

# MILJØSTYRELSENS TEKNOLOGIPROGRAM

## FRAKTURERING

Seniorforsker Bertel Nilsson  
Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (Faglig sekretær)

Cand.scient, Kim Dahlstrøm  
Miljøstyrelsen

Geolog Søren A.V. Nielsen  
Natur & Miljø, Vestsjællands Amt

Civilingeniør Camilla Kjær  
Jord & Grundvand, Storstrøms Amt

## ATV MØDE

VINTERMØDE OM JORD- OG GRUNDEVANDSFORURENING

VINGSTEDCENTRET

4. – 5. marts 2003



## RESUMÉ

Frakturering er en in-situ teknik, hvor en kunstig sprække dannes ved injektion af gas eller vand/boremudder i jordlagene ved hjælp af en særlig indrettet boring. Danske erfaringer fra to teknologiprojekter viser, at frakturering fra lodrette boringer måske kan blive økonomisk fordelagtig og effektiv at bruge i Danmark, når yderligere erfaring er opnået af danske rådgivere, entreprenører og myndigheder. Frakturering fra vandrette boringer eller dræn vurderes derimod ikke at være tilstrækkelig færdigudviklet. Før metoden vil finde stigende anvendelse og anbefales brugt på kommercielle betingelser i Danmark, er der et betydeligt behov for en yderligere erfaringsopsamling.

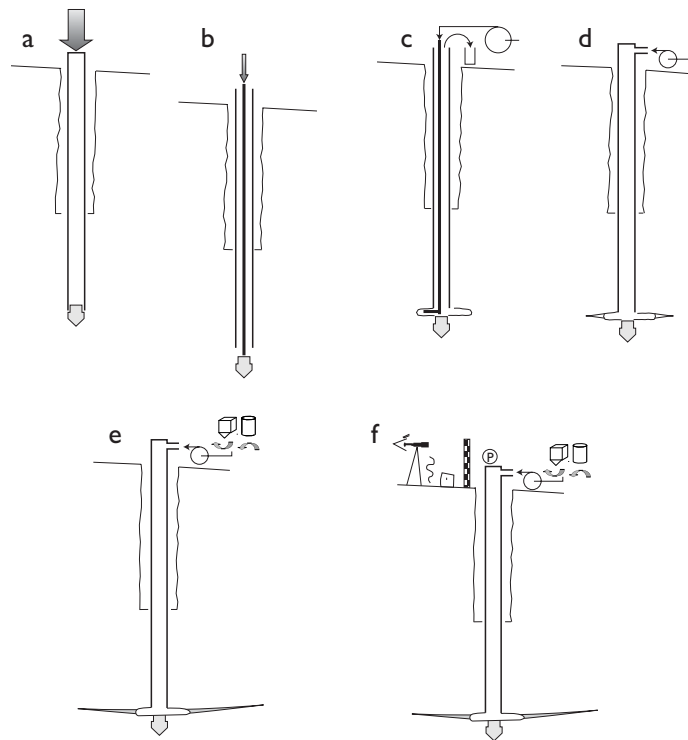
## BAGGRUND OG FORMÅL

Oprensning af forurening i de tætte, lerede jordaflejringer i Danmark har længe givet store vanskeligheder. Nyere amerikanske undersøgelser viser, at ved at etablere kunstige sprækker i de forurenede dele af jorden, kan der strømme 10 til 100 gange mere vand eller luft gennem lerjorden. Dermed kan forureningen lettere skylles ud, så både oprensningstiden og omkostningerne nedsættes. I to amter er der i perioden 2000-2002 gennemført to afværgeprojekter med hydraulisk frakturering fra henholdsvis vandrette boringer (Storstrøms amt) /1,2/ og lodrette boringer (Vestsjællands amt)/3/. Til begge afværgeprojekter er tilknyttet teknologiudviklingsprojekter, finansieret af Miljøstyrelsens Teknologiudviklingsprogram for jord- og grundvandsforurening. Begge afværgeforanstaltninger er designet til dobbeltfaseekstraktion fra hydraulisk inducerede sprækker, dvs. en samtidig oppumpning af (forurenede) vand og luft fra jordlagene. Teknologidelen i begge projekter har til formål at undersøge og vurdere mulighederne for at bruge kunstige sprækker til oprensning af jord- og grundvandsforurening på lerjorder ved at dokumentere effekten. Nærværende vidensopsamling er en sammenfatning af de danske erfaringer, der er opnået i forbindelse med disse to teknologiprojekter.

## METODEBESKRIVELSE

### Beskrivelse af teknologi

Den kunstige opsprækning (også kaldet frakturering) er en in-situ teknik, hvor en kunstig sprække dannes ved enten at indblæse gas eller sprøjte vand / boremudder ind i bunden af en særlig indrettet boring, se Figur 1. Når trykket i boringen bliver større end in-situ spændingstilstanden (*confining stress*) i den omgivende jord, vil en kunstig sprække begynde at udvikles. Ved en fortsat injektion af gas eller væske (*fluid*) udvides sprækken. Sprækken når sin endelige udstrækning når: (a) injektionen af fluid stoppes; (b) hvis sprækken møder en barriere (f.eks. husfundament), (c) hvis sprækken skærer jordoverfladen (*venting*), eller (d) hvis gassen eller væsken ”tabes” som lækage til den omgivende jord gennem sprækkens væg (*leakoff*). I de fleste leraflejringer pumpes sprækken fuld med et sandmateriale, som holder sprækken åben. Dermed øges den hydrauliske influensradius væsentligt i teori og som regel i praksis. Som tommelfingerregel gælder, at trykniveauet i den lavpermeable formation omkring den kunstige sprække påvirkes med en influensradius, der er omkring tre gange større end den kunstige sprækkes egen radius.



Figur 1. Principskitser, der viser etablering af en kunstig sprække ved hydraulisk frakturering fra lodrette borer. *a – b* Etablering af boring (pilot hul). *c – e* Den kunstige sprække skabes i bunden. *f* Tryk og flow kontrolleres under injektionen samtidig med at jordhævningen overvåges. Instrumenteringen af overvågningsforløbet er nærmere beskrevet i /5/.

Der kan anvendes følgende typer af væske og gas til etablering af sprækkerne: trykluft /gas, rent vand, samt en specielt udformet, geléagtig, klæbende boremudder, der består af guar gummi gelé, sand og vand. Når der injiceres luft eller gas, benævnes metoden **pneumatisk frakturering**, og hvis der anvendes rent vand eller vand tilsat gelé (oftest guar gummi) og eventuelt sand, benævnes metoden **hydraulisk frakturering**. Endelig anvendes i sjældnere tilfælde trykket fra eksplosioner til at danne kunstige sprækker. Sidstnævnte metode benævnes **eksplosiv frakturering** eller **blasting**, og er mest anvendt i olieindustrien samt i vandforsyningssammenhæng til forbedring af borerings ydeevne i grundfjeldsområder.

En kunstig sprækkes form og geometri vil være bestemt af lokalitetsspecifikke geologiske og geotekniske forhold. Sprækken vil ideelt set have en oval form som en tallerken, men i praksis opnås der ofte andre former og udbredelse. Erfaringen viser, at sprækken vil få en foretrukken vandret udbredelse i dybder fra én til otte meter under jordoverfladen, mens sprækker, der etableres i den øverste meter eller dybere end otte meter, oftest bliver orienteret skråt eller lodret. Om sprækkerne udvikler sig vandret eller lodret bestemmes primært af jordens konsolideringsforhold (dvs. graden af jordens sammentrykning). Derfor dannes kunstige sprækker med en vandret udbredelse nemmest i tætte, overkonsoliderede jordlag, hvor det horisontale formationstryk er større end det vertikale.

## Sammenligning mellem pneumatisk og hydraulisk frakturering

Forskelle og ligheder mellem de to fraktureringsmetoder kan opsummeres som vist i Tabel 1. De angivne karakteristika og parameterværdier er alle typiske størrelser der rapporteres i litteraturen, men disse kan naturligvis varierer en del.

Tabel 1. Sammenligning mellem pneumatisk og hydraulisk frakturering

	Pneumatisk frakturering	Hydraulisk frakturering
Sprække apertur	0,5-1 mm	10-20 mm
Sprække længde	6,5-18 m (diameter)	5-18 m (diameter)
Sprække fluid	Gas /luft	Vand eller boremudder (guargummi gelé)
Sprække orientering	Subhorizontale	Subhorizontale
Sprække dybder	5 - 8 m	5 - 8 m
Sprækkefyldmateriale	Normalt ingen	Normalt sand
Injektionstid	20 - 60 sek.	5 - 15 min.
Injektionshastighed	25 - 50 m <sup>3</sup> luft /minut	60 - 500 liter vand / minut
Injektionstryk		
- Initielt	5 -10 atm.	2,5 - 3,5 atm.
- Vækstfasen	1,0 atm.	< 1,0 atm.

Det skal specielt nævnes for fyldmaterialernes vedkommende, at der i langt fra alle tilfælde benyttes udelukkende sand i forbindelse med hydraulisk frakturering. I et stigende antal sager injiceres andre materialer end sand i de inducerede sprækker. Andre materialer kan afhængig af opgaves formål være: grafit, mikrober og næringsalte, iltningmiddel, oxidant og reduktant samt skumbeton og bentonit.

## Metodens anvendelsesområder

De kunstige sprækker anvendes som regel i kombination med én af følgende metoder: Vakuumeekstraktion, LNAPL- eller DNAPL-oppumpning, dobbeltfaseekstraktion, biologisk oprensning, dampinjektion, injektion af varm luft, elektroosmose, samt barriereteknologi. Tabel 2 giver en oversigt over anvendelsen af den kunstige opsprækningsmetode ved eksperimentelle feltskalaforsøg og ved oprensninger på kommercielle betingelser. Kunstige sprækker, anvendt i større grundvandsmoniteringssystemer, bør overvejes.

Tabel 2. Kunstige sprækker i kombination med andre teknikker /4, 5, 6, 9/.

Anvendelse	Eksperimentel feltskala	Kommerciel oprensning
Vakuumeekstraktion		•
LNAPL-oppumpning		•
DNAPL-oppumpning		•
Dobbeltfaseekstraktion		•
Biologisk oprensning	•	•
Dampinjektion	•	
Varmluftsinjektion	•	
Elektroosmose	•	•
Barriereteknologi	•	

## RESULTATER

Følgende fire teknologiprojekter om frakturering er gennemført i forbindelse med Miljøstyrelsens teknologiudviklingsprogram for jord- og grundvandsforurening:

- Udredningsprojekt: Vurdering af stødvis ventilation og pneumatisk opsprækning /7/
- Udredningsprojekt: Litteraturstudium /5/
- Demonstrationsprojekt: Frakturering fra vandrette borer eller dræn /1,2/
- Demonstrationsprojekt: Frakturering fra lodrette borer /3/

### **Hydraulisk frakturering fra vandrette borer eller dræn (Slagelsevej, Næstved)**

En jord- og grundvandsforurening med klorbenzen, klornitrobenzen og kloraniliner fra en tidligere sødemiddel- og galvaniseringsproduktion findes udbredt under og omkring bygningerne på erhvervsgrunden Slagelsevej 190, Næstved. Uden afværgetiltag forventes forureningen at trænge nedefter til det underliggende primære grundvandsmagasin, hvor forureningen vil udgøre en risiko for grundvandsressourcen og den nærliggende vandforsyning. For at hindre en videre forureningsspredning til det primære magasin blev der i forbindelse med et demonstrations-/afværgeprojekt i efteråret 1999 etableret to vandrette borer/dræn i 5 meters dybde, hvori der langs delstykker af de vandrette dræn blev etableret et antal kunstige sprækker ved horisontal hydraulisk frakturering (HHF) /1,2/. Etableringen af de kunstige sprækker i ca. 5 meters dybde skulle medvirke til at skabe en opadrette hydraulisk gradient i grundvandsmagasinet under forureningskilden.

På baggrund af modelberegninger blev det vurderet, at to horisontale dræn med en sprækkeudbredelse på 4-8 meter, regnet fra injektionspunktet; med en sprækkeåbning på max. 25-30 mm, fyldt med mellemkornet sand ville resultere i en influensradius på 5-10 meter fra den horisontale boring. Det blev desuden vurderet, at to frakturerede dræn ville have samme effekt som 3-5 almindelige afværge-dræn (traditionel afværge-løsning). Yderligere blev det skønnet, at 2 frakturerede dræn ville være 25 % billigere at etablere end 3 almindelige afværge-dræn.

Projektet har vist, at det er muligt at etablere sandfyldte sprækker med en tykkelse på 1-20 mm ud til en afstand på mindst 3-4 m fra drænet (svarende til en samlet sprækkebredde på 6-8 meter) fra vandrette dræn. Det er dog vanskeligt at forudsige sprækkernes orientering. Anlægsmæssigt har etableringen været forbundet med omfattende besværligheder, dels af teknisk karakter og dels grundet tilklokning af indpumpningssystemet som følge af frost.

Ud fra de kortvarige dobbelt fase ekstraktion-test (DPE-test) kan det konkluderes, at det horisontale påvirkningsområde for hhv. ufrakturerede og frakturerede dræn er i størrelsesordenen af hhv. mindst 1-2 m og ca. 6 m fra drænene (svarende til et samlet påvirkningsområde på hhv. 4 og 12 m). Dette er i god overensstemmelse med de gennemførte modelberegninger samt amerikanske erfaringer. Da der ikke er opnået stationære trykforhold ved de kortvarige forsøg, vil kun den løbende monitoring kunne dokumentere, hvorledes trykniveauet udvikler sig, og om det lykkes at vende den hydrauliske gradient.

Sammenfattende konkluderes det imidlertid, at fraktureringen af de to vandrette dræn mod forventning ikke medførte nogen væsentlig forøgelse af den hydrauliske kapacitet i forhold til et ikke fraktureret vandret dræn (referencedrænet). Det har således ikke kunnet eftervises, at to frakturerede dræn skulle få samme hydrauliske effekt som 3-5 almindelige vandrette dræn (uden frakturering).

### **Hydraulisk frakturering fra lodrette borer (Vestergade 10, Haslev)**

På ejendommen Vestergade 10 i Haslev (Vestsjællands amt) har der siden 1967 været drevet renserivirksomhed, hvor der har været anvendt tetrachlorethylen (PCE) til den kemiske renseproces. I 1992-93 blev der konstateret en jord- og grundvandsforurening primært med PCE og dets nedbrydningsprodukter. Kildehistorien, forureningsudbredelsen, forureningstypen, samt de geologiske og hydrologiske forhold på denne lokalitet er indgående beskrevet i /5, 10/. I forbindelse med teknologiudviklingsprojektet blev i februar 2001 etableret to testsprækker i 4,5 og 8 meters dybde, som et testforsøg til demonstration af metodens anvendelighed på lokaliteten.

Etableringen af sprækker i hhv. 4,5 og 8,0 m's dybde er fra et teknisk synspunkt foregået uden besværligheder og større overraskelser. Der var nogenlunde overensstemmelse mellem observeret og beregnet jordhævning ved etablering af begge sprækker. Der er dog ingen tegn på, at den aktiverede sprække er blevet udfyldt med propant i hele sprækkens længde, hvorfor dele af den observerede jordhævning sandsynligvis udelukkende er resultat af en åbnet sprække der efter nogen tid risikerer at "falde sammen" eller lukkes på ny, så den opnåede hydrauliske effektsforbedring vil mindskes. Det er desuden klart, at det er vanskeligt at forudsige sprækkernes orientering, der er stærkt påvirkeligt af geologiske heterogeniteter, dvs. indlejrede sandlag. Selv relativt små inhomogeniteter i lagfølgen synes således at kunne få stor indflydelse på sprækkeudbredelse og -retning.

Af de gennemførte DPE tests udført før og efter frakturering ses, at der er entydigt markant større påvirkningsområde (op til 10 gange) ved de hydrauliske frakturerede lodrette borer i forhold til påvirkningsområdet uden frakturering i 4,5 m's dybde. Årsag og virkning af det underliggende sandlag ift. den registrerede hydrauliske påvirkning fra den frakturerede boring i 8,0 m's dybde gør det således vanskeligt at afgøre, hvorvidt den hydrauliske påvirkning mere er et resultat af en reaktivering af de naturlige forekommende sprækker og tynde sandlag end effekten fra den kunstige sprække i 8,0 m's dybde.

Som følge af de opnåede resultater ved demonstrationsprojektet og mangel på mulige alternative metoder blev et egentligt afværgeprojekt igangsat af Vestsjællands amt i 2002 med etablering af to kunstige sprækker (begge i 4,5 meters dybde) i den nedre del af hotspot. Efter 6 måneders drift af DPE anlægget, viser de første resultater på luftafkast og vandprøver en tydelig fjernelse af klorerede opløsningsmidler. Forventet driftsperiode er 15 år, og det er alt for tidligt at evaluere egentlige oprensningseffekter på Haslevgrunden.

### **Oprensningsniveauer**

Erfaringsopsamlingen vedrørende hvilken opretningsniveau der kan forventes, er helt og holdent begrænset til foreløbige resultater fra Nordamerika. Der foreligger således ingen status fra hverken den amerikanske miljøstyrelse (USEPA) eller U.S. Department of Energy

(USDOE) for vejledende oprensingsniveauer, der kan forventes for fraktureringsmetoden. Det må formodes at være betydelig afhængig af, hvilken anden metode de kunstige sprækker kombineres med. Der må forventes at gå flere år inden erfaringerne fra de to danske teknologiafværgeprojekter foreligger.

## **DISKUSSION**

### **Fordele ved teknikken**

- En øget influensradius / hydraulisk effekt i såvel mættet som umættet zone moræneler er veldokumenteret fra udlandet. For mættet zone i moræneler er samme tendens eftervist ved det danske teknologiprojekt med hydrauliske frakturering fra lodrette borer.
- Det er rimeligt at forvente en afkortet driftstid af oprensningen på danske afværgeprojekter i moræneler. Drifts ved begge de to danske teknologiprojekter har været for korte, så ingen danske erfaringer er opnået endnu.
- Fraktureringsmetoden står sjældent alene, men kan anvendes i kombination med en lang række andre afværgeteknikker.
- Mulighed for direkte dosering af næringsstoffer og mikroorganismer.
- Udenlandske erfaringer viser, at metoden tilsyneladende er effektiv til at nå målsætningen for oprensingsniveau i såvel jord som grundvand for klorerede opløsningsmidler, BTEX og PAH komponenter

### **Ulemper ved teknikken**

- Indgående geologisk og geoteknisk karakterisering af en potentiel fraktureringslokalitet er nødvendig, da den opsprækkede geologiske formation muligvis har tilstrækkelig permeabilitet, så en yderligere frakturering ikke behøves.
- Frakturering nær bygninger og rørledninger behøver en forudgående vurdering af eventuelle skader som følge af jordhævning. Bygningsfundamenter kan grundet sin vægt afbøje den kunstige sprække så den får en utilsigtet udbredelse. Trods denne viden er mange kunstige sprækker i udlandet blevet etableret nær / under bygningskonstruktioner uden væsentlige problemer.
- Den nøjagtige geometri og udbredelse af en kunstig sprække er ikke mulig at dokumentere forud for etablering af sprækken. Eksisterende sprækkemodeller, som prognoseværktøj for forudsigelse sprækkeudbredelsen, er utilstrækkelige. Det vurderes imidlertid at være nyttigt at benytte egnede sprækkepropageringsmodeller (fx CIRFRX) til dimensionering af specielt de initiale injektionstryk ved etablering af hydrauliske sprækker.

## **ØKONOMI**

### **Danske erfaringer**

#### Frakturering fra lodret boring

Anlægsudgiften forbundet med komplet installation af 2 lodrette testboringer med frakturering i én dybde i hver boring har beløbet sig til i alt ca. kr. 250.000 eller ca. kr. 125.000 pr. boring udbygget med frakturering (2001 pristal, ex. moms). I de angivne priser er alle udgifter indregnet til entreprenør, amerikansk konsulent, samt udgifter til indledende geotekniske undersøgelser og vurdering af byggeriets tilstand. Derimod er udgifter



forbundet med sprækkeidentifikation, hydrauliske tests, etablering af monitoringsboringer, tilsynsrapport, samt udgifter til rådgiver ydelser ikke indeholdt disse aktiviteter.

De anførte priser vurderes af projektets rådgiver at være høje, idet der er afsat beløb til forsøgsopstilling samt amerikansk konsulent fuld tid under etableringen. Endvidere havde entreprenøren kalkuleret med ekstra mandskab under frakturering for at sikre succesfuld og problemfri projektgennemførelse. Det vurderes, at etablering af en afværgeboring (5-10 m dyb) udbygget med en hydraulisk sprække på kommercielle vilkår kan udføres for ca. kr. 50.-75.000 pr. stk. Herudover skal der regnes med ca. kr. 50.000 til geotekniske undersøgelser samt ca. kr. 10.000 til tilstandsvurdering af bygninger pr. lokalitet. Enhedsprisen vil naturligvis være afhængig af den aktuelle opgaves omfang, herunder antal af boringer og sprækker, samt hvilke dybder der skal udføres på én lokalitet. Med en stigende erfaringsopbygning hos entreprenøren og rådgiver må det desuden forventes at behovet for ekstern konsulent bliver mindre.

#### Frakturering fra vandrette boringer /dræn

Anlægsudgiften ved komplet etablering af 2 vandrette frakturerede dræn (ø 110 mm) á 35 m's længde har beløbet sig til kr. 7.100 pr. løbende meter dræn (lbm) eller en totaludgift på ca. kr. 500.000 (pristal 2000, ex. moms). I den angivne lbm-pris er indregnet totaludgifterne til entreprenør, amerikansk konsulent, samt udgifter forbundet med indledende geologiske og geotekniske undersøgelser (sigtekornanalyse, OCR-værdi bestemmelse, mv.). Derimod er udgifterne, forbundet med den gennemførte sprækkeidentifikation, hydrauliske tests, supplerende geologiske undersøgelser (sonderinger, incl. georadarsondering), etablering af nye monitoringsboringer samt udgifter til rådgiverydelser, ikke indeholdt.

I det konkrete projekt skønnede rådgiveren, at 2 frakturerede dræn ville have samme hydrauliske effekt, som 3-5 almindeligt etablerede vandrette dræn (uden frakturering). Anlægsudgiften af de frakturerede dræn skal derfor sammenholdes med etablering af 3-5 ufrakturerede dræn á 35 m's længde, der har en anslået anlægspris på ca. kr. 3.400 pr. lbm., eller en totaludgift på mellem kr. 360.000 og kr. 600.000. Den anførte lbm-pris for komplet etablering af frakturerede dræn, vurderes dog at være for lav for frakturering af dræn ved senere kommercielle vilkår i Danmark, da arbejdet skønnes at være udført af entreprenøren uden fortjeneste.

Set i lyset af ovenstående, samt ud fra det faktum, at hydraulisk frakturering ved vandret boreteknik stadig er på forsøgsstadiet i Danmark og hermed kræver store udgifter til såvel rådgivnings- og entreprenørydelser, vurderes en realistisk lbm-pris på kr. 10.000-15.000 at skulle påregnes i forbindelse med udarbejdelse af budgetoverslag for kommende projekter af denne type. De danske økonomital kan opsummeres som angivet i Tabel 3.

Tabel 3. Skønnede projektkostninger til aktiviteter på Vestergadelokaliteten i Haslev afholdt under Teknologiudviklingsprogrammet (TUP), samt skønnede udgifter til afværgeprojekt. Skønnede projektkostninger på Slagelsevejlokaliteten er eksklusiv udgifter til aktiviteter under TUP. Hele 1000 kr. ekskl. moms, prisniveau 2001. Teknikken er under udvikling/afprøvning, hvorfor udgifterne i tabel 3 typisk vil være højere end ved tilsvarende efterfølgende sager. Dele af tabellen er taget fra /8/.

Projekt	Rådgiver	Entreprenør, Laboratorium, mv.	Rådgiver	Entreprenør, Laboratorium, mv.	Driftstid <sup>3)</sup>	Oprensningsniveau <sup>4)</sup>	
	Projektering <sup>1)</sup> Anlæg og indkøring  Kr. 1.000	Projektering <sup>1)</sup> Anlæg og indkøring <sup>1)</sup>  Kr. 1.000	Drift <sup>2)</sup>  Kr. 1.000	Drift <sup>2)</sup>  Kr. 1.000	År	Er/kan de relevante kvalitetskrite- rier nået/nås	Er/kan risikoen elimineret/ -es?
Vestergade 10, Haslev TUP	345	597 <sup>5)</sup>	-	-	-	-	-
Vestergade 10, Haslev Afværge- projekt	375	1.064 <sup>5)</sup>	32	79	10-15	-	-
Slagelsevej, Næstved	-	500 <sup>5)</sup>	-	-	-	-	-
Slagelsevej, Næstved efterfølgend e projekt	-	700-1.050 <sup>5)</sup>	-	-	-	-	-

- 1) Projektering omfatter skitse- og detailprojekt herunder eventuelle specielle undersøgelser og tests, som den aktuelle teknologi måtte forudsætte.
- 2) Udgiften omfatter de samlede driftsudgifter i hele projektperioden.
- 3) Anslået driftstid.
- 4) Besvarelse heraf vil i høj grad være usikker og/eller baseret på et skøn.
- 5) Udgifterne omfatter entreprenør, amerikanske konsulent, indledende geotekniske undersøgelser og vurdering af stand af bygninger.

## Udenlandske erfaringer

### Frakturering fra lodrette borer

Som udgangspunkt er prisen på at etablere kunstige sprækker fra lodrette borer med luft eller vand / boremudder ens. Erfaringen viser, at stykprisen for en kunstig sprække er afhængig af flere forhold, hvor den mest betydelige er antallet af sprækker, der skal etableres i den enkelte boring.

Den amerikanske miljøstyrelse har beregnet en typisk pris til mellem 950 og 1.450 US\$ (1993 pristanal) pr. sprække dvs. omkring kr. 10.000 (1 US\$ = kr. 8.00). En anden opgørelse af sprækkeprisen er foretaget af det rådgivende amerikanske sprækkefirma FrX. Denne opgørelse er sket på baggrund af projekter udført i de seneste fem år. Vakuumeekstraktion, biologisk oprensning og dobbeltfaseekstraktion har sprækkepriser varieret fra under 1.500 US\$ og op til 2.500 US\$ dvs. omkring kr. 28.000. Prisen pr. sprække for eksperimentelle

forskningsprojekter med elektroosmose og barriereteknologi er ikke overraskende noget dyrere (over 2.500 US\$).

#### Frakturering fra vandrette boringer /dræn

Det har ikke været muligt at finde udenlandske opgørelser på anlægsudgifter ved frakturering af vandrette dræn / boringer.

### **KONKLUSION OG PERSPEKTIV**

Det forventes, at teknologien kan bruges i forbindelse med en række danske oprensninger af forurening i moræneler. Det gælder fx nedlagte olie/benzinrunde, tjæreforurenedede gasværksrunde og renserrunde forurenet med klorerede opløsningsmidler, som et supplement til andre oprensings- og afværgeteknikker. Den ny oprensningmetode vil være mest effektiv på lerede jordbundstyper som dem, der dækker et betydeligt areal af Danmark, nemlig store dele af Sjælland, Fyn og det østlige Jylland. Specielt skal nævnes, at de sandede morænelersaflejringer og tertiære lerarter (fx lillebælts ler og glimmerler) vurderes at have størst potentiale for en succesfuld etablering af horisontale hydrauliske sprækker, da disse lerede jordtyper oftest er overkonsoliderede.

Frakturering fra lodrette boringer er en veldokumenteret metode i udlandet, hvorfor den meget sandsynligt også vil kunne vise sig økonomisk fordelagtig og effektiv at bruge i Danmark, når større erfaring er opnået af rådgivere og entreprenører. Frakturering fra vandrette boringer eller dræn vurderes derimod ikke at være tilstrækkelig udviklet. Før metoden vil finde stigende anvendelse, og anbefales brugt på kommercielle betingelser i Danmark, er der et betydeligt behov for en yderligere erfaringsopsamling.

### **REFERENCER**

- /1/ Miljøstyrelsen, 2002. Hydraulisk frakturering udført ved vandret boretækning. Design og anlæg. Miljøstyrelsens teknologiudviklingsprogram for jord- og grundvandsforurening. Miljøprojekt Nr. 699.
- /2/ Walsted, L., Christensen, A.G., Husum, H., Brock, D. 2002. Kunstige sprækker – måske en hjælp til forureningsfjernelse. Ny Viden Nr.3/02.
- /3/ Miljøstyrelsen, 2001. Frakturering fra lodrette boringer på Vestergade 10, Haslev. Miljøstyrelsens teknologiudviklingsprogram for jord- og grundvandsforurening. Udarbejdet af NIRAS, NCC, Brøker A/S & FRx (USA).
- /4/ USEPA, 1994. Alternative methods for fluid delivery and recovery. EPA/625/R-94/003.
- /5/ Miljøstyrelsen, 2000. Frakturering. Miljøstyrelsens teknologiudviklingsprogram for jord- og grundvandsforurening. Miljøprojekt Nr. 541.
- /6/ USDOE, 2000. Remediation of DNAPLs in low permeability soils. Innovative Technology Summary Report. DOE/EM-0550. September 2000.
- /7/ Miljøstyrelsen, 1999. Vurdering af stødvis ventilation og pneumatisk opsprækning. Miljøstyrelsens teknologiudviklingsprogram for jord- og grundvandsforurening. Miljøprojekt Nr. 491.
- /8/ Miljøstyrelsen, 2002. Afprøvede teknologier under Miljøstyrelsens Teknologiprogram for jord- og grundvandsforurening. Miljøprojekt nr. 714.
- /9/ Schuring, JR. 2002. Fracturing technologies to enhance remediation. Technology evaluation report for GWRTAC, TE-02-02.