

Metoder og økonomi til fjernelse af restforurening af benzin Nykøbingvej 295, Radsted

Lene Mundus, Jesper Albinus, Pia Winther, Steffen Damgaard
Nielsen m.fl.

Carl Bro A/S

Miljøprojekt **Nr. 1117** 2006
Teknologiudviklingsprogrammet for
jord- og grundvandsforurening

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	7
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	9
SUMMARY AND CONCLUSIONS	11
1 INDLEDNING	13
1.1 BAGGRUND	13
1.2 FORMÅL	13
1.3 METODE	14
2 DEFINITION AF GRUNDLAG	15
2.1 FORURENING	15
2.2 SPREDNING	15
2.3 MONITERING	15
3 BESKRIVELSE AF LOKALITETEN OG RESTFORURENINGEN	16
3.1 RESUME AF TIDLIGERE UNDERSØGELSER OG AFVÆRGETILTAG	16
3.2 GEOLOGISK OPBYGNING	17
3.3 STØRRELSE OG BELIGGENHED AF FORURENINGSKILDE	17
3.4 DEFINITION AF FORURENINGSNIVEAUER	18
3.4.1 <i>Hotspot forurening i jord</i>	18
3.4.2 <i>Grundvandsforurening nær kilden</i>	20
3.5 BESTEMMELSE AF USIKKERHED OG VARIATION	21
3.5.1 <i>Hydrauliske parametre</i>	21
3.5.2 <i>Strømningsretning, gradient og hastighed</i>	23
3.5.3 <i>Monitering</i>	25
3.6 TRACERFORSØG	25
3.7 SAMMENFATNING AF FORUDSÆTNINGER FOR AFVÆRGE	26
3.7.1 <i>Forurening i jord og grundvand</i>	26
3.7.2 <i>Oprensningskrav</i>	27
3.7.3 <i>Dokumentation for forureningsoprensning</i>	29
3.7.4 <i>Stopkriterier</i>	30
4 AFVÆRGEMETODER	32
4.1 OPGRAVNING ELLER OPBORING AF FORURENET JORD, MED EFTERFØLGENDE RENSNING EX-SITE	32
4.1.1 <i>Metodebeskrivelse</i>	32
4.1.2 <i>Diskussion af metodens anvendelighed i den aktuelle sag</i>	34
4.1.3 <i>Økonomisk overslag for opgravning/opboring</i>	35
4.1.4 <i>Samlet vurdering af metodens anvendelighed</i>	36
4.2 AFVÆRGE PUMPNING, RENSNING OG RECIRKULERING	37
4.2.1 <i>Metodebeskrivelse</i>	37
4.2.2 <i>Diskussion af metodens anvendelighed i den aktuelle sag</i>	39
4.2.3 <i>Økonomisk overslag</i>	40
4.2.4 <i>Samlet vurdering af metodens anvendelighed</i>	41

4.3	IN-WELL STRIPNING	43
4.3.1	<i>Metodebeskrivelse</i>	43
4.3.2	<i>Diskussion af metodens anvendelighed i den aktuelle sag</i>	45
4.3.3	<i>Økonomisk overslag</i>	46
4.3.4	<i>Samlet vurdering af metodens anvendelighed</i>	47
4.4	STIMULERING AF NEDBRYDNING VED TILSÆTNING AF BAKTERIER ELLER NÆRINGSSTOFFER	49
4.4.1	<i>Metodebeskrivelse</i>	49
4.4.2	<i>Diskussion af metodens anvendelighed i den aktuelle sag</i>	49
4.4.3	<i>Økonomisk overslag</i>	50
4.4.4	<i>Samlet vurdering af metodens anvendelighed</i>	50
4.5	NATURLIG NEDBRYDNING	50
4.5.1	<i>Metodebeskrivelse</i>	50
4.5.2	<i>Diskussion af metodens anvendelighed i den aktuelle sag</i>	51
4.5.3	<i>Økonomisk overslag</i>	52
4.5.4	<i>Samlet vurdering af metodens anvendelighed</i>	52
4.6	KEMISK ILTNING	53
4.6.1	<i>Metodebeskrivelse</i>	53
4.6.2	<i>Diskussion af metodens anvendelighed i den aktuelle sag</i>	56
4.6.3	<i>Økonomisk overslag</i>	57
4.6.4	<i>Samlet vurdering af metodens anvendelighed</i>	57
4.7	AIRSPARGING	57
4.7.1	<i>Metodebeskrivelse</i>	58
4.7.2	<i>Diskussion af metodens anvendelighed i den aktuelle sag</i>	60
4.7.3	<i>Økonomisk overslag</i>	61
4.7.4	<i>Samlet vurdering af metodens anvendelighed</i>	62
4.8	FYSISK IMMOBILISERING	62
4.8.1	<i>Metodebeskrivelse</i>	62
4.8.2	<i>Diskussion af metodens anvendelighed i den aktuelle sag</i>	63
4.8.3	<i>Økonomisk overslag</i>	64
4.8.4	<i>Samlet vurdering af metodens anvendelighed</i>	64
4.9	MULTIFASE EKSTRAKTION	64
4.9.1	<i>Metodebeskrivelse</i>	64
4.9.2	<i>Diskussion af metodens anvendelighed i den aktuelle sag</i>	67
4.9.3	<i>Økonomisk overslag</i>	68
4.9.4	<i>Samlet vurdering af metodens anvendelighed</i>	69
4.10	DAMPINJEKTION	70
4.10.1	<i>Metodebeskrivelse</i>	70
4.10.2	<i>Diskussion af metodens anvendelighed i den aktuelle sag</i>	72
4.10.3	<i>Økonomisk overslag</i>	73
4.10.4	<i>Samlet vurdering af metodens anvendelighed</i>	74
4.11	FLUSHING (KEMISK ASSISTETERET UDVASKNING OG OPRENSNING)	75
4.11.1	<i>Metodebeskrivelse</i>	75
4.11.2	<i>Økonomisk overslag</i>	76
4.11.3	<i>Diskussion af metodens anvendelighed i den aktuelle sag</i>	77
4.11.4	<i>Samlet vurdering af metodens anvendelighed</i>	77
5	DISKUSSION AF EGNEDE AFVÆRGEMETODER PÅ LOKALITETEN	79
5.1	DISKUSSION AF STRATEGIER FOR AFVÆRGEINDSATS	79
5.2	KONKLUSION	82
6	REFERENCER	83

- BILAG A Tidligere situationsplan og geologiske profilsnit
- BILAG B Situationsplan med forureningsudbredelse i jord
- BILAG C Situationsplan med grundvandspotentialer
- BILAG D JAGG-beregning med benzen

Forord

Denne rapport omhandler projektet "Restforurening af benzin – Metoder og økonomi til fjernelse af risiko", som er gennemført for lokaliteten Nykøbingvej 259, Radsted, Sakskøbing.

På lokaliteten har der været en tankstation, og nedgravede tanke og jordforurening umiddelbart omkring tankene er tidligere fjernet. Efterfølgende har den naturlige nedbrydning af den efterladte forurening i den mættede zone været undersøgt og monitoreret, og det er vurderet, at den efterladte restforurening på lokaliteten udgør en risiko for grundvandsressourcen.

I nærværende projekt er det belyst, hvilke afværgemetoder, der vil kunne anvendes overfor forureningen nu, ca. 10 år efter opgravningen af tanke og jordforurening deromkring. Økonomien ved de beskrevne afværgemetoder er også angivet. Det er endvidere belyst, hvilke omkostninger, der er forbundet med at gennemføre afværgeforanstaltningerne i dag sammenholdt med, hvad det ville have kostet, hvis de var gennemført samtidig med, at tankene og jordforureningen blev opgravet.

Projektet er udført af Carl Bro as for Storstrøms Amt og er et led i Miljøstyrelsens Teknologiprogram for jord- og grundvandsforurening.

Projektmedarbejdere fra Carl Bro as har været Jesper Albinus, Pia Lene Winther, Steffen Dam Nielsen, m.fl. og projektledelsen er forstøet af Lene Mundus, Carl Bro as.

I forbindelse med projektet blev der nedsat en styregruppe. Styregruppen har bestået af:

- Brian Tang Vestergaard, Storstrøms Amt
- Jesper Albinus, Carl Bro as
- Lene Mundus, Carl Bro as
- Kim Dahlstrøm, Miljøstyrelsen (indtil medio 2005)
- Ole Kiilerich, Miljøstyrelsen (fra medio 2005)

Sammenfatning og konklusioner

På en nedlagt tankstation på Nykøbingvej 295, Saksøbing, blev der i 1996 konstateret en kraftig jord- og grundvandsforurening med benzin. Efter fjernelse af to nedgravede benzintanke samt en del forurenede jord blev der efterladt en restforurening, som blev vurderet til at udgøre ca. 600 kg benzin.

I denne rapport er det søgt belyst, hvilke afværgemetoder, der er egnede over for den nævnte type forurening, herunder hvilke der er egnede på den aktuelle lokalitet under de givne geologiske forhold. Naturlig nedbrydning har efter 10 års forløb ikke været tilstrækkelig til at fjerne forureningsrisikoen for grundvandet nedstrøms kilden. Det har derfor været relevant at vurdere, hvilke afværgemetoder, der i 2006 kan tages i anvendelse for at fjerne restforureningen, samt at sammenligne omkostningerne ved en sådan indsats i 2006 med en indsats i 1996.

Vurderingen er foretaget på baggrund af 4 mulige strategier for oprensning: A) en omgående og fuldstændig oprensning, typisk ved opgravning, B) et igangsætning af et længerevarende afværgeprojekt, C) delvis oprensning og derefter monitorering, og endelig D) en forsinket afværgeindsats, når løsning C efter nogle år har vist sig utilstrækkelig.

Det konkluderes, at opboring eller opgravning ved anvendelse af spuns og grundvandssænkning ville være den mest egnede metode i 1996, og at det ville have været økonomisk mest fordelagtigt enten at foretage en fuldstændig oprensning med det samme eller at igangsætte en toårig oprensning vha. multifase ekstraktion som supplement til en delvis opgravning. Det bedste alternativ i 2006 vurderes at være en opboring af restforurening i umættet zone samt den øverste del af den mættede zone, kombineret med airsparging i forureningsfanen.

Summary and conclusions

At an abandoned fuel station at Nykøbingvej 295, Saksøbing, a significant soil and groundwater contamination with gasoline was found in 1996. Upon removal of two underground storage tanks and part of the contaminated soil the remaining contamination was left in the ground, adding up to some 600 kg of gasoline.

This report aims at evaluating which type of remedial action is suitable for the mentioned type of contamination, including which is suitable on the actual site given the specific geological setting. 10 years of natural attenuation has not been sufficient to remove the risk of contamination for the groundwater downstream the site. Therefore it has been relevant to assess which remediation methods would be applicable in 2006 in order to remove the remaining contamination, and to compare the costs of such an action in 2006 with costs of remedial action in 1996.

The assessment is made on basis of 4 possible strategies for remediation: a) an immediate and full clean-up, typically by excavation, B) initiation of a long-duration remedial action C) partial clean-up followed by monitoring, and finally D) a delayed remedial action, when option C is deemed insufficient after some years.

It is concluded that remediation by big-diameter drilling or excavation implying use of sheet piling would be the most appropriate method in 1996, and that it would have been cost-beneficial either to carry out a complete remediation immediately or to initiate a two-year remedial action by multi phase extraction as a supplement to a partial excavation. The best option in 2006 seems to be removal of contamination by big-diameter drilling in the unsaturated zone and in the upper part of the saturated zone, combined with airsparging in the contaminant plume.

1 Indledning

1.1 Baggrund

På en nedlagt tankstation på Nykøbingvej 295, Saksøbing, blev der i 1996 konstateret en kraftig jord- og grundvandsforurening med benzin. Samme år blev to benzintanke samt en del af jordforureningen omkring disse fjernet. Der blev efterladt en restforurening, som blev vurderet til at udgøre ca. 600 kg benzin. Undersøgelse og oprensning blev forestået af Oliebranchens Miljøpulje med Storstrøms Amt som tilsynsmyndighed.

Efterfølgende er den naturlige nedbrydning af restforureningen i grundvandet undersøgt i et teknologiudviklingsprojekt: "Undersøgelse af kulbrentenedbrydning ved naturlige processer" /15/. I forbindelse med rapporteringen af dette projekt vurderede Storstrøms Amt og Miljøstyrelsen, at den efterladte restforurening udgør en risiko for grundvandsressourcen. Dette gav anledning til nogle generelle overvejelser for lignende sager, hvor der efterlades en restforurening, som forudsættes ikke at udgøre nogen miljørisiko på grund af naturlig nedbrydning.

Overvejelserne mandede ud i spørgsmålet om, hvorvidt usikkerheden ved den naturlige nedbrydning kan medføre en samlet set dyrere oprensning, idet man er nødt til at monitere forureningsudbredelsen i en længere periode og eventuelt foretage yderligere oprensning, hvis den naturlige nedbrydning viser sig ikke at være tilstrækkelig.

Det er dette spørgsmål, som søges belyst i denne rapport, med ovennævnte lokalitet som eksempel. Da det kun er en enkelt sag, der belyses, kan rapporten naturligvis ikke give noget svar på, om de samme forhold gør sig gældende på lignende sager. Men rapporten fremlægger en metodik, som anvendt på lignende sager vil kunne bidrage til at opklare fordele og ulemper ved efterladelse af restforurening og brug af naturlig nedbrydning som afværgeteknik.

1.2 Formål

Dette projekt har følgende formål:

- at vurdere kendte afværgetekniker i forhold til deres anvendelighed til oprensning af restforurening på Nykøbingvej 295,
- at belyse økonomien ved gennemførelse af oprensning, herunder både de direkte udgifter til selve oprensningen og de omkostninger, der er forbundet med myndighedernes sagsbehandling.

Økonomien ønskes specielt belyst i forhold til følgende strategier for afværgeindsatsen:

- A **Omgående og fuldstændig oprensning** typisk ved opgravning, så snart forureningen opdages (dvs. i 1994 i den aktuelle sag). Derefter ingen monitoring eller sagsbehandling.
- B **Længerevarende afværgeprojekt** igangsættes (måneder - år), så snart forureningen opdages. Monitoring og sagsbehandling så længe oprensning pågår.
- C **Delvis oprensning** så snart forureningen opdages. Derefter monitoring af hensyn til restforureningen. Naturlig nedbrydning hører under denne strategi.
- D **Forsinket afværgeindsats**, når løsning C efter nogle år har vist sig utilstrækkelig. Herunder fortsat monitoring.

I den aktuelle sag er det strategi C, delvis oprensning, der har været gennemført; dog har der ikke været gennemført systematisk monitoring efterfølgende. I dag står valget derfor mellem monitoring og forsinket afværgeindsats.

1.3 Metode

I projektet er der indledningsvis foretaget en gennemgang af alle tidligere gennemførte undersøgelser på Nykøbingvej 295. På baggrund deraf er relevante undersøgelsesresultater samlet og den geologiske opbygning på lokaliteten er beskrevet. Forureningsniveauerne i jord og grundvand er defineret og usikkerheden på geologiske, hydrogeologiske og kemiske parametre er herefter diskuteret.

Ved gennemgangen af relevante afværgete metoder har det overordnet været fastlagt, at der udelukkende skulle ses på metoder, som på forhånd er afprøvet i Danmark, og som er veldokumenterede. Dette er sket for at opnå en stor grad af sikkerhed for, at der ved gennemgang af de enkelte metoder er tilstrækkelig kildemateriale til, at det kan vurderes, hvorvidt metoden vil kunne fjerne forureningsrisikoen fra grundvandet.

Opstilling af nødvendigt kontrolprogram samt vurdering af stopkriterier er sket dels ud fra intern erfaringsopsamling og dels ud fra diskussion med offentlige myndigheder ift. nødvendig dokumentation.

Ved gennemgangen af økonomien for de enkelte metoder er fastlæggelse af udgifter til myndighedsbehandling foretaget i samråd med Storstrøms Amt.

2 Definition af grundlag

2.1 Forurening

Et væsentligt aspekt i den aktuelle forureningssag er de usikkerheder, der er knyttet til elementerne i sagen. Det har derfor været nødvendigt at definere grundlaget for oprensning, dvs. :

- Størrelse og beliggenhed af forureningskilde
- Jordforurening, der skal oprenses
- Jordforurening, der kan tillades efterladt
- Vandforurening, der skal oprenses
- Vandforurening, der kan tillades efterladt

De nævnte elementer er afgørende for hvilken indsats og størrelse af indsats, der er nødvendig. Målet er, at der ikke må være nogen risiko forbundet med den forurening, der efterlades på lokaliteten. De acceptable koncentrationer af olie og enkeltkomponenter i jorden og i grundvandet må derfor defineres, dvs. et succeskriterium må opstilles. Herunder er en definition af kildens udstrækning af stor betydning, idet selve forureningskilden er ukendt.

2.2 Spredning

I den geologiske og hydrogeologiske model for lokaliteten indgår følgende elementer:

- Hydrauliske egenskaber
 - o k-værdi
 - o gradient i grundvandets trykniveau
- Geologiske egenskaber
 - o lagtykkelser
 - o homogenitet
 - o sammenhæng

som alle er af betydning for spredning af forureningen. De er især væsentlige for bestemmelse af den 1-års strømningsafstand, som i henhold til Miljøstyrelsens retningslinier anvendes i forbindelse med opfyldelse af grundvandskvalitetskriterier.

2.3 Monitorering

Endelig er det nødvendigt at definere, hvordan monitorering af afværgetiltag skal foregå, dvs. hvordan det skal vises, at succeskriteriet er opfyldt. Dette element er vigtigt, fordi det omhandler dokumentationen af afværgetiltagenes tilstrækkelighed.

3 Beskrivelse af lokaliteten og restforureningen

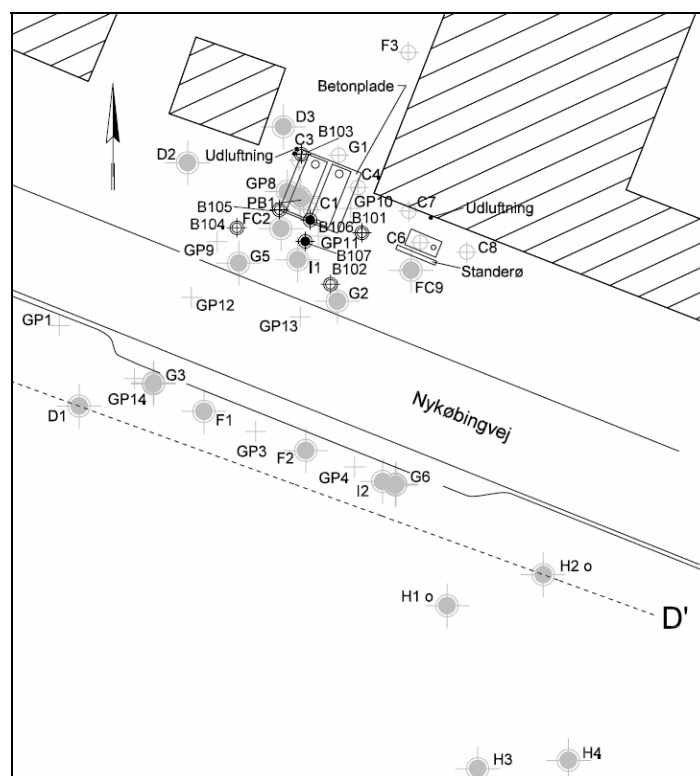
3.1 Resume af tidligere undersøgelser og afværgetil tag

På ejendommen Nykøbingvej 295, beliggende på hovedvej 9 på Lolland mellem Saksøbing og Nykøbing Falster, har der i perioden ca. 1958 – 1975 været benzinudsalgssted med tilhørende nedgravet tankanlæg.

I 1994 blev der udført registreringsundersøgelse /1/, og i en boring, B1, umiddelbart vest for tankanlægget blev der konstateret fri fase benzin på grundvandet ca. 6 m u.t. Denne boring fik DGU nr. 237.457.

I 1996 blev der først lavet en indledende /2/ og så en supplerende forureningsundersøgelse /3/. Der blev konstateret kraftig jordforurening i 2 boringer, C1 og FC2, i hhv. 6,4 og 5,4 m u.t. og kraftig vandforurening i FC2 i filter fra 7,5-8,5 m u.t. I 3 boringer, D1-D3, blev der alene konstateret forurening på relativt lavt niveau.

Figur 3.1 Placering af tanke og boringer



I 1996 blev to 8 m³ benzintanke opgravet. Der blev endvidere gravet to andre tanke op ved standerø og længere mod øst /4/. Tankenes bund var ca. 2,5 m u.t. og tankene var ved opgravningen pæne og tætte. Jordforureningen under tankene blev konstateret 3,3 m u.t. og den blev bortgravet til ca. 4,3 m u.t.

Efter fjernelse af tankene blev der konstateret svag forurening i sydskrænten og 4,3 m u.t. under tankene.

Af Fig. 3.1 og bilag A fremgår placering af tidligere nedgravede tanke samt placeringen af undersøgelsesboringer. De to sidst udførte filtersatte boringer, B106-B107, er vist med sort signatur.

Boringerne B101-B107 blev udført i januar 2006 forbindelse med udarbejdelse af denne rapport. Formålet med disse boringer var at få et opdateret billede af forureningsstyrken ca. 10 år efter at tankene blev opgravet.

Det blev i /4/ vurderet, at den efterladte forurening var i et område omkring boringen FC2 med radius på 6 m og i dybdeintervallet fra 5-8 m u.t., dog kraftigst 5,5-7,5 m u.t. Det blev endvidere vurderet, at restforureningen udgjorde 600 kg benzin.

Efterfølgende er der gennemført undersøgelser og monitorering af naturlig nedbrydning på lokaliteten, dels under Miljøstyrelsens Teknologiudviklingsprogram for jord og grundvand, dels som diverse studenterprojekter fra Danmarks Tekniske Universitet.

3.2 Geologisk opbygning

Den regionale grundvandsressource findes i kalken (campanien-maastrichtien skrivekridt), som bl.a. udnyttes af Radsted vandværk ca. en kilometer mod vest ad Nykøbingvej. Kalken findes fra ca. 13 m u.t.

Grunden er beliggende ved en forkastningszone, der har været aktiv i tertiæret. Senere har området været glacialt præget og udgjort en smeltevandsdal i forbindelse med det baltiske isdække. Geologien i området er meget heterogen, bestående øverst af moræneler af en tykkelse på ca. 5 til 8 m. I moræneleret ses adskillige sand- og gruslommer, der udgør sekundære magasiner. Under moræneleret ses sandede og grusede smeltevandsaflejringer. Disse har en mægtighed på ca. 6-9 m. Undersiden af morænelersdækket varierer gennem området, og er højtliggende omkring kilden men falder mod syd og sydvest. (I bilag A er vedlagt situationsplan med angivelse af placering af geologiske profilsnit samt de pågældende profilsnit A, B og C.) Trækkes et profil langs den sydlige vejkant, dvs. boringerne G3, F1, F2, G6, H1 og H2, ses, at grænsen mellem moræneler og smeltevandsaflejringer er beliggende højere i midten, så profilsnittene er lagt i 2 "dale" i smeltevandssandet, med en sandpude imellem sig. Kalken er fundet i boring PB1 i kote -6 m, hvilket svarer til ca. 14 m under terræn.

Der er lavet adskillige boringer i området, men pga. den meget heterogene geologi er sammenhængen af de sekundære magasiner dårligt kendt.

3.3 Størrelse og beliggenhed af forureningskilde

Forureningskildens udbredelse synes aldrig at være blevet fastlagt endeligt. Da der tilsyneladende er sket en betydelig nedbrydning gennem de 10 år, der er forløbet siden tankene blev gravet op, er det endvidere næppe muligt at få et dækkende billede i dag, da de gamle jordkoncentrationer ikke vil kunne anvendes i sammenhæng med resultater fra nyere boringer.

Forureningsbilledet er derfor til enhver tid noget mangelfuldt, hvad angår jordkoncentrationerne. Grundvandsanalyser vil dog kunne sammenlignes inden for de enkelte prøverunder.

Nær terræn ses de største PID udslag (ned til 5 m u.t.) i boring G2, mens der eksempelvis i FC2 nærmere ved tankene og i C1 mellem tankene først findes forurening fra 5,4 m u.t. og nedefter. Dette kunne tyde på, at der var flere forureningskilder. Boring B102 blev i 2006 udført til kontrol af boring G2, og på dette tidspunkt kunne det ikke bekræftes, at der var terrænnær forurening på dette sted. Hvis der har været det tidligere, må denne forurening være nedbrudt i mellemtiden.

Ved tankgraven kan der være tale om en forureningskilde ved udluftningsrørene, som har været ført op vest for tankene, idet overfyldning af tanke og dermed overløb fra udluftningsrør og ud på terræn, erfaringsmæssigt er en ofte forekommende kilde til jord- og grundvandsforurening.

Inden for grunden synes det stærkest forurenede område at være afgrænset mod syd af boringerne G2 og G5, der ligger ca. 10 m fra hinanden. Nord for disse boringer er FC2 og I1 (2 og 5 m syd for tankgraven) samt GP8 (vest for tankgraven) ligeledes stærkt forurenede. Den i 2006 udførte boring B107 ca. 2,5 m syd for tankgraven er forurenede med op til 280 mg/kg totalkulbrinter, domineret af fraktionen C₆-C₁₀. Grundvandet indeholder 22 µg/l xylener, mens de øvrige enkeltkomponenter ligger omkring kvalitetskravene. B107 må således siges at være svagt forurenede og kan i dag bruges som omtrentlig afgrænsning af forureningen nedstrøms, mod syd, i både jorden og grundvandet. På nuværende tidspunkt kan jordforureningens udbredelse derfor antages at være ca. 45 m², se tegning i bilag B. En del af tankgraven vil være med i dette område.

Uanset antal og beliggenhed af kilderne kan spredning være sket via rørføringer, hvis beliggenhed ikke er kendt. Selve kildens udbredelse kan derfor være meget inhomogen.

De højeste forureningsniveauer er fundet i den umættede zone, dvs. mindre end ca. 5,6-6,8 m u.t. (baseret på vandspejlsobservationer siden 2000).

I tabel 3.1, side 11, ses resultaterne af de ret få udførte jordanalyser, og i tabel 3.2 ses resultaterne af de senest udførte boringer B101-B107.

På basis af tabellen samt PID målinger i øvrige boringer og Geoprobe boringer vurderes det, at der er jordforurening i den umættede zone i et område som vist på situationsplanen i bilag B. I hele dette område er forureningen også til stede i den mættede zone, til en dybde af 7-9 m, men i mindre koncentrationer (absolut niveau dog ukendt).

3.4 Definition af forureningsniveauer

3.4.1 Hotspot forurening i jord

Det forudsættes pragmatisk, at kulbrintekoncentrationer under 100 mg/kg, benzinkoncentrationer under 25 mg/kg og benzenkoncentrationer under 1,5 mg/kg, som dermed opfylder Miljøstyrelsens jordkvalitetskriterier for

kulbrinte- og benzinforurenet jord, kan betragtes som værende uden for hotspot i denne sammenhæng.

Koncentrationer større end de angivne værdier betragtes dermed som hotspot forurening.

Tabel 3.1 indeholder resultater fra S&J, ref. /5/, på ældre borer, og i tabel 3.2 har Carl Bro ved analyser hos MILANA suppleret med B101-B107:

Tabel 3.2 Jordanalyser, opsummeret i 1997

Boring	Prøvedybde, m u.t. u = umættet zone m = mættet zone	Benzin mg/kg	Benzen mg/kg	Toluen mg/kg	Xylener mg/kg	PID
C1	5,4 u	13,7	<0,2	0,4	1,5	60
C1	6,4 u(m)	1400	30,2	56,2	225	350
FC2	5,4 u	2000	46,2	76,1	309	130
FC2	6,9 m	80	1,44	5,3	14,7	400
C3	3,4 u	82,2	1,2	2,2	4,2	350
C7	6,9 m	intet påvist	-	-	-	3
FC9	2,9 u	8,5	i.p.	i.p.	0,8	33
D2	6,6 u(m)	intet påvist	i.p.	i.p.	i.p.	1
D3	5,9 u/m	intet påvist	i.p.	i.p.	i.p.	2
E3	1,4 u	intet påvist	i.p.	i.p.	i.p.	3
G2	1,4+3,9+6,9 u,u,m	ikke analyseret				300-500

Note: Vandspejl er ca. 6,8 m u.t. (sept. 03). Højeste målte vandspejl er 5,6 m u.t. (okt. 00)

Tabel 3.3 Jordanalyser, 20. januar 2006

Boring / prøve	Kulbrinter Total mg/kg TS	Benzen mg/kg TS	Toluen mg/kg TS	Ethyl- benzen mg/kg TS	Xylener mg/kg TS	Naphtalen mg/kg TS	Kulbrinter n-C6- n-C10 mg/kg TS	Kulbrinter > n-C10 - n-C25 mg/kg TS	Kulbrinter > n-C25 - n-C35 mg/kg TS	PID
Jord										
B101, 1,0 m.u.t.	i.p.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	4
B101, 3,5 m.u.t.	i.p.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	1,2
B102, 2,0 m.u.t.	i.p.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	1,2
B103, 1,0 m.u.t.	i.p.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	6
B103, 2,0 m.u.t.	i.p.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	7
B103, 3,5 m.u.t.	i.p.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	6
B104, 2,5 m.u.t.	i.p.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	8
B104, 5,0 m.u.t.	i.p.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	6
B105, 2,0 m.u.t.	i.p.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	3
B105, 5,0 m.u.t.	2,7	u.d.	0,091	0,13	0,52	u.d.	2,7	u.d.	u.d.	85
B106, 3,5 m.u.t.	i.p.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	30
B106, 4,5 m.u.t.	470	0,057	8,6	12	77	2,4	320	150	u.d.	120
B107, 3,5 m.u.t.	280	0,52	14	12	63	1,1	220	61	u.d.	7
B107, 5,5 m.u.t.	i.p.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	7

Noter:
i.p. = ikke påvist
u.d. = under detektionsgrænsen
Detektionsgræ 0,040 mg/kg TS for benzen, toluen, ethylbenzen, xylener og naphtalen
1,0 mg/kg TS for Kulbrinter n-C6- n-C10
5,0 mg/kg TS for Kulbrinter > n-C10 - n-C25
25 mg/kg TS for Kulbrinter > n-C25 - n-C35

Kun i boring C1 og FC2 og C3 er der fundet indhold over 100 mg/kg totalkulbrinter. Boring C1 og C3 blev ikke filtersat, men var beliggende henh. mellem de to opgravede tanke og i det nordvestlige hjørne af tankgraven. De højeste jordforureninger i de udførte borer er fundet i den umættede zone umiddelbart over vandspejlet.

Det må betragtes som en væsentlig mangel, at der ikke efterfølgende er foretaget jordanalyser på udførte boringer med højt PID-udslag, som eksempelvis i G2.

I de nye boringer er det kun i B106 (4,5 m u.t.) lige syd for tankgraven samt B107 (3,5 m u.t.) beliggende 2 m syd for denne, at der findes kulbrintekonzentrationer over jordkvalitetskriterierne.

På baggrund af de observationer, der er nævnt i afsnit 3.3 vurderes det, at jordforurening syd for nordsiden af Nykøbingvej ikke kræver en afværgeindsats. Det skal understreges, at forureningsforholdene i dag faktisk er ukendte, og at 6 år gamle resultater ikke kan antages at gælde i dag. Sammen med de nye resultater tyder analysedata dog på, at jordforureningen ikke har bredt sig mere end 2-3 m syd for tankgraven, svarende til lige syd for FC2 og B107.

Nord for Nykøbingvej vurderes det, at der i gennemsnit kan være 500 mg/kg total kulbrinter i et område på ca. 25 m² og over 100 mg/kg i et område på yderligere 20 m², afgrænset mod vest og øst af de uforurenede boringer B104 og B102 Dette er illustreret på tegningen i bilag B.

3.4.2 Grundvandsforurening nær kilden

Det forudsættes, at kulbrintekonzentrationer under 9 µg/l i grundvandet, svarende til Miljøstyrelsens kvalitetskriterium for grundvand under forurenede lokaliteter, ikke forsøges oprenset. Dette kriterium samt kriteriet til enkeltkomponenter¹ er anført i nedenstående tabel 3.3.

Tabel 3.4 Kvalitetskrav til grundvand

Parameter	Krav, µg/l
Total olie	9
Benzen	1
Toluen	5
Xylener	5

Kvalitetskriterierne skal være opfyldt i en afstand, der svarer til grundvandets strømning på et år, efterfølgende kaldet "et års strømningsafstand". Koncentrationer i grundvandet under kildeområdet, der leder til en overskridelse af disse krav i et års strømningsafstand, bør derfor forsøges oprenset.

Hvor de største koncentrationer i grundvandet i 1999-2001 blev fundet i FC2, G5 og G2 nævnt i "aftagende" rækkefølge, er det i 2006 boringerne B106, G5 og B107, der viser koncentrationer over kriterierne, se Tabel 3.5. Perioden november 1999-januar 2001 er valgt, selv om der er ældre data, idet nogle af boringerne først blev etableret i november 1999.

¹ Miljøstyrelsens vejledning Nr. 6, 1998

Tabel 3.5 Analyseresultater nov. 1999-jan. 2001

Komponent	Krav	B106	FC2	B107	G5	G2	H1Ø
Afstand fra kilden ->	-	0 m	1,5 m S	2 m S	7 m SV	7 m SØ	35 m SØ
Filterdybde, m u.t.		7-10	7-8	6-9	6,5-8	6-7	10,5-11,5
Total olie, µg/l							
11.99-01.01	9	-	1300-7900	-	1500-3300	1000-1900	<50-80
22.02.06	9	8800	< 0,2	45	110	< 5	-
Benzen, µg/l							
11.99-01.01	1	-	53-650	-	22-57	39-240	<0,2
22.02.06	1	66	< 0,2	1	6,5	< 0,2	-
Toluen, µg/l							
11.99-01.01	5	-	19-690	-	200-580	0,3-24	<0,2-6,4
22.02.06	5	2300	< 0,2	7,5	< 0,2	< 0,2	-
Xylener, µg/l							
11.99-01.01	5	-	302-1900	-	180-750	142-292	<0,2-1,3
22.02.06	5	2500	< 0,2	22	30	< 0,2	-

Resultaterne indikerer, at forureningen i borerne FC2 og G2 i løbet af de seneste 5-7 år er nedbrudt, idet der ikke kan påvises indhold over detektionsgrænsen i dag. En anden mulig forklaring er, at forureningen er sunket ned under borerne's filterniveau som følge af infiltration på det ubefæstede areal. Dette har ikke været undersøgt ved udførelsen af de seneste borer.

I perioden indtil 2001 sås der ikke en entydigt aftagende eller stigende tendens inden for de nævnte intervaller. Boring G5 viste dog et stigende indhold af sum(BTEX) fra januar 2001 til juli 2002, jf. ref. /15/. Dette kan muligvis henføres til ændrede udvaskningsforhold efter opgravning af tankene, og dette gælder også de seneste "rene" prøver. Mange af de højeste koncentrationer i borerne blev målt i oktober 2000, hvor det højest observerede vandspejl blev målt.

Boring H1 er omtrent beliggende i et års (eller et halvt års) strømningsafstand, hvis der regnes med den langsomste (henholdsvis den højeste) strømningshastighed i det interval, der redegøres for i nedenstående afsnit 3.5.2.

I afsnit 3.7.2 redegøres der for, hvilke grundvandskoncentrationer, der kan tillades i kildefeltet, hvis kvalitetskravene skal være opfyldt i et års strømningsafstand.

3.5 Bestemmelse af usikkerhed og variation

3.5.1 Hydrauliske parametre

Usikkerheden på de hydrauliske parametre søges belyst i det følgende. Disse parametre er udførligt beskrevet, fordi de bruges til bestemmelse af begrebet 1 års strømningsafstand.

I 1997 er der udført en prøvepumpning i boring PB1, som på daværende tidspunkt var filtersat i tre intervaller (øverste filter var i umættet zone).

Observationer blev foretaget i tre nærliggende boringer. Pumpeydelsen er ikke angivet i den rapport, der blev lavet af Skude & Jacobsen, /6/, men ud fra S&J's fortolkede transmissivitet kan det vises, at de har anvendt $Q = 0,9 \text{ m}^3/\text{t}$ i deres beregning.

Sænkning - tid

Ud fra stigningsdata i pumpeboringen beregner S&J en transmissivitet på $T=1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ud fra Jacobs formel og en dekadehældning på $s_{10(1)} = 0,045 \text{ m}$, og der beregnes en hydraulisk ledningsevne på $k=1,7 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ ved anvendelse af en magasintykkelse på 6 m.

Sænkning - afstand

Ud fra afstand/sænkning i observationsboringerne beregner S&J i /6, bilag 5.2.2.3/ den samme T-værdi, ud fra en dekadehældning på $s_{10(2)} = 0,1 \text{ m}$. Dette er kun omtrent korrekt, da en identisk T-værdi ved denne fortolkning ville kræve en dekadehældning på $0,09 \text{ m}$ ($2 \times s_{10(1)}$) (/6, bilag 5.2.2.3/). Værdierne stemmer pænt overens, men der er en usikkerhed på T.

Variierende pumpeydelse

I /6, bilag 5.2.2.2/ kan det tydeligt ses, at pumpen sugede luft efter kun 30 minutter. Dette er ikke nævnt i rapporten. Herefter har ydelsen nødvendigvis været faldende gennem de knap 5 dage, pumpningen varede, men dette forhold er heller ikke nævnt; kun en gennemsnitlig ydelse på $1,14 \text{ m}^3/\text{h}$ er angivet. Det er således usikkert, om ydelsen har været $0,9 \text{ m}^3/\text{h}$ eller mindre ved slutning af pumpningen, og desuden er den anvendte fortolkningsmetode i alle tilfælde en tilnærmelse, da den ikke er gyldig i den aktuelle situation, hvor ydelsen ikke er konstant.

Vurdering af usikkerheder

Usikkerheden som følge af de ovennævnte uopfyldte forudsætninger skønnes at give en usikkerhed på T-værdien på 20 %, men en nærmere analyse af dette er ikke foretaget.

Usikkerheden ved de forskellige fortolkninger i /6, bilag 5.2.2.2 og 5.2.2.3/ skønnes at være 10 %, da T-værdierne er angivet som ens, selv om de umiddelbart kan beregnes at afvige 10 % fra hinanden.

Den samlede usikkerhed på T skønnes herefter til 30 %, fordelt som plus 15 % til minus 15 % i forhold til den T-værdi, S&J angiver.

Hydraulisk ledningsevne, k

Ved beregning af k (ud fra $k = T/D$) er der anvendt en magasintykkelse på $D=6 \text{ m}$, hvilket formodes at være regnet fra rovandspejl $6,7 \text{ m}$ u.t. til ca. bund af boring 14 m u.t. Ved kort tids pumpning vurderes dette at være korrekt, men ved lang tids pumpning, som eksempelvis 5 dage, deltager også kalken i strømmingen, hvorfor der bør anvendes en større magasintykkelse. Det skønnes at en 2 m større magasintykkelse vil være mere rigtig ved beregning af k ud fra T (dvs. en forøgelse på 33 %). En 33 % større D giver en 25 % mindre k-værdi.

Denne k-værdi er dog stadig et *gennemsnit* af de forskellige sandtyper, der er filtersat i boringen. Der ses en variation fra groft, gruset sand $7,2\text{-}9,7 \text{ m}$ u.t. til svagt leret sand $9,7\text{-}13,8 \text{ m}$ u.t.

Dvs. i PB1 kan det prøvepumpede grundvandsmagasin være sammensat således,

	k, m/s	T, m ² /s
2,5 m groft gruset sand	3×10^{-4}	$0,75 \times 10^{-3}$
4,1 m sv. leret sand	$0,4 \times 10^{-4}$	$0,12 \times 10^{-3}$
0-2 m kalk	2×10^{-4}	$0-0,20 \times 10^{-3}$
ca. 8 m lagfølge	$1,1-1,4 \times 10^{-4}$	$0,9-1,1 \times 10^{-3}$

idet de angivne k-værdier er et skøn, baseret på at det lerede sand har en 10 gange lavere ledningsevne end det grusede sand. Dette er dog ikke eftervist ved de udførte slugttests, hvor der a) beregnes en meget lav værdi for det øvre lag uagtet at sandet er angivet som gruset og b) k-værdien er 5 gange lavere end for det nedre lag, uagtet at det nedre sand er angivet som leret. Dette forhold indikerer, at slugttesten i det øvre filter kan være fejlbehæftet, enten som følge af uopfyldte forudsætninger for testen, eller som følge af boringens udbygning. Der lægges derfor ikke vægt på den fortolkede, afvigende lave k-værdi for det øvre filter i PB1. For det lerede sandlag er k-værdien fra slugttesten anvendt i ovenstående oversigt.

Dvs. følgende hydrauliske parametre vurderes at kunne udledes fra den udførte prøvepumpning i PB1:

$$T = 0,85 - 1,15 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (angivet i /6/ til } 1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s)}$$

$$k_{\text{gns}} = 1,1 - 1,4 \times 10^{-4} \text{ m/s ud fra } D=8\text{m (k angivet i /6/ til } 1,7 \times 10^{-4} \text{ m/s)}$$

De udførte slugttests viser de største k-værdier på $1,0-1,1 \times 10^{-4}$ m/s i boring D3, G2 og H3, og de laveste værdier på ca. $0,16-0,3 \times 10^{-4}$ m/s i boring F2, F3 og H1øvre. De øvrige boringer ligger på $0,4-0,6 \times 10^{-4}$ m/s. PB1øvre afviger som nævnt ved at vise den laveste k-værdi af alle, $0,07 \times 10^{-4}$ m/s, og dette må som ovenfor nævnt antages at skyldes andre forhold end magasinets egenskaber.

PB1 ligger mellem D3 og G2, og den gennemsnitlige k-værdi fra prøvepumpningen stemmer overens med k-værdien fra slugttests i D3 og G2.

3.5.2 Strømningsretning, gradient og hastighed

Strømningsretningen er let varierende, men hovedsageligt sydlig. Dette er beskrevet i adskillige pejlerunder og bekræftet ved den seneste pejlerunde, udført d. 11.09.03.

Trykniveauet har varieret over en meter gennem den periode, hvor observationer har været foretaget. I boring FC2 har variationen været fra kote 1,76 (marts 2000) til 3,02 (oktober 2000), mens det i september 2003 var i kote 1,81. Dette svarer til en varierende dybde under terræn på 5,6 - 6,8 m u.t. omkring tankområdet.

Målepunktskoter

Målepunktskoter for de tidligere pejlinger kan ikke findes i nogen af rapporterne. Det har derfor ikke været muligt at vurdere denne mulige fejlkilde på tidligere potentialekort.

Barometereffekt

Der er ikke i det tidligere materiale været en beskrivelse af den mulige barometereffekt, som i et område med lille vandspejlsgradient kan være af stor betydning for udseendet af et potentialebillede.

Hvis barometereffekten er den samme i alle pejlede borer, har lufttryksvariation ingen betydning for potentialebilledernes udseende.

Imidlertid kan barometereffekten (BE) variere lokalt, afhængigt af lagfølgen; således vil der kunne være 100 % BE i et spændt magasin, mens der vil være 0 % BE i et frit magasin. Effekten af forskellig barometereffekt i forskellige borer vil kunne betyde, at der i borer med stor BE vil kunne måles et op til 20-30 cm højere vandspejl ved lavtryk end ved højtryk, mens denne forskel ikke vil ses i borer med lille eller ingen BE. Med den meget lille gradient i området vil en sådan forskel kunne medføre en fejlfortolkning af strømningebilledet, med mindre der foretages en korrektion inden optegningen.

Med denne rapportering er der ikke foretaget en analyse af barometereffekten, da der ikke har været rådata til rådighed, og da dette forhold måske mest er af akademisk interesse på nuværende tidspunkt. Det kunne dog være en mulig forklaring på det varierende strømningebillede, der nævnes.

Vertikal strømning

Strømningen synes at være opadrettet i PB1, men nedadrettet i alle øvrige borer, hvor der er sat to filtre. Der kan ikke gives en logisk forklaring på den opadrettede strømning i PB1.

Horisontal strømning

Gradienten for den horisontale strømning er ved seneste pejlerunde bestemt til 0,0028 (i gennemsnit), i overensstemmelse med mange tidligere pejlerunder. Gradienten vurderes at være bedst bestemt syd for Nykøbingvej, idet G5, G2 og alle borer syd herfor (de dybe filtre) indgår i det optegnede potentialebillede for september 2003. Nord for Nykøbingvej ses et lavere trykniveau i de øvre filtersatte sandlag, og disse kan ikke korreleres med det generelle strømningebillede i det dybeste magasin, men tyder på et svagt opadrettet gradient fra det dybe til de øvre sandlag, svarende til forholdet i PB1.

Usikkerheden på gradienten vurderes at være omkring 10 %. Imidlertid vil det ofte være sådan, at gradienten er lav, hvor den hydrauliske ledningsevne er høj og omvendt. Dette følger af kontinuitetsligningen og Darcy's lov, hvis fluxen q (vandføringen) gennem et område er konstant: $q = k \times I$. Det er derfor problematisk at anvende en generelt gældende gradient for hele lokaliteten.

Strømningshastighed

Strømningshastigheden bestemmes ud fra $v_s = k \times I / n$, hvor den effektive porøsitet n tidligere er anslået til 0,2. Der er ingen grund til at ændre denne, men inkl. usikkerhed skønnes den effektive porøsitet at ligge i intervallet 0,2-0,3.

Ved anvendelse af følgende værdier

$$\begin{aligned} k &= 1,1-1,4 \times 10^{-4} \text{ m/s} \\ I &= 0,0025-0,003 \text{ (høj } I \text{ ved lav } k, \text{ og omvendt)} \\ n &= 0,20-0,3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{fås} \quad v_s &= 1,1-1,75 \times 10^{-6} \text{ m/s} \\ &= 35 - 55 \text{ m/år.} \end{aligned}$$

Det skal understreges, at det nævnte interval ikke blot er et udtryk for usikkerhed, men viser hvordan strømningshastigheden faktisk må forventes at variere i de vandmættede (testede) sandlag.

3.5.3 Monitering

På grund af den varierende strømningsretning kan der være tvivl om, hvorvidt de eksisterende boringer er placeret nedstrøms forureningen eller står forskudt i forhold til den direkte strømningsretning.

Eksempelvis kan det stærkt aftagende indhold af BTEX i boringerne I1 og I2 muligvis være en følge af ændret strømningsretning, dvs. tilstrømning af rent vand til boringerne.

Endvidere har vandspejlsfluktuationerne stor indflydelse på de observerede koncentrationer.

På grund af de skiftende lag af ler og sand samt usikkerheden om kontakt mellem de enkelte sandlag kan der være tvivl om, hvorvidt de eksisterende boringer er filtersat i det optimale niveau med henblik på monitering af forureningsfanen (eller fanerne, hvis der faktisk er tale om mere end én kilde).

Disse forhold vil næppe kunne belyses bedre end det er gjort, uden et uforholdsmæssigt stort antal yderligere boringer. En eller flere prøvepumpninger vil kunne vise noget om sammenhængen mellem visse boringer, men de stærkt varierende geologiske forhold vil kun muliggøre en omtrentlig fortolkning.

Det skal understreges, at de eksisterende boringer ikke vil være mere egnede til monitering af en afværgeindsats end de har været til monitering af naturlig nedbrydning.

Der kan ikke gives nogen garanti for at yderligere monitoringsboringer vil forbedre dokumentationen, men på baggrund af den uens fordeling af boringer foreslås det, at der i tilfælde af en afværgeindsats etableres mindst 3 yderligere boringer vest for H1 for at forøge sikkerheden for at der står boringer nedstrøms forureningsfanen. Det må forudses nødvendigt at filtersætte boringerne i tre niveauer.

3.6 Tracerforsøg

Med de beregnede strømningshastigheder på 30-55 m/år vurderes det som muligt inden for en rimelig tidshorisont at opnå en beskrivelse af strømningsforholdene ved hjælp af et tracerforsøg. Hvis et sådant forsøg udføres, bør det gøres inden en afværgeindsats igangsættes.

Værdien af et sådant forsøg vil være at belyse om de eksisterende monitoringsboringer er placeret optimalt. Samtidig kan de hidtidige monitoringsresultater dog bruges som tegn på, at der **forinden** må etableres nogle yderligere monitoringsboringer for at strømnings- og fortyndingsforhold

kan blive tilstrækkeligt dokumenteret, da forsøget ikke er brugbart, hvis hovedparten af traceren ikke genfindes.

Det største problem ved et tracerforsøg er, at traceren bør tilsættes ved kilden for at efterligne den hidtidige forureningsfane bedst muligt. Kilden er imidlertid ikke nøjagtigt defineret, og det rigtige injektionspunkt for et sporstof kan derfor diskuteres i samme omfang som den hidtidige diskussion af forureningsfanens udbredelse.

Et andet problem er strømningshastigheden, som muligvis kun er gældende syd for Nykøbingvej. Det er således usikkert, hvor lang tid der vil gå fra injektion af sporstof nord for vejen til stoffet har bevæget sig syd for vejen.

Uanset de nævnte forhold må det forventes, at et tracerforsøg kan bidrage med nyttige informationer om heterogeniteten i området.

3.7 Sammenfatning af forudsætninger for afværge

På baggrund af resultater fra tidligere undersøgelser på lokaliteten foretages en sammenfatning af de forudsætninger, som vil blive benyttet ved den efterfølgende gennemgang af afværgemetoderne.

Forudsætningerne omhandler,

- forureningen, dels i jorden, dels i grundvandet,
- oprensningskravene samt
- dokumentationen af oprensningen.

3.7.1 Forurening i jord og grundvand

- Det vurderes i /4/ at den efterladte forurening findes i et område omkring boringen FC2 med radius på 6 m og i dybdeintervallet fra 5-8 m u.t., dog kraftigst 5,5-7,5 m u.t. Det vurderes endvidere, at restforureningen udgør 600 kg benzin, eller mindre (90-270 kg) jf. senere estimater.
- Udbredelsen af hotspot jordforurening i umættet zone og til dels mættet zone antages at være ca. 45 m². En del af tankgraven vil være med i dette område.
- Der er i jorden tidligere påvist et indhold af totalkulbrinter på op til 2000 mg/kg TS, men i 2006 kan kun påvises op til ca. 500 mg/kg lige syd for tankgraven.
- De største koncentrationer i grundvandet er tidligere fundet i FC2, G2 og G5 med et indhold af totalkulbrinter på 1000- 7.900 µg/l, samt et indhold af benzen på 22 til 650 µg/l. I 2006 ses dette høje niveau (8.800 µg/l) i B106, mens FC2 og G2 giver uforurenede vandprøver.
- Hydrauliske parametre:
 - hydraulisk ledningsevne, k-værdi=1,1-1,4 x 10⁻⁴ m/s
 - transmissivitet, T=0,85-1,15 x 10⁻³ m²/s
 - lagtykkelser 6-8 m
 - Gradienten er ved seneste pejlerunde, 22.02.06, bestemt til 0,0022
 - Strømningshastighed: v_s = 1,1-1,75 x 10⁻⁶ m/s = 35 – 55 m/år.
- Strømningsretningen er let varierende, men hovedsageligt sydlig

- Kalken udgør det regionale grundvandsmagasin, men forureningsspredning beregnes vha. JAGG for det overliggende sandlag, hvilket er på den sikre side. Tilmærmet vil k-værdien for sandet formentlig være af samme størrelsesorden som for kalken; dette er dog ikke dokumenteret.

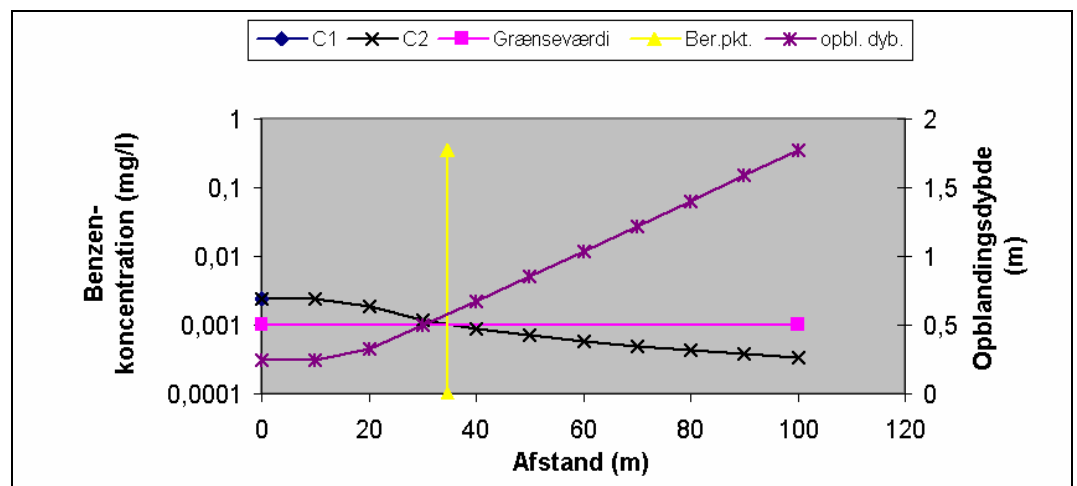
3.7.2 Oprensningskrav

Som udgangspunkt antages det, at jordforurening (i form af benzin) over 25 mg/kg skal fjernes.

Kravet til restforurening i grundvandet inde i selve kildeområdet defineres som en koncentration, der medfører, at grundvandskvalitetskravet er opfyldt i et års strømningsafstand nedstrøms.

JAGG er nedenfor anvendt til at estimere den tilladelige forurening i grundvandet i kildeområdet under denne forudsætning.

Figur 3.7.1 Benzen ved en strømningshastighed på 35 m/år, ingen nedbrydning

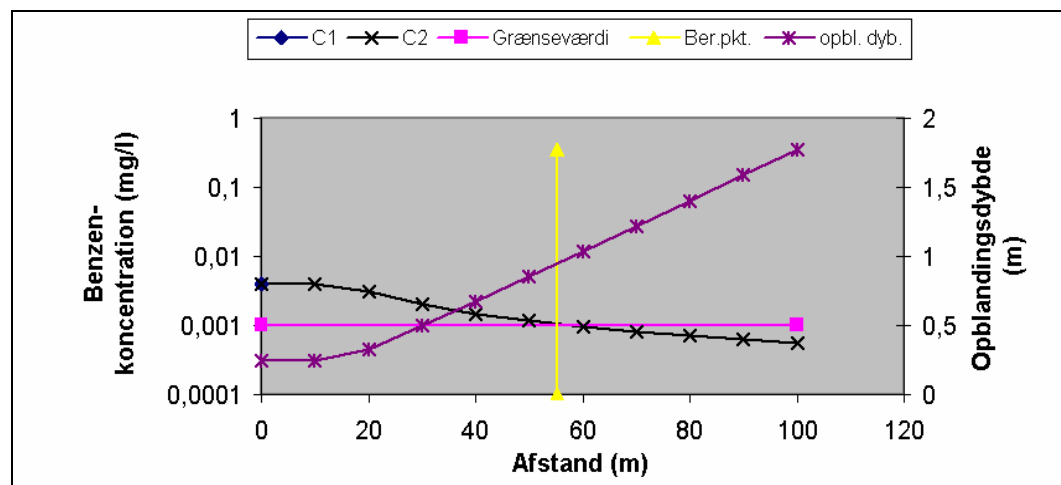


Figur 3.7.1 og Figur 3.7.2 viser hvilken benzenkoncentration der kan tillades målt i kildeområdet (repræsenteret ved boring FC2), dvs. i afstanden 0 m fra kilden. Beregningerne viser, at der med en strømningshastighed på 35 m/år ikke må måles en højere koncentration end 2,4 µg/l i kildeområdet, hvis kravet om 1 µg/l skal være opfyldt 35 m nedstrøms, se fig. 3.7.1. Tilsvarende må der ikke måles over 5 µg/l, hvis der regnes med en strømningshastighed på 55 m/år, se fig. 3.7.2. Input og resultater af beregningen for benzen ses i bilag D.

For totalkulbrinter (krav 9 µg/l) er kravene til kildekonsentrationen tilsvarende 22 henh. 45 µg/l ved strømningshastigheder på 35 henh. 55 m/år, når der ikke regnes med nedbrydning.

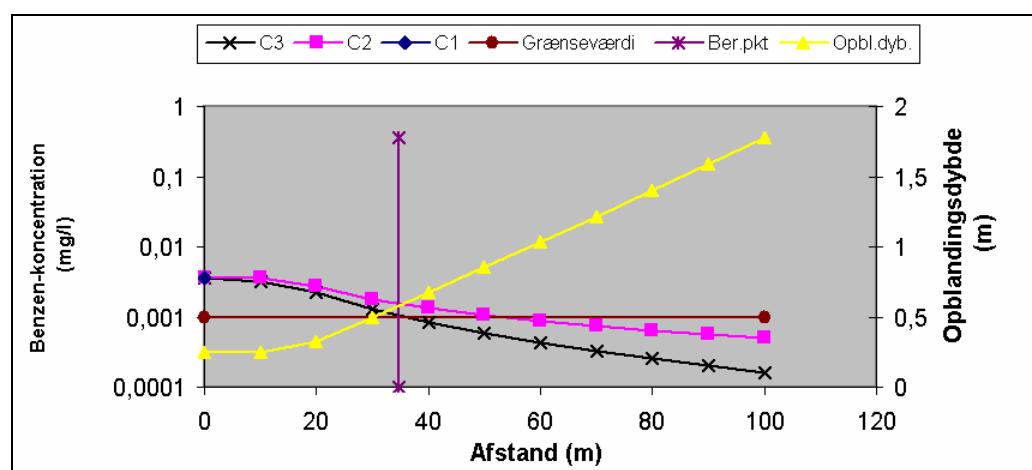
Tilsvarende beregninger for de øvrige enkeltkomponenter viser, at hvis kravet skal være opfyldt i 1 års strømningsafstand, skal koncentrationerne i selve kildeområdet ned på omkring 3-5 gange grundvandskvalitetskravet².

Figur 3.7.2 Benzen ved en strømningshastighed på 55 m/år, ingen nedbrydning



De nævnte beregninger er udført uden hensyntagen til nedbrydning. Dette er meget konservativt, og der er desuden gennemført en tilsvarende beregning med nedbrydning, hvor de mest konservative af Miljøstyrelsens værdier i JAGG er anvendt, dvs. en nedbrydningskonstant på 0,001 dag⁻¹ for benzen og anaerobe forhold. Det giver nogle lidt højere kravværdier i kildeområdet, nemlig 3,6 µg/l henh. 6 µg/l ved en strømningsafstand på 35 m henh. 55 m. Tilsvarende beregninger kan gennemføres for de øvrige stoffer eller med større nedbrydningskonstant. Det er ikke gjort i denne sag. For totalkulbrinter, som er en blanding af mange enkeltstoffer med forskellige nedbrydnings-egenskaber, kan der ikke udføres en beregning med nedbrydning.

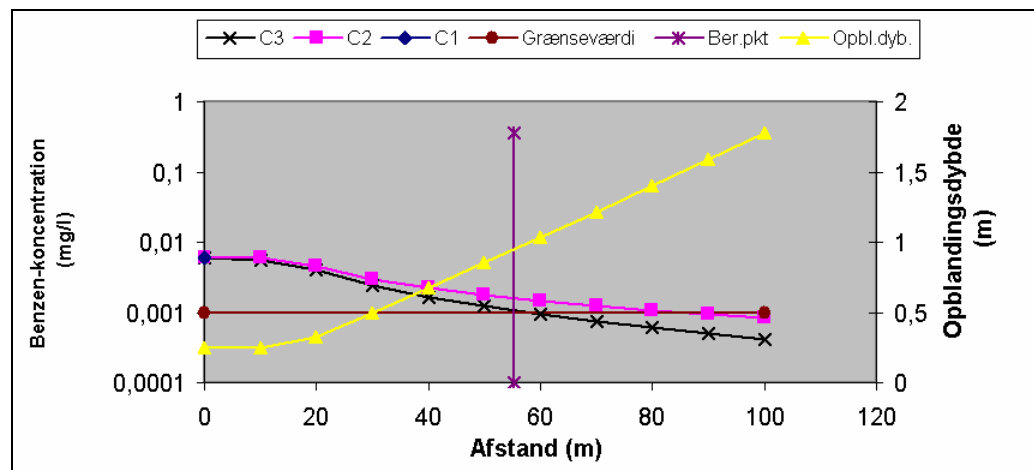
Figur 3.7.3 Benzen ved en strømningshastighed på 35 m/år, lille nedbrydning



² I et filter på 1 m som i FC2 forudsætter JAGG at de nævnte krav skal svare til 4 gange lavere målte koncentrationer, dvs. 0,6 henh. 1 µg/l, og endnu mindre koncentrationer, hvis der tages vandprøver fra længere filtre. Dette er der set bort fra her, da det er dokumenteret, at forureningens vertikale udbredelse er nogle meter, og ikke kun 25 cm, som den nævnte omregning forudsætter.

Det skal nævnes, at de opstillede oprensningskrav kan være vanskelige at opfylde i realiteten, og at de gennemførte JAGG beregninger er meget konservative. Det vurderes derfor som sandsynligt, at kravene i et års strømningsafstand i realiteten vil være opfyldt også med højere koncentrationer i kildeområdet.

Figur 3.7.4 Benzen ved en strømningshastighed på 55 m/år, lille nedbrydning



3.7.3 Dokumentation for forureningsoprensning

Ved den efterfølgende vurdering af mulige afværgetiltag vil det blive antaget, at den forurening (der er vandtransporteret), og som ligger nedstrøms kildeområdet, dvs. syd for Nykøbingvej ikke kræver en afværgeindsats.

Argumentet for at efterlade grundvandsforureningen syd for vejen, selv om den detaljerede udbredelse er usikker, er, at opløst forurening i de koncentrationer, der er set i I1 og G6, vurderes at kunne nedbrydes under den videre transport i grundvandsmagasinet. Dette forudsætter, at der etableres en afværgeindsats over for kilden, således at der ikke sker en yderligere spredning af forurening fra denne, samt at der etableres yderligere monitoringsboringer vest for H1.

Det skal efter gennemførelse af oprensning i kildeområdet dokumenteres, at der i et års strømningsafstand eller maksimalt 100 m nedstrøms olieforureningen er et indhold af totalkulbrinter i grundvandet, som er mindre end kvalitetskriteriet på 9 µg/l, samt mindre end 1 µg/l for benzen, 5 µg/l for toluen og 5 µg/l for xylener.

Set i lyset af den meget heterogene geologi vil udtagning af jordprøver ikke give en tilstrækkelig dokumentation for opfyldelse af succeskriteriet.

For de enkelte metoder foretages dokumentation af forureningsfjernelse.

Til kontrol/overvågning af forureningsfanen vurderes det, at det uafhængigt af metodevalg vil være nødvendigt, at etablere min. 3 nedstrøms boringer. Boringerne føres ned til umiddelbart over kalken og filtersættes i tre forskellige vandførende lag, helst i boringsreder à tre boringer, og der forudsættes gennemført mindst to monitoringsrunder, til eftervisning af et

forureningsniveau faldende til de ønskede kvalitetskriterier. Derudover kan der ved de enkelte metoder være behov for yderligere undersøgelser.

3.7.4 Stopkriterier

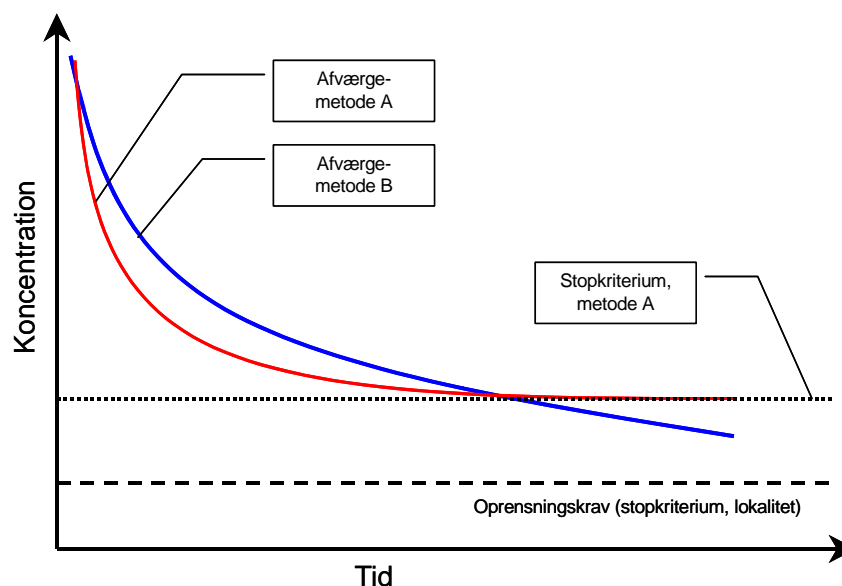
Som nævnt i ovenstående kapitel 3.7.3 skal der oprensnes til et meget lavt niveau for at risikoen for fortsat forurening af grundvandet er elimineret. Det skal understreges, at der i den betragtning ikke er taget hensyn til, at grundvandsressourcen ikke udnyttes i området nedstrøms kilden. Det er således alene den teoretiske risiko i forhold til en tænkt indvinding, der er søgt kvantificeret i beregningerne.

Da restforureningen kræves reduceret til samme størrelsesorden som drikkevandskriteriet, kan det erfaringsmæssigt være vanskeligt eller umuligt at opfylde dette succeskriterium inden for en rimelig indsats, og der kan næppe gives nogen garanti for at dette mål nås, eller at det kan dokumenteres, da der på den aktuelle lokalitet altid vil kunne stilles spørgsmål ved placering af monitoringsboringerne på grund af heterogene strømningsforhold

Der kan derfor være tale om at operere med stopkriterier, som er specifikke for den enkelte metode, idet ikke alle metoderne vil kunne give en total oprensning og måske heller ikke en tilstrækkelig oprensning til at den nævnte risiko for fortsat forurening af grundvandet er elimineret.

Det er således formålsløst at fortsætte en afværgeindsats efter det tidspunkt, hvor der ikke længere ses en væsentlig fjernelse af stof. Nedenstående figur 3.7.5 viser at en afværgeindsats kan være nødvendig at stoppe, fordi det viser sig, at det egentlige mål for lokaliteten ikke kan nås, hvis afværgemetode A anvendes. Hvis metode B (som måske er dyrere) anvendes, kan man nå tættere på målet, men om oprensningskravet kan nås, kan ikke afgøres på forhånd.

Figur 3.7.5 Stopkriterier



Forskellen mellem stopkriteriet for den enkelte metode og oprensningskravet for lokaliteten vil formentlig kunne klares af naturlig nedbrydning efter stop af

afværgeindsatsen, hvorfor der bør vælges en metode, der ikke modvirker naturlig nedbrydning. Derfor er eksempelvis indkapsling ikke egnet som metode.

4 Afværgemetoder

I dette kapitel beskrives en række afværgemetoder i relation til restforureningen på Nykøbingvej 295.

4.1 Opgravning eller opboring af forurenede jord, med efterfølgende rensning ex-site

Ved opgravning eller opboring af forurenede jord fjernes jord forureningen fra grunden og yderligere tilførsel af forureningskomponenter til grundvandet hindres.

Formålet med opgravningen eller opboring af forurenede jord vil være følgende:

- at fjerne kilden til udvaskning af benzinkomponenter til grundvandet.

4.1.1 Metodebeskrivelse

Denne beskrivelse af opgravning/opboring som metode tager udgangspunkt i en situation, hvor forureningen består af kulbrinter i form af olie- og benzinkomponenter, der er spredt fra en kilde ned/ud i jordmatrixen og hvor der er kontakt med grundvandet.

For at kunne grave tilstrækkeligt dybt vil det ofte være nødvendigt at sikre udgravningen mod sammenstyrning. Ligeledes kan hensynet til bygninger, vejanlæg o.l. medføre, at der skal etableres en fysisk sikring/afstivning under gravearbejdet.

Den opgravede forurenede jord transporteres til et jordbehandlingsanlæg med henblik på rensning. Som erstatning for den opgravede forurenede jord genfyldes udgravningen normalt med fyldsand/grus.

Ved opboring af den forurenede jord placeres borerne så tæt som muligt indenfor det forurenede areal, og til sikring mod sammenstyrning af jordmatrixen i området foretages efter hver udboring opfyldning af boringen med fyldsand/grus eller beton.

Såfremt det er nødvendigt at bortgrave ren jord, for at kunne skaffe adgang til det forurenede jordlag, etableres typisk et midlertidigt oplag af ren jord, som efterfølgende genanvendes til opfyldning i udgravningen. Hvorvidt det er hensigtsmæssigt afhænger dels af jordens geotekniske beskaffenhed og efterfølgende krav til opfyldningen, dels tilgængeligheden af oplagsplads.

Projektering af oprensning ved opgravning/opboring

Ved projekteringen af opgravningen skal følgende forhold tages i betragtning:

- Forureningsudbredelse (horisontalt og vertikalt), dvs. mængden, der skal bortgraves, og hvor dybt der skal graves til.
- Pladsforhold

- Grundvandsniveau
- Behov for sikring af bygninger, vejanlæg o.l.
- Ledninger/kloaker i jorden

Kendskabet til forureningsudbredelsen er afgørende, såfremt der er risiko for, at udgravningen vil få et omfang der kan påvirke pladsforholdene eller bygninger o.l.

Såfremt der er god plads vil der være mulighed for at fortsætte afværger, selvom forureningen har en større udbredelse end antaget.

Hvis pladsen derimod er begrænset vil det være afgørende at kende forureningsudbredelsen inden opgravningen påbegyndes, således at afstivning af udgravning, sikring af bygninger og lign. kan projekteres inden opgravningen. I vurderingen af risikoen indgår bl.a. jordens forventede stabilitet, der er afhængig af jordens sammensætning og evt. grundvand.

Endelig må helt praktiske forhold tages i betragtning, idet der fysisk skal være plads til at gravearbejdet kan udføres samt at jorden kan læsses og transporteres væk fra grunden. Desuden skal der tages hensyn til den daglige – nødvendige – færdsel på pladsen, f.eks. til og fra boliger, garager o.l. Omvendt skal det også dagligt sikres, ved indhegning/afspærring, at der ikke er utilsigtet adgang til selve udgravningen.

Grundvand kan have betydning i forbindelse med gravearbejde. Dels vil grundvand mindske stabiliteten af en udgravning og dels vil udgravning under grundvandsniveau i visse jordtyper være meget besværligt og u hensigtsmæssigt. Såfremt der skal graves under normalt grundvandsniveau vil det ofte være nødvendigt at etablere en midlertidig grundvands sækning. Grundvands sækningen etableres oftest ved hjælp af et antal sugespidsler, der placeres rundt om udgravningen og til en dybde under udgravningsniveau. Man skal her være opmærksom på, at afsækning af grundvand over længere tid, i nogle områder, kan medføre sætninger på nærliggende bygninger. Da en del af det oppumpede grundvand kommer fra det forurenede område, vil det ofte være påkrævet at behandle det oppumpede vand ved f.eks. at lade det passere gennem en koalescens udskiller.

Tilstedeværelse af kabler, vandledninger, kloaker o.l. skal klarlægges. Installationer der ikke kan afbrydes skal omlægges eller sikres i forbindelse med opgravningen.

Tilsvarende forhold i projekteringsfasen gør sig gældende ved opboring af forureningen. Opboring vil almindeligvis betyde, at der ikke skal foretages sikring af bygninger. I projekteringsfasen vil i stedet indgå geotekniske overvejelser f.eks. ift. hvor tæt opboringen kan foretages på eksisterende bygninger/veje m.v.

Udførelse

Når omfanget af forureningen er fastlagt og evt. behov for sikring afklaret vil et typisk forløb for opgravning/opboring være:

- Klargøring af plads, ved rydning af evt. overjordiske installationer og evt. belægning.
- Evt. etablering af sikring af bygninger, vejanlæg o.l. (sideløbende omlægning af ledningsanlæg/kloaker).

- Opgravning/opboring og bortkørsel af forurenede jord (sideløbende omlægning af ledningsanlæg/kloaker).
- Genindbygning af ren jord eller løbende opfyldning af borer med sandfyld/grus eller beton.
- Genetablering af evt. ledningsanlæg/kloaker
- Genetablering af belægning og evt. overjordiske anlæg.

Der vil, ud over selve gravearbejdet, kun være en daglig drift af evt. grundvandssænkning i forbindelse med opgravning/opboring.

Anlæg til grundvandssænkning, herunder evt. tilkoblet koalescens udskiller, skal dagligt kontrolleres for tilsigtet virkning. Desuden kan der med fordel etableres en "vagtordning" således at anlægget vil blive tilset, såfremt det stopper udenfor alm. arbejdstid.

Kontrolprogram og opstilling af stopkriterier

Ved opgravning og opboring af forurening skal oprensningen dokumenteres ved udtagning af renbundsprøver/dokumentationsprøver fra bund og sider.

Antallet af prøver, der skal udtages fra udgravningen kan fastlægges ud fra Miljøstyrelsens vejledning /18/. Ved opboring af forurening vil der typisk blive udtaget et antal prøver svarende til krav ved udgravning, dels fra bund og dels fra siden i udvalgte dybder/boringer.

For at sikre at forureningsniveauet i grundvandet falder til et niveau svarende til kvalitetskriterierne bør der foretages kontrol i nedstrøms borer.

4.1.2 Diskussion af metodens anvendelighed i den aktuelle sag

Nedenstående forudsætninger skal være opfyldt for at metoden kan anvendes:

- Der skal være adgang for gravemaskiner og sikkerhed for gravemaskiner.
- Der skal være mulighed for – i en periode/perioder – at afspærre pladsen
- Metoden kan stort set benyttes under alle geologiske/hydrogeologiske forhold, men kan kræve sikring af bygninger m.v.

På Nykøbingvej 295 er de geologiske og hydrogeologiske samt de praktiske betingelser for udførelse af opgravning/opboring opfyldt.

Under antagelse af, at forureningen er beliggende som beskrevet i afsnit 3 og 4 vil det ved opgravning være nødvendigt at etablere sikring af bygninger og vejanlæg.

Sikringen antages udført ved etablering af en spuns (trykket stålspuns) med samlet længde på ca. 40 meter. Spunsen antages ført til 10 m u.t., og det vil være nødvendigt at etablere midlertidig grundvandssænkning til ca. 8 m u.t.

Evt. specielle forhold ved umiddelbar nærhed af bygning ved nordvestlige hjørne af spunsen er ikke behandlet yderligere. Dette er et forhold, der skal afklares i forbindelse med en detailprojektering.

Ved opboring vurderes, at der kan anvendes bor med en diameter på 1,5 m. Hver boring efterfyldes med sandfyld/grus eller beton til sikring af jordmatricen. Ved opboring af forureningen vil der ofte blive efterladt en mindre mængde forurenede jord mellem borerne, idet borerne normalt etableres med en vis afstand. Det anslås, at der vil blive efterladt i størrelsesordenen op til 25 % af det oprindeligt forurenede jordvolumen. Ved opboring med overlappende borer vil denne restforurening også kunne fjernes, dog skal der i så tilfælde ikke anvendes beton til opfyldning.

Det forventes, at jorden i de øverste ca. 4 meter af gravefeltet vil kunne genanvendes, idet det er opfyldt fra den tidligere udførte afværge. I niveauet 4 – 8 m u.t. antages alt jord at skulle udskiftes.

Som udgangspunkt forventes jorden at være forurenede, svarende til "klasse 4", jf. Jordplan Sjælland. Jorden forventes bortskaffet til nærmest beliggende jordbehandlingsanlæg, dvs. Dansk Jordrens i Rødby, for rensning.

Selve anlægsarbejdet vil kunne gennemføres på 2-3 uger. Fra start af afværgeprojekt til afsluttende godkendelse af projekt inkl. kontrol monitoring i grundvandet må der forventes at kunne forløbe en periode på ½-1 år, alt efter hvor hurtigt den afsluttende monitoring kan gennemføres, og de nødvendige godkendelser fra myndighederne indhentes.

4.1.3 Økonomisk overslag for opgravning/opboring

Nedenfor er givet et økonomisk overslag for etablering af afværgeprojektet, baseret på etablering af ca. 40 m spuns til ca. 10 m u.t. og udgravning til 8 m u.t. Ved fastlæggelse af priser er anvendt vurderinger fra "V&S Prisbog - anlæg" /19/ sammenholdt med erfaring fra diverse opgravninger.

Det økonomiske overslag for henh. opgravning og opboring er opdelt således:

- Anlæg, inkl. projektering, undersøgelse, myndighedsbehandling (grundlag MBL § 19 og VFL § 20, 26), udførelse og nødvendigt tilsyn
- Drift inkl. monitoring, beregnet som nutidsværdi

Alle estimater er samlede omkostninger i DKK ekskl. moms.

Undersøgelsesomkostninger

Det anbefales at gennemføre undersøgelser til afgrænsning af forureningen inden opgravning/opboring.

Tabel 4.1 Økonomi ved opgravning/opboring

Anlæg, opgravning/opboring	DKK ex moms
Projektering og undersøgelse	240.000
Myndighedsbehandling	7.500
Tilsyn og monitoringsboringer	145.000
Udførelse, afgravning	911.000
I alt, afgravning	1.303.500
Udførelse, opboring	580.000
I alt, opboring	972.500
Drift	
Drift, monitoring, årsrapport mv., kr/år	50.000
Nutidsværdi, 2 års drift, 3% p.a.	95.673
I alt, anlæg og drift, afgravning	1.399.173
I alt, anlæg og drift, opboring	1.068.173

4.1.4 Samlet vurdering af metodens anvendelighed

Der vurderes at være følgende fordele ved metoden:

- Metoden vil være anvendelig til fjernelse af hele jordforureningen, dog vil der ved opboring kunne blive efterladt en mindre del af forureningen, hvis boringerne ikke dækker det fulde areal.
- Metoden er hurtig.
- Metoden vil kun i begrænset omfang kræve efterfølgende monitoring.

Der vurderes at være følgende ulemper ved metoden:

- På den aktuelle sag kan der være store udgifter til sikring af bygninger og vejanlæg.
- Færdsel på pladsen vil være umulig i opgravningsperioden.

Det vurderes samlet, at metoden vil kunne anvendes på lokaliteten. Metodens egnethed begrænser sig til den umættede zone samt den øverste del af den mættede zone, hvor der eventuelt har været fri fase forurening (smearzonen). Oprensning i den mættede zone forudsætter, at der samtidig etableres en grundvandssenkning. Da der er konstateret en betydelig forurening i den mættede zone vil det næppe være praktisk, om end det er teoretisk muligt, at fjerne al forurening fra den mættede zone ved opgravning, idet dette i givet fald vil kræve en betydelig grundvandssenkning i hele området.

Metoden vil kunne anvendes i kombination med anden oprensning i den mættede zone, eller monitoring/intern rensning.

4.2 Afværgepumpning, rensning og recirkulering

Formålet med afværgepumpning er

- at reducere forureningen eller dele heraf grundvandszonen og/eller
- at kontrollere/forhindre forureningen i at sprede sig (hydraulisk fiksering).

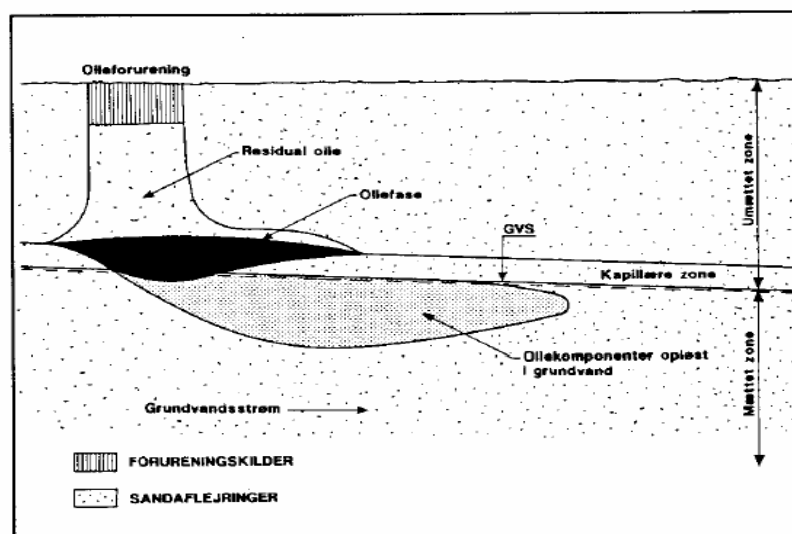
Den hydrauliske fiksering skal forhindre en forureningsspredning i magasinet, til dybereliggende magasiner og/eller til recipient. Bringes forureningen under hydraulisk kontrol vil forureningskilden sædvanligvis kun blive fjernet meget langsomt.

4.2.1 Metodebeskrivelse

Denne beskrivelse af afværgepumpning som metode tager udgangspunkt i en situation, hvor forureningen består af mineralolieprodukter. Afværgepumpningen kan efterfølges af en recirkulation af det oppumpede vand tilbage til grundvandsmagasinet igen eller vandet kan ledes til nærliggende recipient eller kloak. Valg af metode for afledning af oppumpet vand afhænger af en konkret vurdering i hvert tilfælde.

Mineralolieprodukter, herunder olie og benzin vil lægge sig på grundvandsspejlet som et selvstændigt legeme og flyde, da vægtylde er mindre end vands (LNAPL) /11/. En del af olie/benzinkomponenterne vil blive opløst i grundvandet og spredt med grundvandsstrømmen. Den frie olie- eller benzinfase på grundvandsspejlet kan fjernes ved afværgepumpning eller afskimning fra filtersatte boringer. I nedenstående figur ses en principskitse for afværgepumpning.

Figur 4.2.1 Principskitse, afværgepumpning med olie- og benzinfurening /20/



Hele forureningen kan dog ikke fjernes ved traditionel pumpe-teknik, idet en større eller mindre del af mineralolieproduktet vil være bundet i jorden pga.

kapillære kræfter. Kriterium for valg af pumpestrategi er typisk, at fri fase og opløst forurening oppumpes hver for sig.

Hvis det oppumpede vand recirkuleres, skal der udføres en rensning af vandet for at fjerne indholdet af forureningskomponenter, sædvanligvis for at fjerne vandets indhold af jern- og manganforbindelser. Såfremt vandet udledes til recipient eller kloak kan der ligeledes være behov for rensning af vandet.

Nedenfor gives en generel beskrivelse af afværgepumpning som metode ved henholdsvis anlæg af afværgeforanstaltningen samt drift og monitoring.

Metoden vil være afhængig af valg af afledning af oppumpet forurennet grundvand og vandets forureningsniveau samt indhold af jern og mangan. Vandets indhold af jern- og manganforbindelser fjernes hensigtsmæssigt gennem et trykfilter og mineraloliekomponenter gennem et kulfilter.

Recirkulationen kan udføres gennem særskilte infiltrationsboringer, som etableres opstrøms afværgepumpningen og forureningen. Som tommelfingerregel vil der være behov for to infiltrationsboringer for hver afværgeboring. Eller vandet kan recirkulere gennem et infiltrationsbassin, hvor vandet ledes ud på overfladen i et bassin og nedsiver ved gravitation til grundvandet.

Anlæg

Ved projekteringen af anlægget skal følgende indgå i projekteringen:

- antal pumpeboringer
- placering af pumpeboringer
- pumpeydeler
- pumpeniveauer

Der er mulighed for at udføre separationspumpning i boringen, hvorved en sammenblanding af rent vand og forurennet vand kan undgås. Gevinsten ved separationspumpning afhænger dog af, hvor stor en del af forureningen, der allerede er opløst i grundvandsmagasinet.

Herudover skal projekteres vandbehandlingsenheder afhængig af, hvor vandet skal ledes hen og hvilke krav der stilles. Der kan således være behov for følgende behandlingsenheder:

- Trykfilter til iltning og fjernelse af jern og mangan/ evt.stensætning til primitiv iltning og fjernelse af jern og mangan
- Kulfilter

Endvidere skal der projekteres rørføringer, montering af ventiler, prøvetagningshaner mv. samt tages stilling til anlæggets styring, herunder etablering af et anlæg til styring, rapportering og overvågning, et såkaldt SRO-anlæg.

Drift

Driften af afværgeanlægget består i drift af pumper, dels pumper til afværgepumpningen, dels til pumpning rundt i systemet. Ved vandbehandlingen kan der være behov for returskyl af filtre til fjernelse af udfældning af jern- og manganforbindelser og udskiftning af kul i kulfiltre.

Styringen af anlægget, herunder returskyl, kan foregå automatisk, hvis anlægget monteres med SRO.

Kontrolprogram og Monitering

Der er løbende behov for at kontrollere afværgeforanstaltningens effektivitet både med hensyn til udvikling i forureningens koncentrationer og sikring af at forureningen ikke spredes.

Der er således behov for at gennemføre dels kemiske analyser for udvalgte parametre og dels pejlerunder (evt. loggerregistreringer) til kontrol af den hydrauliske fiksering med fastsatte mellemrum.

4.2.2 Diskussion af metodens anvendelighed i den aktuelle sag

Nedenstående forudsætninger skal være opfyldt for at metoden kan anvendes:

Geologiske/hydrogeologiske

- Oppumpning skal ske fra et magasin med en vis hydraulisk ledningsevne. Det vil sige typisk fra sandede og grusede formationer, eventuelt fra kalklag med kendt strømningmønster.
- Frie magasinforhold

Praktiske forhold

- Der skal være adgang til at kunne udføre borearbejdet
- Boringerne skal efterfølgende være tilgængelige
- Der skal være plads til behandlingsanlæg
- Der skal være mulighed for rørføringer

I denne sag er de geologiske og hydrogeologiske samt de praktiske betingelser for udførelse af afværgepumpning med rensning og afledning tilstede.

Dimensionering

Ved etablering af en afværgeboring med henblik på oppumpning af den opløste fase skal det sikres, at indvindingsoplandet for afværgepumpningen omfatter den del af grundvandsmagasinet, der ønskes afværget. Ved oppumpning af opløst fase vil der ofte også blive trukket rent vand til boringen.

Ved oppumpning etableres en sænkningstragt omkring boringen, hvorved en yderligere spredning af forureningen samtidig forhindres. I henhold til afsnit 3.7 vurderes det, at vandforureningen syd for Nykøbingvej ikke kræver en afværgeindsats, og den grundvandsforurening, der eventuelt efterlades uden for grunden vurderes ikke at indebære nogen risiko. Det vurderes, at en afværgeboring hensigtsmæssigt kan placeres i umiddelbar nærhed af I1 og G2, dvs. i yderkanten af det område, hvor der har været fri fase. Boringen filtersættes i laget af smeltevandssand og -grus umiddelbart under det øvre lag af moræneler ca. 5-6 m under terræn.

Som grundlag for en overordnet vurdering af oppumpningsmængder er der udført en beregning ved hjælp af parabelmetoden /21/. Det vurderes, at en oplandsbredde (F) opstrøms forureningen på ca. 40 m er tilstrækkelig til en hydraulisk fiksering.

Herved kan oppumpningen (Q) beregnes ud fra følgende formel: $Q = F \times I \times T$, hvilket giver en oppumpning på 0,4-0,5 m³/h. Sænkningen i boringen vil være mindre end 1 m ved høj virkningsgrad.

De eksisterende undersøgelsesboringer på grunden er ikke egnede til oppumpning, da dimensionerne er for små – boringernes filtre bør være mindst Ø125 mm for at sikre en tilstrækkelig ydelse.

Der vil være behov for en rensning af vandet inden udledning til recipient eller kloak. I nedenstående tabel 4.2 ses typiske kravværdier for udvalgte parametre jf. /25/. I øvrigt skal bekendtgørelsens kravværdier for listede miljøfremmede stoffer være opfyldt ved udledning til recipient /26/.

Tabel 4.2 Typiske krav ved udledning til recipient

Parameter	Enhed	Værdi
pH		7-8
Ilt	mg/l	>6
Total jern	mg/l	<2,0
Ferro jern	mg/l	<0,5
Ammonium	mg/l	<1,0
Benzen	µg/l	<2,0
Øvrige BTEX'er	µg/l	<10,0

For at kunne opfylde udledningskravene er der således behov for behandling af vandet gennem dels et trykfilter og dels et kulfilter. Det forventes ligeledes, at vandet skal gennemgå en tilsvarende behandling inden eventuel recirkulation til grundvandsmagasinet, igen uanset om dette skal foregå gennem infiltrationsboringer eller gennem et nedsivningsbassin på overfladen.

Drift

Det vurderes, at der maksimalt vil kunne fjernes halvdelen af restforureningen ved oppumpning, dvs. maksimalt 300 kg. Koncentrationen for total olie i G2, som vurderes at være repræsentativ for en afværgeboring varierer mellem 1,0-1,9 mg/l. Disse vandprøver repræsenterer en filterstrækning på 2 m over hele sand-/gruslagets mægtighed. Ved oppumpning i toppen af det vandførende lag forventes det, at der vil kunne opnås et højere koncentrationsniveau. Det forudsættes således, at der kan opnås en gennemsnitlig koncentration på 2 mg/l olie i det oppumpede vand.

Ved en oppumpning på 0,5 m³/h (ca. 5.000 m³/år) med en koncentration på 2 mg/l (2 g/m³) vil det tage mere end 30 år at bortpumpe 300 kg olie/benzin. Såfremt det er muligt at oppumpe en mere koncentreret oliefase, vil pumpetiden falde.

4.2.3 Økonomisk overslag

Nedenfor er givet et økonomisk overslag for etablering af afværgepumpningen baseret på 2 afværgeboringer. Der anføres samtidig et økonomisk overslag over efterfølgende behandling af det oppumpede vand for fjernelse af vandets indhold af jern- og manganforbindelser samt benzin, da det umiddelbart vurderes, at der vil være behov for en behandling af det oppumpede vand uanset om dette reinfiltreres eller afledes til recipient/kloak.

Det forudsættes, at afværgepumpningen skal være i drift i 30 år.

Det økonomiske overslag for henh. opgravning og opboring er opdelt således:

- Anlæg, inkl. projektering, undersøgelse, myndighedsbehandling (grundlag MBL § 19 og VFL § 20, 26), udførelse og nødvendigt tilsyn
- Drift inkl. monitorering, beregnet som nutidsværdi

Undersøgelser

Overslaget indeholder estimerede udlæg i forbindelse med supplerende undersøgelser som en del af dimensioneringsgrundlaget for en pumpeløsning.

Anlægsomkostninger

Der er anført omkostninger til entreprenør i anlægsfasen (Afværgeboringer, pumper, rørføringer, kulfilter, monitoringsboringer, trykfilter, elforsyning). Her er regnet med en udledning til recipient ved behandling af vandet gennem et trykfilter og et kulfilter inden udledning samt indkøring af anlægget over en 3 måneders periode.

Driftsomkostninger

Driften indeholder vedligehold, strøm, tilsyn, regnskab over driften og monitorering så længe anlægget kører. Endvidere er indregnet afledningsafgift på det oppumpede vand.

Monitorering

Omkostninger til monitorering af dels forureningens udvikling, dels kontrol af afværgeanlægget sker i henhold til vilkår i anlæggets tilladelser. Der er forudsat en halvårlig monitorering fra tre monitoringsboringer, der etableres til 12 m u.t. (tre filtre i hver boring, alternativt tre separate huller i boringsreder). Der gennemføres to monitoringsrunder med analyse for redoxparametre og kulbrinter inkl. BTEX.

Tabel 4.3 Økonomi ved afværgepumpning

Anlæg, afværgepumpning	DKK ex moms
Projektering og undersøgelse	320.000
Myndighedsbehandling	12.500
Etablering, indkøring og nedlukn.	453.000
I alt, anlæg	785.500
Drift	
Drift, monitorering, årsrapport mv., kr/år	233.000
Nutidsværdi, 30 års drift, 3% p.a.	4.566.903
I alt, anlæg og drift	5.352.403
Uden afledningsafgift	2.902.348

4.2.4 Samlet vurdering af metodens anvendelighed

Der vurderes at være følgende fordele ved metoden:

- Metoden vil være anvendelig til fjernelse af en del af restforureningen, skønsmæssigt 50 %.

- Metoden vil sikre, at forureningen ikke spreder sig yderligere i grundvandsmagasinet.
- Der opnås et direkte mål for massefjernelsen gennem monitoringsanalyser.

Der vurderes at være følgende ulemper ved metoden:

- Oprensningsperioden vil være meget lang, formentlig skal afværgepumpningen pågå i mere end 30 år, før acceptkriterierne for oprensningen er opfyldt. Dette medfører relativt store driftsomkostninger.
- Der vil fortsat være en restforurening.
- Metoden beslaglægger arealer til boringer, rensningsanlæg, rørføringer mm. i en lang årrække.

På lokaliteten er der stor usikkerhed på mængden af fri olie- og benzinfase, ligesom den frie fases udbredelse ikke er kortlagt.

Oppumpningen vil formentlig få karakter af en afværgepumpning i højere grad end en skimning af den frie fase, da det vurderes, at forureningen ligeledes forekommer på opløst form i grundvandsmagasinet.

Fjernelse af restforureningen vil gå meget langsomt, og der vil således være behov for supplerende foranstaltninger.

4.3 In-well stripning

I dette afsnit beskrives en In-well stripning metode kaldet "In-well Aerator".

In-well Aerator teknologien er udviklet i 1995 hos University of California, Davis, som et alternativ til traditionelle metoder til oprensning af grundvand forurenet med flygtige organiske stoffer og videreudviklet i Danmark af Adept Technologies A/S.

4.3.1 Metodebeskrivelse

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 lufthæveprincippet¹ og dels en stripning af eventuelle forureningskomponenter fra det oppumpede grundvand.

Teknikken er karakteriseret ved følgende:

- Der kræves ikke forrensning af vandet
- Der anvendes alene trykluft 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

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

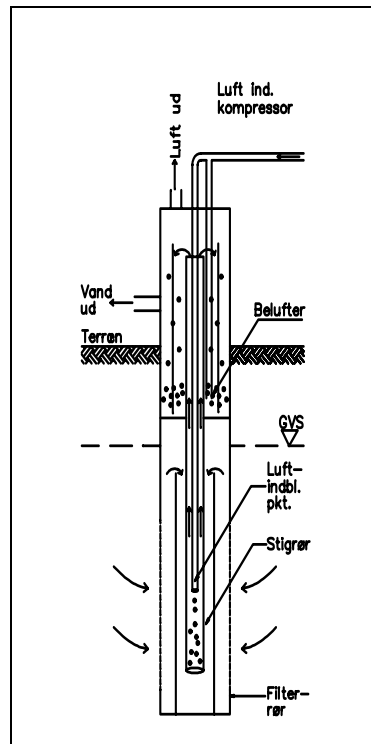
For at hindre indblæsning af luft i formationen er der indskudt et PVC-rør mellem luftindblæsningspunktet i boringen og boringens filtersætning. Derved hindres en eventuel forureningsspredning ud i formationen, og vandbehandlingen foregår under kontrollerede forhold inde i boringen.

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.

Teknologien er i /27/ afprøvet med en boring (filtersat fra 4-7 m u.t.) på en lokalitet i Ulstrup. Jordlagene i området udgøres af smeltevandssand med lokale indslag af tynde lerlag. Forureningen er beliggende i et sekundært grundvandsmagasin (vandspejl 3 m u.t.), som er knyttet til det øvre smeltevandssand. Der blev på baggrund af hydrauliske tests gennemført på lokaliteten, samt modelsimuleringer for området fastlagt en nødvendig oppumpning på 1,5 m³/h. Der er under drift opnået rensningsgrader på mellem 96,2 og 99,6 %. Omkostninger til drift af anlægget blev estimeret til 85.000 kr. årligt (eller 2,02 kr./m³) indeholdende udgifter til energi, vedligehold af blæser og eftersyn af anlæg.

For at opnå tilstrækkelig plads til de nødvendige installationer skal boringen som minimum udføres i ø200 – ø300 mm.

Figur 4.3.1. Principskitse af In-Well Aerator /27/, /28/



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

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.

Anlæg/Installation

Efter etablering af de nødvendige boringer kan 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 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 afkastør for luft, eventuelt med et kulfilter til rensning af afkastluften.

Erfaringer fra USA og afprøvningen i Danmark viser /27,28/, 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.

Drift

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

Det behandlede vand kan afledes til kloak.

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. Det har vist sig, at være meget vanskeligt på forhånd, at dimensionere kompressoren optimalt, idet løftehøjde, grundvandsstand, geologiske forhold m.v. har indflydelse på denne. Det anbefales derfor, at der om nødvendigt skal kunne skiftes til en anden type/størrelse kompressor under vejs /27/.

Nødvendig pumpekapacitet og løftehøjde er de væsentlige parametre for energiudgifterne.

Kontrolprogram og monitorering

Der skal foretages en løbende kontrol af forureningsindholdet i det ubehandlede grundvand i det oppumpede og behandlede grundvand, samt i luftafkast.

Monitoreringen foretages for at vurdere oprensningens effektivitet, samt for kontrol af vand og luft, som afledes fra afværgeanlægget.

4.3.2 Diskussion af metodens anvendelighed i den aktuelle sag

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.

Som det fremgår af ref. /27/ og /28/ er der udført en del forsøg med stripping af chlorerede opløsningsmidler, men der er ikke p.t. udført forsøg med stripping af olie/benzinprodukter med In-well Aerator.

Ud fra de fysiske parametre forventes, at stripping af de lettere komponenter i olieprodukter (benzin og BTEX'er) vil kunne foregå effektivt med en In-well Stripning.

For at der kan ske en effektiv oprensning skal oppumpningen ske fra et magasin med en vis hydraulisk ledningsevne. Typisk fra sandede og grusede formationer.

For lokaliteter med et betydeligt forureningsniveau også i den umættede zone, vil afværgemetoden skulle kombineres med afværgetiltag for den umættede zone.

Det vurderes for Nykøbingvej 295, at de hydrogeologiske forhold er tilstede for at afværgemetoden kan benyttes til oprensning af de flygtige forureningskomponenter i grundvandet.

Det antages, at der til afværge af forureningen i det sekundære grundvand etableres et afværgeanlæg med tre borer filteret i det sekundære grundvand fra ca. 6-10 m u.t.

Den nødvendige oppumpning kan først fastlægges efter gennemførelse af hydrauliske tests m.v.; men antages i det økonomiske overslag, at svare til afprøvningen i Ulstrup.

For lokaliteten antages det, at afkastluften fra In-well Aeratoren kan udledes til atmosfæren, idet det forventes at forureningsniveauet vil give en udledning, der er under emissionskravene.

4.3.3 Økonomisk overslag

Udgifter til indledende fastlæggelse af forudsætninger, vurdering af nødvendig oppumpning og monitorering antages at svare til omkostningsniveauet beskrevet under afværgepumpning og er derfor ikke nærmere beskrevet her. Det forventes at der skal oppumpes ca. 0,5 m³/h grundvand fra 2 oppumpningssteder.

Der placeres en fuld In-well Aerator i hvert oppumpningssted, med fælles forsyning af trykluft fra en central placeret blæser.

For udtagning af vandprøve inden rensning er det nødvendigt at etablere en filtersat boring ved hver In-well Aerator, idet der ikke kan udtages en vandprøve inden rensning i Aeratoren.

Det økonomiske overslag for henh. opgravning og opboring er opdelt således:

- Anlæg, inkl. projektering, undersøgelse, myndighedsbehandling (grundlag MBL § 19 og VFL § 20, 26), udførelse og nødvendigt tilsyn
- Drift inkl. monitorering, beregnet som nutidsværdi

Alle beløb er i DKK ekskl. moms.

Forundersøgelser

Der er givet en oversigt over estimerede udlæg i forbindelse med supplerende undersøgelser som en del af dimensioneringsgrundlaget for en pumpeløsning.

Anlægsomkostninger

Omkostninger til entreprenør i anlægsfasen. Her er regnet med at behandlet grundvand kan udledes direkte til recipient. Omkostninger til indkøring af anlægget over en 3 måneders periode indgår i leveringen af anlæg.

Monitering

Omkostninger til monitering af dels forureningens udvikling, dels kontrol af afværgeanlægget sker i henhold til vilkår i anlæggets tilladelser. Der er forudsat en halvårlig monitering fra tre moniteringsboringer, der etableres til 12 m u.t. (tre filtre i hver boring, alternativt tre separate huller i boringsreder). Der er regnet med omkostninger til monitering af dels forureningens udvikling, dels kontrol af afværgeanlægget i henhold til vilkår i anlæggets tilladelser. Der er forudsat monitering i grundvandet hver ½ år og kontrol af anlæggets drift en gang om måneden.

Tabel 4.4 Økonomi ved In-Well beluftning

Anlæg, in-well	DKK ex moms
Projektering og undersøgelse	325.000
Myndighedsbehandling	10.000
Etablering, indkøring og nedlukn.	850.000
I alt	1.185.000
Drift	
Drift, monitering, årsrapport mv., kr/år	400.000
Nutidsværdi, 2 års drift, 3% p.a.	765.388
I alt, anlæg og drift	1.950.388

4.3.4 Samlet vurdering af metodens anvendelighed

Der foretages en opsummering af metodens anvendelighed dels ud fra /27/ og dels ud fra forholdene på lokaliteten.

Metodens fordele kan opsummeres til følgende:

- 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. Hele installationen kan således etableres underjordisk i en brønd, hvilket bl.a. er en fordel i forbindelse med støjmissionen fra kompressoren/blæseren.

Rensemethoden har vist sig at være 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.

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.

Metodens ulemper kan opsummeres til følgende:

- Der mangler danske referencer på aktuell forureningstype.
- Det er meget usikkert hvilken oprensning, som vil kunne opnås for de mindre flygtige kulbrinter.
- Kan vanskeligt anvendes ved boringsdiameter på mindre end $\varnothing 200$.
- Mulige driftsproblemer som følge af udfældning af jern og kalk
- 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. Metoden kan anvendes ved oprensning i kombination med afværgeteknik over for forureningen i den umættede zonefase.

In-well Aeratoren kan uden problemer anvendes overfor høje forureningskoncentrationer i grundvandet.

Overordnet vurderes, at In-well Aerator vil kunne anvendes på denne lokalitet, men det vil næppe være den optimale løsning. Aerator-metoden har sin styrke ved oprensning af forureningen med høje indhold af flygtige stoffer, fra lavt eller varierende ydende magasiner, med begrænset løftehøjde. På den aktuelle lokalitet med flere renseenheder, forholdsvis store vandmængder og løftehøjde på 6-8 m vurderes metoden ikke at være interessant i forhold til traditionel oppumpning og rensning.

Endelig er metodens oprensningseffektivitet på indholdet af totalkulbrinter usikkert.

4.4 Stimulering af nedbrydning ved tilsætning af bakterier eller næringsstoffer

Olie- og benzinkomponenter kan nedbrydes af naturligt forekommende mikroorganismer i jorden og grundvandet.

Der er de seneste 20 år foretaget mange udredninger omkring bakteriers nedbrydning af olie- og benzinkomponenter. Herunder mange laboratorieforsøg og feltforsøg til vurdering af hvilke bakterier, der under hvilke forhold kan nedbryde de enkelte kulbrinter i olie og benzin.

Nedbrydningen af benzin- og oliekomponenter kan stimuleres ved tilsætning af bakterier til det forurenede område eller den kan foregå via naturligt forekommende bakterier (naturlig nedbrydning).

4.4.1 Metodebeskrivelse

Der er i laboratoriet og in-situ gennem mange år gennemført undersøgelser til klarlæggelse af parametre med betydning for bakteriers omsætning af kulbrinter.

Nedbrydningen af de enkelte kulbrinter, herunder BTEX er fastlagt ved givne temperaturer, redoxforhold m.v.

Der findes en omfattende mængde litteratur om nedbrydning af oliekomponenter og herunder BTEX under aerobe forhold. Der er f.eks. for benzen påvist 1. ordens nedbrydningshastigheder på 0,007-18 dag⁻¹ i felt- og laboratorieforsøg, /11/. Den store variation i nedbrydningshastighederne skyldes dels uens eksperimentelle betingelser; men lokale variationer i den enkelte akvifers evne til nedbrydning har også vist sig at have stor betydning. Der findes således ikke nedbrydningskonstanter for de monoaromatiske hydrocarboner, som er generelt gældende /11/.

Ved dokumentation af stimuleret nedbrydning ved tilsætning af bakterier har det vist sig at være meget usikkert at overføre resultater fra laboratorieforsøg til de faktisk forhold under en in-situ oprensning. Det har f.eks. vist sig at være meget svært at få en tilstrækkelig spredning af de tilførte bakterier til det forurenede område.

I nærværende rapport vil der ikke blive foretaget en systematisk gennemgang af resultater fra diverse in-situ oprensninger/forsøg på oprensning med tilsætning af bakterier.

4.4.2 Diskussion af metodens anvendelighed i den aktuelle sag

Der er i Danmark de seneste par år gennemført forsøg på in-situ oprensning af kulbrinter med tilsætning af bakterier (ilt og næringsstoffer) i form af biogel/biovand, men der har i flere tilfælde manglet en tilstrækkelig dokumentation på metodens anvendelighed.

I Miljøprojekt 860, 2003, ses en evaluering af et forsøg med biogel/biovand til rensning af olieforurennet jord, /14/.

Der er gennemført forsøg på at foretage en in-situ biologisk rensning af et 1500 m² stort område, som var forurennet med let fyringsolie. Forsøget er

gennemført ved at tilføre en blanding af bakterier, næringsstoffer og ilt (biogel og biovand) til jorden via horisontale perforerede rør. Den forurenede horisont bestod af fast moræneler, som var forurenede fra 1-4 meter under terræn. Resultaterne har vist, at der ikke i en monitoringsperiode på 10 måneder har kunnet påvises en reduktion af olieforureningen i jorden. Der har heller ikke kunnet påvises sikre tegn på forøget biologisk aktivitet i jorden som følge af tilsætningen af biogelen eller biovandet.

Dette skyldes i stor udstrækning problemer med at få en tilstrækkelig spredning af de tilførte bakterier til det forurenede område, specielt i områder med ler. Det har desuden vist sig vanskeligt at verificere, at de tilsatte bakterier medførte en stimulering af nedbrydningsaktiviteten.

Der markedsføres fortsat diverse produkter med bakterier til stimulering af den biologiske nedbrydning på olieforurenede grunde. På trods af et forholdsvist stort antal forsøg vurderes det på baggrund af resultater fra danske forsøg, at det er meget tvivlsomt hvorvidt stimulering af nedbrydning med tilsætning af bakterier til akviferen har nogen betydende effekt bl.a. /30/. Ud fra diverse udenlandsk litteratur fremgår det ligeledes, at der er stor usikkerhed om dette.

Cunningham (2000) /16/ viser, at ex situ stimulering af nedbrydningen med tilsætning af bakterier har en tydelig effekt på nedbrydningen over tid. Det vurderes samtidig, at diverse litteratur har vist en tilsvarende manglende stimulering ved in situ tilsætning af bakterier, bl.a. pga. konkurrence fra naturligt forekommende bakterier samt forhold omkring geologien, vandindhold, redoxforhold, pH, temperatur, nødvendige næringsstoffer m.v. /16/.

På den baggrund vurderes det, at der er stor usikkerhed om, hvorvidt der vil kunne ses en effekt ved tilsætning af bakterier til stimulering af nedbrydning på lokaliteter forurenede med oliekomponenter

4.4.3 Økonomisk overslag

Det vil være meget usikkert at anvende metoden på den aktuelle lokalitet. Af denne grund er der ikke lavet et økonomisk overslag.

4.4.4 Samlet vurdering af metodens anvendelighed

Tilsætning af bakterier vurderes ikke at være en egnet metode pga. den komplekse geologi og usikkerhed om metodens effektivitet i øvrigt.

4.5 Naturlig nedbrydning

Begrebet naturlig nedbrydning omfatter her de samlede aktiviteter, der medvirker til at naturlige processer som nedbrydning, sorption, afdampning og fortynding kan nedbringe koncentrationerne af de forurenende stoffer i grundvandet.

4.5.1 Metodebeskrivelse

EPA har udarbejdet retningslinier for brug af "moniteret naturlig nedbrydning" (MNA). De angiver, at der skal udvises forsigtighed hvis MNA anvendes som eneste afværgemetode, og at der i de fleste tilfælde vil være tale

om at MNA anvendes som et delelement i den samlede oprensingsstrategi for en given lokalitet. Ved valg af MNA må det forventes, at kildekontrol og monitorering på nedstrøms boringer skal foregå i en længere periode. Tekniske forhold omkring brug af MNA i USA er beskrevet i en række protokoller, herunder Wiedemeier et al., 1995-1999 /17/.

Begrebet intern rensning er alment anvendt i Danmark, og der er indenfor de sidste 10-15 år udgivet forskellige publikationer omhandlende intern rensning under danske forhold.

I miljøprojekt 408 fra 1998 /13/ er der ud fra litteraturstudie omkring nedbrydningsforhold for forskellige stoffer, herunder olie- og benzinkomponenter anvist kontrolmetoder til dokumentation for nedbrydning. Der bør i forbindelse med undersøgelser på en ejendom være boringer placeret i hot-spot, i fanen hvor forureningskomponenter findes i opløst form samt nedstrøms og på hver side af forureningen. De nedstrøms boringer skal udføres indenfor en afstand, som svarer til et års grundvandstransport eller max 100 m. De danske miljømyndigheder har ikke udarbejdet en egentlig undersøgelsesprotokol for danske forhold. Der henvises således til Wiedemeier et al. /17/.

Følgende retningslinier er bl.a. opstillet /13/, /17/, /29/ og /57/:

- For forurening med olie- og benzinkomponenter er mindst 6 boringer nødvendige.
- Nedbrydningshastigheden skal bestemmes
- Der bør analyseres for forureningskomponenter, eventuelle nedbrydningsprodukter, samt redoxparametre.
- Der skal udarbejdes monitoringsplan samt opstilles handlingsplan for eventuelle afværgetiltag.
- Monitoreringen skal kunne benyttes til en kontrol af, at forureningsfanen er stabil eller at den ikke spreder sig ud over en acceptabel afstand fra kilden.
- Indledningsvis bør sæson variationer kortlægges. Der monitoreres således 4 gange om året i mindst et år.
- I Miljøprojekt 752 /15/ er der foretaget en gennemgang af de mekanismer, som indgår i naturlig nedbrydning, og der er redegjort for feltarbejde i forbindelse med dokumentation af naturlig nedbrydning på Nykøbingvej 295. Diskussion af monitoringsprogram er i /15/ foretaget på baggrund af Wiedemeier.

4.5.2 Diskussion af metodens anvendelighed i den aktuelle sag

Hvis intern rensning skal kunne anvendes på nuværende tidspunkt skal det indledningsvist kunne sandsynliggøres, at koncentrationen af kulbrinter kan nedbringes til et acceptabelt niveau indenfor en acceptabel afstand fra kilden.

Der har på Nykøbingvej 295 ikke været tale om en indledende dokumentation af naturlig nedbrydning med en efterfølgende monitoringsfase, således som angivet i /15/. Der er derfor behov for at der foretages yderligere monitoring på ejendommen.

Følgende antagelser er benyttet ved opstilling af monitoringsprogram ved intern rensning i de efterfølgende økonomiske overslag:

Det antages at hovedparten af forureningskilden er fjernet, og at forureningsfanen er stabil (har opnået sin maksimale udbredelse), således at det ikke efterfølgende vil være nødvendigt at iværksætte afværgetiltag.

Fremtidig monitoring i kildeområdet (LTM-boringer jf. Wiedemeier /17/), samt fremtidig monitoring til overvågning af forureningsfanen kræver etablering af 3-5 nye boringer filtersat i flere forskellige niveauer i vandførende lag.

Der monitoreres 4 gange om året det første år. Der monitoreres 2 gange om året i en 4 årig periode, og efterfølgende monitoreres en gang om året i en periode på 10 år.

Samlet bliver dette monitoring i en periode på 15 år.

Monitoringsprogrammet indeholder prøvetagning fra 8-10 boringer med 3 filtre i hver. Der analyseres for temperatur, pH, alkalinitet og ledningsevne, redoxparametre (ilt, nitrat, jern, mangan, sulfat, methan) og kulbrinter inkl. BTEX.

4.5.3 Økonomisk overslag

I nedenstående tabel angives overslag over udgifter ved etablering af ekstra boringer og planlægning af monitoring samt til den efterfølgende monitoring på ejendommen i 15 år.

Tabel 4.5 Økonomi ved naturlig nedbrydning

Anlæg, naturlig nedbrydning	DKK ex moms
	120.000
Myndighedsbehandling	100.000
I alt	220.000
Drift	
Drift, monitoring, årsrapport mv., kr/år	150.000
Nutidsværdi, 15 års drift, 3% p.a.	1.790.690
I alt, anlæg og drift	2.010.690

4.5.4 Samlet vurdering af metodens anvendelighed

Naturlig nedbrydning vurderes at være en egnet metode, dog vil eftervisning af effekten være vanskelig på grund af den komplekse geologi.

4.6 Kemisk iltning

Formålet med kemisk iltning er:

- at tilsætte iltningssmidler in-situ i den mættede eller umættede zone, således at den kemiske og eventuelt også den biologiske nedbrydning af forureningskomponenter fremmes og stimuleres.

Kemisk iltning er anvendelig til oprensning af de fleste chlorerede opløsningsmidler, lettere olieprodukter, som benzin, petroleum, terpentin og tilsvarende letflygtige forureningstyper samt tungere olieprodukter som dieselolie, fyringsolie og tilsvarende mindre flygtige forureningstyper. Også PAH'er kan under gunstige forhold nedbrydes ved kemisk iltning.

Kemisk iltning skal reducere mængden af forurening i hot-spot. Der opnås formodentlig ikke en fuldstændig fjernelse af forureningspåvirkningen, men reduceres mængden af udvaskelige forureningskomponenter vil forureningsniveauet i grundvandet falde, således at der med tiden kan opnås et acceptabelt niveau.

4.6.1 Metodebeskrivelse

Kemisk Oxidation er en anerkendt teknik indenfor behandling af drikkevand og spildevand, og indenfor de seneste par år har kemisk oxidation også vundet indpas som en attraktiv in-situ afværgeteknik, når de rette forhold er til stede.

Kemisk oxidation bygger på injicering af et oxidationsmiddel, som enten direkte oxiderer eller via dannelse af hydroxylradikaler oxiderer forureningskomponenter.

De relevante iltningssmidler ved in-situ kemisk iltning er peroxid, persulfat, natriumpermanganat, kaliumpermanganat, ozon og Fenton's Reagent (hydrogenperoxid og ferrojern) samt modificeringer af de nævnte oxidanter.

Oxidationsmidlerne kan enten tilsættes som fast stof, på opløst form eller som gas (O_3).

I Danmark er der anvendt kaliumpermanganat, hydrogenperoxid og ozon som oxidationsmidler. De fleste projekter har omfattet kaliumpermanganat til nedbrydning af chlorerede ethener (PCE, TCE m.v.).

Iltningssmidlerne kan tilsættes via horisontal eller vertikal well flushing, boringer, jordspyd, permeable vægge (reaktive barrierer) samt gravninger herunder omblanding af kemisk iltningssmiddel i den jord, der benyttes til opfyldning.

Kemien ved kemisk oxidation er relativ simpel. Den helt afgørende faktor for at opnå succes ved anvendelse af kemisk oxidation er at få kontakt mellem forureningskomponent og oxidant.

Når der tilsættes iltningssmidler in-situ kan der udover den hurtige kemiske iltning også ske en langsommere biologisk iltning, hvilket skyldes, at ovenstående iltningssmidler relativt hurtigt bliver til ilt, og at ilt i sig selv kan stimulere bionedbrydningen af forureningskomponenter.

Forureningskomponenterne i jorden er ikke de eneste organiske komponenter, der kan blive oxideret af et tilsat kemisk iltningmiddel. Sedimentets indhold af reducerede metaller og naturlige organiske forbindelser vil ligeledes blive oxideret af de fleste kemiske iltningmidler, der almindeligvis virker så kraftigt, at disse komponenter vil blive oxideret.

De fleste danske kvartære sedimenter indeholder typisk 0,1 % (i smeltevandssand) til 3 % (i moræneler) naturlige organiske forbindelser. Omsat til jordkoncentrationer svarer det til 1.000-30.000 mg/kg, hvilket betyder, at det naturlige organiske indhold i sedimentet som regel er væsentlig højere end indholdet af forureningskomponenter. Det naturlige organiske indhold er derfor dimensionsgivende for forbruget af kemisk iltningmiddel og dermed den nødvendige mængde kemisk iltningmiddel, der skal tilsættes for at gennemføre oprensningen.

Jordens naturlige organiske indhold, svarende til det såkaldte NOD-tal (natural oxidant demand), er således i højere grad end forureningsindholdet bestemmende for forbruget af kemisk iltningmiddel i jorden. Ved kaliumpermanganat skal der påregnes et forbrug i størrelsesordenen 10 g iltningmiddel pr. kg jord ved lerjorde og mindre ved sandjorde.

Anlæg

Ved dimensionering af et afværgeprojekt med kemisk oxidation er følgende essentielt vedrørende projekteringen:

- Type af kemisk iltningmiddel.
- Mængde og opløsningsprocent af kemisk iltningmiddel.
- Teknologi til injicering af kemisk iltningmiddel.
- Placering af injiceringspunkter.
- Antal af injiceringspunkter.
- Frekvens og varighed af injiceringer.

In-situ kemisk iltning er en relativ innovativ teknologi, hvor det er vigtigt med en trinvis afklaring af betingelser og kriterier, der skal være gældende, for at afværgeprojektet skal blive en succes.

Først bør det således afklares, hvorvidt lokaliteten aktuelt er egnet til in-situ kemisk iltning hvilket suverænt afhænger af lokalitetens aktuelle geologi, hydrogeologi, placering af forurening og geokemi.

Derefter skal det besluttes, hvilket iltningmiddel, der aktuelt vil være optimalt, da iltningmidlerne ikke er lige gode overfor de forskellige forureningskomponenter. Bl.a. er kaliumpermanganat ikke så effektiv overfor BTEX'er, mens der er virkelig god overfor chlorerede ethener, da den angriber dobbeltbindingen. Valg af iltningmiddel vil også afhænge af geologi, hydrogeologi, placering af forurening og geokemi. F.eks. er alkaliske forhold ikke optimalt ved brug af hydrogenperoxid.

Derpå bestemmes for lokalitetens sedimenter i laboratorie- eller pilotforsøg henholdsvis forbruget af kemisk iltningmiddel eller NOD (natural oxygen demand) og reaktionshastigheden ved forskellige opløsningsprocenter af det kemiske iltningmiddel med henblik på at karakterisere dimensioneringsgrundlaget for in-situ kemisk iltning og med henblik på at beregne den nødvendige mængde af kemisk iltningmiddel.

Forureningsfanens størrelse og den rummelige fordeling af forureningskomponenterne har en væsentlig betydning for den nødvendige mængde af iltningmiddel. Alt andet lige, vil lavere forureningskoncentrationer spredt over et større volumen kræve mere kemisk iltningmiddel og tage længere tid at oprense, end højere forureningskoncentrationer spredt over et mindre volumen. Dette skyldes, at der i et større volumen vil være en større NOD (natural oxygen demand), som vil forbruge en væsentlig del af det tilsatte iltningmiddel sammenlignet med et mindre volumen, som vil have en mindre NOD (natural oxygen demand).

I denne forbindelse er det vigtigt at præcisere, at kemisk iltning primært er en metode til reduktion af forureningsniveauet i hot-spot i mættet eller umættet zone og i mindre omfang er en optimal metode til reduktion af forureningsniveauet ude i en forureningsfane.

De forskellige metoder vedrørende tilsætning af iltningmidler henholdsvis via horisontal eller vertikal well flushing, boringer, jordspyd, permeable vægge (reaktive barrierer) samt gravninger har forskellige fordele og ulemper således at én metode er bedre på en given lokalitet sammenlignet med en anden metode.

Da iltningmidlerne er kraftige reaktanter stiller anvendelsen af disse store krav til sikkerheden. Bl.a. har oprensninger med hydrogenperoxid i et par tilfælde medført kraftige eksplosioner, og desværre med dødsfald til følge.

Drift

Tilsættes iltningmidlet kontinuerligt eller periodevis via fast installerede tanke, pumper, rør, dysere m.m. er der diverse drift og vedligehold af disse installationer.

Såfremt iltningmidlet kun tilsættes én gang eller ved mobile anstillinger i forbindelse med hver injicering er der ingen egentlig drift og vedligeholdelse i forbindelse med afværgeforanstaltningerne.

Kontrolprogram og monitoring

Der er løbende behov for at kontrollere afværgeforanstaltningernes effektivitet med hensyn til udviklingen i forureningskoncentration og eventuelt dannede nedbrydningsprodukter.

Ligeledes er det essentielt at sikre, at det tilsatte iltningmiddel ikke spredes uhensigtsmæssigt. F.eks. er kaliumpermanganat (KMnO_4) på Miljøstyrelsens liste over farlige stoffer, hvorfor det er essentielt at sikre, at der ikke sker en påvirkning af recipienter eller det primære magasin og eventuelle vandindvindinger.

Derudover kan anvendelse af et iltningmiddel generere uhensigtsmæssige biprodukter. F.eks. kan der være sporstoffer som cadmium m.v. i kaliumpermanganat. Nedbringelse af pH, som kan være nødvendigt ved brug af Fenton's Reagens, kan f.eks. mobilisere naturlige metaller m.v. Ved brug af iltningmidler bør der også måles for bromid og bromat, idet bromid findes naturligt i grundvandet og bromid, der kan blive dannet, er kræftfremkaldende.

Moniteringsprogrammet bør således justeres i henhold til forureningskomponenter, iltningsmiddel og lokalitet, således at det sikres, at der monitoreres for eventuelle farlige nedbrydningsprodukter og oxiderede metaller m.m.

Forudsætninger for metodens anvendelighed

Nedenstående betragtninger gælder i forbindelse med at metoden skal kunne anvendes:

Geologiske/hydrogeologiske forhold:

- Det er af afgørende betydning, at de geologiske og hydrogeologiske forhold er kendt og velbeskrevet.
- Kræver en rimelig homogen geologi uden lagdelinger og præferentielle strømningsveje (sprækker).
- Lavpermeable lag forringer voldsomt effektiviteten af metoden.
- Tilstrækkelig indtrængningshastighed af iltningsmiddel i matrix.
- Begrænset effektiv overfor fri fase forureninger.

Praktiske forhold:

- Der skal være adgang til at kunne udføre borearbejdet og eventuelt gravearbejdet.
- Der skal være plads til eventuelle tanke, rørføringer, pumper m.m.

4.6.2 Diskussion af metodens anvendelighed i den aktuelle sag

På nærværende lokalitet vurderes kemisk iltning ikke at være en optimal løsning som afværgeforanstaltning. Dette begrundes i, at det kan blive problematisk at opnå fuld kontakt mellem iltningsmiddel og forureningskomponenter i hele det forurenede volumen.

Bl.a. er forureningen ved G2 fundet i sandet moræneler fra ca. 0-5 m u.t., og ved boring FC2 i morænelerslaget fra ca. 4-6 m u.t., og i det dybereliggende sandlag. Ved hjælp af f.eks. frakturering og andre særlige injektionsmetoder kan det være muligt at få en fornuftig fordeling af iltningsmiddel i lermatricen. Imidlertid er det sandsynligt, at der vil forblive en restforurening i lermatricen, som kan diffundere ud i sandlaget og dermed spredes videre i grundvandet.

Derudover vil kemisk iltning ikke være den optimale afværgeforanstaltning overfor evt. fri fase.

Såfremt der udføres kemisk iltning på lokaliteten, vurderes det, at persulfat vil være det iltningsmiddel, der er bedst egnet på den aktuelle lokalitet. Ulempen ved persulfat er, at det er relativt nyt og uprøvet i afværgesammenhæng, så der er en begrænset erfaring med anvendelse af stoffet in-situ.

Som følge af de forholdsvis høje krav, der er til oprensningen, er det sandsynligt, at kemisk iltning ikke kan opfylde succeskriteriet.

4.6.3 Økonomisk overslag

Da kemisk iltning ikke vurderes at kunne give en tilstrækkelig oprensning, er der ikke lavet et økonomisk overslag for metoden.

4.6.4 Samlet vurdering af metodens anvendelighed

Fordele

Kemisk iltning kan være en relativ hurtig og effektiv afværgeteknologi, såfremt det sikres, at der skabes kontakt mellem iltningsmiddel og forureningskomponenter.

Under de rette betingelser kan metoden behandle et stort jordvolumen på kort tid.

Metoden kan være et godt supplement til andre in-situ metoder og eventuelt til håndtering af efterladt restforurening i bunden af udgravninger, hvorfra iltningsmidlet kan spredes til dybere niveauer eller under bygninger m.m.

Ulemper

Det kan være vanskeligt at fordele iltningsmidlet i jorden, således at der opnås den nødvendige kontakt mellem iltningsmiddel og forureningskomponenter.

En stor del af jordens øvrige reducerede stoffer herunder reducerede metaller og naturlige organiske forbindelser både i sediment og grundvand vil også blive iltet i forbindelse med tilsætning af iltningsmiddel. Dette resulterer i et stort forbrug af iltningsmiddel og kan medføre omdannelse af f.eks. bromid til bromat, der er kræftfremkaldende.

Risiko for utilsigtet spredning af det tilsatte iltningsmiddel.

Man skal være opmærksom på, at efterfølgende et afværgeprojekt med kemisk iltning, kan der opstå et tilbageslag ved at der sandsynligvis kan være en frigivelse af forureningskomponenter fra lavpermeable lag, som ikke er blevet iltet hele vejen igennem.

Konklusion

På nærværende lokalitet vurderes kemisk iltning ikke at være en optimal løsning som afværgeforanstaltning. Dette begrundes i, at det kan blive vanskeligt at opnå fuld kontakt mellem iltningsmiddel og forureningskomponenter i hele det forurenede volumen.

4.7 Airsparging

Formålet med airsparging er:

- at indblæse atmosfærisk luft under grundvandsspejlet i den mættede zone, således at der sker en fysisk fjernelse (stripping) af letflygtige forureningskomponenter.
- at stimulere den mikrobielle nedbrydning af aerobt nedbrydelige forureningskomponenter ved tilførsel af ilt.

Airsparging metoden er anvendelig til oprensning af de fleste chlorerede opløsningsmidler, lettere olieprodukter, som benzin, petroleum, terpentin og

tilsvarende letflygtige forureningstyper samt tungere olieprodukter som dieselolie, fyringsolie og tilsvarende mindre flygtige forureningstyper.

4.7.1 Metodebeskrivelse

Et afværgeprojekt med airsparging opbygges ved installering af et antal injiceringsboringer, som er filtersat under grundvandsspejlet. Via et rørsystem tilsluttes filtrene en luftindblæsningsventilator eller kompressor, således at atmosfærisk luft under tryk kan indblæses under grundvandsspejlet.

Ved luftindblæsningen strippes flygtige komponenter in-situ, således at forureningskomponenterne overføres fra vandfasen i den mættede zone via den dannede luftboblebane til den umættede zone. Baseret på placeringen af airsparging boringer og mængden af luft, der indblæses, kan airspargingen optimeres.

Endvidere vil lufttilførslen betyde en øget tilførsel af ilt til den mættede zone, således at den mikrobielle nedbrydning af forureningskomponenterne in-situ stimuleres væsentligt.

For at opsamle de afstrippede forureningskomponenter fra den umættede zone kombineres airsparging almindeligvis med vakuumventilation, hvorved der sikres en mere effektiv oprensning af forureningen og der undgås en utilsigtet spredning af forureningen i den umættede zone.

Ved vakuumventilation etableres et antal ventilationsfiltre i jordens umættede zone jævnt fordelt i det forurenede jordvolumen. Ventilationsfiltrene tilsluttes via et rørsystem en ventilator, som danner et undertryk (vakuum) i ventilationsfiltrene, hvorved poreluften og de letflygtige forureningskomponenter suges ud af jorden. Afhængig af forureningstype, koncentrationsniveau og massestrøm udføres luftrensning on-site inden afkast typisk via et kulfilter.

Udover de aktive ventilationsfiltre, der er tilsluttet ventilatoren kan et vakuumventilationsanlæg tillige omfatte en række passive ventilationsfiltre, der tillader passiv tilførsel af atmosfærisk luft til det forurenede jordvolumen. Baseret på den indbyrdes placering og opbygning af aktive og passive ventilationsfiltre er det muligt at styre luftflowet gennem det forurenede jordvolumen, således at vakuumventilationen optimeres.

Da lufttilførslen til den umættede zone forøges dels via airspargingen og dels via de passive dræn sker der en øget tilførsel af ilt til den umættede zone, således at den mikrobielle nedbrydning af forureningskomponenterne in-situ stimuleres væsentligt.

Anlæg

Ved dimensionering af et afværgeanlæg med airsparging skal bl.a. følgende indgå i projekteringen:

- Antal injiceringsboringer i mættet zone.
- Antal observations- og monitoringsboringer i mættet zone.
- Antal ventilationsboringer i umættet zone.
- Antal passive boringer/observations- og monitoringsboringer i umættet zone.
- Dimensionering af indblæsningsventilator.

- Dimensionering af ventilator.
- Kulfilter til rensning af ekstraheret poreluft.
- Evt. varmeveksler til køling af ekstraheret luft.
- Instrumentering til aflæsning af relevante driftsparametre som f.eks. tryk, vakuum, temperatur, flow, CO₂, CH₄, O₂, PID m.fl.
- Eltavle.
- Evt. styring af anlægget ved SRO.

Antal og placering af filtre samt luftflow m.m. vurderes og beregnes på baggrund af en række tests henholdsvis i grundvandet i mættet zone vedrørende bl.a. påvirkningsradius og tryk målt ved forskellige luftflow i en injiceringsboring (=airsparging tests) og i umættet zone vedrørende bl.a. tryktab målt i forskellig afstand fra en ventilationsboring (=vakuumventilationstests).

Luftflowet ved et afværgeanlæg med airsparging skal have en sådan størrelse, at det er i stand til ved fysisk fjernelse at strippe de opløste forureningskomponenter, der strømmer til via grundvandet. Såfremt oprensningen primært baseres på biologisk omsætning skal luftflowet have en størrelse, der sikrer, at grundvandet i beluftningszonen har en given minimumsiltkoncentration.

Indblæsningsventilator og ventilator dimensioneres og specificeres således, at der er et rimeligt kraftoverskud. Rørforbindelser, ventiler, samlinger m.m. dimensioneres ud fra luftflowet således, at tryktabet over disse komponenter er minimalt set i forhold til tryktabet over filtrene.

Når delelementerne i anlægget er dimensioneret fastlægges designet af systemet bestemt ud fra en række parametre specielt forureningens placering i forhold til indretningen af ejendommen herunder adgangsveje, bygninger m.m.

Drift

Under drift af airsparginganlægget skal ventilatorer, kulfilter, varmeveksler, instrumentering, SRO m.m. tilses og vedligeholdes.

Anlæggets effektivitet optimeres kontinuerligt under driften primært via løbende justering og tilpasning af flow på indblæsning og ventilering, som baseres på de målinger og erfaringer, som erhverves under driften. Drift i intervaller og/eller periodiske ændringer i flow kan under nogle forhold optimere oprensningen.

Kontrolprogram og monitoring

Der er løbende behov for at kontrollere afværgeforanstaltningens effektivitet både med hensyn til udvikling i forureningens koncentrationer og sikring af at forureningen ikke spredes.

I injiceringsboringer måles som minimum luftflow og tryk. I observations- og monitoringsboringer i grundvandet i mættet zone måles som minimum ilt- og forureningskoncentrationer. I ekstraktionsboringer måles som minimum luftflow, vakuum og temperatur samt forureningskomponenter før og efter luftrensning på kulfilter. I passive boringer/observations- og monitoringsboringer i umættet zone måles som minimum ilt- og forureningskoncentrationer.

4.7.2 Diskussion af metodens anvendelighed i den aktuelle sag

Nedenstående betragtninger gælder i forbindelse med at metoden skal kunne anvendes:

Geologiske/hydrogeologiske forhold

- Det er af afgørende betydning, at de geologiske og hydrogeologiske forhold er kendt og velbeskrevet.
- Kræver en meget homogen geologi uden lagdelinger og præferentielle strømningsveje (sprækker).
- Lavpermeable lag forringer voldsomt effektiviteten af metoden.
- Vakuumentilations-tests skal godtgøre, at den umættede zone kan ventileres.
- Airsparging tests i mættet zone skal påvise en rimelig påvirkningsradius.
- Begrænset effektiv overfor fri fase forureninger.
- Magasinet, der behandles, skal være frit.

Praktiske forhold:

- Der skal være adgang til at kunne udføre borearbejdet.
- Samtlige filtersætninger skal efterfølgende være tilgængelige.
- Der skal være plads til behandlingsanlæg.
- Der skal være mulighed for rørføringer m.m.

I denne sag vurderes det, at de geologiske og hydrogeologiske betingelser, der er en forudsætning for, at et afværgeprojekt med airsparging kan gennemføres, ikke umiddelbart er til stede på lokaliteten. Dette begrundes i, at det kan blive problematisk at ventilere i den umættede zone, som hovedsageligt består af moræneler og morænesand, der som udgangspunkt ikke har den bedste permeabilitet med henblik på ventilering. Derved kan det blive vanskeligt at bortventilere forureningskomponenter fra den umættede zone samt afstrippede forureningskomponenter fra den mættede zone. Hvis metoden kombineres med opgravning, således at forurenede ler udskiftes med rent sand, vil der være en væsentlig forbedring af metodens virkning i det afgravede område. Eksempelvis må det antages, at der i dag er sand i den tidligere tankgrav, hvilket gør selve tankarealet egnet til ekstraktion af luft i forbindelse med airsparging.

Hvis airsparging vælges som metode, bør der gennemføres tests for at verificere, at der på lokaliteten aktuelt eksisterer et potentiale for gennemførelse af et sådant projekt.

Endvidere må der tages forbehold for forureningskilden, som ikke er endeligt kortlagt

Det skal bemærkes, at airsparging ikke er en optimal afværgeforanstaltning, såfremt der er væsentlige mængder af fri fase.

Ligeledes skal det bemærkes, at airsparging ikke er en optimal afværgeforanstaltning, såfremt grundvandsmagasinet ikke er frit.

En del af forureningen i grundvandet i den mættede zone befinder sig under cykelsti og vej, Nykøbingvej, hvilket i nogen udstrækning kan vanskeliggøre og fordyre etablering af boringer og filtersætninger samt monitoring m.m.

Forårsaget af de forholdsvis høje krav, der er til oprensningen, er det sandsynligt, at airsparging ikke kan opfylde succeskriteriet.

4.7.3 Økonomisk overslag

Nedenfor er givet et økonomisk overslag for etablering af airsparging med tilhørende vakuumventilering og rensning af ekstraheret poreluft.

Det forudsættes, at airsparging og vakuumventilering skal være i drift i 2 år.

Det økonomiske overslag for henh. opgravning og opboring er opdelt således:

- Anlæg, inkl. projektering, undersøgelse, myndighedsbehandling (grundlag MBL § 19 og VFL § 20, 26), udførelse og nødvendigt tilsyn
- Drift inkl. monitoring, beregnet som nutidsværdi

Undersøgelser

Overslaget indeholder estimerede udlæg i forbindelse med supplerende undersøgelser som en del af dimensioneringsgrundlaget for airsparging.

Anlægsomkostninger

Der er anført omkostninger til entreprenør i anlægsfasen (Gravearbejder, boringer og filtersætninger til boringer henholdsvis til injicering, ekstraktion og monitoring. Endvidere ventilatorer, rørføringer, kulfilter, trykfilter, elforsyning, indkøring og SRO).

Driftsomkostninger

Driften indeholder vedligehold, strøm, tilsyn, regnskab over driften og monitoring så længe anlægget kører.

Monitoring

Omkostninger til monitoring af dels forureningens udvikling, dels kontrol af afværgeanlægget sker i henhold til vilkår i anlæggets tilladelser. Der er forudsat en halvårlig monitoring fra tre monitoringsboringer, der etableres til 12 m u.t. (tre filtre i hver boring, alternativt tre separate huller i boringsreder). Der gennemføres to monitoringsrunder med analyse for redoxparametre og kulbrinter inkl. BTEX.

Tabel 4.6 Økonomi ved airsparging

Anlæg, airsparge	DKK ex moms
Projektering og undersøgelse	400.000
Myndighedsbehandling	12.500
Udførelse og indkøring	1.150.000
I alt	1.562.500
Drift	
Drift, monitoring, årsrapport mv., kr/år	300.000
Nutidsværdi, 2 års drift, 3% p.a.	574.041
I alt, anlæg og drift	2.136.541

4.7.4 Samlet vurdering af metodens anvendelighed

Fordele

Det er sandsynligt, at airsparging vil kunne afstrippe forureningskomponenter fra specielt den mættede zone.

Den store tilførsel af ilt til grundvandszonen og kapillarzonen vil stimulere aerob nedbrydning.

Ulemper

Det er usikkert, hvorvidt airsparging i væsentligt omfang vil kunne fjerne forureningskomponenter fra den umættede zone, hvor det kan blive problematisk at ventilere, da den umættede zone hovedsageligt består af moræneler/morænesand, der som udgangspunkt ikke har den bedste permeabilitet med henblik på ventilering

Såfremt forureningen i jorden i den umættede zone ikke elimineres fuldstændigt, er der en risiko for, at forureningen i den umættede zone kontinuerligt vil inducere ny forurening til grundvandet i den mættede zone.

En del af forureningen i grundvandet i den mættede zone befinder sig under cykelsti og vej, Nykøbingvej, hvilket i nogen udstrækning kan vanskeliggøre og fordyre etablering af boringer og filtersætninger samt monitoring m.m.

Metoden beslaglægger arealer til filtersætninger, rørføringer, ventilatorer, kulfilter m.m. i en årrække.

Konklusion

I nærværende sag vurderes det, at de geologiske og hydrogeologiske betingelser, der er en forudsætning for, at et afværgeprojekt med airsparging kan gennemføres, ikke umiddelbart er til stede på lokaliteten. Dette begrundes i, at det kan blive problematisk at ventilere i den umættede zone, som hovedsageligt består af moræneler/morænesand, der som udgangspunkt ikke har den bedste permeabilitet med henblik på ventilering. Derved kan det blive vanskeligt at bortventilere forureningskomponenter fra den umættede zone samt afstrippede forureningskomponenter fra den mættede zone.

4.8 Fysisk immobilisering

Fysisk immobilisering er en passiv metode, hvorved forureningskilden indkapsles forureningskilden, således at udvaskning af forurening til grundvandet forhindres.

Immobilisering fjerner ikke forureningen fra grunden, men forhindrer tilledning af forurenende stoffer til grundvandet. Der vil således stadig være et potentielt forureningsproblem på grunden.

4.8.1 Metodebeskrivelse

Afskærmning

Fysisk immobilisering er i praksis "at komme forureningen i en kasse" uden at flytte forureningen. Der skal derfor etableres tætte afgrænsninger hele vejen rundt om forureningen.

Der kan etableres tætte sider rundt om en forurening, og der kan laves en tæt afgrænsning over forureningen, eksempelvis i form af asfaltering. Det store problem er ofte at sikre en tæt afgrænsning under forureningen.

Tæt afgrænsning langs siderne kan etableres ved at trykke en stålspons (se afsnit 4.1 vedr. spunsning i forbindelse med opgravning) eller ved at etablere en "slurry-wall". Slurry-wall'en vil være den tætteste og - over tid - den mest holdbare. En tæt afgrænsning i toppen af forureningen kan som nævnt let etableres ved befæstning med beton/asfalt eller afdækning med membran.

Etablering af en tæt bund under forureningen er teoretisk en mulighed, men er i praksis meget vanskeligt. Det vil derfor kun komme på tale ved helt specielle forureninger. En sådan bund kan udføres ved hjælp af injektionsboringer, hvorfra der i bunden injiceres bentonit under højt tryk i en permeabel zone. Dette skal ske fra et relativt tæt net af boringer, men uanset tætheden vil der altid være en risiko for at bunden ikke bliver tilstrækkelig tæt.

Bedst er det således at have en geologisk opbygning hvor den afskærmende væg kan føres ned i et eksisterende lerlag under forureningen. En naturlig tæt bund er i praksis en geologisk forudsætning for at etablere en fysisk immobilisering. Dvs. metoden er i realiteten begrænset til lokaliteter, hvor forurening har spredt sig fra sandede lag til oversiden af et underliggende lerlag, og hvor den horisontale udbredelse samtidig er begrænset.

Immobilisering ved indkapsling (overdækning, vægge og bund) vil i sagens natur medføre, at tilførsel af ilt reduceres eller helt standses. Dette vil modvirke den naturlige nedbrydning og metoden kan derfor som udgangspunkt ikke anbefales for nedbrydelige forureninger.

Dræen

Ved lægning af passive dræn i ringe dybde under terræn kan man også opnå en vis immobilisering ved at reducere nedsivningen gennem restforureningen i den umættede zone, forudsat at den geologiske lagfølge er egnet til det. I modsætning til en tæt afdækning af det forurenede areal vil dræningen ikke modvirke tilførsel af ilt. Der vil dog ikke være tale om en fuldstændig immobilisering, da der stadig vil være en vis nedsivning som følge af vandtilførsel fra omgivende lag, med mindre der kombineres med en spunsvæg omkring det forurenede areal.

Drænene kombineres som udgangspunkt ikke med aktiv pumpning, men topografiske forhold kan dog nødvendiggøre en pumpebrønd.

Ved anvendelse af dræn ledes uforurenat vand direkte til recipient, og det er således ikke tanken hverken at lægge drænene dybt eller i selve forureningen. Drænene vil kun være vandførende i forbindelse med nedbørsperioder og deraf følgende nedsivning.

En ulempe ved dræning er, at eventuelle fremtidige spild af forurening vil kunne spredes hurtigt til recipienten. Endvidere kan tilstopning nedsætte effektiviteten af drænene uden at dette nødvendigvis opdages.

4.8.2 Diskussion af metodens anvendelighed i den aktuelle sag

I den aktuelle sag er de geologiske betingelser for fysisk immobilisering ikke opfyldt, idet benzinformureningen allerede er nået igennem de lerlag, der findes

på lokaliteten, og den har efterfølgende bredt sig i grundvandsmagasinet under lerlaget.

Selv om man omtrent kan definere det areal, som kunne være relevant at afskærme, vil man således ikke med sikkerhed kunne definere en dybde under forureningen, hvori det vil være relevant at etablere en bund, og endvidere vil effekten af en sådan bund ikke kunne garanteres.

Dræning med henblik på at reducere nedsivningen vil formentlig kunne gennemføres. Drænene skal i så fald lægges under fyldlaget, ovenpå moræneleret, og vandet skal føres til recipient syd for vejen. Dræning vil dog ikke i sig selv være tilstrækkelig effektivt til at hindre fortsat forureningsspredning fra restforureningen.

4.8.3 Økonomisk overslag

Der er ikke lavet et økonomisk overslag, da metoden ikke vurderes at være egnet på lokaliteten.

4.8.4 Samlet vurdering af metodens anvendelighed

På denne lokalitet har forureningen bredt sig fra lerede lag til underliggende sandede lag, hvilket er modsat den optimale geologi for anvendelse af immobilisering.

Da der endvidere ikke er et naturligt lerlag under sandlaget, vil etablering af fysisk immobilisering af forureningen i form af afskærmende væg og injektion af bentonit i en bestemt dybde ikke kunne forventes at modvirke fortsat spredning af forureningen. Indkapsling vil endvidere modvirke tilførsel af ilt og naturlig nedbrydning, og dræning af de øvre lag vil ikke kunne forhindre fortsat spredning af forurening.

Immobilisering er derfor ikke anbefalelsesværdig for den aktuelle lokalitet.

4.9 Multifase ekstraktion

Formålet med multifase ekstraktion er

- en samtidig oppumpning af flygtig organisk forurening fra både poreluft og grundvand

Dette sker fra borer, hvor filteret er placeret delvis i den mættede og delvis i den umættede zone. Borerne skal være lufttætte for at muliggøre oppumpning af poreluft.

4.9.1 Metodebeskrivelse

Idet der oppumpes poreluft vil metoden virke bedst i fine eller siltede sandaflejringer ($k = 10^{-5} - 10^{-7}$ m/s), fordi der ved lerede aflejringer ($k < 10^{-8}$ m/s) vil være en ringe virkningsgrad og ved højpermeable aflejringer vil være risiko for tab af effektivitet pga. kortslutning af luftens strømningsveje og utilstrækkeligt vakuum /38/.

En fordel ved metoden er, at der ved hjælp af vakuummet kan frigøres olieprodukt, som ellers er bundet i kapillarzonen af kapillarkræfter, som er mindre end det atmosfæriske tryk.

Der kan typisk anvendes to konfigurationer:

1. Oppumpning ved hjælp af to pumper
2. Oppumpning ved hjælp af en enkelt pumpe

Ved begge metoder ledes vand og luft til videre behandling, eksempelvis adskillelse i luft- og vandfase af eventuelt emulgeret olieprodukt, kulfiltrering af luftafkast, beluftning eller kulfiltrering af vand til en renhedsgrad, der kan ledes ud til recipient.

Oppumpning ved hjælp af to pumper

I denne opsætning sker oppumpningen af grundvand på traditionel vis ved hjælp af en dykpumpe, mens der ved hjælp af en vakuumpumpe etableres et vakuum til oppumpning af poreluft fra den umættede zone. Se figur 4.9.1.

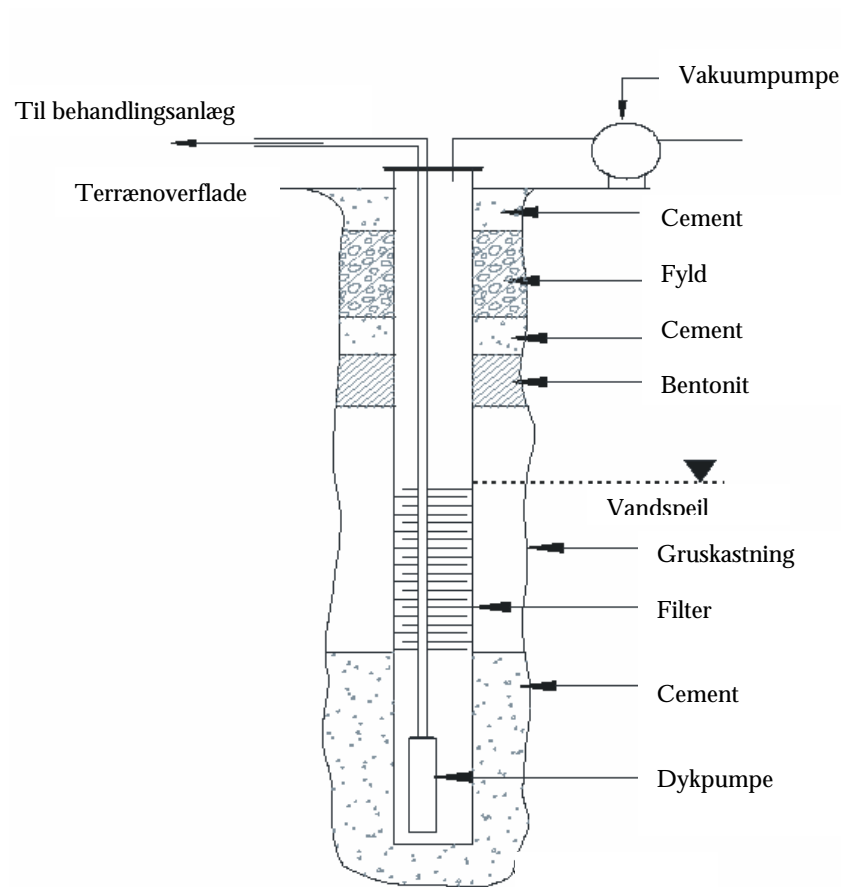
Udover at vakuumpumpen fjerner flygtig forurening, som fordamper til poreluften, øger vakuummet samtidig effektiviteten af den konventionelle grundvandsoppumpning. Denne forbedring sker ved at der skabes en større trykgradient hen mod pumpeboringen, hvilket er specielt nyttigt i tilfælde hvor der ikke kan skabes en større sænkning (se figur 4.9.1). Den øgede trykgradient øger således den mulige oppumpning af vand samtidig med at flygtige forbindelser i den umættede zone mobiliseres og fjernes ved hjælp af vakuummet.

Oppumpning ved hjælp af en enkelt pumpe

Ved anvendelse af en enkelt pumpe oppumpes der en blanding af vand og luft ved hjælp af en vakuumpumpe. Denne metode er begrænset til dybder mindre end 10 m, da vand ikke kan løftes højere ved vakuum. I praksis betyder det, at metodens effektivitet vil være meget begrænset hvis grundvandsspejlet står dybere end 7-8 m u.t.

Placeres pumpens sugerør lige i overfladen af en frie oliefase, kaldes metoden ofte for bio-slurping.

Figur 4.9.1 Opsætning af mul tifase ekstraktion med to pumper



Anlæg

Ved dimensionering af et afværgeanlæg med multifaseekstraktion skal bl.a. følgende indgå i projekteringen:

- Design af enkelt- eller dobbelpumpesystem.
- Antal borer
- Filterniveauer
- Antal observations- og monitoringsboringer i mættet zone
- Dimensionering af dykpumper og vakuumpumper
- Dimensionering af behandlingsanlæg til oppumpet luft og vand
- Instrumentering til aflæsning af relevante driftsparametre som f.eks. tryk, vakuum, temperatur, flow, CO_2 , CH_4 , O_2 , PID m.fl.
- Eltavle.
- Evt. styring af anlægget ved SRO.

Ved anvendelse af metoden må de eksisterende borer på lokaliteten gøres lufttætte (eller sløjfes), da der ellers kan være risiko for kortslutning af luftens strømningsveje.

Antal og placering af filtre samt størrelse af pumper vurderes og beregnes på baggrund af en række tests i nye boringer indrettet til formålet. Disse tests skal bl.a. belyse påvirkningsradius og afsenkning målt ved forskellige oppumpninger fra mættet zone samt tryktab i umættet zone målt i forskellig afstand fra en vakuumboring. Kombinationen af oppumpning og vakuum skal ligeledes testes for at vise forøgelsen af oppumpningens effektivitet.

Vakuumsystemet dimensioneres og specificeres således, at der er et rimeligt kraftoverskud. Rørforbindelser, ventiler, samlinger m.m. dimensioneres ud fra luftflowet således, at tryktabet over disse komponenter er minimalt set i forhold til tryktabet over filtrene.

Når delelementerne i anlægget er dimensioneret fastlægges designet af systemet bestemt ud fra forureningens placering i forhold til indretningen af ejendommen herunder adgangsveje, bygninger m.m.

Drift

Under drift af multifase ekstraktionsanlægget skal pumper, behandlingsanlæg, instrumentering, SRO m.m. tilses og vedligeholdes.

Anlæggets effektivitet optimeres kontinuerligt primært via løbende justering og tilpasning af vakuum og grundvandsoppumpning, baseret på de målinger og erfaringer, som opnås i indkøringsfasen.

Der skal formentlig køres med kontinuerlig drift, idet erfaringer /38/ har vist, at der totalt set ikke opnås en forbedret oprensning ved pulserende drift.

Kontrolprogram og monitorering

Der er løbende behov for at kontrollere afværgeforanstaltningens effektivitet med hensyn til udvikling i forureningens koncentrationer, både i poreluft og i grundvand.

I vakuumsystemet måles som minimum luftflow, tryk, BTEX og totalkulbrinter og ilt. I det oppumpede grundvand måles som minimum ydelse, BTEX og totalkulbrinter og ilt. I monitoringsboringer i umættet og mættet zone måles tryk, BTEX, totalkulbrinter og ilt.

4.9.2 Diskussion af metodens anvendelighed i den aktuelle sag

Nedenstående betragtninger er af betydning for at metoden skal kunne anvendes:

Geologiske/hydrogeologiske forhold

- Jo bedre forureningen og de geologiske og hydrogeologiske forhold er beskrevet, jo bedre kan der opstilles succeskriterier. Metoden kan anvendes selv om beskrivelserne ikke er fuldstændige, men der vil i så fald ikke kunne opstilles sikre kriterier for hvornår oprensningen er tilstrækkelig.
- Metoden er bedst i finkornede og siltede sandlag
- Heterogenitet øger risikoen for mangelfuld oprensning af lavpermeable zoner
- Vakuumtests skal godtgøre, at den umættede zone kan påvirkes tilstrækkeligt
- Forurening i ler vil ikke kunne forventes at blive oprenset

Praktiske forhold:

- Der skal være adgang til at kunne udføre borearbejdet.
- Samtlige filtersætninger skal efterfølgende være tilgængelige.
- Der skal være plads til behandlingsanlæg.
- Der skal være mulighed for rørføringer m.m.
- Eksisterende boringer skal gøres tætte eller sløjfes

Når forudsætningerne er opfyldt, kan metodens fordele sammenfattes således:

- Forøget virkningsgrad af pumpeboringer
- Forøget influensradius af pumpeboringer
- Fjernelse af evt. fri fase olieprodukt
- Fjernelse af olieprodukt bundet i kapillarzonen samt smear zonen
- Fjernelse af flygtige forbindelser både over og under grundvandsspejlet
- Samtidig afværge på jord og grundvand

Idet der kan etableres filtre over den umættede zone uanset om der er tale om ler eller sand eller skiftende zoner, vil oprensningen af de sandede partier i den umættede zone kun i ringe grad være følsom over for filtersætningen. Oprensningen i de lerede partier vil dog være ringe uanset valg af filtersætning.

I den aktuelle sag vurderes det, at de geologiske og hydrogeologiske betingelser er tilfredsstillende, om end ikke optimale, for anvendelse af multifase ekstraktion. Gennemførelse af tests er en forudsætning for endelig vurdering.

Det er sandsynligt at multifase ekstraktion indenfor 1-2 år /38/ i væsentligt omfang vil kunne reducere grundvandsforureningen. Der er dog risiko for en vis gendannelse af poreluft- og grundvandsforurening efter afslutning af oppumpningen, idet restforurening i de lerede partier ikke eller kun langsomt vil frigives.

Hvis det viser sig hensigtsmæssigt, kan der suppleres med ekstraktionsboringer i umættet zone, eksempelvis nær kilden, hvor en større tæthed af boringer kan være ønsket i umættet zone uden at der nødvendigvis kræves flere boringer i mættet zone.

4.9.3 Økonomisk overslag

Nedenfor er givet et økonomisk overslag for etablering af et multifase ekstraktionsanlæg med tilhørende rensningsenhed for oppumpet grundvand og poreluft.

Det forudsættes, at driftstiden er 2 år.

Det økonomiske overslag for henh. opgravning og opboring er opdelt således:

- Anlæg, inkl. projektering, undersøgelse, myndighedsbehandling (grundlag MBL § 19 og VFL § 20, 26), udførelse og nødvendigt tilsyn
- Drift inkl. monitorering, beregnet som nutidsværdi

Undersøgelser

Overslaget indeholder estimerede udlæg i forbindelse med supplerende undersøgelser som en del af dimensioneringsgrundlaget for airsparging.

Anlægsomkostninger

Der er anført omkostninger til entreprenør i anlægsfasen (Gravearbejder, boringer og filtersætninger til boringer henholdsvis til injicering, ekstraktion og monitorering. Endvidere ventilatorer, rørføringer, kulfilter, trykfilter, elforsyning, indkøring og SRO).

Driftsomkostninger

Driften indeholder vedligehold, strøm, tilsyn, regnskab over driften og monitorering så længe anlægget kører.

Monitorering

Omkostninger til monitorering af dels forureningens udvikling, dels kontrol af afværgeanlægget sker i henhold til vilkår i anlæggets tilladelser. Der er forudsat en halvårlig monitorering fra tre monitoringsboringer, der etableres til 12 m u.t. (tre filtre i hver boring, alternativt tre separate huller i boringsreder). Der gennemføres to monitoringsrunder med analyse for redoxparametre og kulbrinter inkl. BTEX.

Tabel 4.7 Økonomi ved multifase ekstraktion

Anlæg, multifase ekstraktion	DKK ex moms
Projektering og undersøgelse	375.000
Myndighedsbehandling	12.500
Udførelse og indkøring	1.075.000
I alt	1.462.500
Drift	
Drift, monitorering, årsrapport mv., kr/år	425.000
Nutidsværdi, 2 års drift, 3% p.a.	813.225
I alt, anlæg og drift	2.275.725

4.9.4 Samlet vurdering af metodens anvendelighed

Fordele

Det er sandsynligt, at metoden indenfor ca. 1-2 år i vil kunne reducere grundvandsforureningen i den mættede zone nord for vejen samt i den umættede zone omkring hotspot.

Effektiviteten af pumpeboringer i den mættede zone er større end hvis der ikke bliver anvendt vakuum samtidigt, dvs. der kan forventes en større effekt i mættet zone når der samtidigt etableres vakuum i umættet zone.

Metoden er forholdsvis ufølsom over for tilstedeværelsen af fri fase, som vil blive fjernet i lighed med luft og vand over og under fasen.

Oppumpningen af poreluft vil have en gunstig effekt på forurening i kapillarzonen, hvilket er vanskeligt at opnå på andre måder. Iltning pga. luftgennemstrømningen er en sekundær effekt, som vil forøge nedbrydningspotentialen.

Metoden bør kunne stå alene, hvis der ikke er væsentlig forurening bundet i lerede partier. Hvis denne forudsætning ikke holder, kan opgravning eller opboring være nødvendigt som supplement til metoden.

Ulemper

Der er en sandsynlighed for, at forurening, som har spredt sig til de lerede partier af lagfølgen, ikke vil blive reduceret tilstrækkeligt til at en gendannelse af forurening i poreluft og grundvand kan undgås efter stop af afværgeindsatsen. Denne kan dog genoptages inden for en periode, hvis det viser sig nødvendigt.

Metoden beslaglægger arealer til filtersætninger, rørføringer, ventilatorer, kulfilter m.m. i en periode.

Konklusion

Metoden må formodes at være egnet på lokaliteten, men det må forventes at der skal opstilles pragmatiske succeskriterier, herunder accept af restforurening i ler, alternativt kombination med opgravning eller opboring af forurenede ler.

4.10 Dampinjektion

Formålet med dampinjektion er

- at fjerne kilden til udvaskning af benzinkomponenter til grundvandet

Dampinjektion fjerner forurening i hot-spot, og hindrer derved yderligere tilledning af forurenende stoffer til grundvandet. Såfremt al forurening kan fjernes vil der ikke være behov for monitoring.

4.10.1 Metodebeskrivelse

Nærværende beskrivelse af dampinjektion som afværgetagning tager udgangspunkt i en situation, hvor forureningen består af mineralolieprodukter fra benzin og diesel olie. Beskrivelsen tager udgangspunkt i, at den væsentligste forurening forefindes i lerlinsen beliggende 4-6 m u.t. i et ca. 50 m² stort areal, som defineret i afsnit 3.

Ved indblæsning af damp i jordmatricen vil vanddamp kondensere ved kontakt med kold jord/ grundvand. Ved kondensationen frigives fordampningsvarmen, som opvarmer jordpartikler og porevand. Det forudsættes, at der kan injiceres damp i sandlaget beliggende 3-4 m u.t. og i sandlaget umiddelbart under lerlinsen. Opvarmning af lerlinsen vil foregå ved varmeledning, og ved at opvarme på begge sider af lerlinsen nedbringes driftstiden. For at minimere omkostningerne er det nødvendigt at sænke trykniveauet for grundvandet under hot-spot, så injektionen af damp under lerlinsen sker i en umættet zone.

Dampinjektionen indledes fra en række borer i periferien af hot-spot, således at der opnås en sammenhængende ring af damp omkring denne og herefter en mobilisering af forureningen mod den centrale del af hot-spot v.h.j.a. en central ekstraktion.

Forureningen mobiliseres dels ved kogning af fri fase, nedsættelse af viskositet, densitet og overfladespænding for frie faser af forureningskomponenter, ved desorption af jordforurening dels ved afdampning af opløst forurening til damp/poreluft. Den mobiliserede forurening føres med dampen frem til kondensationsfronten, som markerer overgangen til områder, som endnu ikke har nået damptemperatur. I kondensationsfronten vil der ske ansamling af fri-fase-forurening samt kondensation af damp og gasformig forurening. I den centrale del af hot-spot foretages ekstraktion af poreluft, grundvand og damp med henblik på at opnå en dampstrømning fortrinsvis ind mod kildeområdet samt for at opnå en opsamling af den mobiliserede forurening på gas- og væskeform.

Ved anvendelse af dampinjektion på lokaliteten i Radsted er det nødvendigt med supplerende undersøgelser for at kunne dimensionere anlægget. Dette vil bl.a. involvere ventilationstest mv. Der er derfor nogle forhold som først kan fastlægges ved en endelig dimensionering. Dette vil omfatte antal injiceringsboringer og ekstraktionsboringer, om sænkning af grundvandsspejlet skal foregå i en rand udenfor området der dampoprensnes eller det skal foregå centralt i hot-spot, mulig injiceringsmængde mv.

Dimensionering

På det foreliggende grundlag vurderes det, at oprensning af hot-spot vil kræve ca. 4 injektionsboringer og 2 ekstraktionsboringer. Derudover bliver nødvendigt med et sugespidsanlæg for at sænke grundvandsspejlet, så der bliver en umættet zone under lerlinsen (fra 4-6 m u.t.) som vurderes at indeholde den største mængde forurening.

Til oprensning i hot-spot placeres filtre for injicering af damp over og under lerlinsen beliggende 4-6 m u.t. Ved en simpel beregning i MODI antages lerlinsen beliggende fra 4-6 m u.t. i hot-spot at kunne opvarmet til ca. 100 °C efter ca. 45 dages drift. Derudover kommer en periode med cyklisk drift ca. 30 dage. Erfaringer fra de udførte oprensninger med damp indikerer, at i forhold til de teoretiske vurderinger skal der påregnes en forøgelse i driftstid på mellem 30-50 %. I det følgende er der derfor antaget en driftsperiode på ca. 100 dage for dampanlægget.

Anlæg

Det vurderes, at det anlæg der blev anvendt ved dampoprensningen Østergade, Aalborg /ref. 2,3,4/ kan anvendes på denne lokalitet. Anlægget kan producere ca. 900 kg damp pr. time og et tryk på ca. 180 kPa.

Anlægget kan lejes på månedsbasis hos entreprenøren og er fuldt udbygget med vakuumpumper, køleanlæg, kulfiltre m.v., og er således umiddelbart klar til opsætning.

Der skal dog suppleres med et sugespidsanlæg til grundvandssænkning, alternativt en ekstra pumpeboring med tilhørende kulfilter.

Fordelen ved at leje et eksisterende anlæg er bl.a. at entreprenøren har et indgående kendskab til dette, og kender de problematikker der kan opstå ved drift af en dampoprensning. Det forudsættes derfor, at projektet kan gives til entreprenøren, og at denne indgår i detailprojekteringen. Projektet kunne evt. løses som et partneringsprojekt.

Drift

Driften af afværgeanlægget består i drift af pumper, varmeveksler, vakuumpumper, udskiftning af kulfiltre mv. Driften kræver et omfattende tilsyn både i forhold til komponenter i anlægget men også i forhold til løbende optimering på specielt injektionsstrategi men også ekstraktionsstrategi.

Monitering

Anvendelse af dampinjektion som afværgeforanstaltning kræver en intensiv monitering. Der skal laves opgørelser over injektions- og ekstraktionsrater på luft, damp og vand, og en detaljeret temperaturmonitering har vist sig yderst værdifuld til løbende vurdering af drift og optimering af driftsstrategi.

Derudover skal der monitoreres for stoffjernelse via analyser på oppumpet vand og luft. Endvidere vurderes det i ref. 3, at under cyklisk drift er daglige PID-målinger nødvendige for vurdering og justering af denne drift.

Endvidere skal der påregnes monitering herunder nye boringer til dokumentation for oprensningseffekt alternativt fastlæggelse af restforurening, hvis det ikke har været muligt at opnå fuld opvarmning i alle forventede områder.

4.10.2 Diskussion af metodens anvendelighed i den aktuelle sag

Nedenstående forudsætninger skal være opfyldt for at metoden kan anvendes:

Geologiske/hydrogeologiske forhold:

- Dampinjektion er mest velegnede i forholdsvis permeable jordlag (dvs. k bør mindst være ca. 10-5 m/s svarende til finsand). Dampen spredes i de højpermeable lag, men kan ved varmeledning opvarme lavpermeable lag. Dette er dog en langsom proces. Effektiviteten af dampinjektion er også afhængig af, at der ikke tilledes behandlingsområdet koldt grundvand, da dette vil forlænge behandlingsperioden væsentlig.

Praktiske forhold

- Der skal være adgang til at kunne udføre borearbejdet
- Der skal være plads til behandlingsanlæg
- Rørføringer kan ligge oven på jorden

Dampstripping har et stort potentiale, men er dog ikke en universal metode. Det er en meget aggressiv metode, som stiller store krav til design, udstyr og metoden kræver generelt meget monitering og tilsyn samt en hurtig aktion hos de involverede parter i et givent projekt. Endvidere kan specielt driften ved dampstripping hurtig blive omkostningstung.

I nærværende sag er de geologiske og hydrogeologiske forhold samt forurenings placeringen ikke optimale i forhold til dampinjektion.

Opvarmning af lerlinsen med damp skal ske gennem varmeledning som er en langsom proces, hvilket betyder en forholdsvis lang driftstid. Sandlaget i FC2 3-4 m u.t. genfindes ikke i PB1, her er beskrevet sandet ler i intervallet 3-5,8 m u.t. Det kan betyde, at det bliver svært at ventilere i det øvre sandlag, og dermed opfange forureningen.

Endvidere bliver det svært at håndtere den formodede terrænnære forurening ved G2, da der her ud fra PID-målinger vurderes at være forurenet i niveauet 0-5 m u.t. Geologien er sandet moræneler, og der er ikke et veldefineret sandlag over forureningen, hvorfra forureningen kan opsamles. Den nyeste boring B102 udført nær G2 tyder dog på, at der ikke er noget forurening af betydning på dette sted, så derfor er der ikke regnet med en afværgeindsats i dette område.

4.10.3 Økonomisk overslag

Nedenfor er givet et økonomisk overslag for etablering af dampinjektion baseret på de foregående angivelser.

Som angivet under afværgepumpning kan der være behov for behandling af den oppumpede vandmængde afledt af grundvandssænkningen. Prisen vil afhænge af hvilken grundvandssænkning der vælges. I dette overslag er der valgt et sugespidsanlæg.

Det økonomiske overslag for henh. opgravning og opboring er opdelt således:

- Anlæg, inkl. projektering, undersøgelse, myndighedsbehandling (grundlag MBL § 19 og VFL § 20, 26), udførelse og nødvendigt tilsyn
- Drift inkl. monitorering, beregnet som nutidsværdi

Undersøgelser

Overslaget indeholder estimerede udlæg i forbindelse med supplerende undersøgelser som en del af dimensioneringsgrundlaget for multifase ekstraktion.

Anlægsomkostninger

Der er anført omkostninger til entreprenør i anlægsfasen (Gravearbejder, sugespidsanlæg, boringer til henholdsvis injektion, ekstraktion og monitorering. Endvidere pumper, rørføringer, kulfiltre til vand og luft, trykfilter, elforsyning, indkøring og SRO).

Driftsomkostninger

Driften indeholder vedligehold, strøm, tilsyn, regnskab over driften og monitorering så længe anlægget kører.

Monitorering

Omkostninger til monitorering af dels forureningens udvikling, dels kontrol af afværgeanlægget sker i henhold til vilkår i anlæggets tilladelser. Der er forudsat en halvårlig monitorering fra tre monitoringsboringer, der etableres til 12 m u.t. (tre filtre i hver boring, alternativt tre separate huller i boringsreder). Der gennemføres to monitoringsrunder med analyse for redoxparametre og kulbrinter inkl. BTEX.

Tabel 4.8 Økonomi ved dampinjektion

Anlæg, dampinjektion	DKK ex moms
Projektering og undersøgelse	215.000
Myndighedsbehandling	12.500
Udførelse og indkøring	1.565.000
I alt	1.792.500
Drift	
Drift, monitoring, årsrapport mv., kr/år	215.000
Nutidsværdi, 1 års drift, 3% p.a.	215.000
I alt, anlæg og drift	2.007.500
Uden afledningsafgift	1.957.500

4.10.4 Samlet vurdering af metodens anvendelighed

Der vurderes at være følgende fordele ved metoden:

- Der sker en fjernelse af forureningsmasse i jorden, og kilden (eller en del af denne) til grundvandsforureningen vil således blive fjernet.
- På lokaliteter hvor metoden kan anvendes vil der ske en forholdsvis hurtig oprensning. En oprensning i løbet af ca. 3 måneders drift skulle være opnåelig.

Der vurderes at være følgende ulemper ved metoden:

- På baggrund af geologi og forureningsplacering er metode ikke optimal. Der er for mange usikkerheder, som medfører en stor risiko for, at metoden ikke virker på denne lokalitet. Dette vedrører specielt forurening, som kan være nået ned i større dybde end hidtil undersøgt, og som vil kunne medføre en uacceptabel grundvandskvalitet også efter dampbehandling af de mest forurenede zoner.
- Der er et stort strømforbrug, samt et behov for intensiv kontrol/monitoring i driftsfasen.

Dampinjektion vurderes ikke at kunne anvendes på nærværende lokalitet med succes. Dette skyldes hovedsagelig usikkerheden som følge af lokalitetens geologi samt i nogen grad usikkerheden om forureningens udbredelse i dybden.

4.11 Flushing (Kemisk assisteret udvaskning og oprensning)

Formålet med flushing er

- at frigøre fri fase benzin fra den mættede zone og residual benzin fra den umættede zone ved injektion af et stof, der øger opløseligheden eller mobiliteten af kulbrinterne
- at oppumpe vand med frigjorte kulbrinter
- massereduktion (ikke total oprensning)

Flushing indvirker på de fysisk/kemiske parametre, der er med til at trække almindelig afværgepumpning i langdrag, og kan give en betydelig massefjernelse inden for uger i stedet for år. Metoden har så vidt vides ikke været forsøgt anvendt i Danmark.

Metoden er beskrevet i Miljøstyrelsens Miljøprojekt Nr. 725 (2002), /31/, hvori det nævnes, at metoden har et vist perspektiv i Danmark inden for oprensning af chlorerede opløsningsmidler. Det må dog antages, at metoden vil være ligeså egnet for olie og benzin, dog formentlig med størst effekt for olie.

4.11.1 Metodebeskrivelse

Flushing er en forbedret form for afværgepumpning, en slags kemisk assisteret afværgepumpning. Ved flushing forstås normalt injektion af et virksomt stof i den mættede zone med samtidig fjernelse af fri fase produkt og restindhold af virksomt stof fra den mættede zone. Ideelt skal alt det tilsatte stof oppumpes, men typisk vil der være en del, der ikke kan genfindes, hvorfor der skal være tale om et ugiftigt stof, som nedbrydes naturligt.

I teknologiprojekt No. 725, beskrives flushing kun i forhold til den mættede zone, dvs. i forhold til stoffer, der har dannet fri fase i grundvandet. Andre rapporter (/33,36/) nævner dog, at metoden også kan anvendes over for residualforurening i den umættede zone. Erfaringer med dette er dog kun sparsomt dokumenteret. I en præsentation /33/ nævnes det, at "surfactants" (surface active agents, eller detergenter, som nedsætter kapillarkræfterne) ved et laboratorieforsøg frigjorde op til 50 % residual olie i jord, der blev gennemskyllet i et kolonneforsøg. Andre rapporter beskriver anvendelse af co-solventer, som øger opløseligheden

De samme forbehold vedrørende hydrogeologiske forhold, som gælder for afværgepumpning, er derfor gældende for flushing.

Ved metoden udføres der en eller flere injektionsboringer, filtersat i den mættede og/eller den umættede zone samt en eller flere oppumpningsboringer. I injektionsboringerne nedpumpes der et eller flere nedbrydelige og lavtoksiske stoffer, med henblik på at frigøre olieprodukt fra jordmatricen. Ved behandling af den umættede zone kan det være en fordel at anvende injektion via horisontale boringer, render, bassiner eller lignende, /36/.

Anlæg

Ved projekteringen af anlægget skal følgende indgå i projekteringen:

- indhentning af foreløbig tilladelse til injicering og evt. recirkulation af detergent eller co-solvent
- bestemmelse af succeskriterium
- laboratorieforsøg, herunder
 - valg af aktivt stof
 - undersøgelse af nødvendige mængder
- pilotforsøg, herunder
 - tracerforsøg på lokaliteten
- indhentning af endelig tilladelse til injicering og evt. recirkulation af detergent eller co-solvent
- fuldskala anlæg, herunder
 - bestemmelse af nødvendig mængde aktivt stof
 - system til blanding, opbevaring og injektion af stof
 - antal og placering af pumpeboringer
 - antal og placering af injektions- eller infiltrationssystemer
 - antal og placering af monitoringsboringer
 - monitoringsprogram
 - bestemmelse af pumpeydeler
 - bestemmelse af pumpe niveauer
 - vandbehandlingsenhed, som ifølge Teknologiprojekt Nr. 725 kan inkludere rensning gennem et såkaldt MPPE-filter³, som består af et højporøst granulat. Endvidere vil det muligvis være relevant med trykfilter til iltning og fjernelse af jern og mangan
 - Rørføringer, ventiler, prøvetagningshaner mv. samt tages stilling til anlæggets styring, herunder etablering af SRO.
 - Bortskaffelse af oppumpet olieprodukt

Drift

Driften af afværgeanlægget består i drift af pumper, dels i afværgeboringerne, dels i injektionssystemet. Drift af vandbehandlingen inkluderer returskylning af filtre til fjernelse af udfældede jern- og manganforbindelser samt damprensning af MPPE-filtre.

Styringen af anlægget kan foregå delvis automatisk, hvis anlægget monteres med SRO.

Monitering

Der er løbende behov for at kontrollere afværgeforanstaltningens effektivitet både med hensyn til udvikling i forureningskoncentrationen og med hensyn til koncentration af det tilsatte stof. Der skal løbende foretages masseberegninger både med hensyn til kulbrinter og aktivstof.

4.11.2 Økonomisk overslag

På grund af usikkerhed om metodens egnethed på lokaliteten er der ikke lavet et økonomisk overslag.

³ MPPE = Macro Porous Polymer Extraction, udviklet af Akzo Nobel. Filteret kombineres med en kondensator, en udskiller og en enhed til damprensning.

4.11.3 Diskussion af metodens anvendelighed i den aktuelle sag

De hydrauliske forudsætninger og begrænsninger er de samme som for almindelig afværgepumpning.

I nærværende sag er de geologiske og hydrogeologiske forhold kun i begrænset omfang egnede, men det vurderes at metoden trods de inhomogene forhold ville kunne anvendes, dog med en ret stor risiko for at der ikke opnås de ønskede resultater.

Effekten af metoden vil være størst i områder med fri fase på grundvandsspejlet eller med residual olieprodukt i jorden, og skønt der er en vis sandsynlighed for at der faktisk er fri fase på lokaliteten, er dette ikke påvist i nævneværdigt omfang, og udbredelsen af evt. fri fase må derfor betragtes som begrænset. Nyttens af metoden vil derfor være tilsvarende begrænset. I den umættede zone skal man næppe regne med mere end 50 % reduktion af den residuale olieprodukt. Da der er lerede lag på lokaliteten, vil reduktionen formentlig være væsentligt lavere, da behandling af leret hovedsagelig vil ske via (langsom) diffusion og ikke ved direkte gennemstrømning.

Da metoden ikke har været anvendt i Danmark, kan det ikke anbefales at afprøve den på den aktuelle lokalitet, hvor den geologiske opbygning vil vanskeliggøre monitorering samt fortolkning af resultaterne.

4.11.4 Samlet vurdering af metodens anvendelighed

Der vurderes at være følgende fordele ved metoden:

- Metoden vil kunne reducere længden af den periode, som en traditionel afværgepumpning kræver.
- Der opnås et direkte mål for massefjernelsen gennem monitoringsanalyser.

Der vurderes at være følgende ulemper ved metoden:

- Der er kun foretaget meget få fuldskalaoprensninger, så erfaringsgrundlaget er ringe /37/.
- Myndighedsgodkendelse i forbindelse med injektion af aktivt stof kan være vanskelig at opnå, /37/, og de krav, der kan forventes stillet til dokumentation af genfinding, kan være umulige at opfylde.
- Den højere mobilitet og/eller opløselighed af olieproduktet kan medføre større spredning end der allerede er sket.
- Der vil ikke være tale om total oprensning. Metoden kan kun forventes at give en vis massereduktion, og der vil derfor fortsat være en restforurening.

- Der er stor usikkerhed på tilstedeværelsen af fri fase olieprodukt i grundvandet og mængden af residual olieprodukt i jorden, og den eventuelle frie fase formodes begrænset i omfang. Nyttens af metoden vil derfor være tilsvarende begrænset, og et succeskriterium vil ikke kunne fastlægges.

Det må konkluderes, at metoden ikke kan anbefales til den egnede lokalitet, da den endnu ikke har været afprøvet herhjemme (hvilket først bør ske på en homogen lokalitet), og da der ikke er sikkerhed for at den kan give en tilstrækkelig oprensingsgrad.

5 Diskussion af egnede afværgemetoder på lokaliteten

5.1 Diskussion af strategier for afværgeindsats

Som nævnt i indledningen kan der vælges følgende forskellige strategier for indsatsen over for en forurening.

- A **Omgående og fuldstændig oprensning** typisk ved opgravning, så snart forureningen opdages (dvs. i 1994 i den aktuelle sag). Derefter ingen monitoring eller sagsbehandling.
- B **Længerevarende afværgeprojekt** igangsættes (måneder - år), så snart forureningen opdages. Monitoring og sagsbehandling så længe oprensning pågår.
- C **Delvis oprensning** så snart forureningen opdages. Derefter monitoring af hensyn til restforureningen. Naturlig nedbrydning hører under denne strategi.
- D **Forsinket afværgeindsats**, når løsning C efter nogle år har vist sig utilstrækkelig. Herunder fortsat monitoring.

I dette afsnit vurderes omkostningerne ved de forskellige strategier, baseret på den aktuelle sag på Nykøbingvej 295 i Radsted.

En fuldstændig oprensning på det tidspunkt, hvor forureningen konstateres, vil bestå i opgravning og/eller opboring af forurenede jord. Hvis forureningen er gammel, vil der dog blive tale om en delvis oprensning, idet der højst sandsynligt vil være en grundvandstransporteret forurening, som ikke kan fjernes ved opgravningen.

I den aktuelle sag er det ikke givet, at der ved optagning af tankene har været en betydelig grundvandsforurening udover nærområdet omkring selve tankgraven. Det er derfor en mulighed, at man ved opgravning ud over selve tankgraven kunne have fjernet hele forureningen allerede i 1996 (**strategi A**). Det kan diskuteres, om man uden monitoring kan være sikker på, at en oprensning er fuldstændig, men i de følgende beregninger er der gjort denne antagelse, idet det forudsættes at nogle prøver fra undersøgelsesboringerne vil kunne give tilstrækkelig dokumentation for oprensningen.

Det er muligt, at det allerede i 1996 ville have været nødvendigt at igangsætte et længerevarende afværgeprojekt (**strategi B**) som følge af mere udbredt grundvandsforurening. Varigheden af en sådan afværgeindsats vil være kortere, jo hurtigere indsatsen igangsættes, alene pga. den større udbredelse, grundvandsforureningen får med tiden som følge af den naturlige grundvandsstrøm.

Delvis oprensning (**strategi C**) var det, der blev udført i 1996. Den efterfølgende monitoring har været usystematisk og som sådan har strategien

derfor ikke været fulgt til dørs. Omkostningerne ved indsatsen i 1996 er ikke undersøgt i dette projekt, men for sammenlignelighedens skyld er vurderingen af økonomi ved denne strategi her baseret på de metodebeskrivelser, der er givet i denne rapport.

I dag i 2006 vil en forsinket afværgeindsats i form af et længerevarende afværgeprojekt (**strategi D**) nødvendigvis have et større omfang end hvis en tilsvarende indsats var igangsat 10 år tidligere, i 1996. På den aktuelle lokalitet strømmer grundvandet med en hastighed på 35-55 m/år; dog kan man ikke konkludere, at restforureningen dermed har bredt sig 350-550 m nedstrøms på de 10 år der er gået siden tankene blev taget op. Det kan ikke entydigt vurderes, om det er naturlig nedbrydning eller om det er den komplekse geologi og deraf følgende uforudsigelige spredningsveje i kombination med forføjede boringsplaceringer og filtersætninger, der gør, at forureningen ikke ses i større afstand nedstrøms. Det antages, at den naturlige nedbrydning er tilstrækkelig til at fjerne den del af grundvandsforureningen, der findes mere end 30 m nedstrøms, svarende til ca. 10 m syd for Nykøbingvej.

Det er antaget, at hvis der ikke laves yderligere afværgetiltag, så vil 5 års yderligere monitoring i 9 filtre være nødvendig for at der med tilstrækkelig sikkerhed kan tages beslutning om, at restforureningen kan efterlades. Omkostningen til etablering af de 9 filtre er nedenfor indeholdt i omkostningerne til den delvise oprensning.

Tabel 5.1 Mulige strategier ved indsats i 1996 henh. 2006

Strategi	Nødvendig indsats i 1996	Monitoring	Nødvendig indsats i 2006
A - Fuldstændig oprensning	Opgravning /opboring	0	0
B - Afværgeprojekt	Delvis opgravning og multifase ekstraktion 1996-98	1996-1998	0
C - Delvis oprensning	Delvis opgravning	1996-2011	0*
D - Forsinket afværge efter C	Delvis opgravning	1996-2006	Yderligere opboring og airsparging

* Forudsætter at naturlig nedbrydning kan fjerne restforureningen

Af tabel 5.1 fremgår, at strategi C, delvis oprensning, kan stå alene, hvilket overordnet set kan være acceptabelt på visse lokaliteter, men i den aktuelle sag kan det næppe anbefales, eftersom der er en temmelig kraftig grundvandsforurening nær kildeområdet. Konsekvensen af, at strategi C ikke kan stå alene er, at omkostningerne ved strategi D **skal lægges til** omkostningerne ved strategi C, som det fremgår af tabel 5.2.

Tabel 5.2 Økonomi ved de mulige strategier for indsats i 1996 henh. 2006

Økonomi	DKK (nutidsværdi)
A - Fuldstændig opgravning /opboring i 1996, ingen monitoring	0,8 mio.
B - Delvis opgravning og multifase ekstraktion i 1996-1998, monitoring til 1998	2,5 mio.
C - Delvis opgravning i 1996, monitoring 1996-2011	1,2 mio. heraf monitoring ca. 0,6 mio.
D - Yderligere opboring i 2006 og airsparging	2,8 mio. heraf airsparging ca. 2,1 mio.
C+D Omkostning i alt	4,0 mio.

Af de økonomiske overslag fremgår det, at en fuldstændig oprensning ved opgravning og/eller opboring i 1996 er den løsning, der medfører de laveste omkostninger (**strategi A**). En del af forklaringen er, at det er antaget at jordforureningens udbredelse var ca. 1/3 mindre i 1996, hvilket bl.a. betyder, at der kun er regnet med spunsning på halvdelen af den strækning, der vurderes nødvendigt at spuns i dag i tilfælde af opgravning. Dette giver en udgift på ca. 0,8 mio. kr. i 1996 i modsætning til de 1-1,4 mio. kr. som vil være udgiften til afgravning henh. opboring i 2006 jf. tabel 4.1.

I strategi B er det antaget, at en delvis opgravning i 1996 uden spuns beløber sig til ca. 0,6 mio. kr. (i modsætning til 0,8 mio. kr. ved fuldstændig opgravning), og at multifaseekstraktionen inkl. monitoring beløber sig til 1,9 mio. kr. Heri er der regnet med et mindre antal boringer end der kræves i 2006, hvor udgiften er anslået til 2,1 mio. kr. jf. tabel 4.6 som følge af en større udbredelse af opløst forurening.

I strategi C er det ligeledes antaget, at en delvis opgravning er foretaget uden etablering af spuns. Både i strategi B og C kan også være tale om en opboring.

Umiddelbart kan det se ud som om **strategi C**, delvis opgravning, er den billigste strategi, men hvis den efterfølgende monitoring af restforureningens spredning lægges til, vil denne strategi i løbet af nogle år være dyrere end en fuldstændig opgravning.

I strategi D er der regnet med en besparelse på ca. 285.000 kr. i forhold til overslaget for en selvstændig opboringsløsning i tabel 4.1. Besparelsen skyldes, at der samtidigt udføres airsparging, hvilket bl.a. betyder, at de monitoringsboringer, der er inkluderet i tabel 4.1, samt størstedelen af udgifterne til projektering og undersøgelser regnes ind i omkostningerne til airsparging. Beløbet til airsparging i strategi D kan genfindes ubeskåret i tabel 4.6.

Skulle det i 1996 have været nødvendigt at supplere med multifase ekstraktion (**strategi B**), så ville denne strategi stadig være billigere end den samlede omkostning til strategi C og D, som er nødvendig hvis en indsats gennemføres i dag, 10 år efter. Strategi B ville dog være dyrere end strategi C alene, som altså forudsætter, at det ved monitoring gennem endnu 5 år dokumenteres at restforureningen kan blive liggende.

Den største usikkerhed ved de skitserede økonomiske overslag knytter sig til udbredelsen af forureningen i 1996, som ovenfor er skønnet, men ikke kendes med sikkerhed. Hvis der allerede på dette tidspunkt var en stor udbredelse af opløst forurening, svarende til hvad der ses i 2006, så vil omkostningerne ved en indsats i 1996 og i 2006 være sammenlignelige. Hvis der derimod kun var en lille forureningsudbredelse i 1996, så ville omkostningerne ved en oprensning til et givent niveau i 1996 være væsentlig mindre end ved en oprensning til samme niveau i 2006.

5.2 Konklusion

Det har ikke været målet med denne rapport at afgøre, om der i dag nødvendigvis skal gennemføres en afværgeindsats, blot at belyse omkostningerne ved de forskellige strategier.

Ud fra gennemgangen af afværgemetoder vurderes det, at en fuldstændig fjernelse af forurening vha. opgravning kunne have været gennemført i 1996, evt. suppleret med opboring nær bygning og vej for at undgå at efterlade forurening de steder, hvor der må graves med anlæg. Endvidere vurderes det, multifase ekstraktion kunne have været et fornuftigt supplement i 1996 i det omfang, at en fuldstændig opgravning ikke var mulig. Omkostningerne forbundet med denne afværgeindsats ville være mindre end ved en afværgeindsats, der gennemføres i 2006.

Det er vanskeligt at vurdere i dag, om strategi A (fuldstændig oprensning ved opgravning eller opboring) eller B (opgravning og multifase ekstraktion i 2 år) ville være det optimale i 1996. Som afværgeindsats i 2006, 10 år senere, vurderes multifase ekstraktion ikke at være så egnet, eftersom der næppe er meget fri fase tilbage og der måske slet ikke findes fri fase længere. I stedet er grundvandsforureningen på opløst form, hvorfor airsparging vurderes at være en anvendelig metode, forudsat at der ved grundvandssenkning kan skabes en tilstrækkelig umættet zone. En opboring af restforurening nær kilden vurderes at være nødvendigt som supplement til airsparging.

6 Referencer

- /1/ Registreringsundersøgelse D.nr. 387-35, Nykøbingvej 295, Sakskøbing, Sakskøbing Kommune, Krüger A/S, rekv. Storstrøms Amt
- /2/ Nykøbingvej 295, Radsted. Indledende forureningsundersøgelse. Skude & Jacobsen. Rekv. Oliebranchens Miljøpulje. 1996-03-14.
- /3/ Nykøbingvej 295, Radsted. Supplerende forureningsundersøgelse. Skude & Jacobsen. Rekv. Oliebranchens Miljøpulje. 1996-06-14.
- /4/ Nykøbingvej 295, Radsted. Opgravning af tanke og fjernelse af forurenede jord og forslag til yderligere afværgetiltag. Skude & Jacobsen. Rekv. Oliebranchens Miljøpulje. 1996-09-10.
- /5/ Nykøbingvej 295, Radsted. Beskrivelse af forslag til oprensning af restforurening. Skude & Jacobsen. Rekv. Oliebranchens Miljøpulje. 1997-06-17.
- /6/ Nykøbingvej 295, Radsted. Beskrivelse af forslag til oprensning af restforurening. Skude & Jacobsen. Rekv. Oliebranchens Miljøpulje. 2. udgave, 1997-08-04.
- /7/ Miljøstyrelsen, 2002. Afprøvede teknologier under Miljøstyrelsens Teknologiprogram for jord og grundvand. Nr. 714.
- /8/ Miljøstyrelsen, 2002. Afprøvede teknologier under Miljøstyrelsens Teknologiprogram for jord og grundvand. Nr. 714.
- /9/ Teknik og Administration (1999). Drift af afværgeprojekter. Status og udviklingstendenser i amterne. Nr. 1, 1999.
- /10/ Teknik og Administration (1998). Notater om priser på små afværgeprojekter. Nr. 2, 1998.
- /11/ Miljøstyrelsen, 1996. Kemiske stoffers opførsel i jord og grundvand: Bind 1+2. Miljøprojekt nr. 20, 1996.
- /12/ Teknik og Administration (1998). Intern rensning af benzinfureninger i grundvand. Nr. 6, 1998.
- /13/ Miljøstyrelsen, 1998. Naturlig nedbrydning af miljøfremmede stoffer i jord og grundvand. Miljøprojekt nr. 408, 1998.
- /14/ Miljøstyrelsen, 2003. Forsøg med biogel/biovand rensning af olieforurenede jord. Miljøprojekt nr. 860, 2003.

- /15/ Miljøstyrelsen, 2003. Undersøgelse af kulbrintenedbrydning ved naturlige processer. Miljøprojekt nr. 752, 2003.
- /16/ Cunningham, 2000. Comparison of Bioaugmentation and biostimulation in ex situ treatment of diesel contaminated soil. Land Contamination & Reclamation, 8, 2000.
- /17/ Wiedemeier et al., 1999. Technical protocol for implementing intrinsic remediation with long-term monitoring for natural attenuation of fuel contamination dissolved in groundwater. Revision 0 3/8-99. Air force for environmental excellence.
- /18/ Vejledning fra Miljøstyrelsen, 1998: Prøvetagning og analyse af jord. Vejledning 13, 1998.
- /19/ V&S Prøvetagning - Anlæg - Brutto, 2003. Udgivet af V&S Byggedata as, Ballerup
- /20/ Design, indkøring og drift af afværgepumpning, Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen 1/1995
- /21/ Metoder til udpegning af indvindingsoplande. Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen 8/1995
- /22/ Drift af afværgeprojekter, Status og udviklingstendenser i amterne, Amternes Videncenter for Jordforurening 1/1999
- /23/ Notater om priser på små afværgeprojekter, Amternes Videncenter for Jordforurening 2/1998
- /24/ Skolevej 10, Skitseprojekt, Carl Bro as for Københavns Amt, november 2003
- /25/ Beskrivelse og dokumentation for Kildedal Afværgeanlæg samt Thorsbro Å, Almsgård, Vallensbæk, Kilde VI og Bogøgård Afværgeanlæg, Carl Bro as for Københavns Energi, august 2002 og april 2003.
- /26/ Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 921 af 8. oktober 1996 om kvalitetskrav for vådområder og krav til udledning af visse farlige stoffer til vandløb, søer eller havet.
- /27/ Miljøprojekt Nr. 642, 2001, Afprøvning af In-well Aerator, Miljøstyrelsen.
- /28/ Miljøprojekt Nr. 866, 2003, Afprøvning af In-well Aerator på lavtydende magasin, Miljøstyrelsen.
- /29/ ASTM, 1999. ASTM Standards on assessment and remediation of petroleum release sites. ASTM 1999.
- /30/ Carl Bro as, 1994. Biologisk rensning af dieselolieforurenede jord. fase 1 Bioventingforsøg udført under simulerede in-situ betingelser.

- /31/ Afværge af grundvandsforurening ved kombination af Flushing og MPPE-vandrensning. Miljøprojekt Nr. 725, Miljøstyrelsen, 2002
- /32/ Flushing og MPPE. Orientering fra Amternes Videncenter for Jordforurening 4/2000.
- /33/ Surfactant effects on residual water and oil saturations in porous media. J. Flaming et al, paper No. 136-6 at 2002 Denver Annual Meeting.
http://gsa.confex.com/gsa/2002AM/finalprogram/abstract_40805.htm
- /34/ In Situ Flushing with Surfactants and Co solvents. L. Strbak, US EPA, July 2000.
http://clu-in.org/download/remed/strbak_flushing.pdf
- /35/ Technology Practices Manual for Surfactants and Co solvents. Advanced Applied Technology Development Facility (AATDF), 1997.
<http://clu-in.org/PRODUCTS/AATDF/Toc.htm>
- /36/ Technology Status Report, In Situ Flushing. Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center (GWRTAC) November 1998.
http://www.gwrtac.org/pdf/isf_1117.pdf
- /37/ Technology Overview Report, In Situ Flushing. Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center (GWRTAC) June 1997.
http://www.gwrtac.org/pdf/flush_o.pdf
- /38/ Multi-Phase Extraction: State-of-the-Practice. US EPA, June 1999.
<http://clu-in.org/download/remed/mpe2.pdf>

Litteratur, kemisk oxidation

- /39/ Erfaringer med kemisk oxidation på 5 lokaliteter forurenede med chlorerede opløsningsmidler. Jarl Dall-Jepsen Cowi A/S. ATV møde Vintermøde om jord- og grundvandsforurening Vingstedcentret 4.-5. marts 2003.
- /40/ Miljøprojekt Nr. 483 1999. Afværgeteknikker for MTBE-forurenede grundvand. Miljøstyrelsen
- /41/ Miljøprojekt Nr. 872 2003. Oprensning af PCE ved kemisk oxidation med kaliumpermanganat. Miljøstyrelsen.
- /42/ Chemical oxidation of chlorinated solvents – An overview. Michael Urynowicz Envirox LLC. ATV møde Vintermøde om jord- og grundvandsforurening Vingstedcentret 5.-6. marts 2002.

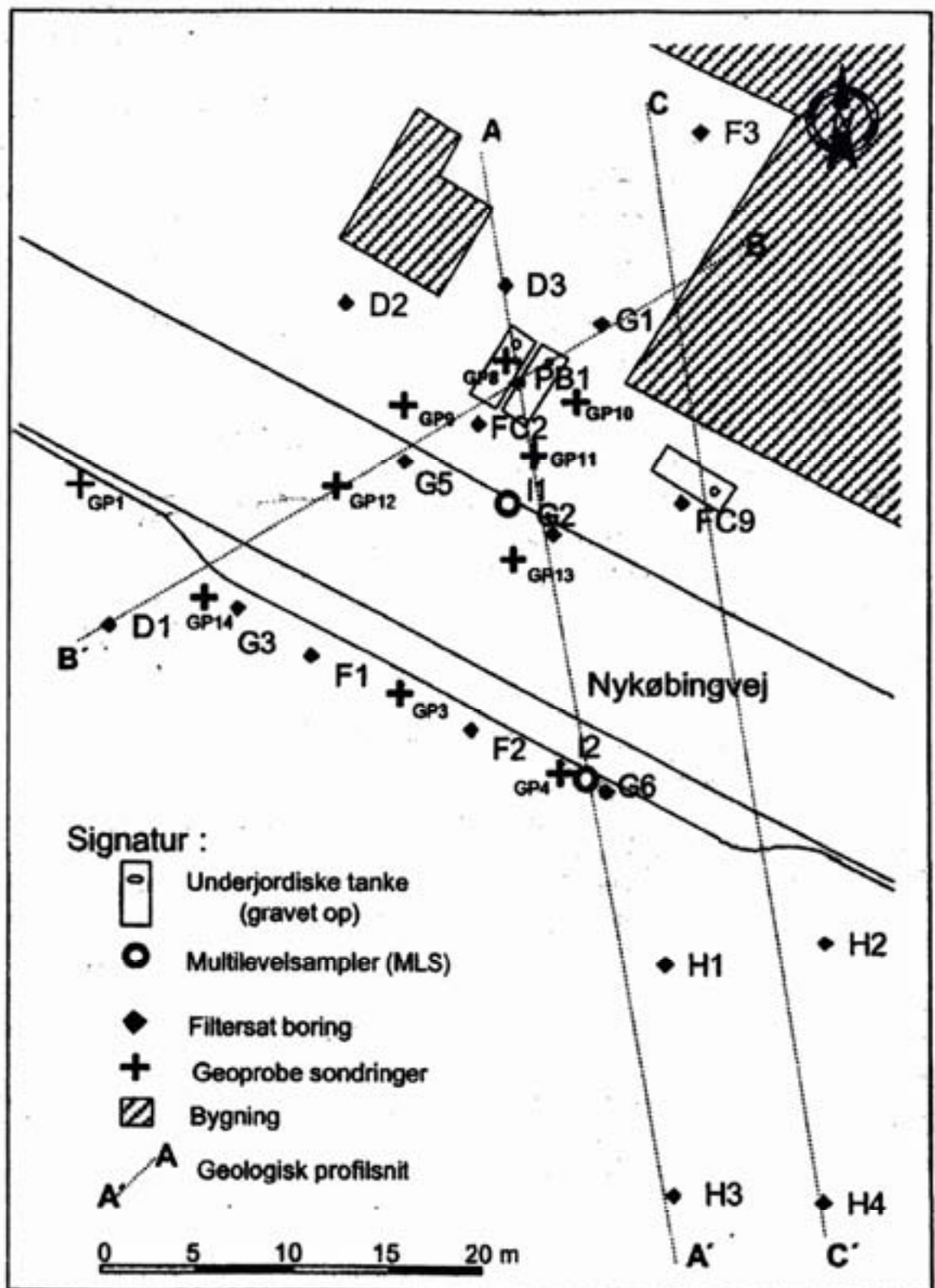
- /43/ Technical and Regulatory Guidance for In Situ Chemical Oxidation of Contaminated Soil and Groundwater, Interstate Technology and Regulatory Cooperation Work Group.
- /44/ In Situ Chemical Oxidation Work Team, 2001. www.itrcweb.org/ISCO-1.pdf.
- /45/ In Situ Chemical Oxidation (ISCO) Short Course, Monterey, California, May 24, 2002.
- /46/ Bygherrens overvejelser ved anvendelse af kaliumpermanganat, Hans Skov, ATV-Vintermøde (s. 153-166), 2003.
- /47/ Fuldskalaforsøg med injektion af Hydrogenperoxid, Lars Chr. Larsen, ATV-Vintermøde (s. 163-176), 2001
- /48/ Oprensning ved Ozonsparging, Loren Ramsay, ATV-Vintermøde (s. 51-66), 2001

Litteratur, Airsparging

- /49/ Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen nr. 7 1995. Erfaringer med in-situ afværgeforanstaltninger. Miljø- og Energiministeriet Miljøstyrelsen.
- /50/ Miljøprojekt Nr. 480 1999. Airsparging og vakuumventilation fra vandrette boringer på Drejøgade 3-5: Design og anlæg. Lisbeth Walsted og Anders G. Christensen Niras. Miljø- og Energiministeriet Miljøstyrelsen.
- /51/ Miljøprojekt Nr. 487 2000. Airsparging og vakuumventilation fra vandrette boringer på Drejøgade 3-5: Statusrapport 1. Lisbeth Walsted og Anders G. Christensen Niras. Miljø- og Energiministeriet Miljøstyrelsen.
- /52/ Miljøprojekt Nr. 679 2002. Teknologiuudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening. Airsparging og jordventilation med vandrette boringer. Afslutningsrapport. Lisbeth Walsted og Anders G. Christensen Niras. Miljøministeriet Miljøstyrelsen.
- /53/ Miljøstyrelsens teknologiprogram. Airsparging passiv ventilation. Thomas H. Larsen Hedeselskabet. ATV møde Vintermøde om jord- og grundvandsforurening. Vingstedcentret 4.-5. marts 2003.
- /54/ Leeson, A. et al. Airsparging Design Paradigm. Battelle, Ohio, USA.
- /55/ Et eksempel på oprensning af en benzinforurenede grund ved anvendelse af airsparging. Søren Lehn Petersen og Thomas H. Larsen Hedeselskabet. ATV møde Vintermøde om grundvandsforurening. Vingstedcentret 5.-6. marts 1996.

- /56/ In-situ-oprensning af olieforurenet jord og grundvand. Nils Bull og Jytte Gert Simonsen Carl Bro as. ATV møde
Vintermøde om grundvandsforurening. Vingstedcentret 5.-6.
marts 1996.
- /57/ Oprydning på forurenede lokaliteter, Vejledning nr. 6 og 7,
Miljøstyrelsen 1998.

Tidligere situationsplan og geologiske profilsnit



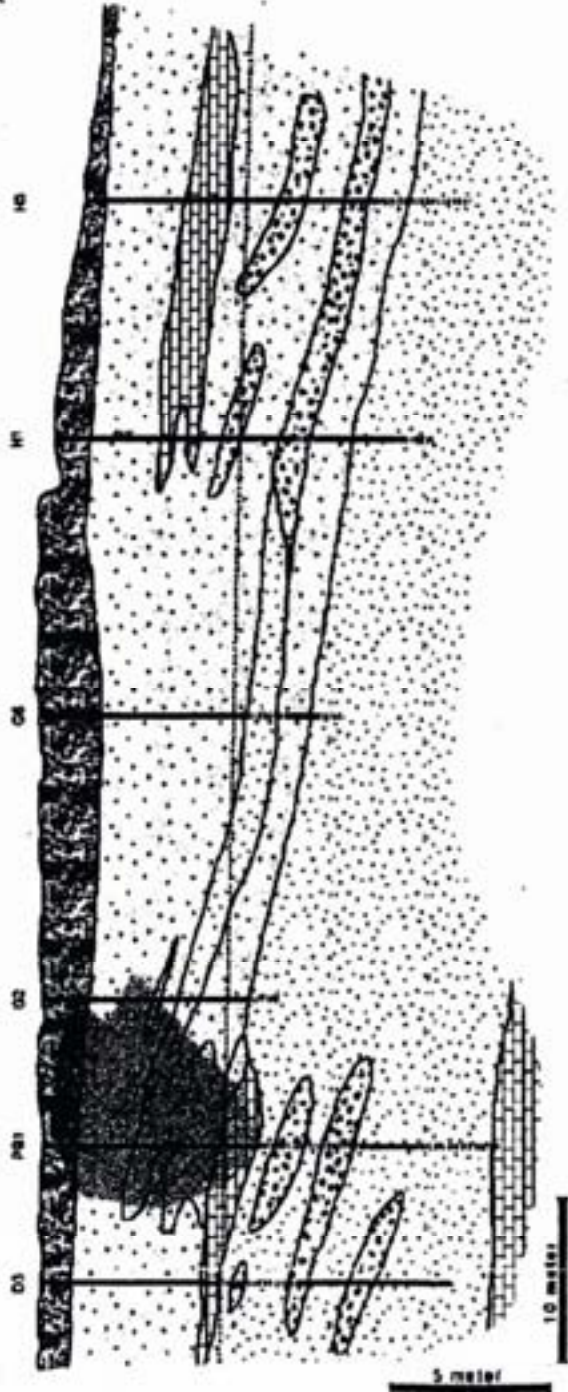
FIGUR 3.2
 SITUATIONSPLAN MED PLACERING AF FILTERSATTE BORINGER, GEOPROBE SONDRINGER, SAMT ANGIIVELSE AF GEOLOGISKE PROFILSNIT.






NORD

SYD

A

A'



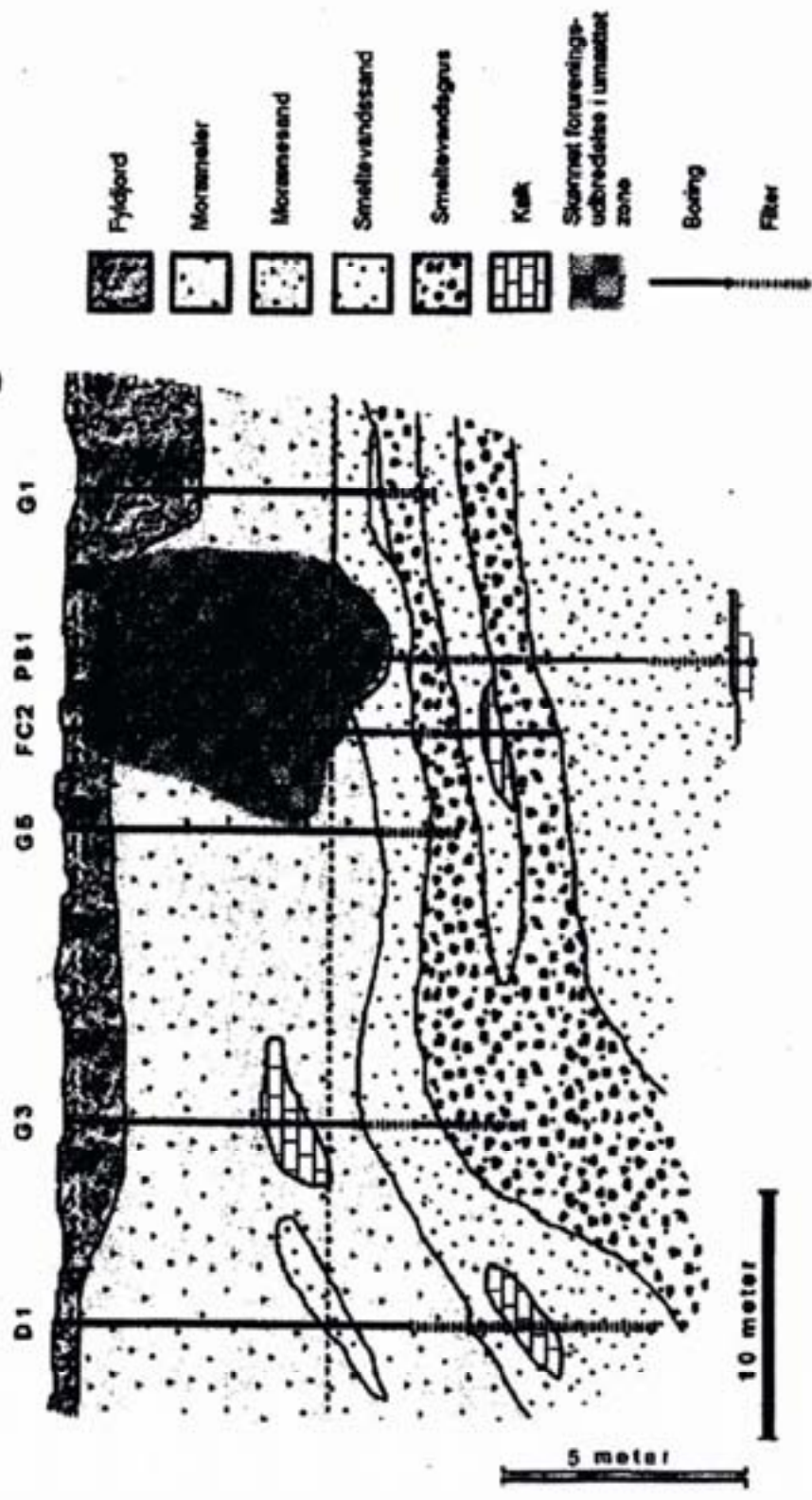
-  Flylsilt
 -  Mergrude
 -  Mikroslud
 -  Sandsteinsand
 -  Svandsteinlagun
 -  Kalk
 -  Egentlig Sandstein (ultrabasiske i umrådene ovenfor)
 -  Bæring
 -  Flår
- (Gjerdsløst) 12 84 1978

SYD - VEST

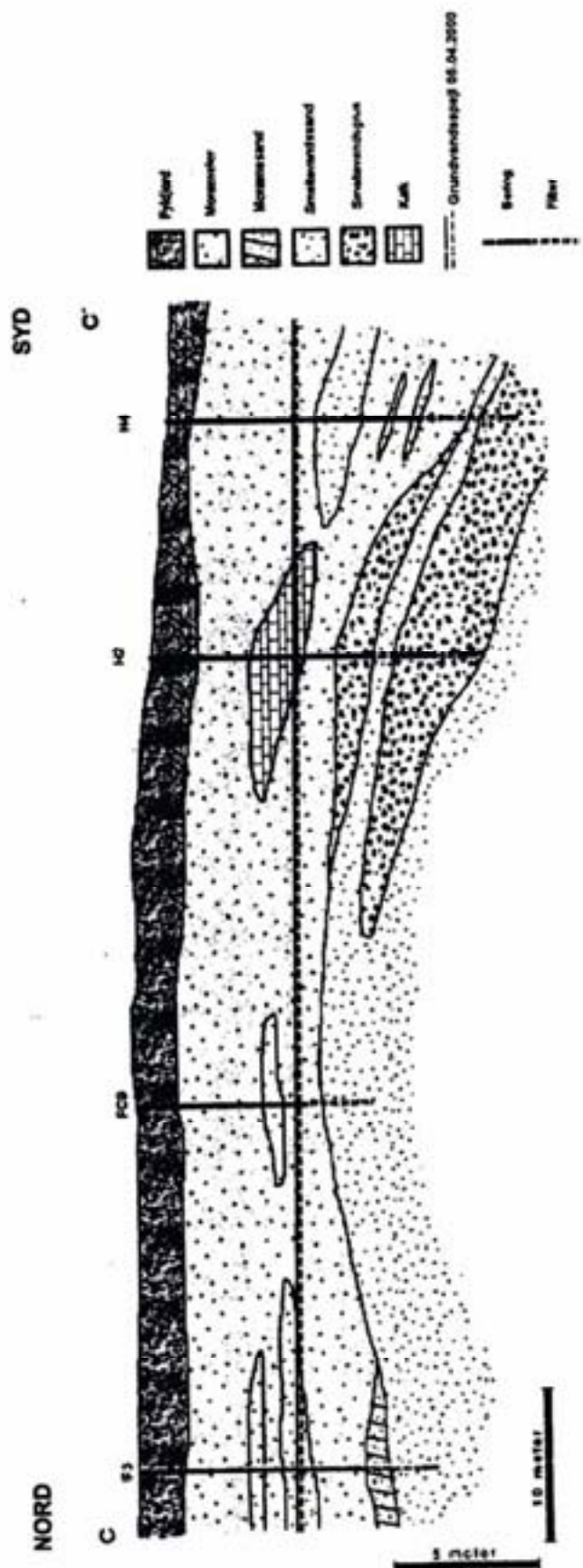
NORD - ØST

B'

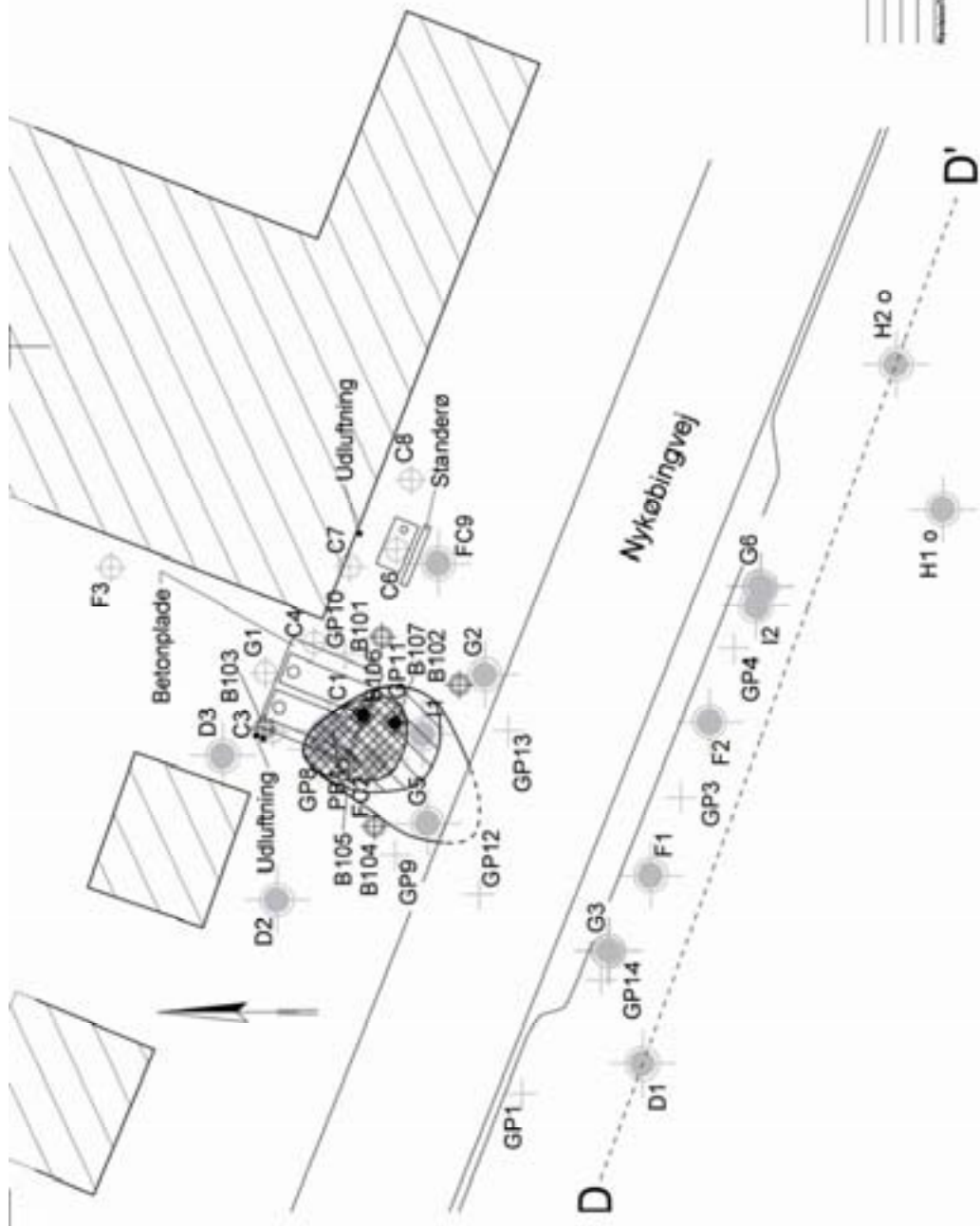
B



..... Grundvandsspej 12.04.1999



Situationsplan med forureningsudbredelse i jord



SIGNATUR:

- ⊕ F1 Filmasat boring
- ⊕ F2 Trådgens borerer, ikke mållaste
- ⊕ F3 Geoprobe sondeninger, ikke mållaste
- D' Geologisk profilant
- ⊕ B101 Målboring, ej filmasat
- B102 Målboring, filmasat
- ⊕ Jordforurening over 500mg/kg sublinier
- ⊕ Jordforurening over 1000mg/kg sublinier
- Grundvandsforurening over flygt sublinier

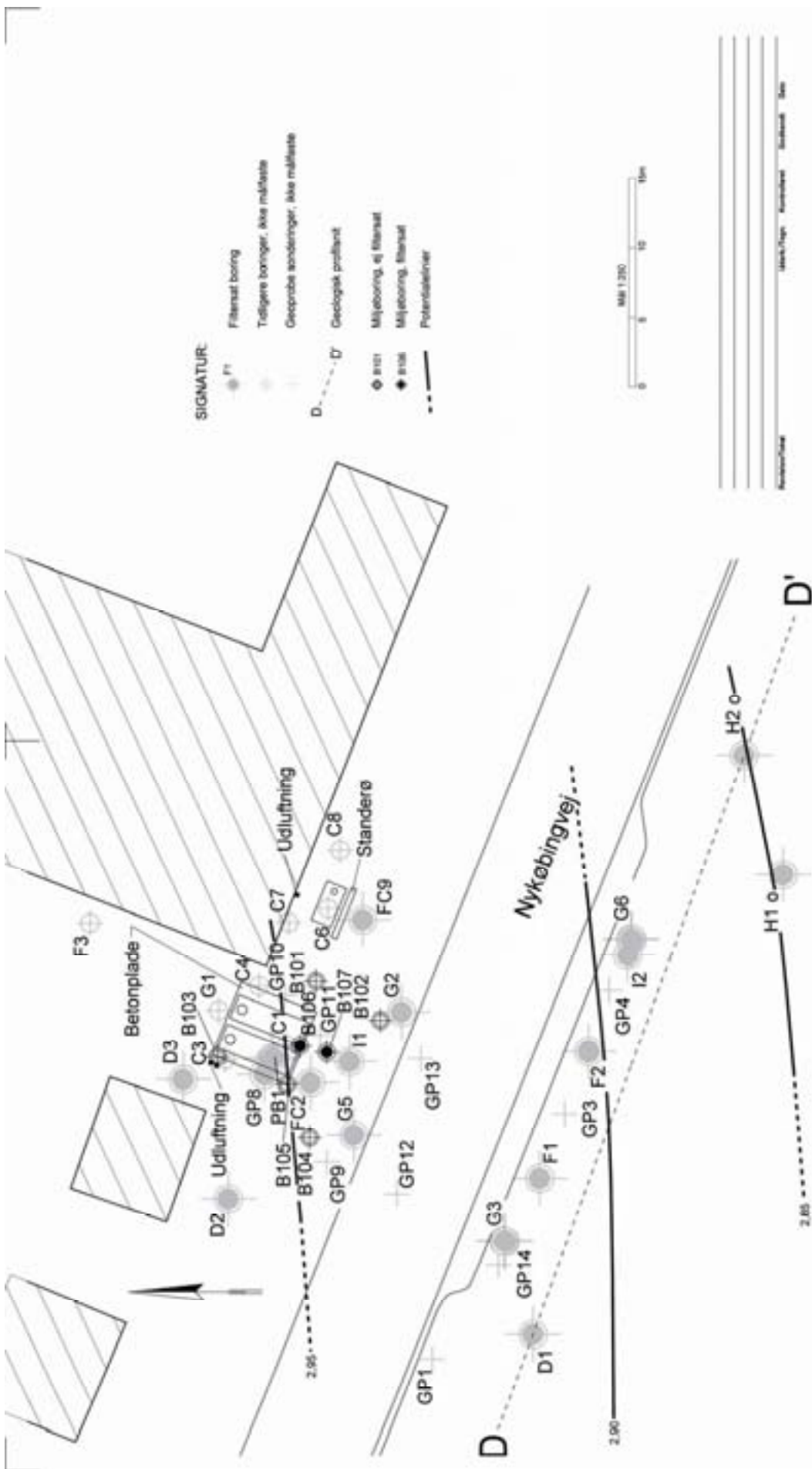


Arbejdsdato	ArbejdsType	Kontrolleret	Godkendt	Side

Carl Bro as
Intelligent Solutions

Arbejdsdato	ArbejdsType	Kontrolleret	Godkendt	Side
1-2-20	JAV/GD/ve	JAK	JAK	21-24 2008
Rensforurening af benzol i Rødsted, Lolland				30.4672.03
Side				Page no.

Situationsplan med grundvandspotentiale

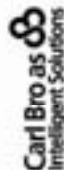


SIGNATUR

- F1 Filensat boring
- Tidligere borer, ikke måltare
- Geoprobe sonderinger, ikke måltare
- Geologisk profilant
- Miljøboring, ej filensat
- Miljøboring, filensat
- Potentialelinier
- D...D'
- B101
- B106



Projektnummer	Udgivelses dato	Udgiver	Projektleder	Godkendt af	Dato



Carl Bro as Intelligent Solutions					
Titel	Udgivelses dato	Udgiver	Projektleder	Godkendt af	Dato
1-250					
By	Udgivelses dato	Udgiver	Projektleder	Godkendt af	Dato
Restorering af benzin	30.04.2008	LM	JM	30.04.2008	
Løslad	30.4672.03				
Side					

Situationsplan med samtlige borer, samt potentialelinier



JAGG-beregning med benzen

Nykøbingvej 295, Radsted: Benzen beregning med JAGG

Beregning med kilde i sekundært magasin og transport i sekundært magasin

Inputparametre	Betegnelse	Værdi	Enhed	Bemærkninger
Trin I b				
Målt koncentration	C1,målt	0,005	mg/l	Itereret (skal opfylde krav 1 år væk)
Filterlængde	l	0,25	m	Reelt 1 m, men opblandet over 1 m
Kildekoncentration	C1	0,005	mg/l	beregn. for 25 cm zone
Resultater, trin II b				
Effektiv porøsitet	e _{eff}	0,2		
Tykk. grundvandsmagasin	maxdm	7	m	Omtrentligt
Hydraulisk gradient	j	0,0025		
k (omregnet til m/år)	k _{år}	4418	m/år	1 x 10 ⁻⁵ m/s
-	VD	11,04		
Gnmsn. porevandshast.	V _p	55,2	m/år	
Afst. t. teoretisk beregn.p.	L	55,2	m	
Transp.tid til teoretisk b.pkt.	t _{tid}	1	år	
Opblandingsdybde	dm	0,94		Reelt større opblanding
Forureningskoncentration	C2	0,00131	mg/l	

Resultater, trin III b				JAGG
Basis for beregning	TrinII b			
Koncentration fra trin I	C1	0,005		
Baggrundskoncentration	C _g	0	mg/l	
1. Ordens nedbrydning	k ₁	0,001	dag ⁻¹	Konservativ værdi, anaerobt
Oktanoli/vand ford.	Log k _{ow}	2,1		
Vandmættet porøsitet	e _w	0,4		
Bulkmassefylde	Rho _b	1,62		
Organisk indhold	F _{oc}	0,001		
Fordelingskoefficient	Log_K _d	-1,656		
Fordelingskoefficient	K _d	0,022		
Retardationsfaktor	R	1,089		
Gnmsn. porevandshast.	V _p	55,2	m/år	
Afst. t. teoretisk beregn.p.	L	55,2	m	
Tykk. grundvandsmagasin	maxdm	7	m	
Bredde	B		m	
Vandflux	Q _o		m ³ /år	
Koncentration fra trin II	C2	0,0013	mg/l	
-	VD	11,04		
hastighed	V _s	50,6	m/år	
Flux	j ₀			
Transp.tid m. Sorption	Sorptid	397	dage	

Resultater med sorption og nedbrydning, konservativt, svarende til anaerobe forhold.

Lokalitet 1: Benzen beregning med JAGG

Afstand	m	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	55,2	60,0	70,0	80,0	100,0
Transporttid	år	0,0000	0,1811	0,3621	0,5432	0,7243	0,9054	1,0000	1,0864	1,2675	1,4486	1,8107
Opblandingsdybde	m	0,2500	0,2500	0,3242	0,4991	0,6758	0,8544	0,9485	1,0349	1,2172	1,4014	1,7754
Forureningskonc.	C2dist.	0,0050	0,0050	0,0039	0,0025	0,0018	0,0015	0,0013	0,0012	0,0010	0,0009	0,0007
Konc. med nedbr.		0,0050	0,0047	0,0034	0,0021	0,0014	0,0011	0,0009	0,0008	0,0006	0,0005	0,0004
Transporttid (sorpt.)	år	0,0000	0,1973	0,3945	0,5918	0,7891	0,9863	1,0894	1,1836	1,3809	1,5781	1,9727
Konc. m. sorpt. og nedbr.	C3dist.	0,0050	0,0047	0,0033	0,0020	0,0014	0,0010	0,0009	0,0008	0,0006	0,0005	0,0003

