Bio-nedbrydning af fyringsolieforurening

Når der går hul på fyringsolieinstallationerne skal der ofte bortgraves betydelige jordmængder. Stimuleret biologisk nedbrydning har været foreslået til oprensning uden opgravning, men denne artikel viser, at metoden kun har begrænsede anvendelsesmuligheder.

Per Loll
Claus Larsen
Kaj Henriksen
Per Brask

I september 2004 igangsatte Oliebranchens Miljøpulje en forsøgsafværge af en fyringsolieforurening, via stimuleret biologisk nedbrydning. Forureningen er opstået som følge af et brud på sugeledningen imellem ejendommens fyringsolietank, som er placeret i et udhus, og oliefyret, som er placeret i stuehuset. Spildet var på op mod 685 liter olie, som bredte sig i et velafgrænset jordvolumen på ca. 40 m3, jf. fig. 1, og med en ca. 3 meter dyb umættet zone bestående af sand.

Fyringsolie er en blanding af en lang række stoffer med vidt forskellige fysiske og kemiske egenskaber, men i miljømæssig sammenhæng er det ofte BTEX, der påkalder sig opmærksomhed, da de kan give anledning til miljøproblemer i grundvand og nærliggende bygningers indeklima.

Da der var tale om en sandjord med gode egenskaber mht. luft- og vandtransport blev det besluttet forsøgsvis, at basere afværgen på infiltration af olienedbrydende mikroorganismer og næringssalte. Der er også etableret en afværgeboring nedstrøms behandlingsområdet, til sikring af hydraulisk kontrol med forureningen i grundvandet og det infiltrerede næringsberigede vand.

I artiklen præsenteres nogle af de erfaringer vi har gjort os mht. muligheder og begrænsninger i forhold til praktisk brug af stimuleret biologisk nedbrydning på fyringsolieforurenede lokaliteter.

Figur 1. *Bygninger og det forurenede område (markeret med oval).*

Formål

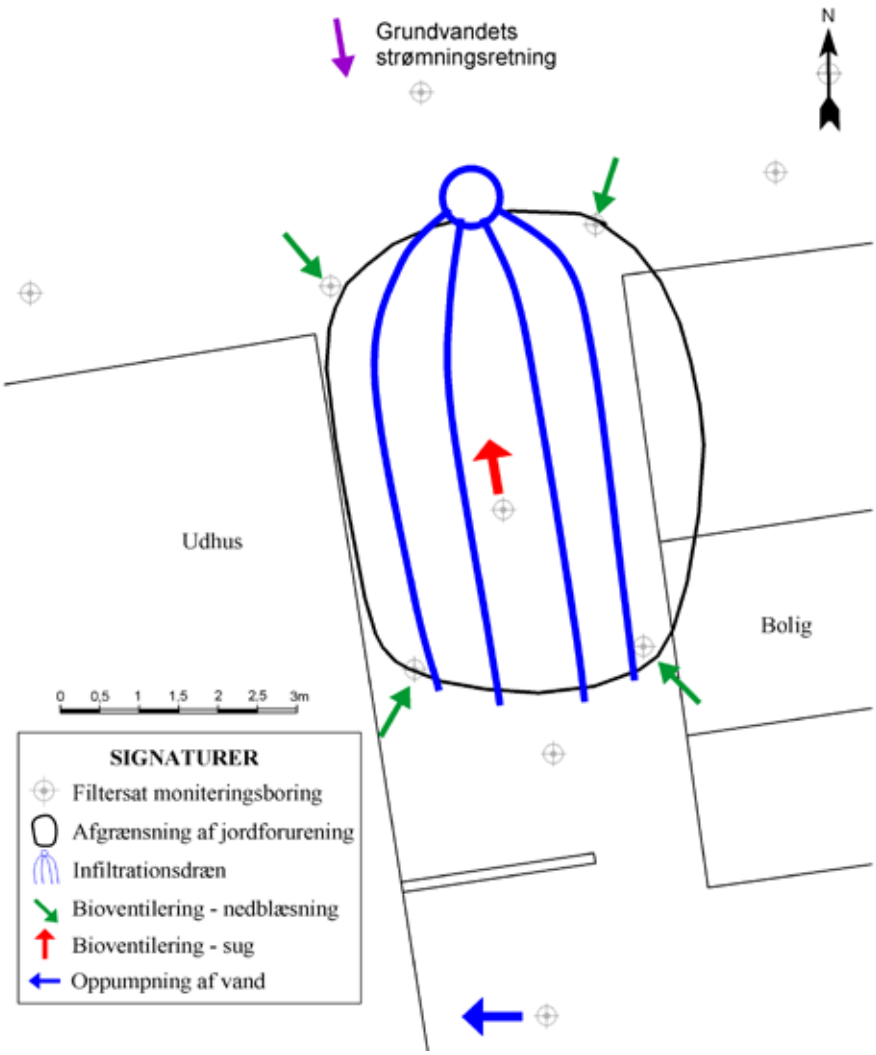
Det konkrete formål med den biologiske afværge er at fjerne så meget af forureningen, at det efter afværgen kan dokumenteres, at en eventuel restforurening ikke udgør en miljømæssig risiko. Sideløbende er oprensningen betragtet som en forsøgsoprensning, med det formål, at gøre nogle generelle og praktiske erfaringer med stimuleret biologisk nedbrydning af fyringsolieforureninger, herunder for at fastlægge metodens begrænsninger. Der er stilet imod en 3 års aktiv afværgeperiode.

Afværgetiltag

Indledningsvist blev der gennemført en forundersøgelse for at afklare nøgleproblemstillinger i forbindelse med tilførsel af olienedbrydende mikroorganismer, ilt og opløste næringssalte. Herunder blev der opstillet detaljerede massebalancer for tilførsel af ilt og næringssalte samt for tilsætning og afdræning af væske.

På grund af den forholdsvist koncentrerede forurening og ønsket om en afværgeperiode på 3 år, bestod den designmæssige udfordring i at balancere behovet for tilførsel af opløste næringssalte med ønsket om en passiv tilførsel af ilt (fra atmosfæren/jordoverfladen). Tilsætning af for meget vand vil øge jordens vandindhold og nedsætte dens evne til at transportere ilt til de biologiske processer. Omvendt er der risiko for at mikroorganismerne kan få saltchok, hvis der anvendes for lidt vand til næringssaltopløsningen, da den så bliver for koncentreret.

På baggrund af forundersøgelsen og de opstillede massebalancer kunne det konstateres, at det ikke var muligt at basere afværgen på en passiv tilførsel af ilt til behandlingszonen hvorfor der måtte etableres en aktiv ned-



Figur 2. *Afværgeelementer og forurenet område.*

pumpning af luft (bioventilering). Endvidere viste forundersøgelsen, at et forholdsvist tyndt lerholdigt lag i ca. 1,5-2,5 meters dybde adskilte to forskellige sandtyper; et forholdsvist finkornet sandlag øverst og et mellem- til grovkornet sandlag nederst. Det nedre sandlag viste sig at være ca. fire gange bedre til at lede luft end det øvre.

På baggrund af forundersøgelsen blev det besluttet at gennemføre afværgen via en tredelt strategi for at nå en tilstrækkelig effekt indenfor den fastsatte afværgeperiode:

1) Infiltration af olienedbrydende mikroorganismer og opløst NPK-gødning fra fire vandrette dræn, som er nedgravet i toppen af behandlingszonen.

2) Tilførsel af ilt ved bioventilering, bestående af et mindre sug (ca. 100 m^3/døgn) i to forskellige niveauer i behandlingszonens centrum samt nedblæsning af atmosfærisk luft i periferien af behandlingszonen. Den opsugede luft renses i et kulfilter.

3) Oppumpning af grundvand ca. 4 meter nedstrøms behandlingszonen (ca. 12 m^3/døgn) til sikring af hydraulisk kontrol med grundvandsforurening og næringssalte. Oppumpet vand udledes via en koalescensudskiller til en vejgrøft ca. 15 meter nedstrøms behandlingszonen.

Afværgeelementerne og jordforureningens udbredelse ved afværgens start fremgår af fig. 2.

Der er opstillet et omfattende moniteringsprogram, som bl.a. inkluderer måling af forureningskoncentrationer i hhv. poreluft og jord fem steder i behandlingszonen. Moniteringen skal dokumentere omfanget af den biologiske nedbrydning og danne grundlag for en løbende vurdering og justering af afværgetiltagene. Desuden udføres der en monitering som skal danne basis for en vurdering af hvor stor en massefjernelse der finder sted igennem bioventilering og oppumpning af vand nedstrøms behandlingsområdet. Dertil foretages en monitering af parametre, som kan give en indikation af hvordan den biologiske nedbrydning forløber.

Poreluftresultater

Der er foretaget en monitering af forurenings-koncentrationen i poreluften ved afværgens start og derefter ca. hvert halve år – i alt syv gange. Ved hver prøvetagning er ventilationsanlægget blevet slukket 16-18 timer inden prøveudtagningen, således at resultaterne er forholdsvist upåvirket af bioventileringen og direkte sammenlignelige imellem de forskellige prøvetagningsrunder.

Siden afværgens start er det gennemsnitlige indhold af flygtige kulbrinter (TVOC) i poreluften faldet med ca. 98 % fra 1.200.000 til 22.000 mg/m^3, mens det gennemsnitlige indhold af flygtige forureningskomponenter (C9- og C10-aromater) er faldet med mere end 99,9 % fra 27.000 til 16 mg/m^3. Det gennemsnitlige indhold af BTEX'er er ligeledes faldet med mere end 99,9 % fra 5.600 til 5,5 mg/m^3. Resultaterne er afbilledet grafisk i fig. 3.

Når der alene ses på de mest flygtige forureningskomponenter (BTEX og C9/C10-aromater), som også er miljømæssigt kritiske stoffer, er der efter 2,5 års afværge kun konstateret en mindre overskridelse af Miljøstyrelsens luftkvalitetskriterier (afdampningskriterier) i ét enkelt målepunkt. Kriteriet for C9/C10-aromater overskrides således med en faktor 2,5, mens kriteriet for benzen overskrides med en faktor ca. 9. Når man tænker på at prøverne er udtaget midt i behandlingszonen/jordforureningen må disse overskridelser betragtes som ubetydelige.

På baggrund af resultaterne vist i fig. 3 kan der estimeres halveringstider på hhv. 0,43 år for TVOC, 0,17 år for C9/C10-aromater og 0,24 år for BTEX. Disse rater svarer til 1.ordens fjernelsesrater på hhv. 1,6 $år^{-1}$ for TVOC, 4,1 $år^{-1}$ for C9/C10-aromater og 2,9 $år^{-1}$ for BTEX.

Jordprøveresultater

Der er foretaget en sammenlignelig monitering af jordkoncentrationerne i miljøtekniske boringer placeret fem forskellige steder i behandlingszonen (heraf én centralt i forureningens hot-spot) efter ca. 0,5, 1,5 og 2,5 år. Ved hver moniteringsrunde er der fra fem boringer, placeret i umiddelbar nærhed af de tidligere boringer, udtaget mellem 27 og 30 jordprøver, hvoraf mellem 10 og 14 er udvalgt

Boks 1:
BTEX er en samlet betegnelse for stofferne Benzen, Toluen, Ethylbenzen og Xylener. Stofferne er kritiske, da de har høj vandopløselighed og er flygtige. Benzen er tillige kræftfremkaldende.

til kemisk analyse for indhold af oliekomponenter. Nogle er udvalgt til karakterisering af forureningen og nogle er udvalgt som afgrænsende/rene prøver.

I tabel 1 er der foretaget en sammenligning af gennemsnitskoncentrationerne for hhv. totalkulbrinter, let olie (i fraktionen C6-C10) og summen af BTEX'er. I beregningen er der kun medtaget resultater for forurenede prøver. Ved den første moniteringsrunde (efter 0,5 år) er forholdsvist mange af de udtagne prøver udvalgt som afgrænsende prøver, hvorfor de reelle gennemsnitskoncentrationer vurderes at være højere end angivet.

Af tabellen fremgår, hvor mange prøver, der ligger til grund for de beregnede gennemsnitsindhold. Endelig viser tabellen den relative reduktion i gennemsnitsindholdet af de forskellige kulbrintefraktioner i prøverne efter 2,5 år ifht. det højeste gennemsnitsindhold, der tidligere er konstateret (hhv. efter 0,5 og 1,5 år).

Af tabel 1 ses det, at gennemsnitsindholdet af kulbrinter (total) efter 2,5 år er reduceret med 47 % ifht. indholdet efter 1,5 år, som – alt andet lige – må betragtes som et konservativt bud på forureningsniveauet ved afværgens igangsætning. Tilsvarende er der sket en reduktion i koncentrationen i den lette oliefraktion på 70 % og en reduktion i BTEX-koncentrationen på 97 %.

På baggrund af resultaterne i tabel 1 kan der, for behandlingszonen som helhed, estimeres 1. ordens fjernelsesrater på hhv. 0,53 $år^{-1}$ for totalkulbrinter, 1,1 $år^{-1}$ for let olie og 2,6 $år^{-1}$ for BTEX.

Tabel 1. *Oliekoncentration i jorden i behandlingszonen. Reduktionen i totalolie efter 2,5 år er beregnet i forhold til niveauet efter 1,5 år, der på grund af en ændret prøvetagningsstrategi ligger højere end efter 0,5 år. For de øvrige fraktioner er der taget udgangspunkt i niveauet efter 0,5 år.*

	Antal prøver	Total	Let olie	Sum BTEX
		mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
Gennemsnit _ år	6	6.200	240	19
Gennemsnit 1,5 år	9	8.100	160	7,4
Gennemsnit 2,5 år	12	4.300	73	0,6
Reduktion efter 2,5 år		47 %	70 %	97 %

Ses der på maksimalindholdene af de mest flygtige og vandopløselige forureningskomponenter (BTEX'erne), så var indholdene før afværgen på hhv. 1,5 mg/kg TS (benzen) og 140 mg/kg TS (sum af BTEX). Efter 1,5 års afværge er der ikke længere konstateret indhold af benzen i jordprøverne, mens det totale indhold af BTEX'er efter 2,5 år er reduceret til maksimalt 1,7 mg/kg TS. Der er således tale om meget markante reduktioner af de miljømæssigt kritiske BTEX'er, hvilket naturligvis afspejler sig i poreluftresultaterne, jf. fig. 3.

Massefjernelse

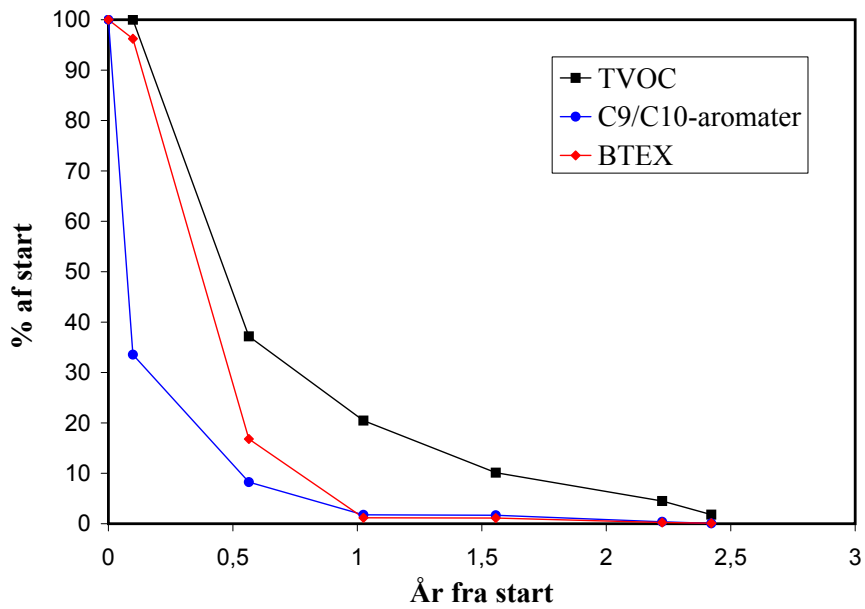
På baggrund af de målte jordkoncentrationer og et mindsket forurenet jordvolumen er det, via en masseopgørelse, estimeret, at der efter 2,5 år er ca. 250 liter olie tilbage i behandlingszonen. Der er derfor fjernet op mod 435 liter olie (svarende til 64 %) siden igangsætning af den biologiske afværge. Ud fra analyser af olieindholdet i oppumpet luft og vand, skønnes ca. 10 liter olie at kunne tilskrives en fysisk fjernelse via bioventilering og grundvandspumpning. Med andre ord vurderes ca. 98 % af den samlede massefjernelse af skyldes biologisk nedbrydning – og evt. en mindre afdampning til atmosfæren.

Konklusioner

For den aktuelle sag konkluderes det, at den stimulerede biologiske nedbrydning har medført en effektiv fjernelse af de lettere fraktioner fra fyringsolieforureningen, specielt BTEX, der ofte er kritiske i forhold til risikovurderinger for grundvand og indeklima. Den væsentligste fjernelse af BTEX er sket indenfor en periode på mellem 1,5 og 2,5 år, mens nedbrydningen af de øvrige oliekomponenter stadig foregår. Den forholdsvist hurtige fjernelse af de lette olieforbindelser skyldes, at disse stoffer udgør den bedste fødekilde i fyringsolien for de olienedbrydende mikroorganismer.

Der er endnu 250 liter olie i behandlingszonen. Den resterende oliemængde bliver til stadighed mindre attraktiv som fødekilde for de olienedbrydende mikroorganismer, hvorfor nedbrydningen også vil blive langsommere. For at fjerne mere af den resterende olie, og for at få en bedre idé om forløbet af den biologiske forureningsfjernelse efter at de lette olieforbindelser er nedbrudt, er det derfor besluttet at forlænge den aktive afværgeperiode til 3,5 år. Derefter tages der stilling til, om der er foretaget en tilstrækkelig afværge.

Det vurderes, at den koncentrerede forurening har medført, at afværgen er blevet forholdsvist krævende og dyr. Dette skyldes bl.a. at det har været nødvendigt, at foretage en aktiv bioventilering for at tilføre nok ilt til de biologiske processer. Endvidere har det været nødvendigt, at foretage en



Figur 3*. Gennemsnitligt, relativt indhold af flygtige oliekomponenter i behandlingszonen.*

Boks 2
Biologisk nedbrydning fjerner først de lette olieforbindelser, herunder de miljømæssigt kritiske BTEX.

afværgepumpning nedstrøms forureningen for at sikre en kontrol med nedsivning af olie og næringssalte til grundvandet ved infiltration af forholdsvist store mængder opløste næringssalte. Disse aktive tiltag medfører udgifter til el, vedligeholdelse og øget monitering, som formentlig kunne være sparet ved en mindre koncentreret forurening. Metoden kan måske være bedre egnet overfor mindre koncentrerede forureninger; særligt hvis der er et begrænset behov for monitering og målsætningen er at fjerne risikopotente oliekomponenter. Metoden vurderes ikke at være egnet i lerede eller inhomogene jordtyper.

På baggrund af vores samlede erfaringer med biologisk nedbrydning af olieforureninger, herunder de erfaringer vi har draget i forbindelse med udarbejdelse af /1/, kan vi, i lighed med tidligere undersøgelser, konstatere, at der findes olienedbrydende mikroorganismer næsten alle steder i naturen og at det stort set altid er muligt at stimulere disse til at foretage en nedbrydning af fyringsolie når blot den nødvendige ilt og mængde af næringssalte er tilstede. Vores erfaringer – herunder via kontrollerede laboratorieforsøg udført sideløbende med den aktuelle afværge – viser endvidere, at der kun opnås en meget begrænset effekt af at tilføre "ekstra" olienedbrydende mikroorganismer til den forurenede jord.

Den videre oprensning på lokaliteten vil give yderligere oplysninger om realistiske oprensningsniveauer og tidshorisonter ved stimuleret biologisk nedbrydning af fyringsolie.

Reference

/1/ Miljøstyrelsen. Miljøprojekt nr. 1060. BioGel til rensning af olieforurenet jord, 2006.

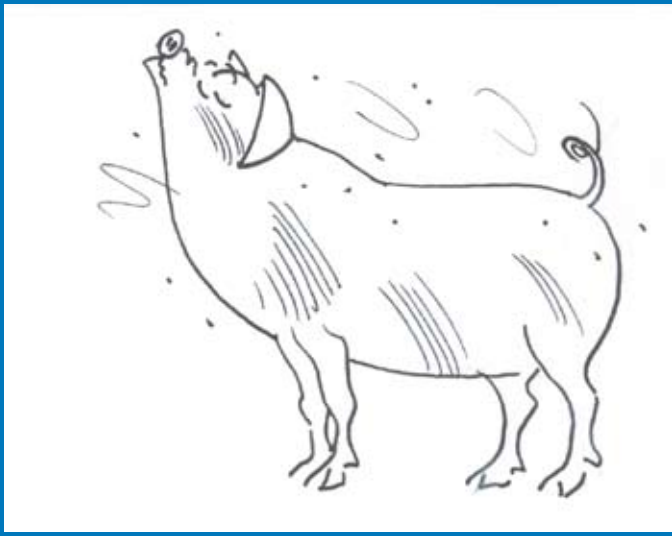
Per Loll, civilingeniør, Ph.D. Udviklingsleder hos Dansk Miljørådgivning A/S, Fanøgade 17, 9740 Jerslev. Arbejder med udvikling og implementering af nye teknikker til undersøgelse, risikovurdering og afværge på forurenede lokaliteter, e-mail: pl@dmr.as.

Claus Larsen, civilingeniør. Partner i Dansk Miljørådgivning A/S, Industrivej 10B, 8680 Ry. Kvalitetssikringschef og koordinator på forsknings- og udviklingsopgaver, e-mail: cl@dmr.as.

Kaj Henriksen, lektor ved Sektion for Miljøteknologi, Aalborg Universitet, Sohngaardsholmsvej 57, 9000 Aalborg. Arbejder bl.a. med naturlig og stimuleret biologisk nedbrydning af forureningskomponenter i jord og grundvand, e-mail: kh@bio.aau.dk.

Per Brask, projektleder hos Oliebranchens Miljøpulje, Landemærket 10, postboks 50, 1002 København K, e-mail: pb@oliebranchen.dk.

Gyllegrisen Øffe ...



er misundelig på honningbien, som har fået sit DNA kortlagt, og præsenteret i tidsskriftet Nature. Ganske vist smager honning godt, men har dens DNA noget med det at gøre? Det handler jo mest om tyveri. Øffe mener, at den flæskesteg han kan levere som helt egen avl smager fantastisk godt, uden at vide om DNA'et har nogen betydning for det. Vi har dog aftalt at den levering aflyses, det ville jo gå ud over hans vigtige funktion her i bladet, så vi går til den lokale slagter efter flæskestegen til Jul.
Og dermed ønsker vi sammen med Øffe vore læsere en rigtig glædelig Jul.