

MILJØPROJEKT **Nr. 860** 2003
TEKNOLOGIUDVIKLINGSPROGRAMMET FOR
JORD- OG GRUNDVANDSFORURENING

Forsøg med Bio-Gel/Bio-Vand rensning af olieforurenede jord

Ole Stang og Søren Jensen
Jord Miljø A/S

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	9
1 BESKRIVELSE AF LOKALITETEN	11
1.1 GEOLOGI OG HYDROGEOLOGI	11
1.2 FORURENINGSFORHOLD.	12
2 RENSEMETODE	13
2.1 INDLEDNING	13
2.1.1 <i>Baggrund</i>	13
2.1.2 <i>Formål</i>	13
2.2 METODEBESKRIVELSE	13
2.3 ANVENDELSE PÅ DETTE PROJEKT	14
2.4 MONITERING	15
3 UNDERSØGELSER	17
3.1 PORELUFTMÅLINGER	17
3.2 UDTAGNING AF PRØVER AF POREVAND OG GRUNDVAND	18
3.3 UDTAGNING AF JORDPRØVER	18
3.4 SLUTKONTROL	19
4 RESULTATER	21
4.1 PORELUFTMÅLINGER	21
4.1.1 <i>Startkoncentrationer</i>	21
4.1.2 <i>Udvikling i poreluftmålinger</i>	23
4.2 KEMISKE ANALYSER AF POREVAND OG GRUNDVAND	23
4.3 JORDPRØVER	24
4.3.1 <i>Kemiske analyser</i>	24
4.3.2 <i>Målinger af biologisk aktivitet</i>	25
4.4 SLUTKONTROL	27
4.4.1 <i>Kemiske analyser</i>	27
4.4.2 <i>Biologiske undersøgelser</i>	31
5 ANBEFALINGER OG KONKLUSIONER	33
6 REFERENCER	35

Bilag A Boreprofiler for M1-M4 samt G1

Bilag B Resultater af poreluftmålinger (C.U. Test and Development Ltd.)

Bilag C Kemiske analyser af vandprøver

Bilag D Risikovurdering for det primære grundvand

Bilag E Kemiske analyser af jordprøver

Bilag F Biologiske undersøgelser på jordprøver(DHI)

Bilag G Diffusions-/permeationsforhold i lerjorden (C.U. Test and Development Ltd.)

Forord

Miljøstyrelsen har siden 1996 støttet projekter, hvor forskellige teknologier til rensning af forurenede jord og grundvand er blevet afprøvet under danske forhold. I forbindelse med at Hvidovre Kommune i 2001 igangsatte en forsøgsrensning af olieforurenede moræneler ved tilsætning af Bio-Gel, har Miljøstyrelsen besluttet at yde støtte til supplerende monitoring på oprensningsforløbet. Bio-Gelen, som i det foreliggende oprensningsprojekt blev erstattet af et andet ikke-geleret produkt, Bio-Vand, skulle leveres af teamProtection Nordic A/S (tPN). Det har været Miljøstyrelsens mål med projektet at tilvejebringe mest mulig viden om de processer, som aktiveres ved tilsætning af Bio-Gel til olieforurenede jord.

Da Miljøstyrelsen besluttede at yde støtte til dette Teknologiprojekt i november 2001 havde tPN planer om at gennemføre et laboratorieforsøg med tilsætning af Bio-Gel til olieforurenede jord. Resultaterne af disse forsøg skulle foreligge i foråret 2002, og det var meningen at resultaterne skulle indgå i en samlet vurdering af Bio-Gelens effekt på forurenede jord. Laboratorieforsøget skulle gennemføres på AUC og skulle bl.a. finansieres af Oliebranchens Miljøpulje. I løbet af foråret 2002 blev dette tilsagn om støtte imidlertid trukket tilbage, og laboratorieforsøget er derfor ikke blevet gennemført.

Projektforløbet er blevet fulgt af en styregruppe bestående af :

Akademiingeniør Inger Asp Fuglsang, Miljøstyrelsen
Forskningschef Bjørn K. Jensen, DHI - Institut for Vand og Miljø
Cand. Scient. Jørgen Mølgaard Christensen, teamProtection Nordic A/S
Civilingeniør Else Marie Jakobsen, Hvidovre Kommune
Civilingeniør Ole Stang, JORDoMILJØ A/S

Jørgen Mølgaard Christensen er i løbet af projektet blevet afløst af civilingeniør Helle Christiansen også fra teamProtection Nordic A/S
Bjørn K. Jensen har fungeret som faglig sekretær for Miljøstyrelsen.

TeamProtection Nordic A/S har som entreprenør leveret bakterier og næringsstoffer til oprydningen og forestået injektionen i jorden. Jord Miljø A/S har som rådgiver for Hvidovre Kommune og Miljøstyrelsen tilrettelagt og gennemført monitoringsprogrammet, som er blevet finansieret af Teknologipuljen. Biologiske analyser af jordprøver er udført af DHI, Institut for Vand og Miljø, mens kemiske analyser af jord- og vandprøver er udført af A/S AnalyCen. Poreluftmålinger og diffusionsmålinger i jord er udført af CU Test and Development Ltd.

Sammenfatning og konklusioner

Der er gennemført et forsøg på at foretage en in-situ biologisk rensning af et 1500 m² stort område, som er forurenet med let fyringsolie. Forsøget er gennemført ved at tilføre jorden Bio-Gel og Bio-Vand (en blanding af bakterier, næringsstoffer og elektronacceptor i form af ilt) dels ved injektion med højtryksslanser, dels ved tilførsel via horisontale, perforerede rør, som er nedboret i den forurenede horisont. Den forurenede horisont består af fast moræneler, som er forurenet fra 1-4 meters dybde.

Der er før påbegyndelse af in-situ oprensningen og i hele oprensningsperioden foretaget jævnlige målinger af jordens forureningsniveau. Desuden er der løbende foretaget målinger af porevandets og grundvandets forureningsniveau, og der er gennemført målinger på poreluft og jord for at vurdere, om der sker en biologisk nedbrydning af olieforureningen.

Resultaterne af målingerne og undersøgelserne har vist, at der ikke i monitoringsperioden har kunnet påvises en reduktion af olieforureningen i det forurenede område.

Der har heller ikke kunnet påvises nogen sikre tegn på en forøget biologisk aktivitet i det forurenede område som følge af tilsætningen af Bio-Gel og Bio-Vand. En af de bakterier, som Bio-Gel og Bio-Vand angiveligt skulle indeholdekunne ikke genfindes i prøver af Bio-Gel og Bio-Vand eller i jordlagene i det behandlede område. Imidlertid har det vist sig at være forbundet med store vanskelighederne at presse Bio-Vand ud i den tætte lerformation, og det er således vanskeligt at afgøre om Bio-Vand har kunnet udøve sin ønskede virkning ude i formationen.

Der har i begyndelsen af behandlingsperioden kunnet ses tegn på en vis udvaskning af olieforurening til porevand og grundvand i området, men i slutningen af perioden er denne effekt ikke længere tydelig. Disse tegn var stigninger i oliekoncentrationerne i prøver fra porevand og grundvand. Det skønnes derfor, at der kun i mindre omfang er sket en udvaskning af forureningen.

På baggrund af resultaterne må det anbefales, at der inden anvendelse af tilsætningsmidler, som skal fremme en biologisk nedbrydning af jordforurening, gennemføres laboratorieforsøg. Ved disse forsøg skal det godtgøres, at tilsætningsmidlet rent fysisk kan tilføres jorden i felten og at midlet kan fremme en biologisk nedbrydning af forureningen i jorden.

Ved igangsættelse af projektet var det forventet, at der sideløbende med dette projekt var blevet gennemført laboratorieforsøg til at belyse Bio-Gelens evne til at nedbryde olie i jord. Dette forsøg blev dog desværre ikke gennemført, hvorfor der ikke kan konkluderes noget desangående.

Summary and conclusions

An *in situ* biological remediation of a 1500 sq.m large oil polluted area has been carried out. The area was contaminated with light fuel oil from one to about four meters of depth. In order to enhance the biological processes, the area was treated with Bio-Gel and Bio-Water injected via high pressure pipes and via horizontal, perforated pipes, drilled through the polluted strata.

Analyses of the concentration of the contaminants were carried out before the start of the injection and during the remediation period. Furthermore, analyses of the contaminant concentration in the pore water and the groundwater were carried out. Analyses of soil and vapour samples were also conducted to identify evidence of biological degradation of the contamination.

The results of the monitoring program show no reduction of contaminant concentration in the soil.

In addition, no signs of increased biological activity in the contaminated area could be identified as a result of the injection of Bio-Gel. Finally, it has not been possible to detect the species of bacteria in either the Bio-Gel or in soil samples in the treated area.

During the first months of the treatment period, vague indications of leaching of the oil were observed. These indications were increasing oil concentrations in the pore water and the groundwater. During the last months of the period these indications were no longer present. The collected data indicate that only minor amounts of oil have leached from the site.

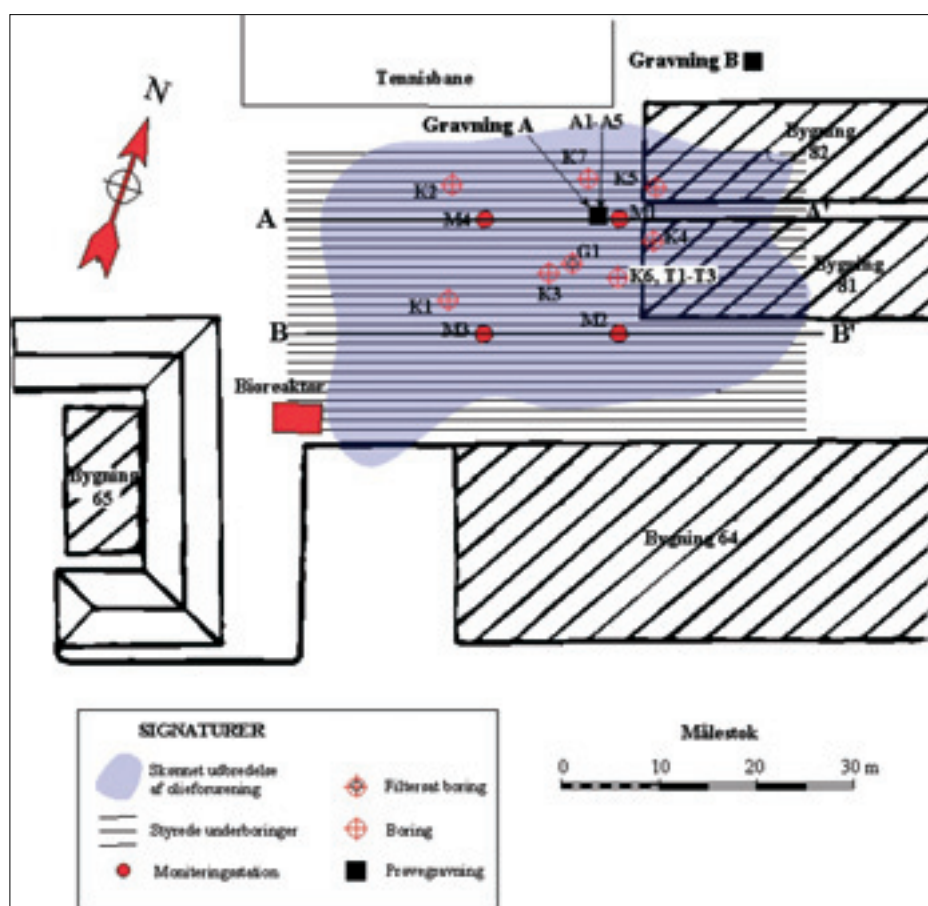
The results of the monitoring gives rise to the following recommendations: Before the use of additives for the enhancement of biological degradation of oil contamination in soil, laboratory treatability tests shall be performed, in order to investigate whether it is physically possible to penetrate the soil with the additive, and whether the additive will enhance the biological degradation of the contaminants.

At the start of the project it was expected that laboratory tests of the additives would be carried out to confirm the ability of the product to degrade oil pollution. These tests were, however, not conducted, for which reason no conclusions on this issue can be drawn.

1 Beskrivelse af lokaliteten

Hvidovre kommune har overtaget Forsvarets tidligere kaserne i Avedøre, Avedørelejren og har videresolgt dele af kaserneområdet til Zentropa ApS. I forbindelse med dette videresalg har Kommunen forpligtet sig til at fjerne al jordforurening fra området.

Størstedelen af jordforureningen er fjernet fra Avedørelejren, men der genstår et område på ca. 1500 m² nord for bygning 64, som er forurenet med let fyringsolie fra en overjordisk tank i henhold til /1/ og /2/. Det kan ses af luftfotos af området, at den overjordiske fyringsolietank har været placeret ved gavlene af de to Rodney-haller, benævnt bygning 81 og 82 på figur 1.1. Olietanken har været opstillet på området i 1970-erne og har formentlig været anvendt til opvarmning af de to haller.

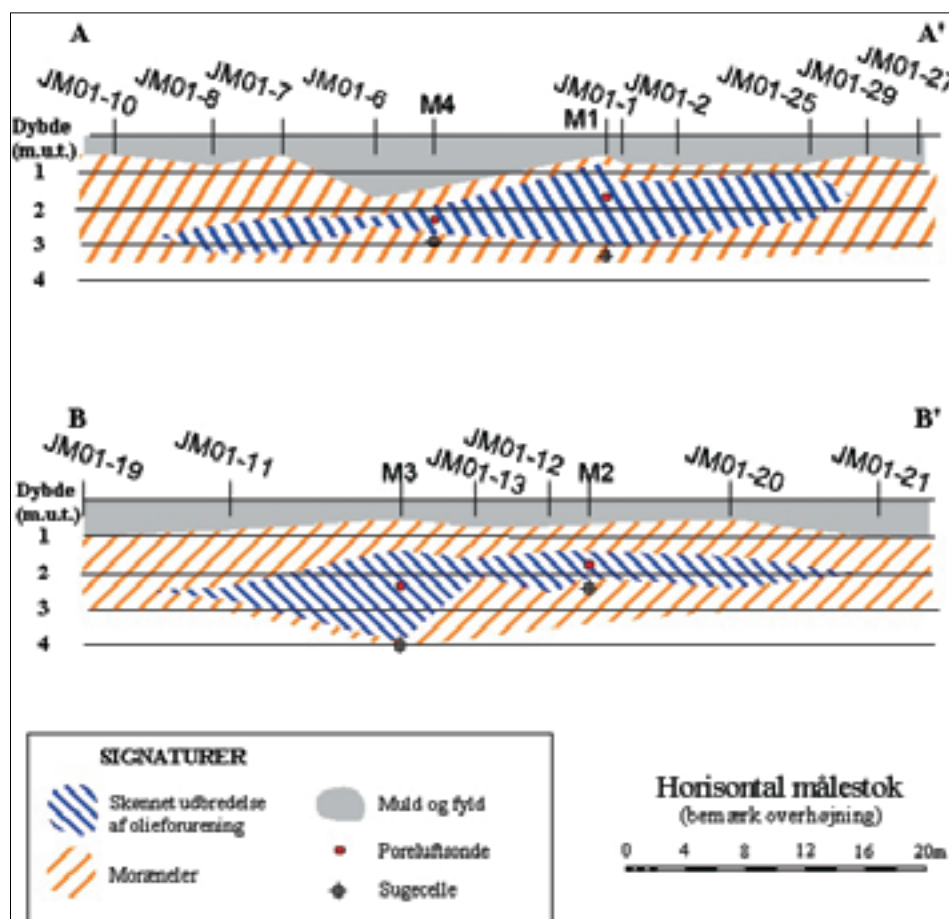


Figur 1.1: Situationsplan

1.1 GEOLOGI OG HYDROGEOLOGI

Terrænkoten i området ligger omkring kote 6, og de geologiske forhold er relativt ukomplicerede. Der findes under fyldlagene i området et morænelerslag af 3-10 meters tykkelse. Moræneleren er kalk- og stenholdig og er meget fast. Enkelte steder i området findes mindre lag af smeltevandssand, som udgør lokale sekundære grundvandsmagasiner.

Det primære grundvandsmagasin findes i Danien kalken under morænelerslaget. Fra dette magasin indvindes drikkevand fra kasernens gamle vandværk i det sydvestlige hjørne af kaserneområdet, fra Avedøre Villaby vandværk og Hvidovre Vandværk. Sidstnævnte to vandværker ligger mere end 2 km fra Avedørelejren. Lokalt i det forurenede område er der truffet et vandførende sandlag 6-8 meter under terræn. Det er mest sandsynligt, at dette sandlag overlejrer kalken og har direkte hydraulisk forbindelse til det primære grundvandsmagasin.



Figur 1.2: Tværsnit langs linierne A-A' og B-B' (jævnfør figur 1.1). Bemærk Overhøjning.

1.2 FORURENINGSFORHOLD

Forureningen er kortlagt i detaljer ved udførelse af i alt 34 miljøtekniske boringer /1/, som er ført ned til 3-4 meters dybde. Der er endvidere udført kemiske analyser af 10 jordprøver i det forurenede område. Disse analyser viser samstemmende, at der er tale om en gasolieforurening med hovedparten af kulbrinterne i intervallet C_{10} - C_{25} . Koncentrationerne af forureningen ligger mellem 250 og 1790 mg/kg TS. I /2/ er imidlertid fundet en oliekoncentration på 3300 mg/kg TS.

Det forurenede jordlag findes fra 1-4 meters dybde, idet de øvre jordlag alle steder er uforurenede. Udbredelsen af det olieforurenede område fremgår af figur 1.1, og det ses, at olieforureningen strækker sig ind under den vestligste del af bygningerne 81 og 82. På figur 1.2 er vist to tværsnit gennem det forurenede område, hvor det olieforurenede lag er indtegnet.

2 Rensemetode

2.1 INDLEDNING

2.1.1 Baggrund

TeamProtection Nordic A/S (tPN) har siden 2000 markedsført Bio-Gel og anvendt produktet til in-situ oprensninger af olie- og benzinformuren jord. Bio-gel er en gel tilsat naturligt forekommende bakterier, næringsstoffer og ilt/iltningsmiddel. Metoden er baseret på stimulering af den biologiske aktivitet i jorden ved tilsætning af dyrkede bakterier, der kan omsætte olie- og benzin, samt næringsstoffer og elektronacceptor (ilt). Derved omdannes kulbrinterne til vand og kuldioxid.

Da olieforureningen strækker sig ind under de to Rodneyhaller, skønnede Hvidovre Kommune derfor, at det kunne være fordelagtigt at undgå en hel eller delvis nedrivning af hallerne ved at gennemføre en in-situ oprensning af olieforureningen. Zentropa, som anvender hallerne til opbevaring af rekvisitter og kontormøbler, har ligeledes været interesseret i at undgå nedrivning af hallerne. Da tPN kunne fremlægge flere referencer på vellykkede oprensninger af olieforurening i jord faldt valget derfor på Bio-Gel metoden.

2.1.2 Formål

Formålet med gennemførelse af supplerende monitoring finansieret af Miljøstyrelsens Teknologipulje er:

- at undersøge om der rent faktisk sker en stimulering af den biologisk nedbrydning af olien og ikke blot en fortrængning eller fortynding af forureningen

2.2 METODEBESKRIVELSE

Ifølge tPN's markedsføringsmateriale /3/ og /4/ kan Bio-Gelen tilføres den forurenede jord på fire måder:

- ved udhældning eller udsprøjtning på jordoverfladen
- ved injektion med højtrykslanser
- ved injektion i fast installerede lodrette, perforerede eller opslidsede stålrør
- ved injektion gennem vandrette perforerede rør, som er nedboret ved styrede underboringer

Princippet i metoden er, at der i den tyndtflydende gel tilføres bakterier af en type, som er specielt velegnet til nedbrydning af den forurening, som findes i det aktuelle forurenede område. Bakteriernes vækst stimuleres ved tilførsel af næringsstoffer og ilt eller iltningsmiddel. Den nøjagtige sammensætning af Bio-Gelen er en forretningshemmelighed og kendes derfor ikke. tPN anfører i deres markedsføringsmateriale, at gelen kan skræddersys til den enkelte forurening, og sammensætningen derfor varierer alt afhængig af forholdene i hver enkelt sag.

Relativt lovende resultater med anvendelse af metoden er beskrevet i /5/.

2.3 ANVENDELSE PÅ DETTE PROJEKT

I det foreliggende tilfælde, hvor forureningen startede 1-1,5 m under terræn var det ikke aktuelt at udsprøjte gelen på jordoverfladen, men tPN skønnede inden indgåelse af entreprisekontrakten, at det ville være mest hensigtsmæssigt at anvende injektion med højtrykslanser.

Inden indgåelse af entreprisekontrakt mellem tPN og Hvidovre kommune blev i august 2001 gennemført et forsøg med lanse- injektion af Bio-Gel i moræneleren. TPN gennemførte forsøget på opfordring fra Jord o Miljø A/S. Testen blev ifølge tPN gennemført med gode resultater.

Efter indgåelse af kontrakten blev det i oktober atter forsøgt at injicere Bio-Gel i det forurenede område, men det viste sig ikke at være muligt på grund af det hårde moræneler. TPN valgte derefter at gennemføre tilledningen af Bio-Gel uden geleringsmiddel (kaldet Bio-Vand) ved at bore perforerede plastrør ned med styrede underboringer. Placeringen af de styrede underboringer er vist på figur 1.1. Med denne metode er det muligt at tilføre Bio-Vand med jævne mellemrum over en længere periode.

Der er i alt nedboret 28 stk. \varnothing 50 mm perforerede PEH rør, som hver har en længde på ca. 50 m. For at lette arbejdet med at samle rørene efter nedboring blev der gravet en nord-sydgående grøft af ca. 2 meters dybde umiddelbart vest for det forurenede område. Efter samling af rørene blev grøften kastet til med det opgravede materiale.

Det var intentionen at udlægge de perforerede rør i dybder, svarende til oversiden af det forurenede jordlag. Ved efterfølgende prøvegravning ved den tidligere olietank er det imidlertid konstateret, at nogle af rørene nærmest var placeret midt i den forurenede horisont. Det var intentionen at tilføre gelen til den forurenede horisont ved gravitationsstrømning fra rørene. Under borearbejdet er anvendt Bio-Gel som smøremiddel i stedet for vand, som sædvanligvis anvendes. Der er under borearbejdet tilført ca. 35 m^3 Bio-Gel til den forurenede jord.

Rørene er forbundet i 5 grupper på hver 5-6 rør. Rørene i hver gruppe blev samlet i en manifold, hvorpå der blev monteret ventiler, som muliggør aflukning af hver af de 5 grupper separat. Ventilerne blev herefter forbundet til et tilledningsrør, som blev tilsluttet en bioreaktor i en container. Placeringen af containeren er vist på figur 1.1.

I bioreaktoren er foretaget en opformering af en bakteriekultur ved tilsætning af næringsstoffer og ilt til vandet i reaktoren. Vandet er opvarmet til 28-30 grader C via en varmeveksler på fjernvarmesystemet. I driftsperioden fra 25. januar 2002 til 18. juli 2002 er der – bortset fra kortere perioder med driftsstop – udledt $2,6 \text{ m}^3$ Bio-Vand pr. døgn. Den samlede udledning af Bio-Vand kan således anslås til 450 m^3 . Sammen med de under borearbejdet tilførte 35 m^3 Bio-Gel bliver det i alt ca 500 m^3 , som er tilført jordmatrixen.

Da udledningen af Bio-Vand er sket på et ca. 1500 m^2 stort område, svarer det til, at der er tilført 333 mm væske på 7 måneder. På årsbasis ville det svare til en tilførsel af ca. 570 mm væske, hvor hovedparten må antages at være vand. Normalt regnes i Østdanmark med en grundvandsdannelse på ca. 100

mm pr. år, og tilførslen af Bio-Vand må således antages at give anledning til en ganske væsentlig forøgelse af nedsivningen til grundvandet.

2.4 MONITERING

Ud over teknologiprojektets monitorering har tPN med et interval på ca. 5 uger gennemført monitorering flere steder i det forurenede område. Monitoreringen er foretaget ved at udføre snegleboringer med Unimog borebil og udtage jordprøver fra sneglen til kemisk analyse for indhold af olieprodukter.

3 Undersøgelser

I forbindelse med Teknologiprojektets monitoring på det forurenede område er etableret fire monitoringstationer, kaldet M1-M4. Beliggenheden af disse fire stationer fremgår af figur 1.1. Stationerne er placeret centralt i det forurenede område med en indbyrdes afstand på 10-15 m, og M1 er placeret, hvor den overjordiske olietank var placeret. Ved disse stationer er udført kemiske analyser af jordprøver, porevandsprøver og poreluftprøver før starten på oprydningen, under driften af in-situ anlægget og efter at anlægget er slukket.

Der er herudover etableret en dybere filtersat boring, G1 omtrent midt i det forurenede område. Denne boring er filtersat i et lokalt lag af smeltevandssand, som findes under den forurenede horisont.

På figur 1.1 er ligeledes vist beliggenheden af de lokaliteter, hvor teamProtection har udtaget kontrolprøverne K1-K7 og T1-T3, og beliggenheden af prøvegravningerne A og B.

3.1 PORELUFTMÅLINGER

Som det fremgår af tabel 3.1 er der etableret poreluftsonder ved hver af de fire stationer. Sonderne består af $\frac{3}{4}$ " galvaniserede jernrør, som er perforeret på de nederste 10 cm. Den perforerede strækning er nedrammet til et niveau, som svarer til den kraftigst forurenede horisont ved hver monitoringsstation. Gennem en tætsluttende Si-gummi prop indføres i hver af disse sonder to stk. \varnothing 1,6 mm kobberør, hvoraf det ene er ført ned til bunden af jernrøret, og det andet ender 5 cm under proppen; og begge er åbne i enderne. Det har derved været muligt via "closed loop" forbindelser at cirkulere en relativt lille luftmængde fra bunden af sonden i de to tynde rør, inden og under selve målingerne. Systemet tilstræber en fuldstændig opblanding af et "Head Space" over samt i gasmæssig ligevægt med porevand i forbindelse med poreluft. I perioderne mellem målingerne holdes begge "minirør" lukket mod den omgivende atmosfære (over terræn).

Der er foretaget målinger af poreluftens indhold af ilt, kuldioxid og methan, da det var forventet, at den biologiske nedbrydning primært ville foregå aerobt, så ilt i poreluften i de forurenede jordlag ville forbruges og måske endda falde og kuldioxidindholdet ville stige. Herudover skulle Bio-Gelen tilføre poreluften ilt med det tilsatte iltningmiddel. Hvis ilttilførslen skulle vise sig ikke at være tilstrækkelig, kunne der ske en anaerob nedbrydning af olien i jorden med stigende methanindhold i poreluften til følge. Derfor blev methanindholdet i poreluften også målt.

Alle poreluftmålingerne er udført in situ af CU Test & Development Ltd. Kontrolmålingerne af poreluftens indhold af kuldioxid og methan blev foretaget med et måleinstrument af typen Brüel & Kjær Type 1302 (høj detektionsfølsomhed). Til de aktuelle målinger anvendtes et måleinstrument af typen Brüel & Kjær Type 1311 til måling af ilt, kuldioxid og methan med

lavere, -men for de faktiske forhold til effektsporing helt tilstrækkelig - følsomhed for kuldioxid og methan.

3.2 UDTAGNING AF PRØVER AF POREVAND OG GRUNDVAND

Som det også fremgår af tabel 3.1 er der på hver af de fire monitoringsstationer etableret sugeceller til udtagning af porevandsprøver. Sugecellerne er af typen ”Prenart Super Steel Soil Water Sampler”, som er placeret i kvartsmel i overensstemmelse med leverandørens anvisninger. Fra sugecellerne er ført 1/8” FEP slange til jordoverfladen, hvor de har kunnet tilsluttes en opsamlingsflaske. Porevandsprøver er udtaget fra jorden omkring sugecellerne ved at etablere et vacuum i opsamlingsflaske og sugecelle. Vacuum er opnået med en bærbar Prenart vacuumpumpe med pressostat. Der er anvendt et vacuum svarende til ca. 600hPa (abs).

Det ses af tabel 3.1, at sugecellerne er placeret i undersiden af den forurenede horisont ved alle stationerne. Der er herudover udtaget prøver af grundvandet fra boringen G1. Som det fremgår af bilag A er boringen filtersat i et vandførende sandlag fra 6-8 meter under terræn. Oversiden af sandlaget er således beliggende ca. 2 m under den olieforurenede horisont i moræneleren, og formålet med udtagning af vandprøver fra denne boring har været at undersøge, om der skulle ske udvaskning af olieforurenede porevand til de dybereliggende jordlag under det forurenede område. Som det fremgår af bilag A er G1 afproppet med bentonit over den filtersatte strækning.

Udstrækningen af sandlaget under det forurenede område kendes imidlertid ikke. Det blev i forbindelse med undersøgelserne af området vurderet som risikabelt at gennembore den forurenede horisont og det underliggende lerlag, og der er derfor ikke boret dybere end 3,5-4 m.u.t., jævnfør /1/.

Vandprøver fra G1 er udtaget med engangs vandprøvehenter efter tømning af et vandvolumen på 10 gange voluminet i borerøret.

3.3 UDTAGNING AF JORDPRØVER

Der er ved de fire monitoringsstationer udtaget jordprøver til kemiske analyser fra 6” snegleboringer, som er udført indenfor et område på 1 gange 1 m omkring stationerne. Jordprøverne er ved alle prøvetagningsrunder udtaget i samme dybde ved hver monitoringsstation. Prøvetagningsdybden er valgt således, at den repræsenterer den horisont, hvor oliekoncentrationen inden oprensningens begyndelse blev skønnet at være højest.

Beliggenheden af den forurenede horisont ved de forskellige stationer og prøvetagningsdybderne, som svarer til den kraftigst forurenede dybde fremgår af nedenstående tabel 3.1.

Monitorings-Station	Forurenede konstateret		Kraftigst jordforurening (m.u.t.)	Placering af sugecelle/filter (m.u.t.)	Placering af poreluftspyd (m.u.t.)
	Fra (m.u.t.)	Til (m.u.t.)			
M1	0,50	3,25	1,70	3,35	1,70
M2	1,73	2,25	1,80	2,35	1,80
M3	1,50	4,00	2,20	4,00	2,20
M4	1,75	2,75	2,30	2,85	2,30
G1	-	-	-	6,0-8,0	-

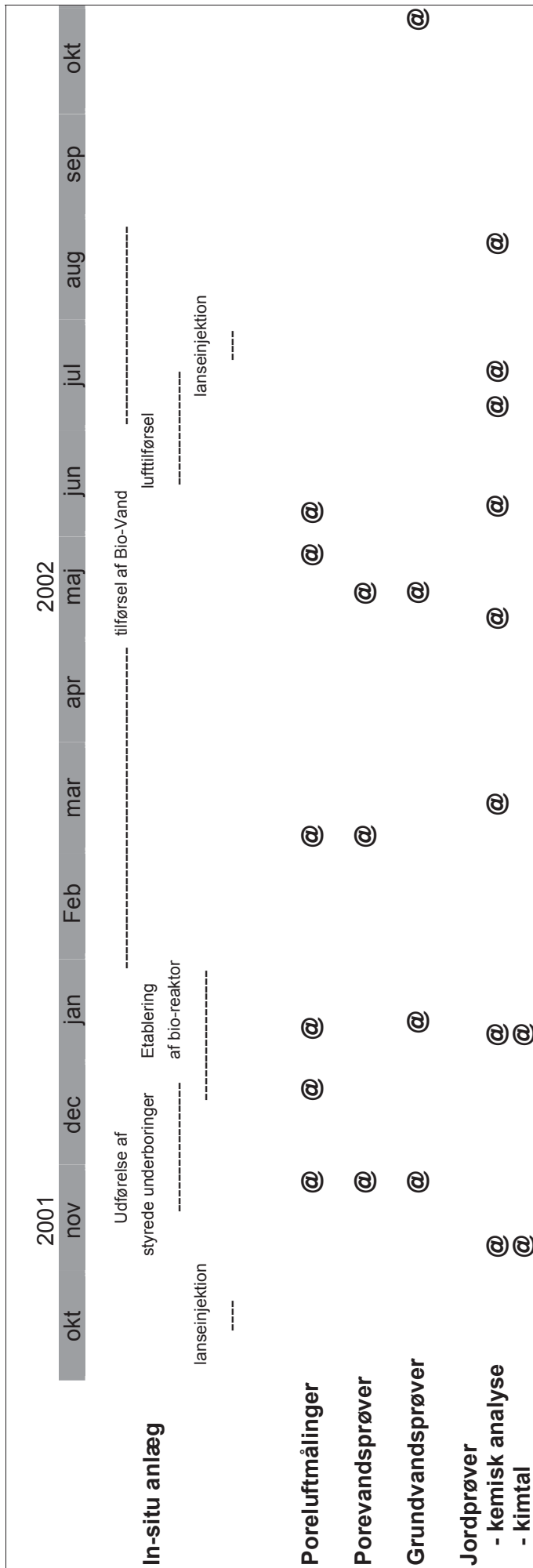
Tabel 3.1. Dybder for prøvetagning af jord, porevand, grundvand og poreluft.

På de udtagne jordprøver er udført kemiske analyser for bestemmelse af indholdet af total kulbrinter og forskellige målinger af den biologiske aktivitet i prøverne.

3.4 SLUTKONTROL

Efter afslutningen af injektionen af Bio-Gel og Bio-Vand er udført en slutkontrol i en udvalgt del af det forurenede område. Denne kontrol er udført ved en prøvegravning benævnt gravning A umiddelbart vest for M1. Placeringen af gravningen er vist på figur 1.1. Prøvegravningen er ført ned til de vandrette PEH rør omkring 2 m.u.t., og der er foretaget en visuel inspektion af en nord-sydgående lodret gravefront. Desuden er udtaget intakte jordprøver til bestemmelse af den biologiske aktivitet i jorden samt jordprøver til kemisk analyse for indhold af kulbrinter. De udtagne jordprøver er udtaget umiddelbart op ad de vandrette PEH rør og i forskellig afstand fra rørene.

Som referencegrundlag for de biologiske tests er desuden udført en 2 m dyb prøvegravning i det uforurenede område nord for gravning A. Denne gravning er benævnt gravning B. Der er fra gravefronterne i gravning B udtaget jordprøver til biologiske tests, og resultaterne af disse tests er sammenlignet med resultaterne fra det forurenede område.



FIGUR 4.1: PROJEKTFORLØB.

4 Resultater

I forbindelse med planlægningen af prøvetagningstidspunkter er det valgt at anvende poreluftmålingerne som indikator for, hvornår det er relevant at gennemføre prøvetagning i jord og porevand. Poreluftmålingerne udmærker sig ved at være relativt enkle og hurtige at udføre, og måleresultaterne foreligger umiddelbart efter målingerne. Prøvetagning af grundvand fra G1 er udført med lidt længere intervaller end de øvrige prøver, da det er skønnet, at nedsivningstiden for forurenede porevand til sandlaget er et par måneder. Der må derfor påregnes en forsinkelse af eventuelle ændringer i grundvandets sammensætning.

Da prøvetagningsmetoden og analysemetoden for de jordprøver, som er udtaget af tPN i forbindelse med deres monitoring på det forurenede område, er identisk med metoderne valgt i Teknologiprojektet er det valgt at præsentere tPN's resultater sammen med dataene fra Teknologiprojektet.

På figur 4.1 er vist en tidsakse, hvorpå tidspunkterne for prøvetagningerne er vist sammen med driften af in-situ anlægget. Tidsaksen viser, at udførelse af de styrede underboringer blev påbegyndt, inden den første monitoringsrunde blev udført. De første styrede underboringer blev imidlertid udført i den nordlige del af det forurenede område. Startmålinger i både jord, poreluft, porevand og grundvand i den centrale del af det forurenede område er udført, inden de styrede underboringer i samme område. Startmålingerne kan derfor regnes at være upåvirkede af tilførslen af Bio-gelen, og repræsenterer derfor den naturlige tilstand i det forurenede område.

4.1 PORELUFTMÅLINGER

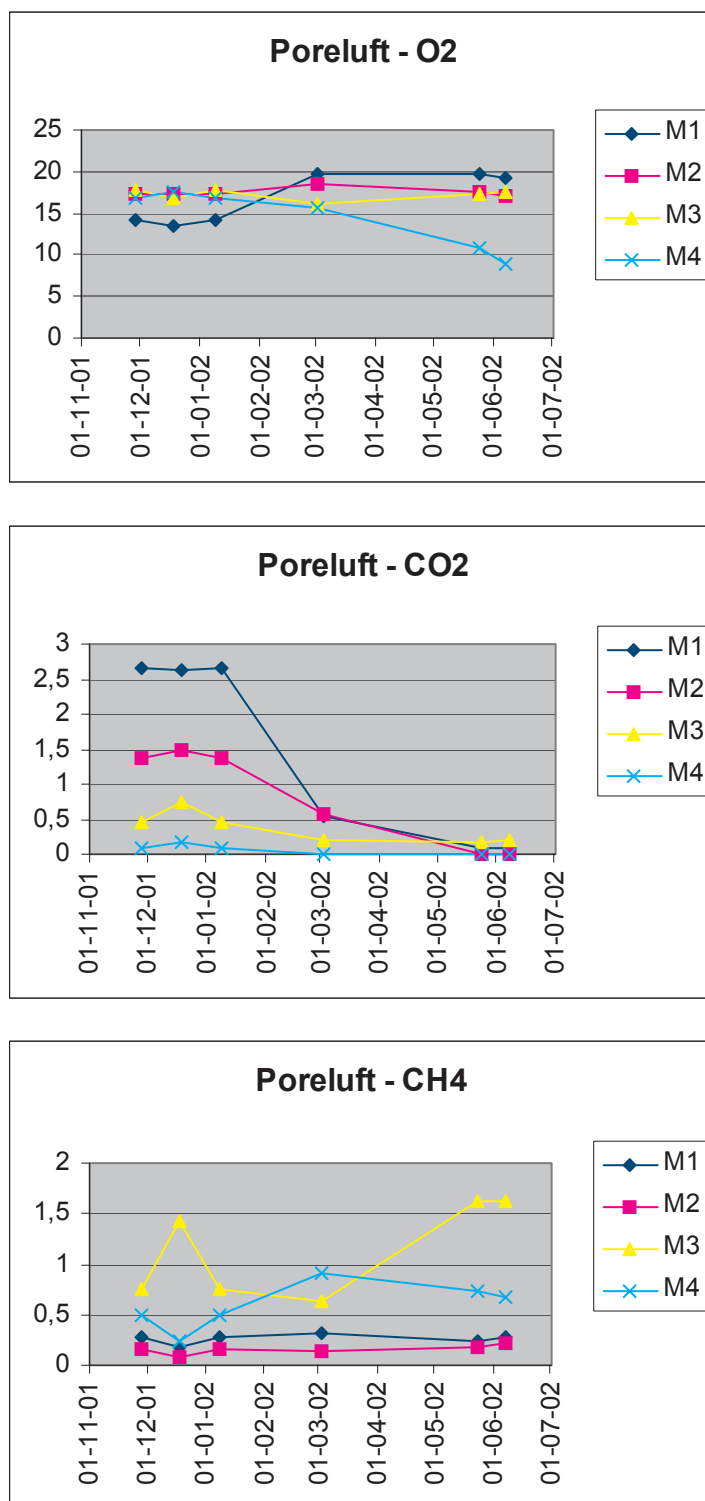
Resultaterne af poreluftmålingerne er vist grafisk i figur 4.2, hvor udviklingen i iltindholdet, kuldioxidindholdet og methanindholdet i poreluften er vist. Enheden er % v/v. De tilgrundliggende data er gengivet i bilag B. I atmosfærisk luft er indholdet af ilt omkring 21% og koncentrationen af kuldioxid i den tempererede geografiske zone mellem 0,027% og 0,036%, ved Avedørelejren/Filmbyen blev målt 0,028%. Methanindholdet i atmosfærisk luft er generelt lavt, svarende til 0,00022%, men kan lokalt variere en del netop grundet lokal methanogen aktivitet.

4.1.1 Startkoncentrationer

De første poreluftmålinger inden tilførsel af Bio-Gel viser generelt, at iltindholdet midt i den forurenede horisont ligger markant under iltindholdet i atmosfærisk luft og kuldioxidindholdet de fleste steder ligger markant over baggrundsniveauet. Det tyder på, at der fra begyndelsen var en biologisk nedbrydning af olien i gang. Målingerne tyder på, at den biologiske aktivitet var størst ved kilden i M1, hvor iltforbruget tydeligvis var størst, og kuldioxidproduktionen også var størst.

At den aerobe biologiske aktivitet var størst tæt ved kilden skyldes formentlig, at forureningen her ligger mest terrænnært og at diffusionsvejen for ilt derfor er kortest.

Boreprofilerne i undersøgelsen /1/ viser desuden, at oliespildet i muldlaget er fuldstændigt nedbrudt, og det kan derfor antages, at der er sket en betydelig



Figur 4.2: Resultater af poreluftmålinger ved M₁-M₄. Alle værdier i volumen %.

opformering af naturligt forekommende olienedbrydende bakterier i dette jordlag. Denne population af bakterier kan med nedsivende regnvand være blevet transporteret ned i den forurenede moræneler ved M1 og være årsag til CO₂-dannelsen.

Der blev endvidere målt et vist methanindhold i alle målepunkter, hvilket kunne tyde på, at der også sker en anaerob, methanogen nedbrydning af kulbrinter i jorden allerede inden in-situ oprensningen blev påbegyndt. Det ses, at de højeste koncentrationer af methan generelt findes i M3 og M4, hvilket også kunne forventes, da både forurening og sonder ligger dybere end M1 og M2.

4.1.2 Udvikling i poreluftmålinger

Betragtes udviklingen i måleresultaterne fra poreluftsonderne på figur 4.2 ses følgende tendenser:

- ingen generel udvikling i iltindholdet, dog stigende tendens for M1 men faldende for M4
- ingen væsentlige ændringer i methankoncentrationerne i M1 og M2, men stigende tendenser for de to dybeste sonder M3 og især M4
- efter at tilførsel af Bio-vand påbegyndes i januar 2002 ses en klar faldende koncentration af kuldioxid i alle fire poreluftsonder

Det var forventet, at tilførsel af iltningmiddel, bakterier og næringsstof med Bio-Vandet ville medføre stigende kuldioxidkoncentrationer pga. øget aktivitet af de tilsatte aerobe bakterier. Dette var ikke tilfældet.

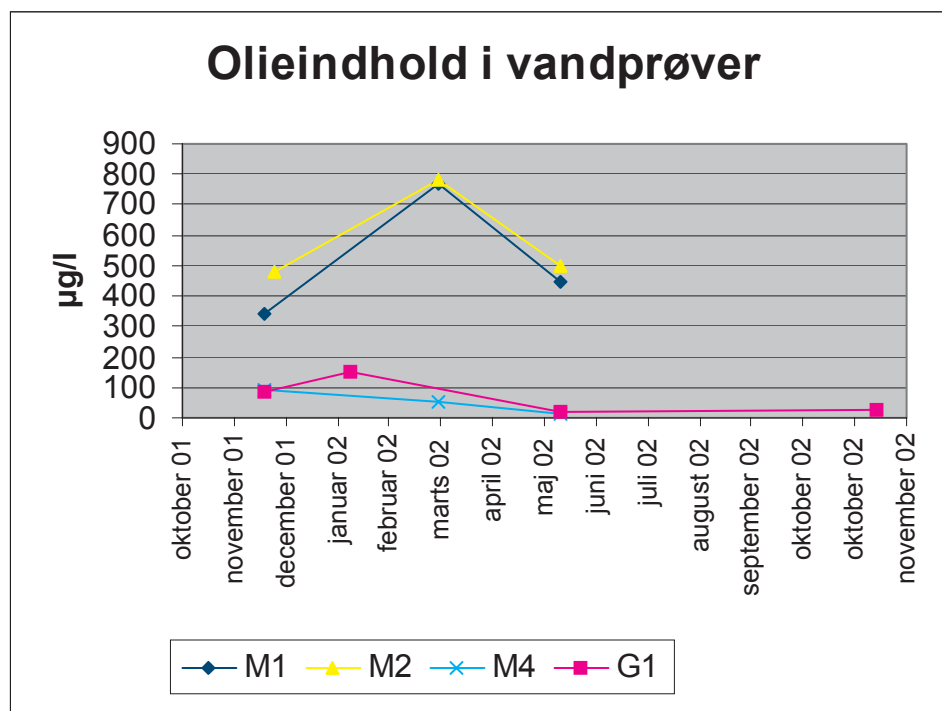
Poreluftmålingerne giver ikke noget entydigt resultat. Iltmålingerne ligger højere end forventet, og ændrer sig ikke i løbet af perioden. Nogle af iltmålingerne og samtlige CO₂ målinger tyder på en kraftig hæmning af den aerobe omsætning efter tilførsel af Bio vandet. Der er en vis stigning i methanproduktionen i M3 og M4, hvilket kunne tyde på en stimulering af den anaerobe aktivitet. Dette harmonerer dårligt med de målte iltkoncentrationer, omend der kan forekomme redox mikronicher i jorden. Derfor må faldet i CO₂ koncentration skyldes andre faktorer end skift i redoxforhold, medmindre de målte iltkoncentrationer er forkerte.

4.2 KEMISKE ANALYSER AF POREVAND OG GRUNDEVAND

Variationerne i indholdet af kulbrinter i porevandet og i grundvandsboringen G1 er vist på figur 4.3 på næste side. De tilgrundliggende analysedata er gengivet i bilag C.

Det ses af graferne i figur 4.3, at oliekoncentrationerne i porevandet i M1 og M2 er af samme størrelsesorden, mens oliekoncentrationen i sugecellen ved M4 er noget lavere. Dette skyldes, at jordforureningen er svagere ved M4 end ved de to andre monitoringsstationer. Oliekoncentrationen i det sekundære grundvand midt i det forurenede område er som forventeligt også lavere end gennemsnittet af porevandskoncentrationerne. Dette skyldes større fortynding med rent porevand fra de omgivende områder.

De tre målerunder på porevandet og det sekundære grundvand viser i de fleste målepunkter en stigende tendens i den første del af oprensningsperioden, hvorefter der sker et fald. I den lettere forurenede område ved M4 sker der imidlertid et jævnt fald.



FIGUR 4.3: TOTALKULBRINTEINDHOLDET I VANDPRØVER (POREVAND: M1, M2 OG M4, GRUNDVAND: G1).

En sandsynlig forklaring på dette forløb kan være, at der i den første del af oprensningsperioden sker en mobilisering og udvaskning af jordforurening til porevandet og herefter sker der primært en fortynding af porevandsforureningen. I bilag D er gengivet en risikovurdering for det primære grundvand, hvor det teoretisk er beregnet, hvilken oliekoncentration der vil komme i det primære grundvand som følge af udvaskningen. Risikovurderingen er gennemført med Miljøstyrelsens JAGG-model /6/, og beregningen viser, at den resulterende koncentration i det primære grundvand vil blive omkring 370µg/l. Dette resultat overestimerer de faktisk målte koncentrationer med en faktor ca. 2 som vist i figur 4.3. Det er sandsynligt, at årsagen er de konservative antagelser i beregningerne.

4.3 JORDPRØVER

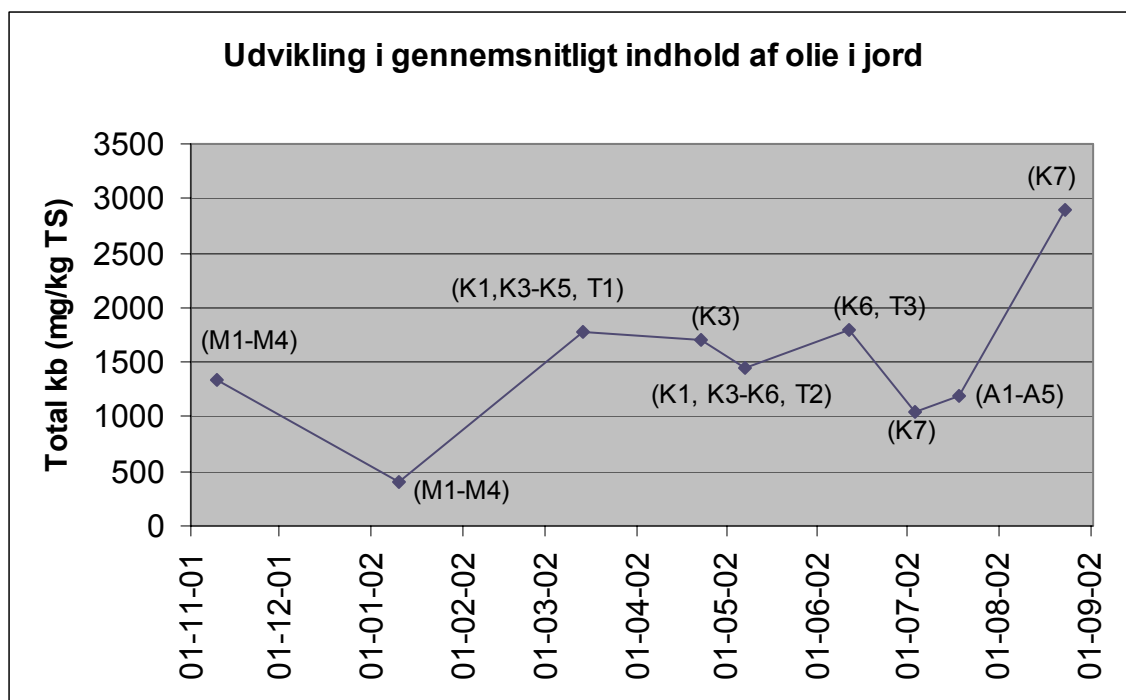
4.3.1 Kemiske analyser

De foreliggende kemiske analyser af jordprøver fremgår af bilag E, hvoraf det ses, at langt den overvejende del af kulbrinterne ligger i intervallet C₁₀-C₂₅, medens en lille del af forureningen består af lettere kulbrinter. Dette er typisk for let fyringsolie, og sammensætningen af jordforureningen varierer kun marginalt mellem de forskellige prøver. Det er derfor valgt alene at vise koncentrationerne af total kulbrinter i jordprøver i figur 4.4.

For at illustrere den tidsmæssige variation i jordforureningen er på figuren vist de gennemsnitlige koncentrationer af kulbrinter i flere jordprøver fordelt på området. Prøverne er ikke nødvendigvis udtaget i samme dele af det

forurenede område, men på figuren er angivet, hvilke jordprøver, som indgår i de enkelte gennemsnitstal.

Det ses af figuren, at der tilsyneladende ved M1-M4 er sket et markant fald i forureningskoncentrationen fra november 2001 til januar 2002. Dette er dog ikke udtryk for et reel tendens, da faldet i gennemsnitskoncentrationen i alt væsentligt skyldes et væsentligt fald i koncentrationen ved M3 fra 3700 til 91 mg/kg TS. Denne forskel må tilskrives en betydelig geologisk eller forureningsmæssig inhomogenitet, da resultaterne er fremkommet på jordprøver udtaget i samme dybde men med ½-1 meters afstand.



FIGUR 4.4: ANALYSERESULTATER AF JORDPRØVER. ALLE VÆRDIER ANGIVER TOTALINDHOLDET AF KULBRINTER MÅLT I MG/KG TØRSTOF.

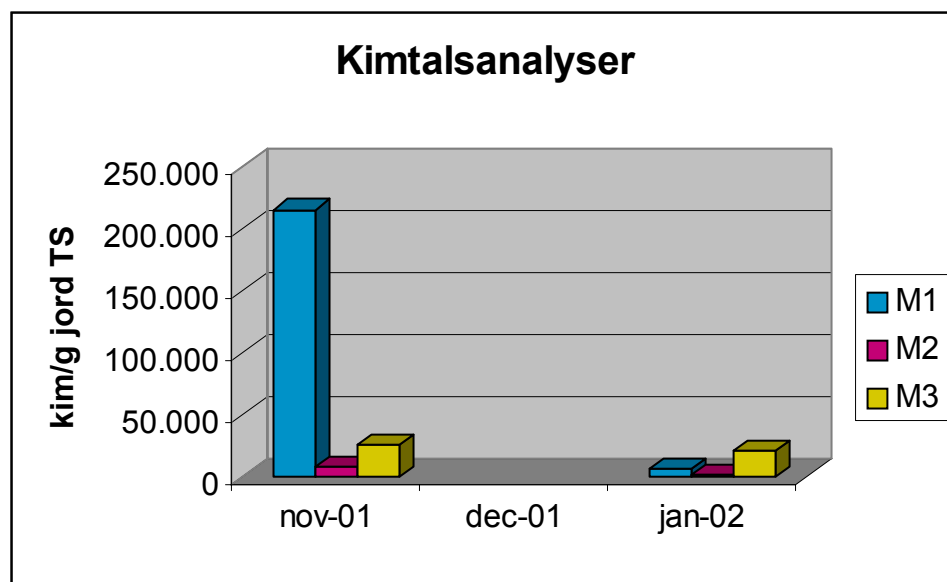
I øvrigt viser figuren, at på baggrund af de gennemsnitlige forureningskoncentrationer i størstedelen af oprensningsperioden er der ingen tegn på, at koncentrationerne falder. Målet med oprensning af forureningen til 100 mg/kg TS nås således ikke i observationsperioden.

4.3.2 Målinger af biologisk aktivitet

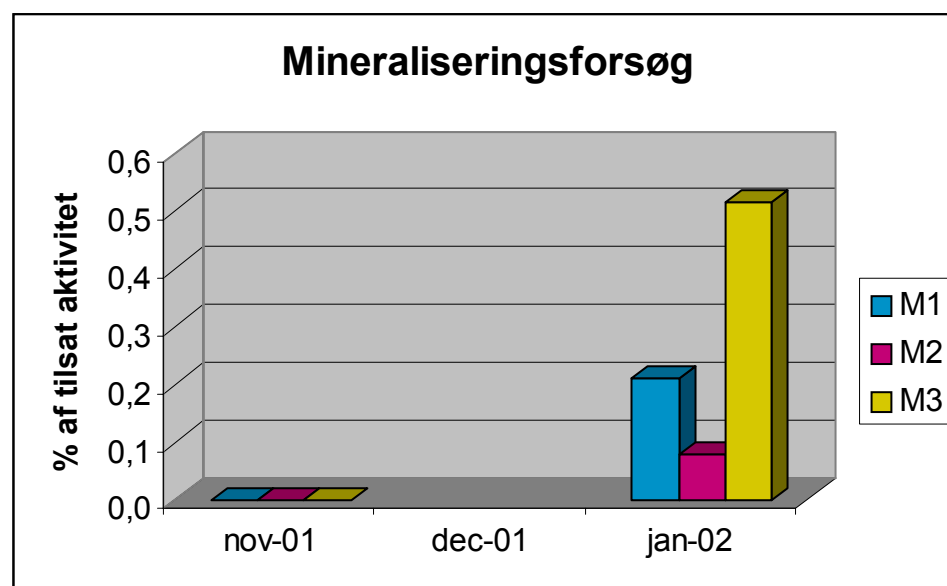
For at vurdere, om der kan ses en forøget vækst af bakterier i jorden som følge af tilsætningen af Bio-Vand, er der foretaget dyrkning af opslemmede jordprøver på Noble Agar plader. Antallet af kolonier pr. gram tør jord, som i løbet af 7 dage vokser op ved 21°C, er defineret som kimtallet. Denne kimtalsbestemmelse giver alene et udtryk for størrelsen af den mikrobielle flora, men siger intet om arten af bakterierne.

En nærmere beskrivelse af bakteriedyrkningen og resultaterne findes i bilag F. Som det fremgår af figur 4.5, er kimtallet bestemt ved M1, M2 og M3 i den mest forurenede horisont før starten af oprensningen i november 2001 og efter tilførsel af Bio-Vand med de styrede underbøringer. Der ses ingen tegn på, at den mikrobielle aktivitet på baggrund af kim-tal analyser skulle være stimuleret ved tilførslen af Bio-Vandet.

En anden måde at vurdere den mikrobielle aktivitet på er at udføre mineraliseringsforsøg på jordprøver. Ved mineraliseringsforsøgene er det målt, hvor hurtigt de tilstedeværende bakterier i jorden nedbryder C14-mærket hexadecan til C14-mærket kuldioxid. Hexadecan anses for at være relativt typisk for de kulbrintekæder, som findes i let fyringsolie. Mineraliseringsforsøgene er udført ved 10°C, nogenlunde svarende til jordens temperatur i det forurenede område, og de øvrige detaljer vedrørende forsøgene fremgår af bilag F, hvori resultaterne også er vist.



FIGUR 4.5: RESULTATER AF KIMTALSFORSØG.



FIGUR 4.6: RESULTATER AF MINERALISERINGSFORSØG.

På figur 4.6 er resultaterne af mineraliseringsforsøgene vist grafisk. Der er udført dobbeltbestemmelser af omsætningen, og gennemsnittet af de to bestemmelser er vist på figuren. Det ses, at der inden påbegyndelse af in-situ oprensningen ikke kunne påvises nogen mineralisering i jordprøver fra den mest forurenede horisont i M1, M2 eller M3. Efter injektionen af de 35 m³ Bio-gel under udførelse af de styrede underboringer kan der i januar 2002 måles en vis nedbrydning af de tilsatte kulbrinter. Nedbrydningen er målt efter 14 dage, og det ses at den højeste omsætning er fundet ved M3, hvor

ca.0,5% af den i laboratoriet tilsatte mængde kulbrinter er omsat efter 14 dages forløb.

Hvis denne omsætningshastighed kunne forventes at være konstant, ville en fuldstændig mineralisering af de tilsatte kulbrinter således vare 7-8 år. Det vil være mere realistisk at forvente, at nedbrydningshastigheden falder med tiden, og ovennævnte skøn må således anses for meget optimistisk.

4.4 SLUTKONTROL

Da det i løbet af foråret 2002 stod klart, at det ville blive meget vanskeligt at opnå en tilfredsstillende rensning af det forurenede område med Bio-Gelen indenfor den aftalte tidsramme, besluttede styregruppen for projektet at gennemføre en intensiv kontrolrunde på en udvalgt lokalitet. Det blev besluttet at gennemføre en frigravning af to af de nedgravede injektionsrør ved M1 og foretage en fysisk inspektion af jordlagene omkring rørene. Denne gravning er benævnt gravning A.

Der blev desuden udtaget jordprøver i forskellig afstand fra rørene til kemiske og biologiske analyser. Som reference blev herudover udtaget jordprøver til tilsvarende analyser fra en gravning udenfor det forurenede og behandlede område. Denne gravning er benævnt gravning B.

4.4.1 Kemiske analyser

Resultaterne af denne slutkontrol fremgår af bilag E, og i figur 4.7 er fotos fra prøvegravningerne vist. Der er udtaget 5 stk. jordprøver til kemisk analyse fra udgravning A. Jordprøverne er benævnt A1-A5, og er alle udtaget i 2,3 meters dybde, svarende til undersiden af de to blå injektionsrør, som på dette sted lå med 1,6 meters indbyrdes afstand. Prøverne er udtaget i forskellig afstand fra rørene som vist i figur 4.8, hvoraf det fremgår, at prøverne A1 og A5 er udtaget i jorden umiddelbart op ad injektionsrørene. Ved frigravningen kunne det konstateres, at jorden i et lag på ca. 2 cm umiddelbart omkring rørene var helt vandmættet. Bortset fra, at morænerelen umiddelbart omkring rørene var vandmættet, kunne ikke erkendes forskel i hverken farve eller lugt mellem den omkringliggende jord og jorden ved rørene. Begge steder var jorden blåfarvet og med kraftig lugt af fyringsolie.

Indholdet af total kulbrinter i jordprøverne fremgår også af figur 4.8, og er opsummeret i bilag E. Det ses overraskende heraf, at de højeste oliekoncentrationer findes i jordprøverne, udtaget umiddelbart ved injektionsrørene, mens jordforureningen midt imellem de to rør ligger på 500-900 mg/kg TS, svarende til niveauet for de tidligere kemiske analyser af jordprøver fra M1.

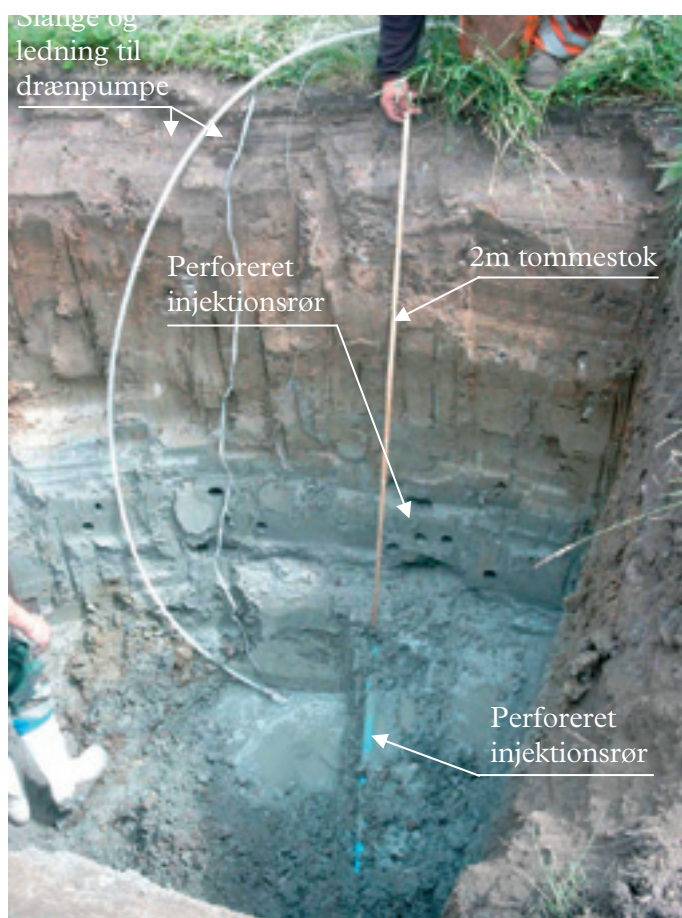
Det var selvsagt forventet, at tilsætningen af Bio-Gel og Bio-Vand via injektionsrørene ville have medført en stimulering af olienedbrydningen i hvert fald tæt ved rørene, men dette er tydeligvis ikke tilfældet. I stedet har opblødningen af leret omkring rørene formentlig medført en vandret transport af olieforurening fra de mere forurenede områder under Rodney-hallerne og ud langs injektionsrørene. Under Rodney-hallerne er ved undersøgelserne /1/ fundet forureningsniveauer på mellem 1000 og 1800 mg/kg, og dette niveau svarer til koncentrationerne i A1 og A5.

I bilag G er gengivet resultaterne af en permeationsundersøgelse, udført på 4 intakte jordprøver udtaget i gravefronten i gravning A. Prøverne er udtaget i 2 meters dybde i de huller, som kan ses i gravefronten på fotografierne i figur

4.7, og prøvetagningen er sket ved indpresning af et $\varnothing 40$ mm messingrør med en længde på 100 mm. Disse jordprøver er eksponeret for tritieret vand (HTO) fra den ene ende og tidsmæssigt indenfor en forudvalgt periode, og temperaturmæssigt ved en temperatur på 10°C . Herefter er jordprøverne frosset og skåret i mm tynde skiver. Ved at måle koncentrationen af HTO i de udskårne skiver har jordprøvernes permeationsegenskaber kunnet bestemmes. Et tilsvarende forsøg er gennemført med en jordprøve fra gravning B.



BILLEDE 1: GRAVNING A - SET MOD SYD



BILLEDE 2:
GRAVNING A - SET
MOD ØST

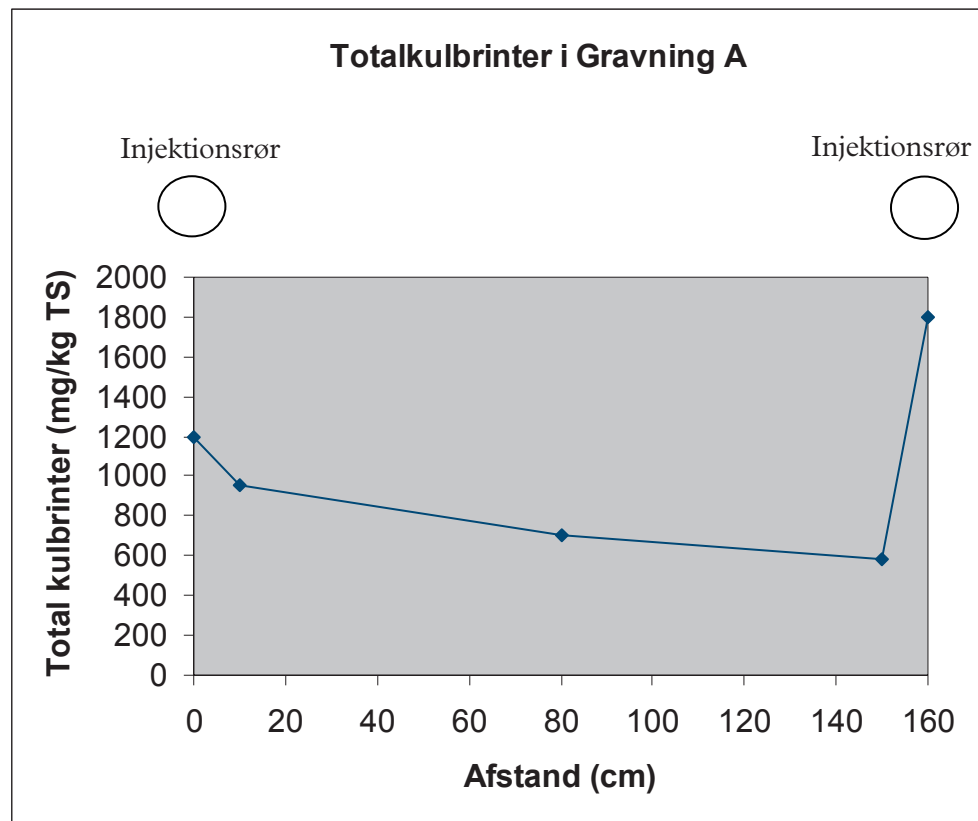
FIGUR 4.7: FOTOS TAGET I FORBINDELSE MED PRØVEGRAVNINGERNE 4. JULI 2002. BILLEDE 1 TIL 3 ER TAGET I UDGRAVNING A, INDEFOR DET FORURENEDE OMRÅDE. BILLEDE 4 (NÆSTE SIDE) ER TAGET I UDGRAVNING B NORD FOR DET FORURENEDE OMRÅDE.



BILLEDE 3:
GRAVNING A - SET
MOD SYD



BILLEDE 4:
GRAVNING B - SET
MOD ØST



FIGUR 4.8: INDHOLD AF TOTALKULBRINTER I JORDPRØVER UDTAGET I FORSKELLIGE AFSTANDE FRA INJEKTIONSØR.

Resultaterne omregnes til diffusionskoefficienter ved jordtemperaturen og anvendes til en prognostisering (jvf. Fich lov) af indtrængningsdybden versus tid. Dette viser, at permeationen af vand med eventuelt indhold af bakterier, næringssalte og iltningmiddel maksimalt trænger 70-80 mm ind i lerjorden på 90 dage. I en uforurenet jordprøve fra gravning B er indtrængningsdybden bestemt og beregnet til ca. 100 mm i løbet af en 90 dages periode. Indtrængningsforsøg prognosticeret over en 180 dages periode indikerer en indtrængningsdybde på 110-120 mm i det forurenede område. (Der er kalkuleret med at Bio-gelens/Bio-vandets koncentration i den indtrængende "front" forekommer med 50% i forhold til det i forvejen eksisterende vand (porevand).

4.4.2 Biologiske undersøgelser

I bilag F er gengivet en række resultater af bakteriedyrkningsforsøg på 2 jordprøver fra gravning A og 1 jordprøve fra gravning B. Der er ligeledes gennemført dyrkningsforsøg på ren Bio-Gel, udleveret af tPN. TPN har oplyst analyselaboratoriet om arten af de bakterier, som er tilsat Bio-Gelen og Bio-Vandet, men deres identitet er fortrolig. Bakterierne er isoleret fra forurenede jord og forekommer naturligt i jord. Det har været formålet med forsøgene at undersøge, om det er muligt at genfinde bakteriestammerne fra Bio-Gelen i jordprøver fra det behandlede område. Der er derfor gennemført dyrkningsforsøg på tre forskellige dyrkningsmedier: Gould S1, Kings B og PCA. Ved dyrkning på Gould S1 skulle en af bakterierne fra Bio-Gelen vokse godt, mens væksten af de fleste andre bakterier skulle hæmmes.

Ved dyrkningsforsøgene kunne ikke påvises vækst af den pågældende stamme i nogen af de to jordprøver fra gravning A i det behandlede område. Ved

dyrkning af Bio-Gel prøve fra 12. juli kunne heller ikke påvises vækst af den pågældende bakterietype, men vækst af andre bakterier (ved dyrkning på Kings B og PCA).

Der kunne kun påvises vækst af den pågældende bakteriestamme, som Bio-Gelen angiveligt skulle indeholde, i en blandeprøve af to jordprøver fra ca. 2 meters dybde i gravning B ca. 20 m nord for det behandlede område. Den pågældende bakteriestamme vides at forekomme naturligt i dansk jord.

Det er efterfølgende undersøgt, om de bakterier fra Bio-Gelen, som kunne vokse på PCA, er identiske med de bakterier, som blev fundet i jordprøverne fra gravning A. Dette er gjort ved at undersøge bakteriernes evne til at nedbryde 95 forskellige stoffer i Biolog GN Microplates. Bakterier, som kan nedbryde de samme stoffer betragtes som ens.

Resultaterne af disse undersøgelser viser, at der er stor forskel mellem bakterierne i Bio-Gelen og bakterierne i jordprøverne fra gravning A. Konklusionen af denne undersøgelse er, at det ikke kunne eftervises, at der skulle være sket spredning af bakterier fra Bio Gelen til de udtagne jordprøver i gravning A.

5 anbefalinger og konklusioner

Der er udført målinger på jord-, vand- og poreluftprøver fra et olieforurenede område ved bygning 64 i Avedørelejren i forbindelse med forsøg på en biologisk nedbrydning af olieforureningen. Den forurenede jord består af fast moræneler, og der er over en periode på 10 måneder tilført ca. 500 m³ Bio-Vand til området. Den nøjagtige sammensætning af produkterne er en forretningshemmelighed, men produktet skulle indeholde en bestemt bakteriestamme, som skulle være specielt velegnet til at nedbryde olieforurening, næringsalte og iltningsmiddel.

Målingerne og undersøgelserne har givet følgende resultater:

- permeationsforholdene i moræneleren på den aktuelle lokalitet medfører, at der maksimalt kan påregnes en indtrængningsdybde for vand i leren på 20 cm i løbet af et halvt år
- det har ikke kunnet påvises, at oliekoncentrationerne i det forurenede område er blevet reduceret
- der har ikke kunnet måles sikre tegn på forøget aerob biologisk aktivitet i området ved kuldioxid- produktion eller forøget iltforbrug i poreluften i jorden
- der har ikke kunnet måles sikre tegn på forøget anaerob biologisk aktivitet i området ved forøget methanindhold i poreluften i jorden
- en af de bakteriestammer, som Bio-Vandet angiveligt skulle indeholde, har hverken kunnet genfindes i selve produktet eller i jorden i det behandlede område med de anvendte analyser
- det har ikke kunnet påvises, at de bakterier, som er fundet i Bio-Vandet, er blevet spredt til jorden
- i de første måneder af forsøget kunne ses tegn på en vis udvaskning af olieforurening til porevand og grundvand i området, men efter et halvt år var denne effekt ikke længere tydelig

Det står efter gennemførelse af forsøget klart, at det har været forbundet med store vanskeligheder rent fysisk at presse Bio-Vandet ud i den tætte lerformation. Sammen med de øvrige negative resultater fra forsøget giver det anledning til at anbefale, at der inden in-situ behandling af jordforurening gennemføres følgende grundige forundersøgelser:









- laboratorie- og feltforsøg, hvor den aktuelle jordarts permeabilitet og diffusionsegenskaber bestemmes, og den mest velegnede metode for tilførsel af bakterier, næringsstoffer og elektronacceptor fastlægges
- treatability test, hvor jord fra den forurenede lokalitet og Bio-Vand blandes, og den mikrobielle nedbrydning måles med henblik på at vurdere om der sker en stimulering af aktiviteten ved behandlingen

Som nævnt i forordet var det ved igangsættelse af projektet forventet, at der sideløbende med dette projekt var blevet gennemført laboratorieforsøg til at belyse Bio-Gelen/Bio-Vandets evne til at nedbryde olie i jord. Dette forsøg blev dog desværre ikke gennemført. Det kan derfor ikke udelukkes, at Bio-Vandet under mere gunstige geologiske forhold vil kunne fremme en biologisk nedbrydning af olie i en forurenede jord, omend de gennemførte undersøgelser ikke tyder på, at produktet er velegnet til formålet.

6 Referencer

- /1/ Hvidovre kommune (2001). Miljøteknisk undersøgelse af olieforurening ved bygning 64 i Avedørelejren, Avedøre Tværvej 10. Jord Miljø A/S 7. Juni 2001.
- /2/ Hvidovre Total Entreprise ApS (2001): Avedøre Tværvej 10, Geoteknisk og miljøteknisk undersøgelse. Carl Bro A/S, marts 2001
- /3/ teamProtection Nordic A/S (2001): Markedsføringsmateriale, samlet i mappe, august 2001.
- /4/ TeamProtection Nordic A/S (2001): Nyhedsbrev Årgang 1, Vol.1 af 14. august 2001.
- /5/ Chresten Madsen, Michael Mücke Jensen og Lars Mortensen, AV-info fra Amternes Videncenter for jordforurening 5/2001: In-situ nedbrydning af olie med Bio-Gel™.
- /6/ Miljøstyrelsen (1998): Oprydning på forurenede lokaliteter – Hovedbind. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 6, 1998.

Moniteringsstation M1

Dybde		Jordartsbeskrivelse	Lugt	PID
0 -		MULD	0	
0,5 -		MORÆNELER, gulbrun	1	
1,0 -		do	1	
1,5 -		do	2	
2,0 -		MORÆNELER, grå *	3	
2,5 -		do	2	
3,0 -		do	1	
3,5 -		do ☐	0	
4,0 -				
4,5 -				
5,0 -				
5,5 -				
6,0 -				
6,5 -				
7,0 -				
7,5 -				
8,0 -				

* prøver udtaget til analyser

☐ sugecelle

0=ingen lugt 1=svag 2=lugt 3=kraftig lugt

Rådgivende Ingeniørfirma JORD*MILJØ A/S Eremitageparken 341 2800 Lyngby Tlf: 35 82 04 02 Fax: 35 82 19 77	Lokalitet: Avedørelejren, Bygning 64	
	Udført: 8/11-2001	Boremethode: 4" snegl
	Terrænkote	VS
	Filterrør	Filterinterval
	Bemærkninger	

Moniteringsstation M2

Dybde		Jordartsbeskrivelse	Lugt	PID
0 -		MULD	0	
0,5 -			0	
1,0 -		MORÆNELER, gul, okkerslirer	0	
1,5 -		do *	3	
2,0 -		do	1	
2,5 -		do ☐	0	
3,0 -				
3,5 -				
4,0 -				
4,5 -				
5,0 -				
5,5 -				
6,0 -				
6,5 -				
7,0 -				
7,5 -				
8,0 -				

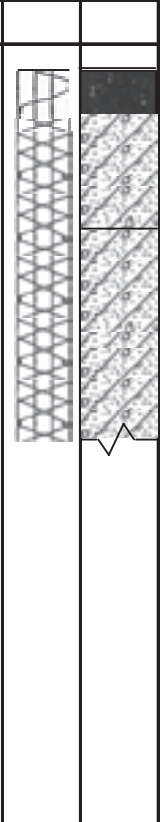
* prøver udtaget til analyser

☐ sugecelle

0=ingen lugt 1=svag 2=lugt 3=kraftig lugt

Rådgivende Ingeniørfirma JORD*MILJØ A/S Eremitageparken 341 2800 Lyngby Tlf: 35 82 04 02 Fax: 35 82 19 77	Lokalitet: Avedørelejren, Bygning 64	
	Udført: 8/11-2001	Boremethode: 4" snegl
	Terrænkote	VS
	Filterrør	Filterinterval
	Bemærkninger	

Moniteringsstation M3

Dybde		Jordartsbeskrivelse	Lugt	PID
0 -		MULD	0	
0,5 -			0	
1,0 -		MORÆNELER, gul, okkerslirer	0	
1,5 -		do	1	
2,0 -		MORÆNELER, grå *	3	
2,5 -		do	2	
3,0 -		do	1	
3,5 -		do	1	
4,0 -		do ☐	1	
4,5 -				
5,0 -				
5,5 -				
6,0 -				
6,5 -				
7,0 -				
7,5 -				
8,0 -				

* prøver udtaget til analyser

☐ sugecelle

0=ingen lugt 1=svag 2=lugt 3=kraftig lugt

Rådgivende Ingeniørfirma JORD*MILJØ A/S Eremitageparken 341 2800 Lyngby Tlf: 35 82 04 02 Fax: 35 82 19 77	Lokalitet: Avedørelejren, Bygning 64	
	Udført: 8/11-2001	Boremethode: 4" snegl
	Terrænkote	VS
	Filterrør	Filterinterval
	Bemærkninger	

Moniteringsstation M4

Dybde		Jordartsbeskrivelse	Lugt	PID
0 -		MULD	0	
0,5 -		FYLD: Moræneler, okkerslirer	0	
1,0 -		SLAM, vådt, kloaklugt	0	
1,5 -		MORÆNELER, grå	0	
2,0 -		MORÆNELER, lys brun	2	
2,5 -		do *	3	
3,0 -		MORÆNELER, grå	0	
3,5 -				
4,0 -				
4,5 -				
5,0 -				
5,5 -				
6,0 -				
6,5 -				
7,0 -				
7,5 -				
8,0 -				


















* prøver udtaget til analyser

□ sugecelle

0=ingen lugt 1=svag 2=lugt 3=kraftig lugt

Rådgivende Ingeniørfirma JORD*MILJØ A/S Eremitageparken 341 2800 Lyngby Tlf: 35 82 04 02 Fax: 35 82 19 77	Lokalitet: Avedørelejren, Bygning 64	
	Udført: 8/11-2001	Boremethode: 4" snegl
	Terrænkote	VS
	Filterrør	Filterinterval
	Bemærkninger	

Grundvandsboring G1

Dybde		Jordartsbeskrivelse	Lugt	PID
0		MULD	0	
0,5		MORÆNELER, gulbrun, fed	0	
1,0		MORÆNELER, blågrøn	3	
1,5		do	1	
2,0		MORÆNELER, brun	0	
2,5		do	0	
3,0		MORÆNELER, grå, fed	0	
3,5		do	0	
4,0		do	0	
4,5		MORÆNELER, sandet, siltet, grå	0	
5,0		do	0	
5,5		SAND, grå, siltet, leret, svagt fugtigt	0	
6,0		do	0	
6,5		do	0	
7,0		do	0	
7,5		do	0	
8,0		do	0	

* prøver udtaget til analyser

□ sugecelle

0=ingen lugt 1=svag 2=lugt 3=kraftig lugt

Rådgivende Ingeniørfirma JORD*MILJØ A/S Eremitageparken 341 2800 Lyngby Tlf: 35 82 04 02 Fax: 35 82 19 77	Lokalitet: Avedørelejren, Bygning 64	
	Udført: 8/11-2001	Boremethode: 4" snegl
	Terrænkote	VS
	Filterrør: ø 63 PEH	Filterinterval: 6-8 m.u.t.
	Bemærkninger	

7. juni 2002.

Hej Ole og Søren, hermed de seneste resultater.

Jeg mener ikke der er kørsels-adgang til arealet m. alm automobil, så jeg benyttede hånd-båret udstyr, hvilket går fint i tørvejr og ved temperaturer over 12 ° C.

Avedøre
28NOV2001

	CO2 %	CH4 %	O2 %
M1 (%)	2.65	0.275	14.098
M2 (%)	1.384	0.151	17.239
M3 (%)	0.451	0.743	17.885
M4 (%)	0.073	0.502	16.717

Avedøre
18DEC2001

	CO2 %	CH4 %	O2 %
M1 (%)	2.641	0.187	13.53
M2 (%)	1.487	0.084	17.29
M3 (%)	0.742	1.435	16.94
M4 (%)	0.173	0.242	17.66

Avedøre
08JAN2002

	CO2	CH4	O2
M1 %	2.65	0.275	14.098
M2 %	1.384	0.151	17.239
M3 %	0.451	0.743	17.885
M4 %	0.073	0.502	16.717

Avedøre
02MAR2002

	CO2	CH4	O2
M1 %	0.529	0.314	19.637
M2 %	0.577	0.137	18.410
M3 %	0.193	0.634	16.130
M4 %	0.005	0.903	15.696

Avedøre
24MAJ2002

	CO2	CH4	O2
M1 %	*0.080	*0.230	*19.603
M2 %	0.008	0.182	17.530
M3 %	0.172	1.618	17.210
M4 %	0.003	0.737	10.701

**Avedøre
07JUN2002**

	CO2	CH4	O2
M1 %	0.084	0.275	19.133
M2 %	0.006	0.221	16.975
M3 %	0.210	1.618	17.449
M4 %	0.004	0.664	8.916

*Resultaterne fra "M1" 24MAJ2002 er påvirket af at en slange var blevet fjernet, så der var fri adgang til atmosfærisk luft. CO2 og CH4-værdierne er dog højere end i den atm. luft, og O2 lavere. Slangen blev erstattet, men der kan tidligst måles igen om 14 dage.

Målingerne fra d.d. 7. Juni afviger ikke meget fra den 24MAJ; kun O2 fra M4 er yderligere sænket, hvilket jo stemmer meget godt med tilstedeværelsen af Bakterier, men det kan undre, at CO2 ikke er højere.

Bedste Hilsener

Christian

Analyseresultater - vandprøver

Prøve	Type	Dato	Total KB	C5-C10	C10-C25	C25-C35
G1	Vand	23. november 2001	83	12	71	<15,0
M1	Vand	23. november 2001	340	12	320	<21,4
M4	Vand	23. november 2001	91	<10,0	91	<30,0
M2	Vand	28. november 2001	480	27	450	<15,0
G1	Vand	11. januar 2002	150	5,3	140	<15
M1	Vand	4. marts 2002	770	65	700	<15,0
M2	Vand	4. marts 2002	780	31	750	<15,0
M4	Vand	4. marts 2002	50	<5,0	50	<15,0
G1	Vand	13. maj 2002	21	<5,0	21	<15
M1	Vand	13. maj 2002	450	17	400	30
M2	Vand	13. maj 2002	500	19	480	<15
M4	Vand	13. maj 2002	12	<5,0	12	<15

Prøve	Type	Dato	Benzen	Toluen	Ethylbenzen	M+P oxylene	O-oxylene	Sum BTEX
G1	Vand	23. november 2001	0,11	0,67	0,39	0,51	0,22	1,9
M1	Vand	23. november 2001	<0,1	<0,1	0,54	0,24	<0,1	0,78
M4	Vand	23. november 2001	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0
M2	Vand	28. november 2001	<0,1	0,35	0,12	0,6	0,3	1,37
G1	Vand	11. januar 2002	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0
M1	Vand	4. marts 2002	<0,1	<0,1	5,2	2	0,59	7,79
M2	Vand	4. marts 2002	<0,1	<0,1	0,31	0,4	0,3	1,01
M4	Vand	4. marts 2002	<0,1	<0,1	0,21	<0,1	0,13	0,34
G1	Vand	13. maj 2002	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0
M1	Vand	13. maj 2002	0,48	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,48
M2	Vand	13. maj 2002	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0
M4	Vand	13. maj 2002	0,94	0,43	<0,1	<0,1	<0,1	1,37

Analyserne er udført af A/S AnalyCen. Alle resultater angivet i mikrogram pr. liter.

Bilag D - risikovurdering for det primære grundvand

Til beregningerne anvendes Miljøstyrelsens JAGG model version 1.5. Området betragtes som et simpelt system uden nedbrydning af olieprodukterne, hvor grundvandet findes i sandlaget i ca. 6 m u.t. overlejret af moræneler.

Parametre:

- Infiltrationen N er skønnet til 670 mm/år, svarende til 100 mm/år som er normalen for området plus 570 mm/år der er tilført som biovand, jævnfør afsnit 2.3.
- Kildestyrkekonzentrationen C_0 er bestemt på baggrund af porevandsanalyserne fra monitoringsstationerne. Der er anvendt et samlet gennemsnit fra hele perioden.
- Den hydrauliske gradient i , er udledt af grundvandspotentialekortet for området (Københavns Amt & Københavns Vand, 1999: Grundvandspotentiale i kalkmagasinet oktober 1999 for Københavns Amt).
- k er skønnet på baggrund af bjergartstypen groft sand.

Billedet herunder er klippet direkte fra JAGG modellen. Det ses at den beregnede oliekoncentration i grundvandet, C_1 bliver 0,371 mg/l.

Trin I a		
	navn:	n-Oktan
	N	670 mm/år
Areal	A	1500 m ²
Bredde	B	30 m
Kildestyrkekonzentration	C_0	0,39 mg/l
	C_g	0 mg/l
	k	2,0E-04 m/s
Hydraulisk gradient	i	8,00E-04
Forureningskoncentration	C_1	0,37187632 mg/l
Grænseværdi		Ingen mg/l

Massebalance

Det antages, at det gennemsnitlige olieindhold i jorden er 1000 mg/kg TS og at der findes 3000 tons forurenede jord. Hermed bliver den totale mængde olie:
 $3000 \text{ tons jord} \cdot 1000 \text{ mg/kg TS} = 3000 \text{ kg}$

Nedsivningen Q_0 , beregnes således:

$$Q_0 = A \cdot N = 1500 \text{ m}^2 \cdot 670 \text{ mm/år} = 1307 \text{ m}^3/\text{år}$$

Den totale mængde olie der afgives til grundvandet pr. år beregnes på baggrund af ovenstående risikovurdering:

$$J_0 = C_0 \cdot Q_0 = 0,39 \text{ mg/l} \cdot 1307 \text{ m}^3/\text{år} = 509,7 \text{ g/år}$$

Antages det, at denne hastighed er konstant, kan det vurderes hvor lang tid det tager inden forureningen er nedsivnet:

$$t = 3000 \text{ kg} / 509,7 \text{ g/år} = 5886 \text{ år}$$

Analyseresultater - jordprøver

Prøve	Type	Dato	Total KB	C5-C10	C10-C25	C25-C35	C35-C40
M1	Jord	9. november 2001	620	13	610	<25	<25
M2	Jord	9. november 2001	840	18	820	<25	<25
M3	Jord	9. november 2001	3700	88	3600	52	<25
M4	Jord	12. november 2001	200	<5	200	<25	<25
M1	Jord	10. januar 2002	850	28	820	<25	<25
M2	Jord	10. januar 2002	540	11	530	<25	<25
M3	Jord	10. januar 2002	91	<5,0	91	<25	<25
M4	Jord	10. januar 2002	120	<5,0	120	<25	<25
K1	Jord	13. marts 2002	1900	51	1800	14	ia
K2	Jord	13. marts 2002	0	0	0	0	ia
K3	Jord	13. marts 2002	2600	81	2500	13	ia
K4	Jord	13. marts 2002	1400	34	1400	0	ia
K5	Jord	13. marts 2002	700	14	680	5,1	ia
T1	Jord	13. marts 2002	2300	65	2200	29	ia
K3	Jord	22. april 2002	1700	42	1600	0	ia
K1	Jord	7. maj 2002	1400	42	1400	0	ia
K3	Jord	7. maj 2002	2200	69	2100	28	ia
K4	Jord	7. maj 2002	1800	43	1800	27	ia
K5	Jord	7. maj 2002	780	17	760	0	ia
K6	Jord	7. maj 2002	1400	38	1400	0	ia
T2	Jord	7. maj 2002	1100	24	1100	0	ia
K6	Jord	11. juni 2002	1700	50	1700	25	ia
T3	Jord	11. juni 2002	1900	51	1800	26	ia
A1	Jord	3. juli 2002	1200	30	1200	<25	<25
A2	Jord	3. juli 2002	950	19	930	<25	<25
A3	Jord	3. juli 2002	700	13	690	<25	<25
A4	Jord	3. juli 2002	580	13	570	<25	<25
A5	Jord	3. juli 2002	1800	45	1800	28	<25
K7	Jord	18. juli 2002	1200	41	1200	0	ia
K7	Jord	23. august 2002	2900	79	2800	40	ia

Prøve	Type	Dato	Benzen	Toluen	Ethylbenzen	M+P oxylene	O-oxylene	Sum BTEX
M1	Jord	9. november 2001	<0,1	<0,1	<0,1	0,26	<0,1	0,26
M2	Jord	9. november 2001	<0,1	<0,1	0,2	0,32	<0,1	0,52
M3	Jord	9. november 2001	<0,1	<0,1	0,86	1,4	0,48	2,74
M4	Jord	12. november 2001	<0,1	0,15	<0,1	<0,1	0,11	0,26
M1	Jord	10. januar 2002	<0,1	<0,1	0,31	0,36	<0,1	0,67
M2	Jord	10. januar 2002	<0,1	<0,1	<0,1	0,19	<0,1	0,19
M3	Jord	10. januar 2002	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0
M4	Jord	10. januar 2002	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0
K1	Jord	13. marts 2002	ia	ia	ia	ia	ia	ia
K2	Jord	13. marts 2002	ia	ia	ia	ia	ia	ia
K3	Jord	13. marts 2002	ia	ia	ia	ia	ia	ia
K4	Jord	13. marts 2002	ia	ia	ia	ia	ia	ia
K5	Jord	13. marts 2002	ia	ia	ia	ia	ia	ia
T1	Jord	13. marts 2002	ia	ia	ia	ia	ia	ia
K3	Jord	22. april 2002	ia	ia	ia	ia	ia	ia
K1	Jord	7. maj 2002	ia	ia	ia	ia	ia	ia
K3	Jord	7. maj 2002	ia	ia	ia	ia	ia	ia
K4	Jord	7. maj 2002	ia	ia	ia	ia	ia	ia
K5	Jord	7. maj 2002	ia	ia	ia	ia	ia	ia
K6	Jord	7. maj 2002	ia	ia	ia	ia	ia	ia
T2	Jord	7. maj 2002	ia	ia	ia	ia	ia	ia
K6	Jord	11. juni 2002	ia	ia	ia	ia	ia	ia
T3	Jord	11. juni 2002	ia	ia	ia	ia	ia	ia
A1	Jord	3. juli 2002	<0,1	<0,1	ia	ia	ia	ia
A2	Jord	3. juli 2002	<0,1	<0,1	ia	ia	ia	ia
A3	Jord	3. juli 2002	<0,1	<0,1	ia	ia	ia	ia
A4	Jord	3. juli 2002	<0,1	<0,1	ia	ia	ia	ia
A5	Jord	3. juli 2002	<0,1	<0,1	ia	ia	ia	ia
K7	Jord	18. juli 2002	ia	ia	ia	ia	ia	ia
K7	Jord	23. august 2002	ia	ia	ia	ia	ia	ia

Analysen udført af A/S AnalyCen. Alle resultater angivet i milligram pr. kg.
ia=ikke analyseret

Jord Miljø
Eremitageparken 341
DK-2800 Lyngby

Att.: Ole Stang

Agern Allé 11
2970 Hårsholm

Tel 4516 9200
Fax 4516 9292
E-mail KIB@dhi.dk
Web www.dhi.dk

Dato 7/2 2002
Til KIB/CLJ
Projekt 51656


Mineraliseringstests og kintalsanalyser på jordprøver

Hermed fremsendes analyseresultater fra analyse af 3 jordprøver modtaget d. 10. januar 2002.

Prøvemærkningen og de opnåede resultater fremgår af omstående resultatskema.

Vr står naturligvis til rådighed for en drøftelse af de fremsendte analyseresultater, såfremt dette ønskes

Med venlig hilsen
DHI - Institut for Vand og Miljø



Claus Jørgensen
Laboratoriefachef



Kim Brøholm
Sagsbehandler

PRØVEUDTAGNING OG FORBEHANDLING

Prøverne blev udtaget af rekvirenten og leveret på DHI.

ANALYSERESULTAT

Analyserne er påbegyndt på modtagelsesdagen. Alle analyser er udført som dobbeltbestemmelser og i nedenstående tabel er begge resultater angivet undtagen for tørstof, hvor kun middelværdien er angivet.

Prøvemærkning	Tørstofindhold (% af total vægt)	Kimtal ved 21 °C (kim/g jord TS)	Mineralisering efter 14 dage (% af tilsat aktivitet)
Boring M1 fra 1,7 m under terræn	86,46	$<7,2 \cdot 10^4$	0,29
		$6,6 \cdot 10^3$	0,13
Boring M2 fra 1,7 m under terræn	86,38	$2,1 \cdot 10^3$	0,07
		$1,3 \cdot 10^3$	0,09
Boring M3 fra 1,7 m under terræn	87,86	$8,1 \cdot 10^3$	0,86
		$3,4 \cdot 10^4$	0,17

METODER

Mineraliseringsforsøg af hexadecan i jordprøver

Ved mineraliseringsforsøg bestemmes hvor stor en andel af en tilsat mængde C14-mærket stof bakterierne i jorden omsætter til C14-mærket kuldioxid.

Fra hver prøve overføres 2 x 20 g jord til to 100 ml glasflasker med glasslib.

Flaskerne med jord autoklaveres ved 134 °C i 20 minutter. Sammen med disse autoklaveres endvidere samme antal 100 ml flasker med glasslib og dværgreagensglas til alle flasker.

Efter afkøling tilsættes yderlige 2 flasker 20 g jord fra hver prøve.

Flaskerne tilsættes herefter mærket hexadecan. I hver flaske nedføres til slut et dværgreagensglas med 1 ml 1N NaOH.

Inkubation ved 10 °C +/- 0,5 °C.

Der udtages endvidere prøver af den mærkede hexadecan til bestemmelse af den tilsatte aktivitet.

Der udtages prøver til bestemmelse af aktivitet 5-6 gange i den periode forsøget kører.

Kimtalsbestemmelse på jord

Prøven (ca. 16 g jord) opstemmes i 90 ml buffer. Kimtallet bestemmes herefter ved spredning af en kendt mængde af prøven på Noble Agar (Difco) tilsat 300 mg/l Tryptone Soy Broth (Difco) og 25 mg/l af fungicidet pimaricin (Merck). Antallet af kolonier per gram tør jord, der er vokser frem efter inkubation ved 21 °C, angiver kimtallet. Pladene aflæses efter 7 dage.

Påvisningsgrænsen er 1000 kim per 16 g våd jord (= 63 kim/g våd jord) ved udsæd af ufortyndet jordopslemning.

Bestemmelse af tørstof

Tørstofindholdet bestemmes ved at en kendt prøvemængde tørres ved 105 °C, og den tilbageværende rest vejes.

Jord Miljø
Eremitageparken 341
DK-2800 Lyngby

Att · Ole Stang

Agein Alle 1
2970 Hørsholm

Tel 45 86 9200
Fak 45 16 9297
E-mail KIH@rhi.dk
Web www.rhi.dk

Dato 21/12 2001
Titel KIB/CLJ
Projekt 51555


Mineraliseringstests og kimitalsanalyser på jordprøver

Hermed fremsendes analyseresultater fra analyse af 3 jordprøver modtaget d. 9 november 2001.

Prøvemærkningen og de opnåede resultater fremgår af omstående resultatskema.

Vi står naturligvis til rådighed for en drøftelse af de fremsendte analyseresultater, såfremt dette ønskes.

Med venlig hilsen
DHI - Institut for Vand og Miljø


Claus Jørgensen
Laboratoriefachef


Kim Broholm
Sagsbehandler

PRØVEUDTAGNING OG FORBEHANDLING

Prøverne blev udtaget af rekvirenten (Ole Stang, Jord Miljø) og leveret på DHI.

ANALYSERESULTAT

Analyserne er påbegyndt på modtagelsesdagen. Alle analyser er udført som dobbeltbestemmelser og i nedenstående tabel er begge resultater angivet undtagen for tørstof, hvor kun middelværdien er angivet

Prøvemærkning	Tørstofindhold	Kimtal ved 21 °C	Mineralisering efter 14 dage
	(% af total vægt)	(kim/g jord TS)	(% af tilsat aktivitet)
Boring M1	86,63	$3,5 \cdot 10^5$	0
fra 1,7 m under terræn		$8,0 \cdot 10^4$	0
Boring M2	86,68	$1,2 \cdot 10^2$	0
fra 1,7 m under terræn		$5,0 \cdot 10^2$	0
Boring M3	87,75	$1,4 \cdot 10^4$	0
fra 1,7 m under terræn		$3,8 \cdot 10^1$	0

VURDERING AF RESULTATER

I lig aftale med rekvirenten skal der gives en vurdering af, om de anvendte metoder kan benyttes fremover på denne meget lerede jord.

Jorden er umulig at homogenisere, inden der udtages delprøver til selve analysen. Dette kan medføre en større variation imellem de opnåede resultater.

Resultaterne af kimtalsbestemmelserne da også relativt store variationer, men som ikke ligger ud over, hvad der kan forventes. Størst variation i boring M1, hvor det højeste kimtal er 4,4 gange større end det laveste.

Tilgængelig er værdierne af både kimtal og mineraliseringen så lave, at hvis det tilsatte Biogel har en væsentlig effekt på nedbrydningen, burde det kunne ses i en forhøjelse af antallet af kim og mineralisering selv med den variation, der er på resultaterne.

Derfor mener vi, at det er fornuftigt at fortsætte med den monitorering af disse parametre.

METODER

Mineraliseringsforsøg af hexadecan i jordprøver

Ved mineraliseringsforsøg bestemmes hvor stor en andel af en tilsat mængde C₁₄-mærket stof bakterierne i jorden omsætter til C₁₄-mærket kuldioxid.

Fra hver prøve overføres 2 x 20 g jord til to 100 ml glasflasker med glasslib

Flaskerne med jord autoklaveres ved 134 °C i 20 minutter. Sammen med disse autoklaveres endvidere samme antal 100 ml flasker med glasslib og dværgreagensglas til alle flasker.

Efter afkøling tilsættes yderlige 2 flasker 20 g jord fra hver prøve.

Flaskerne tilsættes herefter mærket hexadecan. I hver flaske nedføres til slut et dværgreagensglas med 1 ml 1N NaOH.

Inkubation ved 10 °C +/- 0.5 °C.

Der udtages endvidere prøver af den mærkede hexadecan til bestemmelse af den tilsatte aktivitet.

Der udtages prøver til bestemmelse af aktivitet 5-6 gange i den periode forsøget kører

Kimtalbestemmelse på jord

Prøven (ca. 16 g jord) opslemmes i 90 ml buffer. Kimtallet bestemmes herefter ved spredning af en kendt mængde af prøven på Noble Agar (Difco) tilsat 300 mg/l Tryptone Soy Broth (Difco) og 25 mg/l af fungicidet pimarin (Merck) Antallet af kolonier per gram tør jord, der er vokser frem efter inkubation ved 21 °C, angiver kimtallet. Pladerne aflæses efter 7 dage.

Påvisningsgrænsen er 1000 kim per 16 g våd jord (= 63 kim/g våd jord) ved udsæd af ufortyndet jordopslemning.

Bestemmelse af tørstof

Tørstofindholdet bestemmes ved at en kendt prøvemængde tørres ved 105 °C, og den tilbageværende rest vejes.

JordMiljø
Erimtageparken 341
2800 Lyngby

Att.: Ole Stang

Agern Allé 11
2970 Hørsholm

Tlx 4516 9290
Fax 4516 9292
E-mail K.B@dh.dk
Web www.dh.dk

Dato 28. august 2002
Tit K&M/CLJ
Projekt 51656

Spredning af bakterier fra Biogel i jord

Herved fremsendes rapport over undersøgelse af spredning af bakterier i jord.

Vi står naturligvis til rådighed for en drøftelse af de fremsendte analyseresultater, såfremt dette ønskes.

Med venlig hilsen
DHI - Institut for Vand og Miljø


Claus Jørgensen
Laborationechef


Kim Broholm
Sagsbehandler

PRØVEUDTAGNING OG FORBEHANDLING

Prøvene blev udtaget den 4. juli 2002 af Jørgen Hansen, DHI, med steril ske i udgravning M1 og i referenceudgravning. De nøjagtige prøvetagningssteder, der fremgår af nedenslående resultatskema, blev udpeget af Christian Ursin.

Af jordprøverne blev der afvejet cirka 16 g, hvortil der blev tilsat 90 ml fortyndevand, som derefter blev udrystet.

Biogel blev afpiperet og tilsat fortyndevand

ANALYSERESULTAT

Princip

Der isoleres bakterier fra Biogel og fra jordprøver, hvor Biogel antages at være tilstede efter injektion. Det undersøges herefter, om de isolerede bakterier er ens.

Isolering af bakterier

Prøverne blev udsået på Gould S1 Agar, Kings Agar B eller PCA. Efter inkubation tælles antallet af kolonier på pladerne. Antallet af kolonier, der voksede frem på de forskellige agar typer, ses i nedenslående tabel.

Prøvemærkning	Analyse start	Kimtal på Gould S1	Kimtal på Kings B	Kimtal på PCA
Sted M1, Over hul 1, over sydlig rør mod bygning, ca. 1,5 m.u.t. [per gram våd jord]	4. juli	< 7		$4,8 \cdot 10^7$
Sted M1, Over hul 2, over nordlig rør ca. 1,5 m.u.t. [per gram våd jord]	4. juli	< 7		$4,2 \cdot 10^5$
Reference, nord for hul 2, mix af 2 prøver. [per gram våd jord]	4. juli	830		$4,9 \cdot 10^4$
Biogelmasse 4-7-2002 [per ml]	4. juli	< 100	< 100	< 100
Ny Biogelmasse 12-7-2002 [per ml]	12. juli	< 100	$5,9 \cdot 10^1$	$2,9 \cdot 10^5$

* Udsået den 10. juli og aflæst efter 48 timer. ** Aflæst efter 72 timer.

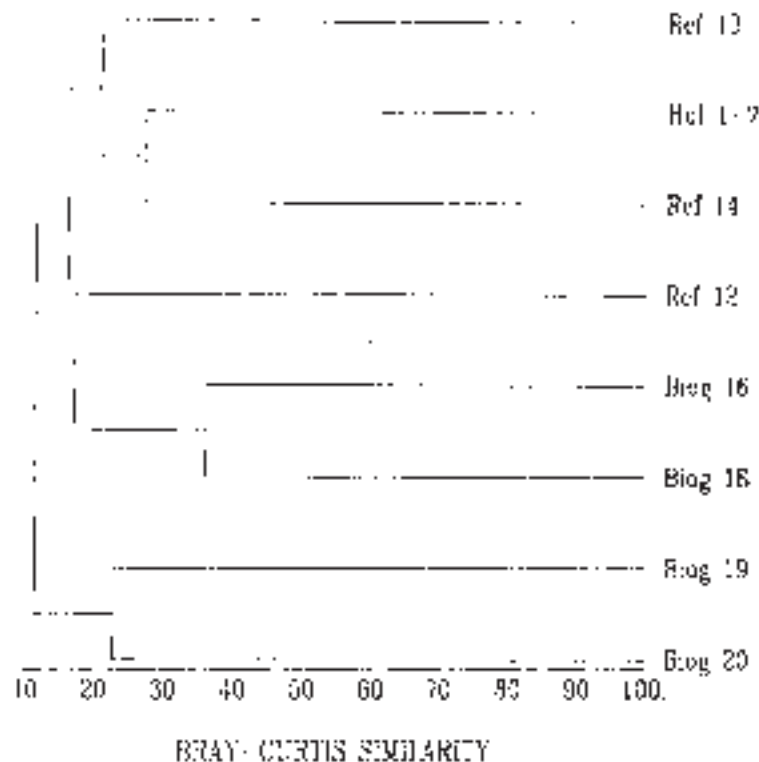
***Hovedparten af kolonier på agarpladerne meget små, aflæst efter 72 timer.

Gould S1 agar tillader en af de bakteriearter, der i.flg. teamProtection¹ er tilstede i Biogel¹, at vokse frem, samtidig med at de fleste andre bakterier hæmmes. Dermed oprås, at de bakterier der vokser op, kun er den type, der tilsættes med biogel.

Som det fremgår af tabellen, blev der overken fundet bakterier, der kan vokse på Gould S1, i Biogel eller i jordprøverne fra hul 1 eller hul 2. Derimod var disse bakterier tilstede i referenceprøven.

For at undersøge, om bakterierne i den første Biogel var aktive, blev Biogel ligeledes udsået på Kings B. Det afslørede, som det er vist i tabellen, at der ikke var dyrkbare bakterier i den første Biogel prøve.

¹ Bakteriernes identitet er fortrolig. teamProtection har oplyst DHI om hvilke bakteriearter.



Figur 1. Sammenligning af de isolerede bakteriers evne til at nedbryde 95 forskellige stoffer i biolog plader. Ved 100% similaritet er isolatorne ens. Isolater benævnt Ref stammer fra kontrol udgravningen. Isolater benævnt Hul 1- stammer fra hul 1. Isolater benævnt biog xx stammer fra Biogel.

En ny prøve af biogel blev modtaget fra teamProtection. Denne indeholdt ikke bakterier, der kan vokse på Gould S1. Derimod var der både vækst på PCA ($3 \cdot 10^5$ kim per ml) og Kings Agar B ($6 \cdot 10^5$ kim per ml).

På grund af den manglende vækst af bakterier på Gould S1, var det nødvendigt, at udså jordprøverne på ny (10. juli 2002) for at isolere bakterier fra PCA-agar plader. Ulempen ved dette er, at der herud er større chance for, at man isolerer bakterier, der stammer fra jorden istedet for bakterier, der stammer fra biogel. På PCA blev der fundet fra cirka 5.000 kim per gram våd jord til 50.000 kim per gram våd jord.

Sammenligning af bakterier

Fra PCA-pladerne blev der udvalgt 5 kolonier fra hver prøve, som blev renyrket ved at overføre dem til nye PCA-plader. Kolonier herfra blev karakteriseret ved at undersøge deres evne til at nedbryde 95 forskellige stoffer. Undersøgelsen er udført i Biolog GN MicroPlate. Bakterier, der kan nedbryde de samme stoffer, betragtes som ens.

Der blev isoleret 17 bakterier, 7 fra hul 1, 2 fra hul 2, 3 fra referenceprøven og 5 fra den ny biogelprøve. Af disse gav 1 fra hul 1, 3 fra referencejorden og 4 fra biogel positive respons. Resultaterne fremgår af bilag 1. Resultaterne er sammenlignet og deres similaritet er beregnet. Det fremgår af figur 1, at disse bakteriisolater har lav similaritet. Det betyder, at de har stor indbyrdes forskel.

Bakterieisolatet benævnt biog-17 gav negativt respons i biolog pladerne. Det kan derfor ikke udelukkes, at biog-17 er identisk med et af de isolater fra hul1 og hul 2, der ikke gav respons i biolog pladerne.

Diskussion

Antallet af bakterier fra biogel, der kunne vokse på Gould S1, var under detektionsgrænsen. Det er overraskende, da Gould S1 netop er valgt ud fra en forventning om, at sådanne bakterier var tilstede i biogelen.

Antallet af bakterier i jordprøver fra hul 1 og hul 2, der kunne vokse på Gould S1, var også under detektionsgrænsen. I referencejorden blev der fundet bakterier, der kan vokse på Gould S1. Denne type bakterier forekommer naturligt i både forurenede og uforurenede jord. Det er derfor ikke overraskende at finde disse i referencejorden.

På grund af den manglende vækst på Gould S1 agar, har det været nødvendigt, at isolere bakterierne fra PCA-plader, der tillader et bredt udsnit af bakterier at vokse op. Det har medført, at der er større risiko for, at de bakterier, der isoleres fra jorden, ikke stammer fra biogelen, men er bakterier, der forekommer naturligt i jorden.

Af de bakterier der blev isoleret fra hul 1 og hul 2 gav kun isolat H11-7 positivt respons. Dette respons var forskelligt fra responset, der kom isolaterne fra biogelen, hvilket betyder at disse bakterier er forskellige.

Der var 6 isolater fra hul 1 og 2 isolater fra hul 2 der ikke gav respons. Det kan ikke udelukkes, at disse er identiske med isolat biog 17. Sandsynligheden for, at de er ens, kan ikke vurderes på det forhåndenværende grundlag.

Konklusion

Undersøgelsen har ikke kunnet påvise, at der er blevet spredt bakterier fra biogelen til jorden ved hul 1 eller hul 2.

Den manglende vækst Gould S1 har gjort chancen for at finde bakterier fra Biogel i jordprøverne mindre.

METODER

Kimtal på Gould S1

Analysen er udført med overfladeudsæd efter DS 2252. Vandundersøgelse. Bestemmelse af kimtal og fluorescerende kim ved 21°C i Kings Agar B. 1.udg. jan 1983. Dog er agaren ændret til Gould S1 (Gould WD. et al. 1985 Appl Environ Microbiol 49:28-32) som blev tilsat trimetoprim for at hæmme vækst af svampe. Inkubation i 5 døgn ved 21 °C

Kimtal på Kings Agar B

Analysen er udført med overfladeudsæd efter DS 2252. Vandundersøgelse. Bestemmelse af kimtal og fluorescerende kim ved 21°C i Kings Agar B. 1.udg. jan 1983. Dog er agaren tilsat trimetoprim for at hæmme vækst af svampe.

Kimtal på PCA.

Analysen er udført med overfladeudsæd efter DS 2251. Vandundersøgelse. Bestemmelse af kimtal ved 21°C på PCA 1.udg. jan 1983. Dog er agaren tilsat trimetoprim for at hæmme vækst af svampe.

Karakterisering af bakterie isolater

Karakteriseringen er sket i GN Microplates (BIOLOG. Inc. Hayward, Calif. USA) efter den medfølgende brugsanvisning. Pladerne er inkuberet i 48 timer ved 30 °C og aflæst efter 1, 5, 24 og 48 timer. Respons er udregnet som forholdet mellem farveintensitet i den enkelte brønd efter 1 og 48 timer. Positivt respons er defineret som en stigning i farveintensitet på 100%. Similaritetsundersøgelse er foretaget med Cluster analysen i PRIMER ver. 4-0 (Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research). M.R. Carr, Plymouth Marine Laboratory 1997

Bilag 1: Data fra Karakterisering vha. biologi.

Resultater af karakterisering. X angiver at der er sket en forøgelse af farveintensitet på mere end 100% fra time 1 til time 48. Prøver der ikke gav positivt respons er ikke medtaget

Isolater benævnt Ref stammer fra kontrol udgravningen. Isolater benævnt Hul 1- stammer fra hul 1, isolater benævnt biog xx stammer fra Biogel.

Prøve: Ref 12

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A					x	x				x		
B		x		x		x	x				x	x
C						x	x				x	
D		x	x		x		x	x			x	x
E				x		x		x	x	x		
F	x			x	x	x	x	x	x	x		x
G	x	x	x	x		x	x				x	x
H	x	x				x			x			

Prøve: Ref 13

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A					x							
B							x					
C												
D												
E												
F												
G												
H												

Prøve: Ref 14

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A												
B												
C												
D												
E												
F												x
G												
H												

Prøve: Biog 16

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A					x	x						
B												
C											x	
D	x	x	x	x							x	x
E	x					x	x	x				x
F						x	x			x		
G			x		x	x			x			
H	x	x			x							

Prøve: Biog 18

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A												
B												
C											x	x
D	x	x	x				x				x	
E		x				x						x
F	x			x			x			x		
G						x						
H					x							

Prøve: Biog 19

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A			x		x	x						x
B		x			x	x		x		x		x
C							x	x			x	x
D	x	x	x	x							x	x
E	x				x	x	x					x
F	x				x	x	x	x	x	x		
G			x		x	x						
H	x	x										

Prøve: Biog 20

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A					x	x				x	x	
B		x		x		x	x				x	x
C						x	x	x			x	x
D	x	x	x	x	x		x	x			x	
E	x			x		x	x	x	x	x		x
F	x			x	x	x	x	x	x	x		x
G	x	x	x			x	x		x		x	x
H	x	x					x		x			

Permeationsundersøgelse i mikroskala af lerformation på område forurennet med fyringsolie samt et nærtliggende, uforurennet område i Filmbyen v. Avedøre.

Tabel 1.
Oversigt, resultater.

Lersøjle	D, mm ² /s	Cs, ng/mm ³	Materiale/dybde m (u.t.)
2	0,85 E-3	8.988	Tæt, Blåt ler / 2,0
3.a.	1,0 E-3	36.377	do. / 2,0
3.b.	0,93 E-3	14.453	do. / 2,0
4. Reference-ler	1,4 E-3	23.023	Tæt, rødligt ler/2,1

Prøveudtagning.

Prøveudtagning af "uforstyrrede" jord/ler-prøver foregik ved manuel indpresning af udtagningsrørene. Rørene blev presset ind i lerformationen horisontalt i forhold til den næsten lodrette udgravningsvæg. Der blev udtaget i alt 4 cylindriske prøver med en diameter på 40 mm og en længde på ca. 100 mm. Prøverne blev emballeret med det samme og nedkølet til ca. 4° C.

Måleteknik. ("Hurtig-metode").

Målingerne er foretaget ved eksponering af de udtagne søjler med tritieret vand (HTO) fra den ene ende (enkeltstående eksponering). Temperatur under eksponering var 10° C. Efter passende eksponering er søjlerne nedfrosset til -20° C. Diskotomi i rotationscryotom (Depth Slice Analysis) foregik ved -20° C. Tykkelsen af hver skive er tilstræbt ca. 1,0 mm. Måling af tykkelsen foregik med topografisk opløsning på 0,5 µm. Kun den centrale del af den cylinderformede prøve blev anvendt (herved elimineres rand-effekter). Koncentrationen af tritieret vand (ng/mm³ = g/m³) udmåles i hver skive i væskescintillationstæller. Større sten fjernes manuelt (uden mærkbar betydning for målingen). Beregninger er foretaget ved Gauss-Newton metode.

Resultater.

Koncentrationsprofiler for de udtagne ler-søjler er udmålt og ses af figurene 2 til 5. På basis af disse profiler er beregnet Diffusionkoefficienter (D) og mætningskoncentrationer (Cs).

Permeationen for vand ses i alle ler-prøver godt beskrevet ved Fick=s 2. lov. Diffusionskoefficienterne udviser ikke den helt store forskel, hvilket fortolkes som en god indikation af lerformationens homogenitet. Men D for det ikke

olieforurenet område udviser en værdi på $1,4 \cdot 10^{-3}$ d.v.s. ca. 1,5 gange større end i den olieforurenede ler. Måtningskoncentrationerne (C_s) varierer en del. Det skyldes formentlig utætheder i den under udtagningen anvendte emballage, hvorved jordsøjleens overflade på nogle søjler kunne udtørre noget. Ved senere modelberegninger (tabel 2) er anvendt en fælles middelværdi $C = s = 20.710 \text{ ng/mm}^3$.

I tabel 2 ses modelberegninger (Fick-model) for indtrængningsprofiler efter 90 dage for vand tilført ved punkt "0". "Distance 90/50" udgør den afstand fra punkt "0" hvor, det nye vand tilføres, og hvor dette vand vil kunne forekomme i en koncentration lig med 50% af C_s . På figur 5.b ses (som eksempel) en sådan 90-dages profil optegnet.

Tabel 2.

Lersøjle	Distance 90/50 i mm
2	75
3.a.	83
3.b.	79
4. Reference-ler	101

Konklusion.

Vand, (evt. med suspenderede bakterier) vil kun meget langsomt trænge ind i den olieforurenede ler-formation. Det vides ikke hvor høj en koncentration af det injicerede "Bio-vand", der er nødvendig til opnåelse af en markant og tilstrækkelig nedbrydnings-effekt af olieforureningen. Men skønnes denne nødvendige koncentration til ca. 50 % af mætningskoncentrationen C_s kan det beregnes, at injektions-rørens indbyrdes afstand (horisontalt og vertikalt) skal være under 100 mm, hvis der ønskes resultat indenfor 90 til 100 dage. Ilt permeationen er ikke målt eller beskrevet, men er det aktuelle bakterielle konsortium afhængig af ilt, bør ilt-permeationen ligeledes beskrives. Den vurderes som en lige så betydende faktor for aerobe bakterier, som det at nå frem til det forurenede område.

De udtagne søjler vil formentlig være velegnede til en beskrivelse af ilt permeationen gennem den aktuelle blå-ler.

Mvh. Christian Ursin