

Technical University of Denmark



## Udvikling af konceptuel forståelse af DNAPL udbredelse i moræneler og kalk ved integreret anvendelse af direkte og indirekte karakteriseringsmetoder

**Broholm, Mette Martina; Janniche, Gry Sander; Fjordbøge, Annika Sidelmann; Jørgensen, Torben H.; Damgaard, Jesper; Martinez, Kerim; Grosen, Bent; Christensen, Anders G.; Wealthall, Gary; Kerm-Jepsersen, Henriette**

*Published in:*

Vintermøde om Jord- og Grundvandsforurening 2013 - abstractsamling

*Publication date:*

2013

*Document Version*

Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*

Broholm, M. M., Janniche, G. S., Fjordbøge, A. S., Jørgensen, T. H., Damgaard, J., Martinez, K., ... Kerm-Jepsersen, H. (2013). Udvikling af konceptuel forståelse af DNAPL udbredelse i moræneler og kalk ved integreret anvendelse af direkte og indirekte karakteriseringsmetoder. I Vintermøde om Jord- og Grundvandsforurening 2013 - abstractsamling (s. 60). Kgs. Lyngby: ATV Jord og Grundvand.

## DTU Library

Technical Information Center of Denmark

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# VINTERMØDE OM JORD- OG GRUNDEVANDSFORURENING

Vingstedcentret  
5. - 6. marts 2013



**ATV JORD OG GRUNDEVAND**

**2013**

## Indholdsfortegnelse

Side

### Spør 1 (side 1 – 22)

#### Fagsession 1: Eksport af dansk know-how inden for jord og grundvand – eksempler, muligheder og udfordringer (modul 1 og 2)

INTERNATIONAL BRANDING AF DANSKE STYRKEPOSITIONER PÅ VANDOMRÅDET Marketing Director Pia Klee, Rethink Water, Danish Water Forum	3
DANSK-ASIATISK SAMARBEJDE PÅ FORVALTNING AF GRUNDTVAND Statsgeolog, ph.d. Heidi Christiansen Barlebo, GEUS	4
KORTLÆGNING AF GRUNDTVAND I THAILAND MED DANSK TEKNOLOGI - 1000 KM <sup>2</sup> SKYTEM KORTLÆGNING OG VERIFIKATION MED 2700 M BOREMETER Markedschef Jens Dyrberg Nielsen, EnviDan Water A/S	5
LAVTEKNOLOGISKE LØSNINGER FOR JORDFORURENING MED POP'S I MOLDOVA: - UDFORDRINGER OG BEKRÆFTENDE OPLEVELSER Chefkonsulent Jacqueline Anne Falkenberg, NIRAS A/S	6
KORTLÆGNING AF FORURENEDE GRUNDE I INDIEN - KAN ERFARINGERNE FRA DANMARK BRUGES? Civilingeniør Torben Højbjerg Jørgensen, COWI A/S Søren Viegand, Jarl Dall-Jepsen, COWI A/S	7
OMFATTENDE UNDERSØGELSER, RISIKOVURDERINGER SAMT FORSLAG TIL KILDEOPRENSNING OG JORDHÅNDBLING PÅ ET 73 HA STORT JERNBANE- OMRÅDE I DEN CENTRALE DEL AF TBILISI BY I GEORGIEN Seniorfagspecialist Jarl Dall-Jepsen, COWI A/S	8

#### Bæredygtig vandindvinding (modul 3)

WEBBASERET BESLUTNINGSSTØTTEVÆRKTØJ TIL VANDFORVALTNING I DANMARK Seniorhydrolog Oluf Zeilund Jessen, DHI	9
BÆREDYGTIG INDVINDING – ET EKSEMPEL FRA FREDERIKSSUND KOMMUNE Civilingeniør Anders Korsgaard, NIRAS A/S	10
KOMMUNER OG VANDFORSYNINGERS ANVENDELSE AF DATA FRA GRUNDTVANDSKORTLÆGNINGEN Geolog Charlotte Bamberg, Rambøll	12

#### Fagsession 6: Pesticidpunktkilder (modul 5)

OPSPORING AF PUNKTKILDER I DET ÅBNE LAND Kemiingeniør Tove Svendsen, Region Syddanmark	14
OPSPORING AF KILDER TIL KONSTATETERET FORURENING VED KILDEPLADS TILHØRENDE ESBJERG FORSYNING Faglig koordinator, geolog Peter Madsen, Esbjerg Forsyning A/S Civilingeniør Søren Rygaard Lenschow, NIRAS A/S Chefkonsulent Henrik Schmidt, NIRAS A/S	16

	Side
GRUNDTVANDSFORURENING AF PESTICIDER PÅ MALLING MASKINSTATION Geolog Frede Busk Sørensen, Region Midtjylland	18
ERFARINGSOPSAMLING PÅ FUND VED PESTICIDPUNKTKILDER Civilingeniør Sandra Roost, Orbicon A/S	20
SAMMENDRAG AF ANBEFALINGERNE FRA "SKELNEN MELLEM PESTICIDPUNKT- KILDER OG FLADEKILDER", HERUNDER HVAD FORVENTER VI AT FINDE FRA DE TO KILDETYPER Professor Philip John Binning , DTU Miljø Civilingeniør Sandra Roost, Orbicon A/S Ph.d. Angelina Aisopou, DTU Miljø Ph.d. Julie Chambon, DTU Miljø Professor Poul L. Bjerg, DTU Miljø Seniørrådgiver Lærke Thorling, GEUS Seniørrådgiver Walter Brüh, GEUS Ph.d. Nina Tuxen, Orbicon A/S	21

## **Spor 2 (side 23 – 42)**

### **Hvordan håndterer vi grundvandssænkning ved store byggeprojekter? (modul 1)**

GRUNDTVANDSMODELLERING PÅ ANLÆGSPROJEKTER Civilingeniør Jesper Damgaard, COWI A/S	25
GRUNDTVANDSHÅNDTERING VED BYGGE- OG ANLÆGSPROJEKTER, EKSEMPLIFICERET VED ETABLERING AF DNU (DET NYE UNIVERSITETSHOSPITAL, SKEJBY) Civilingeniør Helle Pernille Hansen, Rådgivergruppen DNU	26
RISIKOVURDERING AF KRITISK GRUNDTVANDSSÆNKNING Cand. scient. Morten Westergaard, NIRAS A/S	27

### **Fagsession 3: Modelbaseret scenarieudvikling – vandforvaltning (modul 2 og 3)**

SCENARIOS FOR LAND USE IN DENMARK UNDER CLIMATE CHANGE Professor Jørgen E.Olesen, Department of Agroecology, Aarhus University	29
USIKKERHED I HYDROLOGISKE MODELLER; GEOLOGI OG FREMTIDIGT KLIMA Civilingeniør, ph.d. Dorte Seifert Teide, ALECTIA A/S	30
KLIMABETINGEDE GRUNDTVANDSSTIGNINGER I ET OMRÅDE OMKRING KOLDING Projektleder Jørgen Fjeldsø Christensen, Region Syddanmark	32
FORUDSIGELSE AF FREMTIDENS EKSTREME GRUNDTVANDSSTIGNINGER OG LOKAL USIKKERHEDS ANALYSE – ET VEJPROJEKT VED SILKEBORG Projektforsker, ph.d Jacob Kidmose, GEUS	33

	Side
<b>Anvendt geofysik (modul 4)</b>	
DETALJERET KORTLÆGNING AF DEN OVERFLADENÆRE GEOLOGI VED BRUG AF DEN NYESTE UDVIKLING INDENFOR LUFTBÅRNE GEOFYSISKE METODER – MINI-SKYTEM SYSTEMET Lektor Anders Vest Christiansen, HydroGeofysik Gruppen, AU Professor Esben Auken, HydroGeofysik Gruppen, AU Videnskabelig assistent. Jesper Bjergsted Pedersen, HydroGeofysik Gruppen, AU	34
GEOFYSISKE METODER TIL DETALJERET KORTLÆGNING AF LOSSEPLADSER OG PERKOLAT FANER Videnskabelig assistent Jesper Bjergsted Pedersen, HydroGeofysik Gruppen, AU Professor Esben Auken, HydroGeofysik Gruppen, AU Lektor Anders Vest Christiansen, HydroGeofysik Gruppen, AU	35
FELTKORTLÆGNING AF MULIGHEDER FOR LOKAL HÅNDTERING AF REGNVAND Geofysiker, ph.d. Peter Duch Møller, ALECTIA A/S Hydrogeolog, ph.d. Jan Jeppesen og ph.d. Frank Andreasen, ALECTIA A/S	36
<b>Klimatilpasning (modul 5)</b>	
GIS-VÆRKTØJ TIL SCREENING AF LAR-POTENTIALE INKLUSIV EFFEKTEN AF LAR PÅ DEN LOKALE OVERSVØMMELSESRISIKO Hydrogeolog, ph.d. Jan Jeppesen og geofysiker, ph.d. Peter Møller Duch, ALECTIA A/S	37
UDFORDRINGER SAMT GEVINSTER VED BYNÆRE NATURLIGE KLIMATILPASNINGS LØSNINGER Landskabsforvalter Anna Tauby, NIRAS A/S Ingeniør Rasmus Dyrholm, Frederikssund Forsyning	38
TVÆRFAGLIG KLIMATILPASNING I OVERSVØMMELSESTRUDEDE AABENRAA Ph.d., hydrogeolog, Ulla L. Ladekarl, ALECTIA A/S Biolog Hans Odgaard, Aabenraa Kommune	40
<b>Spor 3 (side 41 – 61)</b>	
<b>Forureningsundersøgelser (modul 1)</b>	
DYNAMISKE PORELUFTUNDERSØGELSER - FRA SCREENING TIL OPTIMAL VIDENSUDNYTTELSE Udviklingsleder, ph.d. Per Loll, DMR A/S Civilingeniør Ph.D. Andreas Houlberg Kristensen, DMR A/S Civilingeniør Claus Larsen, DMR A/S Geolog Annette Dohm, Region Nordjylland	43
GEOLOGISK KARAKTERISERING VED HJÆLP AF "SITEEVAL". ANVENDELIGHED OG VISIONER Seniorforsker Knud Erik S. Klint, GEUS Projektleder Steen Kofoed Munch, Orbicon A/S Civilingeniør Henriette Kerrn-Jespersen, Region Hovedstaden Systemudvikler Bjarni Pjetturson, GEUS	44
FUND AF PCE FORURENINGSKILDE VED HJÆLP AF FYTOSCREENING Miljøtekniker Susanne Rinette Pedersen, Region Sjælland	46

	Side
<b>Fagsession 4: Punktkilders påvirkning af overfladevand (modul 2 og 3)</b>	
NYE PRIORITERINGER - NYE UDFORDRINGER: PRIORITERING AF PUNKTKILDER I FORHOLD TIL OVERFLADEVAND – UDVIKLING AF PRIORITERINGSPRINCIP Civilingeniør Helle Larson, Region Midtjylland, Miljø	47
RISIKOVURDERING AF KLIMAGENEREREDE GRUNDEVANDSOVERSVØMMELSER AF PUNKTKILDEFORURENINGER I KYSTZONEN Geolog Helle Jusjiong Blæsbjerg, Region Midtjylland, Miljø	48
RISIKOVURDERING AF PUNKTKILDER – KONCEPT, DATA OG BEREGNINGSMETODER Civilingeniør Sanne Skov Nielsen, Orbicon A/S	49
FIELD METHODS FOR DETERMINING POINT SOURCE POLLUTION IMPACTS IN RIVERS: A CASE STUDY OF THE GRINDSTED STREAM Postdoc Ursula S. McKnight, DTU Miljø Ph.D.-studerende Anne T. Sonne, DTU Miljø Postdoc Annika S. Fjordbøge, DTU Miljø Professor Poul L. Bjerg, DTU Miljø	50
ØKOLOGISKE EFFEKTER AF PUNKTKILDER I OVERFLADEVAND POSTDOC Jes Rasmussen, AU	51
<b>Fagsession 5: Prøvetagningsstrategi (modul 4)</b>	
UDTAGNING AF JORDPRØVER. EN RUSSISK ROULETTE? Professor Kim Esbensen, GEUS og AAU Geolog Philip de Lasson, FBE Civilingeniør Loren Mark Ramsay, NIRAS A/S	52
<b>Risikovurdering (modul 5)</b>	
METODE TIL VURDERING AF KONCEPTUEL FORSTÅELSE OG PARAMETER USIKKERVED VED FORURENINGSFLUX FRA FORURENEDE LOKALITETER (V2 NIVEAU) Ph.d.-studerende Nanna Isbak Thomsen, DTU Miljø Postdoc Ursula McKnight, DTU Miljø Professor Philip J. Binning, DTU Miljø Professor Poul L. Bjerg, DTU Miljø Mads Troldborg, The James Hutton Institute, Aberdeen	54
PRIORITERINGSPRINCIPPER OG –PARAMETRE I FORHOLD TIL GRUNDEVANDET I REGION HOVEDSTADEN Enhedschef Carsten Bagge Jensen, Region Hovedstaden, Koncern Miljø	55
TIDSHORISONTER FOR STOFTRANSPORT I OPSPRÆKKET KALK Civilingeniør Merete Hørlück, NIRAS A/S	57
<b>Chlorede opløsningsmidler (modul 6)</b>	
KOMBINATION AF BIOTISK OG ABIOTISK NEDBRYDNING AF CHLOREDE ETHENER (PCE) I GRUNDEVAND Projektleder Marianne Plenge Wamberg, NIRAS A/S Anders G. Christensen og Lotte Rasmussen, NIRAS A/S Joe Rossabi, Redoxtech, Mads Terkelsen, Region Hovedstaden	59

	Side
UDVIKLING AF KONCEPTUEL FORSTÅELSE AF DNAPL UDBREDELSE I MORÆNELER OG KALK VED INTEGRERET ANVENDELSE AF DIREKTE OG NDIREKTEKARAKTERISERINGSMETODER	60
Lektor Mette M. Broholm, DTU Miljø	
Postdoc Gry S. Janniche, DTU Miljø og COWI A/S	
Postdoc Annika S. Fjordbøge, DTU Miljø	
Civilingeniør Torben H. Jørgensen, COWI A/S	
Civilingeniør Jesper Damgaard, COWI A/S	
Geolog Kerim Martinez, COWI A/S	
Civilingeniør Bernt Grosen, COWI A/S	
Civilingeniør Anders G. Christensen, NIRAS A/S	
Geolog, PhD Gary Wealthall, GeoSyntec	
Civilingeniør Henriette Kern-Jespersen, Region Hovedstaden	
OPSTILLING AF 3D NUMERISK MULTIFASE MODEL MED HENBLIK PÅ DESIGN OG PROJEKTERING AF IN-SITU OPRENSNING VED MOBILISERING AF OLIE MED SURFACTANTER	61
Ekspertisechef, civilingeniør Anders G. Christensen, NIRAS A/S	
Civilingeniør Søren Rygaard Lenschow, NIRAS A/S	
Teamleder, civilingeniør Mette Marie Mygind, FBE	
<b>Spor 4 (side 63 – 86)</b>	
<b>Fagsession 2: Utætte belægninger (modul 1)</b>	
SLAGELSE KOMMUNES ERFARINGER MED FORURENINGSUNDERSØGELSER VED OLIEUDSKILLERE OG EFTERFØLGENDE MEDDELELSE AF § 40 PÅBUD	65
Civilingeniør Brian Badike Thomsen, Slagelse Kommune	
SLAGELSE KOMMUNES ERFARINGER MED FORURENINGSUNDERSØGELSER UNDER BELÆGNINGER OG EFTERFØLGENDE MEDDELELSE AF § 40 PÅBUD	66
Miljøtekniker Martin Pedersen, Slagelse Kommune	
ANBEFALINGER TIL KOMMUNERNE I FORBINDELSE MED VURDERNG AF PÅBUDSMULIGHEDER I RELATION ITL JORDFORURENINGSLOVENS § 40 OG MILJØBESKYTTELSESLOVENS § 69	67
Advokat (H), partner Håkun Djurhuus, Bech-Bruun Advokatfirma	
<b>PCB/PAH – forureningskilder og kvalitetskriterier (modul 2)</b>	
ER JORDFORURENING MED PCB ET PROBLEM PÅ LOKALITETER MED PCB-HOLDIGE BYGNINGER	68
Seniorprojektleder Rune Østergaard Haven, Grontmij A/S	
SPORING AF KILDER TIL PCB I INDELUFTE	71
Kemiingeniør Lisbeth Odsbjerg, Rambøll A/S	
Chefkonsulent Kim Haagensen, tidligere Rambøll A/S, nu DGE A/S	
ER JORDKVALITETSKRITERIET FOR PAH'ER GODT NOK?	72
Ph.d.-studerende Esther Boll, Plante- og miljøvidenskab, KU Science	
Lektor Jan H. Christensen, Plante- og miljøvidenskab, KU Science	
Områdechef Jens Nejrup, Kalvebod Miljø Center, Københavns Kommune	
Forstkandidat, ph.d. Julie Katrine Jensen, Rambøll Danmark A/S	

	Side
<b>Nye metoder til bestemmelse af grundvandsstrømning (modul 3)</b>	
TEST AF COLLOIDAL BORESCOPE TIL MÅLING AF STRØMNINGSRETNING OG HASTIGHED Civilingeniør, ph. d. Morten Birch Larsen, COWI A/S Civilingeniør Kim Sørensen, Region Hovedstaden	73
UDVIKLING AF FLUXSAMPLER TIL BESTEMMELSE AF FORURENINGSFLUX OG STRØMNINGSRETNING Hydrogeolog Jesper Albinus, Grontmij A/S	74
ERFARINGER MED DRIFT AND PUMPBACK FORSØG TIL BESTEMMELSE AF MAGASINEGENSKABER Team- og ekspertisechef Jacob Birk Jensen, NIRAS A/S	75
<b>IE-Direktivet (modul 5)</b>	
HVAD BETYDER IE-DIREKTIVET I PRAKSIS? Civilingeniør Pernille Palstrøm, Orbicon A/S	76
IE-DIREKTIVETS BETYDNING FOR VIRKSOMHEDERNE Chefkonsulent ,cand. jur. Vibeke Plambeck, DI	77
<b>Høfde 42 (modul 6)</b>	
"NORTHPESTCLEAN" - FORMÅLET MED PROJEKTET OG PROCESSEN BAG BASISK HYDROLYSE Biolog, ph.d. Morten Bondgaard, Region Midtjylland Børge Hvidberg, Anja Melvej, Kaspar Rüegg, Lars Ernst, Hans Fredborg, Region Midtjylland Lars Bennedsen, Rambøll, Kirsten Rügge, Torben Højbjerg Jørgensen og Lars Nissen, COWI A/S Freddy S. Petersen, Kogsgaard Miljø, Jens Muff, AAUE Leah MacKinnon og Neal Durant, Geosyntec	78
HØFDE 42 – RESULTATER FRA CYKLUS 1 Civilingeniør, ph.d. Lars Bennedsen, Rambøll Kirsten Rügge, Torben Højbjerg Jørgensen og Lars Nissen, COWI A/S Freddy S. Petersen, Kogsgaard Miljø, Leah MacKinnon og Neal Durant, Geosyntec Morten Bondgaard, Region Midtjylland	79
HØFDE 42: RECIRKULATION, SURFACTANTS OG AKUSTISKE VIBRATIONER, STRATEGI FOR CYKLUS 2 Civilingeniør, ph.d. Kirsten Rügge, COWI A/S Torben Højbjerg Jørgensen, Lars Nissen og Jacob Egede Andersen, COWI A/S, Lars Bennedsen, Rambøll, Jens Muff, AAUE, Freddy S. Petersen, Kogsgaard Miljø, Leah MacKinnon og Neal Durant, Geosyntec, Morten Bondgaard, Region Midtjylland	80
<b>Notater</b>	83



**Spor 1**



## **INTERNATIONAL BRANDING AF DANSKE STYRKEPOSITIONER PÅ VANDOMRÅDET**

Marketing Director Pia Klee  
Rethink Water, Danish Water Forum  
pikl@danishwaterforum.dk

Danske virksomheder har med initiativet Rethink Water taget det første skridt til, hvad der på sigt kan udvikle Danmark til en international 'water hub', hvor Danmark vil tiltrække internationale forskere og virksomheder i samme omfang, som man ser det på vindområdet.

De globale investeringer inden for vand har et niveau, der er tre gange større end vindindustrien, og ambitionen er at brande dansk ekspertise internationalt som frontløber inden for bæredygtige vandløsninger, og gøre Danmark til et omdrejningspunkt for udvikling og fremme af intelligente løsninger.

Og der er grundlag for ambitionen; ifølge FN vil verdens samlede vandforbrug stige med 30 pct. frem til år 2030, på grund af befolkningstilvækst og øget velfærd. Det betyder, at verdens vandressourcer er under pres, og at der skal findes nye løsninger.

Som frontløber gennem årtier har danske virksomheder, forsyningsselskaber og myndigheder viden, erfaring og netværk, der kan være med til at sætte en ny global dagsorden om vand, livskvalitet og bæredygtige helhedsløsninger verden over. Det klorfrie drikkevand, havnebadene i København og vandeffektive industrier er vigtige eksempler på effektive danske løsninger med internationalt afsætningspotentiale.

Danske vandvirksomheder står allerede i dag for en eksport på ca. 15 mia. kroner, hvilket er omkring en fjerdedel af eksporten på energiområdet. Derfor har Danmark et stærkt fundament for at udvikle vand til en global styrkeposition.

Initiativet Rethink Water gennemføres i et tæt samarbejde mellem Danish Water Forum og State of Green Konsortiet. De konkrete løsninger omfatter en serie mini-rapporter med beskrivelser af danske styrkepositioner på vandområdet, præsentationsværktøjer samt film og events, der skal synliggøre den danske vandbranche internationalt.

Bag Rethink Water-initiativet er nu mere end 50 virksomheder, forsyninger og organisationer med tilknytning til den danske vandsektor samt Københavns Kommune og Region Hovedstaden. Initiativet lanceres som en del af State of Green, Danmarks officielle grønne brand. Projektet støttes med op til 6 mio. kr. af Fonden til Markedsføring af Danmark under Erhvervs- og Vækstministeriet.

## DANSK-ASIATISK SAMARBEJDE PÅ FORVALTNING AF GRUNDVAND

Statsgeolog, ph.d. Heidi Christiansen Barlebo  
De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS)  
hcb@geus.dk

Der er en lang tradition for dansk samarbejde med forskellige asiatiske lande især på kapacitetsopbygning på vandforvaltning, etablering af vandboringer, undersøgelser af grundvands- og drikkevands-kvalitet og lignende aktiviteter. Kapacitetsopbygningen på vandforvaltning har ofte bestået af udvikling og tilvejebringelse af viden og værktøjer, herunder koncepter for integreret vandressourceforvaltning, hvor grundvand har indgået som en delkomponent.

Tidligere var disse aktiviteter primært finansieret af donorpenge, f.eks. fra Danida. Aktiviteterne var derfor koncentreret omkring lavindkomstlande; Vietnam, Bangladesh, m.fl., hvor aktiviteterne var finansieret som en del af et prioriteret sektor-program i det pågældende land. Aktiviteterne var for det meste bredere projekter og derfor ikke begrænset til grundvandsforvaltning og blev som hovedregel udført af danske rådgivningsvirksomheder.

I en længere periode i 90'erne var donormidlerne fra Danida suppleret med miljøstøttemidler fra Miljøstyrelsen – det såkaldte MIKA-miljøprogram - og her var det især Thailand og Malaysia, som var i fokus. Projekterne var i mindre grad rettet mod forvaltningssiden og ikke så meget på vand. De var primært til opbygning af miljøinfrastruktur, f.eks. rensningsanlæg. Selvom der i perioden 1994 – 98 blev allokeret midler i størrelsesordenen 1 mia. kr. til de to lande, var der ingen egentlige grundvandsrelaterede projekter i porteføljen.

I forhold til dansk-asiatisk samarbejde rettet specifikt mod problemstillinger på grundvand har der ikke været mange projekter til trods for, at grundvandskvalitet er en af de faktorer, som har størst betydning for folkesundheden i tredje verdenslande. De senere år har der vist sig et stigende fokus på grundvand på grund af vækstøkonomiernes øgede behov for vand i de store byer, og dermed et øget behov for at udnytte grundvand til vandforsyning.

Udover projekter på kapacitetsopbygning har der været en række forskningssamarbejder i Indien, Vietnam, Thailand og nu også i stigende grad Kina. Disse lande er kendetegnet ved en meget voldsom vækst, som har bragt dem ud af donorernes radius, og hvor samarbejdet nu udfoldes som et business to business samarbejde. I visse lande, f.eks. Vietnam, er det dog ikke altid, at donor-tankegangen er helt forladt i de partnerinstitutioner, som er i spil som modtagere af rådgivningen. Her er der stadig en udbredt forventning om, at danske virksomheder kommer med pengene i lommen.

I nærværende oplæg vil der blive givet en række eksempler på dansk-asiatisk samarbejde, som det har udviklet sig over det seneste tiår. Fokus vil være dels på bilaterale forskningssamarbejder i Vietnam og Kina, dels på eksempler på kapacitetsopbygningsprojekter på vandressourceforvaltning og på eksport af systemløsninger f.eks. på grundvandskortlægning.

Der vil for disse eksempler blive redegjort for, hvilke erfaringer der er for at få konkrete projekter i hus, hvilke forudsætninger der skal være opfyldt for, at partnerskabet kan fungere, og hvilke barrierer og forhindringer der kan optræde i sådanne projekter. Ikke mindst i den nuværende situation, hvor der er et stærkt politisk ønske om at gøre vand til det nye vind og i den sammenhæng at øge samarbejdet mellem de asiatiske vækstøkonomier og danske leverandører af teknologi og løsninger på vand, er det overordentligt vigtigt, at der sker en videndeling af de erfaringer, der er gjort hidtil på samarbejde med disse lande.

## **KORTLÆGNING AF GRUNDVAND I THAILAND MED DANSK TEKNOLOGI - 1000 KM<sup>2</sup> SKYTEM KORTLÆGNING OG VERIFIKATION MED 2700 M BOREMETER**

Markedschef Jens Dyrberg Nielsen  
EnviDan Water A/S  
jdn@envidan.dk

Miljøministeriet i Thailand igangsatte i 2011 en kortlægning af et ca. 1000 km<sup>2</sup> stort område (Kamphaeng Phet) 350 km nord for Bangkok. Opgaven omhandlede flg. aktiviteter: 5000 linje-km SkyTEM kortlægning, tolkning af SkyTEM data, detaljeret geofysisk tolkning i udvalgte områder, geologisk tolkning i forhold til eksisterende data (boringer og Schlumberger data), udpegning af egnede boresteder, borearbejde, logging og sammenligning mellem SkyTEM og de nye boringer. Desuden opsætning af en Thai GERDA database, installering af Workbench, GeoScene 3D, samt kompetenceoverførsel i Danmark og i Thailand. Alt i alt en række af aktiviteter der er sammenlignelig med en traditionel dansk grundvandskortlægning.

Kortlægningen er udført i et tæt samarbejde mellem lokale og danske aktører med EnviDan i spidsen. Aktørerne omfatter: GEUS, SkyTEM, Aarhus Geophysics, I-GIS, GMT (lokalt borefirma) og Thai DanWater (EnviDan Water lokal partner).

Projektet blev udført som et pilotprojekt og havde til formål at dokumentere, at SkyTEM er anvendelig som kortlægningsmetode i forbindelse med grundvand også under Thailandske geologiske forhold. Endvidere var et andet vigtigt element at få løftet kompetenceniveauet hos DGR mht. databehandling og viden om geofysisk tolkning. Dette er gjort ved, at de danske aktører af flere omgange har undervist i diverse relevante softwaresystemer og geofysik generelt i Thailand. 8 Thaiere har desuden været på et længere ophold i Danmark bl.a. ved GEUS og Aarhus Geophysics. Kompetenceoverførslen har gjort, at Thaierne selv har været i stand til at udføre en del af tolkningsarbejdet. GEUS har sideløbende med kortlægningen og kompetenceopbygningen opbygget en pendant til en GERDA database i Thailand.

Der blev udført 17 boringer i forbindelse med kortlægningen med boreddybder fra 100 til 300 m. I alt blev der udført ca. 2700 m boremeter.

Generelt blev der fundet god overensstemmelse mellem boringerne og SkyTEM.

## LAVE TEKNOLOGISKE LØSNINGER FOR JORDFORURENING MED POP'S I MOLDOVA: UDFORDRINGER OG BEKRÆFTENDE OPLEVELSER

Chefkonsulent Jacqueline Anne Falkenberg  
NIRAS A/S  
jaf@niras.dk

Projektet i Moldova er gennemført i perioden 2008-2010 og har haft til formål at identificere, afprøve og udarbejde retningslinjer for de lokale kommunale myndigheder for cost-effektive afværgeteknologier for oprensning af landområder, hvor der tidligere er opbevaret og håndteret de forbudte POP-pesticider (Persistent Organic Pollutants, f.eks. DDT, Lindan og Heptachlor). Afværgeteknikkerne skulle tilpasses de lokale forhold i Moldova og være egnet til anvendelse på de mere end 1.000 lokale pesticidlager på landbrugsarealer i Moldova.

Da mange af de lokaliteter omfattede både forurenede jord og byggematerialer, har én teknik omfattet forsegling af forurenede jord og murbrokker i et kontrolleret deponi. Teknikken reducerer risici for direkte kontakt til forurenede jord og byggematerialer, da lokale beboere ofte vil genbruge disse materialer på trods af oplysninger om farer.

Det andet demonstrationsprojekt var baseret på in-situ bioremediering på landfarming med tilsætning af DARAMEND® granulat (Adventus) til stimulering af reduktiv deklorering af klorerede organiske materialer. 10 behandlingscykler med skiftevis stimulering af anaerob og aerob forhold blev foranstaltet af lokale landbrugsansatte efter træning. For at dokumentere behandlingen er et statistisk prøveudtagnings- og analyseprogram baseret på "Duplicate Method" anvendt til at kvantificere heterogenitet og dokumentere nedbrydning.

Dansk know-how (erfaring) har især været til fordel ved følgende aspekter:

- Opstilling af kriterier til karakterisering og udvælgelse af kritiske lokaliteter
- Vurdering af risici ved tidligere pesticidlager og krav til afværgeteknologier
- Identifikation af egnede teknologier tilpasset de lokale forhold
- Forståelse for den konceptuelle model, risikovurdering og risikoforvaltning
- Pragmatiske løsninger

Blandt udfordringer kan nævnes:

- Godkendelsesprocedurer og tilladelser skal ansøges hos flere instanser
- De fleste lokaliteter er langt ud på landet uden adgang til strøm eller vand
- Manglende udstyr

Bekræftende oplevelser:

- Interesse, forslag og aktiv deltagelse af de lokale myndigheder

Projektet var finansieret af Canadian International Development Agency (CIDA) og World Bank som en del af et større projekt administreret af Republikken Moldova (MENR) med titlen "Remediation of POP Pesticide Polluted Areas and Clean-Up of PCB Contaminated Oil in Power Equipment".

## **KORTLÆGNING AF FORURENEDE GRUNDE I INDIEN - KAN ERFARINGERNE FRA DANMARK BRUGES?**

Civilingeniør Torben Højbjerg Jørgensen  
COWI A/S  
tjr@cowi.dk  
Søren Viegand, Jarl Dall-Jepsen, COWI A/S

Dette indlæg beskriver et udfordrende projekt, som COWI udfører for Verdensbanken og den Indiske Miljøstyrelse omkring kortlægning og vurdering af forurenede grunde i Indien. I projektet udnytter vi den store viden vi har fået i Danmark gennem de sidste 20-30 år gennem arbejdet med Jord- og grundvandsforurening. Projektet er vundet i en international konkurrence. Formålet med indlægget er at:

- Sætte vores arbejde i perspektiv i forhold til problemstillinger i den 3. verden
- Fortælle om, hvordan vi håndterer denne komplekse opgave, hvor vi arbejder med nogle af verdens største forureninger, herunder vurdering af deres påvirkninger på miljøet
- Fortælle om de udfordringer, der er med at håndtere forurenede grunde i et land hvor der p.t. ingen lovgivning er om området
- Fortælle om de muligheder, vi har for at eksportere vores viden omkring forurenede grunde

Projektet omfatter bl.a.:

1. Forslag til definition af en forurenede grund i Indien
2. Kortlægning af forurenede lokaliteter i Indien, herunder indhentning af data i alle delstater
3. Levering af database med GIS applikation og prioriteringssystem
4. Udarbejdelse af vejledninger til kortlægning og undersøgelser af forurenede grunde, herunder udarbejdelse af forslag til kvalitetskriterier
5. Indledende undersøgelser af de mest forurenede lokaliteter
6. Opstilling et prioriteringssystem (scoringssystem) til at udvælge de mest kritiske grunde (baseret på "Source - Pathway - Receptor" princippet)
7. Undervisning af de Indiske miljømyndigheder

Projektet viser, at den store erfaring, vi har fået i Danmark, kan anvendes i udlandet, selv i internationale konkurrencer. Problemstillinger i Indien er typisk de samme som i Danmark, men løsninger skal målrettes de specielle forhold i landet.

# OMFATTENDE UNDERSØGELSER, RISIKOVURDERINGER SAMT FORSLAG TIL KIL- DEOPRENSNING OG JORDHÅNDTERING PÅ ET 73 HA STORT JERNBANEOMRÅDE I DEN CENTRALE DEL AF TBILISI BY I GEORGIE

Senior specialist Jarl Dall-Jepsen  
COWI A/S  
jad@cowi.dk

## Baggrund og formål

I den centrale del af Tbilisi by i Georgien ligger der et 73 ha stort jernbaneområde med hovedbanegård, værksteder, påfyldningssteder for brændstof, mange olietanke for opvarmning og brændstof, kemikalieoplag, rangerarealer og arealer med forskellige typer af skrot. Der var sågar også et vaskeri med kemisk rens. De georgiske jernbaner havde planer om at lede hovedjernbanelinien helt uden om Tbilisi og udvikle det gamle jernbaneområde til et nyt byområde med boliger, kontorer, hoteller, grønne områder og infrastruktur. I løbet af projektet blev der udarbejdet detaljerede planer med kort for arealanvendelse og forventede byggedybder og byggeprocenter. For at kunne tiltrække udenlandske investorer til denne byudvikling skulle området undersøges for jord og grundvands forurening, forureningerne skulle afgrænses, risikovurderes og der skulle udarbejdes en plan for afværge. Disse aktiviteter blev finansieret ved et lån hos EBRD (European Bank of Reconstruction and development) på 1 mio. Euro.

## Projektbeskrivelse

Det store område blev inddelt i 6 delområder. Den foreliggende historik blev verificeret ved site inspection og interview af arbejdere. Herefter blev der udarbejdet detaljeret undersøgelsesplaner for hvert af delområderne. Der lå herefter et stort arbejde med at få aftaler med boreentreprenør, samarbejdspartnere og få logistik arrangeret for det store undersøgelsesomfang. Undersøgelserne blev udført med personel fra de georgiske miljøundersøgelser, som først skulle oplæres i at føre boretilsyn og håndtere jord og grundvandsprøver. Alle prøver, som skulle analyseres måtte desuden transporteres med fly til Danmark og blev analyseret af Eurofins, da der ikke fandtes akkrediterede laboratorier i Georgien, som kunne leve op til kravene. Til at undersøge og afgrænse 16 forskellige forureningskilder og til at karakterisere diffus forurening blev der udført næsten 350 borer med analyse af mere end 640 jordprøver, 40 vandprøver og mere end 22.000 analyseresultater.

## Resultater

De 16 punktkilder blev karakteriseret, afgrænset og risikovurderinger for både arealanvendelse, grundvand og overfladevand udført. Jorden overalt på arealet blev forklasificeret og afværgeplaner i forhold til den fremtidige arealanvendelse i 300 forskellige parceller blev udarbejdet med kvantificering af forurenede jordmængder. De Georgiske Jernbaner kan nu byde de enkelte parceller ud til investorer, som nemt kan se, hvilken jordforurening der skal håndteres, og hvilke omkostninger der er forbundet hermed.

## Hvad har vi lært

Relative simple undersøgelsesaktiviteter med prøvetagning og analyser blev udfordrende i stor målestok i et land hvor særligt sprog, toldsystemer og adgang til teknisk udstyr var barrierer. Tålmodig, respekt for andre mennesker, lidt opfindsomhed og god humor var vejen til succes i dette projekt.



## WEBBASERET BESLUTNINGSSTØTTEVÆRKTØJ TIL VANDFORVALTNINGEN I DANMARK

Seniorhydrolog Oluf Zeilund Jessen  
DHI  
zj@dhigroup.com  
Miljøsagsbehandler Allan Køtter, Allerød Kommune

De danske kommuner står overfor en række udfordringer i forbindelse med de kommende handleplaner, behandlingen indvindingstilladelser, og forvaltningen af vandressourcen generelt. I denne forbindelse kan brugen af hydrologiske værktøjer være nyttige, idet de giver mulighed for at samle og vurdere store mængder af information, samt mulighed for at vurdere påvirkningen fra forskellige tiltag. Da brugen af disse værktøjer kræver en indsigt og erfaring med hydrologiske modeller er de dog typisk ikke en direkte del af sagsbehandlingen.

Præsentationen viser resultaterne fra et konkret projekt med Allerød kommune, hvor formålet har været at udvikle et beslutningsstøtteværktøj der kan benyttes til løsning af de udfordringer der ligger i handleplaner, indvindingstilladelser samt det daglige arbejde med grundvand og overfaldevandsressourcen i kommunen, hvor brugen af en hydrologisk model forsøges integreret i den daglige sagsbehandling.

Løsningsforslaget bygger på opstilling af en integreret hydrologisk model, der kobles med en web-baseret brugerflade således at fagfolk fra Allerød kommune samt eksterne interessenter kan benytte systemet. Dette medfører at:

- Personer med adgang til systemet vil kunne etablere nye scenarier, eksekvere modelkørsler, og udtrække relevante resultater
- Systemet er rettighedsstyret og giver mulighed for at interessenter, borgere eller eksterne fagfolk vil kunne få adgang til systemet og se dele eller hele systemet
- Brugeren benytter en allerede opstillet model, og vil kunne afvikle scenarier uden detaljeret kendskab til modellen
- Brugeren vil kunne oprette scenarier, hvor der kan ændres på udvalgte parametre, f.eks. grødeskæring, nedbør mm.
- Afvikle scenarier, hvor modelkørslerne foretages automatisk hos DHI
- Se resultater fra forskellige modelberegninger gennem en hjemmeside, herunder:
  - Grundvands og vandløbspåvirkning
  - Vandbalance
  - Oplande (indvindings og grundvandsdannende områder)

Løsningsforslaget er baseret på at den hydrologiske model opstilles på DHI, og at Allerød kommune har adgang til modellen gennem den leverede web-løsning. Der kræves derfor ingen installation af programmer lokalt hos brugeren, eller detaljeret kendskab til den bagvedliggende model.

Overordnet set er formålet derfor at udvikle et værktøj hvormed hydrologiske modeller kan integreres i sagsbehandlingen hos offentlige myndigheder, ved at tilgangen til modellen og vurderingen af resultater fra modellen tilpasses behovet i den specifikke sagsgang.

## **BÆREDYGTIG INDVINDING – ET EKSEMPEL FRA FREDEIKSSUND KOMMUNE**

Civilingeniør Anders Korsgaard  
NIRAS A/S  
ako@niras.dk

Der er i forbindelse med vandplanen beregnet rammer for indvindingen på Sjælland. Vandplanen giver dog ikke svar på alt, og resultaterne er præget af at være udformet på et regionalt niveau. For Frederikssund Kommune er restressourcen, der er til rådighed, meget begrænset - ifølge vandplanen. For Hornsherred er der ikke udført detaljerede beregninger af indvindingsrammerne, primært på grund af et meget sparsomt datagrundlag.

Da Frederikssund kommune hverken kan eller vil vente på en klar udmelding fra Naturstyrelsen, har man valgt at arbejde videre med begrebet "bæredygtig indvinding" på et mere lokalt data-grundlag.

Men hvordan defineres den bæredygtige indvinding egentlig?

Tilbage i Amternes tid viste en ressourceundersøgelse en bæredygtig udnyttelig grundvandsressource på 10 mio. m<sup>3</sup>/år alene på Hornsherred. Beregningsmetoden tog imidlertid ikke hensyn til systemets afstrømning til overfladevande, så den bæredygtige ressource blev overestimeret.

Som grundlag for at bestemme den maksimale bæredygtige indvinding i kommunen, er der foretaget iterative modelberegninger med kommunens lokale grundvandsmodel. For at kunne lave sådanne vurderinger skal der opstilles krav til, hvor meget påvirkning der kan accepteres på vandmiljøet .

Frederikssund Kommune har opstillet to overordnede kravværdier til en bæredygtig indvinding:

1. Baseflow afstrømningen til vandløb må ikke reduceres med mere end 25 %
2. Sænkningen i kritiske vådområder på ikke overstige 0.25 meter

Derudover må indvindingen ikke forringe grundvandskvaliteten eller introducere en risiko for saltvandsindtrængning.

Kommunen har derudover valgt at tage udgangspunkt i den aktuelle indvindingssituation og ikke "nul-situationen" (uden indvinding).

Modelberegningerne viste, at den bæredygtige indvinding på Hornsherred i Frederikssund Kommune er ca. 11 mio. m<sup>3</sup>/år, hvilket giver en uudnyttet ressource i dette område på ca. 5 mio. m<sup>3</sup>/år.

Hvis de samme krav skal overholdes i forhold til "nul-situationen" vil den bæredygtige ressource kun være omkring 8.5 mio. m<sup>3</sup>/år, hvilket giver en restressource på ca. 2.5 mio. m<sup>3</sup>/år.

Det har derfor stor betydning om den tilladelige påvirkning beregnes i forhold til en nul-indvinding eller i forhold til den aktuelle indvinding.

Frederikssund Kommune står også overfor den udfordring, at grundvandskortlægningen i kommunen var en af de tidligste. Metoderne var ikke færdigudviklede, og kortlægningen er derfor i visse sammenhænge forældet. Det betyder, at planlægningsgrundlaget for byudvikling, grundvandsbeskyttelse og udpegning af NFI også er forældet.

En god strategi for bæredygtig indvinding kræver at plangrundlaget er i orden, og det kan betyde, at der skal laves justeringer i den eksisterende kortlægning. Kommunen prioriterer at beskytte grundvandet i de områder, hvor grundvandsdannelsen er stor, byudvikling kan herefter foretages i områder med lille grundvandsdannelse.

Aktuel byudvikling ved "Vinge" var nær blevet bremsset på grund af en gammel og fejlbehæftet udpegning. Nye modelberegninger med kommunemodellen viste, at den grundvandsdannelse der lå til grund for udpegningen af følsomme områder var forkert. Med modelberegningerne i hånden blev udpegningen ændret, og byudviklingen kunne fortsætte.

## KOMMUNER OG VANDFORSYNINGERS ANVENDELSE AF DATA FRA GRUNDEVANDSKORTLÆGNINGEN

Geolog Charlotte Agnes Bamberg  
Rambøll  
chab@ramboll.dk

Kan man samle al eksisterende viden, såsom geologiske, geofysiske, kemiske og hydrologiske data samt eksisterende modeller ét sted, således at man har et stærkt redskab i den daglige sagsbehandling og vandforvaltning?

Mange kommuner står tilbage med store områder, som er kortlagt med geofysiske, kemiske, hydrologiske og geologiske data, samt områder som ikke er detailkortlagte, men hvor der er data og viden. Endvidere vil der for mange områder være opstillet geologiske og hydrostratigrafiske modeller samt grundvandsmodeller. Mange af modellerne vil dog variere i udbredelse, detaljeringsgrad og aktualitet og kan derfor ikke altid bruges i den daglige sagsbehandling og vandforvaltning uden en revision.

For at imødekomme disse problemstillinger har Varde opbygget en samlet platform for hele kommunen, hvori al tilgængelig data og viden er samlet.

Varde Forsyning har problemer med dårligt ydende magasiner, vandtyper som ikke er egnede som drikkevand (brunt vand og chlorid), nitrat og pesticidforureninger, hvorfor de har ønsket at få belyst den tilgængelige drikkevandressource i Varde Kommune – ikke kun indenfor OSD.

På den baggrund er det besluttet at foretage en strategisk vurdering af grundvandsressourcerne i Varde Kommune, således at den fremtidige vandforsyningsstruktur i Varde Forsynings nuværende og eventuelt fremtidige forsyningsområder kan prioriteres i forhold til placering af kildepladser, behandlingsanlæg, forsyningsikkerhed, omkringliggende miljø og omkostninger.

Til dette formål har Rambøll opstillet en 3D geologisk model der dækker hele Varde Kommune, hvor de geologiske, hydrologiske og kemiske data fra bl.a. grundvandskortlægningen er blevet sammenstillet og præsenteret for hele kommunen. Modellen giver et indblik i grundvandsmagasinernes kvalitet, udstrækning og mægtighed.

På baggrund heraf er der foretaget en udpegning af potentiel egnede områder til placering kildepladser. Rambøll har i dialog med Varde Forsyning udvalgt nogle fokusområder, som er blevet screenet for andre parametre, der kan have en negativ påvirkning på vandressourcen og vandkvaliteten i området. På baggrund af screeningen har det været muligt at sammensætte en handlingsplan for områderne, således at det kan dokumenteres hvorvidt fokusområderne stadig er aktuelle i forhold til nye kildepladser.

Ud over vandforsyningen kan kommunens ansatte anvende modellen til indsatsplanlægning, og til den daglige sagsbehandling, hvor en konkret vurdering skal belyse, hvorvidt en given aktivitet eller anlæg kan udgøre en risiko for forurening af grundvandsforekomsterne.

På sigt er det forventningen at skabe et stærkt og anvendelsesorienteret værktøj, der kan fungere som en samlet platform for vandforsyningen, kommunen, rådgiverne og øvrige interessenter. Et værktøj, hvor ny viden hurtigt kan integreres i modellen, således at den altid er opdateret.

## OPSPORING AF PUNKTKILDER I DET ÅBNE LAND

Kemiingeniør Tove Svendsen  
Region Syddanmark  
tove.svendsen@regionsyddanmark.dk

Punktkilder i det åbne land udgør en særlig trussel over for grundvandet. Region Syddanmark er i gang med et udviklingsprojekt med det formål at afdække omfanget og belyse risikoen af denne trussel. Der er især fokus på tidligere tiders håndtering af pesticider.

Projektet fokuserer på gamle fyld- og lossepladser samt punktkilder til pesticidforurening som eksempelvis vaskepladser på nuværende og tidligere landbrug, hvor sprøjteudstyr kan være påfyldt, tømt og gjort rent og på arealer, hvor pesticidrester kan være gravet ned.

Projektet gennemføres i fire af de højest prioriterede områder med værdifuldt grundvand i Region Syddanmark. Områderne ligger ved Børkop tæt på Vejle, de ligger i område med særlige drikkevandsinteresser og i indvindingsoplande. Områderne dækker et areal på 8 km<sup>2</sup>.

Vi har ikke hidtil systematisk indsamlet viden om pesticidpunktkilderne, og mange mindre fyld- og lossepladser mangler vi også oplysninger om. Denne viden er nødvendig for, at vi kan gøre arbejdet med at vurdere risikoen i de enkelte grundvandsindsatsområder færdigt.

Der er til at starte med udført en fokusarealkortlægning af områderne for at identificere pesticidpunktkilder og opfyldte arealer som fyld- og lossepladser. Ved denne proces er områderne inddelt i kvadrater på 500 x 500 meter. Hvert kvadrat er gennemgået systematisk ved sammenligning af målebordsblade og luffoto (perioden 1945-2010).

Ved gennemgangen er der registreret opfyldninger, vandhuller, landbrug og virksomheder. Der er i området registreret i alt 137 fokusarealer fordelt på 59 landbrug, 63 opfyldninger og 15 andre virksomheder. Som et alternativ vil beliggenheden af landbrug også blive forsøgt fastlagt ud fra BBR-data fra 1988.

Der er efterfølgende udvalgt og gennemført interview og besigtigelse på 10 potentielle pesticidpunktkilder og tre opfyldte arealer. Disse lokaliteter er udvalgt, da det er vurderet, at der kan have været et stort pesticidforbrug, og hvor nærmeste indvindingsboring ligger relativt tæt på lokaliteten. Efter besigtigelsen er fem lokaliteter udvalgt til fysiske forureningsundersøgelser.

Der er gennemført undersøgelser på ét opfyldt areal samt på fire potentielle pesticidpunktkilder ved igangværende eller nedlagte landbrug. Undersøgelserne af pesticidpunktkilderne er primært rettet mod vaskeplads, påfyldningsplads, oplag og tankoplag. Der er etableret filtersatte boringer ved de nævnte kilder, hvor der primært er udtaget grundvandsprøver. Vandprøverne er analyseret for et bredt spektrum af pesticider og olieprodukter samt chlorede opløsningsmidler i et enkelt tilfælde.

Undersøgelserne har vist, at der på alle fire pesticidlokaliteter er påvist forurening med pesticider, som overskrider Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterier. Der er således påvist overskridelser i 11 af 12 udførte boringer. Analyseprogrammet har omfattet 45 stoffer, heraf

er 20 påvist og 16 af disse overskrider kriteriet i en eller flere boringer. Ved det opfyldte areal er kun fundet lave indhold af BAM.

Undersøgelser af pesticidpunktkilder kan være komplekse, da der er mange interessenter. Det er vigtigt med en god dialog med tidligere og nuværende grundejere for at få de rigtige oplysninger. I det konkrete projekt har vi derudover kontakt til områdets vandværker, kommunen og den lokale landboforening.

## **OPSPORING AF KILDER TIL KONSTATERET FORURENING VED KILDEPLADS TILHØRENDE ESBJERG FORSYNING**

Faglig koordinator, geolog Peter Madsen  
Esbjerg Forsyning A/S, phm@esbjergforsyning.dk  
Civilingeniør Søren Rygaard Lenschow  
NIRAS A/S, srl@niras.dk  
Chefkonsulent Henrik Schmidt, NIRAS A/S

Ved rutinemæssig kontrol i 2011 blev der påvist forurening med stoffet 2,6-Dichlorbenzamid (BAM) i 1 en af 4 borer, der leverer vand til Aike Vandværk. BAM er et nedbrydningsprodukt af ukrudtsmidlerne Prefix og Casaron. Indvindingsdata for Aike vandværks kildefelt viser, at der i årene før forureningen blev påvist i indvindingsboringen, har der været en væsentlig forøget indvinding fra den berørte boring, hvilket kan have medført, at en forureningsfane med BAM er blevet trukket ind i kildefeltets indvindingsopland. Reduktion af indvindingen fra boringen har efterfølgende medført, at indholdet af BAM nu ligger stabilt omkring 0,020 µg/l. For at undgå, at påvirke forureningsudbredelsen u hensigtsmæssigt, er indvindingen på boringen bevaret med den reducerede indvinding.

Sideløbende med omlægning af driften har Esbjerg Forsyning i gangsat undersøgelser og granskning af data med henblik på vurdere kildestyrke og om muligt finde kildeområde for den konstaterede BAM-forurening i indvindingsboringen.

Undersøgelserne har omfattet niveauspecifik prøvetagning i den berørte indvindingsboring, prøvetagning i eksisterende monitorings- og markvandingsboringer, volumenpumpning og hydrauliske test, gennemgang af arkiv materiale og historiske luftfotos for potentielle kilder. For udvalgte lokaliteter herunder en skydebane, en planteskole og en maskinstation er der udført undersøgelser med prøvetagning af grundvand fra Geo-Probe sonderinger. Endvidere er der udført en 80 m dyb boring med henblik på at kortlægge spredningsveje til indvindingsboringen.

Naturstyrelsen har endvidere udført en kortlægning af grundvandsressourcen i området. På baggrund af heraf er der opstillet en geologisk model for området, som viser, at Aike vandværk indvinder fra en begravet dal.

Udredningen og undersøgelserne har påvist 2 forureninger, som kan være anledningen til forureningen i indvindingsboringen. Ved en maskinstation er der konstateret BAM-forurening, som vurderes at stamme fra renholdelse af gårdsplads mv. Yderligere er der konstateret forurening med bentazon fra ejendommens vaskeplads. Endvidere er der i en monitoringsboring filtersat dybt i grundvandsmagasinet konstateret forurening med BAM. Det vurderes, at de 2 BAM-forureninger ikke er sammenhængende, og kildeområdet til sidstnævnte forurening er ikke identificeret. Med henblik på at vurdere omfanget af de to forureninger er der udført flux-beregninger, som viser, at særligt BAM-forureningen påvist i monitoringsboringen har et potentiale, som kan medføre lukning af kildefeltet.

På baggrund af den udførte udredning er der på kort sigt (2-5 år) truffet beslutning om, at fortsætte indvindingen fra kildefeltet, idet det vurderes, at der kan leveres ledningsført vand uden målbart indhold af pesticider. Forureningsituationen følges løbende med monitoring.



På baggrund af erfaringerne fra monitoring opstilles der scenarier for drift af kildefeltet på lang sigt, herunder omlægning af indvindingen og/eller afværgepumpning. Endvidere anmodes Region Syddanmark om at undersøge og om nødvendigt at afværge forureningsrisici fra maskinstationen.

## GRUNDVANDSFORURENING AF PESTICIDER PÅ MALLING MASKINSTATION

Geolog Frede Busk Sørensen  
Region Midtjylland  
frede.busk@ru.rm.dk

En vandanalyse af maskinstationens boring viste i november 2008 et indhold af bentazon på 31 µg/l. Den opfølgende prøve viste et indhold på 17,8 µg/l. På den baggrund gav Aarhus Kommune et påbud om at undersøge forureningen af bentazon.

Lokaliteten ligger i et OSD-område og i indvindingsoplandet til to kildepladser. Det primære magasin er frit, og grundvandspejlet ligger ca. 40 m u.t. De geologiske forhold i området ved Beder og Malling er meget komplekse. Inden for korte afstande kan der være store skift i lagfølgen af jordlagene, der består af moræneler og smeltevandsand af varierende tykkelse.

Maskinstationen har været i drift i ca. 25 år. Der har været tre potentielle pesticidpunktkilder. Der blev i 2009 udført en forureningsundersøgelse vha. seks Geoprobe sonderinger ned til 15 m u.t. Der blev fundet pesticider i samtlige 16 prøver. Der blev fundet 15 forskellige stoffer og nedbrydningsprodukter. Højeste sum af pesticider var 56,5 µg/l. Undersøgelsen viste, at der er to betydende punktkilder. Det var ikke muligt entydigt at afgøre strømningsretningen i det sekundære magasin og forureningen var ikke afgrænset. En risikovurdering i JAGG på trin IIb viste en overskridelse med en faktor 170 af kvalitetskriteriet 100 m nedstrøms.

Aarhus Kommune gav et nyt påbud om at udføre en supplerende undersøgelse. Påbuddet blev gennemført som en selvhjælpshandling. Det primære formål var at afklare, om forureningen udgør en risiko for det primære magasin. Undersøgelsen blev udført i 2010 vha. fire filtersatte boringer, der blev ført til mellem 12 og 25 m med 2 - 4 filtre i hver. Boringerne skulle også give oplysninger om geologi og strømningsforhold i de sekundære magasiner.

Geologien i de fire boringer varierede betydeligt med vekslende lag af ler, silt og sand. Der blev fundet flere sekundære magasiner med begrænset udbredelse. Der blev kun fundet et større udbredt sekundært magasin. Pesticidanalyserne viste markant lavere koncentrationer ift. den indledende undersøgelse. Forskelle i filterlængde kan ikke alene forklare forskellene mellem de to undersøgelser. Den højeste sum af pesticider var 8,47 µg/l. JAGG beregning udført for en bentazonkoncentration på 3 µg/l viste en overskridelse af kvalitetskriteriet med en faktor 10-30, afhængigt af gradient og hydraulisk ledningsevne. Fluxberegning viste et bidrag af bentazon på ca. 3 - 44 g/år for gradienter på 1 - 12 ‰ med en hydraulisk ledningsevne på  $1,5 \times 10^{-5}$  m/s. Fluxberegning for de primære magasin viste et bidrag på 0,5 g bentazon/år. Fluxberegningerne er behæftet med betydelig usikkerhed.

Aarhus Kommune vurderede i starten af 2012, at påbuddet om undersøgelse var opfyldt, og kunne ikke give et påbud om oprensning. Derfor overgik sagen til Region Midtjylland, som kortlagde grundvandsforureningen på V2. Ved en ny analyserunde blev den nye prøvepakke for boringskontrol anvendt. Det indebar, at der bl.a. blev fundet 4,1 µg/l AMPA i et filter 8 - 9 m u.t. og 66 µg/l 4-CPP i et filter 2,3 - 4,3 m u.t.

På baggrund af de tidligere undersøgelser og den nye prøverunde, blev der lavet et oplæg til endnu en supplerende undersøgelse. Den forløber pt., og der er bl.a. lavet fire nye filtersatte

boringer til afgrænsning af forureningen. Der er konstateret et indhold af bentazon på 1,3 µg/l i den midterste af tre boringer, der står på en line 80 – 130 m nedstrøms for de to punktkilder. Boringerne er etableret bl.a. på baggrund af en geofysisk undersøgelse, udført vha. MEP. En prøvepumpning med overvågning af de hydrauliske forhold skal give et bedre grundlag for risikovurdering og fluxberegning, så forureningens risiko for grundvandsressourcen forhåbentlig kan afklares.

## ERFARINGSOPSAMLING PÅ FUND VED PESTICIDPUNKTKILDER

Civilingeniør Sandra Roost  
Orbicon A/S  
saro@orbicon.dk

I forbindelse med miljøprojektet "Skellen til pesticidkilder, er der foretaget en erfaringsopsamling på resultaterne af 46 amtslige og regionale forureningsundersøgelser. Lokalteterne er udelukkende undersøgt på grund af oplysninger om en branche med håndtering af pesticider og dermed mulige pesticidpunktkilder. Lossepladser som pesticidpunktkilder har ikke været en del af denne erfaringsopsamling, men er beskrevet i et selvstændigt appendix i miljøprojektet.

Der er indsamlet afrapporteringer med undersøgelsesresultater fra lokaliteterne og alle data er samlet i en database, der gør det muligt at gennemføre den efterfølgende databehandling. De 46 undersøgte lokaliteter repræsenterer 8 forskellige brancher og der er indtastet oplysninger om 5 forskellige kildetyper. Derudover udgør datagrundlaget 196 undersøgelsespunkter, 511 analyser (102 jordprøver og 409 stk. vandanalyser) og 9.616 analyseresultater (8.809 vandanalyseresultater og 807 jordanalyseresultater).

På over halvdelen af lokaliteterne har der kun været en punktilde, som har udgjort undersøgelsesgrundlaget. Der har været to undersøgte punktkilder på hver femte lokalitet og mellem 3 og 5 punktkilder på den sidste fjerdedel af lokaliteterne. Undersøgelsesgrundlaget på 80 % af kilderne har været mellem 1 og 4 undersøgelsespunkter, mens der på de resterende 20 % har været mere end 6 undersøgelsespunkter.

Analysen af fund viser, at vandprøver er mest egnede til at påvise indhold af pesticider i nærheden af pesticidpunktkilder. Sumkoncentrationer i kildeområderne og de tilhørende forureningsfaner viser, at lidt under halvdelen ligger mellem 1-10 µg/l, mens 35 % af fundene i selve kildeområdet og 21 % af fundene i fanen ligger over 10 µg/l.

De 11 fokusstoffer fra miljøprojektet er vurderet til at være nogen af de mest interessante stoffer i forbindelse med undersøgelser af pesticidpunktkilder. Det drejer sig bl.a. om dichlorprop, MCPP, isoproturon, bentazon og glyphosat. Databehandlingen viser, at disse stoffer også er de pesticider, der oftest konstateres indhold af over grundvandskvalitetskriteriet og dermed også mest interessante i forhold til en evt. vurdering af risikoen over for grundvandsressourcen.

De fleste fund konstateres omkring vaskepladser, som også er én af de oftest undersøgte punktkilder. For MCPP, isoproturon, dichlorprop og bentazon konstateres der relativt ofte forureningsniveauer større end 50-100 µg/l. For simazin, MCPA, dichlobenil, 2,4-D og atrazin ligger de indhold, der konstateres over grundvandskvalitetskriteriet, typisk i koncentrationsniveauer op til 5 µg/l. De målte forureningsniveauer for BAM har en tendens til at adskille sig i forhold til de øvrige observerede forureningsniveauer. Forureningsniveauerne for BAM er lavere og overstiger sjældent 10 µg/l. Til sammenligning ligger koncentrationsniveauerne for f.eks. MCPP og glyphosat noget højere, hvor over 20 % af fundene ligger over 10 µg/l.

**SAMMENDRAG AF ANBEFALINGERNE FRA  
"SKELNEN MELLE M PESTICIDPUNKTKILDER OG FLADEKILDER",  
HERUNDER HVAD FORVENTER VI AT FINDE FRA DE TO KILDETYPER**

Professor Philip John Binning

DTU Miljø

pjbi@env.dtu.dk

Civilingeniør Sandra Roost<sup>2</sup>, ph.d. Angelina Aisopou<sup>1</sup>, ph.d. Julie Chambon<sup>1</sup>,  
professor Poul L. Bjerg<sup>1</sup>, seniorrådgiver Lærke Thorling<sup>3</sup>,  
seniorrådgiver Walter Brühsh<sup>3</sup>, ph.d. Nina Tuxen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>DTU Miljø, <sup>2</sup>Orbicon A/S, <sup>3</sup>GEUS

Pesticides are now detected in more than 35% of all groundwater monitoring wells and more than 25% of drinking water wells in Denmark, and are the most common cause of closure of drinking water wells due to chemical contamination. There are two main types of pesticides sources: diffuse sources, primarily resulting from the use of pesticides in agriculture; and point sources such as those resulting from spills, farm machinery washing, or landfill deposition of pesticide wastes.

This project aimed to develop methods that can be used to determine whether pesticides detected in monitoring and drinking water wells originate from point or diffuse sources. This is particularly important given that the Danish Regions are responsible for point sources, while diffuse application of pesticides is regulated by restrictions on their use. In order for the Regions to administer pesticide point sources, they require methods to identify the source type from monitoring data.

This project was funded by the Danish Environment Protection Agency and was conducted as a collaboration between Orbicon A/S, GEUS and DTU Environment. The project consisted of 4 parts: i) a description of the consumption and use of pesticides in Denmark; ii) a statistical analysis of the pesticide monitoring data held in the GEUS database Jupiter; iii) a modelling study, which aimed to determine the processes leading to pesticide contamination, explain the spatial and temporal variability in pesticide observations and include that knowledge in a series of conceptual models, and iv) to summarise knowledge of pesticide point sources in Denmark.

The project showed that pesticide sales peaked in the late 1970s, and that the types of pesticides used have changed greatly over time as new products became available, and older products were banned. The statistical analysis of monitoring data showed that there are large differences between pesticide concentrations detected from point and diffuse sources, and the modelling study showed how factors such as pump rate, pesticide type, geology and location of the monitoring/drinking water well affect observations. The project report concludes with a set of guidelines for determining the origin of pesticides detected in groundwater.



**Spor 2**





## GRUNDVANDSMODELLERING PÅ ANLÆGSPROJEKTER

Civilingeniør Jesper Damgaard  
COWI A/S  
jdam@cowi.dk

Mange nye infrastrukturprojekter i Danmark anlægges i dag helt eller delvist nedgravet. Dette har den fordel, at det reducerer støj- og visuelle gener, ligesom det begrænser eller helt fjerner trafikken fra den eksisterende infrastruktur. I områder med højtliggende grundvandsspejl kan en nedgravning af konstruktionerne imidlertid medføre større udfordringer mht. håndtering af grundvand end en normal konstruktion i terrænniveau. Udfordringer, som ingeniører og entreprenører skal finde praktiske løsninger på i design- og anlægsfasen, og udfordringer, som myndighederne skal forholde sig til, hvorledes de ønsker håndteret med henblik på at beskytte bygninger, naturområder og recipienter samt undgå spredning af evt. forurening.

Omfanget og effekten af grundvandssænkninger udført i forbindelse med større bygge- og anlægsprojekter er ofte så store og komplekse, at det er vanskeligt at overskue og håndtere dem ved simple vurderinger og/eller analytiske modeller. For denne type af projekter er det i stedet en stor fordel at integrere konstruktionsoplysninger med alle tilgængelige geologiske, hydrogeologiske og hydrologiske data i en samlet 3D grundvandsmodel. Hermed bliver det i langt højere grad muligt at vurdere konsekvenserne og tilrette projektet, således at der kan opnås en teknisk, økonomisk, miljømæssig og samfundsmæssig optimal løsning.

Vejdirektoratet skal i perioden frem til efteråret 2016 anlægge motorvejen gennem Silkeborg med COWI som bygherrerådgiver for bygværker, og ovennævnte problemstilling vil i præsentationen blive eksemplificeret ved dette projekt. På en længere strækning anlægges motorvejen nedgravet og delvist overdækket. Dette medfører, at der i anlægsfasen vil være behov for en omfattende grundvandssænkning med en forventet oppumpning af ca. 2-3 mio. m<sup>3</sup> grundvand over en 1-2 årig periode.

I planlægningsfasen er grundvandsmodellering anvendt som et værdifuldt værktøj til at fastlægge et design af konstruktioner og byggemetoder, der kan (a) begrænse de oppumpede vandmængder, (b) begrænse påvirkningerne på nærliggende naturområder, (c) minimere risikoen for at mobilisere forurening og (d) undgå stigende grundvandsspejl, når motorvejen er færdigbygget. Resultaterne af modelleringen har desuden indgået som en central del af det materiale, der er drøftet med Silkeborg Kommune i forbindelse med ansøgning om tilladelse til grundvandssænkning og udledning til recipienter. Ligeledes anvendes projektet som case-studie i en modellering af, hvilke effekter klimaforandringer vil have på store anlægs-konstruktioner.

I præsentation gennemgås følgende områder: (a) projektet og interessenter, (b) de hydrogeologiske forhold og (c) anvendelse af grundvandsmodellering som værktøj. Det primære fokus vil være på punkt c og en beskrivelse af, hvorledes resultaterne fra grundvandsmodelleringen i planlægningsfasen har været anvendt i drøftelser med Silkeborg Kommune, hvordan resultaterne er indarbejdet i udbudsmaterialet, og hvordan de har været med til at definere omfanget af kontrol og monitoring i anlægsfasen.

**GRUNDVANDSHÅNDTERING VED BYGGE- OG ANLÆGSPROJEKTER,  
EKSEMPLIFICERET VED ETABLERING AF DNU (DET NYE  
UNIVERSITETSHOSPITAL, SKEJBY)**

Civilingeniør Helle Pernille Hansen  
Rådgivergruppen DNU  
heph@ramboll.dk

I 2012 blev byggeriet af Det Nye Universitetshospital, DNU igangsat. Byggeriet opføres af Region Midtjylland og er beliggende vest for det eksisterende Skejby Sygehus. Under etablering af bygninger og ledningsanlæg skal der foretages midlertidige grundvandssænkninger. Ligeledes kræver udformning af byggeriet, at der permanent drænes under bygningerne. Jf. Lov om vandforsyning skal der derfor tilladelse til udførelse af både den midlertidige grundvandssænkning og den permanente dræning.

Projektet krævede en tilladelse til oppumpning af ca. 1,1 mio. m<sup>3</sup> grundvand om året under maksimalbelastning. Et grundvandssænkingsprojekt i den størrelsesorden kræver tæt dialog med myndighederne, men også at der meget tidligt blev iværksat indsamling af oplysninger om geologiske, hydrauliske og kemiske forhold i området, således der foreligger et solidt grundlag for ansøgningsarbejde og ikke mindst myndighedsbehandling. Der blev bl.a. opsat tryktransducer og udført prøvepumpning til registrering af grundvandsstand, årstidsvariationer, hydrauliske sammenhænge og egenskaber. Endvidere blev der foretaget besigtigelse af vandløb, udtaget vandanalyser af grundvand og overfladevand. Endelig blev der, på baggrund af eksisterende data, geofysik og geotekniske borer og projektområdet, opstillet en hydrostratigrafisk model til vurdering af magasinudbredelse og -sammenhænge.

På baggrund af det store datagrundlag forelå et solidt grundlag til risikovurdering i forhold til forurenede lokaliteter, eksisterende grundvandsindvinding og beskyttede natur samt til opstilling af monitoringsprogram, hvilket blev videregivet til kommunen i ansøgningen om grundvandssænkning og permanentdræning. I vilkårene for tilladelsen er der fokuseret på, at der tidligt i projektforsøget skulle skabes et detailgrundlag for indsatser samt foranstaltninger, såfremt projektets overvågningsprogram mod forventning viser, at omgivelserne påvirkes væsentligt. Bl.a. indeholder tilladelsen et vilkår om, at tilladelsen kan tilbagekaldes eller ændres, hvis de forudsætninger, som ligger til grund for denne afgørelse, viser sig urigtige eller ændres væsentligt.

For at sikre projektets fremdrift og minimere risikoen for, at projektet må stoppes pga. uventede påvirkninger, hvilke vil forårsage store økonomiske og tidsmæssige tab, har det været vigtigt hele tiden at følge sænkingspåvirkningerne tæt. Dette er gjort ved hyppig monitoring samt tæt dialog med kommunen. Desuden har monitoringsprogrammet været dynamisk, således at det er muligt hele tiden at følge udviklingen i projektet og påvirkningsradius, strømningens retning og grundvandskemi.

I området omkring DNU er der konkret fokus på drikkevandsindvinding ved Kasted kildeplads, en af Aarhus Vands store kildepladser ca. 3 km nordvest for projektområdet, samt en privat indvinding ca. 600 meter fra byggefeltet. Ligeledes er der taget hensyn til søer, vandhuller m.v. og bygninger i området, som måtte lide skade af en væsentlig ændret grundvandsstand. Yderligere har der været fokus på 4 udpegede forureninger.

## RISIKOVURDERING AF KRITISK GRUNDVANDSSÆNKNING

Cand. scient. Morten Westergaard  
NIRAS A/S  
mow@niras.dk

I forbindelse med etablering af en parkeringskælder ved Musikkens Hus i Aalborg foretages en langvarig grundvandssænkning. Projektet er forbundet med høj risiko som følge af placeringen ved kajkanten i den centrale del af Aalborg, hvor sænkning af grundvandsspejlet kan medføre skade på sætningsfølsomme bygninger og mobilisering af kortlagte forureninger. Ved etableringen af selve Musikkens Hus for få år siden opstod der netop særdeles kritiske sænkninger i et stort område af den centrale by, hvilket medførte en markant mobilisering af eksisterende forureninger, sænkning af vandstanden i Østre Anlæg Sø og fare for sætningskader.

Aalborg Kommune har derfor haft særlig stor fokus på at sikre, at lignende konsekvenser ikke opstår under etableringen af parkeringskælderens på nabogrunden. Projektet kompliceres yderligere af, at projektlokaliteten er en stærkt forurenede gasværksgrund, hvilket gav anledning til bekymring omkring grundvandets kemiske tilstand. For at kunne opnå de nødvendige tilladelser til grundvandsindvinding/-afledning og opnå en afgørelse om ikke VVM-pligt, har der været særlig fokus på at besvare følgende spørgsmål:

- 1) Hvordan skal grundvandssænkningen designes, så påvirkningen minimeres?
- 2) Hvor store vandmængder skal der håndteres ved grundvandssænkningen?
- 3) Hvordan er de grundvandskemiske forhold?
- 4) Hvordan håndteres og bortledes de oppumpede vandmængder?
- 5) Vil grundvandssænkningen medføre mobilisering af kendte forureninger?
- 6) Hvilke kompenserende tiltag kan iværksættes hvis uventede påvirkninger observeres?

For at afdække disse spørgsmål blev der blev indledningsvist udført en række boringer på lokaliteten med henblik på at afdække den lokale geologi, og der blev opstillet en detaljeret geologisk model i GeoScene3D på baggrund af PC Jupiter boringsdata samt et stort antal digitaliserede borejournaler fra geotekniske boringer. Trods den korte afstand til Musikkens Hus, hvor en grundvandssænkning tidligere medførte massive vandmængder, har den geologiske kortlægning vist, at grundvandssænkningen kan etableres i en relativt afskåret sand/silt-linse (S4), som ikke i samme grad har kontakt til kortlagte forureningslokaliteter.

På lokaliteten er terrænet beliggende omkring kote +2, og udgravningens bund er beliggende i kote - 6,5 for parkeringskælderens. Det ca. 1 m tykke sandmagasin S4 er overlejret af ca. 10 m senglacial yoldialer med enkelte vandførende sandslirer. Da grundvandsspejlet i S4 er beliggende omkring kote +1, har det været nødvendigt at foretage midlertidig sænkning af trykniveauet til kote -6 for at sikre byggegrundens stabilitet. Med henblik på at vurdere effekten af grundvandssænkningen i S4 er der indenfor byggefeltet udført to prøvepumpninger fra magasinet for at bestemme magasinets hydrogeologiske parametre og monitorere påvirkningen i nærområdet. Der er udtaget vandprøver til bestemmelse af grundvandets indhold af forurenende komponenter. Der er efterfølgende opsat en numerisk grundvandsmodel og foretaget en simulering af langtidspåvirkning, hvor resultaterne af prøvepumpningsanalysen og pejletidsserier fra monitoringsboringer implementeret, med henblik på at vurdere effekten

af en grundvandssænkning med forventet 8 mdr. varighed. Grundvandsmodellen er desuden anvendt til at planlægge et kompenserende tiltag med reinfiltration af oppumpet grundvand.

Ved at kombinere detaljeret geologisk modellering, prøvepumpningsanalyse og hydrologisk modellering er det lykkedes at planlægge og gennemføre projektet i en hårfin balance mellem kravet om at sikre stabiliteten af udgravningen og kravet om at holde påvirkningen af nærområdet på et acceptabelt niveau.

## SCENARIOS FOR LAND USE IN DENMARK UNDER CLIMATE CHANGE

Prof. Jørgen E. Olesen  
Aarhus University, Department of Agroecology  
jorgene.olesen@agrsci.dk

Both global and national drivers and trends are expected to lead to major changes in land use in Denmark over the next decades. These drivers can be categorized into four major categories: 1) Changes in demand for biomass products (food, feed, fiber and bioenergy), 2) Changes in technology, in particular within agricultural land use and management, 3) Changes in priority of land for other ecosystem services, and 4) Changes in environmental conditions (including climate change). Some of these drivers are in practice interacting. Thus several of the drivers are to some extent caused by an increasing global human consumption caused by a rapidly growing global middle class. This consumption also leads to emissions of greenhouse gases causing climate change, which in turn affects the regional and local suitability for agricultural and biomass production as well as the susceptibility of natural ecosystems to external inputs such as nitrogen and phosphorus loading from agriculture. This may in turn affect policies for protecting the natural environment, also affected by local priorities for clean and healthy environments.

These global and national drivers will affect land use in Denmark differently conditioned on how extensively Danish land use decisions are being affected by local (national) decisions versus EU policies and global market trends. Within the Danish CRES-project a workshop was organized to discuss details of possible scenarios of land use in Denmark with key stakeholders. These stakeholders were asked to reflect on the following main categories of changes in land use and management: 1) Change in overall land use, e.g. agricultural area, arable land, forestry, wetlands etc., 2) Change in farm structure (regional and national levels), e.g. farm size, number of livestock, and 3) Change in agricultural land use and management, e.g. which crops are grown, fertilisation levels. During the workshop four different directions of land use in Denmark were developed, which were summarized in the following headlines: 1) Agriculture for nature (reduced agricultural area and less livestock), 2) Extensive agriculture (reduced intensity in agriculture and less livestock), 3) High-tech agriculture (higher productivity in agriculture but less agricultural land), and 4) Market driven agriculture (increasing agricultural area and higher intensity). The scenarios not only addressed the overall proportion of various types of land use, but also their spatial location, and this has been translated into land use scenarios for the Odense Å catchment as basis for simulation of effects of the interaction between climate change and land use on N and P load to streams, lakes and the sea.

## USIKKERHED I HYDROLOGISKE MODELLER; GEOLOGI OG FREMTIDIGT KLIMA

Civilingeniør, ph.d. Dorte Seifert Teide  
ALECTIA A/S, dos@alectia.com  
Seniorforsker Torben Sonnenborg og  
forskningsprofessor Jens Christian Refsgaard, GEUS

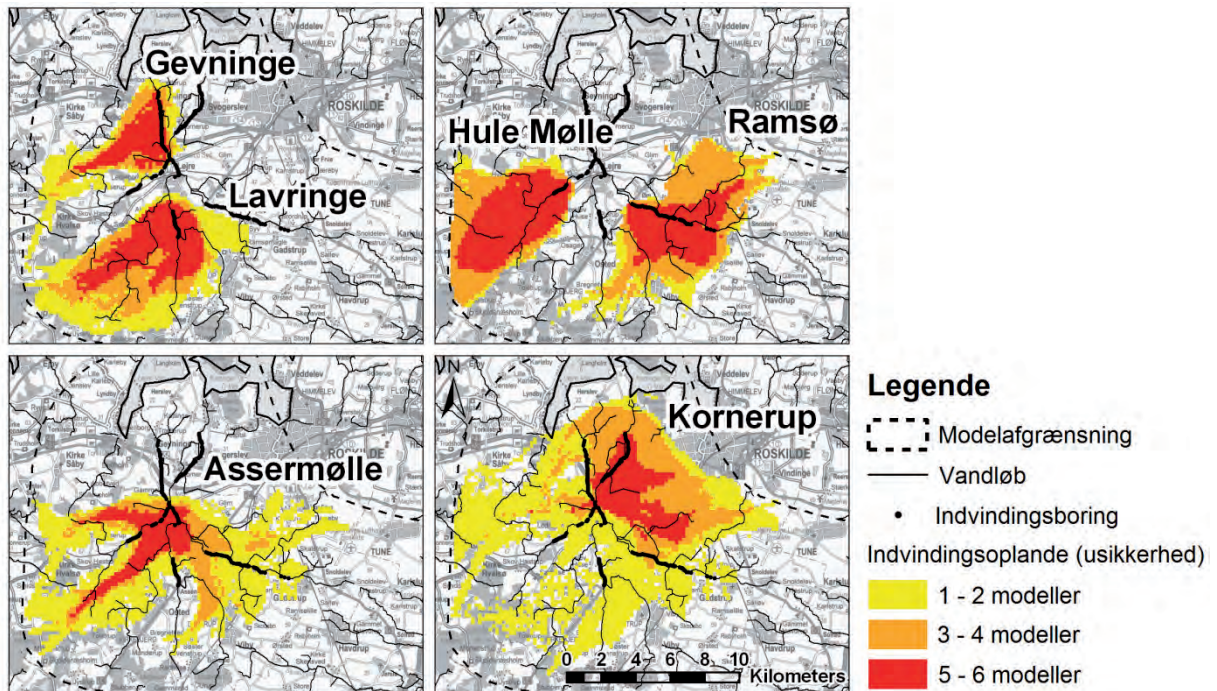
Der er mange usikkerhedsparametre i en hydrologisk model, men en af de største er den konceptuelle geologiske model. For at sikre troværdige resultater fra en hydrologisk model, er det vigtigt at kalibrere og teste modellen mod observationer. Men en model bruges ofte til forudsigelse af fremtidige scenarier, eksempelvis en ny kildeplads eller klimaforandringernes påvirkning, hvilke der ikke kan kalibreres eller testes op imod. I disse tilfælde kan opbygningen af den konceptuelle geologiske model have stor indflydelse på resultaterne. Formålet med det her præsenterede projekt er at undersøge usikkerheden i hydrologiske modeller med fokus på geologi og klimamodellernes forudsigelser af fremtidigt klima. Ved brug af flere forskellige konceptuelle geologiske modeller og klimamodeller er det muligt at give en vurdering af usikkerheden.

Seks forskellige geologiske modeller for området omkring Lejre Vandværk ved Roskilde, udviklet på forskellige tidspunkter, af forskellige (hydro-)geologer og til forskellige formål, er benyttet i en hydrologisk model (MIKE SHE) for at undersøge betydningen af geologien på f.eks. trykniveau, vandløbsafstrømning, grundvandsaldre og indvindingsoplande. Modellerne er kalibreret mod observeret trykniveau og vandløbsafstrømning.

Ud fra modelkalibreringen er det ikke muligt at udpege, hvilken geologisk model der bedst beskriver de faktiske forhold, idet modellerne kan kalibreres til at beskrive det observerede trykniveau og vandløbsafstrømning mere eller mindre lige godt. Anvendes modellerne til forudsigelser af ændret indvinding opnås imidlertid meget forskellige resultater. Ved bestemmelse af grundvandsaldre og indvindingsoplande ses en endnu større forskel mellem de geologiske modeller, hvor aldre varierer med en faktor 10, og der er stor forskel i udbredelsen af indvindingsoplandene. Ved brug af flere geologiske modeller til hydrologisk modellering er det derfor muligt at give en usikkerhedsvurdering af resultaterne. I Figur 1 er usikkerheden på indvindingsoplandene ved brug af de forskellige geologiske modeller vist.

Usikkerheden fra klimaforandringernes påvirkning af det hydrologiske system er sammenlignet med usikkerheden af geologien. Klimainput til de hydrologiske modeller (ændring i nedbør, fordampning og temperatur) for perioden år 2081-2100 er hentet fra 11 forskellige klimamodeller. Der er stor variation i klimamodellernes forudsigelser af nedbørsmængden, idet de spænder over både vådere og tørrere fremtidigt klima for Danmark. Ændring i trykniveau og vandløbsafstrømning for fremtidigt klima er derfor mere påvirket af usikkerheden på klimadata end usikkerheden på geologien, da trykniveau og afstrømning bliver direkte påvirket af nedbørsmængden. Til gengæld er grundvandsaldre og indvindingsoplande mere styret af det overordnede strømningsbillede, og her er geologien af større betydning end klimainputtet. Ønskes en vurdering af klimaforandringernes påvirkning på grundvand og vandløb, er det derfor vigtigt at udvælge et spænd af mulige klimamodeller, hvorimod geologien er mere styrende for oplandsberegninger.

Resultaterne stammer fra en post doc under projektet: Hydrological Modelling for Assessing Climate Change Impacts at Different Scales (HYACINTS – [www.hyacints.dk](http://www.hyacints.dk)). Projektet er delvis finansieret af Det Strategiske Forskningsråd, programkomitéen for Energi og Miljø.



Figur 1 Usikkerhed på indvindingsoplandene ved brug af forskellige geologiske modeller.

## **KLIMABETINGEDE GRUNDVANDSSTIGNINGER I ET OMRÅDE OMKRING KOLDING**

Geolog Jørgen Fjeldsø Christensen  
Region Syddanmark  
joergen.f.christensen@regionsyddanmark.dk

Fremtiden byder på nye samfundsmæssige udfordringer i byerne, i det åbne land og i de kystnære områder, når klimaændringerne viser sig i form af øget nedbør om vinteren, skybrud og tørkeperioder om sommeren. Disse ændringer er på vej – og vil fortsætte en årrække uanset bestræbelserne på at reducere klimabelastningen. Ændringerne udgør samlet set en massiv udfordring for det danske samfund.

Det stigende grundvand er en problemstilling, som ikke har haft det samme fokus som havniveaustigninger, underdimensionerede kloakker og overfladevand. Men det stigende grundvand kan vise sig at skabe store problemer i fremtiden – og på steder hvor det er uventet.

For at synliggøre omfanget af de klimabetingede grundvandsstigninger i Region Syddanmark, har regionen i et tæt samarbejde med GEUS opstillet en hydrogeologisk model, som er blevet koblet sammen med 6 udvalgte klimamodeller. Denne sammenkobling gør det muligt at udarbejde en prognose for det fremtidige grundvandsniveau, og lokalisere fremtidens problemområder på lokal skala.

Den hydrogeologiske model dækker oplandet til Kolding Å samt den østligste del af oplandet til Kongeåen, og de 6 udvalgte klimamodeller er baseret på resultater fra EU-projektet ENSEMBLES, og alle klimamodellerne har anvendt en drivhusgasudvikling svarende til et A1B klimascenarium.

I det udpegede områder er der med afsæt i den nationale vandressource model (DK-modellen), opstillet en lokal grundvandsmodel. For at tegne et så præcist billede af det fremtidige grundvandsniveau, er DK-modellen opdateret på en række punkter. Der er indarbejdet en langt større geologisk forståelse af den øvre del af lagserien, indhentes større viden omkring grundvandspotentialer i både de primære og de sekundære magasiner samtidig med, at der er inddraget en lang række data, som ikke findes i de nationale databaser.

For at lokalisere de områder, hvor de klimabetingede grundvandsstigninger vil udgøre et problem i fremtiden, har man sammenholdt det fremtidige klimabetingede potentialebillede og terrænoverfladen. Denne sammenkobling gør det muligt, at udpege de områder hvor grundvandet står tæt på eller over terrænoverfladen. I arbejdet er der set på klimabetingede grundvandsstigninger i både en nær fremtid og en fjern fremtid. Den nære fremtid dækker en tidsperiode fra 2021 til 2050, mens den fjern fremtid dækker en tidsperiode fra 2071 til 2100.

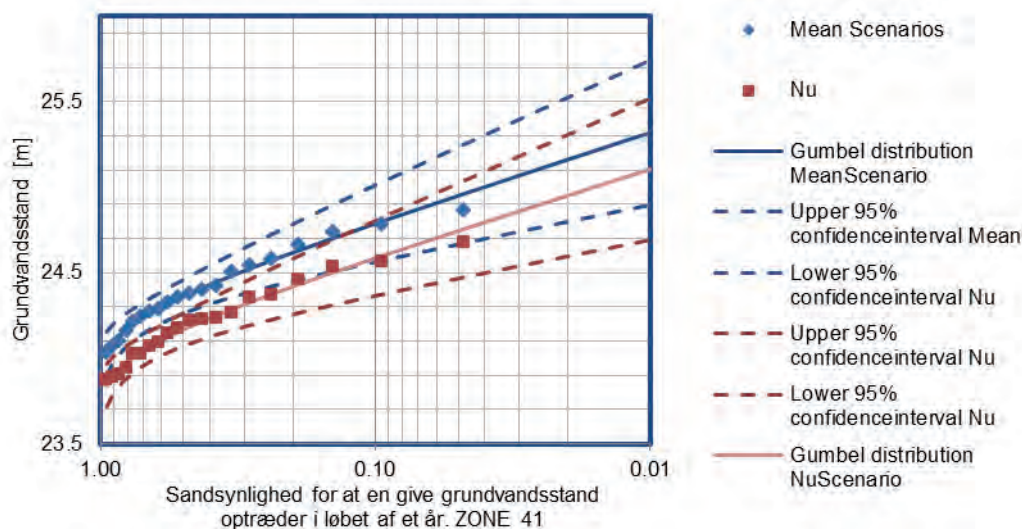
Formålet med projektet har været, at udvikle et værktøj med en detaljeringsgrad hvor projektets resultater kan anvendes i den daglige kommunale planlægning.



## FORUDSIGELSE AF FREMTIDENS EKSTREME GRUNDVANDSSTIGNINGER OG LOKAL USIKKERHEDS ANALYSE – ET VEJPROJEKT VED SILKEBORG

Projektforsker, ph.d Jacob Kidmose  
GEUS  
jbki@geus.dk

Stigninger af grundvandsspejlet og følgevirkninger på natur, bebyggelse og infrastruktur er nogle af de udfordringer et fremtidigt klima kan byde på. Kritiske høje grundvandsstande kan ofte korreleres med generelt høje middel grundvandsstande, men det kan ikke forventes, at ændringen for de høje grundvandsstande mellem et nuværende og et fremtidigt klima vil være tilsvarende den ændring vi ser for middel grundvandsstanden. Estimer for fremtidige ekstreme grundvandsstande må derfor bero på en såkaldt *ekstremværdi analyse* (EVA). I forbindelse med konstruktionen af den nye motorvejsstrækning igennem den nordlige del af Silkeborg by er en vejføring med vejoverflade ned til 6 m under det nuværende terræn blevet besluttet. Grundvandsspejlet findes under nuværende forhold kun marginalt under den planlagte vejoverflade. Det har foranlediget en nærmere undersøgelse af det fremtidige og hermed menes de næste 80-100 års forventede grundvandsspejl. Undersøgelsen foretaget af GEUS indeholder tre overordnede elementer: i) Opstilling og validering af en dynamisk grundvandsmodel specielt egnet til urbane områder med fokus på variationer i trykniveauet for det øvre grundvandsspejl (som står i kontakt med motorvejen). ii) Simuleringer af fremtidsperioden (1981-2100) repræsenteret af et ensemble af globale og regionale klimamodeller og nedskaleret via to metoder. iii) Ekstrem værdi analyser af simulerede grundvandsstande for fremtidsperioden sammenholdt med nutidsperioden.



Den ovenstående figur viser resultater fra ekstremværdi analysen for en enkelt af de i alt 20 undersøgte zoner langs den planlagte motorvej. Eksempelvis ses det, at en fremtidig 100 års hændelse (svarende til 0.01 på x-aksen) kun er 20 cm højere end en 100 års hændelse under det nuværende klima. Udover eksakte estimer for fremtidige 10½, 21, 50 og 100 års hændelser definerede undersøgelsen også størrelsen for usikkerheden på henholdsvis klima modellerne, nedskaleringen og selve ekstremværdi analysen.

## **DETALJERET KORTLÆGNING AF DEN OVERFLADENÆRE GEOLOGI VED BRUG AF DEN NYESTE UDVIKLING INDENFOR LUFTBÅRNE GEOFYSISKE METODER – Mini-SkyTEM SYSTEMET**

Lektor Anders Vest Christiansen,  
HydroGeofysik Gruppen, Aarhus Universitet  
anders.vest@geo.au.dk

Professor Esben Auken og videnskabelig assistent Jesper Bjergsted Pedersen  
HydroGeofysik Gruppen, Aarhus Universitet

I de seneste årtier er grundvandsmodeller blevet et uundværligt beslutningsværktøj i administration og vurdering af grundvandsressourcer samt arealanvendelse. Brugen af modellerne som et beslutningsværktøj stiller dog stigende krav til mængden, tætheden og kvaliteten af de data, som modellerne er baseret på, for at der kan opnås en tilstrækkelig opløsning af lokale geologiske strukturer. Denne opløsning kan umuligt opnås på baggrund af boringer alene, og derfor er det effektivt at inddrage geofysiske data.

I de senere år er der sket væsentlige fremskridt i helikopterbåren geofysik, hvilket har gjort det muligt at kortlægge store områder med f.eks. SkyTEM metoden. SkyTEM metoden er en videreudvikling af det jordbårne TEM-udstyr (Transient Electromagnetic Method), som kan bruges til indirekte at måle, hvilke forskellige litologiske formationer der er i undergrunden helt ned til en dybde på 300 meter.

Metoden er i Danmark hovedsageligt blevet brugt til at kortlægge de dybere geologiske strukturer og grundvandsmagasiner, da det på grund af instrumentelle begrænsninger for tidsdomæne helikopterbårne systemer hidtil ikke har været muligt at få en detaljeret opløsning af den helt overfladenære geologi. Indenfor det sidste år er der dog sket banebrydende instrumentelle udviklinger, hvilket har ført til udviklingen af Mini-SkyTEM systemet, der giver gode muligheder for at beskrive de helt overfladenære jordlag med en rumlig opløsning på 25 - 50 meter horisontalt og et par meter vertikalt. Med det nye Mini-SkyTEM system kan der tilmed kortlægges med en flyvehastighed på helt op til 140 km/t, hvilket gør det muligt at flyve omkring 2.000 liniekilometer på en uge.

I indlægget præsenteres der resultater fra den første kortlægning med metoden som blev udført i det 101 km<sup>2</sup> store Norsminde opland i Østjylland. Formålet med kortlægningen, som var en del af NiCA (Nitratreduktion i geologisk heterogene oplande) projektet, var at bruge den geofysiske kortlægning som udgangspunkt til at opbygge detaljerede geologiske og hydrologiske modeller til modellering af transport og nedbrydning af nitrat i jorden.

De geologiske modeller vil være et effektivt redskab i forbindelse med forståelsen af nitratreduktion i undergrunden, og dermed hvilke områder der har en stor eller lille naturlig nitratnedbrydningskapacitet. De præsenterede resultater viser den unikke rumlige opløsning af geologiske strukturer der kan opnås med det nye SkyTEM system, hvilket bekræftes af en omfattende sammenligning af overfladenære boringer og de geofysiske resultater som viser en meget god overensstemmelse mellem boringer og geofysik.

## **GEOFYSISKE METODER TIL DETALJERET KORTLÆGNING AF LOSSEPLADSER OG PERKOLAT FANER**

Videnskabelig assistent Jesper Bjergsted Pedersen  
HydroGeofysik Gruppen, Aarhus Universitet  
jesper.bjergsted@geo.au.dk  
Professor Esben Auken og lektor Anders Vest Christiansen  
HydroGeofysik Gruppen, Aarhus Universitet

Kortlægningen af lossepladser og perkolatforureninger foretages typisk ved hjælp af tidskrævende og omkostningsrige boringsprogrammer, hvor slutresultatet ofte er en ringe arealdækning. Med induseret polarisations (IP) metoden kan der hurtigt og effektivt opnås en stor arealdækning, og de geofysiske resultater kan sammenstilles med boringer, så der kan opstilles modeller af forureningen og geologien i området. I indlægget præsenteres der resultater fra en kortlægning med IP metoden af Eskelund losseplads samt en hydrokarbon forurening i Uldum, Dortheasminde.

De rumlige grænser af Eskelund losseplads blev præcist beskrevet med metoden, og det var tilmed muligt at diskriminere forskellige IP signalniveauer på lossepladsen og sætte det i relation til fyldets alder og indhold. Samtidigt er det via detaljerede 3D iso-overflade kort muligt at se, hvor det største signal er på lossepladsen og sætte det i relation til forureningsgraden. Denne information er væsentligt i forhold til en strategisk placering af en evt. afværgeboring, hvor der er særlig stor udsivning fra lossepladsen.

Kortlægning af hydrokarbon forureninger vha. af IP metoden er nyt og er hidtil ikke udført med andre geofysiske metoder, men resultaterne fra Dortheasminde er særdeles lovende, da det var muligt at kortlægge fanens strømningsretning vha. af metoden. Denne information er afgørende i forbindelse med etableringen af afværgeanlæg til beskyttelse af den nærliggende Lilleå samt de underliggende grundvandsmagasiner.

Begge kortlægningerne demonstrerer fordelene ved en kombineret brug af geofysik og boringer. Med IP metoden kan store områder relativt hurtigt kortlægges, og ved sammenligning med boringer kan de geofysiske resultater verificeres, og den geofysiske information spredes ud på storskala via tre-dimensionelle modeller. Dermed kan geofysikken bruges som et effektivt redskab i forbindelse med jordforureningssager.

## FELTKORTLÆGNING AF MULIGHEDER FOR LOKAL HÅNDTERING AF REGNVAND

Geofysiker, ph.d. Peter Møller Duch

ALECTIA A/S

pmd@alectia.com

Hydrogeolog, ph.d. Jan Jeppesen og ph.d. Frank Andreasen

ALECTIA A/S

I forbindelse med planlægningen af nye bydele opstilles ofte et overordnet mål om, hvordan regnvand skal håndteres. Første prioritet er, at lejlighedsvis kraftige regnhændelser ikke forårsager skader i form af oversvømmede kældre. Anden prioritet er, at overskydende regnvand i et eller omfang nyttiggøres. Afhængigt af lokale forhold kan forskellige løsninger opfylde flere formål. Det er dog en forudsætning for en god byplanlægning, at de fysiske forhold i et aktuelt område er velbeskrevne. Her tænkes ikke kun på detaljerede højdemodeller, men også på et detaljeret kendskab til lokale geologiske og hydrologiske forhold.

Lokal Afledning af Regnvand (LAR) bør ikke kun betragtes som "damage control". Man bør i mange situationer også tænke på at nyttiggøre og synliggøre regnvand – og måske bør man hellere tale om "Lokal Anvendelse af Regnvand" (LAR). Eksempelvis bør LAR-løsninger i områder med vandindvindingsinteresser også ses i sammenhæng med, en øget interesse for at bevare en bynær indvinding af grundvand. I tætbebyggede områder med et tæt vejnet og med høje krav til vintervedligeholdelse af vejnettet sker en løbende tilførsel af salt til grundvandsmagasinerne. I de tilfælde, hvor man nærmer sig grænseværdierne for drikkevandskvaliteten vil en øget infiltration af rent overfladevand kunne rede en salt-truet drikkevandsressource.

Synlig håndtering af regnvand kan baseres på tre løsninger, som enten kan stå alene eller kombineres: i) LAR-metoder (faskiner, regnbede, vejwadier) ii) vandveje på terræn og iii) en central modtager-sø. Et valg mellem disse løsninger, den tilhørende dimensionering og risikovurdering for oversvømmelse under ekstremregn er i høj grad bestemt af de lokale terrænmæssige, hydrologiske og hydrogeologiske forhold. Et forkert valg eller forkert dimensionering kan vise sig at medføre oversvømmelser og bekostelig ombygning.

Indlægget vil fokusere på metoder til feltkortlægning af muligheder for lokal nedsivning af regnvand (løsning i). I indlægget præsenteres resultater fra en undersøgelse af en ny-udstyknings ved Bellinge sydvest for Odense sammen med resultater fra andre kortlægninger. I undersøgelsesområdet ved Bellinge er der udført geofysisk kortlægning med PACES (slæbe-geoelektrik) og efterfølgende etableret borer for monitoring af det øvre grundvandspejl. I andre byudviklingsområder er de overfladenære lags sammensætning i forskellig dybde kortlagt med EM- tekniker og georadar. Det har derved været muligt at lokalisere lag af sand og grus i områder, der ellers er domineret af moræneler. Sådanne områder med lag af sand og grus vil i kombination med faskiner kunne benyttes til etablering af større eller mindre infiltrationsanlæg.

## GIS-VÆRKTØJ TIL SCREENING AF LAR-POTENTIALE INKLUSIV EFFEKTEN AF LAR PÅ DEN LOKALE OVERSVØMMELSESRISIKO

Hydrogeolog, ph.d. Jan Jeppesen  
ALECTIA A/S  
jaje@alectia.com  
Geofysiker, ph.d. Peter Møller Duch, ALECTIA A/S

Kommuner og forsyninger skal planlægge og investere massivt i klimatilpasning af vores byer for at imødegå oversvømmelser som følge af ekstremregn. Valget står mellem opdimensionering af eksisterende kloakker/bassiner, LAR, skybrudsvandveje eller en kombination af nævnte elementer. Hvis de fysiske forhold på en matrikel/i et kloakopland betinger, at regnvandet uproblematisk kan afkobles kloakken og håndteres ved LAR, uden at medføre lokale problemer med oversvømmelse under skybrud, er der et solidt besparelspotentiale sammenlignet med udgifterne til traditionelle løsninger.

ALECTIA har udviklet et GIS-baseret værktøj til screening af det hydrauliske LAR-potentiale og den afledte (afkoblingens) effekt på oversvømmelsesrisikoen under skybrud. Værktøjet udpeger matrikler/kloakoplande, hvor der er et potentiale for LAR og bæredygtig afkobling af regnvand fra kloakken (som ikke medfører ukontrollerede oversvømmelser under skybrud).

Metoden omfatter en analyse af to forhold omkring LAR:

- 1) potentialet for at anvende LAR (faskiner, regnbede, grønne tage, regnvandstanke) til at håndtere fx en 5, 10, 20-årsregn og
- 2) potentialet for at tilbageholde skybrudsvand lokalt efter at LAR-elementet er fyldt op.

Mht. pkt. 1 sammenstilles GIS- og registerdata på matrikelniveau for at kvantificere befæstet areal og dimensionere LAR-elementerne. Størrelsen af nedsivningselementet sammenstilles efterfølgende med det til-rådighed-værende areal på matriklen og med kapaciteten i umættet zone. Der tages her også hensyn til den afledte stigning af grundvandsspejlet ved nedsivning. Afhængigt af disse – og andre begrænsende forhold som fx forurening - kan LAR-mulighederne godkendes eller diskvalificeres.

Mht. pkt. 2 analyseres den lokale bassinkapacitet på matriklen på baggrund af en detaljeret terrænmodel. Kapaciteten svarer til mængden af regnvand, som kan tilbageholdes lokalt på terræn (evt. reguleret ved opbygning af et lille "dige" ved kritiske lavpunkter, eller udgravning af lille bassin), efter at nedsivningselementet (faskinen) er opfyldt. Det samlede resultat af pkt. 1 og 2 er *LAR-Skybrudskapaciteten*, som fx kan udtrykkes på matrikelniveau og oplandsniveau som antal millimeter regn.

LAR-Skybrudskapaciteten kan sammenlignes direkte med et valgt serviceniveau for håndtering af skybrud og til at udpege områder, hvor regnvand billigt og trygt kan afkobles kloakken og håndteres ved LAR. Værktøjet giver dermed kommuner og forsyninger et værdifuldt grundlag til vurdering af muligheder for at anvende LAR som tiltag til skybruds- og klimatilpasning. I oplægget præsenteres resultater for et kloakopland, der dækker et typisk dansk villakvarter. Oplandet benyttes til at illustrere værktøjets evne til at beregne det samlede LAR-potentiale, inkl. en analyse for oversvømmelsesrisiko under ekstremregn.

## UDFORDRINGER SAMT GEVINSTER VED BYNÆRE NATURLIGE KLIMATILPASNINGS LØSNINGER

Landskabsforvalter Anna Tauby  
NIRAS A/S  
atv@niras.dk  
Ingeniør Rasmus Dyrholm, Frederikssund Forsyning

Klimatilpasningsprojektet i Sillebro Ådal er et eksempel på et helhedsorienteret vand- og naturprojekt med mange udfordringer. Projektet, der har været på tegnebrættet i 3 år, er først endelig i anlægsfasen nu, og vi forventer at "klippe snoren" til de nye rekreative naturområde til efteråret.

Sillebro Ådal er en grøn kile der ligger bynært til Frederikssund. Vand- og naturprojektet indbygger mange forskellige funktioner i ådalen. Frederikssund Forsyning anlægger 16 naturlige bassiner, heraf 8 forbassiner. Formålet med dette er, at forsyningen hermed opfylder kravene i spildevandsplanen om at reducere belastningen af Sillebro Å, hvor der i dag strømmer regnvand direkte ud i åen til stor skade for vandkvalitet, vandløbsflora og fauna. Sillebro Å er udrettet og opfylder ikke målsætningen i vandplanerne. Derfor bliver åen restaureret med genslyngninger, bedre faldforhold, gydebanker mm. Dette gøres i et sammentænkt projekt med bassinerne, således at åen slynges langs bassinkanterne, hvorpå der etableres stier.

For anlæg af bassinerne udnytter man allerede eksisterende lavbundsarealer i ådalen og graver dem lidt større og dybere. Det nye stisystem består af tre forskellige stityper af forskellig oplevelseskarakter samt plankebroer, der går på tværs af bassinerne, som kommer til at fungere som vådområder med spændende fugle- og dyreliv. Alt i alt vil klimatilpasningsprojektet blive et fantastisk rekreativt område midt i Frederikssund by.

Projektet lyder umiddelbart simpelt, men da det foregår midt i en by, på en delvist forurenede lokalitet, i et område med meget §3 beskyttet natur, giver det store udfordringer i forhold til diverse tilladelser jævnfør planloven, jordforureningsloven og naturbeskyttelsesloven. Således har projektet krævet ny lokalplan, mange §3 dispensationer fra naturbeskyttelsesloven samt en meget omfattende forureningsundersøgelse og udarbejdelse af §8 og §19 ansøgninger samt en jordhåndtering plan. Endvidere som forventet udarbejdelse af reguleringsprojekt for Sillebro Å, udarbejdelse af tillæg til Spildevandsplanen, botaniske registreringer og §3 kortlægning samt udarbejdelse af udledningstilladelser.

Erfaringen fra projektet viser, at man ikke skal undervurdere behov for koordinering mellem kommune og forsyning i forbindelse med et projekt, som indebærer så mange elementer. Hele processen med at få alle detailprojekteringsmulighederne til at passe sammen, blive godkendt og gå op i en højere enhed har været en stor udfordring, ikke mindst når der skal koordineres med 7 forskellige sagsbehandlere i kommunen, som ikke sidder i samme afdeling. Heldigvis har vi haft nogle meget engagerede bygherrer, som sammen med os dedikeret har haft målet for øje, uanset hvor langt det har trukket ud med tilladelser osv.

Gevinsterne ved et vand- og naturprojekt som dette er mange. Den store samfundsmæssige gevinst er klimasikringen mod regnfyldte kældre og oversvømmede kloakker. En anden samfundsmæssig gevinst er udnyttelsen af det rekreative potentiale i ådalen.

De naturmæssige gevinster er bl.a. opfyldelse af målsætning for Sillebro Å, mere §3 natur og mere værdifuld §3 natur, delvis oprensning af en forurening samt en generelt bedre habitat for flora og fauna i ådalen.

Det har været en lang og spændende proces at nå til det første "spadestik" i ådalen. Nu, hvor det er taget, kan vi med stor erfaring se tilbage på alle udfordringerne og glæde os over, at det er blevet løst til stor tilfredshed for både Frederikssund Forsyning, Frederikssund Kommune og ikke mindst brugerne af det bynære og på sigt meget multifunktionelle og spændende naturområde.

## TVÆRFAGLIG KLIMATILPASNING I OVERSVØMMELSESTRUEDE AABENRAA

Ph.d., hydrogeolog Ulla L. Ladekarl  
ALECTIA A/S  
ula@alectia.com  
Biolog Hans Odgaard, Aabenraa Kommune

### Resumé

Aabenraa by er udpeget i forbindelse med oversvømmelsesdirektivet og har historisk haft oversvømmelser på over 3 meter over normal havvandstand med store oversvømmelser til følge. Kommune, forsyning og havn har fået midler fra Naturstyrelsens pulje til tværfaglige klimatilpasningsprojekter til at finde sikringskote i forhold til nutidig og fremtidig ekstrem vandstand i Aabenraa Fjord. I opgaven skal inddrages Naturstyrelsens værktøjer, og Kystdirektoratet leverer en række kort, som også skal benyttes.

Projektet skal fremme samarbejdet mellem politikere, kommunale embedsmænd, forsyning, havn, nabokommuner, stat, benzinselskaber mfl. om at nå til en robust beslutning på et fælles grundlag. Projektet skal munde ud i en række skitseprojekter til sikring mod oversvømmelser.

I indlægget vil vi opsummere formålet med opgaven, processen omkring samarbejdsprojektet, hvilket datagrundlag de forskellige parter tilvejebringer, og de projekter, vi kan forudse, vil komme ud af samarbejdet.

### Baggrund og formål

Aabenraa Kommune har fået udarbejdet en række kort og undersøgelser og har på den baggrund sammen med forsyningen forsøgt at prioritere, hvor der skal klimasikres. Fra Naturstyrelsen kommer i nærmeste fremtid en række kort, som måske understøtter beslutningerne. Derudover udarbejder Kystdirektoratet et risikokort, som kommunen supplerer med detailoplysninger og dermed kan få tilvejebragt et solidt udpegningsgrundlag. Især et velunderbygget risikokort vil give kommunen et godt grundlag for at prioritere og dermed udnytte Naturstyrelsens puljemidler optimalt til udarbejdelse af skitseprojekter for indsatser. Naturstyrelsen har i øvrigt haft som forudsætning for tildeling af midler, at kommune, forsyning og havn benytter de nye kortværk som grundlag for prioritering af områder, der skal sikres, og dermed også hvilke skitseprojekter, der kan sættes i værk. Skitseprojekterne beskriver sluselukkehøjde og lukkefrekvens på Mølleåen, evt. etablering af pumpe, etablering af midlertidige diger, sluser ved åudløb, etablering af tilbageholdelsesbassiner ved Mølleåen.

### Metoder og resultater

Datagrundlaget fra kommunens undersøgelser, Naturstyrelsens værktøjer og Kystdirektoratets kort sammenstilles og herudfra fastlægges et serviceniveau, og det prioriteres, hvor der skal klimasikres. Projektet har kastet lys på, hvilke forskellige kort der leveres fra officielt hold og muligheder og begrænsninger i disse. Nogle af projektets aktuelle leverancer er data til kortmateriale og overvejelser omkring værdisætning. Det er også blevet klart i projektførelset, at risikokortlægningen er essentiel for en sikker prioritering og for at få beslutningerne forankret politisk og mellem parterne.



**Spor 3**



## **DYNAMISKE PORELUFTUNDERSØGELSER - FRA SCREENING TIL OPTIMAL VIDENSUDNYTTELSE**

Udviklingsleder, ph.d. Per Loll

DMR A/S

pl@dmr.dk

Civilingeniør Ph.D. Andreas Houlberg Kristensen, DMR A/S

Civilingeniør Claus Larsen, DMR A/S

Geolog Annette Dohm, Region Nordjylland

Dansk Miljørådgivning har sammen med Region Nordjylland gennemført et Teknologiuudviklingspuljeprojekt omhandlende "Effektive poreluftstrategier". Hovedresultaterne fra projektet præsenteres i indlægget.

Projektet er baseret på undersøgelser på fem forurenede lokaliteter fra Region Nordjylland og Region Hovedstaden. Tre af lokaliteterne er forurenede med chlorerede opløsningsmidler og to med oliekomponenter. På de fem lokaliteter er der udført hhv. poreluftscreening med ppbRAE på 2,5 L prøver og traditionelle poreluftmålinger med akkrediterede poreluftanalyser på 100 L prøver.

Udgangspunktet for projektet var at undersøge og dokumentere, hvordan poreluftscreening med ppbRAE bedst muligt indarbejdes i fremtidige dynamiske undersøgelsesforløb, hvor placeringen af nye punkter foretages på baggrund af allerede indsamlede data, og hvor de indsamlede screeningsdata benyttes til at udvælge et antal punkter til akkrediteret analyse.

På baggrund af erfaringerne fra de fem sager præsenteres en række erfaringer ved anvendelse af poreluftscreening med ppbRAE og små prøvevolumener. Derudover er der udført en statistisk efterbearbejdning af data med henblik på at opstille anbefalinger for, hvordan man på fremtidige sager gennemfører et effektivt undersøgelsesforløb – afhængigt af undersøgelsesformålet.

Følgende undersøgelsesformål behandles:

- Karakterisering af en kendt kilde.
- Afgrænsning af en kendt kilde.
- Lokalisering af ukendte kilder.

På baggrund af de samlede erfaringer, der er opnået igennem projektet, formidles hovedkonklusionerne i form af en række anbefalinger til fremtidige undersøgelser, hvor undersøgelsesformål og forureningskomponenter benyttes som indgangsvinkel.

Anbefalingerne omfatter:

- Metodevalg og prøvevolumen.
- "Optimal" prøvetæthed ift. arealmæssig poreluftdækning (antal prøver pr. 100 m<sup>2</sup>).
- Den afstand imellem prøvetagningspunkterne, der giver mest ny viden for pengene.

## GEOLOGISK KARAKTERISERING VED HJÆLP AF "SITEEVAL". ANVENDELIGHED OG VISIONER

Seniorforsker Knud Erik S. Klint<sup>1</sup>, projektleder Steen Kofoed Munch<sup>2</sup>,  
civilingeniør Henriette Kerrn-Jespersen<sup>3</sup>, systemudvikler Bjarni Pjetturson<sup>4</sup>

<sup>1</sup>og <sup>4</sup>GEUS, <sup>2</sup>ORBICON, <sup>3</sup>Region Hovedstaden

<sup>1</sup>kesk@geus.dk <sup>2</sup>stmu@orbicon.dk

### Baggrund

Værktøjet "SiteEval" er udviklet af GEUS til at karakterisere moræneler/morænesand i underordnede till typer med karakteristiske egenskaber særlig i form af potentielle sprækketætheder/dybder til brug for den konceptuelle forståelse, planlægning af undersøgelser af punktkilder, risikovurdering og ikke mindst levering af reaktive stoffer til kildeområderne i forbindelse med flere typer af in situ afværge løsninger. Værktøjet er siden blevet udstyret med en nem og overskuelig brugerflade, og en prototype er lagt ud til brug på GEUS hjemmeside.

<http://geuskort.geus.dk/siteeval>

Region Hovedstaden har bedt Orbicon evaluere brugen af værktøjet i relation til regionens arbejde. Evalueringen er udført med fokus på anvendelighed, brugervenlighed og økonomi. Arbejdet udførtes af Orbicon og GEUS i fællesskab og omfattede bl.a. test af krav til brugeren i forbindelse med feltarbejde, laboratorieundersøgelser og brugen af værktøjet. Processen blev løbende evalueret, og justeringer af småting blev udført ad hoc, mens væsentlige mangler og svagheder samt anbefalinger til forbedringer er behandlet i en samlet afsluttende rapport.

### Konklusioner, anbefalinger og visioner

*Fordele:* Generelt bidrager SiteEval med en bedre konceptuel forståelse af geologien og den geologiske heterogenitet (bl.a. gives der mulighed for at opdage forskellige till-lag, som ligger op ad hinanden, men som ikke har samme egenskaber). Værktøjet giver mulighed for at lave en mere detaljeret vurdering af sprække og sandlinse forekomster i de enkelte lernheder, og både input og output giver data, der direkte kan anvendes i tilgængelige risikovurderingsværktøjer.

*Ulemper:* Undersøgelser i udgravninger forbedrer sikkerheden for værktøjets output, men disse undersøgelser begrænses af pladshensyn, tykke fyldlag og administrative regler. Der er stadig en vis usikkerhed omkring till-klassifikationen, og der mangler en bedre vægtning af de enkelte parametre for at opnå en mere entydig klassifikation. Udvælgelse af repræsentative data til input for værktøjet kræver en vis øvelse. Prisen for en fuld undersøgelse vurderes at være høj i forhold til f.eks. det generelle prisniveau for en "normal" V2 undersøgelse, men udgiften skal sættes i relation til de oplysninger, der opnås.

*Anbefalinger:* Af mere omfattende ændringer anbefales det at udarbejde en kort vejledning – en "køgebog" – med en systematisk beskrivelsesnøgle. Interaktive bokse med billeder/beskrivelse af specifikke strukturer bør indsættes i værktøjet for at lette indtastningen, og der bør etableres en automatisk kobling til en lokalitets geomorfologiske ramme ud fra adressen. Det anbefales endvidere, at værktøjets output udvides til også at omfatte en vurdering af mulige afværgetiltag, på baggrund af till-klassifikation og potentiel opsprækkethed.

*Visioner:* Udarbejdelse af tilknyttet database, så SiteEval data på sigt kan indgå i statistiske analyser. Derved kan der opstilles konceptuelle modeller med standardværdier for forskellige till-typer i forhold til f.eks. bulkhydraulisk ledningsevne, sprækkespacing/apertur, der kan indgå i stoftransport/nedbrydningsmodeller og derved benyttes til risikovurdering og anbefaling til afværge/oprensningstiltag.

## FUND AF PCE FORURENINGSKILDE VED HJÆLP AF FYTOSCREENING

Miljøtekniker Susanne Rinette Pedersen  
Region Sjælland  
srp@regionsjaelland.dk

Vi forsøger os jævnligt med nye undersøgelsesmetoder. Vi vil gerne have hurtige svar, effektive, og billige metoder. De må gerne være lette at mobilisere og håndtere og skal helst ikke efterlade retableringstunge arbejder, hvor vi har taget prøver. Dette er der ikke mange metoder, der opfylder.

### Baggrund

I 2012 gik Region Sjælland ind i en sag om opsporing af kilden til PCE forurening af to vandforsyningsboringer. Boringerne ligger i udkanten af en lille landsby Ølseagle vest for Køge, og er lukket som følge af forureningen.

Området er sårbart, der indvindes fra bryozokalken under 9-12 m u. t. Der er ingen kendte og oplagte kilder til forureningen. I vores søgen efter en kilde har vi anvendt forskellige screeningsmetoder og medinddragelse af borgerne.

### Strategi

I samråd med NIRAS beslutter vi at screene grundvandet i toppen af kalken på og omkring kildepladsen med GeoProbe. Resultatet viser, at et større område generelt er forurenet med PCE, men vi har stadig ingen kilde. For at kunne målrette de næste undersøgelser mod en evt. kilde, opfordrer vi borgerne gennem aviser, TV og uddelte foldere om hjælp. Vi får en del henvendelser og interesse, men ikke noget brugbart i den konkrete sag.

### Fytoscreening

Da Ølseagle er et mindre byområde med mange gamle træer og grundvandet kan findes 3-4 m u.t. beslutter vi, at Mette Algreen, Screening by Green, skal udtage 100 trækerneprøver jævnt fordelt i byen. Metoden, som kaldes fytoscreening, kræver kun et træbor, skader ikke træer eller omgivelser, hvilket er attraktivt, når vi skal ind i ca. 30 private haver.

Ved metoden udnyttes det, at træerne optager vand, og at rodsystemet dækker et større område. Afhængig af de lokale geologiske forhold vurderes det, at metoden kan måle flygtig forurening ned til 5-8 m u.t. i det omfang, at stoffet er spredt til poreluft og derved vil påvirke området omkring rødderne.

### Resultat

Et træ er påvirket af PCE - træet ligger ca. 500 meter opstrøms de forurenede boringer. De næste undersøgelser, omfattende poreluft, jord- og vandprøver, målrettes i området, og der påvises en kraftig forurening med primært PCE i alle medier, men også en del andre stoffer.

Omfanget indikerer en forureningskilde med tilknytning til et ulovligt oplag og handel med metalkrot som årsag til forureningen. I den konkrete sag har fytoscreening været en nænsom og god screeningsmetode i et byområde, med mange private haver. Til en vis grad har det også været muligt at følge fanen i grundvandet.

**NYE PRIORITERINGER - NYE UDFORDRINGER:  
PRIORITERING AF PUNKTKILDER I FORHOLD TIL OVERFLADEVAND  
– UDVIKLING AF PRIORITERINGSPRINCIP**

Civilingeniør Helle Larson  
Region Midtjylland, Miljø  
helle.larson@ru.rm.dk

Siden jordforureningsloven trådte i kraft 1. januar 2000 har de offentlige indsatsområder været defineret som "grundvand" og "arealanvendelse". Indsats over for overfladevand er i begrænset omfang varetaget som hensynet til "miljøet i øvrigt". Mens regionerne, og tidligere amterne, siden 1980'erne har udviklet metoder til og opnået erfaring med vurdering af risiko i forhold til de "gamle" indsatsområder, er der behov for nye værktøjer når overfladevandet fremover inddrages som indsatsområde.

Det første spørgsmål der melder sig er, hvordan de potentielle lokaliteter kan identificeres på baggrund af den eksisterende kortlægning. Region Midtjylland udførte i 1 halvår af 2012 et mindre pilotprojekt i samarbejde med Orbicon. Formålet med projektet var at udvikle et gis-værktøj til brug for udvælgelse af de lokaliteter, hvor det er relevant at foretage undersøgelser med henblik på risikovurdering.

Der blev foretaget et udtræk af relevante brancher fra JAR. For at begrænse antallet af lokaliteter blev der kun foretaget udtræk af V2-kortlagte ejendomme. Lokaliteterne blev efterfølgende sammenholdt med oplysninger om afstand til nærmeste vandløb inden for vandoplandet, vandløbets målsætning, og i det omfang oplysningerne var tilgængelige, oplysning om middelvandføring. Resultatet af analysen blev udleveret i et regneark, der kan indlæses i map-info.

Region Midtjylland har gennem pilotprojektet opnået en række erfaringer med brug af værktøjet.

Forud for beregningen havde regionen foretaget en inddeling af brancherne i forhold til den forventede relevante afstand til vandløb når der blev taget hensyn til hyppigt forekommende forureningskomponenter. I forbindelse med beregning af afstanden til vandløbet viste det sig, at der var behov for en model der tog hensyn til de ofte store flader ved lossepladser m.v. idet en ren "centroidemodel", der benytter centrum af matriklen, kunne medføre udelukkelse af "store" lokaliteter der støder op til vandløb.

På grund af kvaliteten af de tilgængelige oplysninger, viste det sig efterfølgende nødvendigt at foretage en manuel gennemgang og sortering af lokaliteterne.

En anden af usikkerhederne er brug af branchekoder. Gennem tiden er detaljeringsgraden af branchekoderne øget. Det betyder, at det kan være nødvendigt at søge på et lavt detaljeringsniveau (f.eks. "affaldsbehandling" frem for "deponering") for at identificere de relevante lokaliteter. Samtidig kan branchekoden dække over aktiviteter med et meget varieret risikobillede. Som eksempel kan nævnes "deponering af affald", der dækker alt fra haveaffald og murbrokker til store kontrollerede lossepladser.

Region Midtjylland har på nuværende tidspunkt stoppet yderligere arbejde med projektet, da Miljøstyrelsen har igangsat en række TUP-projekter, der dækker samme problemstilling.

## RISIKOVURDERING AF KLIMAGENEREREDE GRUNDVANDSOVERSVØMMELSER AF PUNKTKILDEFORURENINGER I KYSTZONEN

Geolog Helle Jusjong Blæsbjerg  
Region Midtjylland, Miljø  
helbla@rm.dk

I kystzone oplande er strømningsvejene komplekse og det hydrologiske kredsløb i høj grad dynamisk. Samtidig indeholder kystzonen med byområder en lang række punkt- og fladekilder, med risiko for ændret forureningsspredning som følge af ændrede strømningsveje og vandspejlsforhold i grundvand og overfladevand, herunder urbane drænsystemer. KIMONO står for koncept for integreret vurdering og styring af risikoen for klimagenererede grundvandsoversvømmelser af punktkildeforureninger i kystzonen.

Formålet med KIMONO har været at udvikle et koncept til effektiv integreret vurdering, modellering og monitorering af terrænnære vandstrømninger og forureningsspredning fra punktkilder i kystzonen til brug i regioner og kommuner. Projektets samarbejdspartnere er GEUS, Region Midtjylland, Horsens Kommune og VIA University College Horsens. Finansiering er sket af Miljøministeriets midler til miljøeffektiv teknologi.

Vurderingen af konsekvenserne ved øget risiko for oversvømmelse er sket med en modelbaseret fremskrivning af klimascenarier. Der er foretaget nedskallering af klimamodeller til input for de hydrologiske modeller. Der er anvendt et nested system af modeller, således at den nationale model (DK modellen) leverer randbetingelser til den regionale model der igen leverer randbetingelserne til den lokale model.

De overfladenære geologiske strukturer såvel som urbane anlæg, herunder kloaktracéer, vejekasser og ledningstracéer, har væsentlig betydning for terrænnære strømningsveje og forureningstransport. Region Midtjylland har i forbindelse med udviklingen af konceptet været ansvarlig for opstilling af en hydrogeologisk model for Horsens by til brug for den integrerede grundvandsmodel. Den detaljerede bymodel øgede den geologiske detaljeringsgrad herunder indbygningen af den antropogene geologi.

Region Midtjylland har desuden forestået en punktkildescreening. Screeningen er udarbejdet for at udvælge de forureningsbelastede områder inden for en kystnær potentiel oversvømmelseszone, som forventedes at kunne udgøre en væsentlig risiko i forbindelse med ændret forureningsspredning. På denne baggrund er der fokuseret særligt på to punktkilder, den tidligere Collstrup grund og den tidligere gasværksgrund.

Et analyseprogram blev sammensat og et monitoringsnetværk blev etableret med henblik på at opnå en hensigtsmæssig geografisk dækning af den centrale del af Horsens by, med hensyntagen til kortlægningen af oversvømmelsestruede arealer og forurenede grunde, samt belyse den hydrauliske kontakt mellem grundvand og kystvand.

En indledende risikovurdering i forhold til fjorden er foretaget ud fra en kombination af fluxbetragtninger fra modelopsætningen, tidevandsvurderinger og opblanding, samt koncentrationer i punktkilderne ved fjorden. Herved er der opstillet en vurdering af punktkildebelastningen fra de to punktkilder og vurderet en restkapacitet, som fjorden har i forhold til gældende kvalitetskriterier.



## **RISIKOVURDERING AF PUNKTKILDER – KONCEPT, DATA OG BEREGNINGSMETODER**

Civilingeniør Sanne Skov Nielsen  
Orbicon A/S  
SANN@orbicon.dk

I et teknologiudviklingsprojekt for Miljøstyrelsen og Region Syddanmark er udviklet et risikovurderingsprincip, der kan bruges til risikovurdering af jordforurening, der truer overfladevand. Fremgangsmåden for risikovurderingen af jordforurening i forhold til overfladevand bygger videre på den metode, der bruges til grundvand (se f.eks. Miljøprojekt nr. 1366, 2011)<sup>1</sup>, men metoden er videreudviklet til også at kunne håndtere den fortynding, der sker i overfladevandet. Princippet for risikovurdering af jordforureninger i forhold til overfladevand er bl.a. benyttet i et screeningsværktøj, som er under udvikling for Miljøstyrelsen.

Grundvandsbåret forurening, der påvirker overfladevand, f.eks. et vandløb kan medføre, at koncentrationen af forureningsstoffer i vandløbet overskrider miljøkvalitetskravene<sup>2</sup>. Dog tillades overskridelser af kriteriet inden for en såkaldt opblandingszone. Risikovurderingen er altså afhængig af denne opblandingszones størrelse og hvilken koncentration af forureningsstoffer, der kan tillades nedstrøms denne. Begge disse parametre er fastsat af relevante myndigheder, og risikovurderingen består derfor i at forudsige hvilken koncentration, den aktuelle jordforurening kan påvirke vandløbet med efter opblandingszonen. Dette kræver, at man kan beregne en fortyndingsfaktor for den pågældende type overfladevand. Fortyndingen beregnes ved forskellige metoder alt efter hvilken type overfladevand, der modtager det forurenede grundvand. Datagrundlaget for de forskellige typer overfladevand er meget forskelligt, og spænder fra direkte målinger af afstrømning til case-baserede strømningsmodeller.

Naturstyrelsen har i forbindelse med det forberedende arbejde til vandplanerne indsamlet en række hydrologiske og biologiske data for vandløb. Alle disse data findes i vandplanernes tekniske baggrundsnotater og som GIS-temaer udarbejdet til vandplanerne. For alle målsatte vandløb findes en minimumsvandføring, der er fastsat med fokus på bæredygtig udnyttelse af grundvandsressourcen. Denne vandføring kan også bruges som et udtryk for hvor meget en eventuel grundvandsbåret forureningspåvirkning kan fortyndes i vandløbet. Medianminimum er en beregnet parameter, der udtrykker den forventede vandføring, som underskrides hvert andet år. Der er dog en række usikkerheder forbundet med at bruge medianminimum som beregningsgrundlag; dels er der ikke foretaget synkronmålinger for alle målsatte vandløb, og dels har beregningsmetoden til estimering af medianminimum været forskellig alt efter hvilket amt, der har varetaget opgaven. Til beregning af fortynding i hav og fjorde har DHI udviklet et værktøj, der kan estimere vandudskiftningen og arbejdet er ligeledes i gang for at udvikle en metode til brug i søer baseret på bl.a. metrologiske data, dybdeforhold og geometri.

---

<sup>1</sup> Miljøstyrelsen (2011): Værktøjer til brug for risikovurdering og prioritering af grundvandstruende forureninger. Niels Døssing Overheu, m.fl. Miljøprojekt Nr. 1366, 2011. Teknologiprogrammet for jord- og grundvandsforurening. Udgivet af Miljøstyrelsen.

<sup>2</sup> BEK nr 1022 af 25/08/2010

## FIELD METHODS FOR DETERMINING POINT SOURCE POLLUTION IMPACTS IN RIVERS: A CASE STUDY OF THE GRINDSTED STREAM

Ursula S. McKnight, Ph.D.

DTU Environment, usmk@env.dtu.dk

Anne T. Sonne, MSc; Annika S. Fjordbøge, PhD; Professor Poul, L. Bjerg  
Technical University of Denmark, Department of Environmental Engineering

Well-known organic contaminants such as chlorinated solvents, as well as new classes of compounds or emerging micropollutants (e.g. pharmaceuticals) are extensively produced, utilized and then discarded in society and subsequently released to streams from multiple sources. To address this, the EU Water Framework Directive requires member states to evaluate all types of contamination sources within a watershed in order to assess their direct impact on water quality. Understanding and accurately characterizing groundwater-surface water interactions (GSI) and groundwater discharge is thus becoming an increasingly important activity for the hydrogeological investigations of rivers and streams. In cases where groundwater contaminant plumes are discharging to streams, determination of flow paths and groundwater fluxes are essential for evaluating the transport, fate and potential impact of the plume. This implies that investigators have the tools to easily and accurately evaluate the governing parameters, including an appreciation of the scale of variability, as well as conceptual models that incorporate the various mechanisms affecting flow.

An in-depth field investigation of the Grindsted stream was carried out in 2012, to develop the theoretical basis for conducting risk assessments for contaminated sites impacting surface waters. Grindsted stream was chosen, as groundwater flow is known to comprise an important part of the total water supply to the stream. It is also a well-studied site, affected by two major polluting point sources, Grindsted factory and Grindsted landfill, representing two of the 43 large-scale contaminated sites in Denmark. Our overall aim was therefore to (i) test the applicability of different methods for mapping groundwater pollution as it enters streams at a complex site, and (ii) perform a risk assessment of the stream's chemical status, including documentation of emerging contaminants. A secondary aim was to identify and ideally separate the entry point for the two plumes to Grindsted stream.

We successfully detected six significant local-scale GSI "contact" zones along a 5 km stream stretch, which were not visible at the regional scale, using systematic temperature measurements. We then correlated the two highly contaminated contact zones, using piezometers placed where streambed temperature measurements were  $<10^{\circ}\text{C}$ , to concentrations in downstream surface waters. Transects placed perpendicular to stream flow in the contact zones allowed us to effectively localize the Grindsted factory plume using samples containing a unique compositional footprint consisting of chlorinated solvents, barbiturates, sulfonamides, sulfanilic acid and bromide specific for the contaminated site. Notably, the highly volatile and toxic compound vinyl chloride was found to exceed the surface water quality criterion ( $0.05\ \mu\text{g/L}$ ) for a ca. 5 km stretch, to our knowledge the only documented study of its kind. Additionally, the sum of sulfonamides was also shown to exceed the recommended criterion ( $4.6\ \mu\text{g/L}$ ) twice along the same stream stretch. Further investigations will be necessary to finalize the location of the Grindsted landfill plume where it enters the stream; specifically we recommend that two-dimensional cross-sectional characterization be conducted to identify the direction and width of this groundwater plume.

## ØKOLOGISKE EFFEKTER AF PUNKTKILDER I OVERFLADEVAND

Ph.d. Jes Jessen Rasmussen  
Aarhus Universitet  
jr@dmu.dk

En lang række stoffer (fx pesticider, næringsstoffer, tungmetaller mm) fra især diffuse forureningskilder kan have signifikant effekt på den økologiske tilstand af overfladevand. Oftest optræder flere menneskeskabte stresspåvirkninger samtidigt eller i det mindste forskudt i tid og rum. Vigtige menneskeskabte påvirkninger af ferskvandsøkosystemer inkluderer forurening fra diffuse kilder, spildevandsudledninger fra spredt bebyggelse, fysisk vandløbsvedligeholdelse (fx grødeskæring, opgravning og kanalisering) og grundvandstransporten af forurenende stoffer fra diffuse kilder og kontaminerede grunde.

Den ofte komplekse matrix af multiple stresspåvirkninger, der mere eller mindre samtidigt udøver deres effekt på økosystemernes organismer, komplicerer fortolkningen og kvantificeringen af den enkelte stresspåvirkning på økosystemets organismer. Det er dog vigtigt at betragte og forsøge at kvantificere alle potentielt signifikante menneskeskabte og naturlige stresspåvirkninger for at imødekomme de lovmæssige krav opstillet i EU's vandrammedirektiv og for at kunne foretage tilstrækkelig og effektiv risikovurdering og prioritering af indsatsområder.

Den økologiske tilstand i vandløb defineres ud fra biologiske kvalitetselementer, der kan omfatte fytoplankton, bundlevende alger og vandplanter, makroinvertebrater (smådyr) og fisk. For tiden anvendes i Danmark alene makroinvertebrater som biologisk kvalitetselement, og der anvendes kun ét økologisk indeks: Dansk Vandløbs Fauna Indeks (DVFI). DVFI er interkalibreret med andre europæiske indeks og er indarbejdet som miljømål i dansk lovgivning. DVFI blev konstrueret til kvantificering af organisk forurening (primært spildevand) men er også følsom overfor forstyrrelser og forringelser af vandløbenes fysiske tilstand. Derimod har ny dansk forskning vist, at det kun i meget ringe grad er anvendeligt overfor forureninger med fx pesticider og klorerede forbindelser fra diffuse kilder og punktkilder.

Punktkildeforurening i vandløb er oftest karakteriseret ved mere eller mindre kronisk kontaminering af en vandløbsstrækning med en række kemiske stoffer i lave koncentrationer. Akut dødelighed eller adfærdsændringer hos residerende makroinvertebrater er derfor næppe forventeligt. Tværtimod er det forventeligt, at en kronisk sub-letal stresspåvirkning fra en punktkilde vil komme til udtryk igennem en langsigtet påvirkning af makroinvertebraters fitness – og derfor også deres konkurrenceevne, reproduktionsevne og evne til at udføre deres økologiske funktion. Nogle arter vil påvirkes mere end andre, og denne differentiering vil afhænge af en række biologiske og økologiske karaktertræk (størrelse, kropsform, hudtykkelse, foretrukne levesteder, fødevalg mm). Ved en *a priori* overvejelse om, hvilke unikke karaktertræk, der er særligt følsomme overfor en given punktkildeforurening, forventer vi at komme skridtet videre i udredningen af punktkildeforureningers rolle ift. effekter af andre tilstedeværende stressfaktorer. Igangværende overvejelser og metoder fra Grindsted å præsenteres i foredraget.

## UDTAGNING AF JORDPRØVER. EN RUSSISK ROULETTE?

Professor Kim Esbensen, GEUS og AAU, ke@geus.dk  
Geolog Philip de Lasson, FBE, fbe-mms24@mil.dk  
Civilingeniør Loren Mark Ramsay, NIRAS A/S, lmr@niras.dk

Den nuværende praksis for udtagelse af jordprøver i forbindelse med terrænnær forurening og jordhåndtering (blandeprøver - fem stik) er fremkommet som et resultat af praktiske begrænsninger men er ikke funderet i en videnskabelig tilgang. Sikkerheden for, at en enkeltprøve vil kunne opnå retvisende analyseresultater på grunde med en heterogen rummelig og/eller sammensætningsmæssig fordeling af forurening, har derfor en del ligheder med russisk roulette. Hvordan kan vi komme frem til en prøvetagningsmetode, der er funderet på sikre, reproducerbare og veldokumenterede principper således, at vi med rette kan hævde, at prøven repræsenterer udgangsmaterialet, og som samtidigt er praktisk i felten og i laboratoriet?

Theory of Sampling (TOS) udgør det eneste videnskabeligt funderede rammeværk, der kan garantere *repræsentativ prøvetagning*. TOS' principper er skala-uafhængige og finder derfor anvendelse på alle trin i 'fra-felt-til-analyse' processen. En enkeltprøve kan aldrig være repræsentativ; TOS foreskriver derfor altid sammensat prøvetagning (kumulative prøver), men ikke med et fast forudbestemt antal inkremerter (f.eks. 5). TOS beskriver derimod metoder, hvor dette antal tilpasses den aktuelt foreliggende heterogenitet, dvs. at prøve-tagningsprocessen modsvarer den *faktisk eksisterende heterogenitet*. TOS kan enkelt præsenteres som et rammeværk bestående af seks overliggende principper og fire praktiske operationer. TOS er for nylig blevet kodificeret som en ny international standard, "DS-3077 HORIZONTAL: Repræsentative Sampling", netop udgivet af Dansk Standard.

Increment Sampling Method (ISM) er en metode udviklet i USA til udtagning af blandt andet jordprøver. Metoden baserer sig på identifikation af såkaldte "decision units" (DU) og udtagning af mange kumulative delprøver (inkremerter), der efterfølgende samles, tørres, blandes, sigtes, nedknuses og neddeles. En delprøve af det behandlede materiale analyseres derefter i et laboratorium eller med et *feltapparat*. Metoden skal sikre, at den analyserede prøve repræsenterer det definerede areal eller jordvolumen (DU) (konstant prøvetagningsdybde).

Når Incremental Sampling Metod (ISM) anvendes i praksis dukker en række spørgsmål op. Hvordan fastlægger man en decision unit? Hvordan udtager man mange inkremerter uden at det tager for langt tid? Er feltapparater ligeværdige som laboratorium analyse udstyr? Under hvilke forhold giver ISM og traditionelle undersøgelser forskellige resultater? Er ISM mere reproducerbar end de traditionelle undersøgelser? Har feltpersonale og laboratorier den nødvendige kompetence (TOS), udstyr og erfaring? Hvornår er nedknusning af prøver i laboratoriet virkelig nødvendig?

Disse og andre spørgsmål er forsøgt besvaret i forbindelse med udførelse af forureningsundersøgelser på to af forsvarets arealer.

## **Konklusion**

De grundlæggende principper for repræsentativ prøvetagning er nedfældet i Theory of Sampling (TOS) (se referencer) .

Incremental Sampling Method (ISM) bygger på TOS og er velegnet ved udtagning af jordprøver af terrænnær forurening.

Afprøvning af ISM på forurenede grunde i Danmark viser, at metoden kan gennemføres i praksis og højner kvaliteten af undersøgelserne.

Der synes at være lovende takter vedr. feltapparater, under *visse* forudsætninger (enkelte af disse er klare nu, andre må afklares gennem videre eksperimentelle undersøgelser).

## **Referencer**

DS-3077 HORIZONTAL. Repræsentative Sampling Dansk Standard (2012)

Esbensen, K.H. & Julius, L.P. (2009). Representative sampling, data quality, validation – a necessary trinity in chemometrics. in Brown, S, Tauler, R, Walczak, R (Eds.) COMPREHENSIVE CHEMOMETRICS, Wiley Major Reference Works, vol. 4, pp.1-20. Oxford: Elsevier

## METODE TIL VURDERING AF KONCEPTUEL- OG PARAMETERUSIKKERHED VED BEREGNING AF FORURENINGS FLUX FRA FORURENEDE LOKALITETER (V2 NIVEAU)

Ph.d. studerende Nanna Isbak Thomsen

DTU Miljø

nait@env.dtu.dk

Mads Trolborg<sup>2</sup>, Ursula Solard McKnight<sup>1</sup>, Philip John Binning<sup>1</sup> og Poul Løgstrup Bjerg<sup>1</sup>

<sup>1</sup>DTU miljø, Lyngby Danmark

<sup>2</sup>The James Hutton Institute; Aberdeen Skotland

Et afgørende element ved risikovurdering af forurenede lokaliteter er formuleringen af en konceptuel model. Den konceptuelle model er en simplificeret repræsentation af den forurenede lokalitet og danner grundlaget for den matematiske beregning af risikoen. Det er derfor vigtigt, at den konceptuelle model tager højde for de væsentligste site-specifikke features og processer. Formuleringen af den konceptuelle model vil imidlertid typisk være forbundet med store usikkerheder som følge af manglende data og forståelse af forholdene på lokaliteten

I dette indlæg præsenterer vi en ny risikovurderingsmetode, der tager højde for både parameterusikkerheden og for den konceptuelle usikkerhed. Den konceptuelle usikkerhed håndteres ved at inkludere en række mulige konceptuelle modeller til beregningen af forureningsfluxen (risikoen) fra en forurenede punktkilde. Metoden egner sig specielt til sager med et meget lille data grundlag som f.eks. de danske V2 sager.

Først opstilles der systematisk en række relevante konceptuelle modeller for lokaliteten. Dette gøres på baggrund af en historisk undersøgelse og en feltundersøgelse (f.eks. i forbindelse med en V2 sag). Derefter benyttes et statistisk værktøj kaldet et Bayesian belief network til at udpege hvilke modeller, som er mest sandsynlige. Et Bayesian belief network kan benytte simple indikatorer som f.eks. en målt koncentration eller information fra et boreprofil samt ekspertvurderinger til på systematisk vis at udpege de konceptuelle modeller, der kan forekomme på lokaliteten. På de fleste lokaliteter vil flere konceptuelle modeller være sandsynlige. Disse modeller repræsenterer den konceptuelle usikkerhed. De konceptuelle modeller opstilles matematisk og parameter usikkerheden inkluderes ved hjælp af Monte Carlo simuleringer. Den konceptuelle usikkerhed og parameter usikkerheden kan nu kombineres ved hjælp af en anden statistisk metode kaldet et Bayesian model average. I et Bayesian model average laves en form for et vægtet gennemsnit af de forskellige konceptuelle modeller.

Vi præsenterer et eksempel hvor der regnes på en forureningsflux fra en sekundær TCE forurening i moræneler til det primære grundvand. Resultaterne viser et estimat af forureningsfluxen over tid med tilhørende usikkerhedsinterval.

Metoden er interessant i sig selv på grunde af den systematiske tilgang til opstilling af konceptuelle modeller. Tilgangen er ny på dette område fordi den fordrer formuleringen af flere forskellige konceptuelle modeller. Det at der arbejdes med flere modeller, mindsker risikoen for at vælge én forkert model og giver større fleksibilitet under selve formuleringen af de konceptuelle modeller.

## PRIORITERINGSPRINCIPPER OG –PARAMETRE I FORHOLD TIL GRUNDVANDET I REGION HOVEDSTADEN

Enhedschef Carsten Bagge Jensen  
Region Hovedstaden, Koncern Miljø  
carsten.bagge@regionh.dk

Overblik over de mange forurenede grunde og viden om deres risikostatus er væsentlig for at regionerne kan opnå et beslutningsgrundlag for den rigtige rækkefølge i indsatsen både i relation til den grundvandsbeskyttende indsats og i relation til jordforurening, der udgør en sundhedsmæssig risiko i forhold til arealanvendelsen af forurenede grunde. Region Hovedstaden har med de mange forurenede grunde og store drikkevandsindvinding en helt særlig udfordring i forbindelse med løsningen af den grundvandsbeskyttende opgave.

I indvindingsoplande med en mange forurenede grunde er det væsentligt, at der opnås et risikooverblik over alle de væsentlige forureninger i oplandet. Her er opsporingen af de forurenede grunde (mistankekortlægningen) og de indledende forureningsundersøgelser af, om der er en væsentlig forurening med højrisiko grundvandsmobile stoffer, helt afgørende for det samlede risikooverblik i forhold til grundvandsressourcen og drikkevandsindvindingen i området. Et samlet risikooverblik sikrer, at beslutningen om en opfølgende oprensningsindsats sker på baggrund af en konkret miljømæssig og økonomisk indsigt, således at det sikres, at der opnås en væsentlig og blivende effekt af indsatsen til glæde for vandforsyningerne og forbrugerne af drikkevandet.

I oplægget på vintermødet 2013 gives der med udgangspunkt i Region Hovedstadens prioriteringsprincipper og –parametre eksempler på, hvordan prioriteringsprincipper i forhold til indsatsen på forurenede grunde kan gøres operationelle på forskellige vidensniveauer i forhold til de forurenede grunde (dvs. de mistankeklagte, indledende undersøgte og videregående undersøgte forurenede grunde).

I den metodiske tilgang i forhold til opstillingen af prioriteringsparametre henvises der til bl.a. til de metodiske overvejelser og analyser, der er gennemført i forbindelse med regionernes udvikling af prioriteringsværktøjet GISP i 2007 <sup>(1)</sup> og Miljøstyrelsen teknologipuljeprojekt "Håndbog for risikobaseret prioritering af grundvandstruende punktkilder" fra 2012 <sup>(2)</sup>.

I relation til grundvandsbeskyttelsen er der behov for overblikgivende risikovurderingsmetoder, som kan understøtte en prioritering på lokalitets-, oplands- og regionalt niveau. Som supplement til de eksisterende risikovurderingsmetoder på lokalitetsniveau (herunder ikke mindst JAGG) har de senere års udviklingsarbejde vist, at fluxberegninger er nyttige metoder, når vi skal arbejde på op oplandsniveau.

Naturstyrelsen Øst og Region Hovedstaden har i et tæt samarbejde i 2011/2012 gennemført en fluxbaseret risikoanalyse af forurenede grunde i 12 indvindingsoplande i Mølleågrundvandskortlægningsområdet <sup>(3)</sup>. Eksempler på vigtige resultater, diskussioner og perspektiver af dette arbejde vil blive gennemgået.

- 1) Danske Regioner: "GISP – Prioriteringsystem for kortlagte ejendomme. Dokumentationsrapport ver. 0e. Udarbejdet af Rambøll 2007.
- 2) Miljøstyrelsen: " Håndbog for risikobaseret prioritering af grundvandstruende punktkilder. Miljøprojekt nr. 1439, Miljøministeriet 2012. Udarbejdet af Niels D. Overheu, Nina Tuxen, Orbicon, John Flyvbjerg, Region Hovedstaden samt Phillip J. Binning og Poul Bjerg, DTU Miljø.
- 3) Naturstyrelsen: "Redegørelse for 2bc Mølleåen. Afgiftsfinansieret grundvandskortlægning. Miljøministeriet 2012



## TIDSHORISONTER FOR STOFTRANSPORT I OPSPRÆKKET KALK

Civilingeniør Merete Hørlück  
NIRAS A/S  
mdo@niras.dk

I 1986 registrerede Aalborg Forsyning, Vand A/S en stigning af nitratkoncentrationen i kalkmagasinet (skrivekridt) på Drastrup kildeplads, sydvest for Aalborg. Dette gav startskuddet til iværksættelsen af en grundvandsbeskyttelse, som hovedsagligt kom til at bestå af en ændring i arealanvendelsen fra primært landbrug til skovområder. I denne forbindelse blev porvandssonder etableret for at kontrollere effekten af ændringen af arealanvendelsen. Der blev registreret en hurtig og markant ændring af indholdet af nitrat, en reduktion til 0-5 mg/L. Målinger af nitratkoncentrationen i monitoringsboringer viste dog ingen ændring. Først nu ca. 25 år efter projektets start ses en begyndende tendens på en reduktion af nitratkoncentrationen lige under grundvandsspejlet, hvilket er overraskende langsomt vandets hurtige transporthastighed i kalk taget i betragtning.

Kalk er et dobbelt porøst medie bestående af sprækker og matrice. I kalk findes ofte høje hydrauliske ledningsevner, hvilket kombineret med lave effektive porøsiteter (sprækker) introducerer korte opholdstider for opløste stoffer i sprækker ved selv små trykgradienter. Den diffusive transport i sprækker er, i modsætning til den advektive transport, negligabel. I matricen er den advektive transport langsom til ikke forekommende, hvorfor den diffusive transport er dominerende i matricen. Imellem sprækker og matrice sker der en udveksling af stof ved diffusion og herved en udveksling mellem to domæner med vidt forskellige transporthastigheder.

Årsagen til, at en effekt af den ændrede arealanvendelse først er ved at være synlig nu på målte nitratkoncentrationer i kalkmagasinet, til trods for korte opholdstider i sprækker, må således skyldes, at der forekommer en tilbageholdelse af nitraten ved udvekslingen af stof imellem sprækker og matrice. Størrelsen af denne tilbageholdelse er undersøgt via et endimensionalt strømings- og stoftransportforsøg på en intakt kalkblok med størrelsen ( $L \times B \times H$ ) = (60 cm x 34 cm x 40 cm). Der blev udført et forsøg, hvor der blev injiceret et konservativt stof med koncentrationen  $C_0$  på den ene rand, og på den anden rand blev koncentrationen af stoffet,  $C(t)$ , målt. Da koncentrationen  $C(t)$  var tilnærmelsesvis lig  $C_0$ , blev det injicerede konservative stof skiftet ud med postevand, herved blev en renskylning af kalkblokken startet. Forsøget blev gentaget. Ud fra gennembrudskurverne er den effektive porøsitet og kalkmatricens evne til at tilbageholde det konservative stof bestemt. Efterfølgende blev brillant blå injiceret og transporteret gennem blokken for at markere blokkens sprækker. Blokken blev efterfølgende delt og afstanden mellem sprækker (strømningsveje) blev undersøgt.

Ud fra forsøget er det fundet, at kalkblokkens effektive porøsitet var  $0,03 \text{ cm}^3 \text{ porer/cm}^3 \text{ jord}$ , og at pga. kalkens dobbelt porøsitet kan der forekomme en forsinkelse af stoftransport med op til en faktor 11 i forhold til tiden ved ren sprækketransport over 60 cm kalk. Ud fra farvestofforsøget er det fundet, at kalkblokken består af et hovedsprækkesystem, hvor afstanden mellem sprækkerne er mellem 5-10 cm. Hovedsprækkesystemet deles i et finere sprækkesystem, hvor afstanden mellem sprækkerne er 0,5 – 2 cm.

Det kan konkluderes, at den diffusive transport, som forekommer mellem sprækkevandet og vandet i kalkmatricen, er den styrende stoftransportproces for hvornår et gennembrud af en effekt af en grundvandsbeskyttelse vil finde sted. Den diffusive transport er endvidere afhængig af afstanden mellem sprækker. Jo mindre afstand mellem sprækker desto større overfladeareal til diffusion ind i kalkmatricen. Jo større overfladeareal desto hurtigere forekommer diffusionen, hvilket medfører en hurtigere udligning af koncentrationen, som er i sprækker og matrice.

I forbindelse med grundvandsbeskyttelser af kalkmagasiner er det således vigtigt at have i mente, at der i kalkmatricen kan sidde store puljer af stof, som kan tage lang tid, før de er fortyndet eller nedbrudt til et ønsket koncentrationsniveau.

## KOMBINATION AF BIOTISK OG ABIOTISK NEDBRYDNING AF CHLOREREDE ETHENER (PCE) I GRUNDTVAND

Projektleder Marianne Plenge Wamberg, NIRAS A/S, mpc@niras.dk  
Anders G. Christensen og Lotte Rasmussen, NIRAS A/S  
Joe Rossabi, Redoxtech, Mads Terkelsen, Region Hovedstaden

Den abiotiske nedbrydningsproces ved ZVI er baseret på korrosion af jern, hvorved der dannes hydrogenatomer og skabes reducerede forhold. Abiotisk nedbrydning under reducerede forhold sker primært ved reduktiv  $\beta$ -elimination, hvor der dannes acetylenforbindelser, som omdannes til ethen/ethan. Hydrogenatomerne kan endvidere stimulere den biotiske nedbrydning via reduktiv dechlorering.

På en lokalitet i Skuldelev er der påvist en markant forurening med primært PCE. I et af de lokaliserede hot spots på ejendommen er der anvendt forskellige afværgemetoder overfor forureningen, som er udbredt i et terrænnært sekundært magasin i sand/grus. I 2009-2011 er der udført oprensning ved S-ISCO med tilsætning af Verusol (surfactant) og baseaktiveret persulfat. Herved blev en del af den fri fase i området oprenset, men der blev efterladt betydelige mængder forurening. I 2011 blev strategien ændret således at oprensningen i området nu foregår ved en kombination af abiotisk og biotisk nedbrydning.

I forbindelse med de udførte oprensninger er der anvendt simple feltmålinger af ilt, ledningsevne, pH og redoxpotentiale til beskrivelse af forholdene i grundvandsmagasinet. I forbindelse med den udførte S-ISCO oprensning er der som forventet registreret forhøjet pH, redoxpotentiale og ledningsevne. Allerede indenfor et år efter sidste injektion med persulfat havde systemet i stor udstrækning regenereret med baseline niveauer for pH og aftagende redoxpotentiale og ledningsevne. Herefter blev der tilsat nulvalent jern (ZVI) til grundvandsmagasinet, og indenfor ½ år blev der målt reducerede forhold i grundvandsmagasinet med abiotisk omsætning samt biotisk nedbrydning frem til cis-DCE.

Ved 2. injektion blev der igen tilsat jern samt substrat (ABC+) og bakteriekultur (KB1). Forud for injektionen blev der udført undersøgelser af bakterie-populationen i området ved hjælp af Biotrap® samplers. Samplerne fungerer som et in situ mikrokosmos, som bliver koloniseret af mikroorganismene i jorden. De fleste mikroorganismer foretrækker at sidde på en overflade frem for at findes i vandfasen, hvorfor denne analyse giver et mere realistisk billede af bakteriepopulationen end traditionelle grundvandsprøver. Analyser viste gennemsnitlige indhold af nitratreducerende, jernreducerende, sulfatreducerende og methanogene bakterier forud for tilsætning af bakteriekulturen. Det naturlige indhold af *Dehalococcoides Mccartyi* var ikke så højt, at der var potentiale for fuldstændig nedbrydning ved reduktiv dechlorering, og derfor blev KB1 tilsat.

Ved seneste monitoring, udført kun 4 måneder efter bakterie- og substratinjektionen, ses nedbrydning forbi cis-DCE med dannelse af vinylchlorid og ethen/ethan samt kraftigt aftagende koncentrationsniveauer. Under S-ISCO oprensningen blev der tilført store mængder sulfat, der endnu ikke er helt reduceret, og som normalt skulle hæmme reduktiv dechlorering, men dette er ikke tilfældet her. Chlorid-målinger er anvendt til estimer af den årlige destruktion af PCE. Chloridmålinger har den fordel, at chlorid er stabilt i modsætning til ethen/ethan, som omdannes til kuldioxid og/eller afdampet.

## UDVIKLING AF KONCEPTUEL FORSTÅELSE AF DNAPL UDBREDELSE I MORÆNELER OG KALK VED INTEGRERET ANVENDELSE AF DIREKTE OG INDIREKTE KARAKTERISERINGSMETODER

Lektor Mette M. Broholm, DTU Miljø, mibr@env.dtu.dk  
Postdoc Gry S. Janniche<sup>1,3</sup>, postdoc Annika S. Fjordbøge<sup>1</sup>, civilingeniør Torben H. Jørgensen<sup>2</sup>, civilingeniør Jesper Damgaard<sup>2</sup>, geolog Kerim Martinez<sup>2</sup>, civilingeniør Bernt Grosen<sup>2</sup>, civilingeniør Anders G. Christensen<sup>3</sup>, geolog, PhD Gary Wealthall<sup>4</sup> og civilingeniør Henriette Kern-Jespersen<sup>5</sup>  
<sup>1</sup>DTU Miljø, <sup>2</sup>COWI, <sup>3</sup>NIRAS, <sup>4</sup>GeoSyntec, <sup>5</sup>Region Hovedstaden

Karakterisering af kildeområder med chlorerede opløsningsmidler som DNAPL udgør et vigtigt led i udviklingen af den konceptuelle forståelse, som er essentiel for risikovurdering og valg af afværgestrategi. Integreret karakterisering med en række metoder for direkte såvel som indirekte dokumentation af DNAPL, er afprøvet på lokaliteten Naverland. Undersøgelserne er udført med henblik på at udvikle den konceptuelle forståelse af udbredelsen af DNAPL i et kildeområde i moræneler og kalk, hvor karakteriseringen er særligt udfordrende, samt vurdere anvendeligheden af metoderne.

Undersøgelserne har bl.a. omfattet (hydro)geologisk karakterisering, overflade-geofysik, kerneboringer med diskret delprøvetagning og kvantitativ analyse i kalk såvel som moræneler, MIP sonderinger i moræneler, PID målinger og SudanIV test, NAPL-FACT-FLUTE i moræneler og kalk samt Water-FLUTE i kalk. Kerne-, vand- og FACT-prøver er analyseret ved GC-MS.

Udbredelsen af DNAPL i moræneler stemte overens med en overvejende vertikal nedsivning via sprækker til en zone med flere horisontale sprækker (3-6 m u.t.) ved overgangen mellem 2 moræneler aflejringer og omkring redox-grænsen, hvor der sås en større horisontal udbredelse. Derunder sås atter overvejende vertikal nedsivning via sprækker til et sand/grus og kalk-knusningslag i overgangen til mere intakt bryozokalk. Der var dokumentation for DNAPL ved moræneleroverflade og i både øvre og nedre morænelerenhed.

I bryozokalken var der kun beskedne dokumentation for DNAPL, men såvel FACT-FLUTE som vandprøver (kombineret med pumpestop for afværgeboring) viste stærke indikationer på DNAPL ned til 16-18 m u.t., tilsyneladende overvejende spredt via vertikale sprækker men med horisontal udbredelse i kalk-knusningslaget og langs horisontale sprækker i større dybde muligvis overvejende lige over indlejrede flintlag/-knoles. Det er vanskeligt at dokumentere, om der er DNAPL i kalk, og de eksisterende boremetoder er utilstrækkelig for udtagelse af repræsentative kalkprøver med DNAPL for kvantitativ bestemmelse. Særligt knusningslaget i toppen af kalkmagasinet udgør en udfordring for DNAPL karakterisering.

I moræneleren understøtter resultaterne vor konceptuelle forståelse af DNAPL udbredelse, og den samlede værktøjskasse af metoder til direkte og indirekte dokumentation af DNAPL giver mulighed for en god lokalitetsspecifik konceptuel forståelse. I kalken er den direkte dokumentation for DNAPL ringe, hvilket vanskeliggør verifikation af konceptuelle modeller og dermed for risikovurdering og valg af afværgemetoder. Der er således behov for videre udvikling af metoder og vurderinger for kalkmagasiner.

Reference: Janniche, G.S., Fjordbøge, A.S., Broholm, M.M., 2013. DNAPL i moræneler og kalk. Vurdering af undersøgelsesmetoder og konceptuel modeludvikling. Naverland 26AB, Albertslund. DTU Miljø. [www.sara.env.dtu.dk](http://www.sara.env.dtu.dk)

## **OPSTILLING AF 3D NUMERISK MULTIFASE MODEL MED HENBLIK PÅ DESIGN OG PROJEKTERING AF IN-SITU OPRENSNING VED MOBILISERING AF OLIE MED SURFACTANTER**

Ekspertisechef, civilingeniør Anders G. Christensen  
NIRAS A/S, agc@niras.dk  
Civilingeniør Søren Rygaard Lenschow, NIRAS A/S  
Teamleder, civilingeniør Mette Marie Mygind, FBE

Ved In-Situ oprensninger er de fysiske, kemiske og biologiske processer ofte alene beskrevet ud fra teoretiske betragtninger og indledende laboratorieforsøg. Selve oprensningen udføres derfor oftest som en "Black Box model", hvor der typisk injiceres i borer/dræn og evt. opsamles forurening og restprodukter fra andre borer/dræn, mens selve processerne i jord og grundvand alene beskrives ud fra feltmålinger og kemiske analyser fra monitoringsboringer.

I forbindelse med gennemførelse af en pilotoprensning er der opstillet en numerisk multifase 3D model for In-Situ oprensning ved mobilisering af olie med Surfactanter for et kildeområde forurenet med Jet-Fuel. Ved pilotforsøget blev der udført 7 injektioner af non-ion aktive Surfactanter fra canadiske Ivey International. På baggrund af massebalancer for de opsamlede mængder af kulbrinter opløst i grundvand, fri fase og poreluft er den mobiliserede mængde olie konservativt skønnet til 25 l olie. Profiler af jordens olieindhold, basseret på jordprøver udtaget efter pilotoprensningen, antyder dog en større massefjernelse, som kan være op til flere gange større end det konservative skøn på 25 kg.

Modellen er opstillet på baggrund af undersøgelser, indledende laboratorietests og driftsdata fra pilotoprensningen, og modellen er kalibreret på baggrund af resultater opnået under pilotoprensning. Arbejdet er udført af underleverandør GSI Environmentals, Houston, Texas, som anvender det avancerede dynamiske modelværktøj UTCHEM (multifase, multikomponent, numerisk simulator), med henblik på at kunne simulere desorption af olie fra sediment til vandfase samt transport ved flerfasestrømning (vand/olie) til ekstraktionsboringer. Modelværktøjet har ophav i olieindustrien, og inddrager bl.a. overfladespænding, geokemiske, geologiske og hydrauliske parametre, hvor der bl.a. tages hensyn til, at injektion med Surfactanter medfører væsentlige ændringer af de strømningsmæssige forhold for grundvand og olie-fase.

Modellen simulerer bl.a. forløb af opsamling af mobiliseret olie, opsamling af injicerede Surfactanter samt, hvornår der dannes mikroemulsion afhængigt af koncentrationen af Surfactanter. Endvidere simuleres 3-D reduktion af oliemætningen i jorden. Modellens estimat af oprensningseffekten ligger flere gange over det konservative skøn på 25 kg olie.

I dette projekt giver modellen mulighed for at beregne og forudsige forskellige scenarier for en evt. fuldskala oprensning, herunder design af injektions- og ekstraktionsboringer, influensradier, mængde og koncentration af injicerede Surfactanter, ekstraktionsrater, forventede koncentrationsfald i jord og grundvand samt behandlings- og driftstid ved en fuldskala oprensning. Endvidere giver kombinationen af erfaringer pilotoprensningen og modelarbejdet mulighed for at optimere monitoring og dokumentation ved fuldskala oprensning og ved lignende pilotprojekter, med henblik på at opstille retvisende massebalancer for forureningsfjernelsen.



**Spor 4**





## **SLAGELSE KOMMUNES ERFARINGER MED FORURENINGSUNDERSØGELSER VED OLIEUDSKILLERE OG EFTERFØLGENDE MEDDELELSE AF § 40 PÅBUD**

Civilingeniør Brian Badike Thomsen  
Slagelse Kommune  
bbtho@slagelse.dk

Slagelse Kommune har gennemført en kampagne, hvor miljøtilsynet med olieudskillere, tankanlæg og belægninger, blev forsøgt kvalificeret, ved at undersøge for jordforurening ved disse installationer. Dette indlæg beskriver resultaterne af undersøgelserne ved 22 olieudskillerne, den myndighedsmæssige opfølgning på resultaterne samt de erfaringer der blev gjort i tilknytning til disse sager.

De 22 olieudskilleranlæg er primært ældre olieudskilleranlæg, hvor tømningssrapporter har vist, at der opsamles store mængder olie/benzin. 14 ud af de 22 olieudskillere er beliggende på benzinstationer. De øvrige er beliggende på autoværksteder, vognmandsvirksomheder samt en enkelt produkthandel.

Der blev konstateret forurening ved 11 af de undersøgte olieudskilleranlæg, herunder ved 7 på benzinstationer. De fundne forureninger var generelt kraftige.

Med det formål at få afklaret kilden, forureningsomfanget og den miljømæssige betydning, blev der påbudt/aftalt tæthedsprøvninger af anlæggene samt supplerende forureningsundersøgelser. Flere af virksomhederne valgte at udføre oprensning af forurening og udskiftning/renovering af olieudskillerne ifm. undersøgelserne. Forureningerne ved 6 af olieudskillerne er derved fjernet, eller vil blive det indenfor nærmeste fremtid. 3 sager er afsluttet på grund af manglende hjemmel til oprensningspåbud. I de sidste 2 sager er der fundet så omfattende forurening, at undersøgelser stadig pågår. De fundne forureninger stammer i disse tilfælde formentlig primært fra andre kilder end olieudskilleren.

Undersøgelsesresultaterne stemmer overens med erfaringerne fra andre kommuner om, at op mod halvdelen af olieudskillere opbygget af brøndringe, er utætte. Kampagnen har endvidere vist, at der er en række mangler og begrænsninger ved den egenkontrol og det miljøtilsyn med olieudskillere, der traditionelt foregår i dag.

Det blev erfaret, at tæthedsprøvningerne ofte ikke udføres i overensstemmelse med DS455 – i mange tilfælde kan dette teknisk ikke lade sig gøre. Det blev ligeledes erfaret, at flere prøvningsfirmaer bruger måleudstyr med så ringe præcision, at de reelt ikke kan erklære en udskiller for tæt, jf. normen. Endelig kan der stilles spørgsmål ved om normens tæthedsgrænse er lav nok hvad angår olieudskillere - en udskiller, hvor der skete udsivning på 3 liter i timen, blev korrekt erklæret for "tæt". Prøvningsrapporterne er generelt så mangelfulde, at det ikke er til at afgøre hvilken del af anlægget der er tæthedsprøvet og om det anvendte udstyr giver den fornødne præcision.

Slagelse Kommune er af den opfattelse, at jordprøver kan kvalificere tilsynet med olieudskillere betydeligt. Kommunen må i givet fald være indstillet på, at der skal bruges mange ressourcer på at følge op på de indledende undersøgelser.

## **SLAGELSE KOMMUNES ERFARINGER MED FORURENINGSUNDERSØGELSER UNDER BELÆGNINGER OG EFTERFØLGENDE MEDDELELSE AF § 40 PÅBUD**

Miljøtekniker Martin Pedersen  
Slagelse Kommune  
martp@slagelse.dk

Miljøstyrelsens tilsynstema i 2010 på virksomhedsområdet var "belægninger". Slagelse Kommune valgte at kvalificere tilsynskampagnen med belægninger ved at udtage en række jordprøver under disse. Ved denne lejlighed udtog kommunens rådgiver prøver under 18 SF-stensbelægninger på 12 virksomheder.

Dette indlæg beskriver resultaterne af undersøgelserne, den myndighedsmæssige opfølgning på resultaterne samt de erfaringer der blev gjort i tilknytning til disse sager.

Slagelse Kommune fik udtaget jordprøver under belægninger på en række virksomheder i kommunen. Disse blev hovedsageligt udvalgt på baggrund af belægningernes visuelle tilstand (slidtage, lunker mv.). Der var tale om 5 tankstationer, 5 autoværksteder, 1 maskinfabrik og 1 jernskrotvirksomhed.

Undersøgelserne viste forurening under hovedparten af belægningerne. Med det formål at få afgrænset forureningerne, fastslået forureningsmængden og den miljømæssige betydning, blev der påbudt eller aftalt supplerende forureningsundersøgelser på de 8 virksomheder, hvor der var fundet forurening under belægningerne.

Forureningerne viste sig generelt at være kraftige, men mængde- og udbredelsesmæssigt relativt beskedne.

Undersøgelserne bekræftede dermed at SF-stensbelægninger ikke er tætte, men viste samtidig, at gennemsvivningen af forurening normalt er af mindre omfang.

Kampagnen har givet Slagelse Kommune et generelt billede af hvor stor en gennemsvivning af forurening der sker gennem SF-stensbelægninger. Den har samtidig skærpet opmærksomheden på vigtigheden af, at SF-stensbelægninger holdes i god stand og at faldforholdene mod afløb er i orden.

Slagelse Kommune mener, at jordprøver kan kvalificere tilsynet med belægninger betydeligt, men man må være indstillet på, at der skal bruges mange ressourcer på at følge op på de indledende undersøgelser.

En stor del af ressourcerne blev brugt på at undersøge hjemmelgrundlaget, herunder gennemgå diverse arkiver for at fastslå historiske ejerforhold og aktiviteter mv.

**ANBEFALINGER TIL KOMMUNERNE I FORBINDELSE MED  
VURDERING AF PÅBUDSMULIGHEDER I RELATION TIL JORDFORURE-  
NINGSLOVENS §§ 40 OG 41 SAMT MILJØBESKYTTELSESLOVENS § 69**

Partner, advokat (H) Håkun Djurhuus  
Bech-Bruun Advokatfirma  
djur@bechbruun.com

Enhver tekniker, sagsbehandler og jurist, der har beskæftiget sig med jord- og grundvandsforurening, ved, at ældre, ikke fuldstøbte, olieudskillere opbygget af brøndringe, sjældent er tætte, og at de dermed er en kilde til jord- og grundvandsforurening.

Ofte mangler der tilstrækkeligt fald mod olieudskillere, og utætte belægninger er erfaringsmæssigt også en betydelig kilde til jordforurening, herunder i relation til drift af benzinstationer.

Dette indlæg vil redegøre for det retlige grundlag for eksempelvis drift af benzinstationer i forhold til belægning og olieudskillere, mulighederne for at meddele undersøgelsespåbud i henhold til jordforureningslovens § 40 samt mulighederne for at meddele oprensningsspåbud i henhold til miljøbeskyttelseslovens § 69, jf. § 19 (forureninger der er sket før 1.1.2001), henholdsvis jordforureningslovens § 41 (forureninger sket efter 1.1.2001).

Herudover vil der blive redegjort for relevant, nyere, retspraksis samt fordelene, henholdsvis ulemperne ved, at myndighedsbehandlere disse sager ved hjælp af enten frivillige aftaler eller påbud.

Påbudsmulighederne i eksempelvis benzinstationssagerne vanskeliggøres ofte af usikkerhed om, hvem der er forurenere, idet der i denne branche har været hyppige fusioner, fissioner og ejerskifter. Jordforureningslovens § 43 vil blive præsenteret som et redskab for tilsynsmyndighederne i sådanne sager.

I indlægget vil der fremkomme forslag til, hvorledes kommunerne forholdsvis billigt kan få kvalitetssikret påbuddene, således at risikoen for klagesager, retssager og erstatningskrav elimineres, eller i hvert fald minimeres. Der vil endvidere være en kort anbefaling til tilsynsmyndighederne om at anvende miljøerstatningsloven fra 1994 som et ofte hurtigere og billigere reguleringsinstrument i disse sager.

Hvis en forurening er sket før 1.1.2001, vil der kunne meddeles oprensningsspåbud i henhold til miljøbeskyttelseslovens § 69, jf. § 19. I disse tilfælde skal påbudsmyndigheden kunne bevise uagtsomhed hos påbudsadressaten. De to ledende afgørelser ("*Q8-dommen*" og "*Tinglev-dommen*") fra henholdsvis 2000 og 2002 vil blive gennemgået. Dommene viser, at der skal meget lidt til, før at domstolene finder, at der foreligger det fornødne ansvarsgrundlag, i hvert fald i benzintankstationssagerne.

## ER JORDFORURENING MED PCB ET PROBLEM PÅ LOKALITETER MED PCB-HOLDIGE BYGNINGER

Seniorprojektleder Rune Østergaard Haven  
Grontmij A/S  
ruh@grontmij.dk

### Baggrund og formål

PCB findes i en betydelig del af bygningsmassen fra 1950-1977. Dette er konstateret ved en lang række undersøgelser gennemført de seneste ca. 5 år. Spredningen af PCB fra bygningsdele til indeklimaet er veldokumenteret på et større antal sager, men der findes meget begrænsede data om spredningen fra bygningsdele til det omkringliggende miljø, herunder jord.

Hovedsigtet med det gennemførte projektet er at undersøge koncentrationen af PCB i den terrænnære jord på lokaliteter med PCB-holdige bygninger. For at vurdere betydningen af de konstaterede koncentrationsniveauer er disse sammenlignet med de eksisterende grænseværdier for PCB i jord i vores nabolande.

Undersøgelsen omfatter et stort antal bygninger fordelt på forskellige kommuner og udgør dermed et væsentligt datagrundlag for vurdering af, om PCB i bygninger kan medføre en påvirkning af omgivelserne, der kan udgøre en risiko for mennesker og miljø.

### Grænseværdier i nabolande

Grænseværdier for PCB i jord i Sverige (Naturvårdsverket, 2008), Tyskland (Bundesministerium der Justiz, 1999) og Norge (Statens Forureningstilsyn, 2009)

	Anvendelse / Område	Grænseværdi
Sverige	Følsom arealanvendelse	0,008 mg PCB <sub>7</sub> / kg TS
	Ikke følsom arealanvendelse	0,2 mg PCB <sub>7</sub> / kg TS
Tyskland	Legepladser	0,4 mg PCB <sub>6</sub> / kg TS
	Beboelsesområde	0,8 mg PCB <sub>6</sub> / kg TS
	Parker og rekreative arealer	2 mg PCB <sub>6</sub> / kg TS
	Industri- og erhvervsområder	40 mg PCB <sub>6</sub> / kg TS
Norge	Jord til grønsagsdyrkning ved boliger og børnehaver	0,01 mg PCB <sub>7</sub> / kg TS
	Boliger, børnehaver og skoler	0,5 mg PCB <sub>7</sub> / kg TS
	Bymidte, kontor eller forretning	1 mg PCB <sub>7</sub> / kg TS
	Industri eller trafikareal	1 mg PCB <sub>7</sub> / kg TS 5 mg PCB <sub>7</sub> / kg TS (kun efter en arealspecifik risikovurdering)

## Undersøgelsen

Projektet omfatter prøvetagning på kommunale ejendomme i tre kommuner. På de omfattede ejendomme har de involverede kommuner iværksat en screening for PCB i bygningerne på lokaliteten.

Sideløbende med undersøgelsen af PCB i byggematerialer er der udtaget jordprøver af den terrænnære jord omkring bygningerne. På baggrund af analyseresultaterne for materialeprøverne er udvalgte jordprøver analyseret for indhold af PCB.

Der indgår endvidere to skoler i undersøgelsen, hvor det på forhånd var kendt, at der var et betydeligt indhold af PCB i bygningsdele og indeklima.

Undersøgelsen omfatter analyse af 96 jordprøver fra 26 forskellige lokaliteter.

## Resultater

På 15 lokaliteter er der analyseret jordprøver udtaget ved bygninger med betydende PCB-kilder i byggematerialerne. Koncentrationsniveauet i byggematerialer spænder fra 29 til 266.000 mg PCB-total/kg. Analyseresultater fra disse lokaliteter er opsummeret i nedenstående skema.

Antal lokaliteter med PCB kilde	15
Antal materialeprøver	90
Antal jordprøver	63
Antal jordprøver med indhold af PCB over detektionsgrænsen på 0,001 mg/kg	41
Antal jordprøver med indhold af PCB <sub>7</sub> over 0,008 mg/kg TS	33
Antal jordprøver med indhold af PCB <sub>7</sub> over 0,2 mg/kg TS	4
Fund hyppighed %	65
Max koncentration (mg PCB <sub>7</sub> / kg TS)	0,42
Middelværdi (mg PCB <sub>7</sub> / kg TS)	0,042
5% fraktil (mg PCB <sub>7</sub> / kg TS)	0,00
95% fraktil (mg PCB <sub>7</sub> / kg TS)	0,24

På 14 lokaliteter ud af de 15 undersøgte lokaliteter er der konstateret koncentrationer af PCB over den svenske grænseværdi for følsom arealanvendelse som er på 0,008 mg PCB<sub>7</sub>/kg TS.

På fire ud af 15 lokaliteter er der konstateret koncentrationer af PCB over den svenske grænseværdi for ikke følsom arealanvendelse på 0,2 mg PCB<sub>7</sub>/kg TS.

I ingen af de analyserede jordprøver er der påvist et indhold af PCB over den norske grænseværdi for boliger, børnehaver og skoler på 0,5 mg PCB<sub>7</sub>/kg TS.

I ingen af de analyserede jordprøver er der påvist et indhold af PCB over den laveste tyske grænseværdi på 0,4 mg PCB6/kg TS, som gælder for legepladser. I Tyskland er der desuden en grænseværdi på 0,8 mg PCB6/kg TS for boligområder.

Resultaterne indikerer, at høje PCB-koncentrationer i jorden primært findes indenfor en halv meter fra de PCB-holdige bygninger.

På ni lokaliteter er der analyseret jordprøver udtaget ved bygninger uden betydende PCB-kilder i byggematerialerne. Koncentrationsniveauet i byggematerialer spænder fra 0 til 1,5 mg PCB-total/kg. Analyseresultater fra disse lokaliteter er opsummeret i nedenstående skema.

Antal lokaliteter	9
Antal materialeprøver	44
Antal jordprøver	29
Antal jordprøver med indhold af PCB over detektionsgrænsen på 0,001 mg/kg	3
Antal jordprøver med indhold af PCB7 over 0,008 mg/kg TS	1
Antal jordprøver med indhold af PCB7 over 0,2 mg/kg TS	0
Fund hyppighed %	10
Max koncentration (mg PCB7 / kg TS)	0,0087
Middelværdi (mg PCB7 / kg TS)	0,0007
5% fraktil (mg PCB7 / kg TS)	0,0000
95% fraktil (mg PCB7 / kg TS)	0,0061

Der er konstateret indhold over analysemetodens detektionsgrænse i 3 ud af 29 jordprøver, svarende til 2 lokaliteter, hvor der kan påvises spor af PCB i jordmiljøet omkring PCB-frie bygninger. Den højeste målte koncentration er på 0,0087 mg PCB7/kg TS, hvilket er lige over den laveste grænseværdi for PCB i jord på 0,008 mg PCB7/kg TS ved følsom arealanvendelse i Sverige.

Det vurderes på den baggrund, at der ikke findes væsentlig diffus PCB-forurening i overfladejorden omkring bygninger, som ikke indeholder en kilde til PCB ved denne undersøgelse. PCB-koncentrationerne konstateret i jordprøverne ved undersøgelsen formodes, med baggrund i ovenstående vurdering, derfor at være relateret til PCB-kilderne i bygningerne.

På en enkelt lokalitet er det vurderet, at der sandsynligvis er/har været en betydende PCB-kilde, som ikke er lokaliseret ved PCB-screeningen af bygningen. Resultaterne fra denne lokalitet er derfor ikke medtaget i den samlede vurdering af sammenhængen mellem PCB-koncentrationer i materialeprøver og jordprøver.

## SPORING AF KILDER TIL PCB I INDELUFTE

Kemiingeniør Lisbeth Odsbjerg  
Rambøll A/S  
lov@ramboll.dk  
Chefkonsulent Kim Haagensen  
tidligere Rambøll A/S, nu DGE A/S

Screeningsundersøgelser for PCB i indeluften i offentlige og private bygningsporteføljer er i de senere år øget, dels som følge af fastsættelse af grænseværdier for aktion, og dels som følge af et generelt fokus på PCB i affaldsstrømmen fra den eksisterende bygningsmasse.

Oplægget tager udgangspunkt i en række konkrete undersøgelser, som er udført af Rambøll, hovedsageligt i offentlige bygningsporteføljer. Der er gennem disse undersøgelser opnået vigtig viden omkring gennemførelse af større screeningsundersøgelser, sporing af kilder til PCB i indeluften samt variationer i PCB-indhold i indeluften ved gentagne målinger.

Flere omfattende screeninger af bygningsporteføljer har tegnet et billede af problemets omfang i den offentlige bygningsmasse. Screeningerne er baseret på målinger af såvel indeluft som materialeprøver, og giver et solidt overblik af omfang og bygningstyper, hvori der ofte findes materialer med problematiske indhold af PCB.

Hvor overskridelser i indeluften konstateres, kan det i enkelte tilfælde være særdeles svært at finde kilderne, og skjulte eller uventede kilder kan ofte give overraskende resultater. Der blev i forbindelse med målinger af indeluften på en folkeskole i Thyborøn konstateret værdier så høje, at de overskred Sundhedsstyrelsens aktionsværdier for iværksættelse af øjeblikkelige tiltag, uden at der var en oplagt kilde til afdampningen. Det blev i forbindelse med nærmere undersøgelser konstateret, at skolens lysarmaturer var kilden til de høje værdier af PCB i luften, da der i lysarmaturernes kondensatorer var høje indhold af PCB-holdig olie, som i visse tilfælde kunne lække PCB til både indeluft og inventar i bygningen. Disse kondensatorer har hidtil været betragtet som lukkede anvendelser uden afdampning til indeluften, men anses nu som mulige kilder til PCB-indhold i luften.

Gennem gentagne målinger på en skole i Hvalsø er der opnået et indblik i de variationer, der kan forekomme i PCB-indholdet i indeluften. I en periode på 14 måneder er der foretaget syv målerunder, og resultaterne har vist, at der kan opstå større variationer i PCB-indholdet fra måling til måling. Det kan ofte være svært at udpege konkrete årsager til variationerne, da indholdet af PCB i indeluften afhænger af en lang række faktorer, som bygningens og klimaskærmens udformning og tæthed, omfang og placering af PCB-holdigt materiale, samt faktorer, som kan ændre sig fra måling til måling, herunder temperatur, luftfugtighed, vindforhold og lign.

Det tyder på, at faktorerne temperatur og vindforhold kan have haft betydning for de varierende PCB-indhold i dette tilfælde. Kombinationen af indvirkende faktorer betyder, at det er vigtigt at inddrage disse ved vurdering af målte PCB-indhold i luften, da de kan have betydning for niveauerne af PCB i luften ved den enkelte måling.

## ER JORDKVALITETSKRITERIET FOR PAH'ER GODT NOK?

Ph.d.-studerende Esther Boll  
Plante- og miljøvidenskab, KU Science  
eboll@life.ku.dk

Lektor Jan H. Christensen<sup>a</sup>  
Områdechef Jens Nejrup<sup>b</sup>

Forstkandidat, ph.d. Julie Katrine Jensen<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Plante- og miljøvidenskab, KU Science

<sup>b</sup>Kalvebod Miljø Center, Københavns Kommune

<sup>c</sup>Rambøll Danmark A/S

Miljøstyrelsen har opstillet kvalitetskriterier for tjærestoffer i jord. Men er den nuværende monitorering af tjærestoffer i jord fyldestgørende? Giver de syv tjærestoffer (polycykliske aromatiske hydrocarboner, herefter PAH'er) samt total kulbrinter (TPH) et repræsentativt og retvisende billede af forureningsgraden og af forureningskilden?

Der er indsamlet 30 organisk forurenede jorder fra Københavnsområdet, der overskrider afskæringskriteriet for tjærestoffer og/eller kulbrinter. Jorderne er udvalgt med henblik på at repræsentere både diffus- og punktkildeforurenede jorder samt petrogen og pyrogen kilde.

Disse jorder er dels sendt til analyse ved et certificeret analysefirma med henblik på at måle de syv tjærestoffer samt total kulbrinter, dels "angriber" vi den organiske forurening med alle de analytiske "våben", vi har til rådighed, ved at analysere jorderne kvantitativt for en udvidet vifte af tjærestoffer samt en række nedbrydningsprodukter og kvalitativt for oliekomponenter inkl. en række markører for olie.

Resultaterne for syv tjærestoffer samt TPH sammenlignes med resultaterne fra de udvidede analyser, der inkluderer en bredere vifte af tjærestoffer, alkylerede tjærestoffer samt – for første gang i Danmark – for en række nedbrydningsprodukter af tjærestoffer. Dette gøres med henblik på at undersøge, om vi overser noget i den nuværende praksis.

I undersøgelsen af forureningskilder fokuseres der på kendte markører, der kan bruges til at differentiere petrogen og pyrogen forurening samt markører, der giver et indblik i forureningsalderen og skæbne i jord.



# TEST AF COLLOIDAL BORESCOPE TIL MÅLING AF STRØMNINGSRETNING OG HASTIGHED

Civilingeniør, ph. d. Morten Birch Larsen  
COWI A/S  
molr@cowi.dk  
Civilingeniør Kim Sørensen, Region Hovedstaden

## Baggrund

I forbindelse med udarbejdelse af en risikovurdering overfor grundvand er bestemmelse af de hydrauliske parametre ofte kritisk, da disse vil være afgørende for, i hvilken retning og hvor hurtig en forurening vil udbredes. Strømningsretning og gradient bestemmes typisk ved at etablere minimum tre borer til det relevante grundvandsmagasin. I mange tilfælde vil etablering af disse borer være en meget omkostningstung post på det samlede undersøgelsesbudget. Det amerikanske firma Aquavision har udviklet et instrument - colloidal borescope - som direkte kan måle grundvandets strømningshastighed og strømningsretning ved nedsækning i en boring. Formålet med nærværende projekt har været at få testet udstyret i Danmark, således det kan vurderes, om det vil være relevant at benytte udstyret til bestemmelse af strømningsretning og hastighed på forureningsundersøgelser.

## Metode

Colloidal borescope systemet benytter et kamera-mikroskop til at måle hastigheden af kolloider (små partikler) i grundvandet, som passerer gennem filtersætningen i en boring. Samtidig er der i enheden indbygget et digitalt kompas, således kolloidernes retning også kan vurderes. På baggrund af dette kan strømningsretning og strømningshastighed i magasinet estimeres. Udstyret blev testet på 3 lokaliteter udvalgt på baggrund af geologiske og hydrogeologiske forhold, således udstyret blev testet i både kalk- og sandmagasiner og på lokaliteter med relativt sikre og relativt usikre strømningsretninger.

## Resultater

På den første lokalitet blev der udført 6 målinger i 3 forskellige borer. Vandet var generelt meget uklart pga. et stort indhold af silt i formationen. Ved nedsækning af borescopet bliver siltpartiklerne hvirvlet rundt, hvorved vandet bliver uklart og registrering af kolloiderne vanskeliggøres. På trods af dette, lykkedes det i 4 af de 6 målinger at påvise en strømningsretning som stemte overens med den vurderede strømningsretning på baggrund af en synkronpejling.

På den anden lokalitet blev målingerne udført i en boring filtersat i kalken, hvor der over hele filterstrækningen blev udført i alt 13 målinger. Der var meget stor variation i de målte strømningsretninger ned gennem filteret, hvilket stemmer overens med, at det heller ikke ved en synkronpejling var muligt at fastlægge en strømningsretning.

På den tredje lokalitet blev der udført 5 målinger i to filtre, og der blev generelt fundet en meget god overensstemmelse mellem den påviste strømningsretning med borescopet og den vurderede strømningsretning ved synkronpejling.

På alle tre lokaliteter blev der målt signifikant højere strømningshastigheder med borescopet end ved traditionelle målinger af strømningshastighed. Det er i litteraturen vurderet, at dette skyldes, at borescopet måler de højeste strømningshastigheder, mens traditionelle metoder måler en strømningshastighed over et filterinterval.

## UDVIKLING AF FLUXSAMPLER TIL BESTEMMELSE AF FORURENINGSFLUX OG STRØMNINGSRETNING

Hydrogeolog Jesper Albinus  
Grontmij A/S  
jesper.albinus@grontmij.dk

En såkaldt FluxSampler er blevet udviklet i et partnerskab bestående af Region Hovedstaden, Grontmij og Sorbisense. Den er udviklet til direkte bestemmelse af den mængde forurenede stof, der strømmer med grundvandet forbi et givet punkt.

Med FluxSampleren bestemmes både strømningshastighed og strømningsretning direkte, og man kombinerer derfor de traditionelle feltundersøgelser i én enkelt operation i én boring.

Normalt bestemmer man grundvandsfluxen indirekte ud fra grundvandets hældning og grundvandsmagasinets hydrauliske egenskaber. Der kræves mindst 3 filtersatte boringer til bestemmelse af gradienten samt udførelse af enten slug-tests eller pumpetests til bestemmelse af grundvandsmagasinets hydrauliske ledningsevne. For beregning af stof-flux kræves der herudover analyseresultater af udtagne vandprøver. Når alle disse resultater "ganges sammen" fås i princippet et mål for stof-fluxen, eller - omregnet - den årlige transport af forurening væk fra den forurenede grund, der er undersøgt.

Flux Sampleren er en passiv opsamlingsenhed, som monteres ud for filterstrækningen i et alm. Ø63 mm rør, som typisk bruges på forureningsundersøgelser. Den 25 cm lange Flux Sampler monteres ved hjælp af en rotationsstiv stang, som sikrer at samplerens orientering er kendt. Der kan monteres flere samplers oven på hinanden, hvis der ønskes detaljeret kendskab til den vertikale variation af fluxen. Det tredelte kammer med Sorbisense's patenterede absorberende materiale giver tre analyseresultater, som teoretisk muliggør bestemmelse af retning og størrelse af forureningens hastighed.



På tværsnittet er kammer nr. 3 placeret opstrøms. Her fås pga. strømningen en højere stofopsamling end i de øvrige kamre. Stoffet opsamles både via flux og via diffusion. De nedstrøms kamre opsamler alene stof ved diffusion fra vandet. Forskellen bruges til at bestemme fluxens retning og størrelse.

Princippet for FluxSampleren har været under udvikling i 2 år i en kombination af laboratorieforsøg og feltforsøg, hvilket har ledt frem til en prototype nr. 3 af FluxSampleren, som indtil februar 2013 er afprøvet i 20 boringer på 6 lokaliteter tilhørende Region Hovedstaden. Resultaterne peger på, at sampleren skal sidde i en lang periode (måneder) for at give brugbare resultater. Fordele og ulemper ved metoden præsenteres, herunder resultater af laboratorietests og felttests.

FluxSampleren vil være relevant for regioner, kommuner og vandforsyninger, som har behov for at kende fluxen i forbindelse med risikovurdering eller konceptuel model.

## ERFARINGER MED DRIFT AND PUMPBACK FORSØG TIL BESTEMMELSE AF MAGASINEGENSKABER

Team- og ekspertisechef Jacob Birk Jensen  
NIRAS A/S  
jbj@niras.dk

Hydrauliske test til bestemmelse af transmissivitet er standard ved etablering af nye boringer. Et godt estimat på transmissiviteten er helt centralt i prædiktion af magasinudløb, påvirkning af grundvandstand og vandføring i vandløb fra indvinding, bestemmelse af indvindingsopland, mm.

I forbindelse med estimering af forureningsspredning, BNBO'er og tidsbestemte indvindingsoplande er viden om transmissiviteten ikke tilstrækkelig, idet vi i tilkøb hertil skal vide, hvor dybt magasinet er (udbredelse af den "strømningsaktive" dele af magasinet), og hvilken effektiv porøsitet jorden har. Viden om magasinudløb får vi typisk fra en geologisk model, mens viden om effektiv porøsitet er svært opnåelig, og ofte må man ty til litteraturværdier.

Grundet usikkerhed på magasinudløb og usikkerhed på den effektive porøsitet må det forventes, at vi har betydelig større usikkerhed på prædiktion af de forhold, som er afhængige af strømningshastighederne end de forhold, der blot er afhængige af magasinets samlede vandføring (som kan estimeres ud fra gradient og transmissivitet). På lokal skala kan usikkerheden på estimatet af strømningshastigheden mindskes ved at lave en tracer test i filtersatte boringer.

Formålet med indlægget er at dele vores erfaringer ved brug af et såkaldt drift and pumpback forsøg til bestemmelse af de hydrauliske parametre, der sammen med den hydrauliske gradient og transmissivitet bestemmer porevandshastigheden.

Metoden er en tracertest, der udføres i en boring ved først at injicere en tracer, dernæst injiceres rent vand og derefter lades traceren drive med den naturlige grundvandsstrømning. Endelig pumpes traceren tilbage efter et stykke tid. Under hele forsøget måles koncentrationen af traceren i boringen. Koncentrationsforløbet modelleres efterfølgende i en meget fint-maskede model. Modsat traditionelle tracer tests, hvor stof tilsættes i en boring og monitoreres i en eller flere boringer nedstrøms, kræver forsøget kun en boring.

Den numeriske analyse af koncentrationsforløbet resulterer i et præcist estimat af porevandshastigheden. Heri indgår parametrene hydraulisk gradient, transmissivitet, effektiv porøsitet og effektiv magasin dybde. Kendes gradient og transmissivitet kan metoden estimere effektiv porøsitet og effektiv magasinudløb og omvendt.

Vi har anvendt metoden med stor succes på to lokaliteter og mindre succes på de andre to lokaliteter. Magasinegenskaberne er helt afgørende for forsøgets design, og det er vigtigt online at følge forsøget for at opnå optimale resultater.

Vi anser metoden som lovende og forventer, at denne – efter yderligere erfaringsindsamling – kan være en supplement til de traditionelle hydrauliske test, der laves ved boringsetablering.

## HVAD BETYDER IE-DIREKTIVET I PRAKSIS?

Civilingeniør Pernille Palstrøm  
Orbicon A/S  
ppal@orbicon.dk

Direktivet om Industrielle Emissioner (IE) er implementeret i dansk lovgivning i januar 2013. For de virksomheder, der er omfattet af IE-direktivet, betyder det bl.a., at der skal udføres en såkaldt basistilstandsrapport forud for en ny eller revideret Miljøgodkendelse, såfremt der bruges, fremstilles eller frigives relevante farlige stoffer, der kan give anledning til forurening af jord og grundvand.

Basistilstandsrapporten skal bruges til at vurdere forureningssituationen på arealet, hvor aktiviteten skal findes sted. Ved ophør af aktiviteten skal undersøgelsen udført ved basistilstandsrapporten gentages, og forureningssituationen før og efter sammenlignes. Hvis der påvises en betydelig forurening, skal der træffes foranstaltninger, så arealet føres tilbage til basistilstanden.

Miljøstyrelsen udarbejder i øjeblikket en vejledning i udarbejdelse af basistilstandsrapporter og vurderinger ved driftsophør. Orbicon A/S assisterer Miljøstyrelsen i denne proces.

- Hvad betyder IE-direktivet så i praksis?
- Hvordan afgøres det, om det givent stof er relevant og farligt?
- Hvor mange prøver skal der udtages i forbindelse med basistilstandsrapporten?
- Hvor skal prøverne udtages henne?
- Hvordan afgøres det, om en forurening er betydelig?

Det er nogle af de spørgsmål, som er blevet diskuteret undervejs i processen omkring udarbejdelsen af vejledningen. Vejledningen er fortsat under udarbejdelse, og indlægget vil løfte sløret for de tanker, der er gjort undervejs i processen og komme med en forsmag på retningslinjerne i vejledningen.

## IE-DIREKTIVETS BETYDNING FOR VIRKSOMHEDERNE

Chefkonsulent , cand. jur. Vibeke Plambeck

DI

vip@di.dk

### Implementeringen af IE- Direktivet

IE direktivets (IED) betydning i praksis for virksomhederne afhænger, dels af hvordan direktivet implementeres, dels af hvordan reglerne udmøntes i praksis. Implementeringen af IED i Danmark er inspireret af de beslutninger, som Virksomhedsudvalg II traf og er på visse steder bredt ud til at gælde alle industrivirksomheder.

Implementeringen er sket ved mindre ændringer i Miljøbeskyttelsesloven og Jordforureningsloven, men mest centralt igennem 12 bekendtgørelser, der trådte i kraft pr. 7.-1-2013, dog med en forsinkelse af tilsynsbekendtgørelsen.

Mit indlæg vil koncentrere sig om basistilstandsrapporter(BTR), som har haft stor bevågenhed blandt mange af vores medlemsvirksomheder.

### Basistilstandsrapporter, hvem, hvordan og hvorfor?

De IED-virksomheder, der anvender relevante, farlige kemiske stoffer i forbindelse med deres IED aktiviteter, pålægges fremover at udarbejde en BTR vedr. jord- og grundvandsforurening. Formålet med disse BTR er at få et udgangspunkt til at følge jord- og grundvandsforholdene løbende og som kan være udgangspunkt for en sammenligning med de jord- og grundvandsforhold, der findes ved aktivitetens ophør. Det er, i sit teoretiske udgangspunkt, en god ide, men i praksis rejser det en række spørgsmål, primært

- Hvad er relevante, farlige kemiske stoffer?
- Hvordan skal der følges op på BTR?
- Hvordan spiller IED's krav om BTR sammen med primært jordforureningsloven?
- Herunder, hvordan er reglerne implementeret i Danmark?
- Hvad forstås ved et aktivitetsophør?

Implementeringen af direktivets regler om BTR giver os ikke megen hjælp, og den vejledning, som EU-Kommissionen har lovet, lader vente på sig. Miljøstyrelsen har fået udarbejdet et 1. udkast til en dansk vejledning. Dette udkast er nu under grundig drøftelse og behandling mellem styrelsen, erhvervsorganisationer og KL.

For industrien er det selvfølgelig vigtigt at få begrænset antallet af stoffer, der udløser kravet om en BTR, ligesom det er vigtigt at få afgrænset i forhold til mængde og afgrænset i forhold til måden stoffet anvendes på. I perioden, hvor virksomheden er i drift, skal der ske en overvågning af jord- og grundvand, men overvågningen bør tænkes ind i de krav, som virksomheden allerede er pålagt i sin miljøgodkendelse. Ved driftsophør er der indarbejdet et nyt afsnit i jordforureningsloven(kap 4 b.) og det pålægges nu den aktuelle driftsherre at indsende et oplæg til en vurdering af jord- og grundvandstilstanden til tilsynsmyndigheden, som derefter giver påbud om, hvordan den endelige vurdering skal ske. Tilsynsmyndigheden skal, ud fra en vurdering af væsentlig risiko, tage stilling til, hvad driftsherren eventuelt skal foretage af foranstaltninger. For virksomheder, der ikke er pålagt at udarbejde en BTR, er der alligevel krav til at fremsende oplæg til en vurdering.

**”NORTHPESTCLEAN”**  
**- FORMÅLET MED PROJEKTET OG PROCESSEN BAG BASISK HYDROLYSE**

Biolog, ph.d. Morten Bondgaard  
Region Midtjylland  
morbon@rm.dk

Børge Hvidberg, Anja Melvej, Kaspar Rügge, Lars Ernst, Hans Fredborg, Region Midtjylland  
Lars Bennedsen, Rambøll, Kirsten Rügge, Torben Højbjerg Jørgensen og Lars Nissen, COWI,  
Freddy S. Petersen, Kogsgaard Miljø, Jens Muff, AAUE  
Leah MacKinnon og Neal Durant, Geosyntec, USA

Det tidligere kemikaliedepot Høfde 42 er en kraftigt forurenede lokalitet beliggende få meter fra Vesterhavet på Harboøre Tange. I 1950'erne og 1960'erne blev store mængder spildevand og fast affald fra den agrokemiske virksomhed Cheminova deponeret på grunden, suppleret af affald deponeret af den danske stat.

En del af forureningen ved Høfde 42 blev fjernet ved bortgravning i 1971 i forbindelse med kystsikringsarbejde og i 1981 i forbindelse med miljøforbedringer langs kysten. I 2000 indikerede lugtgener, at disse bortgravninger var utilstrækkelige og at den tilbageværende forurening var væsentlig. En kortlægning af forureningen i perioden 2001-2005 viste, at et område på ca. to hektar (20.000 m<sup>2</sup>) stadig var kraftigt forurenede, primært med de toksiske organofosfat insekticider.

I 2006 blev det forurenede område indkapslet med en stålspuns og området blev overdækket med en plastmembran. Hermed blev forureningsspredningen til Vesterhavet midlertidigt standset, mens en permanent løsning kunne identificeres og afprøves.

Efter en metode-screeningsproces valgte Ringkjøbing Amt og Miljøstyrelsen i 2007 at igangsætte afprøvning af metoden *in situ* basisk hydrolyse med henblik på at kunne oprense kemikaliedepotet i sådan et omfang, at depotet ikke udgør en risiko for miljøet i Vesterhavet.

Efter indledende forsøg med basisk hydrolyse i 2007-2009, besluttede Region Midtjylland, med finansiel støtte fra Miljøstyrelsen og EU-kommissionens LIFE+ program, at iværksætte et 4 års demonstrationsprojekt ”NorthPestClean”. Projektet har til formål at dokumentere effektiviteten af *in situ* basisk hydrolyse i stor-skala forsøg, afprøve og sammenligne af en række ”contact enhancement” teknologier, samt etablere målbare stop-kriterier for eventuel fremtidig fuldskalaoprensning af høfdedepotet.

Indlægget på Vintermødet 2013, vil primært omhandle formålet med gennemførelsen af North-PestClean projektet, principperne og konceptet ved oprensning med *in situ* basisk hydrolyse, samt perspektivet i udviklingen af metoden.

De to efterfølgende indlæg ved Rambøll og Cowi vil beskrive projektets foreløbige resultater i detaljer.

## HØFDE 42 – RESULTATER FRA CYKLUS 1

Civilingeniør, ph.d. Lars Bennedsen  
Rambøll  
Irsb@ramboll.dk  
Kirsten Rügge, Torben Højbjerg Jørgensen og Lars Nissen, COWI  
Freddy S. Petersen, Kogsgaard Miljø  
Leah MacKinnon og Neal Durant, Geosyntec, USA  
Morten Bondgaard, Region Midtjylland

Ved den Jyske vestkyst ud for Høfde 42 findes en omfattende forurening med pesticiderne parathion og methylparathion samt andre kemikalier, som hovedsageligt stammer fra deponering af spildevand og fast affald fra virksomheden Cheminova.

Med støtte fra Miljøstyrelsen og EU-kommissionens LIFE+ programmer har Region Midtjylland iværksat et demonstrationsprojekt "NorthPestClean", som har til formål at dokumentere effektiviteten af afværgemetoden "in situ basisk hydrolyse" ved pilotforsøg, herunder at afprøve forskellige metoder til forbedring af denne metode til oprensningen af forureningen ud for Høfde 42. Forsøget forløber i perioden marts 2011 til juni 2014.

Projektet udføres i tre testceller a 100 m<sup>2</sup>. Testcellerne er etableret ved indspunsning for at give fuld hydraulisk kontrol. Indledningsvist er der udtaget jord- og vandprøver fra testcellerne. Herefter er cellerne drænet for vand og fyldt med NaOH for at hæve pH til 12-13. Over en periode på 8 måneder er den basiske hydrolyse monitoreret ved udtagning af vandprøver. Som afslutning på cyklus 1 er cellerne igen drænet og effektiviteten af den basiske hydrolyse er vurderet med udgangspunkt i analysedata, som for cyklus 1 omfatter 539 jordprøver, 541 vandprøver fra monitoringsboringer samt 217 vandprøver udtaget under dræning af cellerne. Hver prøve er analyseret for 11-26 forskellige parametre.

Dræning og infiltration i cyklus 1 har vist, at NaOH simpelt og uden problemer kan tilsættes vha. gravitation i en enkelt central infiltrationsboring. Tømning af testcellerne er også forløbet godt, men det har været vanskeligt at tømme den nederste del af cellen. Mht. fordeling af NaOH i testcellerne viser resultaterne, at der kan opnås en god fordeling af NaOH i bunden af testcellerne, hvilket ved projektets opstart blev vurderet vanskeligt. Analyseresultater dokumenterer, at der sker en væsentlig hydrolyse af de primære forureningskomponenter. Dette er vurderet på baggrund af stigninger i koncentrationer af opløste hydrolyseprodukter samt totalnitrogen og -fosfor (anvendt som samleparametre) i monitoringsboringer og drænvand samt koncentrationsniveauet i jordprøver udtaget før og efter cyklus 1.

Monitoringsresultater viser desuden, at forventede nedbrydningsprodukter hydrolyseres videre, hvilket gør det sværere end ventet at opstille præcise massebalancer for hydrolysen af parathion. Der er derfor anvendt 5 forskellige metoder til vurdering af den hydrolyserede masse, hvoraf de 4 metoder giver sammenlignelige resultater. I cyklus 1 er det vurderet, at i størrelsesorden 100-600 kg parathion er hydrolyseret i hver testcelle afhængig af beregningsmetode og hvilken testcelle beregningen er udført for. Baseret på udgangskoncentrationer i jorden er 33-43 % af forureningsmassen i testcellerne fjernet under cyklus 1, hvilket er mere end forventet ved opstart af projektet.

## HØFDE 42: RECIRKULATION, SURFACTANTS OG AKUSTISKE VIBRATIONER, STRATEGI FOR CYKLUS 2

Civilingeniør, ph.d. Kirsten Rügge  
COWI A/S  
kiru@cowi.dk

Torben Højbjerg Jørgensen, Lars Nissen og Jacob Egede Andersen, COWI A/S,  
Lars Bennedsen, Rambøll, Jens Muff, AAUE, Freddy S. Petersen, Kogsgaard Miljø,  
Leah MacKinnon og Neal Durant, Geosyntec, USA, Morten Bondgaard, Region Midtjylland

På Vestkysten ud for Høfde 42 findes en omfattende forurening med pesticiderne parathion og methylparathion samt andre kemikalier. Forureningen stammer hovedsageligt fra deponering af spildevand og fast affald fra virksomheden Cheminova, men også den danske stat har deponeret affald i perioden 1953-1962.

Med støtte fra Miljøstyrelsen og EU-kommissionens LIFE+ programmer har Region Midtjylland iværksat et demonstrationsprojekt "NorthPestClean", som har til formål at dokumentere effektiviteten af afværgemetoden "in situ basisk hydrolyse" ved pilotforsøg, herunder at afprøve forskellige metoder til forbedring af denne metode til oprensningen af forureningen ud for Høfde 42. Forsøget forløber i perioden marts 2011 til juni 2014. Demonstrationsprojektet udføres i tre testceller a 100 m<sup>2</sup>. Testcellerne er etableret ved indspunsning for at give fuld hydraulisk kontrol. I cyklus 1 er der tilsat NaOH til alle celler og den basiske hydrolyse er monitoreret over en periode på 8 måneder. Cellerne er herefter drænet og oprensningen evalueret.

I **cyklus 2** er strategien følgende: Efter dræning og tilsætning af ny lud til alle tre testceller monitoreres den basiske hydrolyse over en periode på 3 måneder. Herefter startes de respektive "enhancement metoder":

### **Recirkulation**

Der er etableret 3 injektions- og 3 pumpeboringer i Testcelle 2. Der blev indledningsvist pumpet ca. 100 l/h fra hver af de tre pumpeboringer, i alt ca. 7 m<sup>3</sup>/d, svarende til at der vil ske en udskiftning af 1 porevolumen pr. 2-3 uger. Vandet pumpes fra pumpeboringerne i lukkede systemer gennem posefiltre, hvorefter det ledes tilbage til cellen via infiltrationsboringerne. Det bliver sikkert nødvendigt at anvende trykluft for at sikre en rimelig pumpeydelse.

### **Surfactants**

Der er foretaget en omfattende litteratursøgning samt indledende laboratoriescreening for at udvælge egnede surfactanter. På AAUE foretages laboratorieforsøg med 10-15 forskellige surfactanter, og flere ser umiddelbart lovende ud. Når den bedst egnede surfactant er fundet, tilsættes denne til Testcelle 3.

### **Akustiske vibrationer**

Indledningsvist er der foretaget en Vibrationstest, hvor der gennem "sweep tests" i intervallet 20 til 200 Hz ved tre forskellige amplituder er fundet den mest effektive kombination. Testene blev gennemført ved hhv. en *ex situ* og en *in situ* metode. Ud fra data fra testen blev det besluttet at designe en stationær *ex situ* vibrationsenhed, som skal køre ved 43Hz med en ekssi-



tationskraft af jordoverfladen på 26 kN. I første omgang er det valgt at lade vibrationsenheden køre 5 minutter pr. time.









