

Overiltet vand mod benzin

- iltet vand følger forurenings veje og vildveje

Af Lillin Villadsen, Ribe Amt og Henrik Kjør Nielsen, DGE - Dansk GeoservEx a/s

Hvis forureninger med kulbrinter skal nedbrydes af bakterier, skal der ilt til, men det er svært at få ilten fordelt i et forurennet lerlag. I et tilfælde i det sydvestlige Jylland blev overiltet vand løsningen.

I 1996 blev der opdaget benzen i råvandet i en af tre indvindingsboringer ved et vandværk i det sydvestlige Jylland. Der var 6 µg/l, hvilket er 6 gange grænseværdien for drikkevand. Boringen blev derfor taget ud af vandværkets drift.

Efter forureningen var undersøgt, blev hot spot'en, forureningens kerne, gravet væk, og den forurenede boring fortsatte med at pumpe som en afværgeforanstaltning for de to andre boringer. Men der var stadig et forurennet lerlag tilbage. For at få det rensat, faldt valget på en ny metode. Vi tilførte overiltet vand til laget, hvor hot spot'en tidligere lå. Afværge projektet er projekteret og styret af DGE a/s for Oliebranchens Miljøpulje (OM) og Ribe Amt. Efter 2 års indsats er forureningen stortset fjernet.

Kildeopsporing

Mulige kilder til forureningen skulle fastlægges. Ud fra historiske data er tidligere tankanlæg opsporet, da der ikke er nogen eksisterende anlæg i området. Vi lavede flere boringer med filtersætning i det primære magasin 20 meter under terræn



Etablering af et stenlag, en faskine, over det forurenede lerlag. (Foto: Henrik Kjør Nielsen)

(m.u.t.), og analyser af vandprøver pegede snart mod en tidligere benzinstation og vognmandsvirksomhed ca. 150 meter opstrøms for den ramte boring som forureningens arnested.

Undersøgelser

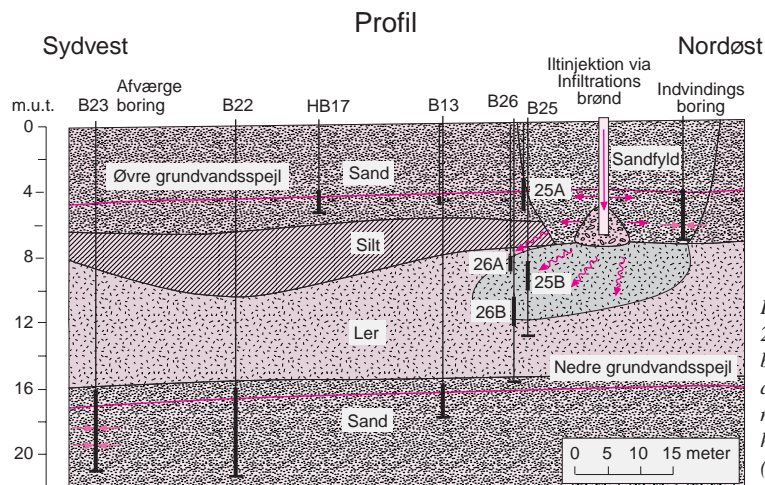
En række undersøgelsesboringer afdækkede en temmelig omfattende benzinforurening. Der var benzin i fri fase på det øvre grundvandsspejl ca. 4,5 m.u.t. For at afgrænse forureningen horisontalt og vertikalt skulle der yderligere en række boringer til.

Undersøgelsesboringerne viste, at den geologiske struktur i området er opbygget

af et øvre sandlag, der rummer et øvre, sekundært magasin med frit vandspejl. 6 m.u.t. er sandlaget underlejret af en kompleks lagserie med flere skrånede siltlag, adskilt af tynde sandlag. Herunder er der sammenhængende aflejringer af moræner fra 8 til 16 m.u.t. Under lerlaget følger en sandformation med stor mægtighed og regional udstrækning. Det primære magasin er her lokaliseret som frit med vandspejl knap 17 m.u.t. Strømningsretningen er direkte mod den forurenede vandværksboring.

Tolkninger af grundvandspotentialet i det øvre magasin antyder, at der er en svag sænkning i grundvandsspejlet i et mindre område tæt ved det værst forurenede område. Dette giver mistanke om tilstedeværelse af en betydelig lækage i lerlaget, der adskiller de to magasiner. Yderligere et par filtersatte boringer bekræftede teorien.

I alt blev det til 25 undersøgelsesboringer over et areal på ca. 1500 m² i og omkring hot spot'en. Heraf er de 14 boringer filtersat. Det lyder måske umiddelbart af mange, men eksemplet viser tydeligt, at en god boringsdækning giver mulighed for en god geologisk og hydrogeologisk tolkning, som er vigtig for at kunne opstille et optimalt afværgeprojekt. Især når geologien er meget inhomogen. De ekstra udgifter i undersøgelsesfasen tjenes let hjem i projektets senere faser.



Valg af afværgeløsning

Med baggrund i den opstillede geologiske model vurderede vi mulighederne for afværgeløsninger.

En ren graveløsning var på forhånd ikke mulig, idet forureningen påviseligt var nået gennem lerlaget til 16 meters dybde. Og en løsning, der udelukkende er baseret på in situ metoder (direkte oprensning i de forurenede jordlag), er usikker bl.a. på grund af det kraftige forureningsniveau i øvre magasin, den komplekse struktur i det stærkt forurenede siltlag samt forureningen af det tykke lerlag.

På den baggrund, samt pga. risikoen for forurening af de to andre vandværksboringer, blev det en tredelt kombinationsløsning:

- afskærende pumpning fra en ny boring, filtersat i det primære magasin mellem lækageområdet og vandværket
- afgravning af det kraftigst forurenede område med fri fase over lerlaget (hot spot)
- in situ nedbrydning af forureningen i lerlaget.

Pumpning

Den afskærende pumpning af det svagt forurenede vand fra det primære magasin blev etableret i løbet af få uger og sikrede en forholdsvis hurtig effekt overfor indvindingsboringerne. Det oppumpede vand blev afledt til spildevandssystemet.

For at undgå afledningsafgiften ved udledning til spildevandssystemet lavede vi en særskilt rørledning til nærmeste recipient. Afværgevandet fra den forurenede vandværksboring kom også gennem denne rørledning.

Afgravning

Afgravningen af det store område til syv meters dybde blev både dyr, besværlig og en voldsom belastning for omgivelserne pga. hot spot's beliggenhed nær vej og bygninger. Blandt andet skulle der forinden fjernes en del af en bygning. Men metoden gav en forholdsvis hurtig og sikker fjernelse af hot spot. I forbindelse med

graveprojektet gennemførte vi en omfattende grundvandssænkning i afgravningssområdet. Det forurenede grundvand blev rensat i et mobilt renseanlæg inden det løb i kloaken. Graveprojektet var gennemført på ca. 4 uger og fjernede ca. 2000 tons forurenede jord med et indhold på ca. 1500 liter benzin.

Ved afgravningen af hot spot til overfladen af lerlaget 7 m.u.t. viste det sig, at den opstillede geologiske model svarede ganske godt til virkeligheden. De skråttilede siltlag indeholdt store mængder benzin, som kun vanskeligt kunne fjernes ved in situ processer. Toppen af lerhorisonten havde sandslirer, som givetvis var årsag til den kraftige lækage gennem laget. Slirer

Mikrobiel nedbrydning

Ved den mikrobielle nedbrydningsproces af organisk stof udvinder bakterierne energi ved oxidation af stoffet vha. forskellige oxidationsmidler, elektronacceptorer, f.eks. ilt, nitrat eller Fe(III). Energiudbyttet er normalt størst med ilt, som derfor opbruges først. På denne måde opstår der zoner, domineret af forskellige redox-processer omkring de forurenede lag.

findes næsten altid i moræneler, og de medfører som ofte lækager gennem lerlaget. Slirerne var få millimeter tykke, med kraftig misfarvning og benzinlugt.

Forurening i lerlaget

Tilbage var nu valget af et in situ projektet overfor det dybtliggende lerlag. In situ løsninger fjerner f.eks. forureningen ved nedbrydning (abiotiske eller mikrobiologiske processer) eller ved fysisk stoftransport

(eksempelvis stripping med luft) - eller ved en kombination heraf.

Forureningen i lerlaget er domineret af de mest vandopløselige benzinkomponenter. Blandt disse dominerer monoaromaterne - med benzen som det mest opløselige og mobile. Det er netop den store vandopløselighed, der medfører, at benzen er nået frem til vandværksboringen.

I den sidste tid har der været en del omtale af forurening med MTBE, et benzinadditiv, der har været anvendt siden 1987, og som har en ekstrem stor vandopløselighed. I denne sag optrådte MTBE ikke - alene fordi forureningen er fra før 1987.

I lerlaget var forureningen især knyttet til sandslirerne. Fra disse tynde slirer er de opløste benzinkomponenter trængt ind i og sorberet til lerstrukturen. Vi vurderede derfor, at stofferne bedst kunne fjernes ved en mikrobiel nedbrydningsproces.

Benzen, som er hovedproblemet i lerlaget, nedbrydes bedst under aerobe forhold, altså med O_2 som elektron-acceptor. Men i lerlaget var der anaerobe forhold. Der skulle derfor tilføres ilt til lerlaget for at skabe aerobe forhold og accelerere væksten af den biomasse, der danner de for nedbrydningen relevante enzymer. Bakterierne er oftest naturligt til stede i jordmiljøet omkring forureninger - men i begrænset mængde.

Ny metode til iltning

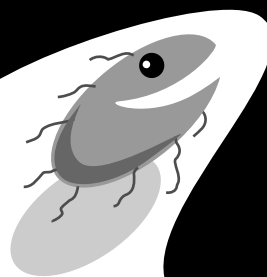
Normalt er det meget problematisk at tilføre tilstrækkelige mængder ilt til et lerlag på grund af dets lave permeabilitet. For at løse problemet er der udviklet et koncept, der tilfører store mængder ilt på en sådan måde, at ilten selv finder vej til de forurenede lag. Processen er navngivet "BiOxy-Tracking".

Ideen er, at ilten skal transporteres på samme måde som forureningen - dvs. vandtransporteret. Desuden skal injektionen af iltet vand ske netop, hvor forureningen er trængt ind og dermed sikre samme transportvej. Endelig skal startkoncentrationen af ilt i vandet være så høj, at ilten ikke bliver totalt opbrugt, inden vandet har passeret gennem det 8 meter tykke lerlag.

VI HAR JORD I HOVEDET ..!

- og plads til mere

GeoNyt



Bioteknisk Jordrens SOILREM er Danmarks landsdækkende jordrensning, når det gælder olie- og kemikalieforurening - med anlæg i Kalundborg, Esbjerg, Aalborg og på Ærø, Samsø og Bornholm.

Kontakt os på tlf. 59 50 46 68.



Bioteknisk Jordrens
SOILREM
- jordens bedste valg

Over det nu afgravede lækageområde udlagde vi et metertykt stenlag, en faskine, og derover et lag syntetisk fiber dug, et geotextil. Forbindelsen mellem stenlaget og terræn blev etableret med en brønd, opbygget af betonrør, som var perforeret ved stenlaget. Efter reetableringen er kun brønddækslet synligt.

Efterfølgende etablerede vi en indvindingsboring opstrøms for faskinen. Vandet herfra pumpes til et anlæg (OAS, Oxygen Absorption System), hvori vandet tilsættes ren ilt. Systemet er udviklet af DGE a/s og kan opløse ilt i vand til koncentrationer på mere end 50 mg/l - svarende til godt 500 % mætning.

Ved ligevægt mellem atmosfærisk luft og vand er det maksimale iltindhold i vandet omkring 10 mg/l - svarende til en iltmætning på 100 %. Mætningspunktet er temperaturafhængig, og er ved normale grundvandstemperaturer omkring 11 mg/l. Typisk er iltindholdet i grundvand dog en del lavere.

Fra OAS-anlægget kommer det overiltede vand til injektionsbrønden, hvorfra det fordeles ud i stenfaskinen over lækageområdet. I det øvre magasin omkring faskinen opbygger det gradvist en buffer af vand med iltovermætning på ca. 400 %, hvorfra der sker en kontinuerlig nedsvivning til de forurenede slirer i lerlaget.

Vi forventer, at overmætningen bevirker en diffusiv transport af ilt fra slirerne ind i lermatrixen.

Iltfrontens bevægelser

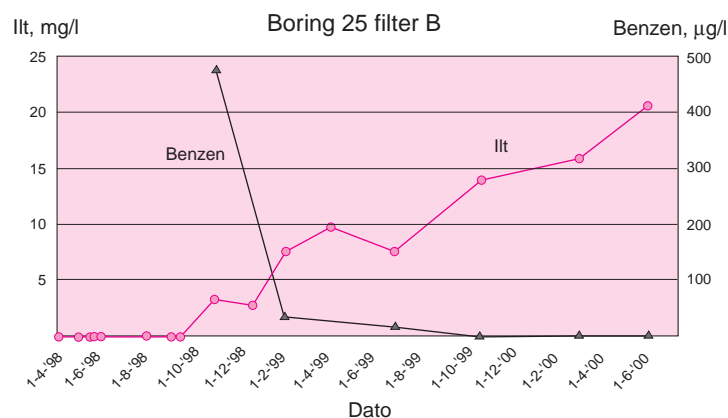
Anlægget blev sat i gang medio maj 1998, og effekten af ilt-infiltrationen er løbende fulgt ved monitorering af iltindholdet i vandet fra fire filtre, placeret i forskellige dybde - de tre i lerlaget. Effekten af nedbrydningen er målt ved analyser af kulbrinteindholdet fra de oppumpede vandprøver.

Inden projektstart herskede der totalt anaerobe forhold i området. I det øverste filter (25A), der ligger i grundvandsspejlet i det øvre sandlag, ses iltgennemslaget efter få dages drift (se grafen). Herefter stiger iltindholdet langsomt, og når efter 5 måneders drift op på ca. 6 mg/l - et niveau der opretholdes i hele driftperioden. Det skal her bemærkes, at dette filter er placeret i en kraftig jordforurening, som det ikke var muligt at fjerne. Omsætningen af forureningen medfører derfor et stort iltforbrug i jorden omkring dette filter.

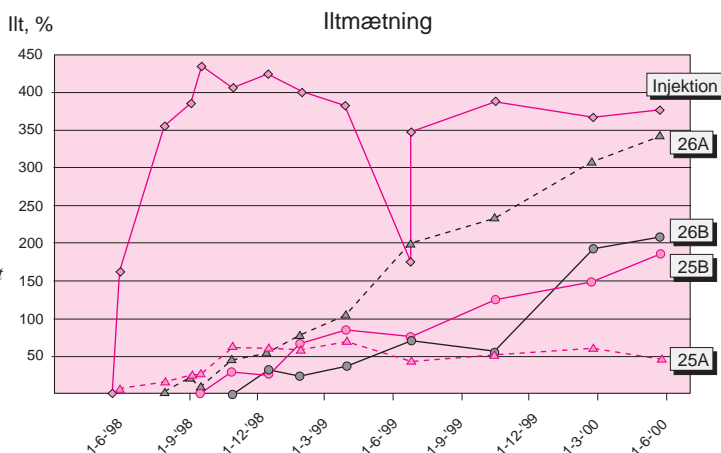
I de tre filtre i lerlaget påvises iltgennemslaget i de følgende 7 måneder successivt efter stigende dybde, og i december 1998 har det passeret alle filtre ned gennem lerlaget.

I alle filtrene iagttages nogle uger efter iltgennemslaget et kortvarigt fald i iltindholdet. Dette skyldes givetvis, at den bakterielle vækst først er begyndt efter den sædvanlige adaptationsperiode og først da

I det nederste filter i boring 25 faldt vandets benzenindholdet dramatisk, da iltfronten nåede frem. (Grafik: SL)



Iltindholdet i vandet i de enkelte boringer stiger generelt jævnt med tiden. (Grafik: SL)



forbruger ilt i en takt, der overstiger tilførslen ovenfra. Efter yderligere nogle uger overstiger tilførslen af iltforbruget, og koncentrationen øges - og sikrer iltfrontens fortsatte nedtrængning.

Iltfronten har bevæget sig fra filter 26A til 26B på ca. 3 måneder. Med en afstand på 2,5 meter mellem de to filtre overkant bliver det til en gennemsnitshastighed for iltfronten på ca. 2,5 cm pr. døgn.

I det næstdybeste filter, 25B, havde vandet et iltindhold på 14 mg/l i oktober 1999, svarende til en overmætning på 125 %. I det dybeste filter, 26B, placeret fra 10,5 - 12,5 m.u.t. og 4-6 meter under silt/lerlagets overflade, var iltindholdet på 20 mg/l i februar 2000 - en overmætning på 192 %.

Overmætningen med ilt tages som udtryk for, at kulbrinterne stort set er fjernet. Det fremgår således, at der i de tre filtre i lerlaget generelt går ca. 1 år fra iltfrontens ankomst, til vandet er overmættet med ilt. Nedbrydningsprocessen varer således ca. et år fra etableringen af aerobe forhold.

Resultater

Nedbrydningseffekten i lerlaget er vist ved sammenhængen mellem iltindholdet og benzenindhold i vandprøver fra det næstdybeste filter, 25B. Reduktionen i kulbrinteindholdet er gennem perioden særdeles markant.

Fra oktober 1998, hvor der første gang blev påvist ilt, er der frem til maj 2000 sket en reduktion af totalkulbrinterne fra 570

µg/l til 30 µg/l - svarende til 95 %.

Benzenindholdet er tilsvarende reduceret med 99 % - fra 480 til 3,9 µg/l. I analyser fra oktober 1999 og februar 2000 var benzenindholdet endda så lavt som henholdsvis 0,75 og 1,4 µg/l.

I det dybeste filter (26B) er der sket en tilsvarende reduktion af totalkulbrinter fra 420 µg/l til 10 µg/l (98 %) og af benzen fra 330 µg/l til under 0,02 µg/l - svarende til mere end 99 %.

I alle filtre gælder det, at iltindholdet ikke overstiger 10 µg/l (ca. 100 % mætning) før kulbrinteindholdet er reduceret til meget lave værdier, hvorefter en kraftig overmætning optræder.

Det skal i øvrigt nævnes, at der i samtlige filtre blev observeret en temperaturstigning på op til 5 grader, mens nedbrydningen var kraftigst.

Rent vand

Umiddelbart kan det dog undre, at de sidste rester af benzen ikke nedbrydes hurtigt. Måske skyldes det, at der endnu udvaskes benzen fra den tætte lermatrix. Måske er forklaringen, at forureningskoncentrationen er for lav til at opretholde den bakterielle vækst - at der simpelthen er for lidt at leve af.

Koncentrationen i den forurenede vandværksboring er nu under drikkevandskravet. Det forventes, at projektet snart afsluttes, og restforureningen overlades til naturlig nedbrydning. ■