

Udtagning af porevand på forurenede grunde

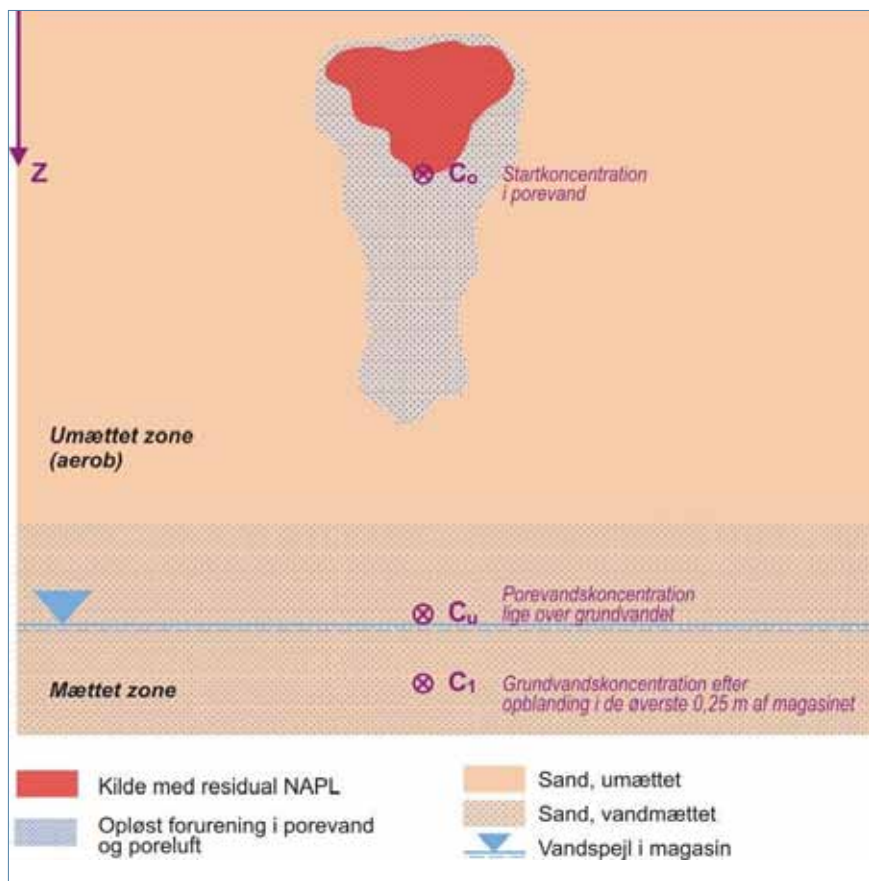
Ved prøvetagning af porevand på forurenede lokaliteter har der hidtil været risiko for tab af flygtige stoffer undervejs. En nyudviklet metode løser dette problem ved at kombinere sugeceller i jorden med Sorbiceller til opsamling af forureningsstofferne. Dansk Miljørådgivning A/S og Ejlskov A/S har afprøvet metoden på en tidligere vaskerigrund i samarbejde med Region Sjælland.

ANDREAS HOULBERG KRISTENSEN, PER LOLL, CLAUS ØLUND, FLEMMING HAUGE ANDERSEN, & PER MØLDRUP

Jordforurening i den umættede zone kan udgøre en risiko for grundvandet via nedsivning af opløste stoffer. Nedsivningens påvirkning af grundvandskvaliteten vurderes typisk på baggrund af 1D-beregninger med eksempelvis Miljøstyrelsens JAGG-model. En grundlæggende parameter i nedsivningsmodellerne er kildestyrkekonzentrationen (C_0), der er defineret som forureningskoncentrationen i porevandet i bunden af de forurenede aflejringer (Figur 1). Porevand med denne koncentration kan potentielt sive gennem den mellemliggende zone til grundvandet, med mindre forureningen nedbrydes ved naturlige processer under transporten.

Det er normalt ikke muligt at udtage porevand fra en traditionel filtersætning i den umættede zone, da porevandet er bundet mellem jordpartiklerne af kapillære kræfter. Porevand udtages derfor som regel med sugeceller, der påføres et vakuum, hvorved porevand opsuges fra den omgivende jord /2/. Imidlertid har vakuumbaserede metoder haft en begrænset anvendelse til udtagning af porevand på forurenede lokaliteter – bl.a. fordi der er risiko for, at det påførte vakuum medfører afdampning af flygtige stoffer med falske lave resultater til følge /3/.

Manglen på metoder til udtagning af repræsentative porevandprøver på forurenede lokaliteter betyder, at porevandskoncentrationen typisk må estimeres indirekte ud fra jord-



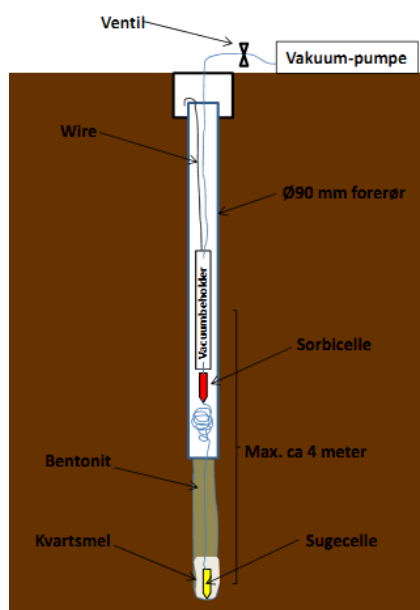
Figur 1. Illustration af nedsivning fra forurening beliggende i den umættede zone /1/.

koncentrationer og efterfølgende fugacitetsberegninger med f.eks. Miljøstyrelsens JAGG-model. Alternativt må der regnes med maksimal opløselighed af de givne forureningskomponenter. I praksis vil disse fremgangsmåder dog ofte være urealistisk konservative og i nogle tilfælde medføre, at sager der ikke udgør en reel risiko prioriteres til

afværgeindsats /3/.

Ny metode til udtagning af porevand

Dansk Miljørådgivning A/S har sammen med Ejlskov A/S afprøvet en ny metode, der gør det muligt at udtage og analysere porevandprøver indenfor eller under forurenede aflejringer i den umættede zone – vel at



Figur 2. Principskitse af udtagning af porevandprøver med sugeceller og SorbiCell VOC (Sorbisense). Skitsen viser en situation, hvor det er nødvendigt at sænke vakuumbeholderen ned i jorden for at reducere tryktabet under prøvetagning /4/.

mærke uden risiko for tab af flygtige stoffer undervejs.

I det nye prøvetagningskoncept kombineres sugeceller i jorden med adsorption af forureningsstoffer i porevandet på en Sorbicelle fra firmaet Sorbisense. Sorbicellen indsættes imellem sugecellen og en vakuumbeholder og opsamlers på denne måde alle forureningsstoffer i det porevand, der suges fra jordmatricen og op i vakuumbeholderen. Massen af forureningsstoffer på Sorbicellen bestemmes efterfølgende ved akkrediteret analyse, mens koncentrationen kan beregnes ud fra volumen af porevand opsamlet /4/. Sorbiceller kan anvendes til bestemmelse af bl.a. chlorerede kulbrinter og nedbrydningsprodukter, BTEX'er, kulbrintefraktioner og pesticider.

Sugecellen påføres typisk et vakuum på ca. 500-900 millibar, svarende til et undertryk på 5-9 meter vandsøjle. Alt afhængigt af jordens egenskaber vil jorden udøve en naturlig retention på mellem 50 og 200 millibar, der således er det vakuum, der skal overvindes for at udtage en porevandprøve. Ved prøvetagningsdybder på mere end 3-4 meter sænkes vakuumbeholderen ned i et forerør i boringen for at reducere porevandets løftehøjde og øge den mængde porevand, der kan udtages. Metodens princip er illustreret i Figur 2. Ved installation af sugecellen lægges en opslemning af kvartsmel omkring sugecellen for at forbedre den hydrauliske kontakt med

den omgivende jord. For ikke at risikere en fortynding af den udtagne porevand foretages renpumpning fra sugecellen inden selve prøvetagningen.

I det følgende beskrives resultater og erfaringer med udtagning af porevandprøver i forbindelse med et Offentlig-Privat Innovationsprojekt (OPI-projekt) udført for Region Sjælland /4/. Formålet med projektet var at afprøve metoden i moræneler og sammenligne de målte porevandskoncentrationer med beregnede værdier estimeret på baggrund af jordprøver og fugacitetsmodulet i Miljøstyrelsens JAGG-model.

Forsøgslokalitet og udførte undersøgelser

Forsøgslokaliteten ligger i Fakse og har i perioden 1930-1980 været anvendt til drift af dampvaskeri, der har givet anledning til jordforurening med PCE. Jorden under ejendommen består generelt af fed og stærkt kalkholdigt moræneler fra ca. 1-8 meters dybde. Udtagning af borekerner fra leren viste ingen tegn på sprækker eller sandslirer, der kunne have fungeret som aktive transportveje.

Metodeafprøvningen er fokuseret på et område, hvor der i 1998 blev konstateret et hot-spot. Her er der installeret tre sugeceller (S1-S3), hvoraf S1 og S2 er installeret i boringer med ca. 1 meters mellemrum og S3 ca. 5 meter derfra (Figur 3). Dybden af sugecelle S1 og S2 er hhv. 5,5 og 7,9 meter under terræn, mens S3 blev installeret 5 meter under terræn. En dobbeltbestemmelse af porevandskoncentrationen blev foretaget ved opsamling af porevand på to Sorbiceller efter hinanden fra hver sugecelle. Forud for installation af sugeceller blev der udført to Geoprobe kontrolboringer (B1-B2) ved hhv. S1/S2 og S3.

Fra kontrolboringerne blev der analyseret jordprøver udtaget i samme dybder som de installerede sugeceller.

Porevandskoncentrationer i hot-spot

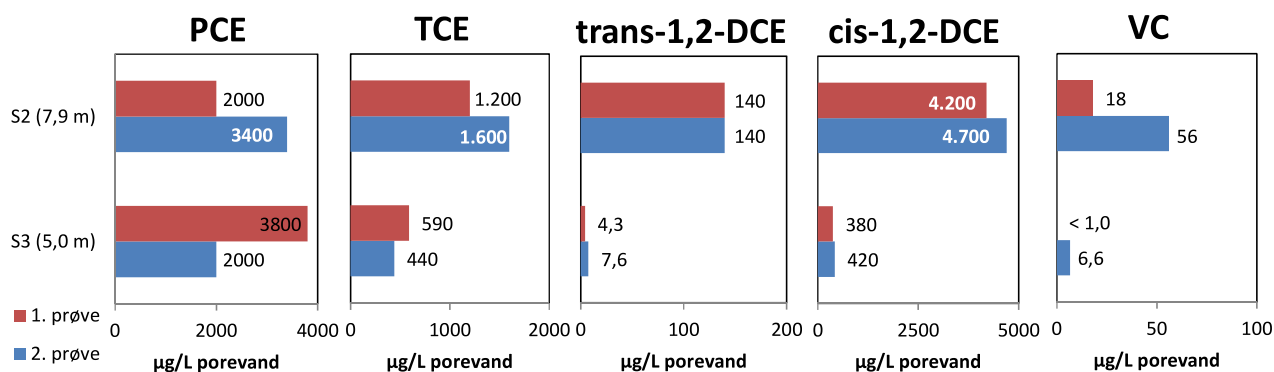
Fra sugecelle S1 var det ved gentagne forsøg ikke muligt, at udtage tilstrækkelige mængder porevand til at udføre en analyse. Udtagning af borekerner afslørede, at moræneleren omkring sugecelle S1 var relativt kompakt og fed, hvilket kan forklare den begrænsede mængde tilgængeligt porevand.

Jorden omkring sugecelle S2 og S3 var mindre fed og herfra kunne der, efter renpumpning, udtages ca. 40-120 mL porevand hver gang der blev etableret et vakuum på 500-800 millibar. Denne ydelse er dog stadig relativt lav sammenlignet med tidligere erfaringer fra sandede og siltede lokaliteter, hvor der kunne udtages 200-500 mL porevand ved lignende vakuum. Over en periode på 2-4 uger blev der fra hver sugecelle sammenlagt opsamlet 120-180 mL porevand. Resultaterne af dobbeltbestemmelserne ses i Figur 4 at være inden for en faktor 2 af hinanden.

Analyseresultaterne for porevand viste generelt tilstedeværelse af chlorerede nedbrydningsprodukter i porevandet. Det ses for sugecelle S2, at der er en tendens til, at resultatet af 2. prøve er højere end af 1. prøve. Fra S2 blev der pga. fed lerjord omkring sugecellen kun renpumpet et volumen porevand, svarende til den mængde vand der blev tilsat kvartsmålet ved installation af sugecellen. Der kan således være tale om en mindre fortynding af 1. prøve med installationsvand, som ikke er sket ved den 2. prøve. Fra sugecelle S3 blev der inden prøvetagningen renpumpet med tre gange så stort et volumen, hvorfor der da her heller ikke er tegn på



Figur 3. Oversigtsbillede med placering af kerneboringer og sugeceller i området med det tidligere konstaterede hot-spot /4/.



Figur 4. Analyseresultater for PCE, TCE, cis-1,2-DCE, trans-1,2-DCE og VC i porevandprøver udtaget fra sugecellerne S2 og S3. Der er udtaget to prøver fra hver sugecelle.

fortynding. Det anbefales fremadrettet, at der renpumpes med et volumen porevand svarende til 1,5-3 gange mængden af vand tilsat ved installation af sugecellen. Derudover bør der gå 2-3 uger fra installation af sugecellen til igangsætning af prøvetagningen, da porevandet på den måde kan nå at komme i ligevægt med den omgivende jord.

Fugacitetsbetragtninger

Af Figur 5 ses sammenhængen mellem målte jord- og porevandskoncentrationer fra samme område og dybde i lermatrisen. Det skal bemærkes, at figuren sammenfatter flere chlorerede kulbrinter med forskellige fysisk-kemiske egenskaber. På trods heraf er sammenhængen tæt på lineær.

Til sammenligning med de målte porevandskoncentrationer er der foretaget en beregning af porevandskoncentrationen ud fra jordkoncentrationer. Beregningerne er foretaget med udgangspunkt i fugacitetsmodulet i JAGG 1.5, men med fire forskellige sæt af forudsætninger (se boks 1).

Af Figur 6 ses, at en standard JAGG-beregning (beregning A) generelt giver en overestimeret (dvs. konservativ) værdi for porevandskoncentrationen. Overestimeringen er indenfor en faktor 3 og gennemsnitligt på

+75 %. En almindelig beregning for ler i JAGG's fugacitetsmodul er altså på denne lokalitet i stand til at forudsige konservative porevandskoncentrationer, der ikke er urealistisk høje.

Beregning C – med anvendelse af en alternativ formel anbefalet af DTU for estimering af K_d – opnår et mere præcist resultat, men de beregnede værdier er generelt lavere end de målte (dvs. de er ikke konservative). Underestimeringen er gennemsnitligt på 45 %.

Beregning B og D viser, at der generelt kun opnås en beskedent effekt ved anvendelse af målte værdier for total porøsitet og vandindhold på den konkrete lokalitet frem for JAGG's standardbetingelser.

Man skal være opmærksom på, at dette studie kun repræsenterer en enkelt lokalitet, mens den alternative beregningsformel anbefalet af DTU er baseret på tre lokaliteter, hvilket dog stadig er relativt begrænset. Det skal desuden bemærkes, at DTU også anbefaler en formel, der kan inddrage konkrete målinger af fraktionen af organisk kulstof i jorden. De to formler anbefalet af DTU giver sammenlignelige resultater for $f_{oc} = ca. 0,4 \%$.

På baggrund af den indgangsvinkel, at en risikovurdering via JAGG som udgangspunkt altid bør være konservativ, anbefales på det

nuværende grundlag at anvende standard-JAGG-betingelserne – også på lokaliteter med chlorerede kulbrinter i lavorganisk moræneler. Eventuelt kan der inddrages en alternativ beregning af en mindre konservativ porevandskoncentration, hvor DTU's formel anvendes til estimering af fordelingskoefficienten. Lokalitetsspecifikke data for vandindhold og total porøsitet kan anvendes hvis de nødvendige data foreligger, men det vil sandsynligvis ikke give en væsentligt bedre risikovurdering.

Vurdering af metoden

På den konkrete forsøgslokalitet gav beregningerne med JAGG's standardbetingelser et nogenlunde fornuftigt og konservativt estimat af porevandskoncentrationen. Det skal dog bemærkes, at jordkoncentrationerne på prøvetagningstidspunktet var forholdsvis lave og det er usikkert, om fugacitetsberegninger vil have samme nøjagtighed ved højere jordkoncentrationer.

Det vurderes overordnet set, at direkte porevandsmålinger generelt vil give en mere realistisk og sikker risikovurdering i forhold til risikoen for nedsivning af opløst forurening til grundvandet – både chlorerede kulbrinter og oliestoffer. Derudover giver installation af sugeceller mulighed for at gennemføre flere monitoringsrunder til vurdering af eventuelle tidlige tendenser for kildestyrke-koncentrationen og forureningssammensætningen. Eksempelvis kan sugeceller evt. anvendes ved monitoring af stimuleret reduktiv dechlorering (SRD) i den umættede zone. En sådan monitoring forudsætter imidlertid at sugecellerne er placeret på en hensigtsmæssig og repræsentativ måde i forhold til den rumlige geologiske og forureningsmæssige variation på lokaliteten. Eksempelvis vil en enkelt porevandprøve aldrig være fyldestgørende og man bør desuden altid supplere porevand-prøver med traditionelle jord-, vand- og evt. poreluft-

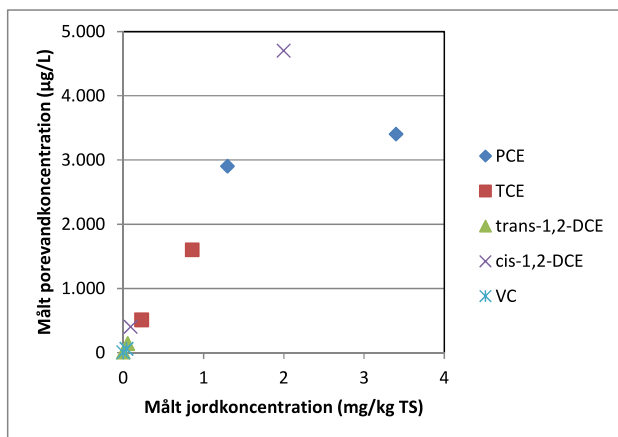
Boks 1: Forudsætninger for fugacitetsberegninger:

(A) Standardbetingelser i JAGG for ler

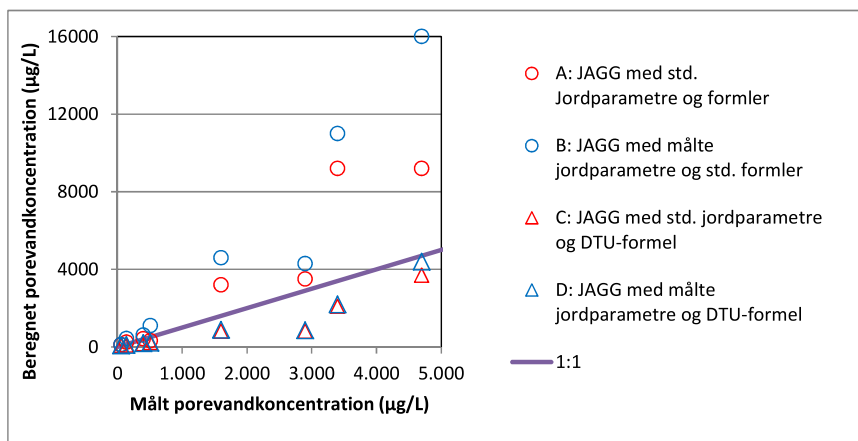
(B) Standardbetingelser i JAGG, men med målte værdier for total porøsitet og vandindhold

(C) Standardbetingelser i JAGG for ler, men med fordelingskoefficienten K_d bestemt uafhængigt af lerens organiske kulstoffraktion med en empirisk formel for moræneler anbefalet af DTU /5, 6/

(D) Anvendelse af vandindhold og total porøsitet målt på borekerner fra den konkrete lokalitet samt K_d bestemt som anbefalet af DTU /5, 6/.



Figur 5. Sammenhæng mellem målte jord- og porevandskoncentrationer i samme dybde og område på forsøgslokaliteten.



Figur 6. Sammenligning af målte porevandskoncentrationer med værdier beregnet med fire forskellige fremgangsmåder (A-D).

prøver således at man opnår en samlet og vel-dokumenteret konceptuel model af forureningssituationen.

Sammenfatning og perspektiver

Udtagning af porevandprøver vurderes at være relevant på større forureningssager,

hvor en JAGG-beregning på trin I viser en beregningsmæssig uacceptabel risiko for grundvandet. Analyse af porevandprøver vil typisk give mere realistiske kildestyrkekoncentrationer end ved alternative metoder. Imidlertid bør metoden optimeres på lokaliteter med fed moræneler, hvor det hidtil har

været vanskeligt at udtage det nødvendige prøvevolumen.

Referencer

- /1/ Miljøstyrelsen. 2012: Litteraturgennemgang af strategier til dokumentation af nedbrydning af olie-stoffer i den umættede zone. Miljøprojekt nr. 1413.
- /2/ Miljøstyrelsen. 2000: Prøvetagning af porevand i umættet zone. Miljøprojekt nr. 540.
- /3/ Miljøstyrelsen. 2008: Bestemmelse af forureningskoncentrationen i mobilt porevand. Miljøprojekt nr. 1224.
- /4/ Region Sjælland. 2012: Porevandsundersøgelse ved brug af sugeceller og SorbiCell VOC - OPI-projekt.
- /5/ Broholm, M., Lu, C. og Bjerg, P.L. 2011: Sorption af chlorerede opløsningsmidler og nedbrydningsprodukter i moræneler. Jordforurening.info 3.
- /6/ Lu, C., Bjerg, P.L., Zhang, F. og Broholm, M. 2011: Sorption of chlorinated solvents and degradation products on natural clayey tills. Chemosphere 83.

ANDREAS HOULBERG KRISTENSEN, civilingeniør, ph.d. Projektleder i Dansk Miljørådgivning A/S. ahk@dmr.dk.

PER LOLL, Civilingeniør, ph.d. Udviklingsleder i Dansk Miljørådgivning A/S.

CLAUS ØLUND, geolog, Projektleder i Ejlskov A/S.

FLEMMING HAUGE ANDERSEN, civilingeniør, ph.d. ved Region Sjælland.

PER MØLDRUP, Professor ved Sektion for Miljøteknik på Aalborg Universitet.

Aquafoto



Vandkunst. Rudolf Tegers berømte danserindebrønd. Er opstillet i Helsingør (Foto: Aquafoto Danmark)