

Miljøprojekt Nr. 642 2001

Teknologiudviklingsprogrammet for
jord- og grundvandsforurening

Afprøvning af In-Well Aerator

Afprøvning af en modificeret stripningsmetode

Søren Rygaard Lenschow
Ribe Amt

Gert Laier
Viborg Amt

Tove Nyegaard og Niels Lauge Sørensen
NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S

Anne Eg Lauridsen,
Adept Technologies 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

Forord	5
Sammenfatning og konklusioner	6
Summary and conclusions	6
1 IN-WELL AERATOR	7
1.1 BAGGRUND.....	7
1.2 TEKNISK BESKRIVELSE	7
1.2.1 Design	7
1.2.2 Virkemåde	7
1.2.3 Installation	8
1.3 UDLEDNING/AFKAST	9
1.3.1 Vand.....	9
1.3.2 Luft.....	9
1.4 ENERGI.....	9
1.5 LUFTHÆVEPRINCIPPET.....	9
1.5.1 Teori.....	9
1.6 ANVENDELSESOMRÅDER	10
2 AFPRØVNING, ULSTRUP	12
2.1 INDLEDNING	12
2.2 FORURENINGSSITUATION	12
2.2.1 Baggrund	12
2.2.2 Geologi og hydrogeologi	13
2.2.3 Jord	14
2.2.4 Poreluft og indeklima.....	14
2.2.5 Grundvandsforurening.....	14
2.2.6 Risikovurdering.....	15
2.3 AFVÆRGESTRATEGI.....	15
2.4 PROJEKTSTART	15
2.4.1 Indkøringsperiode.....	17
2.4.2 Dokumentationsprøver.....	18
2.4.3 Driftsresultater.....	19
2.4.4 Luftforbrug.....	20
2.4.5 Optimering	20
2.4.6 Observerede vandspejlsniveauer	20
2.4.7 Oprensingsresultat.....	21
2.4.8 Udfældning.....	22
2.5 ØKONOMI	23
2.5.1 Etablering	23
2.5.2 Drift.....	23
2.5.3 Demontering	23
2.6 FREMTIDIGT AFVÆRGEFORLØB.....	23
3 AFPRØVNING, ASKOV	25
3.1 INDLEDNING	25
3.2 FORURENINGSSITUATION	25
3.2.1 Baggrund	26
3.2.2 Geologi og hydrogeologi	26
3.2.3 Jord	27
3.2.4 Poreluft og indeklima.....	27
3.2.5 Grundvandsforurening.....	27
3.2.6 Risikovurdering.....	28
3.3 AFVÆRGESTRATEGI.....	28
3.4 PROJEKTSTART	28
3.4.1 Afprøvningsperiode.....	30

3.4.2	<i>Dokumentationsprøver</i>	30
3.5	DRIFTSRESULTATER	31
3.5.1	<i>Dokumentationsprøver</i>	31
3.5.2	<i>Udfældning</i>	32
3.5.3	<i>Energiforbrug</i>	32
3.5.4	<i>Optimering</i>	33
	<i>Observerede vandspejlsniveauer</i>	33
3.5.6	<i>Oprensningsresultat</i>	34
3.6	ØKONOMI.....	35
3.6.1	<i>Etablering</i>	35
3.6.2	<i>Drift</i>	35
3.6.3	<i>Demontering</i>	35
3.7	FREMTIDIGT AFVÆRGEFORLØB.....	35
4	ANDRE ERFARINGER	36
4.1	BAGGRUND.....	36
4.2	FULD SKALA OPRENSNING, UNIVERSITY OF CALIFORNIA DAVIS	36
4.2.1	<i>Indledende undersøgelser</i>	36
4.2.2	<i>Systemets opbygning</i>	36
4.2.3	<i>Driftsresultater</i>	37
4.2.4	<i>Testresultater</i>	37
4.2.5	<i>Økonomi</i>	38
4.3	PILOTTEST PORTLAND.....	38
4.3.1	<i>Testresultater</i>	38
4.4	PILOTTEST SAVANNAH RIVER SITE	38
4.4.1	<i>Testresultater</i>	38
5	ALTERNATIVE AFVÆRGETEKNIKKER	40
6	EVALUERING	42
6.1	DESIGNPARAMETRE.....	42
6.2	FORDELE	42
6.3	ULEMPER.....	43
7	LITTERATURLISTE	45

Bilag 1: Boreprofil afværgeboring i Ulstrup

Bilag 2: Boreprofil afværgeboring i Askov

Forord

I de senere år er det erfaret, at der findes mange grunde, der er forurenet med chlorerede opløsningsmidler. Forureninger med chlorerede opløsningsmidler medfører hyppigt grundvandsproblemer. Derfor er der ofte behov for afværgepumpning eller rensning af grundvandet. Traditionelle teknikker er erfaringsvis dyre, besværlige og tilsynskrævende. Derfor er der behov for afprøvning af nye teknikker, som kan supplere de kendte teknikker.

Denne rapport beskriver afprøvningen af en modificeret stripningsmetode, der kombinerer grundvandsoppumpning ved lufthæveprincippet med forureningsfjernelse ved stripning.

Herunder indeholder rapporten en vurdering af metoden m.h.t. rensningseffekt og økonomi samt en sammenligning med traditionelle rensningsmetoder.

Metoden indebærer, at grundvandet oppumpes og renses ved indblæsning af luft i en afværgeboring.

Metoden er udviklet i USA og er gennem flere år anvendt på University of California, Davis til at afskære en forureningsfane med chlorerede opløsningsmidler i grundvandet. I denne rapport beskrives de foreløbige resultater af en afprøvning af metoden under danske forhold på en lokalitet i Ulstrup i Viborg Amt og Askov i Ribe Amt.

På lokaliteten i Ulstrup, Viborg Amt, er anlægget etableret på en virksomhedsgrund, hvorfra der er sket en udsivning af chlorerede opløsningsmidler, fortrinsvis trichlorethylen (TCE) og en grundvandsbåren spredning til et nærliggende boligområde

På lokaliteten i Askov, Ribe Amt, er anlægget etableret på en tidligere rensningsgrund, hvor der findes en forurening med chlorerede opløsningsmidler, fortrinsvis tetrachlorethylen (PCE). Lokaliteten ligger tæt på byens vandværk og vandindvindingsboringer.

Afprøvningen er foretaget under Miljøstyrelsens Teknologiuudviklingsprogram i et samarbejde mellem Viborg Amt, Ribe Amt, Adept Technologies A/S og NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S.

Sammenfatning og konklusioner

Afprøvningen af In-Well Aeratoren har vist, at den effektivt oppumper og renses grundvand for indhold af chlorerede opløsningsmidler på opløst form.

Anlægsøkonomisk er metoden attraktiv i forhold til andre kendte metoder.

Driftsøkonomisk kan f.eks. traditionel oppumpning og efterfølgende rensning ved hjælp af aktivt kul være en billigere løsning. Vedligeholdelse og tilsyn i forbindelse med drift af In-Well Aeratoren er dog meget begrænset.

Den primære fordel ved In-Well Aeratoren er det forholdsvis begrænsede pladsbehov, ringe behov for tilsyn og vedligehold samt en effektiv rensning.

Summary and conclusions

Field test of the In-Well Aerator has demonstrated, that it effectively withdraws groundwater and removes chlorinated solvents from the water.

With respect to costs of establishment the In-Well Aerator is attractive compared to other known techniques.

Costs of operation may be smaller for traditional pump and treat (i.e. granulated active carbon) solutions. However maintenance and monitoring of performance of the In-Well Aerator is of limited extent.

The primary advantages of the In-Well Aerator are small space requirements, limited requirements for maintenance and monitoring of performance and the effective water treatment

1 In-Well Aerator

Dette afsnit omfatter en teknisk beskrivelse af stripningsmetoden In-Well Aerator, herunder anvendelsesmuligheder og begrænsninger.

1.1 Baggrund

In-Well Aerator teknologien er udviklet i 1995 hos University of California, Davis, som et alternativ til traditionelle metoder til oprensning af grundvand forurenede med flygtige organiske stoffer /1/ og videreudviklet i Danmark af Adept Technologies A/S. Baggrunden for udvikling af teknologien er nærmere beskrevet i kapitel 4.

1.2 Teknisk beskrivelse

In-Well Aerator er en teknik til oppumpning og rensning af forurenede grundvand.

Teknologien er en in-situ teknik, hvor grundvandet renses ved indblæsning af luft i boringen gennem en belufter. Ved indblæsningen opnås dels oppumpning af grundvandet ved lufthæveprincippet /2/ og dels en stripning af eventuelle forureningskomponenter fra det oppumpede grundvand.

Teknikken er karakteriseret ved at:

- Der kræves ikke forrensning af vandet
- Trykluft anvendes som drivkraft/energikilde
- Rensningen af grundvandet foretages i selve afværgeboringen
- In-Well Aeratoren medfører ingen spredning af forureningen i formationen
- Stripningen kan foregå i flere trin

1.2.1 Design

In-Well Aeratoren består af et system af PVC rør, som illustreret i figur 1. In-Well Aeratoren nedsænkes i en traditionel, filtersat boring. Rørene fungerer dels som stigrør i forbindelse med lufthævepumpning dels som beluftere.

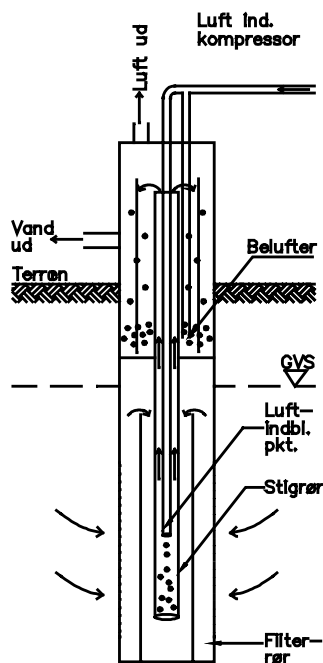
For at hindre indblæsning af luft i formationen er der indskudt et PVC-rør mellem luftindblæsningspunktet i boringen og boringens filtersætning. Dermed hindres en eventuel forureningsspredning ud i formationen, og vandbehandlingen foregår under kontrollerede forhold inde i boringen.

Niveauet for In-Well Aeratorens indblæsningspunkt og filterets placering i boringen projekteres på baggrund af de aktuelle geologiske forhold, dybden til grundvandsspejlet og de forureningsmæssige forhold.

For at opnå tilstrækkelig plads til de nødvendige installationer skal boringen som minimum udføres i $\varnothing 200 - \varnothing 300$ mm.

1.2.2 Virkemåde

In-Well Aeratoren kombinerer grundvandsoppumpning ved lufthæveprincippet med forureningsfjernelse ved stripning. Der sker en stripning af forureningskomponenterne både i forbindelse med oppumpningen/lufthæveprincippet og med forskellige beluftere i boringen.



Figur 1. Principskitse In-Well Aerator

Der indblæses luft ca. 1 meter fra bunden af boringen. Hermed opnås at densiteten af væskesøjlen inde i boringen reduceres, og der etableres en trykgradient fra formationen til boringen, således at der opnås en pumpeeffekt.

Når luftboblerne stiger op gennem vandsøjlen inde i boringen, vil de flygtige stoffer overføres fra vand til luftfase. Den stigende luft transporterer de flygtige stoffer op mod toppen af boringen/In-Well Aeratoren. Vandet ledes videre forbi en eller flere beluftere, hvor der sker en yderligere stripping af de flygtige stoffer. Antallet af beluftere afhænger blandt andet af oprensningskravet samt koncentrationerne af de forurenende stoffer, og In-Well Aeratoren dimensioneres på baggrund heraf.

1.2.3 Installation

In-Well Aerator installeres manuelt af 2 personer i løbet af en arbejdsdag. Størstedelen af systemet er placeret i boringen. Over jorden eller i en brønd under terræn installeres en kompressor/blæser samt en reguleringsboks på ca. 1 x 1 meter.

Udover kompressor og reguleringsboks består de nødvendige installationer af en trykluftsslange for lufttilførsel og et afgangsrør for oppumpet, rensset grundvand samt et afkastrør for luft, eventuelt med et kulfilter til rensning af afkastluften.

Der sker i sagens natur ingen forrensning, før vandet behandles i In-Well Aeratoren. Erfaringer fra USA /1/ og afprøvningen i Danmark viser, at der ikke opstår nævneværdige udfældninger i In-Well Aeratorens dele, hvilket formentlig skyldes, at In-Well Aeratoren udelukkende består af PVC rør, der er forholdsvis glatte, samtidig med den kontinuerlige vandbevægelse i Aeratoren.

1.3 Udledning/afkast

Efter den kombinerede oppumpning og stripning af det forurenede grundvand afledes forureningskomponenterne hovedsagelig på luftform.

1.3.1 Vand

Det behandlede vand kan afledes til kloak eller reinjiceres til grundvandsmagasinet.

Ved et projekt i USA udføres reinjektion til grundvandsmagasinet. Strømningsmønsteret og en eventuel cirkulation af grundvand i magasinet (influensradius) ved disse forsøg er ikke dokumenteret.

Ved reinjektion kan opnås en udvaskning af forurening fra den umættede zone, og forureningen transporteres til den mættede zone, hvorfra det opsamles og behandles. For visse forurenende stoffer vil tilførslen af ilt forøge den biologiske nedbrydning af forureningen i magasinet. Ved reinjektion af det behandlede vand er det meget vigtigt, at der nøje føres kontrol for at sikre, at forureningen ikke spredes yderligere i magasinet.

1.3.2 Luft

Afkastluften fra In-Well Aeratoren kan udledes til atmosfæren gennem et aktivt kulfilter. Såfremt forureningsniveauet er under emissionskravene, kan luften udledes direkte til atmosfæren.

1.4 Energi

Der anvendes trykluft som drivkraft i In-Well Aeratoren. Tryklufften leveres af en kompressor eller en luftblæser afhængig af det nødvendige tryk og flow.

Ved design af et anlæg er det nødvendigt at beregne luftmængde og indblæsningstryk. Anvendelse af korrekt dimensioneret blæser eller kompressor er meget vigtigt set fra en driftsøkonomisk synsvinkel.

Driftsomkostningerne er en central parameter, da anlæg til oprensning af chlorerede opløsningsmidler ofte vil have en driftstid på flere år.

Under indkøring af In-Well Aeratoren udføres flere pumpeforsøg for at opnå den bedst mulige rensningseffekt ved det laveste energiforbrug.

1.5 Lufthæveprincippet

1.5.1 Teori

Princippet bag lufthævepumpning er, at der tilføres luft til bunden af boringen, hvorved massefylden af vandsøjlen inde i borerøret reduceres. Herved etableres en trykgradient - og således en grundvandsstrømning - fra formationen til toppen af boringen.

Ved indblæsningen af luft, samt under strømmingen op gennem boringen, vil flygtige forureningskomponenter opløst i grundvandet kunne afdampe (strippes) til luftfasen og fjernes via denne.

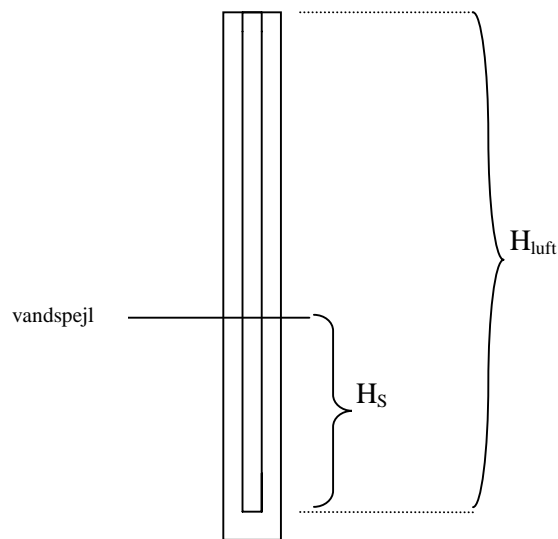
Pumpeeffekten er afhængig af højden af vandsøjlen over luftindblæsningspunktet i forhold til den totale løftehøjde:

$$\text{Neddykningsforholdet} = \frac{H_s}{H_{\text{luft}}}$$

Hvor

H_s er den vertikale afstand fra vandspejl til luftindblæsningspunkt

H_{luft} er den vertikale afstand fra luftindblæsningspunkt til udledningspunktet.



Figur 2. Skitse af lufthæveprincip

Neddykningsforholdet er vigtigt for regulering af pumpeydelsen, energiforbrug og rensningsgraden i In-Well Aeratoren. Ved design tilstræbes neddykningsforholdet at ligge så tæt på 1 som muligt og mindst have størrelsen 0,3.

Eksempler på beregning af neddykningsforholdet findes i afsnit 2.4 og 3.4, der omhandler de aktuelle afprøvningssituationer.

1.6 Anvendelsesområder

Anvendelsesområdet er oprensning af opløst grundvandsforurening med flygtige organiske stoffer, herunder chlorerede opløsningsmidler og de lettere fraktioner af olie- og benzinprodukter.

VOC - flygtige organiske stoffer - er stoffer, der på grund af deres høje flygtighed (høj Henry's konstant og damptryk) har let ved at diffundere fra væske over på dampform. Disse stoffer vil således optræde med forholdsvis høje koncentrationer i gasfasen i et system med væske og gasfase.

Stof	Damptryk P (Pa)	Densitet ρ kg L ⁻¹	K _H
Trichlorethylen	9900	1,4679	0,39
Tetrachlorethylen	2415	1,6311	0,72
Cis 1,2 Dichlorethylen	27000	1,2736	0,17
Trans 1,2 Dichlorethylen	44400	1,2546	0,38
1,1,1-trichlorethan	16500	1,3492	0,7
Vinylchlorid	354600	0,92	1,1
Chloroform	26244	1,4985	0,15
BTEX'er	880-12700		0,22-0,32

Tabel 1. Udvalgte stoffers flygtighed /4/

For mere detaljeret beskrivelse af stofferne henvises til Miljøstyrelsens projekt nr. 20 /4/.

Der er ikke p.t. udført forsøg med stripping af olieprodukter med In-Well Aerator.

Henry's konstant for BTEX'er (0,22-0,32) svarer omtrent til værdien for TCE og cis-1,2-dichlorethylen (0,39 og 0,17). Damptrykket for BTEX'erne er ligeledes på niveau med værdierne for de chlorerede opløsningsmidler, jf. tabel 1. Det kan derfor forventes, at stripping af de lettere komponenter i olieprodukter vil være forholdsvis effektivt.

2 Afprøvning, Ulstrup

Med støtte fra Miljøstyrelsens Teknologiuudviklingsprogram er In-Well Aeratoren afprøvet på en lokalitet i Ulstrup, Viborg Amt.

Dette kapitel indeholder en beskrivelse af projektet i Ulstrup, herunder oprensningsresultater og anslåede driftsomkostninger.

2.1 Indledning

På baggrund af forureningsundersøgelserne udført i 1997/1998 er der i efteråret 1998 iværksat et teknologiuudviklingsprojekt i Ulstrup i Viborg Amt. Projektet er udført i et samarbejde mellem Viborg Amt, Hvorslev Kommune, den virksomhed, hvorfra forureningen stammer, Adept Technologies A/S og NIRAS.

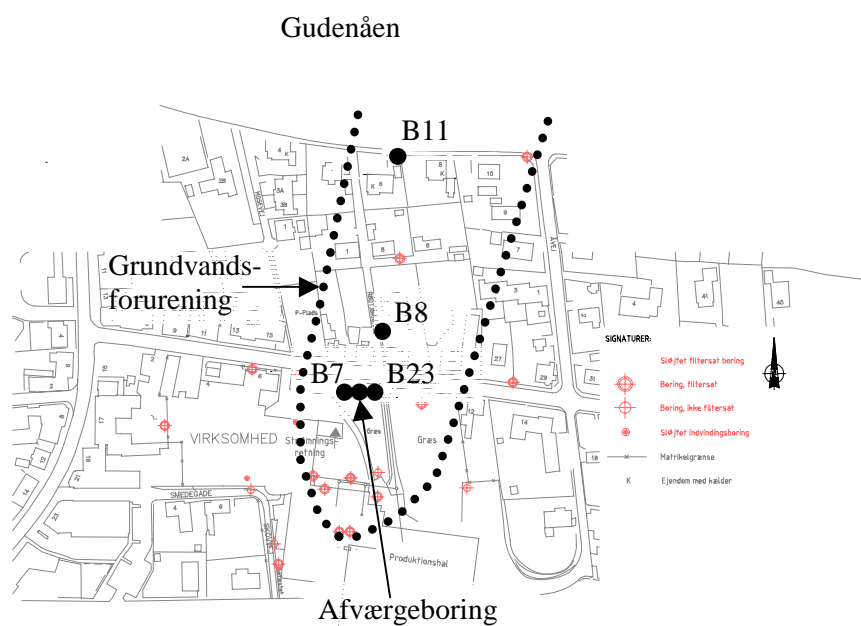
Projektet omfatter oppumpning og rensning af grundvand fra det sekundære grundvandsmagasin med en In-Well Aerator fra én boring.

2.2 Forureningsituation

I dette afsnit beskrives baggrund og forureningsituation for lokaliteten, hvor In-Well Aeratoren er afprøvet.

2.2.1 Baggrund

Ved to forureningsundersøgelser udført i 1997 /5,6/ er der i området omkring Østergade i Ulstrup påvist en forurening med chlorerede opløsningsmidler. Forureningen er via grundvandet spredt fra virksomhedsgrunden ind under et boligområde, der er beliggende nedstrøms kildeområdet.



Figur 3. Situationsplan, Ulstrup

Forureningen består fortrinsvis af trichlorethylen (TCE), men der er også påvist indhold af tetrachlorethylen (PCE).

Kilden til forureningen har sandsynligvis været affedtning af metalemner på virksomheden. Affedtningen er sket 3 steder på virksomheden i forskellige affedtningskar, hvori der har været anvendt chlorerede opløsningsmidler. Affedtning af emner med chlorerede opløsningsmidler er startet i 1953, hvor der blev anvendt TCE. Fra 1968 til 1989 er der anvendt PCE, hvorefter der indtil 1997 igen er anvendt TCE. I 1997 er affedtningsprocessen ændret således, at der udelukkende anvendes sæbe som affedtningsmiddel, og det tidligere affedtningskar er fjernet.

I forbindelse med fjernelse af karret har virksomheden igangsat en forureningsundersøgelse omkring det seneste affedtningskar for at undersøge en eventuel forurening.

Da undersøgelsen viste en forurening med chlorerede opløsningsmidler i grundvandet, poreluften og jorden, blev der igangsat supplerende undersøgelser i samarbejde med Hvorslev Kommune og Viborg Amt.

2.2.2 Geologi og hydrogeologi

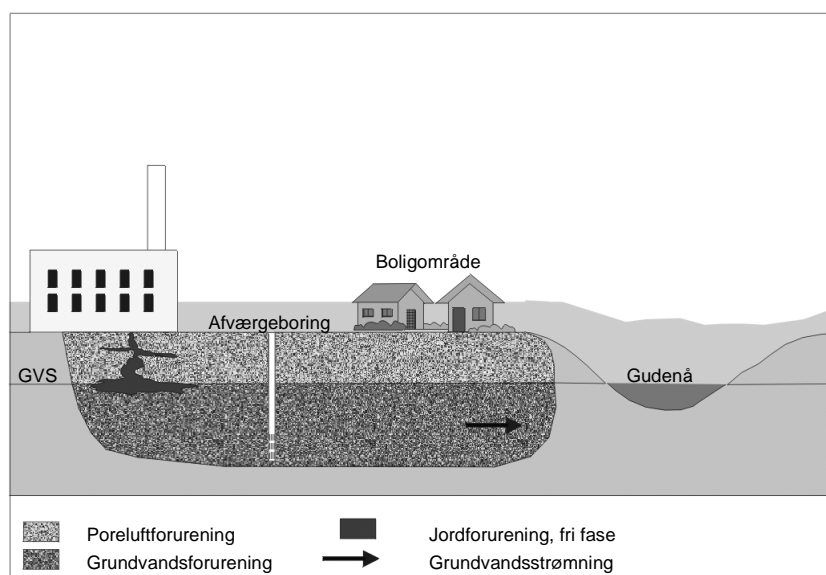
Det undersøgte område er beliggende i Gudenådalen, tæt på centrum i Ulstrup og umiddelbart op ad butikker og boliger.

Det primære grundvandsmagasin i området er spændt og har trykniveau nær terræn. Strømningsretningen for det nedre primære magasin vurderes ud fra Viborg Amts grundvandspotentialekort 1215 Viborg at være nordlig.

Jordlagene i området udgøres overordnet af smeltevandssand med lokale indslag af tynde lerlag til ca. 50 m u.t. og herunder tertiært ler. Områdets sekundære grundvandsmagasin er knyttet til det øvre smeltevandssand og har frit vandspejl ca. 3 m u.t.

På baggrund af pejlinger af de filtersatte boringer i undersøgelsesområdet er strømningsretningen i det sekundære magasin ligeledes blevet bestemt til at være stik nord mod Gudenåen, evt. med en svag østlig komponent.

Gudenåen ligger ca. 300 m nord for virksomheden. Se i øvrigt også situationsplanen i figur 3.



Figur 4. Principskitse. Østergade, Ulstrup

2.2.3 Jord

Der er ikke påvist indhold af chlorerede opløsningsmidler i større mængde i jorden. Således er der i en jordprøve, der er udtaget ca. 0,5 m under bunden af kildeområdet, påvist et indhold af hhv. TCE på 7,9 $\mu\text{g}/\text{kg}$ og PCE på 6,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

2.2.4 Poreluft og indeklima

Ved poreluftsonderinger i området er der påvist en poreluftforurening omkring kildeområdet med TCE niveauer på op til 145 mg/m^3 og PCE på op til 2,6 mg/m^3 .

Omkring afværgesboringen er der påvist indhold af TCE i poreluften på 9,3 mg/m^3 , og umiddelbart opstrøms Gudenåen er tilsvarende påvist niveauer af TCE i poreluften på 38 mg/m^3 .

Ved poreluftmålinger under gulv er der påvist risiko for sundhedsskadelig påvirkning i 6 boliger.

I disse boliger er der vurderet behov for afværgesforanstaltninger med henblik på at fjerne sundhedsrisikoen.

Tilsvarende er det for 5 boliger vurderet, at der ikke er sundhedsskadelig påvirkning fra den underliggende forurening, og der vurderes derfor ikke at være behov for yderligere undersøgelser eller afværgesforanstaltninger.

I de resterende af de undersøgte boliger kan der ikke på det foreliggende grundlag gives en entydig vurdering af sundhedsrisikoen. Der foretages således en løbende monitoring af forureningsniveauet under gulv i udvalgte boliger.

2.2.5 Grundvandsforurening

Der er påvist en forureningsfane i grundvandet med niveauer af opløst TCE og PCE omkring kildeområdet på hhv. 15 $\mu\text{g}/\text{l}$ og 0,7 $\mu\text{g}/\text{l}$.

I området ved afværgeboringen er påvist indhold af TCE og PCE på hhv. 1.490 µg/l og 9,9 µg/l /5,6/.

Umiddelbart opstrøms Gudenåen er niveauerne i grundvandet på hhv. 2.000 µg/l og 130 µg/l for TCE og PCE.

I området omkring afværgeboringen er der udtaget vandprøver i tre niveauer. De højeste niveauer er påvist indenfor de øverste meter af magasinet. Således er niveauet af TCE 2-4 m u.t. på 150 µg/l. 5-6 m u.t. er indholdet af TCE på 110 µg/l og 6,5-7,5 m u.t. 27 µg/l. Tilsvarende er indholdet af PCE i de tre niveauer på hhv. 5,0; 8,2 og 10 µg/l.

2.2.6 Risikovurdering

Forureningen er vurderet at medføre risiko for uacceptable påvirkninger af indeklimaet i boliger i området nedstrøms virksomheden. Områdets grundvandsressource er ikke vurderet truet.

2.3 Afværgestrategi

Da der ikke vurderes at være nogen umiddelbar risiko overfor arealanvendelsen på virksomhedens område, og der ikke umiddelbart vurderes at være risiko for grundvandsinteresserne i området, er den overordnede afværgestrategi primært at afværge evt. sundhedsrisici i de berørte boliger.

Det er valgt at etablere et afværgeanlæg baseret på afværgepumpning mellem forureningskilden og boligområdet med henblik på afskæring af grundvandsfanen. Herved hindres yderligere forureningsspredning til boligområdet, og risikoen for uacceptable indeklimapåvirkninger må forventes at aftage over årene.

På baggrund af hydrauliske tests udført på lokaliteten - samt modelsimuleringer for området - er der fastlagt en nødvendig oppumpning fra et tværsnit gennem forureningsfanen mellem kilden og boligområdet på 1,5 m³/h.

2.4 Projektstart

Projektet har været opdelt i en indkørings- og en afprøvningsperiode:

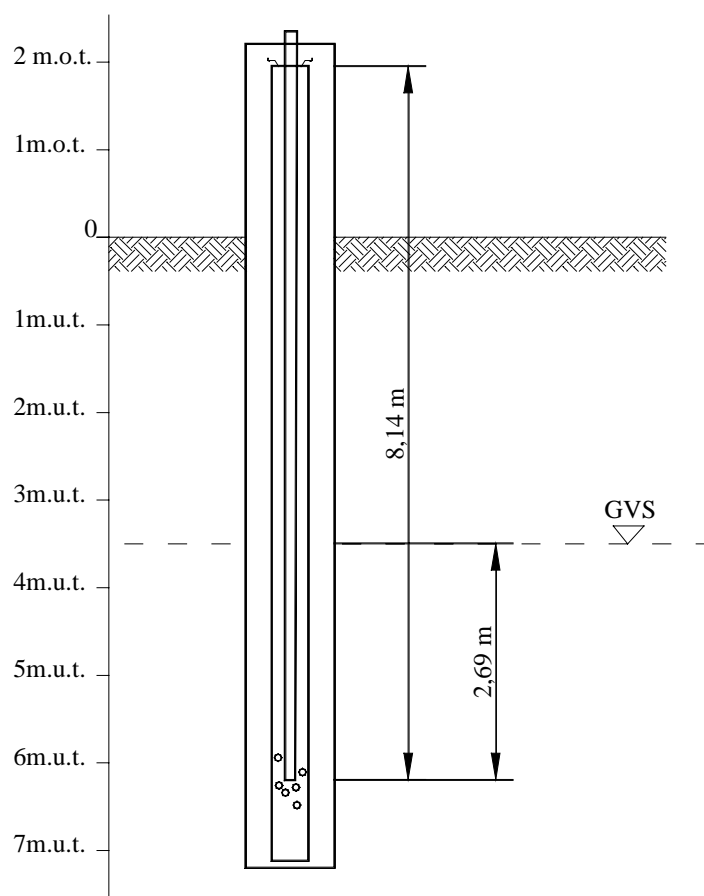
Indkøringsperiode: 10. november 1998 – 1. december 1998.

Afprøvningsperiode: 1. december 1998 – 1. marts 1999.

Efter afprøvningsperioden har anlægget været i fortsat drift, forestået af virksomheden.

In-Well Aeratoren er etableret i en foret boring (B24), der er filtersat i ø315 mm PVC i intervallet 4,0-7,0 m u.t. Boringen er udført af Vand-Schmidt A/S den 21.-23. oktober 1998. In-Well Aeratoren er designet med et pumpetrin, der sidder i bunden af boringen. Til stripping er der etableret 2 beluftere, en der er placeret tæt på pumpetrinnet, og en der er placeret højere oppe i boringen.

Vandspejlet i boringen er beliggende ca. 3,5 m u.t., og der blev i afprøvningsperioden opereret med et neddykningsforhold på 0,33, som vist på nedenstående figur 5.



Figur 5. Installation af In-Well Aerator i afprøvningsperioden, Ulstrup

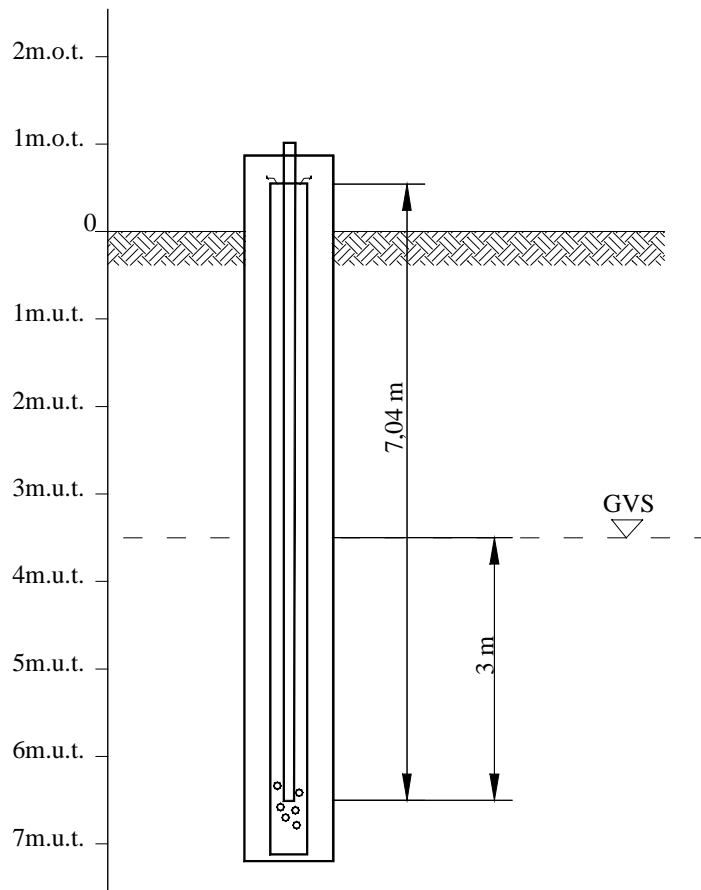
$$\text{Neddykningforhold} = \frac{H_s}{H_{\text{luft}}} = \frac{2,69 \text{ m}}{8,14 \text{ m}} = 0,33$$

Hvor

H_s er den vertikale afstand fra vandspejl til luftindblæsningspunkt.

H_{luft} er den vertikale afstand fra luftindblæsningspunkt til udledningspunktet

Efter afprøvningsperiodens afslutning er Aeratoren optimeret ved at ændre udledningspunktets og indblæsningspunktets placering, således at neddykningsforholdet er ændret til 0,43, jf. nedenstående beregninger. Dette er bl.a. sket ved at sænke udløbet fra In-Well Aeratoren, da der blev fundet mulighed for at ændre afledningen til kloak. Den ændrede opstilling fremgår af nedenstående figur 6.



Figur 6. Installation af In-Well Aerator i driftsperioden, Ulstrup

$$\text{Neddykningsforhold} = \frac{H_s}{H_{\text{luft}}} = \frac{3,0 \text{ m}}{7,04 \text{ m}} = 0,43$$

Hvor

H_s er den vertikale afstand fra vandspejl til luftindblæsningspunkt.

H_{luft} er den vertikale afstand fra luftindblæsningspunkt til udledningspunktet.

Virksomheden etablerede aftag for trykluft og afløb til det kommunale spildevandssystem umiddelbart op ad In-Well Aeratoren.

For at hindre uvedkommende adgang til Aeratoren - samt forhindre frost i systemet - er der udenom In-Well Aerator og de øvrige installationer bygget et isoleret skur.

2.4.1 Indkøringsperiode

Forud for igangsætningen af afværgepumpningen er der udført forskellige pumpeforsøg med det formål at bestemme og optimere anlægget herunder at fastlægge det optimale luftflow.

Luftflow m³/h	TCE µg/l	PCE µg/l
9/11 – før start	130	3,3
45,6	0,71	0,03
38,9	1,2	0,03
12/11 – før start	140	3,8
82,2	1,1	0,2
41,0	1,6	0,03
50,6	3,0	0,06
74,7	0,18	0,01
67,4	0,18	<0,01
61,6	0,79	0,01

Tabel 2. Indledende pumpeforsøg

Af tabel 2 ses vandets indhold af TCE og PCE ved forskellige pumpeydelse under de indledende pumpeforsøg. Målingerne er foretaget 15 – 30 minutter efter regulering af luftflow. Det fremgår, at indholdet af TCE og PCE reduceres fra hhv. 140 og 3,3 µg/l til 0,2-3 µg/l og <0,01-0,2 µg/l ved behandling i In-Well Aeratoren.

Det viste sig under indkøringsperioden, at det behandlede vand ved afledning stadig indeholdt så meget luft, at de registrerede pumpeydelse under indkøringsperioden ikke var korrekte.

Mellem afløbet fra In-Well Aeratoen og vanduret blev der den 22. november 1998 etableret en udligningsbeholder for at undgå luftbobler i vandet. Her ved er opnået, at pumpeydelse fra denne dag er målt korrekt, samt at der har kunnet udtages vandprøver, der ikke indeholder luft.

I indkøringsperioden er det erfaret, at der ved brug af den nederste belufter ophobes luft i systemet, hvorved pumpekapaciteten reduceres, således at der skal bruges forholdsvis mere energi til oppumpning.

De udførte grundvandsanalyser viste, at indholdet af chlorerede opløsningsmidler reduceres til ca. 1 µg/l - uden anvendelse af den nederste belufter. Derfor blev det valgt ikke at anvende denne. Der er således under hele afprøvningsperioden anvendt 1 belufter og ikke 2, som afprøvningsaeratoren oprindeligt var projekteret med.

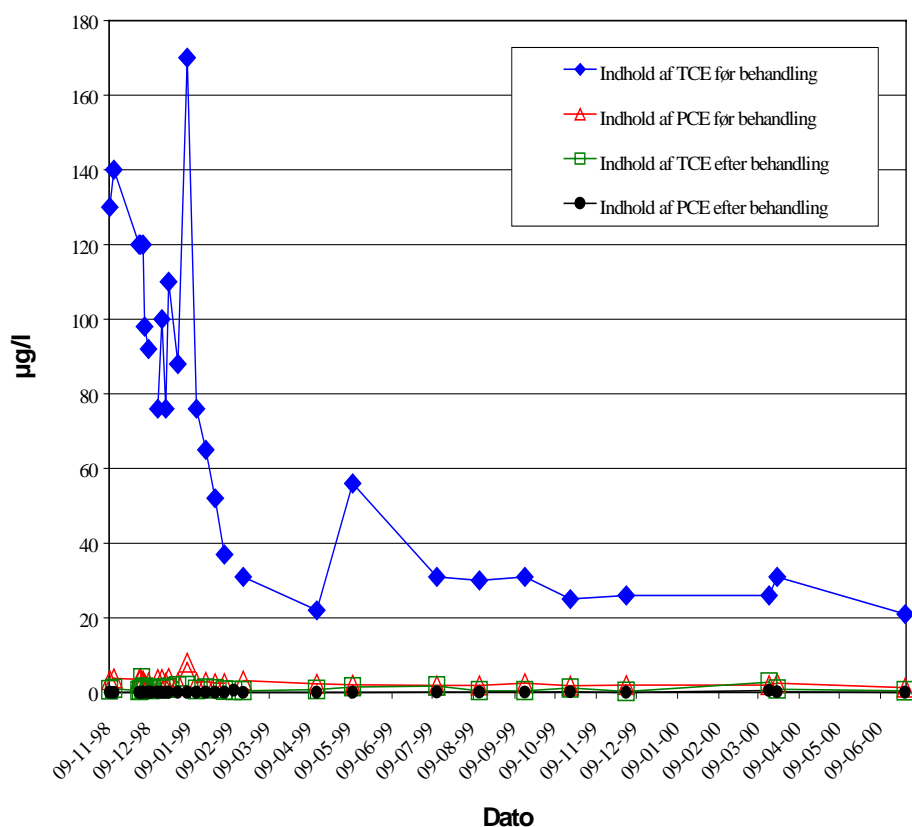
2.4.2 Dokumentationsprøver

Ved pumpeboringen er der etableret udtag for prøvetagning af det oppumpede og behandlede vand samt udtag for prøveudtagning af afkastluft. Prøver af det ubehandlede vand er af sparehensyn udtaget i en eksisterende boring (B23) beliggende 10 meter nordøst for pumpeboringen. Boringen er filtersat i en kortere filterstrækning end afværgeboringen, og forureningsniveauet i de to borer er derfor ikke helt ens. Som en stikprøve er der dog udtaget vandprøve af det ubehandlede vand den 26. april 1999 i afværgeboringen og B23. Resultatet heraf viser et indhold af TCE på 30 µg/l i afværgeboringen

og et indhold af TCE på 26 µg/l i B23. På baggrund heraf vurderes at forureningsniveauerne i de to boringer ligger på samme niveau.

Prøver af afkastluften er udtaget i tedlarposer ved hjælp af en Prenart pumpe og en evakueringsbeholder. Prøverne er herfra overført til kulrør ved hjælp af en SKC-pumpe.

Alle kulrørs- og vandprøver er analyseret for indhold af chlorerede opløsningsmidler ved GC-ECD hos Miljø-Kemi i Viborg.



Figur 7. Resultat af dokumentationsprøver

Ved opstart af In-Well Aeratoren er indholdet af TCE i det ubehandlede vand (målt i boring B23) på ca. 140 µg/l. Igennem perioden reduceres dette indhold til ca. 20 µg/l. Ved stripping af forureningskomponenterne i In-Well Aeratoren er indholdet af TCE reduceret, så der i det behandlede vand er en koncentration af TCE på under 1 µg/l.

2.4.3 Driftsresultater

Med undtagelse af en kort periode, hvor luftindblæsningen for pumpetrimnet var itu, har systemet kørt kontinuerligt. Defekten opstod ved beskadigelse af en fitting i forbindelse med et rutineeftersyn.

Analyseresultaterne viser, at der under driften er opnået rensningsgrader mellem 96,2 og 99,6 %.

Det har i afprøvningsperioden på 12 uger ikke været muligt at opnå den ønskede pumpeydelse på 1,5 m³/h. Den gennemsnitlige pumpeydelse lå på 0,6 m³/h, og den maksimale pumpeydelse, der blev opnået, var 0,9 m³/h.

Konsekvensen af den lavere pumpeydelse er primært, at afværgepumpningen ikke har den ønskede effekt på indfangningen af forurenede grundvand lige- som strippingen heller ikke kan forventes at fungere optimalt.

Der kan være flere årsager til den lave pumpeydelse. Som nævnt i afsnittet om lufthævepumpning er det vigtigt at opnå et tilstrækkeligt stort neddykningsforhold. I Ulstrup har det pga. hensynet til ikke at gennembore et eventuelt beskyttende lerlag ikke været muligt at opnå et optimalt neddykningsforhold.

Af resultaterne ses endvidere, at flowet aftager gennem drifts-perioden. Dette kan skyldes, at der sker en luftophobning i systemet. Ved stop og genstart af anlægget er det således muligt at opnå en relativ højere pumpeydelse. Registrering af dette problem, samt tiltag til afhjælpning, er dog ikke sket indenfor den forholdsvis korte afprøvningsperiode.

Der blev i design af systemet taget højde for, at det rensede vand skulle kunne løbe frit til en kloak. Den kloak hvor det oprindeligt var planlagt, at vandet skulle afledes til ligger terrænmæssigt højere end pumpeboringen. Derfor blev systemet projekteret til udledning 3 meter over terræn. Da anlægget skulle udføres, opstod mulighed for at aflede vandet til en nærliggende lave- re liggende kloak.

Ved at sænke udløbets højde over terræn er der opnået et mere optimalt neddykningsforhold.

2.4.4 Luftforbrug

Det var aftalt, at virksomheden via strømforbruget til produktion af trykluft skulle registrere In-Well Aeratorens energiforbrug. Det har siden vist sig, at en sådan opgørelse ikke har kunnet udarbejdes med den fornødne præcision.

Til drift af In-Well Aeratoren er der tilsluttet luftflowmålere og trykmålere, der registrerer mængden af den anvendte trykluft og modtryk i systemet.

Trykluftforbruget er skønnet af virksomheden på baggrund af erfaringer fra virksomhedens normale drift. Sidst i januar 1999 har virksomheden vurderet den luftmængde, der er anvendt til afværgepumpningen til at være ca. 125 m³/h.

Den 27. januar 1999 er der aflæst et luftforbrug på 123 m³/h ved 0,7 bar på flowmåleren ved In-Well Aeratoren.

2.4.5 Optimering

For at optimere driften af In-Well Aeratoren er der ultimo april 1999, dvs. efter afprøvningsperioden, foretaget forbedringer på systemet. Udledningspunktet er sænket ca. 1 m, hvorved der er opnået et flow på de ønskede 1,5 m³/h, og systemet viste potentiale for et højere flow. Med den nedsatte H_{luft} er der jf. de tidligere beregninger opnået et neddykningsforhold på 0,43.

Ombygningen har desuden resulteret i et reduceret luftbehov, idet den registrerede luftmængde nu er ca. 85 m³/h til oppumpning af 1,5 m³/h behandlet vand.

2.4.6 Observerede vandspejlsniveauer

Til registrering af vandspejl og sænkning ved afværgepumpningen er vandspejlet logget i 4 boringer omkring afværgeboringen, idet det ikke er muligt at pejle grundvandsstanden i selve afværgeboringen.

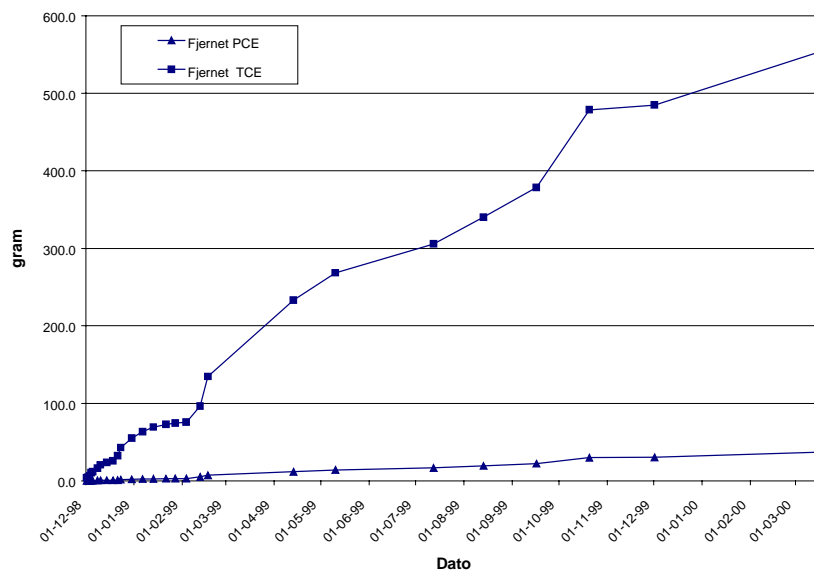
Ved pejlinger kunne der registreres en startsænkning i B7 på 5 cm. På baggrund af modelberegninger er der under stationære forhold beregnet en sænkning i B7 på ca. 0,40 m ved det beregnede nødvendige flow på 35 m³/døgn (1,5 m³/h). Som følge af vandspejlsfluktuationer er det ikke muligt på baggrund af håndpejlinger at bestemme den stationære sænkning i B7, men det forventes, at der forekommer en større sænkning end de registrerede 5 cm.

Den forholdsvis lave sænkning skyldes dels, at det under afprøvningsperioden ikke har været muligt at opnå den ønskede flow, og dels pumpeforsøgets korte varighed. Desuden kan usikkerheden ved bestemmelse af magasinets hydrauliske egenskaber medføre afvigelser fra den estimerede afsænkning.

2.4.7 Oprensingsresultat

I perioden fra 1. december 1998 til 27. juni 2000 er der i alt oppumpet ca. 17.000 m³ vand, hvorved der i alt er fjernet ca. 550 g TCE og 36 g PCE.

Hovedparten heraf er fjernet i perioden 1. december 1998 til 3. februar 1999, hvor gennemsnitskoncentrationen i det ubehandlede vand var ca. 100 µg/l TCE. Herefter var gennemsnitskoncentrationen ca. 30 µg/l TCE.



Figur 8. Fjernet forurening (akkumuleret)

Under afværgeforløbet har vandprøver udtaget i området ligeledes vist, at forureningskoncentrationerne mellem kilden og afværgeboringen er reduceret til et niveau på ca. 30 µg/l – dvs. samme niveau som i det ubehandlede vand. Mellem afværgeboringen og recipienten - tættest på afværgeboringen - er koncentrationerne i grundvandet faldet fra et niveau på ca. 200 µg/l TCE til ca. 40 µg/l TCE, hvorimod forureningskoncentrationerne tættest på recipienten er faldet fra et niveau på 2000 µg/l til 1400 µg/l. jf. situationsplanen i figur 3.

	Inden afværgen (juni 1998)		(august 2000)	
	PCE µg/l	TCE µg/l	PCE µg/l	TCE µg/l
B7	7,1	220	2,1	21
B8	6,2	210	6,1	38
B11	130	2000	95	1400

Tabel 3. Analyseresultater af vandprøver i området

Effekten af afværgepumpningen kan således registreres tættest på afværgeboringen, hvorimod der ikke er nogen entydig effekt længst nedstrøms afværgeboringen. På baggrund af modelberegninger forventes det at tage en vandpartikel ca. 4 år at nå fra området omkring afværgeboringen til recipienten. Dette harmonerer således fint med resultaterne, hvor der efter 2 års drift kan ses en effekt af afværgepumpningen i ca. halvdelen af området mellem afværgeboringen og recipienten.

Boringernes placering fremgår af situationsplanen i figur 3.

2.4.8 Udfældning

I nedenstående tabel er medtaget analyseresultat af en boringskontrol udført på en vandprøve, fra B23, som ligger umiddelbart op ad afværgeboringen.

	B23 -3	Grænseværdier for drikkevand	
		Vejledende	Maksimalværdier
Ledningsevne [mS/m]	41	> 30	
PH	7,1	7,0 – 8,0	8,5
Inddampningsrest [mg/l]	350		1500
Iltindhold [mg/l]	6,2		
Aggressiv kuldioxid [mg/l]	18		i.m.
Hydrogencarbonat [mg/l]	88	> 100	
NVOC [mg/l]	5,4		
Permanganattal [mg/l]	25	6	12
Ammonium [mg/l]	< 0,01	0,05	0,5
Nitrit [mg/l]	< 0,01	i.m.	0,1
Nitrat [mg/l]	35	25	50
Total-Phosfor [mg/l]	0,10	i.m.	0,15
Calcium [mg/l]	51		
Chlorid [mg/l]	41	50	300
Fluorid [mg/l]	0,2		1,5
Jern [mg/l]	0,84	0,05	0,2
Kalium [mg/l]	4,6		10
Magnesium [mg/l]	3,5	30	50
Mangan [mg/l]	0,04	0,02	0,05
Natrium [mg/l]	22	20	175
Nikkel [µg/l]	5		50
Sulfat [mg/l]	39	50	250

i.m.: ikke målelig

Tabel 4. Analyseresultater som boringskontrol

Af tabel 4 fremgår, at grundvandet i B23 - og dermed vandtypen i det terrænnære magasin - indeholder ilt og nitrat. Der er således tale om aerobe

forhold. At der samtidig forekommer jern indikerer, at der er tale om blandingsvand med bidrag fra en reduceret vandtype.

Der er tale om blødt, kalkaggressivt vand med hårdhed 8 °dH. Analysere-sultaterne giver ikke anledning til forventning om særlige udfældningsproblemer.

Anlægget er demonteret og inspiceret 2 gange i afprøvningsperioden efter henholdsvis knap 1 måneds og 5½ måneds drift samt efter godt et års drift.

Der er observeret et ganske tyndt lag med bakterievækst på rørene men herudover ingen tegn på udfældninger, tilklogning, slitage eller lignende.

2.5 Økonomi

2.5.1 Etablering

- Boring, ø315, 7 m u.t. 20.000 kr.
- Pris for anlæg inkl. installering og skur ca. 120.000 kr.
- Blæser, 3 kW (80 m³ ved 0,8 bar) ca. 22.000 kr.

Den samlede anlægsudgift i Ulstrup er således 162.000 kr.

2.5.2 Drift

I Ulstrup er det faktiske energiforbrug, som nævnt tidligere, ikke registreret. På grundlag af det nuværende erfaringsniveau med driften af In-Well Aeratoren er der indhentet priser på en 3 kW blæser, der kan levere den ønskede luftmængde ved ca. 1 bar.

Omkostningerne til drift af anlægget i Ulstrup er herudfra estimeret til 85.000 kr. årligt indeholdende udgifter til energi, vedligehold af blæser og eftersyn af anlæg.

Lokalitet/pumpe	Løftehøjde m	Vandmængde m ³ /h	Energiforbrug kW	Omkostning kr./m ³
Ulstrup/In-Well Aerator	5	1,5	3**	2,02

** Energiforbruget er beregnet på baggrund af blæserens maksimale ydelse – ved kontinuerlig drift vil energiforbruget være mindre end blæserens maksimale ydelse.

Tabel 5. Driftsomkostninger for afværgeanlæg i Ulstrup

Jf. ovenstående tabel er driftsomkostningerne til oppumpning og behandling af vandet estimeret til kr. 2,02 pr. m³.

2.5.3 Demontering

I henhold til de opnåede erfaringer vurderes det, at anlægget kan fjernes på en arbejdsdag, ud over den tid det tager at retablere boringen. Idet anlægget hovedsageligt består af PVC, kan det enten indleveres til ombearbejdning, eller bruges i et andet anlæg.

2.6 Fremtidigt afværgeforløb

Efter afslutning af afprøvningsperioden for 1,5 år siden er pumpen på foranledning af virksomheden fortsat i drift. Adept Technologies A/S og virksomheden fører tilsyn med pumpen. Virksomheden observerer således 1-2 gange

om måneden, at pumpen kører, og at indstillingen er korrekt. Ca. 2 gange årligt udfører Adept Technologies A/S tilsyn med In-Well Aeratoren. Efter afprøvningsperioden er der efter justering opnået et kontinuert flow på 1,5 m³/h.

Det er dog observeret, at det på grund af driftsændringer på virksomhedens trykluftanlæg er meget svært at indregulere luftmængden til pumpen, så flowet bliver konstant. Det overvejes derfor, at virksomheden i forbindelse med ombygning af produktionen etablerer en blæser, der udelukkende leverer trykluft til afværgepumpen. Herved kan der opnås et konstant, kontinuert flow, således at behovet for tilsyn minimeres yderligere.

3 Afprøvning, Askov

Med støtte fra Miljøstyrelsens Teknologiuudviklingsprogram er In-Well Aeratoren afprøvet på en lokalitet i Askov, Ribe Amt.

Dette kapitel indeholder en beskrivelse af det igangværende projekt i Askov, herunder oprensningsresultater og driftsomkostninger.

3.1 Indledning

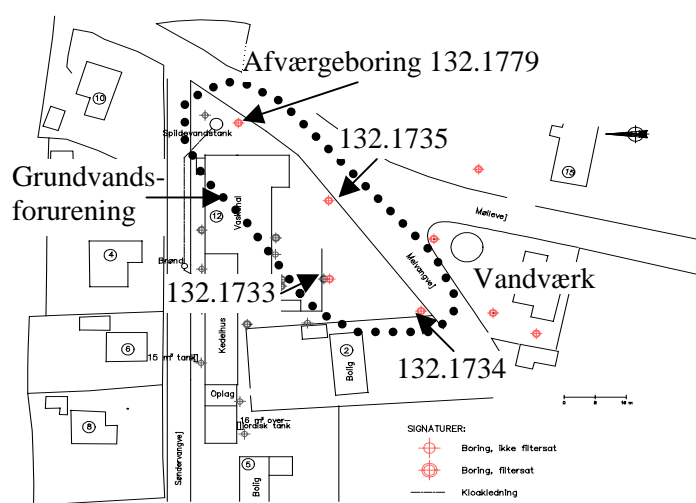
På baggrund af forureningsundersøgelser udført i 1996-1998 /7/ er der i efteråret 1999 iværksat et teknologiuudviklingsprojekt i Askov i Ribe Amt. Teknologiuudviklingsprojektet er udført i et samarbejde mellem Ribe Amt, Adept Technologies A/S og NIRAS.

Projektet omfatter oppumpning og rensning af grundvand fra det primære grundvandsmagasin med In-Well Aeratoren fra én boring. Foruden afværge af en truende grundvandsforurening udføres projektet med henblik på at opnå yderligere erfaring med denne afværgemetode, herunder drift ved større løftehøjde, etablering i en mindre boringsdimension samt installation i en underjordisk brønd.

Sideløbende med dette projekt er der på samme lokalitet igangsat yderligere et projekt, støttet af Miljøstyrelsens Teknologiprogram. Dette projekt omfatter afprøvning af oprensning af den umættede zone ved hjælp af passiv ventilation og afrapporteres i en særskilt rapport.

3.2 Forureningsituation

I dette afsnit beskrives baggrund og forureningsituation for lokaliteten. En situationsplan for området findes i figur 9. Det bemærkes at grundvandsforureningens udbredelse kun er skønsmæssigt angivet på figuren.



Figur 9. Situationsplan, Askov

3.2.1 Baggrund

Der har været drevet vaskeri og renseri på ejendommen i perioden 1945-1997. Forureningsundersøgelserne har påvist en forurening med chlorerede opløsningsmidler, fortrinsvis tetrachlorethylen (PCE). Forureningen er påvist i jorden, i lokale vandførende sandede lommer i det terrænnære moræneler, i sandet under moræneleren samt i toppen af det primære magasin. Ejendommen anvendes på nuværende tidspunkt som lager for et flyttefirma.

Ejendommen ligger 50 m fra indvindingsboringerne for områdets vandforsyning, Askov Vandværk, hvorfor Ribe Amt har gennemført forureningsundersøgelser på lokaliteten.

3.2.2 Geologi og hydrogeologi

Det fremgår af DGU's geologiske basisdatakort /9/, at jordlagene til ca. 10 m u.t. udgøres af moræneler. Herunder træffes vekslende lag af smeltevands-sand til ca. 89 m u.t. I zonen fra 49-74 m u.t. ses indslag af enkelte lerlag på omkring 1 m's tykkelse i smeltevandsserien.

Områdets primære grundvandsmagasin træffes i smeltevandsaflejringerne og har et frit vandspejl ca. 30 m u.t. Indvindingsboringerne for Askov Vandværk er beliggende ca. 50 m syd for lokalitetens formodede kildeområde. Vandværket indvinder fra zonen 68-90 m u.t..

Den lokale geologi er overvejende opbygget af et terrænnært lerlag med en tykkelse af 6 til 9 m, herunder fin-, mellem og grovkornet sand med indslag af silt og ler. Under moræneleret er der således en umættet zone på op til 20 meters tykkelse bestående af fint til groft smeltevandssand. Moræneleret og de underliggende smeltevandsaflejringer har et stort indhold af synlige kalkstykker, hvorfor aflejringerne med stor sandsynlighed er fra Weichsel.

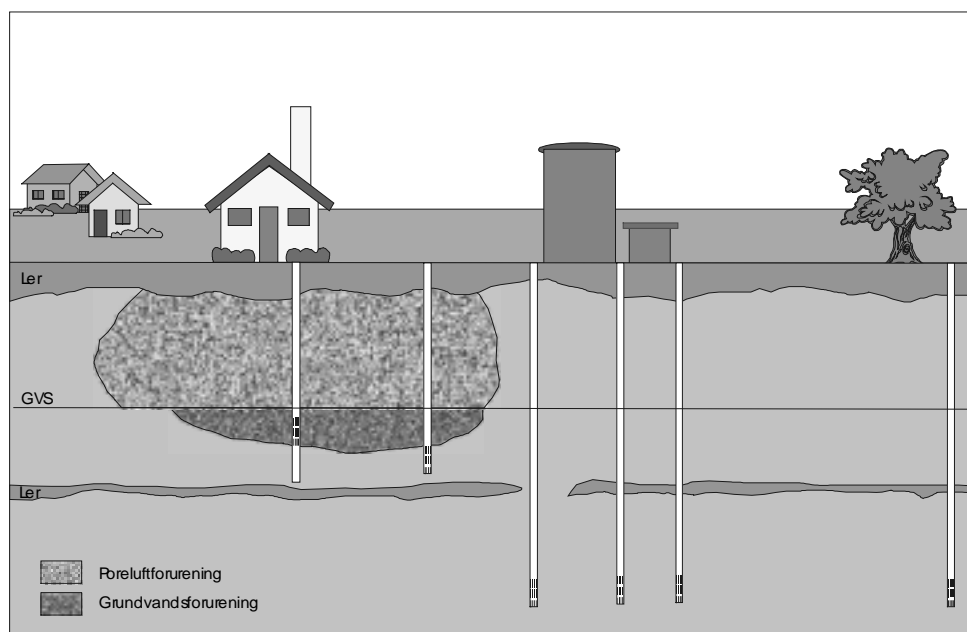
Ved nærmere granskning af områdets boreprofiler samt resultatet af en borehulslogging i to af vandværkets indvindingsboringer /10/ vurderes, at der er et sammenhængende lavpermeabelt jordlag i dybden 50 – 55 m under terræn. DGU nr. 132.180 er den eneste boring, hvor lerlaget ikke er beskrevet. Dette kan dog skyldes mangelfuld jordartsbeskrivelse under borearbejdet.

I flere borerapporter beskrives lerlaget som interglacialt ferskvandsler. Fra Vejenområdet (øst for Askov) kendes tilsvarende ferskvandsler i samme kote aflejret i Eem, hvor området var en større sø. Lerlagene i Askov kan have forbindelse med dette lag.

I flere boringer er der truffet sandede vandførende zoner i de terrænnære lerlag. Der vurderes at være tale om helt lokale "vandlommer" og ikke et egentligt sammenhængende sekundært magasin.

Beliggenheden af det frie vandspejl i området – formentlig det primære magasin – er ved flere lejligheder bestemt ved pejling til 28,5 – 29,1 m.u.t.

Grundvandets strømningsretning vurderes at være sydøstlig.



Figur 10. Principskitse. Møllevej i Askov

3.2.3 Jord

I den terrænnære moræneler er der påvist indhold af PCE på op til 757 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

3.2.4 Poreluft og indeklima

Umiddelbart under betongulv i den tidligere renseribygning er der ved poreluftmålinger påvist indhold af PCE på op til 6,1 mg/m^3 .

Forureningen er trængt gennem det terrænnære lerlag og observeres i den underliggende umættede zone (ca. 9 – 30 m u.t.), hvor der er påvist PCE-koncentrationer (poreluft) i intervallet 30 - 730 mg/m^3 – højst umiddelbart under lerslaget og faldende med dybden. Som gennemsnit vurderes det, at der før etablering af afværgeforanstaltningerne var et indhold på 450 mg/m^3 umiddelbart under vaskeribygningen.

3.2.5 Grundvandsforurening

I lokale vandførende horisonter, i den terrænnære moræneler, er der påvist koncentrationer af PCE på op til 350 $\mu\text{g}/\text{l}$.

Der er udført tre observationsboringer; DGU 132.1533, 132.1534 og 132.1535, der er filtersat i 3 niveauer i toppen af det primære magasin. Boringerne er udført til en dybde af hhv. 35, 42 og 38 m under terræn og er filtersat i flere niveauer i det primære magasin. Grundvandsspejlet står ca. 29 m under terræn. I toppen af grundvandsmagasinet er der påvist koncentrationer af PCE op til 730 $\mu\text{g}/\text{l}$. Koncentrationerne er aftagende med dybden, således er der 42 m under terræn påvist indhold af PCE på 2,3 $\mu\text{g}/\text{l}$.

Grundvandets strømningsretning er sydøstlig, hvorfor forureningsfanen fortrinsvis bevæger sig nordøst om vandværkets indvindingsboringer.

Trykniveauet i toppen af det frie magasin er ca. 1 meter højere end trykniveauet i indvindingsdybden for Askov Vandværk. Der er således nedadrettet gradient i magasinet

Ved prøvepumpning i vandindvindingsboringer på Askov Vandværk samt i observationsboringerne er der påvist tegn på forekomster af lavpermeable lag, der reducerer den hydrauliske kontakt mellem den nedre og den øvre del af magasinet.

3.2.6 Risikovurdering

På baggrund af poreluftmålinger under gulv er der vurderet at være risiko for uacceptabel indeklimapåvirkning ved anvendelse af den tidligere renseri-bygning som bolig.

Forureningsundersøgelser har vist, at forureningen med chlorerede opløsningsmidler forekommer i det terrænnære moræneler, i den underliggende sandede del af den umættede zone samt i toppen af det primære magasin. Forureningen i toppen af det primære magasin vurderes at udgøre en trussel overfor de nærliggende vandindvindingsboringer.

Undersøgelsesresultaterne indikerer, at der findes et lavpermeabelt jordlag mellem filterniveauet i observationsboringerne og filterniveauet i vandværkets indvindingsboringer. At grundvandet strømningsretning desuden ikke er direkte mod vandværksboringerne, er sandsynligvis årsagen til, at forureningen ikke endnu er påvist i indvindingsboringerne.

Det er vurderet, at det lavpermeable jordlag ikke på længere sigt forhindrer en nedsivning af forureningskomponenter til den dybereliggende del af magasinet, hvorfor det er besluttet at iværksætte afværgeforanstaltninger.

3.3 Afværgestrategi

Som afværgestrategi på lokaliteten er valgt at oprense forureningen i den umættede zone under moræneleren ved hjælp af passiv ventilation. Dette kombineres med afværgepumpning i toppen af det primære magasin ved hjælp af en In-Well Aerator. Af hensyn til at forhindre eventuel støjemission til de nærliggende boliger samt at muliggøre flyttefirmaets adgangsforhold på lokaliteten er In-Well Aeratoren etableret i en underjordisk tørbrønd.

3.4 Projektstart

Projektet har været opdelt i tre perioder: en indkørings-, en afprøvnings- og en driftperiode, som er fordelt som følgende:

Indkøringsperiode:	21. februar 2000 – 1. juni 2000.
Afprøvningsperiode:	1. juni 2000 – 1. december 2000.

Efter afprøvningsperioden har anlægget været i fortsat drift - forestået af Ribe Amt.

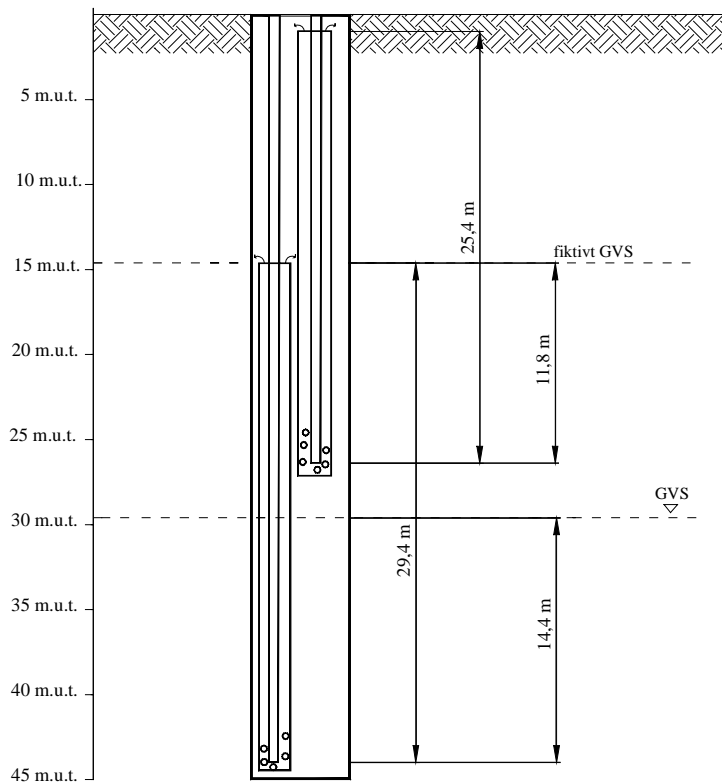
På baggrund af resultatet af de indledende undersøgelser er afværgeboringen planlagt etableret centralt i forureningsfanen, øst for den tidligere renseri-bygning, DGU 132.1779, jf. figur 7.

Boringen er udført i januar 2000 som en foret snegleboring af brøndborerfirmaet Glibstrup A/S. Boringen er ført til 45 m u.t. og filtersat i ø250 mm i intervallet 31,5-35,5 m u.t. I intervallet 35,5 – 45 m u.t. er etableret et blindrør med henblik på at opnå så godt et neddykningsforhold som muligt.

Til udtagning af dokumentationsprøver af det ubehandlede vand er der i samme filterinterval desuden etableret et ø63 mm filter. Med henblik på passiv ventilation i den umættede zone er der endvidere etableret et ø63 mm filter i intervallet 7,0-20 m u.t.

Boringen er afsluttet under terræn i en vandtæt brønd.

In-Well Aeratoren i Askov er på grund af den store dybde til grundvandspejlet indrettet med 2 pumpetrin og 2 beluftere som vist på nedenstående figur 11.



Figur 11. Installation af In-Well Aerator, Askov

Det nedre pumpetrin har indblæsningspunkt 43 m u.t. svarende til 14,4 m under grundvandsspejlet, og pumper vandet op til et niveau 13,6 m u.t. Dette giver et neddykningsforhold på 0,49, jf. nedenstående formel. Det fiktive grundvandsspejl for Aeratorens andet pumpetrin ligger således 13,6 m u.t. Andet pumpetrin har indblæsningspunktet beliggende 25,4 m u.t. og skal løfte grundvandet til terræn. Dette giver et neddykningsforhold i andet pumpetrin på 0,46, jf. nedenstående formel.

$$\text{Neddykningsforhold}_{\text{nedre}} = \frac{H_s}{H_{\text{luft}}} = \frac{14,4 \text{ m}}{29,4 \text{ m}} = 0,49$$

$$\text{Neddykningsforhold}_{\text{øvre}} = \frac{H_s}{H_{\text{luft}}} = \frac{11,8 \text{ m}}{25,4 \text{ m}} = 0,46$$

Hvor

H_s er afstand fra vandspejl til luftindblæsning.

$H_{\text{løft}}$ er højden fra luftindblæsningspunktet til hvor vandet afledes.

Til pumpning og stripping anvendes trykluft fra kompressor, der er installeret i den underjordiske brønd.

I opstartsfasen er der anvendt en 22 kW kompressor, som senere er udskiftet til en 11 kW, en 5,5 kW blæser samt sluttelig en 5,5 kW kompressor.

Der er opsat en elmåler, således at energiforbruget, der anvendes til afværgepumpningen, kan registreres.

Til kontrol af den behandlede mængde vand er etableret et traditionelt vandur på afløbet til kloak. Det behandlede vand ledes efter aftale med Vejen Kommune til spildevandssystemet.

Afværgepumpningen er projekteret til en vandmængde på 1,5 m³/h.

3.4.1 Afprøvningsperiode

Aktiviteterne i indkøringsperioden har dels fokuseret på at opnå den ønskede oppumpning og rensningsgrad ved test og valg af den rette type og størrelse af kompressor/blæser og dels på at afprøve/optimere prøvetagningssystemet for ubehandlet vand.

I starten af indkøringsperioden, fra den 21. februar 2000, er der anvendt en 22 kW kompressor for med sikkerhed at have tilstrækkelig kapacitet. Oppumpningen og rensningen forløb tilfredsstillende indenfor de første 2 ugers drift. På baggrund af de indledende resultater var det planlagt at afprøve en 5,5 kW blæser, som viste sig at have en meget lang leveringstid. Efter 10 ugers drift blev midlertidigt monteret en 11 kW kompressor. Kapaciteten af denne kompressor var som forventet rigelig og kompressoren var af en type, som under de aktuelle driftsforhold havde hyppige udfald på grund af overophedning, hvorfor der blev etableret yderligere ventilation af brønden. Den 23. august 2000 blev den bestilte 5,5 kW blæser afprøvet. Den viste sig at have et alt for højt støjniveau. Den viste sig desuden mangelfuld i forbindelse med opstart, hvor den ikke leverede det nødvendige tryk (3 bar). Derfor blev der installeret en 5,5 kW kompressor den 4. oktober 2000, som vurderes at være den bedste løsning med hensyn til energi og effekt.

3.4.2 Dokumentationsprøver

Prøvetagningen af ubehandlet vand foretages ved hjælp af et separat ø63 mm filter placeret i samme niveau som indtaget til afværgeboringen, som vist i figur 11. Prøverne udtages med en MP1-pumpe. Efter 8 prøvetagningsrunder blev det erkendt, at der ved renpumpningen af ø63 mm blev trukket delvist behandlet vand retur fra ø250 mm filteret. Herefter blev prøvetagningsproceduren ændret, således at In-Well Aeratoren stoppes ca. 1 døgn før prøvetagning i ø63 mm filteret, hvorefter der med MP1-pumpen etableres et flow på 1,5 m³/h, indtil prøven udtages.

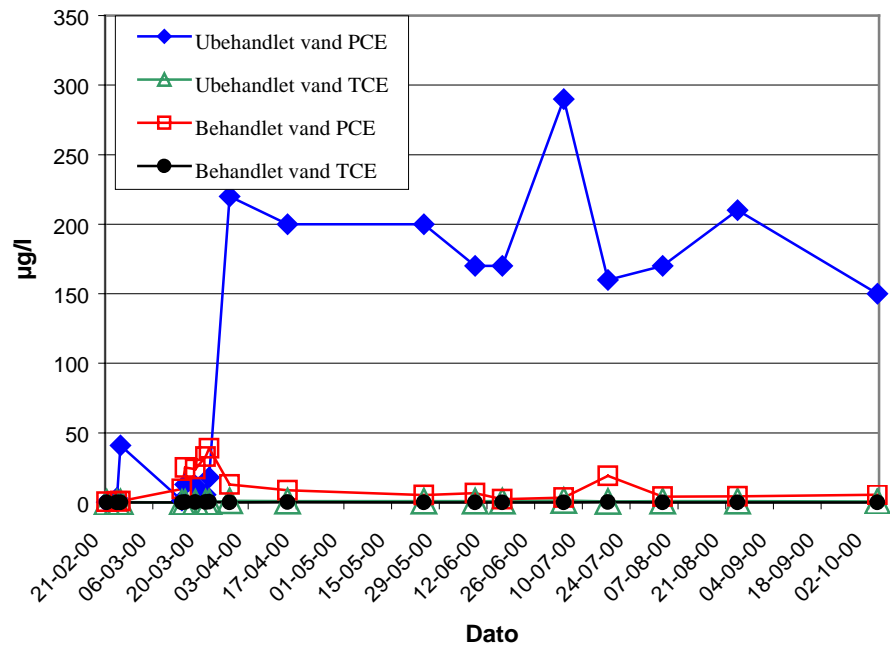
Prøver af det behandlede/ubehandlede vand udtages fra en hane placeret på afgangsledningen fra In-Well Aeratoren.

Prøverne af afkastluften er udtaget og overført til kulrør ved hjælp af en SKC-pumpe.

Alle kulrørs- og vandprøver er analyseret for indhold af chlorerede opløsningsmidler ved GC-ECD hos AnalyCen i Fredericia.

3.5 Driftsresultater

3.5.1 Dokumentationsprøver



Figur 12. Resultat af dokumentationsprøver

Som det fremgår af figur 12, reduceres indholdet af chlorerede opløsningsmidler ved behandling i In-Well Aeratoren fra ca. 200 µg/l til ca. 4 µg/l.

Rensningseffektiviteten er således lidt lavere i Askov end i Ulstrup. Adept Technologies A/S oplyser, at dette formentlig skyldes, at der i Askov er anvendt en anden beluftertype med henblik på at reducere energiforbruget.

3.5.2 Udfældning

	132.1779	Grænseværdier for drikkevand	
		Vejledende	Maksimalværdier
Ledningsevne [mS/m]	50,2	> 30	
PH	7,7	7,0 – 8,0	8,5
Inddampningsrest [mg/l]	340		1500
Iltindhold [mg/l]	8,9		
Aggressiv kuldioxid [mg/l]	<2		i.m.
Hydrogencarbonat [mg/l]	170	> 100	
NVOC [mg/l]	0,55		
Permanganattal [mg/l]	<2	6	12
Ammonium [mg/l]	0,017	0,05	0,5
Nitrit [mg/l]	0,001	i.m.	0,1
Nitrat [mg/l]	40	25	50
Total-Phosfor [mg/l]	0,034	i.m.	0,15
Calcium [mg/l]	75		
Chlorid [mg/l]	29	50	300
Fluorid [mg/l]	0,04		1,5
Jern [mg/l]	0,01	0,05	0,2
Kalium [mg/l]	1,4		10
Magnesium [mg/l]	3,4	30	50
Mangan [mg/l]	<0,005	0,02	0,05
Natrium [mg/l]	22	20	175
Nikkel [µg/l]	1,7		50
Sulfat [mg/l]	38	50	250

i.m.: ikke målelig

Tabel 6. Analyseresultater som boringskontrol fra afværgeboring

Af tabel 6 fremgår, at grundvandet i afværgeboringen - og dermed vandtypen i toppen af det primære magasin - indeholder ilt. Der er således tale om aerobe forhold. Vandet er middelhårdt med en total hårdhed på 11,3 °dH og dermed svagt kalkfældende. Da vandet ikke indeholder jern og mangan kan der ikke forventes særlige udfældningsproblemer.

Anlægget er demonteret og inspiceret én gang i afprøvningsperioden efter ca. 6 måneders drift.

Der er observeret et ganske tyndt lag af bakterievækst på rørene og herudover ingen tegn på udfældninger, tilklogning, slitage eller lignende.

3.5.3 Energiforbrug

I forbindelse med afprøvning af de forskellige kompressortyper er der udført tests, hvor sammenhængen mellem anvendt luftmængde og rensningsgrad er belyst.

Der er udført tests med en 11kW og 5,5 kW kompressor. 5,5 kW-kompressoren forventes anvendt i det videre afværgeforløb.

Kompressor/driftstilstand	Energiforbrug kW/m ³	PCE koncentration µg/l	
		Ubehandl.	Behandl.
11 kW-kompressor: 1/1	8	290	3,4
11 kW-kompressor: 1/2	5,7	290	22
5,5 kW-kompressor: 1/1	5,5	110	3,4
5,5 kW-kompressor: 1/2	4,0	110	12

1/1: Fuld stripning og pumpning

1/2: Kun pumpning

Tabel 7. Energiforbrug ved forskellige kompressortyper og beluftningsgrader

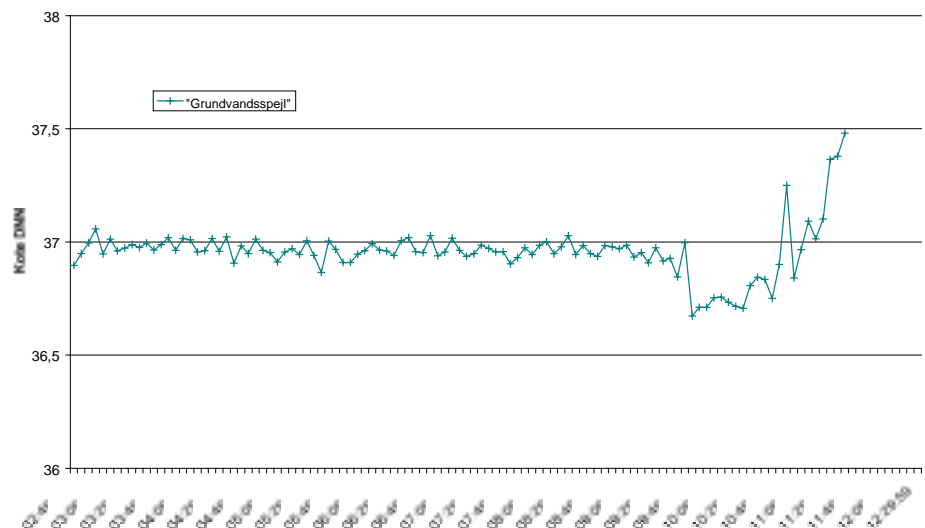
Som det ses af ovenstående tabel, er energiforbruget reduceret ved anvendelse af 5,5 kW kompressoren. Energiforbruget reduceres yderligere fra 5,5 kW til 4,0 kW pr. behandlet m³ vand, såfremt der kun anvendes luft til pumpning.

3.5.4 Optimering

Optimeringen af afværgepumpningen er sket ved at afprøve forskellige typer kompressorer og en blæser med henblik på at finde den mest optimale luftkilde med hensyn til tilsynshyppighed og energiforbrug.

Erfaringerne har vist, at det er meget vanskeligt på forhånd at dimensionere kompressoren optimalt. Dette skyldes samspillet mellem løftehøjde, grundvandsstand, geologiske forhold m.m. Derfor er det væsentligt, at valget af kompressor/blæser er fleksibelt, og at der om nødvendigt kan skiftes til en anden type/størrelse af luftforsyning.

3.5.5 Observerede vandspejlsniveauer



Figur 13. Vandspejlsvariationer i afværgeboring ved energiforsøg samt pumpestop

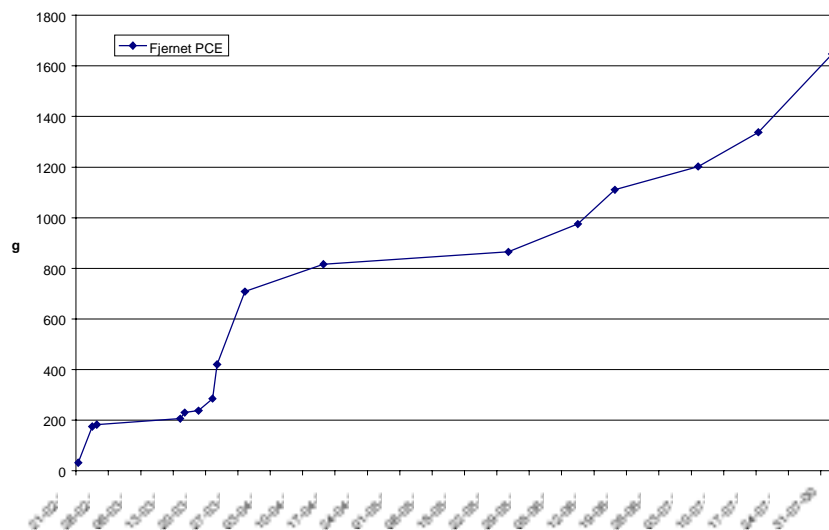
Ovenstående figur 13 viser variationer i vandspejlet i afværgeboringen, som er logget i forbindelse med de energiforsøg, der er udført den 6. december 2000. Frem til kl. 9.50 repræsenterer kurven sænkningen ved uforstyrret afværgepumpning. Derefter er der udført forskellige reguleringer af flow og

luftindblæsning hvorefter pumpen er stoppet kl 11.29 og grundvandsspejlet herefter er under retablering.

Ved den uforstyrrede drift er der opnået en sænkning i afværgeboringen på min. 0,5 m ved et flow på 1,5 m³/h. Ved regulering af lufttilførslen til boringen er der med 5,5 kW-kompressoren opnået et maksimalt flow på 2 m³/h med belufterne i drift. Et større flow kan opnås ved at anvende en større kompressor eller slukke for belufterne.

3.5.6 Oprensningsresultat

I perioden 21. februar 2000 til 4. oktober 2000 er der i alt behandlet ca. 8.000 m³ forurenede vand, og der er i alt fjernet ca. 1.650 mg PCE.



Figur 14. Fjernet mængde PCE (akkumuleret)

Koncentrationerne i det ubehandlede vand ligger i gennemsnit på ca. 200 µg/l i hele afværgeperioden. Der forekommer dog små variationer, som det ofte ses ved forureninger med chlorerede opløsningsmidler.

	Inden afværge (oktober 1999)		Efter af ca. 10 mdr. afværge (november 2000)	
	PCE µg/l	TCE µg/l	PCE µg/l	TCE µg/l
132.1733-1	300	1,1	93	0,5
132.1734-3	130	0,98	90	0,8
132.1735-2	730	2,4	230	2,4

Table 8. Analyseresultater af vandprøver i observationsboringer

På baggrund af vandprøverne, der er udtaget inden igangsætning af afværgeforanstaltningerne samt efter ca. 10 måneders drift, ses at koncentrationerne af chlorerede opløsningsmidler i observationsboringerne 132.1733, 132.1734 og 132.1735 er faldet. Vandprøverne er udtaget i filtrene i toppen af det primære magasin.

Faldet i koncentrationen skyldes dog sandsynligvis ikke udelukkende afværgepumpningen men også den passive ventilation, der er iværksat sideløbende.

3.6 Økonomi

3.6.1 Etablering

- Boring , ø250 mm, 45 m.u.t, kr. 70.000
- Tørbrønd inkl. elmåler og eltilslutning kr. 80.000
- Pris for anlæg inkl. installering ca. kr. 135.000
- Kompressor, 5,5 kW (60m³/h ved 4 bar) ca. kr. 55.000

Den samlede pris for etablering af afværgeanlægget i Askov har således været kr. 340.000,-.

3.6.2 Drift

Driftomkostningerne ved afværgeanlægget i Askov forventes at bestå af:

- elforbrug til kompressor
- tilsyn og vedligeholdelsesudgifter.

Alt efter hvilke udledningskrav som specificeres, kan anlægget indreguleres til en drift med fuld stripping eller kun pumpning.

Det årlige elforbrug ved de to situationer er estimeret til (1,5 m³/h og en løftehøjde på 30 m):

- elforbrug ved pumpning og fuld stripping: 72.000 kWh
- elforbrug ved pumpning alene: 53.000 kWh

Da tilsyns- og vedligeholdelsesudgifterne estimeres til ca. 30.000 kr. årligt vil de samlede driftomkostninger for de to situationer blive henholdsvis kr. 105.000,- eller kr. 85.000,- ved en energiudgift på kr 1,01pr. kW.

3.6.3 Demontering

Det forventes, at anlægget kan fjernes på en arbejdsdag, dog ikke inklusive retablering af boring. Idet anlægget hovedsageligt består af PVC, kan det enten indleveres til ombearbejdning eller bruges i et andet anlæg.

3.7 Fremtidigt afværgeforløb

Det forventes, at Ribe Amt fortsætter driften af afværgeanlægget i Askov.

Afværgepumpningen kan stoppes, når niveauet af opløst PCE i toppen af magasinet er passende lavt til, at det ikke udgør nogen trussel overfor de nærliggende vandindvindingsboringer, og når den passive ventilation afskærer yderligere tilførsel af forurening til det primære magasin.

4 Andre erfaringer

Ligeledes med støtte fra Miljøstyrelsens Teknologiudviklingsprogram er metoden også afprøvet på en lokalitet i Aabenraa, Sønderjyllands Amt. Herudover anvendes metoden på en lokalitet i Slangørup.

I dette kapitel beskrives erfaringer med In-Well Aerator teknikken i USA, herunder en beskrivelse af et afværgeprojekt, der har været i drift siden 1995/96.

Alle priser er omregnet fra US \$ til år 1999 kr.

4.1 Baggrund

In-Well Aerator teknologien er udviklet i 1995 ved University of California, Davis som et alternativ til traditionelle metoder til oprensning af grundvand forurenet med flygtige organiske stoffer.

4.2 Fuld skala oprensning, University of California Davis

In-Well metoden er opfundet og udviklet i tilknytning til en konkret afværge for forurenet grundvand på et areal, der er ejet af University of California, Davis. Dette projekt og forløbet af afværgeforanstaltningerne omhandles i det følgende.

4.2.1 Indledende undersøgelser

Forureningen skyldes nedsivning af opløsningsmidler og andre kemikalier fra et gammelt affaldsdepot, hvor der er foretaget afbrænding af kemikalieaffald. Nedsivningen er sket gennem 60'erne og 70'erne. Forureningen blev kortlagt i 1992, hvor der blev påvist en grundvandsfaner med chloroform og tetrachlorethylen, i et 300 m bredt område og 3.000 m nedstrøms kilden.

I 1994 blev der foretaget en vurdering af, hvilke afværgeteknikker der ville være anvendelige under de aktuelle forhold. Det blev vurderet, at kun traditionelle pump and treat metoder var anvendelige. Da disse metoder viste sig at være forholdsvis omkostningstunge, efterlyste universitetet billigere alternativer.

Pilottests med oppumpning ved lufthæveprincippet var tidligere afprøvet af US EPA som en alternativ teknik. Tests havde vist, at med lufthævepumpning uden yderligere beluftning blev ca. 50% af forureningen stripet fra det oppumpede vand /12/.

Trods den begrænsede rensningseffekt blev oppumpning ved lufthæveprincippet vurderet at være den bedste og økonomisk mest attraktive løsning.

In-Well Aeratoren blev på baggrund heraf udviklet til optimering af beluftningen og strippingen inde i boringen, og University of California Davis startede driften i oktober 1995.

4.2.2 Systemets opbygning

Til hydraulisk kontrol af fanen er der installeret et system med fire ø200 mm boringer placeret med en indbyrdes afstand på 100 meter, jf. figur 15. Hver

af borerne er forsynet med en In-Well Aerator. Dybden af de enkelte borer er 32 meter under terræn. Vandet afledes ca. 3 m over terræn, og grundvandsspejlet er ca. 10 m u.t. Neddykningsforholdet bliver således 0,64.

De 4 borer er forbundet med rør til afledning af det rensede grundvand samt luftslanger fra én central kompressor.

Pumpeydelsen er samlet for de 4 borer 43m³/h.

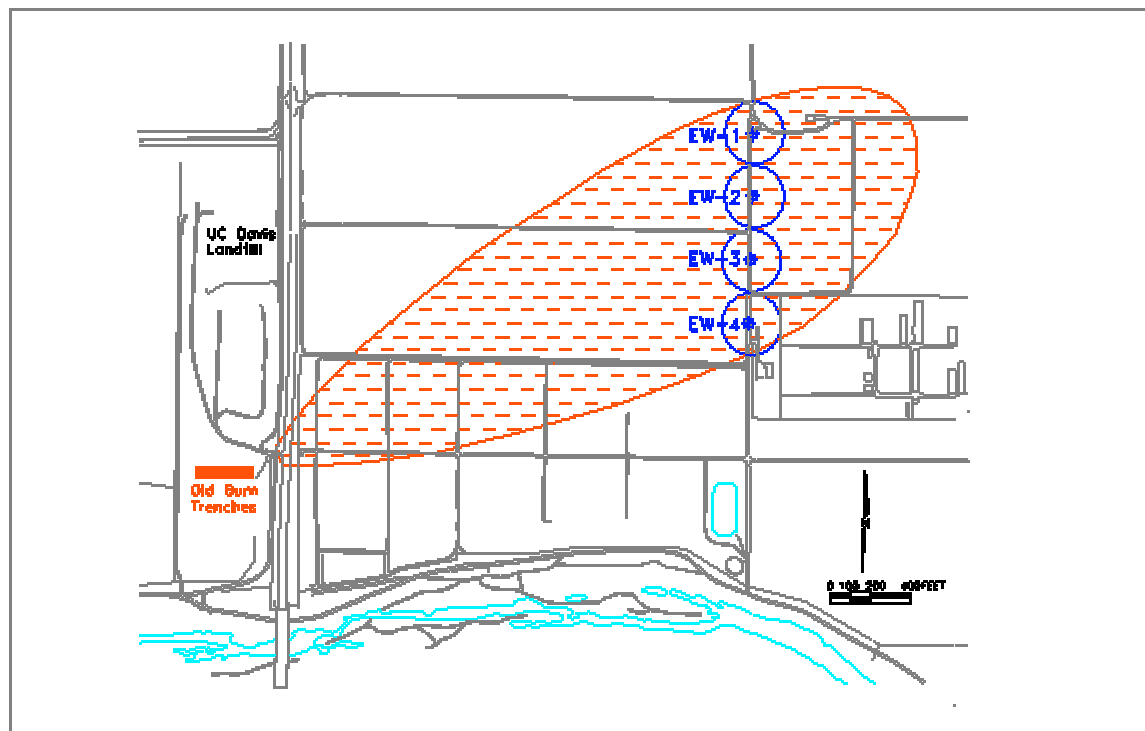


Figure 1

Figur 15. Forureningsfane UC Davis /1/

4.2.3 Driftsresultater

Anlægget har kørt kontinuerligt siden oktober 1995 uden nævneværdige problemer. Der er ikke observeret udfældninger ved de periodiske eftersyn, hvor de enkelte anlæg demonteres og inspiceres. Vandets hårdhed er 700 mg/l TDS. Indholdet af jern og mangan er ikke kendt.

I tabel 10 findes monitoringsresultaterne for afprøvninger i de forskellige borer, udført for perioden 1995-1999.

4.2.4 Testresultater

Stof	Koncentration inden behandling (µg/l)	Koncentration efter behandling (µg/l)
1,1-dichlorethylen	0,5 - 0,84	<0,5
1,2-dichlorethylen	1,4	<0,5 - 0,8
Trichlorethylen	0 - 20	<0,5
Tetrachlorethylen	1,1 - 16	<0,5
Chloroform	10 - 640	<0,5 - 85
Dichlor-difluormethan (freon 12)	0,7 - 2,5	<0,5 - 0,8
Trichlorethylen	0,6	<0,5

Tabel 9. Testresultater fra University of California Davis Camp

Af tabel 9 fremgår, at der er opnået rensningsgrader på 96-99,9% for samtlige chlorerede forbindelser i forureningsfanen.

4.2.5 Økonomi

De samlede omkostninger til oprensningen på UC Davis, der består af 4 boringer, har været ca. kr. 1.029.000,-. Dette er anslået til at være omtrent halvdelen af udgifterne til et traditionelt pump & treat system med rensning ved hjælp af et stripningsanlæg.

Vedligehold af systemet består af kvartalsvis udskiftning af olie og luftfilter på kompressor, ca. kr. 2.000,-. Dertil kommer en halvårlig mere detaljeret inspektion og forebyggende vedligehold, ca. kr. 6.000,-.

Energiforbruget for de 4 boringer, der i alt yder 43 m³/h, ligger på ca. 30 kWh, med en årlig omkostning på ca. kr. 70.000. (I USA er prisen for el ca. 0,28 kr./kWh).

4.3 Pilottest Portland

In-Well Aerator metoden blev i marts 1998 demonstreret på et militært område i Portland, Oregon.

Systemet er installeret i en 10 meter dyb ø300 mm boring med et flow på 0,8 m³/h. Grundvandsspejlet er ca. 2 m u.t., og vandet afledes ca. 2,5 m over terræn. Neddykningsforhold er således 0,54.

4.3.1 Testresultater

Stof	Koncentration før behandling (µg/l)	Koncentration efter oprensning (µg/l)
Trans 1,2 Dichlorethylen	23,5	<0,5
Cis 1,2 Dichlorethylen	26	<0,5 – 5
Trichlorethylen	350	<0,5
Vinylchlorid	1,5	<0,5

Tabel 10. Testresultater Portland

Der foreligger ikke oplysninger om energiforbruget eller vandets kemiske sammensætning.

4.4 Pilottest Savannah River Site

Afprøvning af In-Well Aerator på Savannah River Site, september 1998.

Systemet er etableret i en 52 meter dyb ø200 mm boring, og det behandlede vand reinjiceres over grundvandsspejlet i det frie magasin ca. 20,7 m u.t. Grundvandsspejlet er 32,8 m u.t., og neddykningsforholdet er således 0,93.

4.4.1 Testresultater

Koncentrationen af TCE og PCE var før rensning hhv. 2.528 µg/l og 47 µg/l. Efter rensning var koncentrationerne reduceret til hhv. 192 µg/l og 1,6 µg/l.

Der foreligger ikke oplysninger omkring energiforbruget. Under pilottesten stammede den tilførte luftmængde fra en kompressor lånt på lokaliteten.

5 Alternative afværgeteknikker

Til sammenligning med In-Well Aeratoren indeholder dette kapitel en kort beskrivelse af øvrige anvendte afværgeteknikker til oprensning af opløst grundvandsforurening, herunder etablerings- og driftsomkostninger.

De indhentede/estimerede priser er opstillet med udgangspunkt i det aktuelle projekt i Ulstrup med udgangskoncentrationer af TCE og PCE på henholdsvis 120-140 µg/l og 4 µg/l og med en nødvendig pumpeydelse på 1,5 m³/h.

Afværgemetode	Økonomi / vurdering						
Pump & treat med stripningsanlæg	<p>Økonomi:</p> <table> <tr> <td>Etablering ca.</td> <td>kr.</td> <td>200.000</td> </tr> <tr> <td>Drift pr. måned ca.</td> <td>kr.</td> <td>15.000</td> </tr> </table> <p>Prisen er ekskl. boring.</p> <p>Det er forudsat, at det ikke er nødvendigt med forbehandling af vandet. Hertil kommer en eventuelt vandafledningsafgift.</p> <p>Fordele:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gennemprøvet teknologi <p>Ulemper:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kræver stort anlæg på terræn • Ofte nødvendigt at forbehandle vandet inden rensning pga. problemer med udfældning. 	Etablering ca.	kr.	200.000	Drift pr. måned ca.	kr.	15.000
Etablering ca.	kr.	200.000					
Drift pr. måned ca.	kr.	15.000					
Pump and treat med aktivt kul	<p>Økonomi:</p> <table> <tr> <td>Etablering ca.</td> <td>kr.</td> <td>150.000</td> </tr> <tr> <td>Drift pr. måned ca.</td> <td>kr.</td> <td>15.000</td> </tr> </table> <p>Prisen er ekskl. etablering af boring</p> <p>Det er forudsat, at det ikke er nødvendigt med forbehandling af vandet.</p> <p>Fordele:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kendt og velafprøvet metode <p>Ulemper:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kræver meget tilsyn • Ofte nødvendigt at forbehandle vandet inden rensning pga. problemer med udfældning. 	Etablering ca.	kr.	150.000	Drift pr. måned ca.	kr.	15.000
Etablering ca.	kr.	150.000					
Drift pr. måned ca.	kr.	15.000					
In-Well Aerator	<p>Økonomi:</p> <table> <tr> <td>Etablering ca.</td> <td>kr.</td> <td>160.000</td> </tr> <tr> <td>Drift pr. måned ca.</td> <td>kr.</td> <td>7.000</td> </tr> </table> <p>Fordele:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lille pladsbehov. • Effektiv oprensning af opløst forurening med flygtige stoffer. 	Etablering ca.	kr.	160.000	Drift pr. måned ca.	kr.	7.000
Etablering ca.	kr.	160.000					
Drift pr. måned ca.	kr.	7.000					

<p>Afværgemetode</p>	<p>Økonomi / vurdering</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nem at installere og efterfølgende fjerne efter oprensning. • Stort set kun vedligehold på blæser/kompressor. • Tilsyneladende ingen udfældningsproblemer. <p>Ulemper:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kan vanskeligt anvendes ved boringsdiameter på mindre end $\varnothing 200$ mm. • Behov for at etablere en dybere boring end ved traditionelle pumpetyper.
----------------------	--

6 Evaluering

6.1 Designparametre

Designet på et In-Well Aerator anlæg vil variere fra lokalitet til lokalitet. De afgørende parametre er:

- Type og koncentration af forureningen.
- Udbredelsen af forureningsfanen.
- Dybde til vandspejl.
- Muligheden for at etablere tilstrækkeligt blindrør under vandspejlet under hensyntagen til de geologiske forhold.
- Den krævede influensradius (områdets hydrogeologi).
- Den ønskede pumpemængde.
- Dimension af eventuelt kulfilter.
- Emissionskrav til afkastluft og afledt grundvand.

På baggrund heraf dimensioneres anlægget :

- Antal boringer for at indfange hele fanen.
- Diameter på boring/boringer.
- Ønsket luftmængde, forventet tryk.
- Valg af kompressor eller blæser.
- Antal beluftere.
- Eventuelt filter til luftrensning.

Et meget væsentligt aspekt i forbindelse med design af den enkelte boring er at opnå et optimalt neddykningsforhold, der skal være i intervallet 0,3-1 og så tæt på 1 som muligt. Evt. begrænsninger på boreddybden, f.eks. hvis lav-permeable jordlag ikke ønskes gennembrudt, er derfor rigtige designforudsætninger.

De boringer, som er udført i forbindelse med en indledende forureningsundersøgelse kan eventuelt anvendes i forbindelse med etablering af afværge med In-Well Aeratoren. Dette kræver dog, at boringerne er minimum $\varnothing 200$ og har tilstrækkelig dybde. En mindre boringsdimension kan evt. anvendes, det afhænger dog af løftehøjde og dermed hvor mange pumpetrin og beluftere, der skal være plads til i boringen.

6.2 Fordele

Metodens fordele kan opsummeres til:

- Lille pladsbehov.
- Effektiv oprensning af opløst forurening med flygtige stoffer.
- Nem at installere og efterfølgende fjerne efter oprensning.
- Stort set kun vedligehold på blæser/kompressor.
- Tilsyneladende ingen udfældningsproblemer.

Anlægget omfatter ikke store og pladskrævende installationer. Dette er specielt en fordel ved oprensninger i byområder, hvor der ofte er meget begrænset plads til anlægskomponenter. Hele installationen kan således etableres underjordisk i en brønd, hvilket bl.a. er en fordel i forbindelse med støjemissionen fra kompressoren/blæseren.

Rensemethoden er effektiv til rensning af opløste niveauer af chlorerede opløsningsmidler. Resultaterne viser, at der kan renses ned under drikkevandskvalitetskriteriet, hvilket vil betyde, at det behandlede vand kan afledes direkte til en recipient. Dette har specielt betydning, fordi der hermed kan opnås en meget væsentlig reduktion af de sædvanlige afledningsafgifter.

Anlægget består af forholdsvis enkle komponenter, hvilket simplificerer vedligeholdelse og reparationer.

Ligeledes er det rimeligt nemt at udskifte komponenter, idet hele systemet kan udtages af boringen og reinstalleret i løbet af nogle få timer.

Anlægget er nemt at regulere og justere. Optimering eller tilpasning til ændrede ønsker om flow og rensningsgrad foretages ved justering af indblæst luftmængde, aktivering/deaktivering af beluftere eller beluftningstrin. Ændringer kan nødvendiggøre udskiftning af kompressor/blæser. Anlægget er derfor meget fleksibelt overfor eventuelle ændrede krav og specifikationer under afværgeforløbet.

Der er ikke umiddelbart påvist tegn på problemer med udfældning, men de vandtyper, hvor pumpen er afprøvet, indeholder dog heller ikke specielt meget kalk og jern. Det skal dog nævnes, at MP1-pumpen, som blev anvendt i Askov til udtagning af dokumentationsprøver af det ubehandlede vand, blev defekt på grund af tilklogning. Der er derfor tegn på at In-Well Aeratoren klarer sig bedre end traditionelle pumper.

6.3 Ulemper

Metodens ulemper kan kort summeres:

- Kan vanskeligt anvendes ved boringsdiameter på mindre end $\varnothing 200$.
- Der kan være behov for at etablere en dybere boring end ved traditionelle pumpetyper.

I lighed med traditionel afværgepumpning er metoden baseret på udvaskning af forurening og rensning af opløste niveauer i selve boringen, og er som oprensningsteknik ikke egnet til oprensning af kildeområder med residual eller mobil fri fase forurening, fordi det er svært at opnå en tilstrækkelig oprensning indenfor en rimelig tidsperiode. In-Well Aeratoren kan dog uden problemer anvendes overfor høje forureningskoncentrationer.

Sammenlignes pumpemetoden med traditionelle pumpemetoder, vil det være billigere at vælge en traditionel dykpumpe til oppumpning af vandet, jf. nedenstående tabel, hvor de to lokaliteter i Askov og Ulstrup er sammenlignet med et beregningseksempel med traditionel oppumpning.

Lokalitet/pumpe	Løftehøjde m	Vandmængde m ³ /h	Energiforbrug kW	Driftomk. kr./m ³
Ulstrup - In-Well Aerator	5	1,5	3**	2,02
Ulstrup – traditionel (SP2A-6 og kulfilter)	5	1,5	0,37*	~1,25
Askov - In-Well Aerator	30	1,5	5,5	3,70
Askov – traditionel (SP3A-12 og kulfilter)	30	1,5	0,75*	~1,51

* Energiforbruget er ved kontinuerlig drift

** Energiforbruget er beregnet på baggrund af blæserens ydelse – ved kontinuerlig drift vil energiforbruget være mindre end blæserens maksimale ydelse.

Tabel 11. Pris for behandling af vand ved traditionel oppumpning i forhold til In-Well Aerator metoden

Såfremt der anvendes en traditionel pumpe med tilhørende kulfilter, vil prisen pr. behandlet m³ i Ulstrup være 1,25 kr./m³ mod In-Well Aeratorens 2,02 kr./m³. I Askov er prisen tilsvarende 1,51 kr./m³ for traditionel pumpning og 3,7 kr./m³ for In-Well Aeratoren.

I ovenstående sammenligning er der ikke taget højde for, at traditionel oppumpning og kulfiltrering ofte kræver hyppige tilsyn på grund af udfældningsproblemer. Erfaringerne med In-Well Aeratoren indikerer derimod, at der ikke opstår lignende problemer med udfældninger, og kun er behov for meget begrænset tilsyn og vedligeholdelse. På baggrund af erfaring fra de 4 lokaliteter, hvor metoden er anvendt i Danmark, vurderes det at være tilstrækkeligt med ca. halvårlige tilsyn.

Ovenstående prissammenligning viser dog også, at metoden er mere rentabel at anvende ved små løftehøjder, som i Ulstrup (3 m), end ved forholdsvis store løftehøjder som i Askov (30 m).

7 Litteraturliste

- /1/ Multi-Stage In-Well Aerator. Davis Enviromental, 1996
- /2/ Groundwater and Wells Second Edition. 1986. Fletcher G. Driscoll, Ph.D.
Published by U.S. Filter/Johnson Screens, St Paul, MN 55112
- /3/ Vejledning nr. 6, Miljøstyrelsen."Begrænsning af luftforurening fra virksomheder"
- /4/ Supplerende forureningsundersøgelse, Ulstrup. 05-06-1997
- /5/ Forureningsundersøgelse, Ulstrup, Miljø-Kemi. 02-04-1997
- /6/ Bekendtgørelse nr. 515, 29.08.88 om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg
- /7/ Registreringsundersøgelse på lokalitet nr. 575.78005, Møllevej 12, Askov, Vejen Kommune. Rapport udarbejdet af NNR, 1997
- /8/ Registreringsundersøgelse på lokalitet nr. 575.78005, Møllevej 12, Askov, Vejen Kommune. Rapport udarbejdet af NNR, 1998
- /9/ DGU's geologiske basisdatakort 1213 III Kolding
- /10/ Borehulslogning. Notat udarbejdet af DGE, april 1999
- /11/ Bekendtgørelse nr. 515, 29.08.88 om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg
- /12/ Innovative technology database, now called EPA REACHIT.
<http://www.epareachit.org>
- /13/ Testresults Savannah River Site. Davis Enviromental, september 1998

Bilag 1

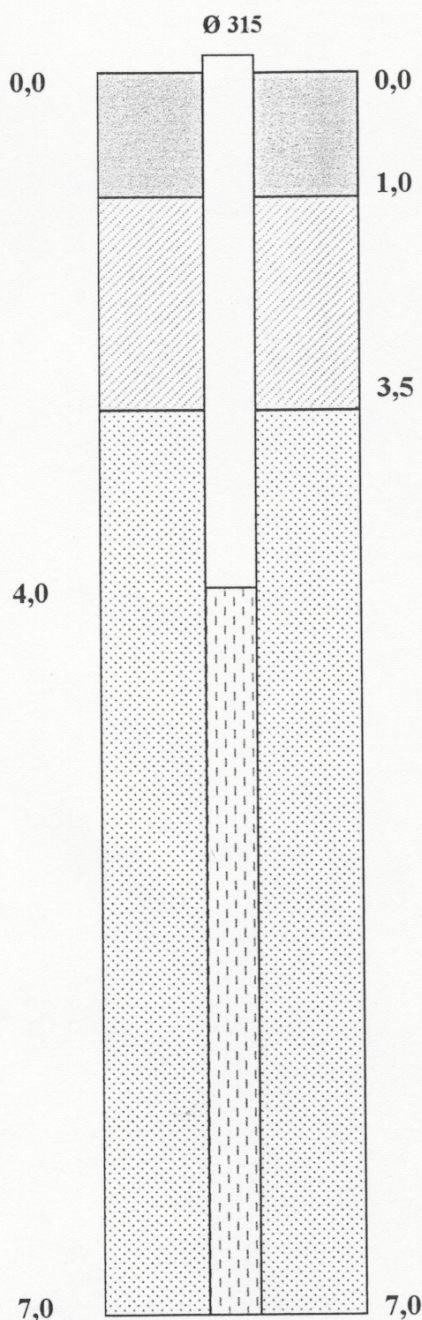
**Boreprofil
Afværgboring i Ulstrup**

Østergade 6 Ulstrup Ny Boring

Filtersætning:

Forerør:
ø 315 mm
PVC Limmufferrør
Fra 0,0-4,0m

Filter:
ø 315 mm
PVC Limmufferrør
Fra 4,0-7,0m



Opfyldning:

Fyld grus

Lerspærre
Bentonite granulat.

Filtersand nr. III
(1,0 – 1,5 mm)

Alle forerør og filtermateriale er
leveret af Adept Technologies a/s

Alle mål er i forhold til terræn. (i meter).

Østergade 6 Ulstrup

Boring: Ny afværgeboring

Udført: 21.10.1998 - 23.10.1998

 **Vand-Schmidt a/s**

Bilag 2

**Boreprofil
Afværgen i Askov**

BOREJOURNAL

SAG : Møllevvej 12, Askov		Sagsleder: TNy									
Sag nr.: 99.661.00		Side: 1 af 5									
Bemærkninger	Filtersætning	Pejlerør	Profil	Dybde (m)	Prøvenr.	132.1779 Jordartsbeskrivelse	PID	Lugt			
						Ler, sandet, stenet, brunt, med kalk					
				1		Ler, sandet, stenet, brunt, med kalk	0.5				
						Ler, sandet, stenet, brunt, med kalk					
				2		Ler, sandet, stenet, brunt, med kalk	0.5				
						Ler, sandet, stenet, brunt, med kalk					
				3		Ler, sandet, stenet, gråt, med kalk	0.4				
						Ler, sandet, stenet, gråt, med kalk					
				4		Ler, sandet, stenet, gråt, med kalk	0.5				
						Ler, sandet, stenet, gråt, med kalk					
				5		Ler, sandet, stenet, gråt, med kalk	0.6				
						Ler, sandet, stenet, gråt, med kalk					
				6		Ler, sandet, stenet, gråt, med kalk	0.7				
						Ler, sandet, stenet, gråt, med kalk					
				7		Sand, mellem, let stenet, gråt, med kalk	0.7				
						Sand, mellem, let stenet, gråt, med kalk					
				8		Sand, mellem, let stenet, gråt, med kalk	0.8				
						Sand, mellem, let stenet, gråt, med kalk					
				9		Sand, mellem, let stenet, gråt, med kalk	0.7				
						Sand, mellem-grov, stenet, gråt, med kalk					
				10		Sand, mellem-grov, stenet, gråt, med kalk	0.7				
Boringsnr.: 132.1779			Højdesystem:				Ja/nej	Top	Bund	ø (m)	Vd.uk
Tilsyn/init.: TNy			T. kote:			Pejlerør 1					
Dato: jan. 2000			K.P. kote:			Pejlerør 2					
PID apparat: HNU			UTM-X: UTM-Y:			Pejlerør 3					
Lampe:			LOK-X: LOK-Y:			Foringsrør 1					#
Boremethode: Foret snegl						Foringsrør 2					#
Boreentreprenør: Glibstrup A/S						Foringsrør 3					#



Rådgivende ingeniører
og planlæggere A/S
Tilsluttet F.R.I

NIRAS
Åboulevarden 80
DK-8100 Århus C

Telefon 8732 3232
Telefax 8732 3200
E-mail niras@niras.dk

BOREJOURNAL

SAG : Møllevvej 12, Askov Sagsleder: TNy

Sag nr.: 99.661.00 Side: 2 af 5

Bemærkninger	Filtersætning	Pejlerør	Profil	Dybde (m)	Prøvenr.	Jordartsbeskrivelse	PID	Lugt	
						Sand, mellem-grov, stenet, gråt, med kalk			
				11		Sand, mellem-grov, stenet, gråt, med kalk	1.1		
						Sand, mellem-grov, stenet, gråt, med kalk			
				12		Sand, mellem-grov, stenet, gråt, med kalk	1.2		
						Sand, mellem-grov, stenet, gråt, med kalk			
				13		Sand, mellem-grov, stenet, gråt, med kalk	1.2		
						Sand, mellem-grov, stenet, gråt, med kalk			
				14		Sand, mellem-grov, stenet, gråt, med kalk	1.4		
						Sand, mellem, gråt, med kalk			
				15		Sand, mellem, gråt, med kalk	1.0		
						Sand, mellem, gråt, med kalk			
				16		Sand, mellem, gråt, med kalk	0.7		
						Sand, mellem, gråt, med kalk			
				17		Sand, mellem, gråt, med kalk	0.7		
						Sand, mellem, gråt, med kalk			
				18		Sand, mellem, gråt, med kalk	1.4		
						Sand, mellem, gråt, med kalk			
				19		Sand, mellem, gråt, med kalk	1.5		
						Sand, mellem, gråt, med kalk			
				20		Sand, mellem, gråt, med kalk	1.4		
Boringsnr.: 132.1779		Højdesystem:			Ja/nej	Top	Bund	ø (m)	Vd.uk
Tilsyn/init.: TNy		T. kote:		Pejlerør 1					
Dato: jan. 2000		K.P. kote:		Pejlerør 2					
PID apparat: HNU		UTM-X: UTM-Y:		Pejlerør 3					
Lampe:		LOK-X: LOK-Y:		Foringsrør 1					#
Boremetode: Foret snegl				Foringsrør 2					#
Boreentreprenør: Glibstrup A/S				Foringsrør 3					#



Rådgivende ingeniører
og planlæggere A/S
Tilsluttet F.R.I

NIRAS
Åboulevarden 80
DK-8100 Århus C

Telefon 8732 3232
Telefax 8732 3200
E-mail niras@niras.dk

BOREJOURNAL

SAG : Møllevvej 12, Askov		Sagsleder: TNy									
Sag nr.: 99.661.00		Side: 3 af 5									
Bemærkninger	Filtersætning	Pejlerør	Profil	Dybde (m)	Prøvenr.	Jordartsbeskrivelse	PID	Lugt			
						Sand, mellem, grå, med kalk					
				21		Sand, mellem, grå, med kalk	0.9				
						Sand, mellem, grå, med kalk					
				22		Sand, mellem, grå, med kalk	0.7				
						Sand, mellem, grå, med kalk					
				23		Sand, mellem, grå, med kalk	1.3				
						Sand, mellem, grå, med kalk					
				24		Sand, mellem, grå, med kalk	0.9				
						Sand, mellem, grå, med kalk					
				25		Sand, mellem, grå, med kalk	1.3				
						Sand, mellem, grå, med kalk					
				26		Sand, mellem, grå, med kalk	1.4				
						Sand, mellem, grå, med kalk					
				27		Sand, mellem, grå, med kalk	1.1				
						Sand, mellem, grå, med kalk					
				28		Sand, mellem, grå, med kalk	1.1				
						Sand, mellem, grå, med kalk					
				29		Sand, mellem, grå, med kalk	0.9				
						Sand, mellem, grå, med kalk					
				30		Sand, mellem, grå, med kalk	3.0				
Boringsnr.: 132.1779			Højdesystem:				Ja/nej	Top	Bund	ø (m)	Vd.uk
Tilsyn/init.: TNy			T. kote:			Pejlerør 1					
Dato: jan. 2000			K.P. kote:			Pejlerør 2					
PID apparat: HNU			UTM-X: UTM-Y:			Pejlerør 3					
Lampe:			LOK-X: LOK-Y:			Foringsrør 1					#
Boremethode: Foret snegl						Foringsrør 2					#
Boreentreprenør: Glibstrup A/S						Foringsrør 3					#



Rådgivende ingeniører
og planlæggere A/S
Tilsluttet F.R.I

NIRAS
Åboulevarden 80
DK-8100 Århus C

Telefon 8732 3232
Telefax 8732 3200
E-mail niras@niras.dk

BOREJOURNAL

SAG : Møllevvej 12, Askov		Sagsleder: TNy								
Sag nr.: 99.661.00		Side: 4 af 5								
Bemærkninger	Filtersætning	Pejlerør	Profil	Dybde (m)	Prøvenr.	Jordartsbeskrivelse	PID	Lugt		
						Sand, mellem, grå, med kalk				
				31		Sand, mellem, grå, med kalk	1.2			
						Sand, mellem, grå, med kalk				
				32		Sand, mellem, grå, med kalk	0.9			
						Sand, mellem, grå, med kalk				
				33		Sand, mellem, grå, med kalk	0.6			
						Sand, mellem, grå, med kalk				
				34		Sand, mellem, grå, med kalk	0.3			
						Sand, mellem, grå, med kalk				
				35		Sand, mellem, grå, med kalk	0.1			
						Sand, mellem-fin, med siltstriber, grå, med kalk				
				36		Sand, mellem-fin, med siltstriber, grå, med kalk	0.2			
						Sand, mellem-fin, med siltstriber, grå, med kalk				
				37		Sand, mellem-fin, med siltstriber, grå, med kalk	0.1			
						Sand, mellem-fin, med siltstriber, grå, med kalk				
				38		Sand, mellem-fin, med siltstriber, grå, med kalk	0.2			
						Sand, mellem-fin, med siltstriber, grå, med kalk				
				39		Sand, mellem-fin, med siltstriber, grå, med kalk	0.2			
						Sand, mellem-fin, med siltstriber, grå, med kalk				
				40		Sand, mellem-fin, med siltstriber, grå, med kalk	0.2			
Boringsnr.: 132.1779			Højdesystem:			Ja/nej	Top	Bund	ø (m)	Vd.uk.
Tilsyn/init.: TNy			T. kote:			Pejlerør 1				
Dato: jan. 2000			K.P. kote:			Pejlerør 2				
PID apparat: HNU			UTM-X: UTM-Y:			Pejlerør 3				
Lampe:			LOK-X: LOK-Y:			Foringsrør 1				#
Boremethode: Foret snegl						Foringsrør 2				#
Boreentreprenør: Glibstrup A/S						Foringsrør 3				#



Rådgivende ingeniører
og planlæggere A/S
Tilsluttet F.R.I

NIRAS
Åboulevarden 80
DK-8100 Århus C

Telefon 8732 3232
Telefax 8732 3200
E-mail niras@niras.dk

BOREJOURNAL

SAG : Møllevvej 12, Askov Sagsleder: TNy

Sag nr.: 99.661.00 Side: 5 af 5

Bemærkninger	Filtersætning	Pejlerør	Profil	Dybde (m)	Prøvenr.	Jordartsbeskrivelse	PID	Lugt	
						Sand, mellem-fin, med siltstriber, grå, med kalk			
				41		Sand, mellem-fin, med siltstriber, grå, med kalk	0.20		
						Sand, mellem-fin, med siltstriber, grå, med kalk			
				42		Sand, mellem-fin, med siltstriber, grå, med kalk	0.30		
						Sand, mellem-fin, med siltstriber, grå, med kalk			
				43		Sand, mellem-fin, med siltstriber, grå, med kalk	0.30		
						Sand, mellem-fin, med siltstriber, grå, med kalk			
				44		Sand, mellem-fin, med siltstriber, grå, med kalk	0.30		
						Sand, mellem-fin, med siltstriber, grå, med kalk			
				45		Sand, mellem-fin, med siltstriber, grå, med kalk	0.30		
				46					
				47					
				48					
				49					
				50					
Boringsnr.: 132.1779		Højdesystem:			Ja/nej	Top	Bund	ø (m)	Vd.uk
Tilsyn/init.:	TNy	T. kote:	Pejlerør 1						
Dato:	jan. 2000	K.P. kote:	Pejlerør 2						
PID apparat:	HNU	UTM-X:	UTM-Y:	Pejlerør 3					
Lampe:		LOK-X:	LOK-Y:	Foringsrør 1					#
Boremethode:	Foret snegl		Foringsrør 2						#
Boreentreprenør:	Glibstrup A/S		Foringsrør 3						#



Rådgivende ingeniører
og planlæggere A/S
Tilsluttet F.R.I

NIRAS
Åboulevarden 80
DK-8100 Århus C

Telefon 8732 3232
Telefax 8732 3200
E-mail niras@niras.dk