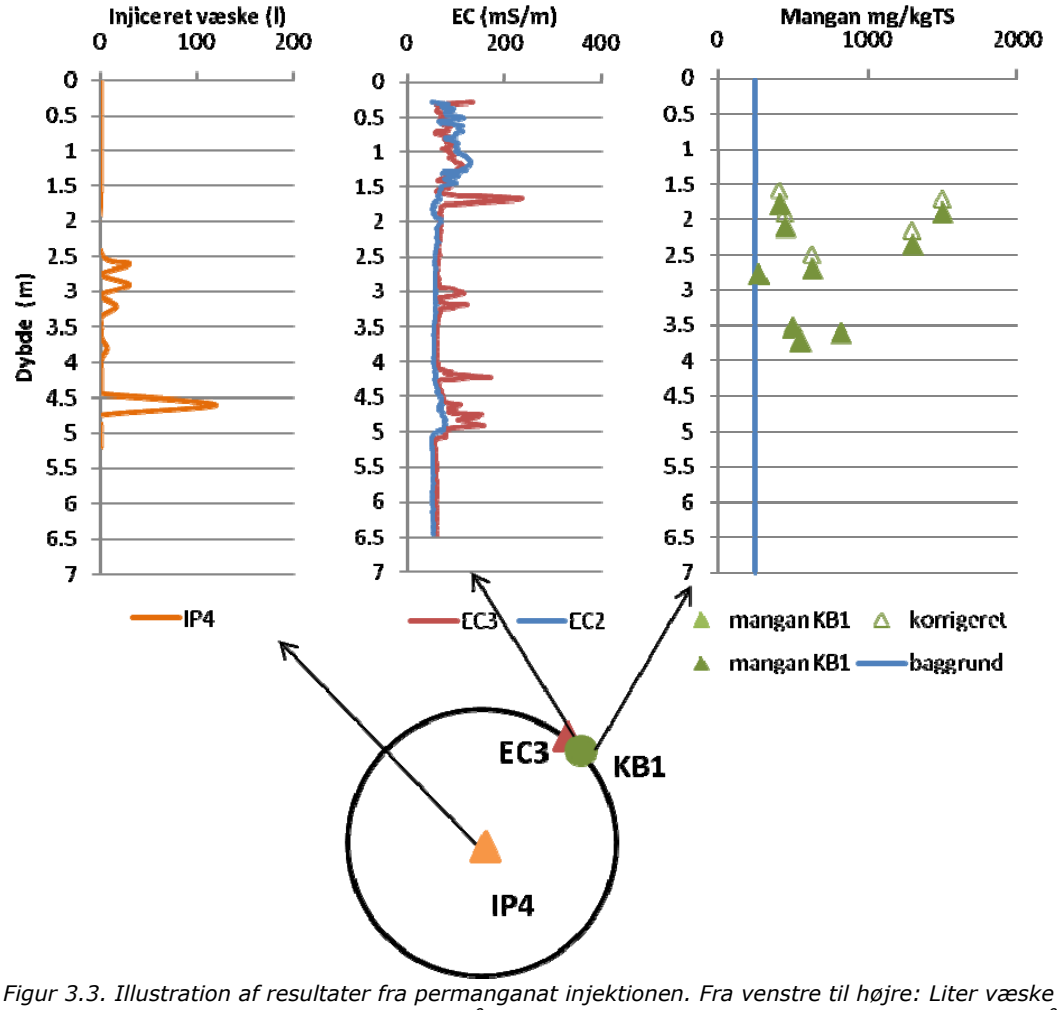
Foto 3.5. Observation af permanganat i jordkerne

Denne detaljerede dokumentationskampagne viste, at det ikke har været muligt at fordele væskerne i morænelerlaget homogent.

Figur 3.3 illustrerer et eksempel af resultaterne fra dokumentationsaktiviteterne. Det ses, at de højeste udslag af ledningsevne og mangankoncentrationer observeres ved 1,5 m u.t, hvor der træffes et tyndt sandlag, til trods for at der ikke er injiceret i formationen i mindre end 2,5 m dybde. Det formodes, at injektionsvæsken har bevæget sig op langs borestangen for derefter at sprede sig i sandlaget.

Der blev også udført en enkelt injektion med maksimal tryk i 3,5 mut, hvor der blev injiceret 100 l. Der blev observeret et mindre udslag i EC detektoren i omkring det samme dybde. Der er udtaget en kerne 15 cm fra injektionen hvor der ses en 2 cm tyk linse i kernen med en opadrettet vinkel på ca. 30 grader.

Der observeres en vis overensstemmelse mellem forhøjede ledningsevneværdier og fund af mangan i kernerne. Der ses forhøjede mangankoncentrationer i kerneboringer i de intervaller hvor der blev observeret høj ledningsevne udslag (ved 1,5 og 3,5 m u.t.), men der blev ikke fundet høje mangankoncentrationer i det nederste sandlag, hvor der til gengæld er observeret forhøjet ledningsevne.



Figur 3.3. Illustration af resultater fra permanganat injektionen. Fra venstre til højre: Liter væske injiceret ved angivet dybde, ledningsevnemåling vist med rød linje ift baggrundsledningsevne (blå linje), koncentration af total mangan i jordkerner.

Der er i alt injiceret ca. 860 liter permanganat der svarer til 15 % af det planlagte volumen.

Der forventes at den tilførte mængde permanganat ikke har resulteret i en markant forureningsmassereduktion i det forurenede lag.

4 MONITERING

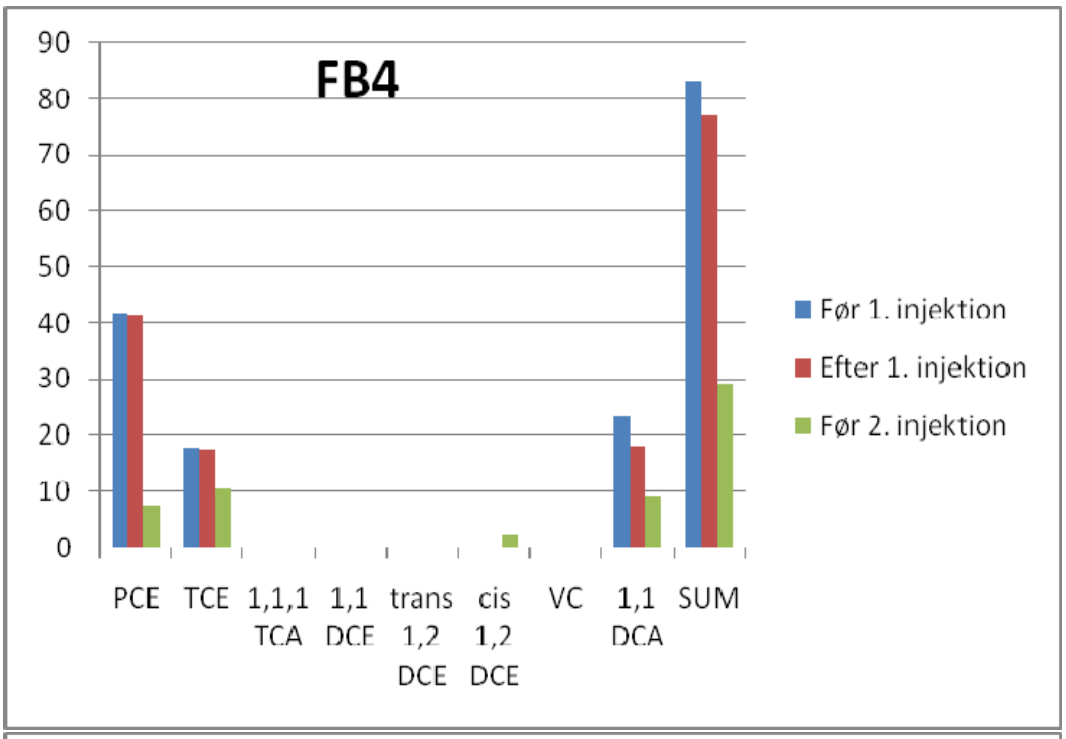
Der er i 2009 udført 6 moniteringsboringer (FB1-FB6) nedstrøms kildeområdet. Formålet med boringerne har været at monitere forureningskoncentrationerne i sandlaget og vurdere hvordan forureningsfluxen er påvirket af oprensningen i kildeområdet. Boringerne er placeret i et tracé på tværs af fanen med en indbyrdes afstand på ca. 2,4 m. Boringerne er filtersat i sandlaget i 5-6 m u.t. med to filtre (Ø32 mm og Ø63). Boringernes placering er vist på figur 4.1.

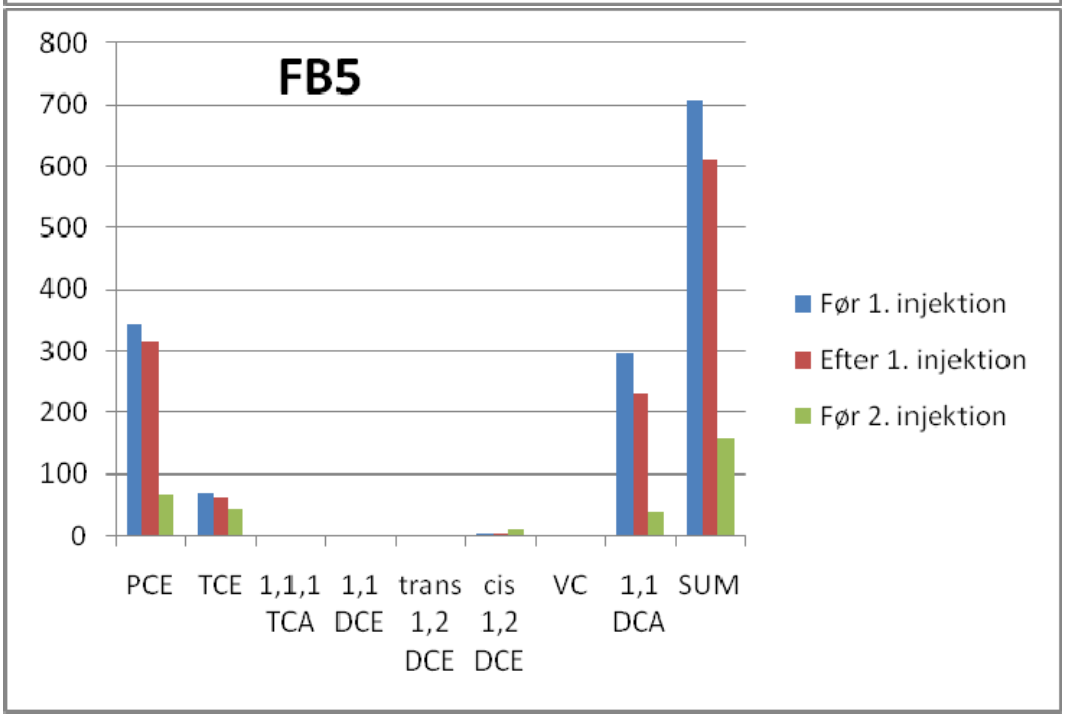
Figur 4.1 Placering af boringer på lokaliteten.

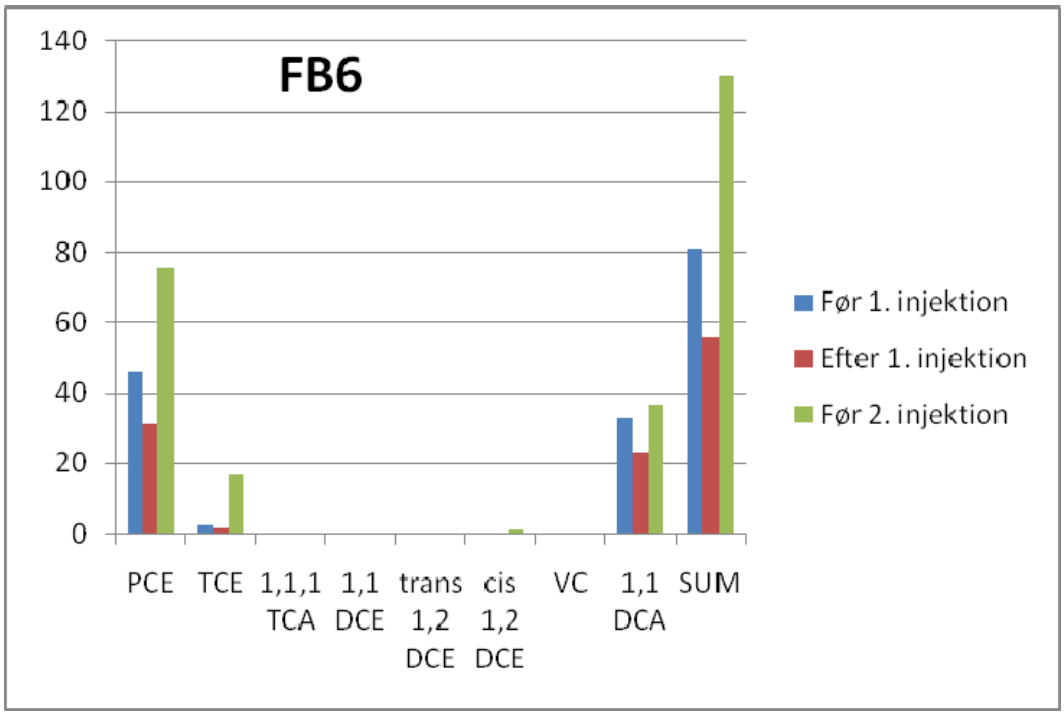
Der er i juni 2009 (før 1. injektionsrunde) udtaget traditionelle vandprøver og installeret sorbiceller i FB1-FB6. Umiddelbart efter 1. injektionsrunde blev der ligeledes i juni 2009 udtaget traditionelle vandprøver og installeret sorbiceller i boringerne. Der blev i alt udtaget traditionelle vandprøver 4 gange og installeret sorbiceller 3 gange. Resultaterne er tidligere afrapporteret i /6/.

Herudover er der i december 2010 installeret sorbiceller i boringerne før 2. injektionsrunde. Strømningshastigheden i sandlaget er ca. 15 m/år, og afstanden fra kildeområdet til boringerne er ca. 28 meter, så ved moniteringsrunden i december 2010 burde der ikke observeres effekter af tilsætningen af persulfat i 1. injektionsrunde, dog kan udvaskningen fra kildeområdet være forceret grundet de store væskemængder, der er blevet tilsat under injektionen. Sorbicellerne er analyseret af Alcontrol. Analyseblanketter for moniteringsrunden i november 2010 er vedlagt i bilag1.

Af figur 4.2 ses resultaterne fra sorbicellerne fra boring FB4-FB6 før og efter 1. injektionsrunde samt før 2. injektionsrunde. Der er i boringerne FB1-FB3 påvist indhold af chlorerede opløsningsmidler under eller på niveau med Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterium, hvorfor disse ikke er vist i figuren. Samtlige resultater er vist i tabelform i bilag 2.


FB4
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
PCE
TCE
1,1,1 TCA
1,1 DCE
trans 1,2 DCE
cis 1,2 DCE
VC
1,1 DCA
SUM
Før 1. injektion
Efter 1. injektion
Før 2. injektion


FB5
800
700
600
500
400
300
200
100
0
PCE
TCE
1,1,1 TCA
1,1 DCE
trans 1,2 DCE
cis 1,2 DCE
VC
1,1 DCA
SUM
Før 1. injektion
Efter 1. injektion
Før 2. injektion



Figur 4.2: Resultater fra sorbiceller før og efter 1. injektionsrunde samt før 2. injektionsrunde fra boring FB4-FB6. Koncentrationen er angivet i µg/l. OBS! Bemærk at akserne er forskellige

I boring FB4 og FB5 er der observeret et generelt fald i koncentrationerne af chlorerede opløsningsmidler før 1. injektionsrunde til før 2. injektionsrunde, mens der for boring FB6 er observeret højere koncentrationer før 2. injektionsrunde. Årsagen til ændringer i koncentrationerne vurderes, at skyldes, at strømningsretningen i sandmagasinet er blevet forskubbet som følge af væsketilførslen i 1. injektionsrunde.

5 ANBEFALINGER OG ERFARINGER FRA PROJEKTET

Forløbet og resultaterne af aktiviteterne gennemført i projektet har vist, at der er tilknyttet en del udfordringer ved udførelse af oprensning med kemisk oxidation på lokaliteten.

Udfordringerne har især været tilknyttet til følgende:

- Fordeling af oxidationsmiddel i lavpermeable aflejringer.
- Opskalering fra testinjektion til fuldskalainjektion.
- Dokumentation af spredningen af oxidationsmidler.
- Opnåede resultater er ikke reproducerbare.

Nedenstående tabel sammenfatter erfaringer fra projektet.

Tabel 5.1 Erfaringer fra projektet med kemisk oxidation

Anlægsteknisk	
Teknisk set har håndtering og blanding af oxidationsmidlerne fungeret uproblematisk.	
Afpropning med Mikolit® B (kvik bentonit) har været meget holdbar. Der var ingen overløb ved de boringer Orbicon udførte ved testinjektionsforsøget eller 1. injektionsrunde	
Kemi	
Treatability test udført i laboratoriet har vist, at både permanganat og persulfat kan anvendes til at nedbryde forureningen kemisk.	
Treatability test har vist, at permanganat nedbryder forureningen hurtigere end persulfat.	
Fordeling og opskalering	
Det var generelt muligt at injicere de planlagte mængder væske i 2,5-3 m u.t. og i 4,5 til 6,0 m u.t.	Dog skal det bemærkes at en vellykket injektion ikke er ensbetydende med en vellykket fordeling. Dvs. selvom det er muligt at tilføre væske mens sonden står i et bestemt interval, kan den faktiske fordeling af væsken i jorden foregå i et andet jordlag (over eller under injektionsintervallet) Der er generelt observeret en tendens til at den injicerede væske søger mod mere permeable lag. Det var vanskeligt at injicere i 3-4,5 m u.t. da væsken kom op via tidligere udførte sonderinger eller borestangen. Det var ikke muligt at fordele oxidationsmidlerne homogent horisontalt eller vertikalt. En vellykket injektion har ikke været ensbetydende med en ensartet fordeling af oxidationsmidler. Det var vanskeligt at udføre flere sonderinger tæt på hinanden uden overløb til terræn.
Opnåede resultater er ikke reproducerbare	
	Det har været vanskeligt at reproducere opnåede resultater ved f.eks. tryk/flow testen. Det vurderes, at dette skyldes jordens heterogenitet.
Dokumentation af spredning	
Der ses ved IP6 og EC10 en god overensstemmelse mellem dybderne, hvor der er injiceret væske og forhøjede udslag på ledningsevnemåleren. Denne tendens ses dog ikke i samtlige udførte målinger	
	Der er ikke entydig sammenhæng mellem høje udslag på ledningsevnemåleren og de målte mangankoncentrationer
Der er en god sammenhæng mellem de visuelle permanganat observationer og forhøjede mangankoncentrationer.	Der er ikke entydig sammenhæng mellem de visuelle permanganat observationer og forhøjede ledningsevnemålinger.

6 KONKLUSION

På baggrund af det samlede projekt kan der drages følgende hovedkonklusioner:

- Laboratorieforsøg har vist, at persulfat og permaganat kan nedbryde forurening med chlorerede opløsningsmidler i moræneler. Det har i projektet ikke været muligt at eftervise dette i fuldskala.

- Det var i begge injektionsrunder yderst vanskeligt at fordele oxidanterne ensartet i matricen samt reproducere opnåede resultater ved injektionerne. Der i forbindelse med projektet observeret en tendens til, at injektionsvæskerne vil søge mod mere permeable aflejringer, men denne observation er ikke entydig. Ud fra de opnåede resultater i projektet kan det konkluderes, at det er nødvendigt først at få afklaret, hvilke parametre der er styrende for udbredelsen af væsker i moræneler, før metoden kan anvendes som oprensningsmetode i moræneler.

- For at dokumentere udbredelsen af oxidanter i matricen har visuelle observationer af permanganat på jordkerner vist sig have den bedste overensstemmelse med de målte mangankoncentrationer. De udførte ledningsevnemålinger har givet en mindre god overensstemmelse.

7 REFERENCER

/1/ NewCon A/S (2003): Orienterende miljøteknisk undersøgelse af matr. nr. 13q Ishøj By, beliggende Baldersbækvej 5. Udført af Jord•Miljø for New-Con A/S Automation & Industriel IT.

/2/ Københavns Amt (2005): Baldersbækvej 5. Omfattende undersøgelse. Udarbejdet af Hedeselskabet Miljø og Energi A/S, Roskilde, for Københavns Amt, juni 2005.

/3/ Region Hovedsatden (2006): Baldersbækvej 5. Supplerende undersøgelse. Udarbejdet af Orbicon for Region Hovedstaden, november 2006

/4/ Region Hovedstaden (2009): Orbicon, Notat til Region Hovedstaden d. 25. marts 2009. Test injektion Baldersbækvej 5

/5/ Region Hovedstaden (2009): Baldersbækvej 5. Projekteringsplan. Udarbejdet af Orbicon, maj 2009

/6/ Region Hovedstaden (2009): MST Persulfat Baldersbækvej 5, Statusrapport for d. 1. injektionsrunde, Udarbejdet af Orbicon, september 2009

/7/ Region Hovedstaden (2009): Orbicon, Baldersbækvej 5, Notat til Region Hovedstaden d 4. juni 2009. Oplæg til nedstrømsmoniteringsboringer og 1.moniteringsrunde

/8/ Region Hovedstaden (2009): Baldersbækvej 5, Forslag til 2. injektion, Notat, udarbejdet af Orbicon A/S, november 2009

/9/ Region Hovedstaden (2010): Baldersbækvej 5, Ishøj, Måling af injektion ved ledningsevne, Notat udarbejdet af Orbicon | Leif Hansen A/S, november 2010

/10/ Region Hovedstaden (2010): Baldersbækvej, Testing of injection methods before full scale. Tests phase 1, Results and recommendation for phase 2, Notat, udarbejdet af Orbicon Leif Hansen, september 2010

/11/ Tsitonaki, A., Petri, B., Crimi, M., Mosbaek, H, Siegrist, R.L., Bjerg, P.L. (2010). In situ chemical oxidation of contaminated soil and groundwater using persulfate: A review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, Vol 40, Issue 1, pp 55-91

/12/ Region Hovedstaden (2009): Sammenligning og dokumentation af hydraulisk frakturering og direkte injektion med GeoProbe på Vadsbyvej, Hedehusene, Udarbejdet af DTU Miljø og GEUS, August 2009

/13/ Christiansen, C.M. (2010): Methods for enhanced delivery of in situ remediation amendments in contaminated clay till. PhD afhandling, DTU Miljø

/14/ Region Hovedstaden (2011), Test af dokumentationsmetoder - Vadsbyvej 16A, Udarbejdet af Orbicon, maj 2011

/15/ Orbicon (2010): Email korrespondance mellem Pernille Palstrøm (Orbicon A/S), Ishøj Kommune og Region Hovedstaden, sendt d. 20.12.2010 ”Baldersbækvej 5 - Resultater fra vandprøver udtaget i Baldersbækken og Tv-inspektion”

/16/ Region Hovedstaden (2011): Erfaringer med injektion af oxidanter i moræneler – Baldersbækvej 5, Udarbejdet af Orbicon, maj 2011

Rapporten samler de opnåede resultater og erfaringer med injektion af oxidationsmidler i moræneler, med henblik på oprensning af organiske opløsningsmidler. Laboratorieforsøgene viser, at persulfat og permaganat kan nedbryde forurening med chlorerede opløsningsmidler i moræneler. Feltforsøgene viser dog, at det er vanskeligt at fordele oxidationsmidlerne ensartet i lermatricen, og dermed at skabe kontakt mellem forureningen og oxidationsmidlerne.

Naturstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø
www.nst.dk