

Nedbrydning af oliestoffer i den umættede zone

I opgraderingen af risikovurderingsværktøjet JAGG til version 2.0 vil det som noget nyt være muligt, at vurdere naturlig nedbrydning under nedsivning af oliestoffer i jordens umættede zone til primært grundvand. Denne artikel beskriver et screeningsværktøj, der på baggrund af målinger af fysiske og kemiske parametre i jorden kan tydeliggøre om der er basis for at inddrage nedbrydning i en risikovurdering.

ANDREAS HOULBERG KRISTENSEN
PER LOLL
KAJ HENRIKSEN
LARS MORTENSEN
PER MØLDRUP

Jordforurening med olieprodukter, som f.eks. benzin, diesel og fyringsolie, er kendetegnet ved en naturlig massereduktion over tid som følge af biologiske nedbrydningsprocesser. Ét gram jord indeholder normalt mellem 105 og 1011 bakterier, hvoraf mindst 0,1 % kan anvende oliestoffer i deres metabolisme /1/. Når jorden forurenes vil antal og aktivitet af olienedbrydende bakterier øges, hvilket under gunstige jordfysiske og geokemiske forhold kan begrænse forureningens spredning til ganske få centimeter /2/.

Traditionelt bliver nedbrydningsprocesser ikke taget i betragtning i risikoberegninger af transport af forurening fra jordens umættede zone til bygningers indeklima eller underliggende grundvandsmagasiner. Risikoen for indtrængning af gasformig forurening til bygninger kan forholdsvis let belyses med udtagning af poreluftprøver lige under gulv. Derimod kan det være vanskeligt at vurdere den reelle risiko for nedsivning af gasformig eller opløst forurening fra et hot-spot til det underliggende grundvand.

Miljøstyrelsen iværksatte i 2006 en revidering af risikovurderingsværktøjet JAGG (Jord, Afdampning, Gas, Grundvand), med det formål at udvikle en forbedret og mere brugervenlig version 2.0. I den forbindelse har NIRAS i samarbejde med DTU leveret et nyt

koncept til beregning af stoftransport og nedbrydning igennem den umættede zone og til det førstkomende underliggende grundvandsmagasin /3/. For at udnytte de nye modelværktøjer og inkludere biologisk nedbrydning i konkrete risikovurderinger, er det nødvendigt at kunne vurdere om lokalitets-specifikke forhold tillader betydelig biologisk aktivitet samt estimere størrelsesordenen af de forventede nedbrydningsrater /3, 4/. Ud-kastet til JAGG 2.0 lægger op til fremgangsmåden beskrevet i boks 1.

Rambøll og Aalborg Universitet gennemførte fra 2007 til 2010 et ErhvervsPhD-projekt, der havde til formål, at bestemme hvorledes geologiske og fysiske forhold, og variabiliten af disse, påvirker den naturlige nedbrydning af benzinforurening i den umættede zone /2/. Studiet bestod af en litteraturgennemgang

samt en række laboratorie- og feltundersøgelser. På baggrund heraf blev der foreslået konkrete kriterier og retningslinier for vurdering af nedbrydningspotentialer på baggrund af grundlæggende parametre i jorden. Derudover har NIRAS og Dansk Miljørådgivning A/S i et projekt under Miljøstyrelsens Teknologiuudviklingsprogram beskrevet eksisterende eksperimentelle strategier for dokumentation af naturlig nedbrydning af oliestoffer i den umættede zone. Projektet består af en gennemgang af både etablerede og forholdsvis uprøvede metoder beskrevet i udenlandsk og dansk litteratur.

Formål og afgrænsning

I denne artikel vil vi præsentere et screeningsværktøj til indledende vurdering af potentialet for naturlig nedbrydning på olieforurenede lokaliteter (svarende til fase IIa i boks 1). Værktøjet er målrettet en anvendelse sammen med JAGG 2.0 i en situation med nedsivning af opløst eller gasformig forurening fra et hot-spot i den umættede zone til det førstkomende grundvandsmagasin (se fig. 1).

Værktøjet er opsummeret i fig. 2 og indeholder en række vejledende kriterier, der erfaringsmæssigt bør være opfyldt i umættede aflejringer før de kan medvirke til biologisk afskæring af forureningsudbredelsen.

Boks 1: Risikovurderingskoncept i JAGG 2.0. Efter /4/.

Fase I: Der udføres en beregning af nedsivning til grundvandet uden at medtage nedbrydning. Beregningen forudsætter en geologisk model for lokaliteten.

Fase II: Der udføres en beregning af nedsivning til grundvandet ved brug af en konservativ nedbrydningsrate baseret på litteraturdata. Dette gøres kun hvis: (a) forudsætningerne for nedbrydning vurderes, at være til stede; og (b) O_2 - og CO_2 -koncentrationer i poreluften indikerer, at aerob nedbrydning finder sted.

Fase III: Der fremskaffes lokalitetsspecifikke data til estimering af nedbrydningsrater i den umættede zone – f.eks. ved in-situ nedbrydningsforsøg. Desuden sandsynliggøres ved massebalancer på ilt, N og P, at raten kan opretholdes over en tidshorisont, der svarer til kildens forventede levetid. Endeligt skal den naturlige forureningsfjernelse dokumenteres ved monitoring.

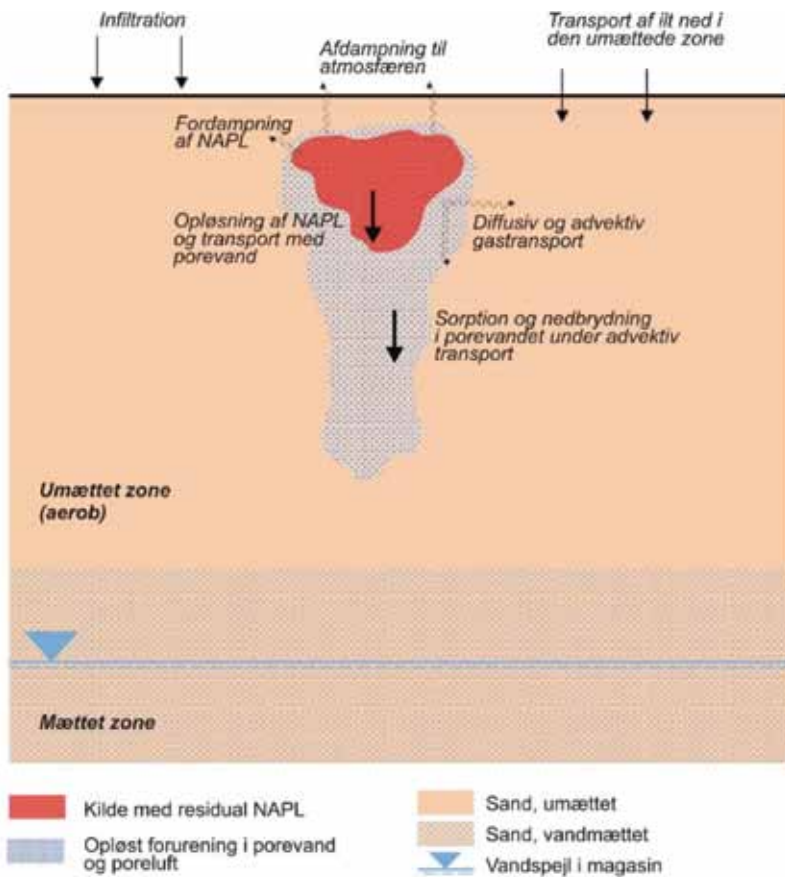


Fig. 1. Konceptuel model af nedsivning af opløst og gasformig forurening ned mod et underliggende grundvandsmagasin. Baseret på /4, 5/.

I det følgende gennemgås baggrunden for fig. 2 med fokus på fysisk-kemiske nøgleparametre: (i) tilstedeværelse af ilt; (ii) tilgængelighed af kvælstof og fosfor; og (iii) jordfysiske forhold, der styrer transporten i jordmatricen på både makro- og mikroskala. Hvorvidt kriterierne overordnet set er opfyldt på en lokalitet kan f.eks. bestemmes i forbindelse med en forureningsundersøgelse.

Jo længere afstand, desto mere nedbrydning

Afstanden mellem et forurenede hot-spot og det underliggende grundvand – eller snarere transporttiden mellem dem – spiller en vigtig rolle for om forureningen på sigt vil medføre grundvandsforurening. Miljøstyrelsen udgav i 2009 en erfaringsopsamling om sammenhængen mellem fyringsolieforurening og indeklimaproblemer, der konkluderede, at risikoen for indtrængning af gasformige oliestoffer gennem fundamentet er minimal, når afstanden mellem jordforureningen og bygningen er > 1 meter /6/. På samme måde vil det også være relevant, at inddrage nedbrydning i risikovurderingen i situationer med mere end en meter til grundvandet. Man skal i den forbindelse være opmærksom på, at grundvandsspejlet kan bevæge sig betydeligt

over året og potentielt løfte grundvandet tættere på forureningen. Afstanden til grundvandsspejlet bør derfor være større end én meter ved højeste vandstand. Derudover spiller nettonedbør, overfladeafstrømning og nettoinfiltrationen af regnvand en styrende rolle for udvaskningshastigheden og dermed opholdstiden af opløst forurening i den umættede zone /4, 5/.

Ingen ilt, ingen effektiv nedbrydning

Ilt er den absolut vigtigste forudsætning for naturlig nedbrydning af oliestoffer i umættet jord. Aerobe nedbrydningsprocesser forudsætter generelt omkring 1-2 mg O₂/liter porevand, svarende til omkring 2-5 % O₂ i poreluften /1, 2/. Anaerob nedbrydning af kulbrinter er blevet påvist i forurenede grundvand - eksempelvis ved denitrifikation eller sulfatreduktion af BTEX'er – men i den umættede zone betragtes ilt normalt som en forudsætning for biologisk afskæring af forureningsudbredelse. I tilfælde af transport over længere afstande (f.eks. 10-20 meter) vil anaerob nedbrydning dog sandsynligvis spille en rolle.

I uforurenede sand kan der ofte måles atmosfæriske iltindhold helt ned til 10-20 meters dybde /2/. Derimod træffes typisk redu-

cerede eller anaerobe forhold i olieforurenede jordzoner, hvor iltten forbruges ved aerob nedbrydning. Lokale anaerobe forhold omkring et hot-spot betyder dog ikke nødvendigvis, at der ikke sker aerob nedbrydning, men nedbrydningen vil være begrænset af: (i) vertikal tilførsel af ilt fra atmosfæren; eller (ii) horisontal tilførsel af ilt fra mindre forurenede områder i den umættede zone /7/. I disse situationer kan en potentiel nedbrydningsrate estimeres ud fra en simpel flux-betragtning (ved brug af Fick's 1. lov) med hensyn til diffusion af gasformig ilt til den forurenede jordzone. Her kan antages et iltbehov på 3-3,5 kg O₂ pr. kg olieforurening der skal nedbrydes /15/.

Vækst af biologiske nedbrydere kræver næringsalte

Næringsfattige forhold i undergrunden vil typisk kunne begrænse væksten af bakterier. Nedbrydning vil ganske vist kunne finde sted uden mikrobiologisk vækst, men på lang sigt kan næringsfattige forhold udsulte jordens biomasse og forhindre effektiv nedbrydning /1/. Desuden viser erfaringer fra laboratoriet, at tilførsel af makronæringsstoffer til jordprøver næsten altid stimulerer den observerede nedbrydning /16/. Risikoen for kvælstofbegrænsning vil være størst i ældre jordforureninger, hvor kvælstofpuljen kan være kraftigt reduceret.

Oftest benyttes C:N:P-forholdet 100:10:1 som en tommelfingerregel for det indhold af makronæringsstoffer, der vil tillade ubegrænset nedbrydning af olieforurening /4/. Forholdet regnes i masser af totalindhold af kulbrinter, kvælstof og fosfor, hvilket f.eks. er relevant ved vurdering af nedbrydning i hot-spots /17/. Ved vurdering af mulig biologisk afskæring af forureningsudbredelse kan det dog være hensigtsmæssigt i stedet, at anvende umiddelbart tilgængelige (dvs. opløste) næringsstoffsaltkoncentrationer, der ofte vil være en faktor 2-100 mindre end total-koncentrationerne /7/. Det er dog et område, hvor der generelt mangler detaljeret viden.

På trods af teoretisk næringsstofbegrænsning af naturlige nedbrydningsprocesser i jord viser erfaringer fra 135 lokaliteter indenfor det amerikanske flyvevåben, at naturlig nedbrydning under aktiv ventilering i umættet zone så godt som altid er i stand til at fjerne kulbrinter /8/. I litteraturen gives således også et alternativt og mindre konservativt bud på en kritisk C:N:P i kulbrinterforurenede jord på 100:1,7:0,125 (ligeledes baseret på totalindhold) /9/. Dette er i overensstemmelse med resultater fra det omtalte ErhvervsPhD-studie, der påviste naturlig nedbrydning af kulbrinter

Boks 2. Sammenhæng mellem grundlæggende jordfysiske parametre

$$\omega = \frac{1}{0,01 \cdot TS\%} - 1$$

$$1 = V_V + V_L + V_S$$

$$\Phi = V_V + V_L$$

$$V_V = \rho_b \cdot \omega$$

$$V_S = \frac{\rho_b}{\rho_s}$$

Hvor:

TS% er tørstofprocent (100%·kg TS/kg jord)

ω er gravimetrisk vandindhold (kg vand/kg TS)

V_V er vandfyldt porøsitet (L vand/L jord)

V_L er luftfyldt porøsitet (L luft/L jord)

V_S er partikelindholdet (L partikler/L jord)

Φ er jordens totale porøsitet (L hulrum/L jord)

ρ_b er jordens volumenvægt (kg TS/L jord)^a

ρ_s er jordens partikeldensitet (kg TS/L partikler)^b

^a ρ_b er mellem 1,5 og 1,8 kg TS/L jord for de fleste danske jordtyper

^b ρ_s er ca. 2,65 for mineralske jorde

i dybe og stærkt kvælstoffattige aflejringer med en generel C:N:P på ca. 100:1,6:31 /10/.

Jordfysiske faktorer styrer fordeling af ilt og næringsstoffer

På lokalitetsskala er transporten af ilt til forurenede hot-spots i den umættede zone styret af den geologiske lagfølge og den fysiske fasefordeling i hvert enkelt lag – dvs. det volumetriske forhold mellem partikler, vand og luft (se boks 2). Det samme er forureningens fordeling og spredningsveje i jorden.

Vand- og luftfyldt porøsitet

Mikrobiologisk liv i al almindelighed forudsætter vand, og udtørring til TS% > 90-95 kan derfor sætte en stopper for nedbrydningsprocesserne. Jordens vandfase er desuden vigtig for fordelingen af næringsstoffer i matricen, og lav vandmætning ($V_v < 0,3 \times \Phi$) kan hæmme den mikrobielle vækst og nedbrydningsaktivitet /1, 15/. Imidlertid er udtørring af den dybtliggende umættede zone sjælden under danske forhold. Derudover er lavt vandindhold normalt ikke begrænsende for naturlig nedbrydning på lokalitetsskala /7/.

Vand i umættet jord er med til at fortrænge poreluft fra jordmatricen. Vandindholdet styrer derfor jordens luftfyldte porøsitet (V_L) og den gasformige transport af ilt og forurening i poreluften. Figur 3 viser aerob nedbrydningsaktivitet i prøver af moræneler som funktion af V_L estimeret for den aflejringer hvor jordprøven er udtaget. Nedbrydningsaktiviteten er målt som en førsteordens nedbrydningskonstant, k_f , for benzen i batchflasker i laboratoriet (initielle rater = nedbrydningspotentiale) /7/.

Nedbrydningsaktiviteten er generelt stigende med den luftfyldte porøsitet – dvs. faldende med jordens vandindhold. Figur 3 illustrerer hvordan vandholdige aflejringer, dvs. lagdelinger med lav V_L , kan resultere i

zoner med lav aktivitet af olienedbryderne. Som tommelfingerregel vil en V_L omkring 10 % indikere sammenhængende luftfyldte porer og effektiv diffusiv fordeling af gasser i jordmatricen /7/. Derudover er gasdiffusivitet også afhængig af jordens struktur og densitet /11/.

I fig. 3 ses desuden, at der i forureningens hot-spot kan opstå situationer, hvor nedbrydningsprocesserne hæmmes af toksiske forureningskoncentrationer. Den toksiske oliekoncentration kan variere mellem 1.000 og 50.000 mg /kg TS, alt afhængig af forurenin-

gens og jordens sammensætning /7, 15/. Tilstedeværelse af hot-spots med høje koncentrationer kan derfor betyde, at biologisk nedbrydning primært vil foregå efter fortyndning i den omgivende jord.

Gasdiffusivitet

Hastigheden af gasdiffusion i umættet jord afhænger af gassens koncentrationsgradient samt gasdiffusionskoefficienten i jord D_p (cm²/s). Gasdiffusivitet (D_p/D_0) er forholdet mellem gasdiffusionskoefficienten i jord og i fri luft og er et mål for i hvilket omfang en given aflejringer tillader diffusiv gastransport. Figur 4 viser førsteordens nedbrydningskonstanter, k_f , for benzen i 100 cm³ intakte jordprøver udtaget i den umættede zone fra forskellige lokaliteter. Nedbrydningskonstanten er afbildet mod D_p/D_0 målt i den samme prøve således, at effekten af diffusiv transport på naturlig nedbrydning af gasformig forurening fremgår. På trods af forskellige jordtyper viser resultaterne en positiv korrelation mellem k_f og D_p/D_0 for værdier lavere end 0,02. I aflejringer med højere gasdiffusivitet er nedbrydningsraten sandsynligvis uafhængig af D_p/D_0 /2/.

Det kan derfor konkluderes, at distributionen af ilt og gasformig forurening typisk vil være hæmmet i finkornede jorde med højt

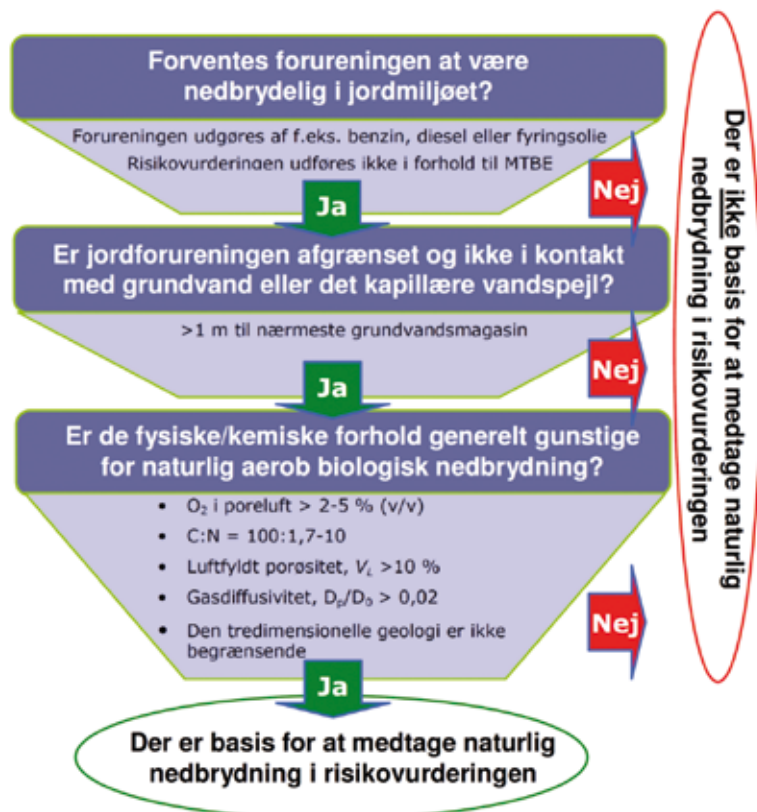


Fig. 2. Beslutningsværktøj til screening for potentiel biologisk afskæring af forureningsudbredelse fra et hot-spot i den umættede zone til førstkomende grundvandsmagasin. Baseret på resultater og litteraturstudie i /2/.

Boks 3:

Gasdiffusivitet i umættet jord estimeres ofte ved semi-empiriske prædiktionsmodeller ud fra oplysninger om jordens fasefordeling beregnet fra tørstofindhold og densitet som vist i boks 2. Eksempler på fasefordelingen i typiske danske jorde ses i fig. 5. For ikke-sprækkede aflejringer anvendes i JAGG 2.0 udtrykket:

$$\frac{D_p}{D_0} = \frac{V_L^{2,5}}{V_L + V_v} \quad /13/$$

I moræneler eller kalk vil gastransporten typisk ske gennem afdrænedede makroporer og mindre sprækker, mens matricen er vandmættet. Her kan gasdiffusiviteten estimeres ved:

$$\frac{D_p}{D_0} = 0.66V_L \quad /11/$$

naturligt vandindhold – f.eks. lerholdig og siltet jord med $D_p/D_0 < 0,02$ – mens diffusionsbegrænsning sandsynligvis ikke vil være en faktor i mere permeable aflejringer – f.eks. sandede og grusede aflejringer med $D_p/D_0 > 0,02$. Gasdiffusivitet kan estimeres som beskrevet i boks 3.

Variation af geokemiske og jordfysiske parametre

Figur 5 viser eksempler på en række kemiske og fysiske parametre målt i en 16-meter dyb umættet zone i Nyborg. Figuren viser hvordan jordens egenskaber varierer betydeligt mellem forskellige jordtyper og ned gennem et jordprofil. Eksempelvis er V_L i finsand dobbelt så stor som i moræneler, mens kalk i dette eksempel er så godt som vandmættet og har en meget lav D_p/D_0 . Derudover ses, at høje forureningskoncentrationer hyppigere findes i sand end i moræneler. Geologisk variabilitet vil således have en altdominerende betydning for koncentrationer og transport af forurening, ilt og næringssalte på lokalitetsskala.

Dansk geologi er typisk opbygget af lagde-

linger beliggende parallelt med terrænoverfladen. Det medfører, at variationen af fysiske og kemiske faktorer i jorden generelt er 2-5 gange større i vertikal retning end i horisontal retning /12/. Det hænder derfor ofte, at en ellers homogen umættet zone indeholder en eller flere impermeable horisontale aflejringer, hvilket fuldstændigt ændrer måden hvorpå forurening vil fordele og bevæge sig i jorden. Desuden kan sådanne aflejringer også forhindre tilførslen af atmosfærisk ilt til jordforureningen og derved skabe lokale anaerobe zoner. Man bør derfor ikke foretage en risikovurdering i den umættede zone uden først at have udarbejdet en detaljeret geologisk model.

Geologiske modeller udarbejdes typisk på baggrund af visuel bedømmelse af jordprøver udtaget fra traditionelle miljøtekniske boringer med boresnegl. Dette er i de fleste sammenhænge en fornuftig og økonomisk rentabel fremgangsmåde. Imidlertid kan det i særligt heterogen geologi være hensigtsmæssigt, at supplere de traditionelle boringer med én eller flere kerneboringer (f.eks. Geo-Probe® eller SonicSampDrill®). Sådanne boreteknikker giver en forbedret prøvekvalitet og øger chancen for at identificere selv centimeter-tynne lagdelinger, der kan have stor betydning for risikovurderingen /14/.

Anvendelse af screeningskoncept

Screeningskonceptet beskrevet i denne artikel og opsummeret i fig. 2 kan bruges som en tjekliste ved vurdering af tilgængelige data på en olieforurenede lokalitet. Derudover kan konceptet bruges til at fastlægge en undersøgelsesstrategi på sager, hvor naturlig nedbrydning vurderes at kunne spille en rolle for risikobilledet. Hvis kriterierne fra fig. 2 er opfyldt, er det sandsynligt, at aerob nedbrydning kan mindske nedsvivningen af oliestoffer og

dermed forureningen af det underliggende grundvand. Man bør da fortsætte med en endelig dokumentation af nedbrydningen (fase IIb og III i boks 1). Konceptet kan både bruges på lokalitetsskala og på enkelte lagdelinger, som udgør en potentiel barriere mellem forurenede jordlag og grundvandet. Det er en vigtig pointe, at datagrundlaget fra en forurenede lokalitet skal vurderes i forhold til den tredimensionelle geologi. Eksempelvis kan permeable linser af sand eller grus reducere forureningens opholdstid ganske betydeligt. På samme måde kan vandmættede jordlag skabe "døde zoner", hvor gastransporten og den aerobe nedbrydning vil være minimal. Ved risikovurderinger bør man derfor altid tage jordens lagdeling og heterogenitet i betragtning i de udførte beregninger.

Litteratur

- 1/ Atlas, R.M. 1981. Microbial degradation of petroleum hydrocarbons : an environmental perspective. Microbiological reviews. 45(1) :180-209.
- 2/ Kristensen, A. 2010. Controlling factors for natural attenuation of petroleum vapors in a layered subsurface. Ph.d.-afhandling fra Aalborg Universitet. Er tilgængelig på: <http://vbn.aau.dk/publications/controlling-factors-for-naturalattenuation-of-petroleum-vapors-in-a-layered-subsurface%28268602cc7-9905-469f-95db-1e081b711cbb%29.html>
- 3/ Trolborg, M., Binning, P.J., Nielsen, S., Kjeldsen, P. og Christensen, A.G. 2009. Unsaturated zone leaching models for assessing risk to groundwater of contaminated sites. Journal of contaminated hydrology. 105:28-37.
- 4/ Loll, P., Muchitsch, N og Christensen, A.G. 2010. Hvad med nedbrydning i JAGG 2.0? ATV-møde: JAGG med "face lift" og større motor. Schæfergården, Gentofte. 16. juni 2010.
- 5/ Christensen, A. G., Kjeldsen, P., Binning, P. og Trolborg, M. 2010. Opgradering af JAGG til version 2.0: Umættet zone – hvad kan JAGG nu? Præsentation ved ATV-møde: JAGG med "face lift" og større motor.

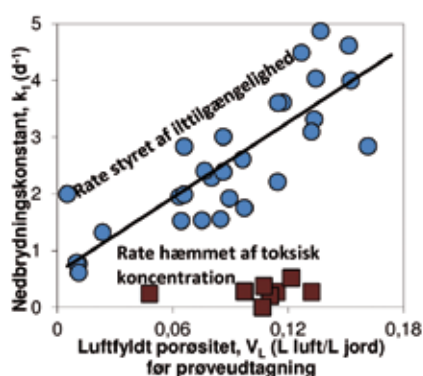


Fig. 3. Førsteordens nedbrydningskonstant for benzen i batch-flasker med jordprøver af moræneler /7/.

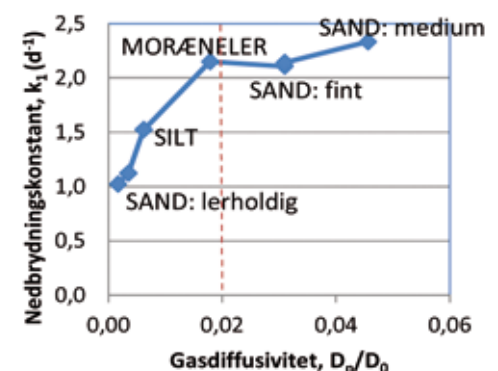


Fig. 4. Førsteordens nedbrydningsrate, k_1 , som funktion af gasdiffusivitet (D_p/D_0) i intakte jordprøver. Værdierne angiver gennemsnittet af tripelbestemmelser /2/.

| Dybde m.u.t. | Lagfølge | Kulbrinter mg/kg TS | Total N mg/kg TS | Total P mg/kg TS | O ₂ % | CO ₂ % | ρ _b kg TS/L | V _L L/L | D ₀ /D ₀ - |
|-----------------|--|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| <2 | FYLD/MULD | | | | | | | | |
| 2-10 | MORÆNELER: gruset, kalkholdigt, brunt | 0-8 | 19,8 (9,9) | 363 (88) | 0-1,5 | 9-12 | 1,7-2,0 | 0,093 (0,046) | 0,021 (0,025) |
| 6-8 | KALK: flydende, vådt | 0-450 | 9,3 (6,6) | i.m. | i.m. | i.m. | 1,6-1,7 | 0,04 | 0,007 (0,017) |
| 10-13 | SAND: fint | 0-6400 | 10,2 (4,7) | 279 (37) | 4-5 | 12-13 | 1,5-1,6 | 0,21 | 0,031 (0,071) |
| 13-16 | MORÆNELER/ SILT/KALK: vådt | 0-14 | i.m. | i.m. | i.m. | i.m. | 1,5-1,7 | 0,06 (0,07) | 0,009 (0,035) |

i.m.: Ikke målt, m.u.t.: meter under terræn, TS: tørstof. Data i parentes er standardafvigelsen.

Fig. 5. Eksempel på geologisk profil og geokemiske og jordfysiske parametre målt 2-16 m.u.t. i en lagdelt, umættet zone. Grundvandspejlet findes i 15,5-16 m.u.t. Tal er parentes er standardafvigelsen er Efter /7, 12/.

- Schæfergården, Gentofte. 16. juni 2010.
- /6/ Miljøstyrelsen. 2009. Erfaringsopsamling på udviklingen i poreluftkoncentrationer på villatanksager. Miljøprojekt 1310, 2009.
- /7/ Kristensen, A.H., Henriksen, K., Mortensen, L., Scow, K.M. og Moldrup, P. 2010. Soil physical constraints on intrinsic biodegradation of petroleum vapors in a layered subsurface. *Vadose Zone Journal* 9:137-147.
- /8/ Downey, D.C., Hinchee, R.E., and Miller, R.N., 1999. *Cost-Effective Remediation and Closure of Petroleum-Contaminated Sites*. Battelle Press, Columbus, Ohio. ISBN 1-57477-071-3.
- /9/ Dibble, J.T. and Bartha, R., 1979. Leaching aspects of oil sludge biodegradation in soil. *Soil Science* 127, 365-370.
- /10/ Kristensen, A.H., Mortensen, L., Høj, A.R., Henriksen, K. og Moldrup, P. 2009. Naturlig nedbrydning i lagdelt umættet zone. Vintermøde om jord- og grundvandsforurening, ATV-Jord og Grundvand, Vingsted, 10-11. marts 2009.
- /11/ Kristensen, A.H., Thorbjørn, A., Jensen, M.P., Pedersen, M. og Moldrup, P. 2010. Gas-phase diffusivity and tortuosity of structured soils. *Journal of Contaminant Hydrology* 115:26-33.
- /12/ Kristensen, A.H., Poulsen, T.G., Mortensen, L. og Moldrup, P. 2010. Variability of soil potential for biodegradation of petroleum hydrocarbons in a heterogeneous subsurface. *Journal of Hazardous Materials* 179:573-580.
- /13/ Moldrup, P., Olesen, T., Gamst, J., Schjonning, P., Yamaguchi, T. og Rolston, D.E., 2000. Predicting the gas diffusion coefficient in repacked soil: Water-induced linear reduction model. *Soil Science Society of America Journal*. 64:1588-1594.
- /14/ Kristensen, A.H., Mortensen, L., Høj, A.R. og Moldrup, P., 2008. Undersøgelse ved brug af kerneboringer. *Vand & Jord*. 15, 84-88.
- /15/ USEPA. 2004. How to evaluate alternative cleanup technologies for underground storage tank sites: A guide for corrective action plan reviewers, United States Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/oust/pubs/tums.htm>
- /16/ Miljøstyrelsen. 2006. BioGel til rensning af olieforurenede jord. Miljøprojekt Nr. 1060, 2006.
- /17/ Loll, P. Oprensning af olie- og benzinfureninger – status for naturlig nedbrydning og biologiske afværgeteknikker med fokus på olie- og benzinfureninger. ATV-møde: Afværgeteknologier – state of the art. Schæfergården, Gentofte. 22. oktober 2008.
- ANDREAS HOULBERG KRISTENSEN. Civilingeniør og ph.d. i Dansk Miljørådgivning A/S. Tidligere ErhvervsPhD hos Rambøll. Tlf. 8788 2705 og ahk@dmr.dk.
- PER LOLL. Civilingeniør, ph.d. og udviklingsleder i Dansk Miljørådgivning A/S. Tlf. 9645 5040 og pl@dmr.dk.
- KAJ HENRIKSEN. Lektor emeritus ved Sektion for Miljøteknik på Aalborg Universitet. Tlf. 9940 8510 og kh@bio.aau.dk.
- LARS MORTENSEN. Civilingeniør og afdelingsleder i Rambøll Danmark A/S. Tlf. 7941 5104 og lmn@ramboll.dk.
- PER MOLDRUP. Professor ved Sektion for Miljøteknik på Aalborg Universitet. Tlf. 9940 8460 og pm@bio.aau.dk.

Salpeter...

Amnesti for fartovertrædelser i trafikken.

Regeringen har indført en mere lempelig politik for miljøsyndere. I forbindelse med Mærsk Olie og Gas overtrædelse af udledningstilladelsen for produktionsvand erklærer Miljøministeren i Politiken 8.dec 2010: Helt overordnet er det naturligvis helt utilfredsstillende at selskaberne ikke overholder grænserne. Men jeg må også sige at selskaberne investerer betydelige beløb i ny teknologi, så det er min klare forventning at målene nås snart'. Miljøministeren mener ikke at der er grundlag for at rejse en sag mod Mærsk.

For bilister må det samme vel gælde hvis de overskrider hastighedsgrænserne. Blot vi

investerer betydelige beløb i ny teknologi (det gør vi jo med vores biler med mellemrum) er der intet grundlag for at idømme en fartbøde.



Folketingets Miljøudvalg har fået oplyst at Bjørn Lomborg har fået 145,6 millioner kr. i perioden fra 2002 og frem til 2014 til diverse aktiviteter. Salpeter overvejer fordelingen af dette beløb mellem 'cost-benefit' og 'cost-damage'.

AKTUELT

Instituddirektør, professor Mogens Henze, DTU Miljø går på pension 31. marts. I den anledning afholdes afskedsreception. Sted: DTU Bygning 113, lokale 011, 31. marts kl 15.30.

Mogens Henze blev ansat på DTH 15. januar 1969 på Kemisk Laboratorium A. Han blev ansat på Laboratoriet for teknisk Hygiene senere samme år. Han har fagligt mest arbejdet med biologiske processer til rensning af spildevand og har de seneste 13 år været leder af DTU Miljø der i dag har 180 medarbejdere. Mogens Henze fortsætter som professor emeritus ved DTU Miljø og som redaktør af *Vand & Jord*.