

## Effektiv sløjfning af boringer

Udvikling af ny metode til sløjfning af boringer

Hans Christian Krarup og Mogens Brems Knudsen  
Carl Bro A/S

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

# Indhold

<b>FORORD</b>	<b>5</b>
<b>SAMMENFATNING OG KONKLUSION</b>	<b>7</b>
UNDERSØGELSE AF EKSISTERENDE SLØJFNINGSMETODER	7
VALG AF METODE	7
FORSØG	7
KONKLUSION OG ANBEFALING	7
<b>SUMMARY AND CONCLUSION</b>	<b>9</b>
INVESTIGATIVE STUDIES OF EXISTING METHODS OF WELL ABANDONING	9
CHOICE OF METHOD	9
TEST	9
CONCLUSION AND RECOMMENDATION	9
<b>1 INDLEDNING</b>	<b>11</b>
1.1 BAGGRUND	11
1.1.1 <i>Utætte borer</i>	11
1.1.2 <i>Skorstenseffekt</i>	11
1.2 FORMÅL	12
<b>2 EKSISTERENDE METODER</b>	<b>13</b>
2.1 SLØJFNINGSMETODER I DANMARK	13
2.2 SLØJFNINGSMETODER I UDLANDET	14
2.2.1 <i>Sløjfningsmetoder i U.S.A.</i>	14
2.2.2 <i>Sløjfning af borer i Minnesota</i>	15
2.2.3 <i>Beslægtede metoder fra olieindustrien</i>	16
<b>3 VALG AF METODE</b>	<b>19</b>
3.1 UDVÆLGELSESKRITERIER	19
3.2 SLØJFNINGSKONCEPTET	19
3.2.1 <i>Dataindsamling</i>	19
3.2.2 <i>Udarbejdelse af sløjfningsstrategi</i>	19
3.2.3 <i>Udførelse af sløjfning</i>	20
3.2.4 <i>Kvalitetssikring af sløjfningen</i>	21
<b>4 ANVENDELSESOMRÅDER</b>	<b>23</b>
4.1 BØRINGER	23
4.2 BRØNDE	23
<b>5 FORSØG</b>	<b>25</b>
5.1 MODELOPSTILLING	25
5.1.1 <i>Opstilling af model</i>	25
5.1.2 <i>Konklusion på modelforsøg</i>	27
5.2 PERFORERINGSFORSØG	27
5.2.1 <i>Perforering i teori</i>	28
5.2.2 <i>Perforering i praksis</i>	28
5.2.3 <i>Konklusion på perforeringsforsøg</i>	29
5.3 SLØJFNING AF INDVINDINGSBORING	30
5.3.1 <i>Strategi for sløjfning af Lyseng VI</i>	30

5.3.2	<i>Sløjfning af Lyseng VI i praksis</i>	32
5.3.3	<i>Konklusion på sløjfning af Lyseng VI</i>	34
<b>6</b>	<b>KONKLUSION OG ANBEFALINGER</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>LITTERATUR</b>	<b>39</b>

Bilag A: Borejournal for Lyseng VI

# Forord

Denne rapport er udarbejdet på baggrund af et udviklingsprojekt, der er finansieret af midler fra Vandfonden (Miljøstyrelsen) og Carl Bro as interne innovationspulje.

Udviklingsprojektet er udført af Carl Bro as. Projektgruppen hos Carl Bro as har bestået af følgende personer:

Niels Konge Nielsen  
Hans Christian Krarup  
Peter Alfred Petersen  
Mogens Brems Knudsen

Der er nedsat en følgegruppe, hvor følgende personer har deltaget:

Bente Villumsen (Miljøstyrelsen)  
Vagn Jensen (Amtsrådsforeningen)  
Jørgen Zeberg Madsen (Kommunernes Landsforening)  
Peter Mortensen (Danva)

Følgegruppen har fungeret som faglig sparring og er kommet med mange værdifulde kommentarer og forslag til projektet.

Følgende har bidraget til projektet ved at stille personale og udstyr til rådighed:

Århus Kommunale Værker  
Århus Amt  
Ingeniørhøjskolen i Århus



# Sammenfatning og konklusion

## Undersøgelse af eksisterende sløjfningsmetoder

Der er foretaget en grundig undersøgelse af eksisterende sløjfningsmetoder og beslægtede teknologier i Danmark såvel som udlandet. De metoder, der anvendes i Europa afviger ikke meget fra de metoder, som benyttes i Danmark. I U.S.A. er der til gengæld flere metoder, der er relevante at tage med i betragtning ved udvikling af nye metoder til sløjfning af borer. Olieindustrien gør brug af beslægtede teknologier, der kan modificeres til grundvandsbeskyttelse.

## Valg af metode

Med udgangspunkt i den ovennævnte undersøgelse blev det vurderet, at der var behov for et samlet sløjfningskoncept.

Ved brug af udvælgelseskriterier blev der udvalgt et sløjfningskoncept, som består af følgende delelementer:

- Dataindsamling
- Udarbejdelse af sløjfningsstrategi for den pågældende boring
- Udførelse af sløjfning
- Kvalitetssikring

Sløjfningen af boringen udføres ved:

- Perforering af forerør, udføres som intervaller ud for forskellige lerlag.
- Forsegling i og omkring forerør ved groutinjicering.

## Forsøg

Med henblik på en afprøvning af teorien bag den valgte metode blev der udført model- og feltforsøg. Med udgangspunkt i erfaringer, erhvervet under udførelsen af forsøgene, blev der sløjfet en vandforsyningsboring. Sløjfningen af boringen forløb tilfredsstillende.

## Konklusion og anbefaling

Der er udviklet et sløjfningskoncept som efterfølgende er afprøvet med tilfredsstillende resultat. Konceptet er velegnet til sløjfning af de fleste slags borer og kan modificeres, så det kan anvendes i traditionelle brønde.





# Summary and conclusion

Investigative studies of existing methods of well abandoning

A thorough study of existing methods of well abandoning and related technologies in Denmark as well as in other countries has been conducted. The methods used in Europe are similar to the ones used in Denmark. U.S.A. on the contrary utilizes several methods of which are worth taking in consideration in developing new methods of well sealing. The oil industry has been using similar technologies regarding blowbacks and decommissioning oil and gas wells. Some of the technologies could be modified for groundwater use.

Choice of method

The results of the research indicated that there was a need for complete well sealing concept.

Specific criteria were made in order to choose the appropriate well sealing concept of which consists of the following elements:

- Data collection.
- Creating a strategy for the well sealing.
- Well sealing.
- Quality assurance.

The method used for sealing consists of:

- Perforation of the casing, the perforated interval is situated in the same depth as the layers of clay.
- Groutinjection in and outside the casing thus sealing the annulus.

Test

The theory behind the well sealing concept was tested by the use of models and field tests. Based on the results from the previous tests a water well was sealed. The sealing process was satisfactory.

Conclusion and recommendation

A well sealing concept has been developed and tested with satisfactory results. The well sealing concept is appropriate and recommendable for sealing most types of wells furthermore the concept can be modified for use sealing dug wells.



# 1 Indledning

## 1.1 Baggrund

I gennem det seneste årti har der været en øget opmærksomhed på problematikken vedrørende grundvandsforurening. Talrige fund af miljøfremmede stoffer i relative store dybder har bevirket, at man i flere år har haft mistanke om, at fejlkonstruerede boringer, herunder boringer af dårlige/uegnede materialer, har fungeret som kortslutning mellem overfladenære magasiner og dybtliggende magasiner. Der er udført en række undersøgelser og projekter som bekræfter denne mistanke.

På baggrund heraf er der iværksat en række initiativer og udredningsprojekter angående problemets omfang og hyppighed. F.eks. projektet Pesticider og vandværker /1/ som bl.a. består af et udredningsprojekt angående almindelig praksis inden for brøndboring og mulige kilder til dårlige boringer.

### 1.1.1 Utætte boringer

Utætte boringer er en betegnelse, der dækker over lækager gennem eller langs forerør. Dårlig udførte boringsafslutninger har længe været kendt som en af årsagerne til forureninger af boringer. De er forholdsvis enkle at kontrollere og eventuelle fejl kan som regel udbedres uden større besvær. Det skyldes, at boringsafslutninger som regel er tilgængelige (terrænnær) i modsætning til utætte forerør (herunder forerør med skorstenseffekt), hvor årsagen ikke umiddelbart er synlig, da fejlen er i den underjordiske del af boringen. Dette medfører, at undersøgelserne bliver mere komplicerede. Begrebet utætte forerør dækker over gennemtærede forerør, utætte samlinger, bortrustede skruer og nitter m.m..

### 1.1.2 Skorstenseffekt

Begrebet skorstenseffekt er opstået i denne forbindelse og dækker over en vertikal strømning langs ydersiden af forerørene gennem de forskellige geologiske lag. Det nedsivende vand resulterer i en kontaminering af de underliggende magasiner.

Årsagen til skorstenseffekten er en utilstrækkelig/fejlplaceret eller manglende lerspærre ved de gennemborede lerlag. Det kan også skyldes, at der til lerspærren blev anvendt et materiale, der senere har vist sig uegnet til forsegling. F.eks. blev Duranitkugler anvendt til lerspærre igennem en årrække. Det er senere konstateret, at kuglerne ikke har den forseglende virkning, der var angivet i produktbladet.

Det kan også skyldes forkert anvendelse af de pågældende forseglingsmaterialer under udførelsen af boringen.

Det vurderes, at skorstenseffekten er et problem, der er gældende for de fleste boringer udført før 1990`erne samt en del af de boringer, der er udført senere.

Skorstenseffekten er forsat et problem for sløjfede boringer. Det skyldes, at boringerne kun er forseglet indvendig i forerøret, dermed forbliver annulus

åben ved en almindelig sløjfning. Det medfører, at borer, der "ikke eksisterer mere", stadig kan udgøre en skjult trussel mod grundvandet.

## 1.2 Formål

Som en følge af de nævnte problemer med aktive og sløjfede borer, er der opstået et behov for en effektiv metode, der kan sløjfe borer forsvarligt.

Nærværende projekt har til formål at udvikle nye metoder til sløjfning af borer.

Med realistisk menes, at metoden skal være robust, effektiv og samtidig økonomisk overkommelig. Metoden skal kunne stoppe nedsivende vand inden i såvel som uden for forerøret.

Der fokuseres ikke udelukkende på den praktiske udførelse af sløjfningen af borer, men også om der behov for ændringer af de administrative forhold vedrørende sløjfning af borer.

## 2 Eksisterende metoder

Gennem en årrække er der udviklet adskillige metoder til sløjfningen af boringer, nogle mere succesfulde end andre. Derfor er det naturligt at undersøge de eksisterende metoder forud påbegyndelse af et større udviklingsprojekt. Det vil være unødvendigt og et spild af ressourcer at udvikle en ny metode, såfremt der allerede eksisterer en egnet metode. I denne forbindelse er der udført en omfattende informationssøgning på internettet. Desuden er der foretaget en grundig litteratursøgning af relevante artikler og bøger.

Søgningen har været rettet mod komplette sløjfningsmetoder, delkomponenter og beslægtede teknologier. I første omgang blev der rettet fokus på vandsektoren, men efterhånden som projektet skred frem, blev der også fokuseret på relevante processer i andre brancher, især olieindustrien.

### 2.1 Sløjfningsmetoder i Danmark

Af indlysende årsager er der ikke observeret revolutionerende sløjfningsmetoder i Danmark. I nedenstående beskrives nogle af de metoder, der anvendes eller har været anvendt til sløjfning af boringer og brønde.

Det har været almen praksis at udtjente eller defekte boringer og brønde blev fyldt op med sand, sten, ler m.m., i sjældne tilfælde afsluttet med et lag cement eller ler. Der er eksempler på gamle brønde, der er fyldt med murbrokker, affald m.m..

I de senere år er det blevet mere almindeligt at fjerne forerøret til min. 1 m u. t. og derefter fylde boringen op med rent sand, bortset fra området umiddelbart over filterområdet samt den øverste meter af boringen, som blev opfyldt med ler, bentonit, beton eller en blanding betående af bentonitcement.

Kvaliteten af sløjfningerne har været meget varierende. Det skyldes bl.a. at sløjfningerne blev udført af personer uden tilstrækkelig viden og erfaring, sparsommelighed, manglende tilsyn og konsekvens/straf ved forkert sløjfning af boring.

Overboring er den eneste tilgængelige metode, der med rimelig sikkerhed kan opfylde kravene til sløjfning af boringer. Overboring foregår ved, at der nedbores et stort borerør uden om boringen. Når borerøret er nået til den ønskede dybde, fjernes filter og forerør. Efterfølgende fyldes boringen med bentonit. I takt med opfyldningen trækkes borerøret tilbage. Alternativt er det muligt at fjerne filter og forerør og derefter udbygge boringen med nye materialer og forseglinger. Metoden er desværre for dyr til, at den er inden for økonomisk rækkevidde for de fleste boringsejere. Metoden anvendes hovedsageligt af større vandforsyningselskaber, der ønsker en forsegling af utætte boringer i oplandet til værdifulde kildepladser.

Bekendtgørelse om udførelse og sløjfning af boringer og brønde på land /2/ udkom i juli 2002. Bekendtgørelsen indeholder væsentlige krav til sløjfning af

boringer og brønde. Det bevirker at, følgende punkter vil blive et direkte resultat af bekendtgørelsen:

- Etablering og sløjfning m.v. af boringer og brønde i henhold til denne bekendtgørelse skal udføres af personer, der opfylder de fastsatte krav i BEK nr. 145 af 2. februar 2002 /3/.
- Myndigheder kan påbyde sløjfning af overflødige boringer og brønde.
- Sløjfningen skal foretages på en måde, der sikrer, at der ikke sker en forurening af grundvandet eller udveksling af vand mellem forskellige grundvandsmagasiner.
- Såfremt der er gennemborede lerlag, hvor der ikke efterlades forerør, skal lerlagets forseglende evne reetableres. Det forseglende materiale skal anbringes i lerlagets dybde og i mindst en tykkelse svarende til lerlaget.
- Sløjfningen af en boring skal indberettes til GEUS, Den udførende skal sørge for det sker inden for 3 måneder efter sløjfningen.

Det fremgår af ovenstående, at overboring er den eneste metode (der er praktiseret i Danmark) der kan opfylde kravene i den nye bekendtgørelse. En boring kan sløjfes ved at fylde boringen med et forseglende materiale, såfremt der er vished om, at annulus er forseglet på en forsvarligt måde.

## 2.2 Sløjfningsmetoder i udlandet

Informationssøgningen om sløjfningsmetoder der anvendes i udlandet har resulteret i følgende:

- Europa: Der er ikke fremkommet oplysninger, der afviger væsentligt fra de metoder der anvendes i Danmark. Det kan til dels skyldes, at søgningen hovedsageligt er foregået på engelsk, såfremt der var anvendt andre europæiske sprog var der formentligt fremkommet flere oplysninger. Det vurderes dog, at den generelle praksis for sløjfninger af boringer og brønde ikke afviger væsentligt fra den danske praksis.
- U.S.A: Alle delstater har en form for sløjfningsstandard, dog er der meget stor forskel på de enkelte delstater standarder og de metoder, der anvendes i de respektive delstater. For nogle delstater vedkommende vurderes det, at sløjfningspraksisen ikke er bedre end den, der har været anvendt i Danmark. Andre stater f.eks. Minnesota har en meget høj standard og strenge regulativer for sløjfninger af boringer/brønde.
- Olieindustrien: Der anvendes forskellige metoder til forsegling af olie-/gasboringer samt til forhindring af "blowbacks". Nogle af metoderne er interessante i forhold til sløjfninger af vandforsyningsboringer.

### 2.2.1 Sløjfningsmetoder i U.S.A.

Den store forskel på sløjfningspraksis i de forskellige delstater i U.S.A. skyldes hovedsageligt, at delstaterne har forskellige regulativer for sløjfninger af boringer/brønde. Nogle delstater har en mere liberal lovgivning inden for miljøområdet mens andre har en meget restriktiv lovgivning. Flere delstater har indført lov der medfører erstatningsansvar i tilfælde af forurening af grundvandsmagasiner. Boringsejere der har en gammel eller misligholdt boring/brønd, der er årsag til forurening af en anden boring skal sørge for rent vand i tilstrækkelige mængder til den anden boringsejer.

Foruden de metoder der anvendes i Danmark er der 2 andre metoder, der benyttes i større omfang og som er relevante at medtage i denne sammenhæng.

En metode der er meget udbredt i flere af de sydlige stater er, at fjerne forerør og filter, hvorefter den tomme boring opfyldes med en grout. I nogle stater er der krav om opfyldning med grout skal foregå i takt med, at forerør og filter fjernes. Der er forskellige krav til sammensætningen af grouten, Nogle stater forlanger en cementgrout, andre anbefaler en bentonitcementgrout. Nogle stater kræver at blanding kan betegnes som værende impermeable. Det vurderes, at denne metode ikke er egnet til danske forhold, hvilket bl.a. begrundes med, at der er stor risiko for sammenstyrning i boringen, hvilket kan resultere i brodannelse, der kan forårsage krydskontaminering. Desuden har der i Danmark været tradition for at udbygge boringer af forskellige slags materialer, hvoraf størstedelen vurderes uegnet til sløjfning ved brug af denne metode.

En anden metode der benyttes er at perforere, flække eller lave revner forskellige steder på forerøret og efterfølgende opfylde boringen med grout af enten cement, bentonit eller en af cement og bentonit. Herved flyder grouten ud i annulus via hullerne. Det vurderes, at denne metode kan modificeres til danske forhold.

### 2.2.2 Sløjfning af boringer i Minnesota

Delstaten Minnesota har den mest strenge administration af boringer og brønde i U.S.A., formentlig også på verdensplan. I 1970'erne blev der fokuseret på problemet med manglende overblik/kontrol over boringer og brønde. Det medførte blandt andet følgende tiltag:

- Det blev besluttet, at boreprofiler m.m. skulle overdrages til Minnesota Geological Survey, hvilket var et unikt skridt, da der var tradition for, at boreprofiler var brøndborernes ejendom. Det ville medføre, at boreprofilerne ville blive offentligt tilgængeligt, hvorved brøndborerne ville miste deres egne værdifulde oplysninger. Dermed ville konkurrerende brøndborere have mulighed for at benytte oplysninger og erfaringer andre brøndborere havde opbygget gennem flere generationer.
- På baggrund af de oplysninger Minnesota Geologic Survey kom i besiddelse af blev det antaget, at der var ca. 1.000.000 boringer i Minnesota (indbyggere i 2000: ca. 4.9 millioner, areal: 225,182 km<sup>2</sup>). Det store antal boringer, medførte et behov for en aktiv indsats for beskyttelse af grundvandsressourcerne. I 1980'erne besluttede US Environmental Protection Agency, at det var op til de enkelte delstater at udarbejde deres egne programmer for grundvandsbeskyttelse. Det resulterede i, at Minnesota (i modsætning til mange andre stater) valgte et meget aggressivt program.
- Der blev udarbejdet en standard for sløjfning af boringer. Efterfølgende blev ubenyttede eller dårlige boringer erklæret ulovlige, hvilket resulterede i, at de skulle sløjfes af autoriserede brøndborere. Brøndborerne udarbejder efterfølgende et certifikat, der dokumenter sløjfningen af boringen.
- Ved ejendomshandel skal foreligge et certifikat der dokumenterer hvorvidt boringer/brønde på ejendommen er sløjfet eller ej (boringer der benyttes er undtaget). Såfremt det ikke kan dokumenteres, skal den nye ejer sørge for dette. Da sløjfningsegne boringer er ulovlige

har det medført, at kreditforeninger som regel ikke vil yde lån til ejendomme hvor der er uvished om tilstedeværelsen af boringer/brønde i denne kategori. I praksis anbefaler ejendomshandler, at ejendommen gennemgås af en brøndborer og evt. mangler udbedres før salg.

- I løbet af det sidste årti er der sløjft ca. 12.000 boring/brønde om året.
- I 2002 var der afsat 600.000 USD specifikt som tilskud til sløjfninger af boringer.

Følgende fremgangsmåde benyttes ved sløjfning af boringer:

1. Brøndboreren vurderer, hvorvidt annulus er forsegleet naturligt eller ej, hvilket vurderes ud fra en besigtigelse af boringen, boringens alder, konstruktion og geologi. Såfremt der er tvivl om den forseglende effekt i annulus, foretages der en gammalog af boringen udført uden beregning for boringsejeren.
2. Hvis annulus vurderes tæt, injiceres en cementgrout i boringen. Grouten skal injiceres i bunden af boringen. Hermed bliver grouten presset op i boringen.
3. I det tilfælde annulus ikke vurderes værende tæt, perforeres forerøret forud for injicering af boringen.
4. Brønde sløjfes ved opfyldning med en blanding af bentonit og jord.

Den anvendte sløjfningspraksis i Minnesota vurderes at være både interessant og relevant i udviklingen af en metode til effektiv sløjfning af boringer i Danmark. Der er dog forhold, der bevirker, at det ikke umiddelbart er muligt at overføre metoden til Danmark. Det skyldes, at der er stor forskel på, hvilke materialer og metoder der er anvendt til udførsel af boringer.

I U.S.A. har der i mange år været tradition for anvendelsen af stålforerør. De ældre boringer blev ofte udført som tørboringer, hvor borerørerne efterfølgende blev benyttet som forerør.

En anden udbredt metode i U.S.A. er, at der bores til filterdybden, hvorefter der installeres et stålforerør, evt. med et filterrør (såfremt det er tilfældet monteres en sko mellem forerør og filter. Derefter injiceres en cementgrout i annulus, hvilket bevirker, at forerøret bliver støbt fast. I de tilfælde hvor der ikke monteres filter genoptages borearbejde med en mindre dimension til den ønskede dybde (ligesom ved adskillige kalkboringer i Danmark).

De stålrør, der har været anvendt, er hovedsagligt fremstillet i standarddimensioner. Det medfører, at det er forholdsvis let at udvikle værktøj til perforering af forerørene. Værktøjerne til perforering er ofte fremstillet til en bestemt dimension forerør og bestemt materiale. Det er derfor nødvendigt at have et værktøj til hver type forerør der ønskes perforeret.

### 2.2.3 Beslægtede metoder fra olieindustrien

Olieindustrien har lignede problemer med boringer. I det ene tilfælde gælder det sløjfning af udtjente/uproduktive boringer og det andet at forhindre gasser i at trænge op langs ydersiden af boringen.

Denne metode betegnes "squeeze cementing". Det foregår ved at forerøret perforeres i det interval der ønskes sløjft. Efterfølgende monteres en packer der er specielt designet til formålet. Packeren er tilsluttet et rør, hvorigennem



der under et højt tryk injiceres cementgrout ud i formation, så der dannes en tæt prop omkring forerøret.

Der er udviklet en række værktøjer til dette formål og metoden er gennemprøvet med gode resultater. Værktøjerne er specifikt udviklet til anvendelse inden for olieindustrien, hvilket gør, at de fleste værktøjer ikke passer til vandforsyningsboringer. Værktøjerne bærer præg af, at olieindustrien har betydelig større økonomiske ressourcer til rådighed i forhold til vandsektoren, hvorfor der ikke er taget særlig store hensyn til anskaffelsespriser. Det medfører, at de fleste anvendelige værktøjer er uden for økonomisk rækkevidde i forbindelse med vandforsyningsarbejde. Teorien bag metoderne kan dog med fordel anvendes til sløjfning af boringer.



# 3 Valg af metode

## 3.1 Udvælgelseskriterier

Efter gennemgang af de eksisterende metoder samt ikke afprøvede metoder m.m. vurderes det, at der er behov for et samlet sløjfningskoncept. Til udarbejdelsen af sløjfningskonceptet blev følgende udvælgelseskriterier opstillet:

- Skorstenseffekten skal elimineres på en effektiv måde, så der ikke er mulighed for krydskontaminering.
- Metoden skal give vished om, at boringen ikke længere udgør en trussel mod grundvandet.
- Sløjfningskonceptet skal gennemføres således, at det fremover kan sætte standarden for sløjfninger af boringer.
- De fleste slags boringer uanset materiale skal kunne sløjfnes ved benyttelse af konceptet.
- Sløjfningskonceptet skal kunne udføres inden for økonomisk overkomme-lige rammer, så flest mulige boringsejere har mulighed for at benytte den.

## 3.2 Sløjfningskonceptet

Sløjfningskonceptet skal fremstå som et samlet koncept, hvori der indgår flere delelementer. Såfremt sløjfningskonceptet anvendes skal alle delelementer indgå i sløjfningen af en boring. Delelementer må ikke fravælges, da det medfører begrebsforvirring hos de forskellige involverede boringsejere, myndigheder, vandforsyninger m.m.. Herved opnås der sikkerhed for, hvad der er foretaget under sløjfningen af boringen.

Sløjfningskonceptet skal bestå af følgende delelementer:

- Dataindsamling.
- Udarbejdelse af sløjfningsstrategi for den pågældende boring.
- Udførelse af sløjfning.
- Kvalitetssikring af sløjfningen.

### 3.2.1 Dataindsamling

Der udarbejdes en historik for boringen på grundlag af:

- Boreprofil. Såfremt der ikke eksisterer et boreprofil for den pågældende boring, indhentes boreprofiler fra de nærmeste boringer.
- Indhentning af oplysninger om materialer anvendt i boringen, evt. ændringer, reparationsarbejder m.v. der efterfølgende er udført på boringen.
- Besigtigelse af boringen.

### 3.2.2 Udarbejdelse af sløjfningsstrategi

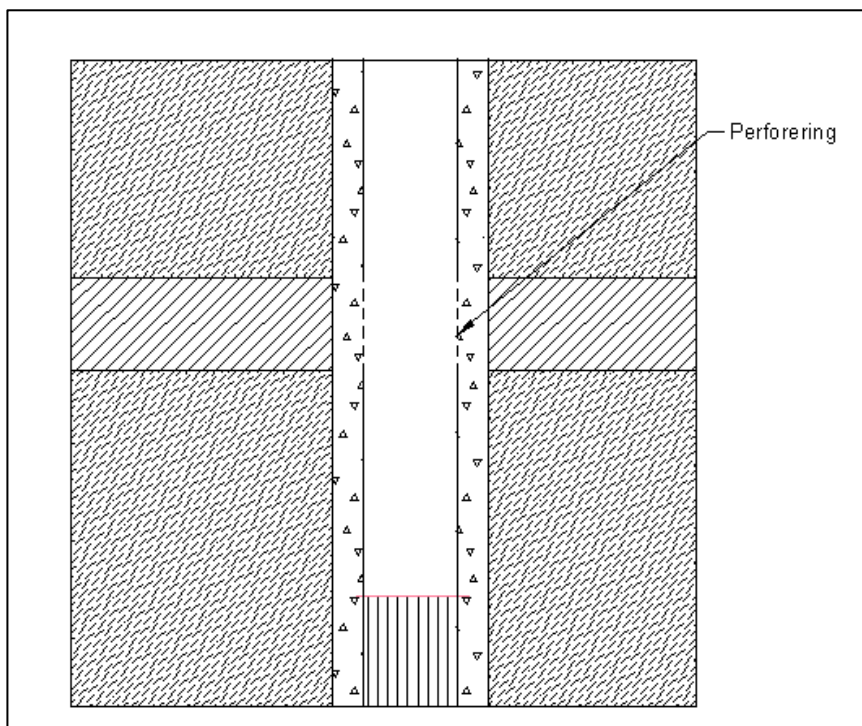
På baggrund af dataindsamlingen udarbejdes en sløjfningsstrategi, der består af:

- Udvælgelse af det nødvendige antal perforeringsintervaller. Der skal minimum være et perforeringsinterval for hver gennemboret lerlag. Perforeringsintervallet skal som minimum have en længde svarende til tykkelsen af lerlaget og skal placeres ud for lerlaget. Såfremt der er tvivl om lerlagets placering, skal der tages højde for dette ved at øge længden på perforeringsintervallet.
- Oplysninger om den samlede længde af perforeringsintervallerne og oplysningerne fra dataindsamlingen. På baggrund heraf beregnes den mængde grout, der skal til for at forsegle boringen.
- Vurdering af om det er nødvendigt at bruge en packer eller lignende til at sikre, at det nødvendige tryk er tilstede, så grouten kan injiceres ind i annulus og sikre en forsegling af denne. Såfremt der er tvivl anvendes packeren.

### 3.2.3 Udførelse af sløjfning

Sløjfningsstrategien der benyttes som fremgangsmåde ved sløjfning af boringen består af følgende:

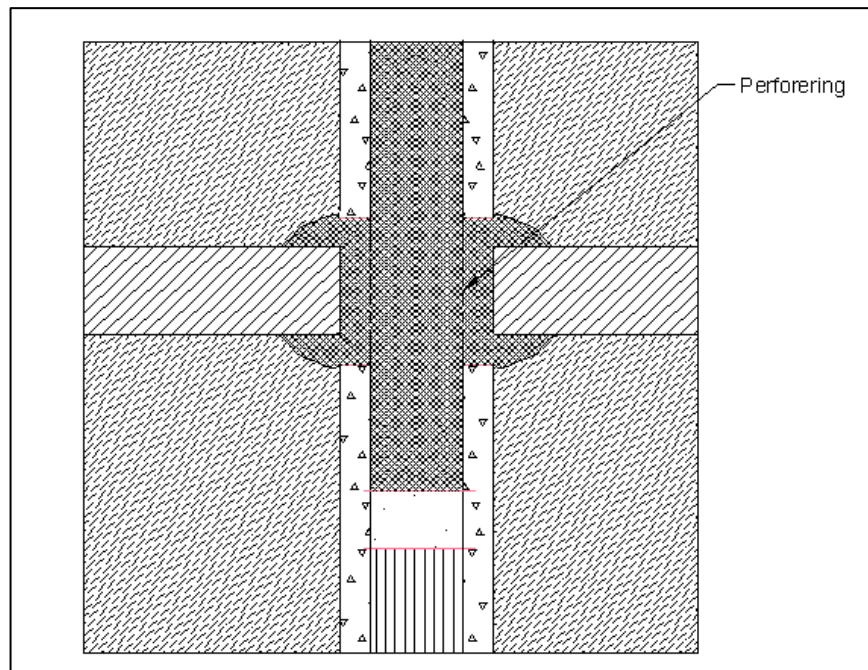
- Boringen bundpejles og dybden registreres.
- Forerøret perforeres i de intervaller, der er opgivet i sløjfningsstrategien. Under perforeringen observeres processen nøje. Eventuelle tegn eller lignende noteres. Figur 3.2.3.1 illustrerer en boring, der er perforeret ud for det lerlag, der adskiller 2 sandlag.



Figur 3.2.3.1 Illustrering af et forerør der er perforeret ud for lerlaget.

- Efter perforeringen foretages en kamerainspektion af perforeringerne. Efterfølgende bundpejles boringen igen. Eventuelle ændringer noteres.
- Filteret opfyldes med filtersand og forsegles med et lag bentonitgranulat eller lignende, der har samme egenskaber.

- Groutingstyr placeres, herunder pæker såfremt nødvendigt. Groutinjiceringen skal foregå fra bunden. Grouten må ikke "falde" igennem vandet, da der er mulighed for udvaskning af grouten.
- Injiceringen af grouten udføres, trykudviklingen på groutpumpen registreres løbende, groutens konsistens kontrolleres under processen. Når boringen er fyldt op, trækkes trykslangen langsomt tilbage samtidigt med, at der fortsat pumpes grout ned i boringen. Hvis der benyttes pæker fjernes denne først hvorefter groutinjiceringen forsættes indtil boringen er fyldt. Derefter følges ovennævnte procedure for tilbagetrækning af tryksslange.



Figur 3.2.3.2 Illustrering af en boring forsejlet ved injicering af grout igennem perforeringerne.

#### 3.2.4 Kvalitetssikring af sløjfningen

Der udarbejdes et standarddokument, der angiver de relevante forhold vedrørende sløjfningen af boringen. Dokumentet skal sikre, at boringen er sløjfet, således at den ikke længere udgør en trussel for krydskontaminering af grundvandsmagasiner.

Standarddokumentet skal indeholde følgende oplysninger:

- DGU nr., eventuelt boringens lokale betegnelse.
- Boringens udførelsesår, brøndborer og boremetode.
- Boreddybde, borediameter, forerørets materiale og dimension.
- Kort beskrivelse af boreprofil, evt. lerspærre, filtersætning m.m..
- Angivelser af perforeringsintervaller.
- Groutens sammensætning og forbrug.
- Navn på udførende firma, boreformand og projektleder.
- Øvrige kommentarer.

Kopier af dokumentet indsendes til kommune, amt og GEUS.



## 4 Anvendelsesområder

Udviklingen af sløjfningskonceptet har hovedsageligt fokuseret på sløjfningen af borer, men vil som helhed kunne anvendes til både borer og brønde. Det anbefales dog, at der skelnes mellem borer og brønde.

### 4.1 Borer

Sløjfningskonceptet kan anvendes ved sløjfning af alle typer borer. Det forudsætter dog, at der udvikles værktøj til perforering af de forskellige typer forerør. Materialerne som forerørene består af kan vanskeliggøre perforeringsprocessen. Borer med forerør af stål, PVC, PEH kan perforeres uden større besvær. Perforeringen af forerør af ovennævnte materialer foregår relativt let, da materialerne er velegnet til forskellige former for bearbejdning. Anderledes er det med f.eks. støbejern og eternit, materialer som er betydelig sværere at bearbejde. Begge materialer er hårde og forholdsvis skøre, hvilket medfører, at forerørene formentlig vil blive knust frem for at blive perforeret. Det vurderes, at der blot skal laves flere forsøg med disse materialer for at løse dette problem.

### 4.2 Brønde

Sløjfningskonceptet kan også anvendes ved sløjfninger af brønde. Dog bør der tages specielle hensyn under udarbejdelsen af sløjfningsstrategier. De specielle forhold, der er gældende for den enkelte brønd skal medtages i udarbejdelsen af en sløjfningsstrategi.

Brønde er som regel håndgravede og efterfølgende foret indvendig med teglsten, betonrør, sten og beton m.v.. De fleste brønde har en diameter mellem 0,8 m. og 2 m, hvilket medfører et stort materialeforbrug ved sløjfning af brønde.

Det væsentligste ved sløjfning af en brønd er at sikre, at der ikke siver vand gennem brønden til et andet magasin. Der er ikke lige så stor risiko for krydskontaminering, hvilket skyldes at brønde ofte har en begrænset dybde (sammenlignet med borer).

Kombinationen af stor diameter og de anvendte materialer resulterer i, at et perforeringsværktøj ikke vil være særlig anvendelig i en brønd. Proceduren for sløjfningen bør indeholde en oprensning af brønden, evt. lave huller i de nederste brøndringe eller fjerne nogle teglsten i brøndens indvindingszone. Efterfølgende opfyldes brønden med forseglende materialer. Ved arbejde i brønde skal der altid udvises stor forsigtighed og gældende sikkerhedsprocedurer skal overholdes.

Brønde indvinder hovedsageligt fra ubeskyttede og overfladenære magasiner. Det kan resultere i, at vandspejlet varierer en del i løbet af året med en evt. udtørring af det lag, hvor forseglingen er placeret. Derfor bør forseglingsmaterialer tilpasses til specifikt til den enkelte brønd. Det vil oftest

være mere eller mindre umuligt at anvende en packer i en brønd, derfor bør der tages speciel hensyn til dette.



# 5 Forsøg

I dette kapitel gennemgås de forsøg, der er udført i forbindelse med udarbejdelse af projektet. Hovedformålet med de 3 forsøg har været at afprøve og observere de forskellige delelementer, der indgår i sløjfningsprocessen og afslutningsvis en samlet afprøvning af konceptet. De 2 første forsøg har desuden haft til formål at opnå tilstrækkeligt med erfaringer og viden til, at det ville være forsvarligt at udføre et forsøg i en indvindingsboring uden risiko for yderligere kontaminering af grundvandet.

## 5.1 Modelopstilling

Med henblik på afprøvning af teorien bag den valgte metode blev der lavet en modelopstilling af sløjfningsprocessen af en boring. Hovedformålet med modelopstillingen var at afprøve teorierne, der ligger til grund for sløjfningskonceptet på en måde, hvor det var muligt at observere de forskellige metoder i sløjfningsprocessen. Det andet formål med modellen er, at den skal kunne benyttes til at visualisere sløjfningskonceptet.

Modellen forestiller et område, der består af 2 sandmagasiner adskilt af et lag ler. Der er 2 nærliggende boringer, der indvinder fra samme magasin, hvoraf den ene er utæt p.g.a. manglende lerforsegling, hvilket resulterer i en kortslutning af magasinerne.

### 5.1.1 Opstilling af model

Modellen består af en  $\varnothing 200$  mm cylinder (af gennemsigtig plexiglas) limet på en plexiglasplade. Cylinderen indeholder 2  $\varnothing 40$  mm plexiglasrør, det ene (boring A) er perforeret i den nederste del af røret og den anden rør (boring B) er perforeret over en længere strækning. Den store cylinder er fyldt med 2 lag filtersand separeret af et lag bentonit. Bentonitlaget er over boring A's perforeringer og dækker det mellemste del af perforeringer på boring B. Det resulterer i, at boring A er afgrænset til nederste sandlag i modsætning til boring B, der har kontakt til begge sandlag.

Boring A blev fyldt med vand hvilket resulterede i, at det nederste magasin blev mættet og vand trængte igennem perforeringerne på boring B, i takt med at vandtrykket steg i boring A steg vandspejlet i det øverste magasin. På trods af opkvældning i bentonitlaget var der stadig hydraulisk kontakt mellem magasinerne. Ændringer i vandspejlet i den ene boring medførte ændringer i den anden boring, hermed konstateres det, at der var en kortslutning mellem magasinerne.

Boring B skulle sløjfes for at fjerne kortslutningen, der var mellem magasinerne. Der blev monteret en gummiprop med en gennemgående PE-slange i boring B. Gummiproppen skulle virke som en grouting packer og slangen fungere som en injiceringslange. Denne metode skulle sikre, at der var tilstrækkeligt tryk tilstede så grouten kunne blive injiceret ud i formationen ved bentonitlaget.

Den benyttede grout bestod af: cement, cement stabiliseret bentonit og Optiroc In-Vert (et additiv der giver grouten tiksotropiske og ekspanderende

egenskaber). Blandingen er også kendt under navnet Storebæltsblandingen og har været benyttet i forbindelse med forsegling af huller, boringer m.m..

Groutinjiceringen forløb fornuftigt. Den overskydende grout flød op langs boringen og dækkede det øverste sandlag.

Der blev udtaget to prøver af grouten. Den ene blev hældt i et prøveglas, den anden prøve blev pumpet ud under vand i et prøveglas. Formålet med udtagelsen af prøverne var at observere evt. ændringer af groutens fysiske egenskaber over en længere periode.

Den efterfølgende dag blev der foretaget flere forsøg for at kontrollere tætheden af groutinjiceringen, der blev ikke observeret tegn på utætheder. I løbet af den efterfølgende måned blev der jævnlige kontrolleret om der var sket ændringer, der kunne tyde på en forringelse af effekten af groutinjiceringen. En måned senere blev der observeret nogle små revner i grouten der dækker det øverste sandlag. Der var imidlertid intet, der tydede på, at det samme var tilfældet med de to andre prøver.



Figur 5.1.1.1 Billede af forsøgsopstilling.

3 ½ måned efter udførsel af forsøget er der ikke sket yderlige ændringer af de tidligere konstaterede revner i det øverste dæklag (bestående af grout). Der er dog observeret fordampning fra begge magasiner. Fordampningen fra det øverste magasin er sket igennem revnerne i dæklaget, fordampningen fra det nederste magasin er foregået via vandspejlet i boring A. På trods af revnerne i

dæklaget kombineret med fordampningen/udtørringen er der ikke observeret forhold, der kunne indikere en magasinkortslutning.

### 5.1.2 Konklusion på modelforsøg

Opstillingen af modellen viser, at sløjfningskonceptet fungerer i en miniatureskala. Det betyder ikke, at resultaterne umiddelbart kan overføres til rigtige boringer, men det indikerer dog, at konceptet som helhed fungerer. Forsøget har været velegnet til at finde evt. svagheder ved sløjfningskonceptet. Det har desuden været muligt at observere modellen dagligt, hvilket har medført, at selv små ændringer er konstateret.

Modelforsøget har resulteret i, at følgende områder giver anledning til yderligere vurdering:

- Hastigheden under injicering bør kontrolleres nøje. For stor hastighed kan resultere i, at grouten bliver spulet op langs forerøret frem for at trænge ordentligt ud i formationen.
- Den anvendte grout størkner til en hård masse, hvilket vurderes at være u hensigtsmæssigt, da det øger muligheden for revnedannelser p.g.a. udtørring.
- Groutinjiceringen bør foregå i en strækning på boringen hvor det vurderes, at der er tilstrækkeligt med jordtryk i annulus. Dette sikrer en bedre fordeling af grouten i det pågældende interval med en bedre forsegling til følge.
- Grouten indeholder desuden In-Vert fra Optiroc. Det har ikke været muligt for Optiroc at fremskaffe tilstrækkeligt dokumentation, der understøtter, at produktet er ufarligt i kontakt med grundvand. Derfor anbefales det, at undlade dette produktet som tilsætningsstof i en grout, der skal anvendes i grundvand.

Overordnet set har modelforsøget været en succes. Der er fremkommet en del viden og erfaring frem under forsøget, hvilket har været værdifuldt i de følgende forsøg.

## 5.2 Perforeringsforsøg

Perforering af forerør er en af de centrale elementer af sløjfningskonceptet. Kvaliteten af perforeringen vil som regel være udslagsgivende for effekten af groutinjiceringen. Derfor blev det besluttet at lave et forsøg med perforering i forerør og efterfølgende injicering af grout.

Hovedformålet med perforeringsforsøget var at afprøve forskellige teknikker, observere evt. problemer og risici m.m..

Følgende kriterier blev opstillet ved udvælgelse af en boring:

- Boringen skal være udført, så det er let at undersøge de forskellige processer løbende.
- Såfremt forsøget ikke lykkes, skal boringen være indrettet, så der ikke opstår mulighed for en evt. forurening af grundvandsmagasiner.
- Geologien i de øverste 5 m skal bestå et sand-/gruslag. Dette vil gøre det muligt at lave et terrænnært injiceringsforsøg.

Med udgangspunkt i ovenstående blev det besluttet at lave en boring specifik til formålet i en grusgrav. Der blev indgået en aftale om udførselen af forsøget i Erling Jacobsens Grusgrav Haldum ved Hadsten. Grusgraven kunne opfylde de ovennævnte kriterier.

Boringen blev udført med en 8" snegl til en dybde af 17 m.u.t og udbygget med DN 150mm (6") PVC forerør til 15 m u. t.. Der blev desuden installeret et 25mm pejlerør til et tracerforsøg efter groutinjicering. Annulus mellem borehul og forerør blev opfyldt med sand. Forsegling med lerspærre, blev undladt da det ville modvirke groutinjiceringen og effekten af denne. Vandspejlet blev mod forventning ikke truffet under borearbejdet

### 5.2.1 Perforering i teori

Carl Bro as råder over et værktøj til perforering af forerør. Værktøjet er specielt designet til perforering af forerør af PVC, stål m.m.. Værktøjet monteres på borestænger som betjenes via en borerig. Værktøjet, der er udstyret med skærehjul til perforering af forerør, aktiveres ved tilslutning af trykluft.

Værktøjet nedsænkes i boringen til den ønskede dybde, hvorefter skærehjulet aktiveres ved tilslutning af trykluft. Efterfølgende bevæges værktøjet til det punkt, hvor perforeringen ønskes afsluttet. Dette resulterer i en vertikal række huller/slidser i forerøret. Proceduren gentages indtil det nødvendige antal rækker med huller er opnået. For at sikre, at en tilstrækkeligt mængde grout injiceres omkring den udvendige side af forerøret, skal rækkerne være jævnt fordelt på omkredsen af forerøret.

### 5.2.2 Perforering i praksis

Det første trin i perforeringen af boringen var at placere værktøjet i boringen. Opstillingen af boreriggen var vanskeligt og tidkrævende, da borehovedet på boreriggen skal placeres med samme retning og hældning som boringen. Dette vanskeliggøres yderligere af, at den indvendige diameter på forerøret kun er et par mm større end instrumentets yderdiameter. Det medfører, at opstillingen af værktøjet skal være meget præcis i betragtning af, hvilke redskaber der normalt indgår i boringsrelateret arbejde.

Efterfølgende blev værktøjet placeret i det ønskede niveau. Under nedsænkning voldte samlingerne på forerøret problemer. Det skyldes, at der tilsyneladende er indsnævninger ved samlingerne hvilket medførte, at forerøret fulgte med op et par gange under perforeringerne. Årsagen er en kombination af den lille tolerance mellem instrument og forerør og det faktum, at forerørerne ikke blev tilbageholdt tilstrækkeligt på grund af manglende jordtryk i annulus, dette tilskrives manglende pumpning i boringen, inden perforingsforsøg sammenholdt med, at perforeringsforsøget blev foretaget dagen efter udbygningen af boringen.

Formålet med forsøget var at afprøve forskellige teknikker under perforeringsprocessen for at høste erfaringer til fremtidige perforeringsarbejde. Generelt lykkedes det at lave pæne rektangulære slidser (12mm \* 4mm) med en indbyrdes afstand på 55mm. Der var dog en tendens til, at samlingerne kunne give anledning til, at der brækkede større stykker PVC af. Det vurderes, at der er to væsentlige årsager til dette:

- Ændringer i strukturen i materialet p.g.a. ændringer i godstykkelse og påvirkninger fra gevindskæring.
- Manglende/uens jordtryk på yderside af forerør.

Under perforeringen af den øverste del af forerøret var der flere stykker PVC, der brækkede af (ligesom det var tilfældet ved flere samlingerne). Dette

skyldes formentlig tidligere nævnte problem med manglende/uens jordtryk omkring forerøret.



Figur 5.2.2.1 Billede af et perforeret forerør.

Forholdene omkring jordtryk og store huller i forerør medførte flere usikkerheder end acceptabelt i forbindelse med en afprøvning/dokumentation af metodens virkning. Det bevirkede, at injiceringsforsøget blev aflyst. Efterfølgende blev forerørene fjernet og borehullet fyldt med bentonit.

### 5.2.3 Konklusion på perforeringsforsøg

Perforeringsforsøget har afdækket værdifulde erfaringer inden for perforeringer af borer og nogle af de vanskeligheder der kan opstå under perforering af forerør. Endvidere blev der opnået erfaringer ved observation af udstyrets/boreriggens reaktioner under forskellige forhold ved perforeringer sammenholdt med kvaliteten af perforeringerne. Den eneste sikre metode til dokumentering af perforeringen er en kamerainspektion efter endt perforering, hvilket er et sent tidspunkt at opdage evt. fejl. Det er derfor

afgørende at observere udstyrets/boreriggens bevægelser og lyde under perforeringen. Såfremt udstyret ikke reagerer som det burde, er der mulighed for at lave justeringer på værktøjet, så perforeringer bliver acceptable.

Perforeringsforsøget resulterede i, at der blev høstet den ekspertise, der er nødvendig forud for sløjfning af boreriger.

### 5.3 Sløjfning af indvindingsboring

Under opstartsfasen af projektet blev det besluttet, at sløjfningskonceptet skulle afprøves i en rigtig indvindings-/undersøgelingsboring. I denne forbindelse tilbød Århus Kommunale Værker en af deres boreriger.

Boringen (DGU nr. 89. 1050) betegnes lokalt som Lyseng VI, lokaliseret ved det tidligere Lyseng Vandværk i Højbjerg. Der var konstateret et uacceptabelt højt pesticidindhold, hvilket medførte, at boringen var taget ud af drift. Boringen er lokaliseret i et område med begrænsede drikkevandsinteresser på grundlag af et tidligere affaldsdepot inden for kildepladsens opland.

#### 5.3.1 Strategi for sløjfning af Lyseng VI

Forud for sløjfning af en boring er det tilrådelig, at fastlægge en strategi for den pågældende boring. Strategien udarbejdes på baggrund af de eksisterende oplysninger om boringen og den lokale geologi m.m. samt en besigtigelse af boringen. Formålet med udarbejdelsen af strategien er at identificere flest mulige forhold og problemer, som kan have indvirkning på arbejdet, før påbegyndelse af sløjfningsprocessen. Strategien for sløjfningen af boringen omhandler:

- Indhentning af oplysninger.
- Besigtigelse af boring.
- Planlægning af perforeringen af forerør.
- Beregning af den nødvendige mængde grout.
- Plan for kvalitetssikring af sløjfningen.

Lyseng VI er den første boring sløjfet efter sløjfningskonceptet, hvilket nødvendiggør en dokumentation af konceptets virkning. Det er yderst vanskeligt at lave en 100 % dokumentation af denne art, derfor må der opstilles nogle acceptable metoder.

Følgende metoder vurderes at være anvendelige ved dokumentationen af sløjfningskonceptet:

- Kamerainspektion af perforeringerne.
- Nøjagtig kontrol med forbruget af grout.
- Udtagning af en prøve af grouten (derved er det muligt at observere groutens fysiske egenskaber over en længere periode).
- Løbende kontrol af groutpumpens hydrauliske tryk.
- Montering af PE-pumpe i filteret således at prøvetagning af vandet er muligt. Tracer forsøg med salt som sporstof, kan påvise om der er utætheder eller magasinkortslutninger.

##### 5.3.1.1 Indhentning af oplysninger

Århus Kommunale Værker udleverede borejournalen for Lyseng VI.

Borejournalen (bilag 1) indeholder geologiske data, oplysninger om hvilke materiale boringen består af inklusiv diameter, dybde, placering af filter m.m..

Boringen er fra 1977 og består af en  $\varnothing 200$  mm PVC-forerør og PVC-filter i samme dimension. Boreprofilen viser en geologisk lagfølge som vurderes at være upræcis, dette baseres på en vurdering af, at den beskrevne lagfølge ikke stemmer overens med den geologi der er forventede i området. Det blev vurderet, at brøndborene har overset flere lag under borearbejdet. Det antages, at striber af sand og gytje er overset under prøvebeskrivelsen. Dette forhold sammenholdt med tidspunktet for udførelsen af boringen resulterede i, at antagelsen af boringen var udført som en skylleboring i  $\varnothing 450$  mm. Denne antagelse vil kunne forklare evt. fejl i boreprofilen.

Boringen er 51,5 m dyb har et filterinterval fra ca. 45 m u. t. – 51,5 m u. t. Boringen er afsluttet 1,67 m u. t. i en glasfiberpumpebrønd.

#### *5.3.1.2 Besigtigelse af boring*

Formålet med besigtigelsen af boringen er at kontrollere adgangsforhold samt kontrollere om der kan evt. være uforudsete problemer. Ved besigtigelsen af Lyseng VI blev det konstateret, at boringens indvendige diameter var 175 mm i modsætning til de 200 mm som antaget på baggrund af borejournalen.

#### *5.3.1.3 Planlægning af perforering*

For at opnå en optimal forsegling af annulus er det nødvendigt at placere perforeringerne, således at groutinjiceringen kan forløbe på den mest hensigtsmæssige måde.

I henhold til boreprofilen er der 4 lag ler:

Lerlag nr. 1, gult ler starter ved terræn og slutter 1,5 m u. t. (er over forerøret, har derfor ingen betydning)

Lerlag nr. 2, gråt ler med sten og kridt fra 1,5 m u. t. til 10 m u. t.

Lerlag nr. 3, gråt ler med sten fra 12,5 m u. t. til 26 m u. t.

Lerlag nr. 4, gråt ler fra 35,5 m u. t. til 38,5 m u. t.

Det antages, at kote-angivelserne for lerlagenes afgrænsninger overordnet set er retvisende. I forbindelse med placeringen af perforeringsintervallerne er det nødvendigt at tage højde for usikkerheder i kote-angivelser af lerlagene og en tolerance der dækker over den nøjagtige placering af perforeringsinstrumentets skærehjul. Tillægget til perforeringsintervallerne er i dette tilfælde bestemt til at være 0,5 m til 1,5 m.

Perforeringsintervallerne er følgende:

Interval 1, fra 40 m u. t. til 35 m u. t.

Interval 2, fra 27 m u. t. til 12 m u. t.

Interval 3, fra 11 m u. t. til 4 m u. t.

Intervallerne skal bestå af 4 rækker perforeringer jævnt fordelt på forerørets omkreds. De 4 rækker huller skal sikre en jævn fordeling af den injicerede grout omkring forerøret.

#### *5.3.1.4 Beregning af den nødvendige mængde grout*

Et af de vitale elementer i sløjfningsprocessen er at sikre at der injiceres tilstrækkeligt grout ud i formationen.

Volumen af den nødvendige mængde grout der kan injiceres pr. lbm vil teoretisk set være i intervallet mellem volumen af forerøret og volumen i annulus (i de perforerede strækninger) sammenlagt med forerørets volumen. Volumen i annulus defineres som den cylinder, der afgrænses af den borede diameter, den ydre diameter af forerøret og længden af perforeringen sammenholdt med den aktuelle porøsitet af materialet i annulus. Såfremt

lerlagene er forseglet er porøsitet = 0 og den højeste opnåelig porøsitet i en gruskastning vurderes at være 35%.

Filterstrækningen opfyldes med sand til 40,5 m u. t. Efterfølgende afdækkes sandlaget med en sæk bentonitgranulat som har til formål at forhindre grouten i at trænge ned i sandlaget (forbruget af sand og bentonitgranulat skal modregnes ved beregning af den nødvendig mængde grout).

Det forventes, at groutforbruget i de perforerede strækninger bliver mellem 24 l/m (Ø 175 mm) og 71 l/m (Ø 175/200/450 og en porøsitet på 35%). Der er i alt 40 m (hvoraf de 27 m er perforerede) der skal injiceres med grout. Teoretisk set skal der injiceres minimum 960 l og maksimalt 2230 l grout. Der dog mulighed for, at grouten injiceres længere ud i annulus og evt. ud i formationen. Det er ikke muligt at fastsætte den mængde grout, der forbruges på denne måde.

#### 5.3.1.5 Plan for kvalitetssikring af sløjfningen

Boringsejeren skal have vished for, at boringen er sløjfet effektivt. Det indebærer, at der udarbejdes en plan for kvalitetssikring af sløjfningsprocessen.

Følgende punkter bør indgå i kvalitetssikringen:

- Kamerainspektion af perforeringen. Herved sikres det at perforeringen er udført tilfredsstillende.
- Løbende kontrol af kvaliteten og sammensætningen af grouten.
- Kontinuerlig kontrol af groutforbruget.
- Overvågning af det hydrauliske tryk på groutpumpen (pludselig ændringer kan indikere vanskeligheder med injiceringen).
- Sammenligning af data fra sløjfningen med tidligere indhentede oplysninger.

#### 5.3.2 Sløjfning af Lyseng VI i praksis

Sløjfningen af boringen foregik den 19-20. november 2002 og blev udført af Carl Bro as. Boringen blev bundpejlet til 51,50 m u. t. forud for perforeringen.

##### 5.3.2.1 Perforering af forerør

Opstillingen af boreriggen og indstilling af perforeringsværktøjet forløb uden problemer. Af kontrolmæssige årsager blev perforeringsinstrumentet afprøvet i ca. 5 m u. t.. Prøveperforeringen var succesfuldt, hvilket blev bekræftet af de vandstråler der kom ind af de nye huller. Vandet antages at stamme fra et sekundært magasin (GVS i boring 10,25 m u. t.).





Figur 5.3.2.1 Foto fra kamerainspektion i boringen efter perforering af forerør. Rækkerne af prikker er refleksioner af perforeringerne.

Perforering i intervallerne 1-3 forløb planmæssigt iht. den tidligere udarbejdede strategi. Der blev dog observeret tegn, der indikerede, at det var vanskeligere at perforere den ene række (nogle gange 2 modsattestående rækker) af forerøret frem for de andre. Det vurderes, at boringen kan være en smule oval, hvilket kan skyldes, at boringen buer svagt over hele dens længde. Dette bekræftes yderligere af, at alle observationerne af fænomenet blev registreret på de samme 2 rækker/sider.

Efterfølgende blev boringen bundpejlet til 47,1 m u. t., hvilket er 4,4 m nærmere terræn end forud for perforering. Dette tilskrives, at sand (ca. 105 l) fra annulus er drysset ind i boringen efter perforeringen. Det understøttes af en efterfølgende videoinspektion af boringen, hvor der er tydelig spor af sand i hullerne fra perforeringen. Videoinspektionen viser de 3 perforerede intervaller. Det fremgår af videoinspektionen, at hullerne generelt er tilfredsstillende udført. Der var dog, som tidligere nævnt, problemer med 2 af perforeringsrækkerne. Sammenlagt drejer det sig om et område, der ikke vurderes at have nævneværdig betydning. Ud fra billederne vurderes det, at perforeringsværktøjet har haft behov for mere plads til indkøring/aktivering af skærehjulet. Problemet kan løses ved justering af perforeringsværktøjet.

#### 5.3.2.2 Groutinjicering

Efter perforeringen blev PE-pumpen med slanger monteret i filteret. Dernæst blev der fyldt filtersand til 40,5 m u. t. som efterfølgende blev dækket med et lag bentonitpiller.

Groutinjiceringen foregik med en hydraulisk drevet snækkepumpe. Grouten bestod af cement, bentonit og vand, der blev pumpet ud i boring via en trykslange. Slangen blev ført til bunden af boringen, således at grouten blev trykket op i boringen hvorved der opnås den bedste effekt.

Groutinjiceringen forløb planmæssigt uden nogen form for problemer. Ved aflæsning af pressostaten på boreriggen var det muligt at følge trykudviklingen. Det fremgik, at trykket steg langsomt men jævnt i takt med udpumpning af grouten. Injiceringen blev standset, da grouten flød over boringsafslutningen ud i pumpebrønden. Der blev i alt forbrugt 2300 l grout.

#### 5.3.2.3 Tracerforsøg

Som følge af et ønske om at følge udviklingen i boringen, skulle tracerforsøget udføres en uge efter sløjfningen. Boringen blev bundpejlet. Det viste sig, at groutblandingen var sunket ca. 5 m.

Der blev boret en række huller i bunden af pumpebrønden. De skulle anvendes til injektion af saltopløsningen. Nogle minutter efter, at hullerne blev boret begyndte vandet i pumpebrønden at stige indtil det var 0,1 m u. t., ved nærmere kontrol kunne det konstateres, at det sekundære vandspejl var steget

min. 2 m. Det medførte, at tracerforsøget blev indstillet. Det vurderes, at forsøget ikke vil være anvendelig med så højt et sekundært vandspejl.

Det begrundes med følgende;

Såfremt tracerforsøget havde resulteret i, at der ikke blev konstateret en lodret lækage langs boringen, vil resultatet formentligt blive forkastet, da det ikke kan afvises, at saltopløsningen er fortyndet væsentligt og spredt ud over et større område når det høje sekundære vandspejl tages med i betragtning.

### 5.3.3 Konklusion på sløjfning af Lyseng VI

Sløjfningsforsøget er generelt foregået bedre end forventet.

Perforeringsprocessen forløb uden større vanskeligheder, hvilket tilskrives den viden, der blev opbygget ved perforeringsforsøget i Haldum Grusgrav samt enkelte ændringer på perforeringsværktøjet.

Der blev injiceret 2300 l grout, hvilket er betydeligt mere end forventet. Det svarer til en søjle af grout med diameter på 0,29 m og 40 m i højden (eksl. volumen af gruskastningen i annulus).

Ved senere gennemgang af ÅKV's borearkiv blev det bemærket, at boringen var udført som en slagboring. Det medfører, at borediameteren formentligt har været noget mindre end 450 mm som tidligere antaget.

Den formodede mindre borediameter sammenholdt med perforeringen af 27 m indikerer, at der kan injiceres mere grout ud i formationen end forventet.

Det kan også skyldes, at laggrænserne i boreprofilet er stærk misvisende, hvilket dog ikke vurderes at være tilfældet.

Det blev konstateret, at grouten sank ca. 5 m efter injiceringen. Der kan være flere årsager til dette, heraf nævnes nogle af dem:

- Grouten har udskilt ca. 120 l vand svarende til ca. 5 % svind.
- Grouten er trængt længere ud i annulus og formationen efter ophør af injiceringen. Groutens forholdsvise høje densitet kan have øget effekten af dette.
- Vand i boringen har fortyndet grouten. Injiceringen skulle derfor være forsat i længere tid for at skylle den fortyndede blandingen ud.
- Grouten indeholder luft, som frigives langsomt efter injiceringen.

De 4 ovennævnte årsager har alle formentlig del i groutens sænkning. Det vurderes dog, at de 2 forstnævnte årsager bidrager mest i denne henseende.

Teknisk set må sløjfningen af Lyseng VI må betegnes som en succes. Der blev injiceret 2300 l cement-bentonitgrout i og omkring boringen. Det må nødvendigvis yde en høj beskyttelse af de 2 nederste magasiner uagtet, at der er forhold som bør undersøges nærmere f.eks.: mængden af grout, der kan injiceres ud i formationen og begrundelsen for, hvorfor grout synker efter endt injicering. Der bør arbejdes videre med forskellige sammensætninger af groutblandinger.

Sløjfningsmetoden vurderes at være ligeså effektiv som overboringsmetoden i forbindelse med sløjfning af en boring, men er betydeligt billigere end overboring, hvilket skyldes at sløjfningsmetoden er forholdsvis enkel at udføre i forhold til en overboring.

Udførelsesmæssigt er der flere forhold, der kan forbedres ved sløjfningsprocessen. Det vil ske i takt med, at ekspertisen indenfor metoden opbygges.

Sløjfningsmetoden anslås at være den mest fordelagtig og tilgængelig metode til effektiv sløjfning af boringer, især når effekt og økonomi tages i betragtning.



## 6 Konklusion og anbefalinger

Det fremgår af nærværende rapport, at der er et udpræget behov for udvikling af en effektiv metode til sløjfning af borer. Hovedparten af de metoder der p.t. anvendes kan ikke overholde de krav der er specificeret i Bekendtgørelse om udførelse og sløjfninger af borer og brønde på land. Overboring er den eneste kendte metode der lever op til kravene i bekendtgørelsen men anvendes sjældent da det er en dyr løsning. Bekendtgørelsen anbefaler ikke en bestemt metode, hvilket tilskrives, at der hidtil ikke har været en egnet metode til sløjfninger af borer samtidigt vil en anbefaling måske standse udviklingen.

Dette projekt har haft til formål, at udvikle nye metoder til sløjfning af borer. Det har resulteret i udviklingen af et sløjfningskoncept der effektivt sløjfer borer i og omkring forerør. Udviklingen af konceptet tager udgangspunkt i en grundig undersøgelse af eksisterende sløjfningsmetoder og beslægtede teknologier i Danmark såvel som i udlandet. Der er lavet forsøg med delelementer fra sløjfningskonceptet. De er afprøvet enkeltvis og forbedret såfremt det var nødvendigt.

Sløjfningskonceptet er efterfølgende afprøvet i en drikkevandsboring med et tilfredsstillende resultat. Den mængde grout der blev injiceret i de perforerede intervaller understøtter dette.

Sløjfningskonceptet er effektiv og er velegnet til sløjfning af de fleste slags borer og brønde. Såfremt borer og brønde ønskes sløjfet efter bekendtgørelsen er overboring og sløjfningskonceptet de eneste anvendelige metoder. På grund af de økonomiske omkostninger forbundet med overboring, er sløjfningskonceptet den eneste reelle mulighed for de fleste boringsejere.

Der er behov for, at øge indsatsen vedrørende boringsbetingede forureninger. Det anbefales derfor, at der udarbejdes en positiv liste for metoder der er egnet til sløjfning af borer og brønde. Dette vil være oplagt ved udarbejdelsen af en evt. kommende vejledning til sløjfning af borer og brønde.

Endvidere bør nødvendigheden for strengere virkemidler f.eks. erstatningskrav i tilfælde af forurening af grundvandsressourcer eller tinglysning af borer ved ejendomshandel overvejes. Implementering af lignende virkemidler vil give embedsmænd, vandværker m.m. større sikkerhed for at ubenyttede borer og brønde bliver effektivt sløjfet.



## 7 Litteratur

1. Pesticider og vandværker. Udredningsprojekt om BAM-forurening. Miljøstyrelsen 2002.
2. Bekendtgørelse om udførelse og sløjfning af boringer og brønde på land. BEK nr. 672 af 26/07/2002. Miljøstyrelsen 2002.
3. Bekendtgørelse om uddannelse af personer der udfører boringer på land. BEK nr. 145 af 02/02/2000. Miljøstyrelsen 2000.





Århus kommunale Værker  
VANDFORSYNINGEN

Påbegyndt 26 - 6 - 1977.

Afsluttet 15 - 8 - 1977

Boring lb. nr. **709**. nr. ell. mrk. **L. VI** D.G.U. nr. 89 · 1050 Filter indb. ....

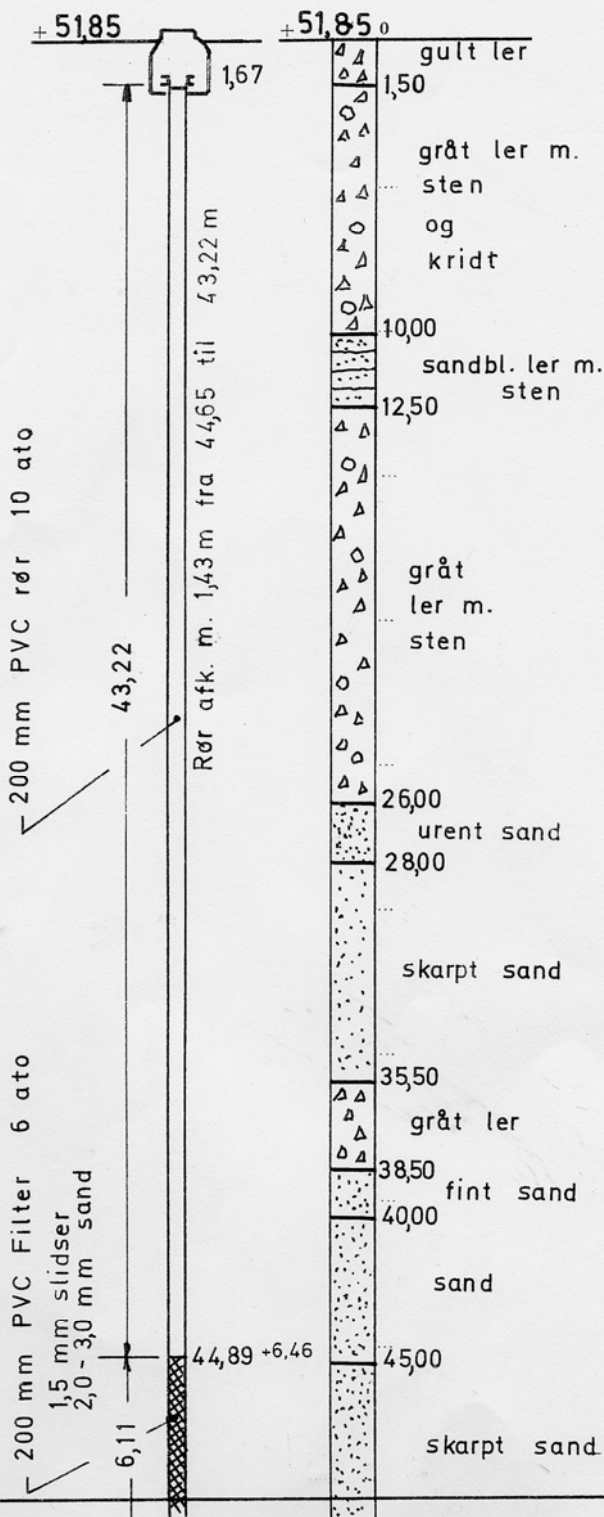
Kildeplads: **LYSENG**, 45,50 m V. f. bor. 706 (L.V.)

Lodsejer: ..... Matr. nr. 17<sup>bf</sup> Holme by, Skåde

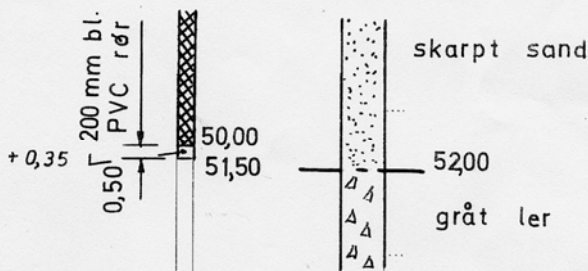
Terrainkote: + 51,85 m	Borerør: dim. .... mm	Længde: .... m
Top af <del>pank</del> donk. + 51,85 m	Forerør: dim. 200 - 200 mm	Længde: 43,22 - 0,50 m
Overkant rør: + 50,18 m	Filter: dim. 200 mm	Længde: 6,11 m
skinne + 50,24 m		

Filterindbyggn. Boreprofil Jordlag  
**C-65-3**

Vandrejsning:



Prøvepumpning:  $\frac{45,0 \text{ m}^3}{4,8 \text{ h}} = 9,4 \text{ m}^3/\text{m}$   
Bor. ydelse:  $\frac{45,0 \text{ m}^3}{4,8 \text{ h}} = 9,4 \text{ m}^3/\text{m}$



Højder. 1 : 250

Boreformand:  
P. Overgaard.

Borearkivet:  
d. 19 / 8 1977

Has.

Løbe nr. 709.