

# Erfaringsopsamling på udbredelsen af forureningsfaner i grundvand på villatanksager

Poul Larsen, Per Loll, Claus Larsen, Maria Grøn  
Dansk Miljørådgivning A/S

Jesper B. Nielsen, Laura Heron,  
Katrine Moes og Anders G. Christensen  
Niras

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

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

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

# Indhold

|  |     |
|--|-----|
| FORORD   | 5   |
| SAMMENFATNING  | 7   |
| SUMMARY  | 9   |
| 1 INDLEDNING   | 11  |
| 1.1 BAGGRUND   | 11  |
| 1.2 FORMÅL   | 12  |
| 2 ERFARINGSOPSAMLING   | 13  |
| 2.1 DATAGRUNDLAG   | 13  |
| 2.2 FANELÆNGDE AF OPLØST OLIEFORURENING                            | 15  |
| 2.2.1 <i>Alle sager</i>  | 16  |
| 2.2.2 <i>Før vs. efter afværge</i>                                 | 19  |
| 2.2.3 <i>Produktmængder</i>  | 21  |
| 2.2.4 <i>Maksimalt målte jord koncentrationer</i>                  | 23  |
| 2.2.5 <i>Fri fase i hot-spot/kildeområde</i>                       | 25  |
| 2.2.6 <i>Geologi i vandførende aflejringer</i>                     | 27  |
| 2.2.7 <i>Geologi i umættet zone</i>                                | 29  |
| 2.2.8 <i>Belægning ved terræn over jordforurening</i>              | 31  |
| 2.2.9 <i>Stabiliserede fanelængder</i>                             | 33  |
| 2.2.10 <i>Fanelængde vs. relativt grundvandsspejl</i>              | 35  |
| 2.2.11 <i>Beregnet vs. opmålt fanelængde</i>                       | 36  |
| 2.2.12 <i>Redoxforhold</i>   | 40  |
| 2.2.13 <i>Vertikal spredning</i>                                   | 41  |
| 2.2.14 <i>Konstaterede indhold af BTEX'er</i>                      | 42  |
| 2.2.15 <i>Fanelængder på sager frasortet efter detailscreening</i> | 45  |
| 2.2.16 <i>Sammenfatning fanelængder</i>                            | 45  |
| 2.3 FANELÆNGDE AF FRI FASE FORURENING                              | 48  |
| 2.3.1 <i>Tidslig udvikling i tykkelse af fri fase</i>              | 50  |
| 2.3.2 <i>Fri fase tykkelse og ændringer af grundvandsspejl</i>     | 50  |
| 2.3.3 <i>Fanelængde ifht. størrelse af produktmængde</i>           | 51  |
| 2.3.4 <i>Sammenfatning fri fase udbredelse</i>                     | 52  |
| 3 KONKLUSIONER   | 55  |
| 4 REFERENCER   | 57  |
| BILAG A: SAGSOVERSIGT  | 59  |
| BILAG B: SAGSGENNEMGANG  | 61  |
| BILAG C: METODER   | 115 |
| BILAG D: DATABEHANDLING  | 119 |



# Forord

Denne rapport har til formål at uddrage erfaringer med kortlægning af fanelængden for grundvandsforureningsfaner af fyringsoliekomponenter på lokaliteter, hvor der har været et spild af fyringsolie. Til dette formål er data fra igangværende og afsluttede sager, som hører under villatankordningen, inddraget.

Projektet er udført af Dansk Miljørådgivning A/S (DMR) og NIRAS. Projektet er finansieret af Miljøstyrelsens Teknologiuudviklingsprogram for jord- og grundvandsforurening og Oliebranchens Miljøpulje.

Projektforløbet er blevet fulgt af en følgegruppe bestående af:

Ole Kiilerich, Miljøstyrelsen.

Anders Riiber Høj, Oliebranchens Miljøpulje.

Sideløbende med denne erfaringsopsamling er der gennemført en erfaringsopsamling på poreluftkoncentrationer på villatanksager, som er udarbejdet af DMR.



# Sammenfatning

Der er gennemført en erfaringsopsamling, omfattende samtlige godt 1.400 forsikringsdækkede villatanksager fra marts 2000 til efteråret 2008.

Erfaringsopsamlingen viser, at grundvandsforureningsfaner fra villaolietanke generelt har en begrænset udbredelse og, at der kun i helt ekstraordinære tilfælde kan forventes forureningsfaner >40-50 meter. På de 14 sager der opfylder de opstillede screeningskriterier er der således opmålt en medianfanelængde på 13 meter og den maksimalt opmålte fanelængde er 48 meter.

Data fra de undersøgte sager viser desuden, at forureningsfanerne bliver kortere over tid. Efter en monitoring på 2-3 år kan der maksimalt forventes faner med en udbredelse på op til 25-30 meter. Den største reduktion er konstateret på sager, hvor den maksimale koncentration i jorden er <5.000 mg/kg TS og på sager uden fri fase.

Endvidere viser erfaringsopsamlingen, at man på sager, hvor restforureningen udgøres af en produktmængde på < 500 kg, kan forvente forureningsfaner < 10 meter efter at fanerne er stabiliseret.

De primære styrende parametre for forureningsfanens udbredelse er dokumenteret at være spildets størrelse samt tilstedeværelsen af fri fase i kildeområdet.

Endvidere er det konstateret, at der forekommer betydelig lavere koncentration af ilt, nitrat og sulfat i forureningsfanen, set i forhold til hvad der måles både opstrøms og nedstrøms forureningsfanen, hvilket indikerer, at der forekommer nedbrydning af oliekomponenter i forureningsfanen, når der er aerobe forhold i magasinet.

Der er udført en sammenligning mellem fanelængde på opmålte forureningsfaner og fanelængder fra forureningsfaner beregnet med Miljøstyrelsens JAGG model. Det bemærkes, at der i nogle tilfælde er tale om en ekstrapolering ud over JAGG modellens anbefalede anvendelsesområde, hvorfor beregnede fanelængder over 100 m skal betragtes med forbehold og således kun er orienterende. Sammenligningen viser, at når der ses bort fra nedbrydning og adsorption bliver de beregnede faner med indhold over Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterier mere end en faktor 20 længere end de reelt opmålte faner. Inkluderer adsorption og aerob nedbrydning (JAGG trin III) via standardværdier for benzen som modelstof, resulterer det ligeledes i konservative estimater på de beregnede fanelængder i forhold til de reelt opmålte fanelængder på samtlige 14 sager.

Porevandshastigheden er indirekte påvist, at influere på fanelængden, idet lerede aflejringer under grundvandsspejlet resulterer i kortere forureningsfaner ifht. andre aflejringer.

Generelt er det konstateret, at den horisontale udbredelse af fyringsolieforurening i grundvandet langt overstiger den vertikale udbredelse. Der er maksimalt konstateret et totalindhold af kulbrinter på 65 µg/L og ingen overskridelser for BTEX'er i dybereliggende magasiner. De konstaterede indhold reduceres til <5 µg/L efter maksimalt 2 års monitorering.

Der er endvidere i erfaringsopsamlingen indsamlet data vedrørende fanelængde af fri fase, hvilket er konstateret på 9 af de 14 sager. Den maksimale udbredelse af fri fase er målt til ca. 30 m med en medianfanelængde på 4 meter. Det er fundet, at de største fanelængder af fri fase ses på sager, hvor der er efterladt størst restforurening og der ses en sammenhæng mellem restforurening og faneudbredelse af den fri fase. Endvidere er der en tendens til at fanelængderne for fri fase reduceres over tid. På de sager hvor der ikke sker en kildeoprensning stabiliseres fanen inden for det første års monitorering.

Generelt kan det konstateres, at sagerne, der har fundet anvendelse i erfaringsopsamlingen repræsenterer nogle af de største villatanksager hvad angår produktmængde og omfang af grundvandsforurening, idet de anvendte objektive screeningskriterier blandt andet forudsætter, at der både er påvist en grundvandsforurening der væsentligt overskrider kvalitetskriterierne, og det desuden har været nødvendigt at gennemføre en længerevarende grundvandsmonitoring før eller efter oprensning af forureningen. Endvidere sikre screeningskriterierne, at jordforureningen har nået grundvandet. De øvrige villatanksager er således generelt mindre omfattende end dem der er har fundet anvendelse i erfaringsopsamlingen. Alt andet lige vurderes de udvalgte sager derfor også at have større faneudbredelser end en gennemsnitlig villatanksag.



# Summary

An experience gathering has been carried out, covering all approx. 1.400 cases under the Danish domestic heating oil insurance policy, between March 2000 and the fall 2008.

The study shows that groundwater pollution plumes from private heating oil storage tanks in general are limited in size, and that pollution plumes larger >40-50 meters can only be expected in extraordinary situations. Thus, on the 14 cases matching the objective screening criteria applied, the median pollution plume length was 13 meters and the largest plume was 48 meters.

Data from the selected cases furthermore shows that the pollution plumes decreases in length over time. After 2-3 years of monitoring, the expected maximum plume length is 25-30 meters. The largest reduction in plume length is found in cases where the maximum soil concentration is <5.000 mg/kg dry matter and in cases without presence of Non-Aqueous Phase Liquid (NAPL).

Additionally, the results show that plumes, in cases where the contaminant mass is <500 kg product, are <10 meters after plume stabilization.

The primary parameters controlling the plume propagation is documented to be the size of the spill and presence of NAPL in the source area.

In addition, there is a depletion of oxygen, nitrite and sulfate within the plume compared to both up- and down stream conditions, indicating that that aerobic degradation of heating oil components are occurring within the plume.

The length of measured pollution plumes and the length of plumes calculated by applying Miljøstyrelsens JAGG model were compared. It must be noted, that in some cases the JAGG model domain was extrapolated beyond the prescribed limits for plume length calculations. As a consequence, calculated plume lengths beyond 100 meters should be considered with caution and are only of orienting character. The results show, that when degradation and sorption are disregarded, plumes calculated with the JAGG model are more than 20 times longer than the measured plumes. If sorption and aerobic degradation are included in the JAGG model (JAGG step III), using standard values for benzene as a model component, it also results in conservative estimates of the calculated plumes lengths compared to the measured plume lengths in all 14 cases.

As cases with deposits of clay under the groundwater table were shown to result in shorter plume lengths, pore water velocity was indirectly shown to influence on the length of the pollution plumes.

The horizontal propagation of heating oil in the groundwater was generally found to exceed vertical propagation by far. The maximum concentration of total hydrocarbons measured in primary groundwater was 65 µg/L and the concentration decreased to <5 µg/L within two years of monitoring. BTEX was never measured in concentrations above the regulatory limits.

Data regarding NAPL plume length was relevant in 9 of the 14 cases. The maximum propagation of NAPL was measured to approx. 30 meters with a median plume propagation of 4 meters. The largest NAPL plumes were found in cases with the largest amount of heating oil. Furthermore, there is a tendency to a reduction of the NAPL plume length over time. NAPL-plumes are found to stabilize during the first year of monitoring in cases without source zone remediation.

The cases considered in the study represent some of the largest cases with spills are from private heating oil tanks both regarding the spill size and the extent of the groundwater pollution. This is because the objective screening criteria include documented groundwater concentrations significantly exceeding the regulatory limits and that groundwater monitoring has been carried out over a relatively long period either before or after remediation. Furthermore, the screening criteria ensure that the pollution has reached the groundwater. Thus, the remaining cases are smaller than the ones applied in the study. Hence, the cases included in the study are presumed to have larger plumes than the average spill from private heating oil storage tanks.

# 1 Indledning

## 1.1 Baggrund

### *Villatankforsikringen*

Jordforureningsloven blev vedtaget i 1999 og havde til formål at medvirke til at forebygge, fjerne eller begrænse jordforurening og forhindre eller forebygge skadelig virkning fra jordforurening på grundvand, menneskers sundhed og miljøet i øvrigt.

I lovens §§ 48 og 49 blev der bl.a. indsat bestemmelser om tankejerens ansvar for forureninger fra villaolietanke og om en pligt for ejeren til at forsikre sit ansvar.

Jordforureningslovens § 48 indebærer, som udgangspunkt, at villaolietanke-ejeren har ansvaret for enhver konstateret forurening fra tanken, uanset hvordan og hvornår forureningen er sket, og uanset hvem der ejede tanken, da forureningen skete (ubetinget ansvar). For at sikre villaolietankejerne, der typisk er privatpersoner, mod de omfattende økonomiske konsekvenser af forureningsansvaret, er det i lovens § 49 bestemt, at tankejeren har pligt til at tegne en forsikring, der dækker ansvaret.

Muligheden for at forsikre sig mod det ubetingede ansvar til en rimelig præmie var for den daværende miljøminister og det brede folketingsflertal bag loven den afgørende forudsætning for, at reglerne om det ubetingede ansvar kunne træde i kraft. Indtil der var fundet en acceptabel forsikringsordning skulle lovens øvrige regler – og ikke det ubetingede ansvar – derfor også gælde for villaolietanke.

Reglerne trådte ikke i kraft samtidig med resten af loven 1. januar 2000, da det på dette tidspunkt endnu ikke var muligt at forsikre ansvaret. Der blev efterfølgende etableret en ordning, der indebærer, at olie kunder samtidig med deres køb af fyringsolie fra danske leverandører også køber en forsikring af deres tank. Ordningen finansieres og tilbydes pt. af olieselskaberne, der sælger fyringsolie i Danmark, og administreres af Oliebranchens Miljøpulje (OM) og forsikringsselskabet Topdanmark A/S.

Villaordningen er afgrænset til sager, der hører under Jordforureningslovens § 48, dvs. påbud om undersøgelse og oprensning af forureninger fra tanke under 6.000 liter.

Miljøministeren kunne med etableringen af denne forsikringsordning sætte §§ 48 og 49 i kraft pr. 1. marts 2000.

### *Empiriske erfaringer*

Det er på en lang række villasager set, at grundvandsforureningerne kun har en relativt begrænset udbredelse. Den forventede forureningsspredning af grundvandsforureningerne vil selvsagt influere på hvor stort et grundvandsvolumen, der forureningspåvirkes, og dermed på den miljörisiko eventuelt efterladte fyringsolieforureninger udgør.

Der sker således erfaringsmæssigt kun en begrænset spredning af forureningen med grundvandet, hvilket sandsynligvis bl.a. skyldes, at opløste fyringsoliekomponenter er relativt let biologisk omsættelige.

#### *Sideløbende projekt*

Miljøstyrelsen og OM har desuden igangsat et erfaringsopsamlingsprojekt om den tidlige udvikling i poreluftkoncentrationer på villatanksager. Miljøstyrelsen udarbejder endvidere en vejledning for undersøgelse og oprensning af forurening fra villaolietanke. En erfaringsopsamling af grundvandsforureningernes udbredelse kan supplere disse projekter.

Datagrundlaget på villasager udmærker sig i øvrigt i forhold til andre tilgængelige forureningsdata ved at:

- der er tale om et stort antal sager med samme produkttype.
- spildtidspunkt og -mængde samt forureningskilden er velbeskrevet.
- der er grundige beskrivelser af forureningens beliggenhed og koncentrationsniveau.

### 1.2 Formål

#### *Primært formål*

Projektets formål er, ud fra konkrete data fra de hidtidige over 1.400 villasager i perioden marts 2000 til efteråret 2008, primært at:

1. afprøve hypotesen om at grundvandsforureninger med fyringsolie fra villaolietanke kun har en relativt begrænset udbredelse.
2. at be- eller afkræfte en hypotese om at grundvandsforureninger på villasager typisk har en fane på <20 meter, og kun i særlige tilfælde kan være større end 30-50 meter.

#### *Sekundært formål*

og sekundært at:

3. undersøge om der over tid forekommer en reduktion/stabilisering i fanelængden.
4. undersøge om fanelængden generelt kan relateres til relevante oplysninger i sagerne, altså om der kan siges noget om hvilke parametre, der er styrende for faneudbredelsen.

Datamaterialet fra projektet skulle således gerne give nogle generelle erfaringer om grundvandsforureningernes udbredelse, sammensætning, spredning, samt evt. udvikling/fald over tid på villasager, hvilket kan være med til at give et mere realistisk billede af risikoen for grundvandet ved restforureninger fra villaolietanke.

## 2 Erfaringsopsamling

### 2.1 Datagrundlag

For at sikre det bedst mulige objektive grundlag for erfaringsopsamlingen, er der i efteråret 2008 udført en indledende databasescreening af samtlige 1.436 villatanksager registreret i OM's database. Ved databasescreeningen er der lokaliseret 83 afsluttede villatanksager der opfylder screeningskriterier om mindst 4 filtersatte boringer og en varighed af sagen der muliggør, at der kan være udført grundvandsmonitoring i mindst 1 år. Desuden er der lokaliseret 217 uafsluttede villatanksager med en varighed der muliggør, at der kan være udført grundvandsmonitoring i mindst 1 år.

#### *Udvælgelseskriterier*

OM har efterfølgende udført en yderligere screening af disse 300 sager ud fra følgende objektive kriterier:

- Mindst 4 filtre i samme magasin, der ikke periodevis er tørre.
- Mindst to samstemmende pejlerunder, som viser et sammenhængende magasin med nogenlunde entydig strømningsretning.
- Mindst 2 monitoringsrunder.
- Monitoring i mere end 1 år.
- Ikke grundvandssænkning i magasinet eller gravearbejde i monitoringsperioden (svag fri-fase skimming dog accepteret).
- Målte koncentrationer i kildeområdet  $> 100 \mu\text{g}$  totalkulbrinter/L.
- Grundvandsforureningen er helt/delvis afgrænset nedstrøms.

Screeningen resulterede i, at datamaterialet blev indskrænket til 39 sager, der helt eller tilnærmelsesvis opfyldte de opstillede kriterier.

De 39 sager er efterfølgende detailscreenet af DMR og NIRAS med henblik på at identificere de sager, der bedst opfylder de opstillede kriterier. Det blev vurderet, at 25 sager ikke i tilstrækkelig grad opfyldte kriterierne mht. entydig strømningsretning, sammenhængende grundvandsmagasin, monitoringsperiodens længde minimum koncentration m.m. Det skal understreges, at frasorteringen ikke betyder, at de 25 sager ikke er undersøgt tilstrækkeligt i forhold til det relevante undersøgelsesformål i den enkelte sag, men udelukkende, at datamaterialet ikke opfylder de valgte objektive screeningskriterier i denne erfaringsopsamling.

Det endelige antal sager, der overholder screeningskriterierne, er derfor 14 ud af samtlige 1.436 screenede villatanksager. På disse 14 sager er der samlet set inddraget 54 monitoringsrunder for grundvandsforureningens udbredelse.

I bilag A ses en samlet oversigt over de 14 sager og nøgleparametre herfor, mens hver enkelt sag, med tilhørende data, er gennemgået i bilag B, hvor der også er opstillet en konceptuel model for hver sag for at optimere

gennemsigtigheden af datamaterialet og gøre det nemmere at anvende dataene i andre sammenhænge. Af bilag A fremgår endvidere hvilke dataserier, der er anvendt til de forskellige analyser.

Generelt kan det konstateres, at de 14 sager repræsenterer nogle af de største villatanksager hvad angår produktmængde og omfang af grundvandsforurening, idet de anvendte objektive screeningskriterier blandt andet forudsætter, at der både er påvist en grundvandsforurening der væsentligt overskrider kvalitetskriterierne, og det desuden har været nødvendigt at gennemføre en længerevarende grundvandsmonitoring før eller efter oprensning af forureningen. De øvrige 1.422 villatanksager er således generelt mindre omfattende end dem der er har fundet anvendelse i erfaringsopsamlingen. Alt andet lige vurderes de udvalgte sager derfor også at have større faneudbredelser end en gennemsnitlig villatanksag.

Ved en indledende gennemgang af resultaterne fra de kemiske analyser fra de 54 monitoringsrunder er det konstateret, at der overvejende konstateres overskridelser af grundvandskriteriet for totalindhold af kulbrinter, mens antallet af overskridelse for indholdet af BTEX'er, herunder også benzen, er lavere. Dermed vil det i praksis være totalindholdet af kulbrinter, der vil være styrende for risikovurderingerne. De opmålte fanelængder er derfor primært udført på analyseresultater for totalindholdet af kulbrinter. Resultaterne for BTEX'er er opsummeret i et underafsnit, for at dokumentere ovenstående antagelse.

Det skal bemærkes, at datagrundlaget som nærværende erfaringsopsamling er baseret på, er udarbejdet af forskellige private rådgivningsfirmaer (RAMBØLL, SKUDE & JACOBSEN, COWI, Orbicon, Dansk Geo ServEX A/S, NIRAS og Dansk Miljørådgivning A/S, hvorfor der kan være forskellige metoder til undersøgelse og behandling af dataene til f.eks. bestemmelse af strømningsretning. Derfor er der i dette projekt benyttet en separat metode til ensartet bestemmelse af overordnet strømningsretning og faneudbredelse. En nærmere beskrivelse af metoden fremgår af bilag C. Det skal derfor bemærkes, at der for nogle datasæt kan forekomme vurderinger, som afviger fra det, der er angivet i de oprindelige sagsrapporter.

#### *Opmåling af faner*

Ved opmåling af fanelængden, er der som standard målt fra kildeområdet og nedstrøms, med mindre der forekommer geologiske formationer der trækker forureningsfanen i en anden retning, i disse tilfælde er der målt i denne retning. I kildeområdet er der målt fra den boring der er placeret længst opstrøms og hvor der er målt totalindhold af kulbrinter  $> 9\mu\text{g/L}$  og til nedstrøms kant af forureningsfanen.

En central parameter i erfaringsopsamlingen er de vurderede produktmængder efter spild eller efter oprensning, som er opgjort i sagsrapporterne. Som standard er den samlede produktmængde for sager, hvor monitoringsperioden er fremkommet inden en oprensning, angivet, som det reelle spild på ejendommen, enten kendt ud fra hvor meget der er sluppet ud, eller det der er opgjort i forbindelse med en forureningsundersøgelse/massebalance. For sager hvor

moniteringsperioden forekommer efter en oprensning er den angivne produktmængde, det der er efterladt efter afsluttet oprensning.

Ved vurdering af ændringer på fanelængden over tid, er  $t_0$  sat til den dag hvor spildet opdages for fanelængder der er opmålt inden en oprensning og for datoen for hvornår oprensningen er tilendebragt for fanelængder som er opmålt efter en oprensning. I bilag B er alle fanelængder plottet ifht. spildtidspunktet.

## 2.2 Fanelængde af opløst olieforurening

I det følgende præsenteres de opmålte fanelængder for opløst totalindhold af kulbrinter i grundvandet, og dataanalyser som er udført på de indsamlede data. Indledningsvist var det formålet at undersøge om følgende faktorer kunne relateres til fanelængden på de forskellige sager.

- Oprensning/afværge af forurening.
- Størrelse af produktmængde.
- Den maksimalt målte jordkoncentration.
- Koncentration af oliekomponenter i grundvand i hot-spot.
- Geologiske aflejringer i de vandførende lag.
- Geologiske aflejringer i umættet zone.
- Beliggenhed af jordforurening hhv. udenfor og under belægning.
- Redox potentialet opstrøms forurening, i hot-spot/kildeområde og nedstrøms forurening.
- Den hydrauliske gradient i det terrænnære magasin.

Generelt er det ved dataanalysen tilstræbt, at der som minimum skulle være fem sager, hvor ovenstående faktorer kunne undersøges.

Efter sortering/opdeling af sagerne ifht. at undersøge om høje gradienter generelt resulterer i længere grundvandsforureningsfaner blev det vurderet at denne test ikke var mulig, idet fem ud af seks sager med den højeste gradient samtidig var blandt de sager der havde den mindste produktmængde, hvilket (forventeligt) leder til en betydelig modsat rettet effekt.

Muligheden for en vurdering af effekten af koncentrationen af oliekomponenter i hot-spot var ligeledes vanskelig, idet der på 10 af de 14 sager måles indhold over 6.000  $\mu\text{g/L}$ , svarende til tilstedeværelsen af fri fase. Det er dog vurderet, at denne undersøgelse kan gennemføres ved inddragelse af data fra to sager, hvor der kun i begrænset omfang er konstateret fri fase.

Opdeling af sagerne ifht. undersøgelse af ovenstående faktorer fremgår af bilag A.

Fanelængden er opmålt på tre niveauer, indhold  $>1.000 \mu\text{g/L}$ ,  $>100 \mu\text{g/L}$  og  $> 9 \mu\text{g/L}$ .

På fire sager, Nøkkentved, Snedronningvej, Vostervej og Kielstrupvej, har det i nogle monitoringsrunder ikke været muligt at opmåle fanen med totalindhold af kulbrinter  $>9 \mu\text{g/L}$ , da fanen på daværende tidspunkt endnu ikke har været afgrænset med de på de respektive sager placerede boringer. Det har dog ikke for nogen af sagerne været tilfældet i den sidste monitoringsrunde. Dette vurderes ikke at være et udtryk for at der på disse sager forekommer meget lange forureningsfaner, men snarere, at der i de enkeltstående tilfælde mangler en ekstra boring for præcist at dokumentere en afgrænsning ifht. kriteriet på  $9 \mu\text{g/L}$ . I disse tilfælde er der ikke opgivet et bud på forureningsfanens længde. I alle tilfælde er grundvandsforureningen afgrænset i efterfølgende monitoringsrunder, hvorfor det vurderes, at forureningen har været tæt på at være afgrænset. Ydermere har forureningen i alle tilfælde været afgrænset for indhold  $>100 \mu\text{g/L}$  hvilket underbygger, at den yderligere udbredelse af forureningsfanen med et indhold  $>9 \mu\text{g/L}$  er relativt begrænset.

#### *Databehandling*

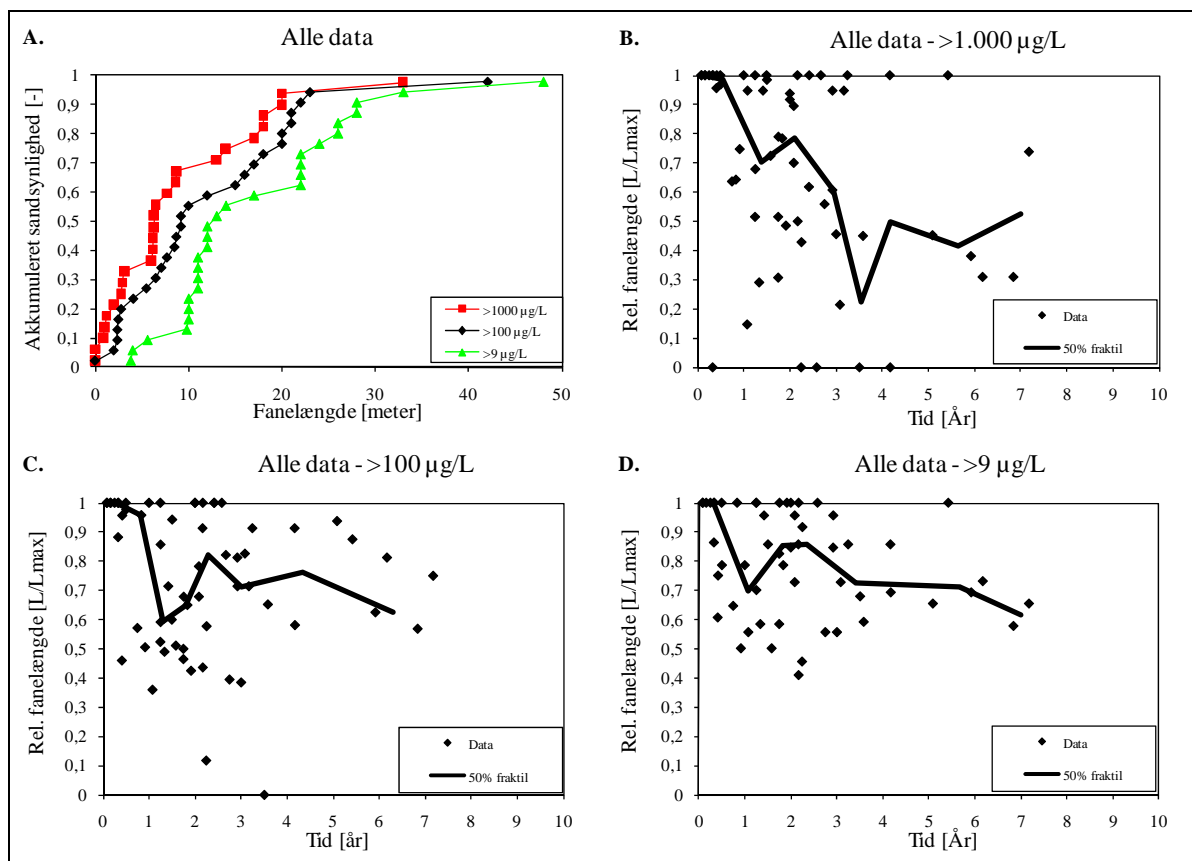
Databehandlingen i nærværende afsnit er overvejende baseret på to plots for hvert af de opmålte forureningsniveauer, et akkumuleret fordelingsplot til bestemmelse af fanelængden ud fra 50 % og 90 % fraktilen og den maksimale fanelængde samt et plot til vurdering af tidlige trends ud fra 50 % fraktilen på den relative fanelængde ( $L/L_{\text{maks}}$ ). Ved opstilling af de empiriske plots til vurdering af fanelængder, er der fra hver sag inddraget henholdsvis den først opmålte fanelængde og den sidst opmålte fanelængde i en tidsserie med mere end to monitoringsrunder. Dermed tilstræbes det, at trends fra sager med relativt mange monitoringsrunder ikke vægtes højere end trends fra sager med to monitoringsrunder.

Af bilag D fremgår en nærmere beskrivelse af den statistiske behandling af dataene.

##### 2.2.1 Alle sager

Forureningsfanerne for alle 14 sager med 54 monitoringsrunder fremgår af figur 1.





**Figur 1.** Fanelængder for opløst fyringsolieforurening (A) og relative fanelængder over tid for opløst gasolieforurening (B, C, D).

Som det fremgår af figur 1 (plot A) er den konstaterede maksimale fanelængde ved  $9 \mu\text{g/L}$ , svarende til Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterium for totalindhold af kulbrinter 48 m.

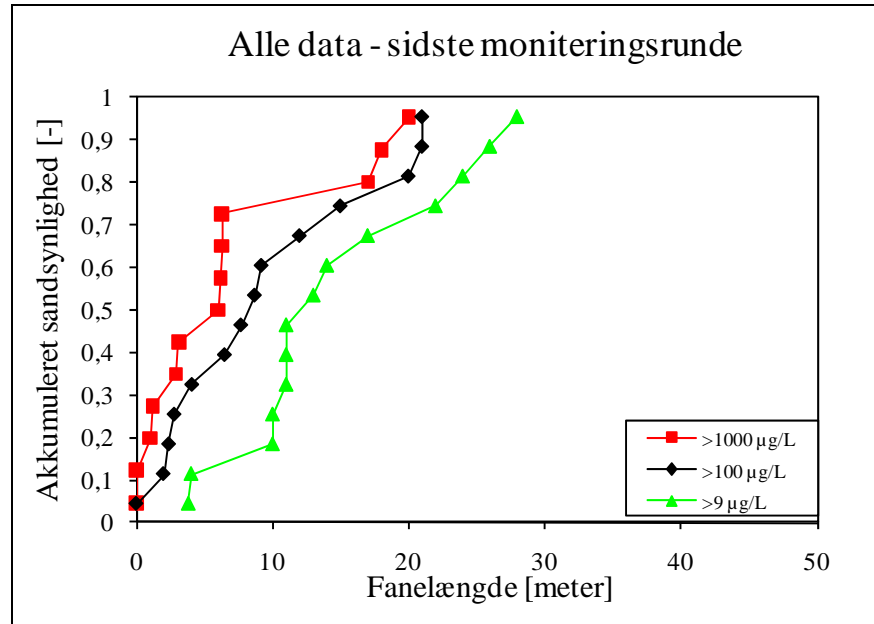
I tabel 1 er 50 og 90 % fraktilen og den maksimale fanelængde, som er afbilledet i plot A opsummeret.

| Fraktil/maks.           | 50 % [m] | 90 % [m] | Maks. [m] |
|-------------------------|----------|----------|-----------|
| $>9 \mu\text{g/L}$      | 13       | 28       | 48        |
| $> 100 \mu\text{g/L}$   | 9,2      | 21       | 42        |
| $> 1.000 \mu\text{g/L}$ | 6,3      | 19       | 33        |

**Tabel 1.** 50 og 90 % fraktiler, samt maksimalt opmålte fanelængder for totalindhold af kulbrinter.

Det fremgår endvidere af figur 1, at der generelt er en tendens til forureningsfanerne reduceres over tid, specielt indenfor de første ca. 2 år, hvorefter det er svært, på baggrund af dette datagrundlag, at konkludere om fanelængden stabiliseres, eller forsætter med at falde. Det væsentligste, der kan udtrækkes er dog, at intet tyder på at faneudbredelsen er stigende over tid.

Som beskrevet i afsnit 2.2 er der ved fremstilling af figur 1 (plot A) medtaget to datapunkter fra hver sag, henholdsvis fanelængden opmålt ud fra den første monitoringsrunde og fra den sidste monitoringsrunde. Da det af figur 1 (plot B, C og D) fremgår at fanelængderne reduceres over tid, er der i figur 2, opstillet et empirisk fordelingsplot, hvor der fra hver sag udelukkende er medtaget fanelængder fra den sidste monitoringsrunde.



**Figur 2.** Fanelængder i sidste monitoringsrunde for opløst gasolieforurening.

Som det fremgår af figur 2 er der ikke konstateret fanelængder med totalindhold af kulbrinter over Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterium mere end 28 m fra kildeområdet ved sidste monitoringsrunde.

I tabel 2 er 50 og 90% fraktilen og den maksimale fanelængde, som er afbilledet i figur 2 opsummeret.

| Fraktil/maks. | 50 % [m] | 90 % [m] | Maks. [m] |
|---------------|----------|----------|-----------|
| >9 µg/L       | 12       | 25       | 28        |
| > 100 µg/L    | 8,2      | 21       | 21        |
| > 1.000 µg/L  | 6        | 18       | 20        |

**Tabel 2.** 50 og 90 % fraktiler, samt maksimalt opmålte fanelængder for totalindhold af kulbrinter i afsluttende monitoringsrunde.

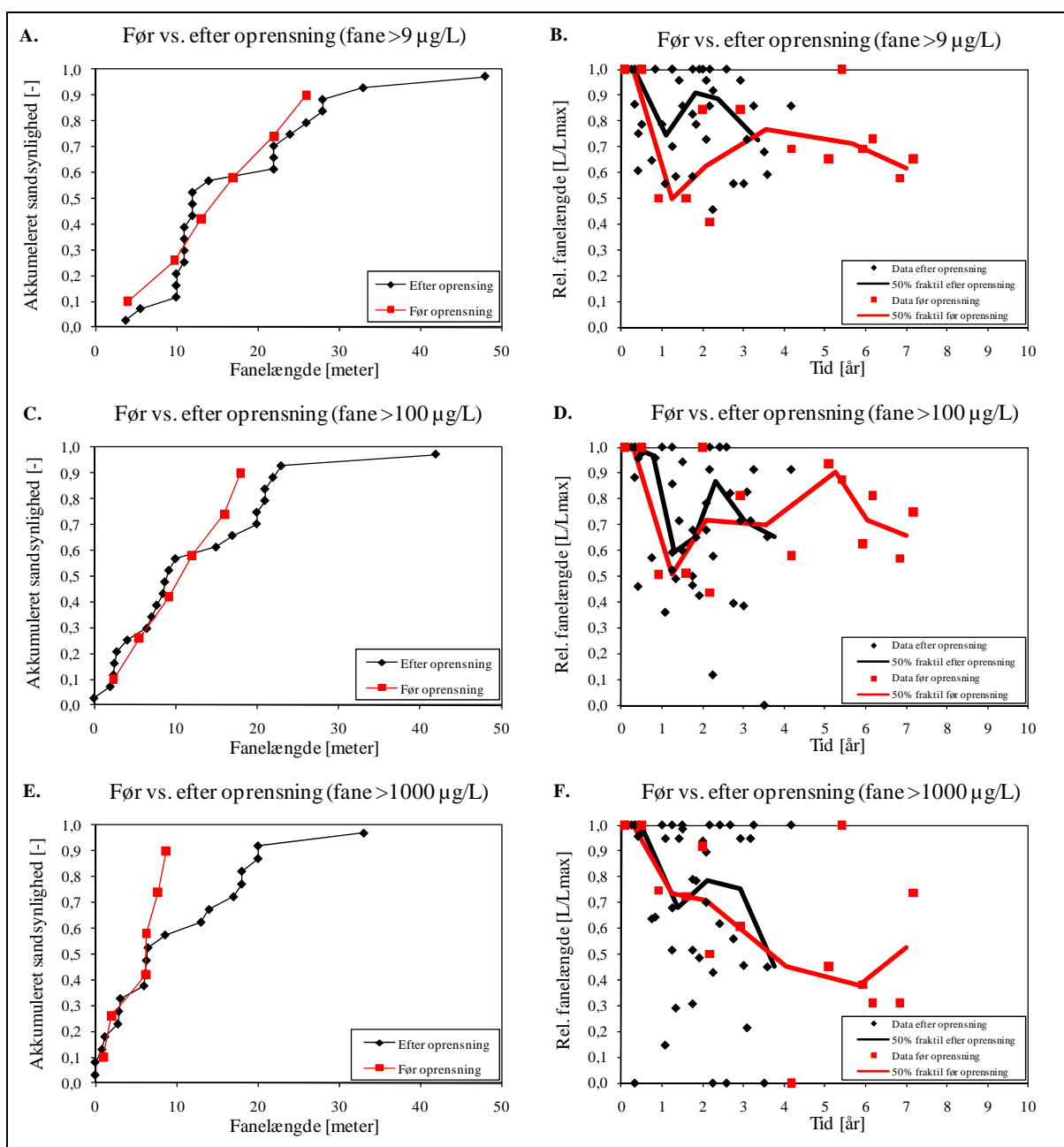
Sammenholdes tabel 1 og tabel 2, fremgår det, at det primært er de maksimalt opmålte fanelængder, der reduceres ved udelukkende at betragte fanelængderne ved den sidste monitoringsrunde. Efter en monitoringsperiode på 2-4 år kan der således maksimalt forventes faner på op til 25-30 meter. Dette indikerer dermed at der generelt forekommer en sammentrækning af fanerne over tid.

### 2.2.2 Før vs. efter afværg

Denne analyse er udført med henblik på at undersøge om det generelt kan siges, at afgravning af jordforureningen resulterer i kortere grundvandsfaner, og hvor stor forskellen i fanelængde i givet fald er. Der er således ikke skelet til spildstørrelse m.v. i denne analyse.

Dataene i forbindelse med denne dataanalyse er sorteret så data der kommer fra sager hvor monitoringsperioden forekommer før en afværgeløsning (3 stk.) er grupperet for sig, og sammenlignes med data fra sager, hvor monitoringsperioden forekommer efter en afværgeløsning (11 stk.).

Forureningsfanerne for de to grupperinger fremgår af figur 3.



**Figur 3.** Fanelængder for totalindhold af kulbrinter (A, C, E) og relative fanelængder over tid for opløst gasolieforurening (B, D, F).

I tabel 3 er 50 og 90% fraktilen og den maksimale fanelængde, som er afbilledet i figur 3 opsummeret.

| GV.konc          | >9 µg/L     |             |              | >100 µg/L   |             |              | >1.000 µg/L |             |              |
|------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
|                  | 50 %<br>[m] | 90 %<br>[m] | Maks.<br>[m] | 50 %<br>[m] | 90 %<br>[m] | Maks.<br>[m] | 50 %<br>[m] | 90 %<br>[m] | Maks.<br>[m] |
| Efter oprensning | 12          | 28          | 48           | 9,0         | 22          | 42           | 6,4         | 20          | 33           |
| Før oprensning   | 15          | 24          | 26           | 11          | 17          | 18           | 6,3         | 8,2         | 8,7          |

**Tabel 3.** 50 og 90 % fraktil samt maksimalt opmålte fanelængder for totalindhold af kulbrinter.

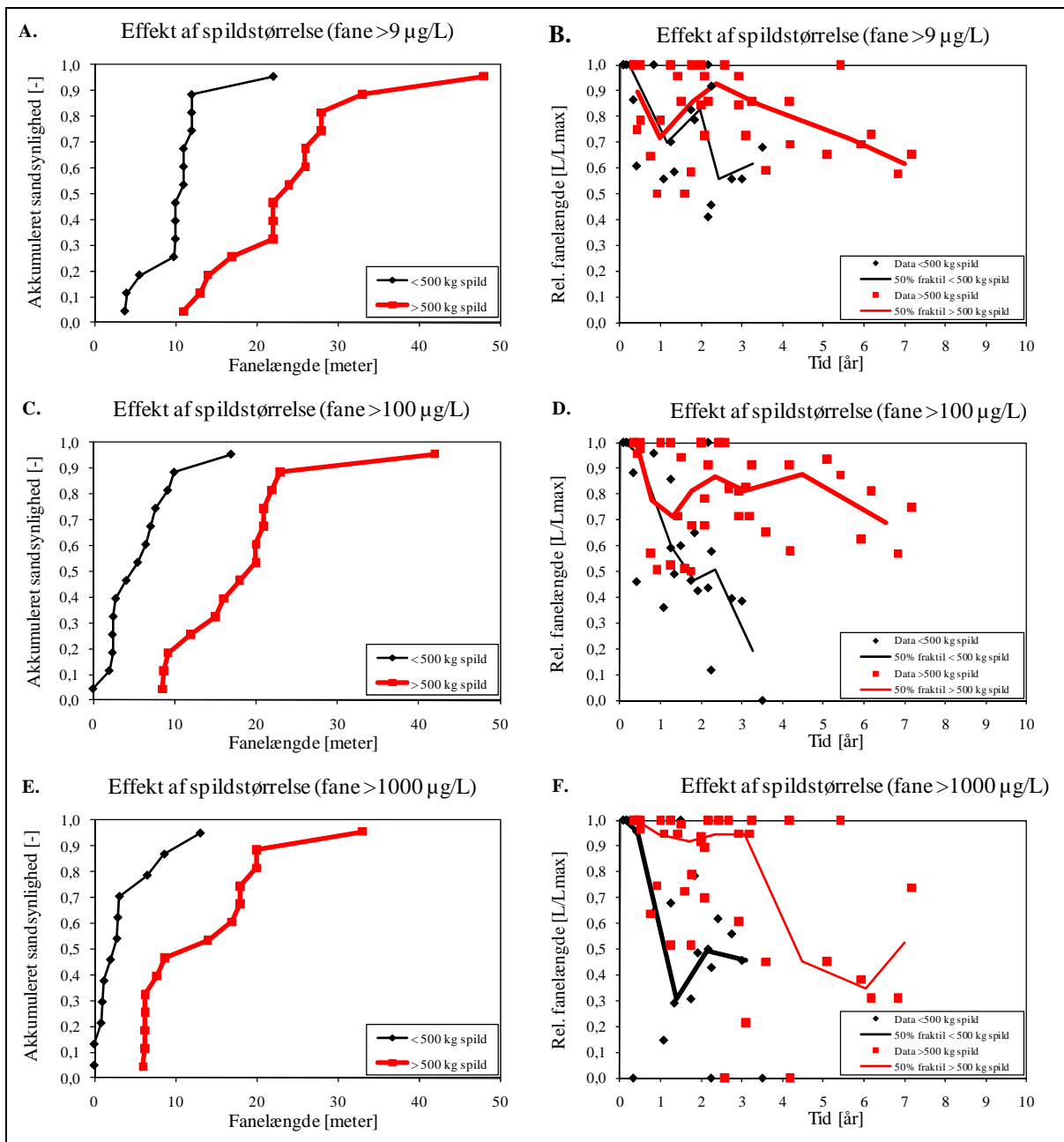
Som det fremgår af figur 3 og tabel 3, er der ikke nogen entydig forskel på fanelængderne opmålt på monitoringsrunder udført inden en oprensning ifht. fanelængder opmålt efter en oprensning for totalindhold af kulbrinter  $>9 \mu\text{g/L}$ .

Det fremgår endvidere af figur 3 (plot B, D og F) at der ikke forekommer en entydig tendens til forskelle i forureningsfanens udbredelse over tid.

### 2.2.3 Produktmængder

Dataene i forbindelse med denne dataanalyse er sorteret så data, der kommer fra sager med produktmængder  $< 500$  kg olie (7 stk.) er grupperet for sig og sager  $>500$  kg olie er grupperet for sig (7 stk.). Denne opdeling anvendes til at belyse om det kan eftervises, at sager med en relativt stor produktmængde forårsager længere forureningsfaner, og i givet fald hvor stor forskellen er.

Forureningsfanerne for de to grupperinger fremgår af figur 4.



**Figur 4.** Fanelængder for totalindhold af kulbrinter (A, C, E) og relative fanelængder over tid for opløst gasolieforurening (B, D, F).

I tabel 4 er 50 og 90% fraktilen og den maksimale fanelængde, som er afbilledet i figur 4 opsummeret.

| GV.konc   | >9 µg/L     |             |              | >100 µg/L   |             |              | >1.000 µg/L |             |              |
|-----------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
|           | 50 %<br>[m] | 90 %<br>[m] | Maks.<br>[m] | 50 %<br>[m] | 90 %<br>[m] | Maks.<br>[m] | 50 %<br>[m] | 90 %<br>[m] | Maks.<br>[m] |
| <= 500 kg | 11          | 12          | 22           | 4,8         | 10          | 17           | 3,0         | 9,8         | 13           |
| > 500 kg  | 23          | 32          | 48           | 19          | 23          | 42           | 11          | 20          | 33           |

**Tabel 4.** 50 og 90 % fraktiler, samt maksimalt opmålte fanelængder for totalindhold af kulbrinter.

Som det fremgår af figur 4 (plot A, C, E) og tabel 4, er der en entydig tendens til, at sager med en produktmængde >500 kg resulterer i fanelængder, der er ca. en faktor 2 større end fanerne fra sager med en produktmængde <500 kg. Fanerne med totalindhold af kulbrinter over Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterium (9 µg/L) fra sager med produktmængder <500 kg olie har således en medianstørrelse på 11 m, mens fanerne fra sager med produktmængder >500 kg har en medianstørrelse på 23 m.

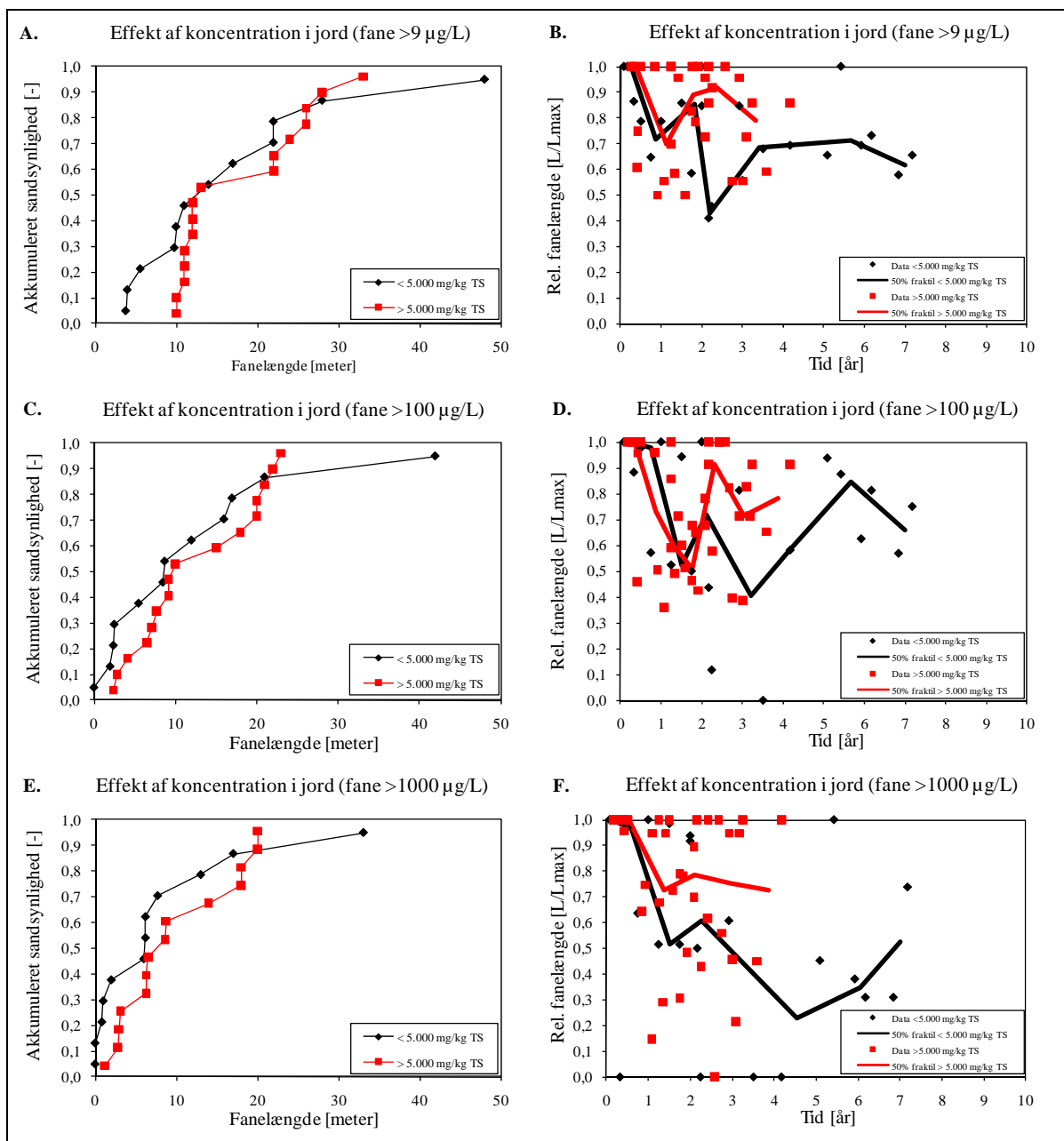
Det skal endvidere bemærkes, at 6 af de 7 sager med en produktmængde >500 kg olie havde relativt lave hydrauliske gradienter sammenlignet med sager med en mindre produktmængde. Dermed understreges effekten af produktmængden yderligere, idet en højere gradient, alt andet lige, vil medføre en større porevandshastighed og en større fanelængde.

Der er en entydig tendens til at fanerne fra sager med en produktmængde (<500 kg olie) reduceres hurtigere og til et lavere niveau. Fanerne fra sager med en produktmængde < 500 kg olie er således efter ca. 2-4 år reduceret med ca. 20-50 % svarende til en gennemsnitlig fanelængde på ca. 9 meter i sidste monitoringsrunde for indhold > 9 µg/L. Til sammenligning er fanerne fra sager med en produktmængde > 500 kg reduceret med ca. 10-30 % efter 7 år, svarende til en gennemsnitlig fanelængde i sidste monitoringsrunde på 21 m for indhold >9 µg/L.

#### 2.2.4 Maksimale målte jord koncentrationer

Dataene i forbindelse med denne dataanalyse er sorteret, så data, der kommer fra sager med maksimalt målte jordkoncentrationer < 5.000 mg/kg TS (6 stk.) er grupperet for sig og data fra sager med maksimalt målte jordkoncentrationer >5.000 mg /kg TS (8 stk.) er grupperet for sig. Denne opdeling anvendes til at belyse om det kan eftervises at sager med et relativt høje maksimale jordkoncentrationer i hot-spot/kildeområde forårsager længere forureningsfaner.

Forureningsfanerne for de to grupperinger fremgår af figur 5.



**Figur 5.** Fanelængder for totalindhold af kulbrinter (A, C, E) og relative fanelængder over tid for opløst gasolieforurening (B, D, F).

I tabel 5 er 50 og 90% fraktilen og den maksimale fanelængde, som er afbilledet i figur 5 opsummeret.

| GV.konc         | >9 µg/L     |             |              | >100 µg/L   |             |              | >1.000 µg/L |             |              |
|-----------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
|                 | 50 %<br>[m] | 90 %<br>[m] | Maks.<br>[m] | 50 %<br>[m] | 90 %<br>[m] | Maks.<br>[m] | 50 %<br>[m] | 90 %<br>[m] | Maks.<br>[m] |
| <5.000 mg/kg TS | 13          | 27          | 48           | 8,6         | 21          | 42           | 6,1         | 17          | 33           |
| >5.000 mg/kg TS | 13          | 27          | 33           | 9,6         | 21,5        | 23           | 7,6         | 19          | 20           |

**Tabel 5.** 50 og 90 % fraktiler, samt maksimalt opmålte fanelængder for totalindhold af kulbrinter.



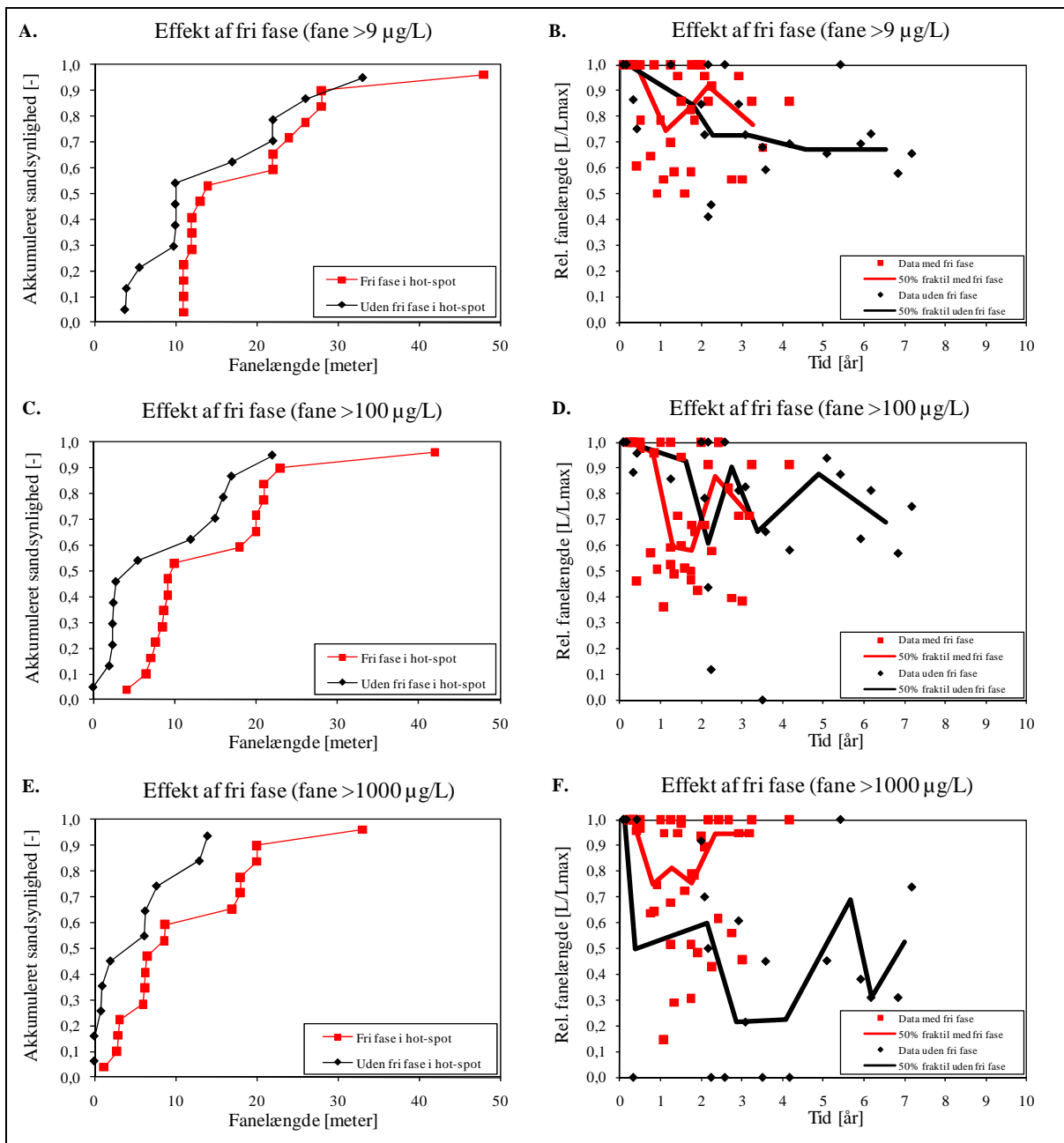
Som det fremgår af figur 5 (plot A, C, E) og tabel 5, er der ingen entydig forskel på fanelængderne fra sager med jordkoncentration < 5.000 mg/kg TS ifht. fanelængder fra sager med en jordkoncentration > 5.000 mg/kg TS. Den efterladte jordkoncentration er således tilsyneladende ikke afgørende for faneudbredelsens størrelse.

Der er indikationer på, at faner fra sager hvor den maksimale jordkoncentration er < 5.000 mg/kg TS reduceres til et lavere niveau sammenlignet med faner fra sager med en maksimal jordkoncentration >5.000 mg/kg TS.

#### 2.2.5 Fri fase i hot-spot/kildeområde

Dataene i forbindelse med denne dataanalyse er sorteret således, at data, der kommer fra sager med ingen eller mindre grad af fri fase (fri fase ikke observeret, men der er på to sager konstateret indhold på henholdsvis 17.000 og 14.000 µg/L) er grupperet for sig (6 sager) og data fra sager med fri fase (8 sager) er grupperet for sig. Denne opdeling anvendes til at belyse om det kan eftervises, at sager med forekomst af fri fase i hot-spot/kildeområdet forårsager længere forureningsfaner.

Forureningsfanerne for de to grupperinger fremgår af figur 6.



**Figur 6.** Fanelængder for totalindhold af kulbrinter (A, C, E) og relative fanelængder over tid for opløst gasolieforurening (B, D, F).

I tabel 6 er 50 og 90% fraktilen og den maksimale fanelængde, som er afbilledet i figur 6 opsummeret.

| GV.konc           | >9 µg/L     |             |              | >100 µg/L   |             |              | >1.000 µg/L |             |              |
|-------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
|                   | 50 %<br>[m] | 90 %<br>[m] | Maks.<br>[m] | 50 %<br>[m] | 90 %<br>[m] | Maks.<br>[m] | 50 %<br>[m] | 90 %<br>[m] | Maks.<br>[m] |
| Opløst forurening | 10          | 26          | 33           | 4,2         | 17          | 22           | 4,1         | 13          | 14           |
| <b>Fri fase</b>   | <b>14</b>   | <b>28</b>   | <b>48</b>    | <b>9,6</b>  | <b>22</b>   | <b>42</b>    | <b>7,6</b>  | <b>20</b>   | <b>33</b>    |

**Tabel 6.** 50 og 90 % fraktiler, samt maksimalt opmålte fanelængder for totalindhold af kulbrinter.

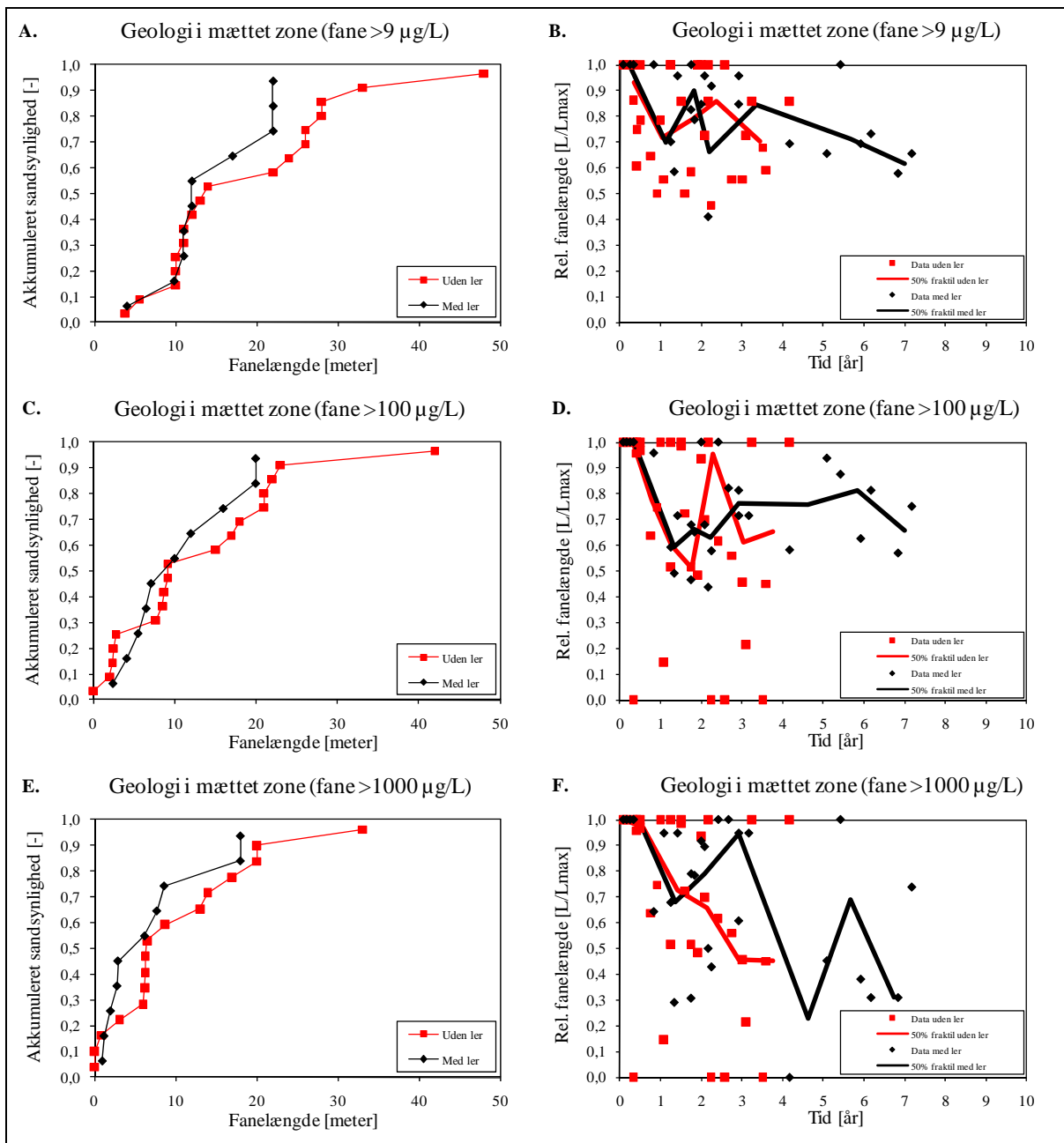
Som det fremgår af figur 6 (plot A, C, E) og tabel 6, er der en entydig tendens til at sager, hvor der forekommer fri fase, resulterer i fanelængder der er ca. 1,5-2 gange længere end fanerne på lokaliteter, hvor der ikke eller kun i begrænset omfang forekommer fri fase.

Det fremgår endvidere af figur 6 (plot A, C, E), at faner fra sager uden fri fase (med et indhold  $>9 \mu\text{g/L}$ ) reduceres til et lavere niveau sammenlignet med faner fra sager hvor der forekommer fri fase. Denne effekt er endnu mere entydig for indhold  $>1.000 \mu\text{g/L}$ . Dette er intuitivt logisk, idet faner hvor der er fri fase fortsat tilføres kulbrinter i hot-spot fra den fri fase som vil lede til at koncentrationen på  $1.000 \mu\text{g/L}$  opretholdes. Det er dermed logisk, at forureningsfanen med et indhold  $>1.000 \mu\text{g/L}$  er mere stabil på sager hvor der forekommer fri fase. Det skal dog bemærkes at der er betydelig forskel på datamaterialets udstrækning over tid.

#### 2.2.6 Geologi i vandførende aflejringer

I denne analyse undersøges betydningen af geologien i de vandførende aflejringer, idet såvel porevandshastigheden som sorption og biologisk omsætning vil være under indflydelse af de geologiske aflejringer. Det indsamlede datamateriale tillader udelukkende analyse af om det har betydning, at der forekommer ler i de vandførende aflejringer, som dermed sammenlignes med alle andre vandførende aflejringer som er fundet i de 14 sager. Der er således fundet fem sager med ler i de vandførende aflejringer som sammenlignes med de andre 9 sager, hvor der ikke er konstateret lerede vandførende aflejringer.

Forureningsfanerne for de to grupperinger fremgår af figur 7.



**Figur 7.** Fanelængder for totalindhold af kulbrinter (A, C, E) og relative fanelængder over tid for opløst gasolieforurening (B, D, F).

I tabel 7 er 50 og 90% fraktilen og den maksimale fanelængde, som er afbilledet i figur 7 opsummeret.

| GV.konc         | >9 µg/L     |             |              | >100 µg/L   |             |              | >1.000 µg/L |             |              |
|-----------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
|                 | 50 %<br>[m] | 90 %<br>[m] | Maks.<br>[m] | 50 %<br>[m] | 90 %<br>[m] | Maks.<br>[m] | 50 %<br>[m] | 90 %<br>[m] | Maks.<br>[m] |
| Med ler         | 12          | 22          | 22           | 8,6         | 20          | 20           | 4,6         | 18          | 18           |
| <b>Uden ler</b> | <b>14</b>   | <b>30</b>   | <b>48</b>    | <b>9,2</b>  | <b>22</b>   | <b>42</b>    | <b>6,4</b>  | <b>20</b>   | <b>33</b>    |

**Tabel 7.** 50 og 90 % fraktiler, samt maksimalt opmålte fanelængder for totalindhold af kulbrinter.

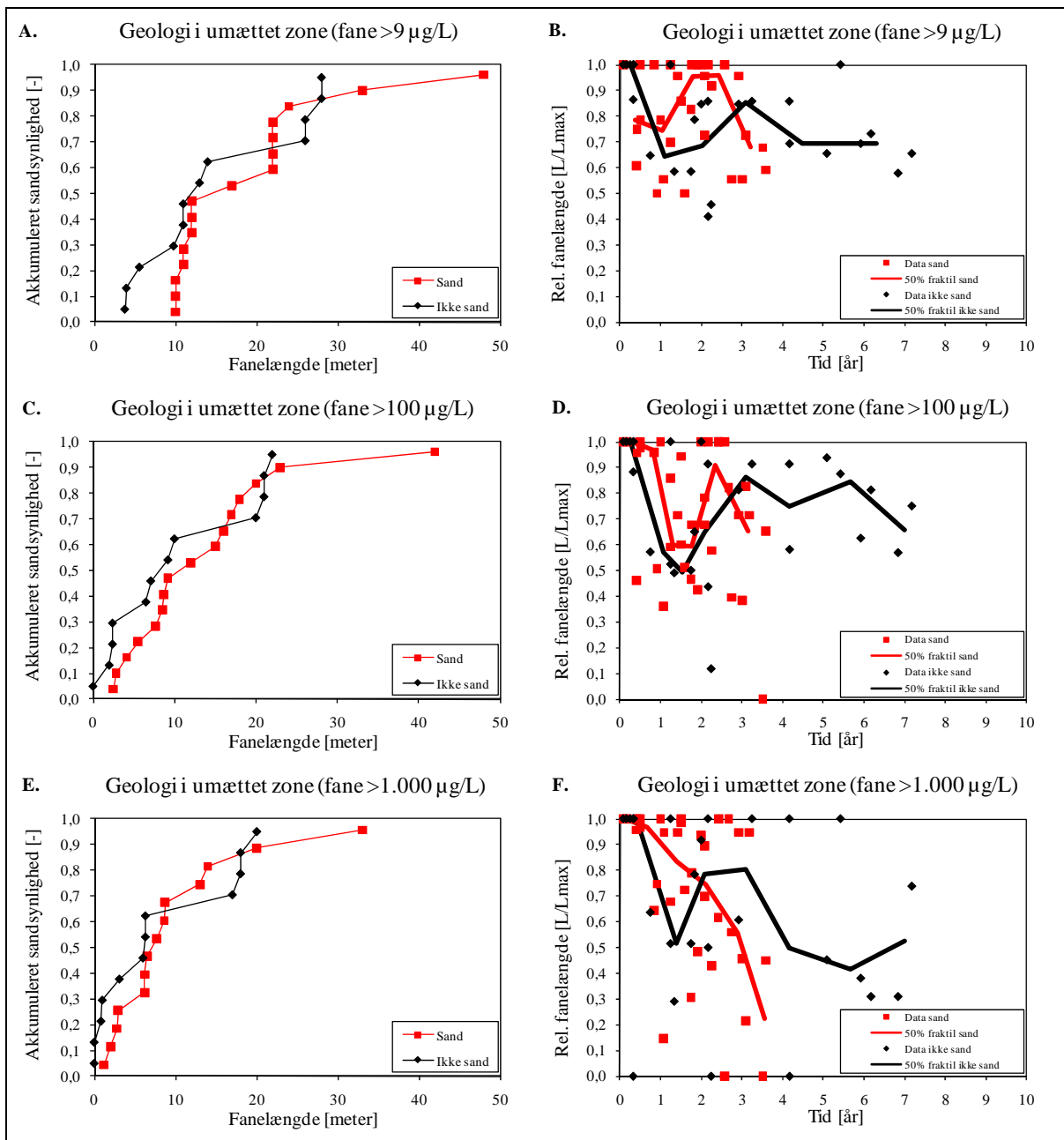
Som det fremgår af figur 7 (plot A, C, E) og tabel 7, er der en tendens til, at sager hvor der er ler i de vandførende aflejringer resulterer i at forureningsfanerne er mindre, end når der ikke er ler. Dette skyldes, at grundvandshastigheden og dermed forureningsspredningen er mindre i lerede aflejringer. Desuden indikerer dataene i figur 7 (plot A, C, E) at der er betydelig mindre variation i de målte forureningsfaner på sager med ler i de vandførende aflejringer (set ved mere lodrette empiriske fordelingsplots).

Endvidere fremgår det af figur 7 (plot B, D, F) at der ikke er nogen entydig forskel i den tidslige udvikling i størrelsen på forureningsfanerne.

#### 2.2.7 Geologi i umættet zone

I denne analyse undersøges betydningen af geologien i den umættede zone over grundvandsforureningen, idet de geologiske og fysisk/kemiske egenskaber for forskellige aflejringer vil influere på hvor hurtigt forureningen vil udvaskes til grundvandet. Det indsamlede datamateriale tillader udelukkende analyse af om der forekommer sand i umættet zone ved spildstedet (8 sager), som dermed sammenlignes med 6 sager med ler, muld, tørv eller grus i umættet zone.

Forureningsfanerne for de to grupperinger fremgår af figur 8.



**Figur 8.** Fanelængder for totalindhold af kulbrinter (A, C, E) og relative fanelængder over tid for opløst gasolieforurening (B, D, F).

I tabel 8 er 50 og 90% fraktilet og den maksimale fanelængde, som er afbilledet i figur 8 opsummeret.

| GV.konc         | >9 µg/L     |             |              | >100 µg/L   |             |              | >1.000 µg/L |             |              |
|-----------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
|                 | 50 %<br>[m] | 90 %<br>[m] | Maks.<br>[m] | 50 %<br>[m] | 90 %<br>[m] | Maks.<br>[m] | 50 %<br>[m] | 90 %<br>[m] | Maks.<br>[m] |
| Uden sand       | 12          | 28          | 28           | 8,2         | 21          | 22           | 6,2         | 18          | 20           |
| <b>Med sand</b> | <b>15</b>   | <b>29</b>   | <b>48</b>    | <b>11</b>   | <b>22</b>   | <b>42</b>    | <b>7,1</b>  | <b>18</b>   | <b>33</b>    |

**Tabel 8.** 50 og 90 % fraktiler, samt maksimalt opmålte fanelængder for totalindhold af kulbrinter.

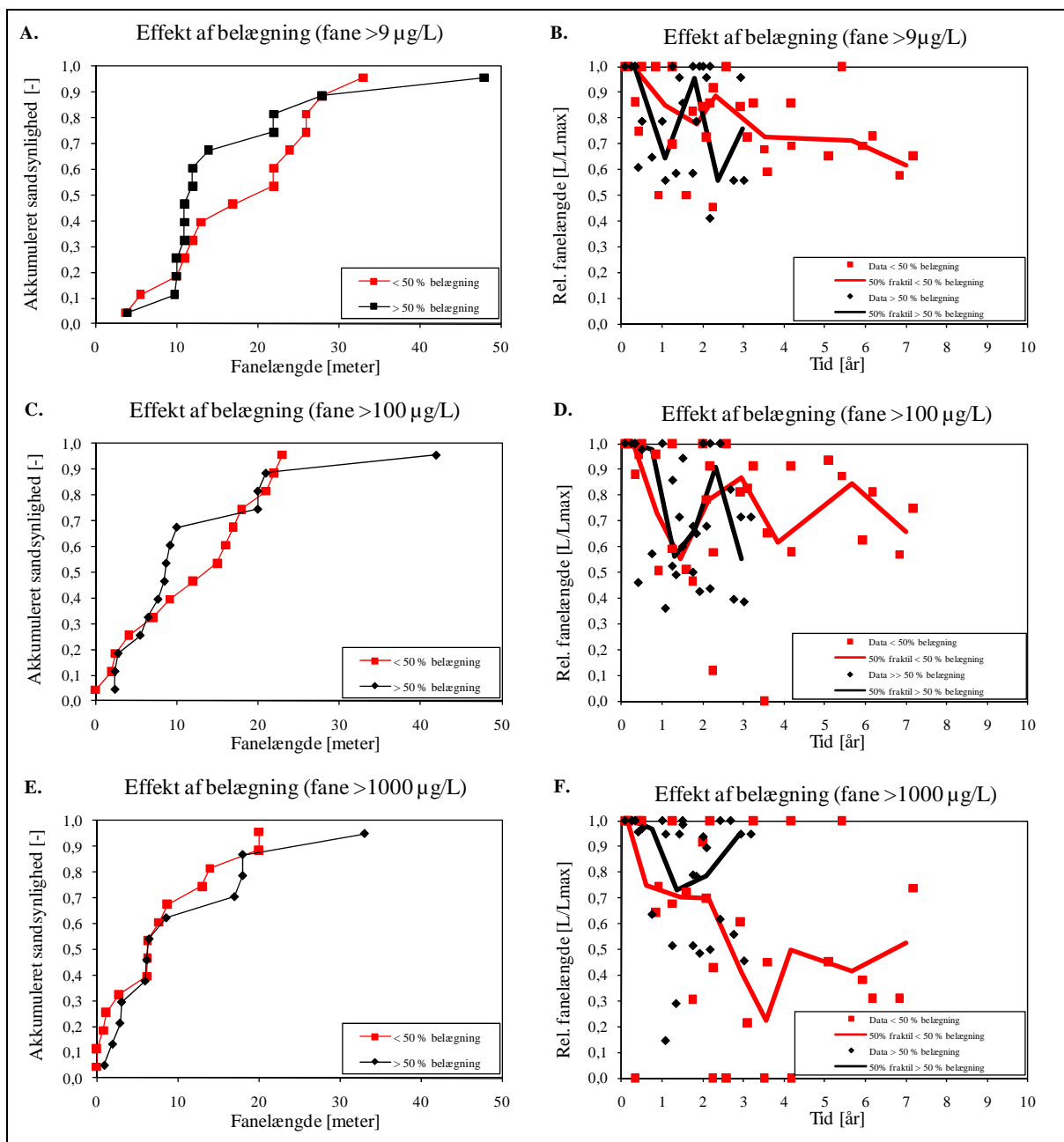
Som det fremgår af figur 8 (plot A, C, E) og tabel 8, kan der ikke konstateres en væsentlig forskel på fanelængderne, og der observeres således ingen væsentlig indflydelse af hvilke aflejringer, der forekommer i umættet zone, på fanelængden i den mættede zone.

Der ses endvidere ingen væsentlig forskel på den tidlige udvikling i faner med et totalindhold af kulbrinter  $>9 \mu\text{g/L}$ .

#### 2.2.8 Belægning ved terræn over jordforurening

Dataene i forbindelse med denne dataanalyse er sorteret så data der kommer fra sager med en vurderet fraktion af jordforurening/restforurening under belægning på  $<50\%$  (7 sager) er grupperet for sig og data fra sager med en vurderet jordforurening/restforurening under belægning på  $>50\%$  (7 sager) er grupperet for sig. Denne opdeling anvendes til at belyse om denne forskel i infiltrationsforholdene kan have indflydelse på længden af forureningsfanerne.

Forureningsfanerne for de to grupperinger fremgår af figur 9.



**Figur 9.** Fanelængder for totalindhold af kulbrinter (A, C, E) og relative fanelængder over tid for opløst gasolieforurening (B, D, F).

I tabel 9 er 50 og 90% fraktilet og den maksimale fanelængde, som er afbilledet i figur 9 opsummeret.

| GV.konc         | >9 µg/L     |             |              | >100 µg/L   |             |              | >1.000 µg/L |             |              |
|-----------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
|                 | 50 %<br>[m] | 90 %<br>[m] | Maks.<br>[m] | 50 %<br>[m] | 90 %<br>[m] | Maks.<br>[m] | 50 %<br>[m] | 90 %<br>[m] | Maks.<br>[m] |
| >50 % belægning | 12          | 26          | 48           | 8,6         | 20,7        | 42           | 6,4         | 18          | 33           |
| <50 % belægning | 20          | 27          | 33           | 14          | 22          | 23           | 6,3         | 18          | 20           |

**Tabel 9.** 50 og 90 % fraktiler, samt maksimalt opmålte fanelængder for totalindhold af kulbrinter.



Vurderet ud fra figur 9 (plot A, C, E) og tabel 9 er der ikke en entydig forskel i fanelængder som følge af belægningsgraden over jordforureningen. I den aktuelle analyse er belægningsgraden, og dermed forskel i infiltrationsforholdene, ikke styrende for længden på forureningsfanerne i de undersøgte sager.

I forhold til den tidlige udvikling som fremgår af figur 9 (plot B, D, F) vurderes det endvidere, at der heller ikke her kan udledes en forskel på de to datagrupperinger.

#### 2.2.9 Stabiliserede fanelængder

Det er forventeligt, at nogle af de primære faktorer, der influerer på fanelængden er adsorption, dispersion og biologisk nedbrydning. Af disse tre faktorer vil adsorption og dispersion have samme effekt fra start slut, mens den biologiske omsætning først vil sætte ind efter en tilvænningsfase (lag fase). Da gasolie er et blandingsprodukt, vil omsætningen erfaringsmæssigt gå hurtigst for BTEX'er og relativt kortkædede kulbrinter, mens det vil tage længere tid inden omsætningen af relativt langkædede kulbrinter slår igennem. Følger den biologiske omsætning dette mønster vil det, hvis omsætningsraterne er tilstrækkeligt store, lede til, at der i begyndelsen vil forekomme de længste fanelængder for totalindhold af kulbrinter, men at fanelængden gradvist reduceres, når biomassen tilpasses substratet (fyringsolie). Efter dette kan det forventes, at der, alt andet lige, vil indstille sig en ligevægt imellem tilført olie fra kildeområdet, transporten og den biologiske omsætning. Er kilden reduceret/oprenset, vil fanerne trække sig sammen.

Da der, som omtalt i afsnit 2.2.1, er en tendens til, at forureningsfanerne reduceres over tid, skal det bemærkes, at der ved stabilisering af fanelængder i nærværende rapport menes stabilisering efter en reduktion af fanen. Perioden, der går indtil fanen i denne sammenhæng vurderes at være stabiliseret, er således perioden indtil at fanen i disse større sager ved monitoring er dokumenteret stabile/svindende og kan derfor ikke som sådan anvendes til generelt at fastlægge/udvide monitoringsperioden for grundvandsforurening.

I tabel 10 er der opstillet en oversigt, hvor den første periode indtil fanelængderne for indhold  $>9 \mu\text{g/L}$  stabiliseres er vurderet, og hvor det er vurderet til hvilket niveau, i forhold til første monitoringsrunde fanerne stabiliseres. Begge tal er visuelt vurderet ud fra figur 1 (plot B,C,D) og figur 2-9 (plot B, D, F).

| Datagruppering                        | Initial reduktionsfase<br>[år] | Stabiliseret reduktionsniveau<br>[%] |
|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Alle data                             | 1-2                            | 20-40                                |
| Før oprensning                        | 1-2                            | 30-50                                |
| Efter oprensning                      | 1-2                            | 10-30                                |
| Produkt <500 kg olie                  | 2-3                            | 30-50                                |
| Produkt >500 kg olie                  | 1-2                            | 10-30                                |
| Jordkoncentration <5.000 mg/kg<br>TS  | 2-3                            | 30-60                                |
| Jordkoncentration >5.000 mg/kg<br>TS  | 1-2                            | 10-30                                |
| Uden fri fase i kildeområde           | 2-3                            | 30-40                                |
| Med fri fase i kildeområde            | 1-2                            | 10-30                                |
| Ler i vandførende aflejringer         | 1-2                            | 10-30                                |
| Uden ler i vandførende aflejringer    | 1-2                            | 10-30                                |
| Uden sand i umættet zone              | 1-2                            | 20-40                                |
| Sand i umættet zone                   | 1-2                            | 10-30                                |
| Belægning <50% over<br>jordforurening | 1-2                            | 20-30                                |
| Belægning >50% over<br>jordforurening | 1-2                            | 20-30                                |

**Tabel 10.** Vurderede tidsrum indtil fanelængden stabiliseres (initial reduktionsfase) og niveau, hvor fanelængden stabiliseres relativt til de maksimalt opmålte fanelængder (stabiliseret niveau).

Af tabel 10 fremgår det, at der er en tendens til, på trods af de relativt brede intervaller, at fanelængder, der stabiliseres over en periode på 1-2 år stabiliseres ved en relativt mindre reduktion (overvejende 10-30 % reduktion) i fanelængde sammenlignet med fanelængder der er relativt længere om at stabiliseres (varierer mellem 30 og 60 % reduktion). Dette indikerer, at hastigheden, hvormed fanelængden mindskes er relativt ens, men, at fanelængden fra nogle sagsgrupperinger bare reduceres yderligere efter de 1-2 år. Der er således indikationer på, at der kan forventes den relativt største reduktion i fanelængde fra sager med en produktmængde <500 kg olie, fra sager uden fri fase i kildeområdet samt ved en jordkoncentration < 5.000 mg/kg TS.

Ved gennemgang af den tidlige udvikling i fanelængden på de enkelte sager i bilag B, kan det observeres, at der overvejende er en faldende tendens, som det også fremgår af figur 1 (plot B, C og D). Der forekommer dog på flere sager enkelte monitoringsrunder, hvor totalindholdene af kulbrinter stiger efter først at være faldet. Dette gør sig eksempelvis gældende på Kielstrupvej. I flere tilfælde, hvor der forekommer en monitoringsrunde, hvor forureningsfanen er længere kan

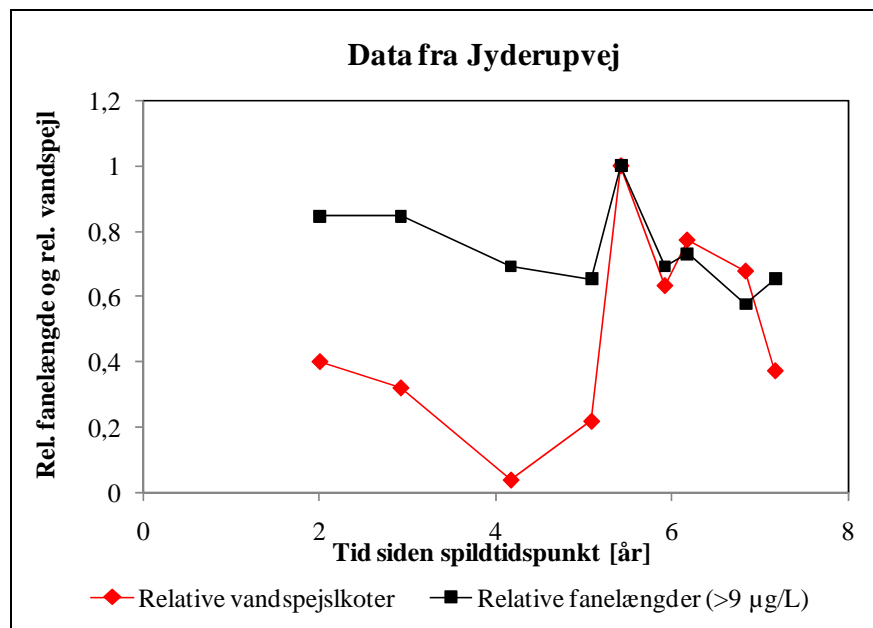
det sammenkobles med kraftige ændringer i vandspejlet, hvilket er undersøgt og uddybet nærmere i følgende afsnit.

#### 2.2.10 Fanelængde vs. relativt grundvandsspejl

Af bilag B fremgår det, at der på nogle sager forekommer midlertidigt stigende fanelængder efter at der over tid har været en faldende tendens. Det er derfor undersøgt om, der er en sammenhæng mellem fanelængden og det relative vandspejl på de enkelte sager. De pågældende sager, hvor der pludselig i en tidsserie forekommer midlertidigt stigende fanelængder, og som er inddraget i analysen fremgår oversigtsmæssigt af bilag A.

Visuelt vurderet, kan sagerne inddeles i to grupper med modsat rettede effekter, én gruppe, hvor stigende grundvandsspejl resulterer i længere forureningsfaner og én gruppe, hvor faldende grundvandsspejl resulterer i længere forureningsfaner. Ifht. dataene fra Nøkkentved, er der ingen pejledata i perioden, hvor ændringen i fanelængde forekommer hvorfor data fra denne sag ikke behandles yderligere i nærværende afsnit.

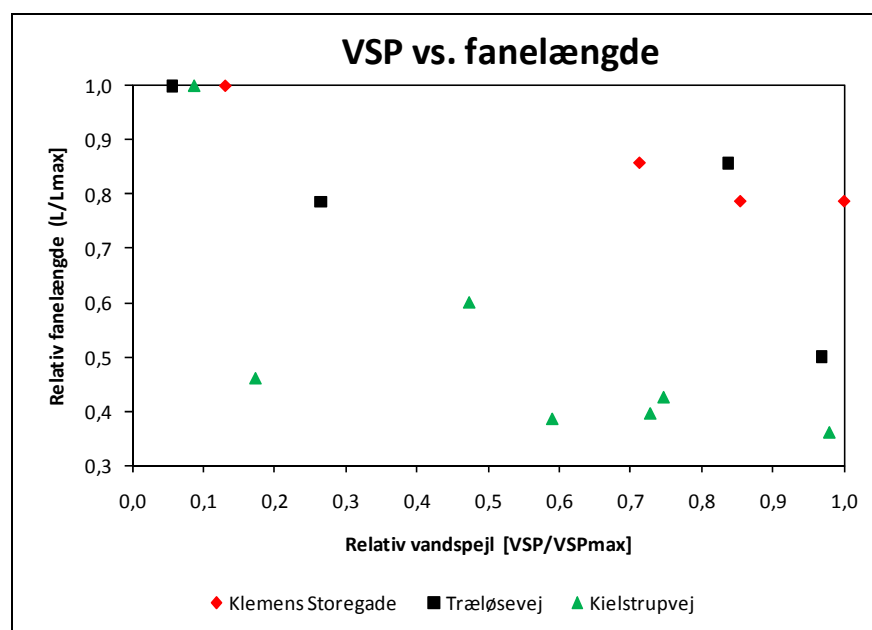
Sagerne, hvor det visuelt er vurderet, at stigende grundvandsspejl er sammenfaldende med længere forureningsfaner er Jyderupvej, Lindevangsvej, Snedronningvej og Vostervej. Det er forsøgt plottet de relative grundvandsspejl (VSP/VSPmax) mod relative fanelængder (L/Lmax), men der er ikke fundet en entydig sammenhæng ved denne analyse. Det vurderes dog, at der er et sammenfald på disse sager med, at den kraftigste stigning i vandspejlet er sammenfaldende med længere forureningsfaner. Som et eksempel på dette er der i figur 10 plottet de relative vandspejl over tid sammen med den relative fanelængde over tid for dataene fra Jyderupvej.



**Figur 10.** Relativt vandspejl og relativ fanelængde (>9 µg/L) fra Jyderupvej.

Som det fremgår af figur 10 er der en tendens til, at den pludselige stigning i vandspejl efter ca. 5,5 år er sammenfaldende med en midlertidigt længere forureningsfane i en ellers overordnet set faldende tendens. Af bilag B kan tilsvarende sammenfald findes for Lindevangsvej, Snedronningvej, og Vostervej. Dette underbygger dermed en hypotese om, at der ved højerestående vandspejl kan forekomme større udvaskning af forureningskomponenter. Der er ses dog ingen entydig sammenhæng mellem ændring af vandspejlsniveau og relativ koncentration af TVOC.

I figur 11 er de relative vandspejlskoter (VSP/VSPmax) for Træløsevej, Klemens Storgade og Kielstrupvej plottet mod de relative fanelængder (L/Lmax).



**Figur 11.** Relativ fanelængde plottet mod relativt vandspejl. På Træløsevej og Klemens Storegade er anvendt fanelængdedata for indhold >9 µg/L mens der på Kielstrupvej er anvendt fanelængde data med indhold >100 µg/L.

Som det fremgår af figur 11 er der en svag tendens til, at der ved lave relative vandspejlskoter forekommer relativt lange forureningsfaner på de pågældende sager.

En mulig årsag til at der forekommer to modsat rettede effekter af grundvandspejlets beliggenhed på fanelængden kan være, at der grundet forskelle i porevandshastighed vil være forskelle i hvor hurtigt effekten af udvaskning ved højt GVS kan registreres i form af en længere forureningsfane. Desuden kan det spille ind, hvor stor en mængde residual olie fase i umættet zone der midlertidigt bliver tilgængelig for udvaskning.

#### 2.2.11 Beregnet vs. opmålt fanelængde

I det følgende er der foretaget en sammenligning imellem de opmålte forureningsfaner, som er stabiliseret eller under sammentrækning (jf. afsnit

2.2.1), og stabiliserede fanelængder beregnet med Miljøstyrelsens JAGG-model. Der er udført JAGG-beregninger på tre niveauer; hhv. på trin II b, på trin III med anaerob nedbrydning og på trin III med aerob nedbrydning.

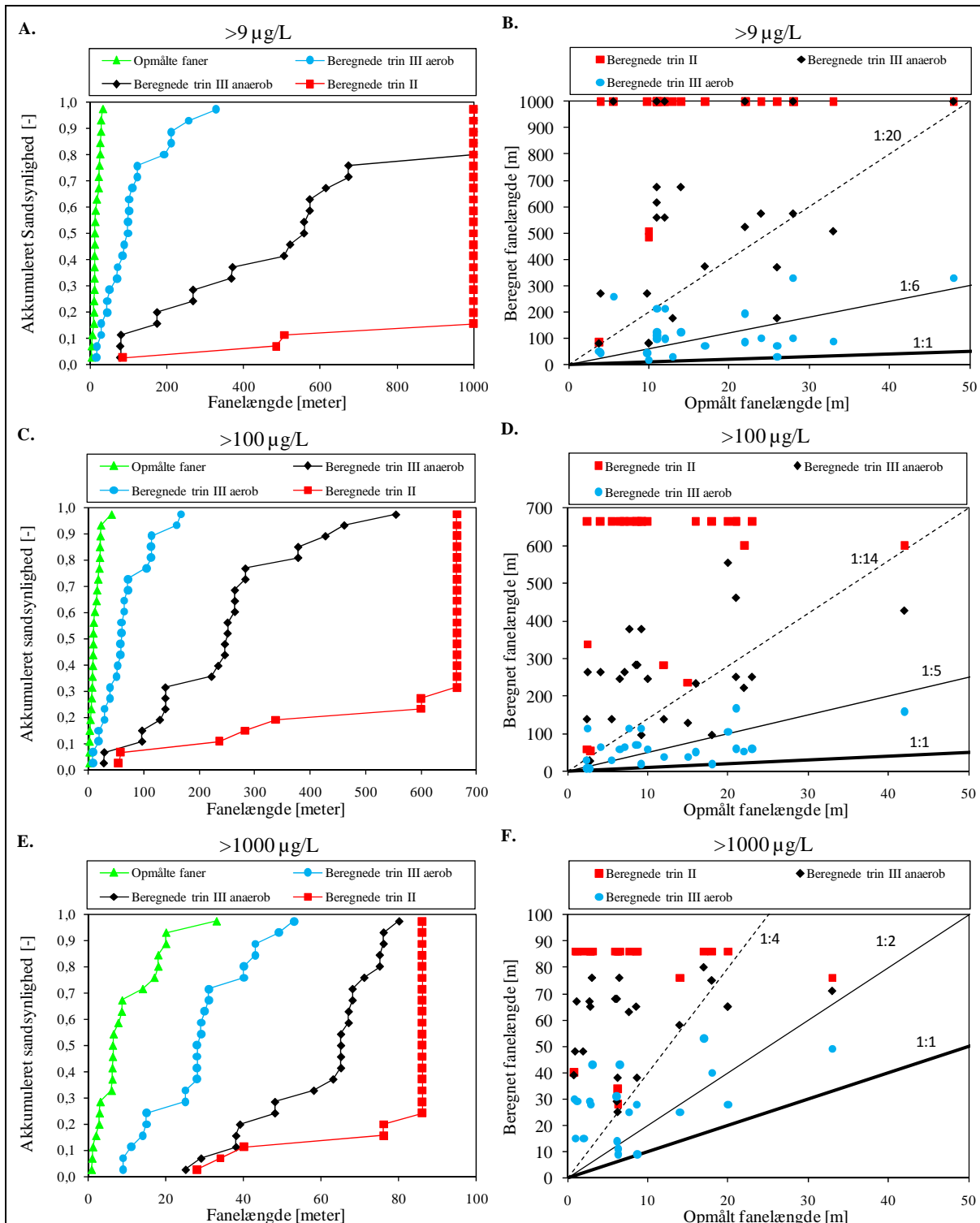
Ved beregningerne er der anvendt sagsspecifikke data for den hydrauliske gradient og koncentrationen for totalindhold af kulbrinter i hot-spot. Desuden er JAGG-modellens standardparametre for hydraulisk ledningsevne, porøsitet, effektiv porøsitet, vandmættet porøsitet, massefylde og indhold af organisk kulstof – baseret på den aktuelle sedimenttype anvendt i beregningerne. På sager hvor der foreligger undersøgelsesresultater af de hydrauliske parametre som slug-test, er disse data inddraget. Der er ikke udført beregninger af fanelængden for Rosevej, da JAGG-modellen ikke indeholder standardparametre for tørv/gytje, som er konstateret i de terrænnære vandførende aflejringer på denne lokalitet.

De konstaterede grundvandskoncentrationer i hot-spot er benyttet direkte i beregningerne; dvs. at der ikke foretages en korrektion for den effektive filterlængde, og den maksimale opblandingsdybde er i alle tilfælde sat så højt, at den ikke får indflydelse på beregningerne. Udføres beregninger under mere realistiske antagelser (i relation til korrektion for effektiv filterlængde i hot-spot og en eventuel nedstrøms begrænsning i opblandingsdybden) vil de beregnede fanelængder i alle tilfælde blive længere end i nærværende beregninger. Da de beregnede fanelængder, som det fremgår af figur 12, i alle tilfælde er længere end de opmålte ville kontrasten imellem opmålte og beregnede fanelængder blive endnu større.

Da JAGG-modellen i version 1.5 kun indeholder standard nedbrydningsparametre for BTEX'erne i fyringsolie, er beregningerne på trin III udført med benzen som modelstof, selvom benzen kun udgør en meget begrænset fraktion af kulbrinterne. Dette betyder at JAGG-modellens anaerobe og aerobe nedbrydningskonstant for benzen, henholdsvis 0,001 og 0,01 dag<sup>-1</sup> er benyttet i beregningerne sammen med tabelværdier for benzens oktanol-vand fordelingskoefficient ( $\log K_{ow}$ ), 2,1 /1/. Det primære ved sammenligningen er derfor, da JAGG modellen er et risikovurderingsværktøj og ikke en prediktionsmodel, om benzen som modelstof resulterer i konservative estimater på forureningsfanerne på de 14 sager og ikke hvilket modelstof, der benyttes i beregningerne. Det præciseres derfor, at formålet ikke er, at anvende det modelstof der beregningsmæssigt resulterer i de længste forureningsfaner, men at illustrerer at benzen i de 13 konkrete sager, resulterer i konservative estimater på længden af forureningsfanen.

JAGG modellen regner normalt kun frem til 100 m, men er til dette formål udvidet til at regne til 1.000 m. Alle beregnede forureningsfaner som er længere end 1.000 m opgives derfor som 1.000 m. Det bemærkes, at anvendelse af Miljøstyrelsens JAGG-model i afstande over 100 m skal betragtes som orienterende, da standardværdierne for dispersivitet over 100 m er behæftet med større usikkerhed end standardværdierne bestemt for afstande <100 m /2/. Det understreges dermed, at der er tale om en ekstrapolering ud over JAGG modellens anbefalede anvendelsesområde, hvorfor beregnede fanelængder over 100 m skal betragtes med forbehold og således kun er orienterende.

De beregnede fanelængder er plottet mod de opmålte i figur 12.



**Figur 12.** Akkumulerede fordelingsplot (A, C og E) for opmålte og beregnede forureningsfaner samt beregnede og opmålte fanelængder (B, D og F) plottet sammen med rette linjer der angiver, hvor mange gange den beregnede fanelængde er længere end den opmålte. Det bemærkes, at der forekommer forskellig skalering på x- og y-akserne.

I tabel 11 er 50 og 90% fraktilen og den maksimale fanelængde, som er afbilledet i figur 12 (plot A, C og E) opsummeret.

| GV.konc                 | >9 µg/L     |             |              | >100 µg/L   |             |             | >1.000 µg/L |             |             |
|-------------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                         | 50 %<br>[m] | 90 %<br>[m] | Maks.<br>[m] | 50 %<br>[m] | 90 %<br>[m] | Maks<br>[m] | 50 %<br>[m] | 90 %<br>[m] | Maks<br>[m] |
| Opmålte faner           | 13          | 28          | 48           | 9,2         | 22          | 42          | 6,3         | 19          | 33          |
| JAGG trin II            | >1.000      | >1.000      | >1.000       | 664         | 664         | 664         | 86          | 86          | 86          |
| JAGG trin III (anaerob) | 558         | >1.000      | >1.000       | 412         | 249         | 554         | 65          | 76          | 80          |
| JAGG trin III (aerob)   | 98          | 243         | 328          | 114         | 59          | 167         | 28          | 43          | 53          |

**Tabel 11.** 50 og 90 % fraktiler, samt maksimalt opmålte/beregnete fanelængder for totalindhold af kulbrinter.

Som det fremgår af figur 12 (plot A og B), overstiger alle de beregnede fanelængder (>9 µg/L) på trin II, de faktiske fanelængder med mere end en faktor 20. Af tabel 11 fremgår det desuden, at median-fanen (>9 µg/L og 50 %) på trin II er mere end 76 gange længere end den opmålte median-fane.

Fanerne (>9 µg/L), beregnet på trin III med anaerob nedbrydning, er alle mere end 6 gange længere end de opmålte, med en medianfanelængde, som er ca. 43 gange længere end de opmålte. Dette er dog forventeligt, da der på langt de fleste sager er aerobe forhold i de terrænnære magasiner, jf. afsnit 2.2.12.

Fanerne (>9 µg/L), beregnet på trin III med aerob nedbrydning, er generelt en faktor 0 (svarende til 1:1 i figur 12 plot B) og 20 gange længere end de opmålte, med en medianfanelængde som er ca. 7-8 gange længere end de opmålte.

Der er som det fremgår af figur 12 (plot B) tre datapunkter hvor forholdet mellem beregnede og opmålte fanelængder er relativt tæt på én. To af disse punkter stammer fra Viderupgårdvej, hvor der som den eneste af de 14 udvalgte sager blev konstateret deciderede anaerobe forhold (her defineret som < 1-2 mg ilt/L). Det sidste punkt er fra Jyderupvej hvor der opstrøms forureningen, blev konstateret en iltkoncentration på 3-4 mg ilt /L, hvilket er relativt lavt sammenlignet med et typisk iltindhold opstrøms forureningen på de resterende sager på 6-9 mg ilt/L. Der kan derfor forekomme iltbegrænsede nedbrydningsforhold på Jyderupvej som medføre, at den egentligt beregnede fanelængde vil være længere.

Alle de beregnede fanelængder for indhold >100 µg/L (plot C og D) og >1.000 µg/L (plot E og F) er ligeledes længere end de opmålte forureningsfaner for villatanksager.

Ovenstående resultater underbygger, at der forekommer fysiske og/eller biologiske processer i grundvandet, som har en kraftigt begrænsende effekt på forureningsfanens faktiske udbredelse. Det skal i øvrigt bemærkes, at der ikke er regnet med opkoncentrering i filteret (korrigeret for filterlængde) eller begrænsning af opblandingsdybden, hvilket ville have forlænget de beregnede forureningsfaner betydeligt og forstærket tendensen i figur 12 yderligere. Disse to korrektioner er dermed ikke

nødvendige for konservativt at beregne fanelængden med benzen som modelstof.

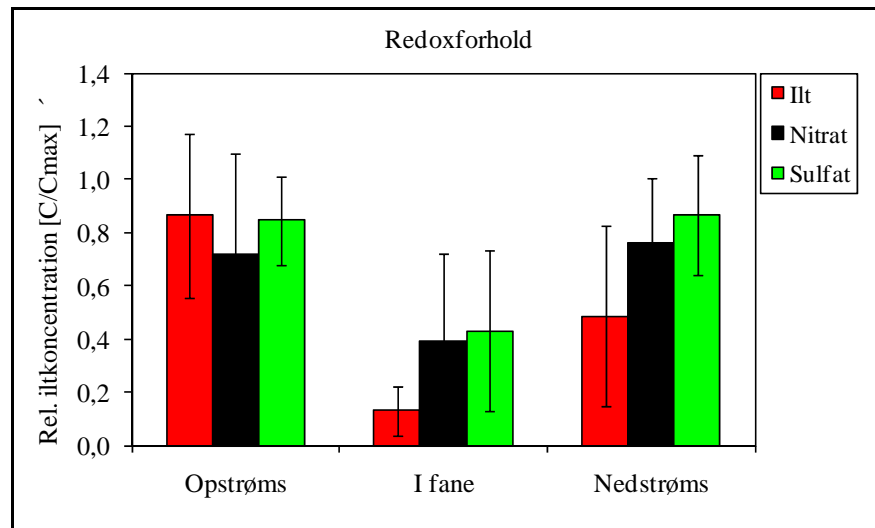
Da fyringsolie består af mange komponenter, hvor sammenhørende og velunderbyggede data for nedbrydningsrate og adsorptionskonstant ikke foreligger, vil valget af modelstof altid lede til diskussioner i forhold til prædiktion af fanelængden. I relation til risikovurdering er det imidlertid ved beregningerne vist, at anvendelse af benzen som modelstof i JAGG-beregningerne på samtlige 13 sager resulterer i konservative estimater på fanelængden i forhold til de opmålte fanelængder.

#### 2.2.12 Redoxforhold

På ni af de 14 inddragede sager foreligger kemiske analyser af ilt, nitrat og sulfat i grundvandet. På en del sager er der endvidere analyseret for opløst jern og totalindhold af jern, men dette har i de fleste tilfælde været under detektionsgrænsen, hvorfor jernanalyserne ikke er inddraget.

De indsamlede data for indhold af ilt, nitrat og sulfat er analyseret opstrøms forureningen (svarende til det forventelige baggrundsniveau på den specifikke lokalitet), i fanen og nedstrøms grundvandsforureningen. Datamaterialet tillader ikke vurdering af anaerobe magasiner, idet der kun er fundet data fra et anaerobt magasin på Viderupgårdsvej (iltindhold under 1-2 mg/L, mens der er fundet data fra 8 sager hvor magasinet er aerobt opstrømsforureningsfanen.

Af figur 13 fremgår middelværdi og standardafvigelse for indhold af ilt, nitrat og sulfat (normerede værdier ifht. opstrøms koncentrationer)



**Figur 13.** Relativ middelværdi og standardafvigelse for relativ ilt-, nitrat- og sulfat-koncentration hhv. opstrøms forureningen, i fanen og nedstrøms fanen med et indhold >9 µg/L.

Som det fremgår af figur 13, er indholdet af både ilt, nitrat og sulfat lavest i fanen. Koncentrationen af ilt er reduceret med ca. 75 %, mens nitrat- og sulfatkoncentrationen er reduceret med ca. 50 %.



Nedstrøms er indholdet af ilt steget ifht. indholdet i fanen, således at det ligger på et niveau, svarende til lidt over halvdelen af hvad der er målt opstrøms. Koncentrationen af nitrat og sulfat nedstrøms ligger på et niveau svarende til hvad der er målt opstrøms. Resultaterne for redoxfølsomme parametre indikerer således, at der generelt er aerobe forhold på lokaliteterne og at der forekommer biologisk nedbrydning af oliekomponenter i grundvandet. At der generelt er aerobe forhold er ikke overraskende, da magasinerne generelt er terrænnære.

Det er endvidere undersøgt om der kunne udledes en sammenhæng mellem redoxforhold og fanelængder, hvilket ikke var muligt. Dette kan muligvis tilskrives, at andre faktorer såsom effekten af produktmængden udvisker en eventuel effekt af redoxforholdene.

### 2.2.13 Vertikal spredning

I erfaringsopsamlingen har det primære fokus været på at belyse forureningsspredningen i de terrænnære grundvandsmagasiner. Der findes relativt få boringsdata fra dybereliggende grundvandsmagasiner, der kan bidrage til analyse af den vertikale spredning af forurening på villasager. Årsagen til dette er, at det ud fra en risikomæssig betragtning ikke er fundet relevant, at udføre filtersatte boringer i dybereliggende grundvandsmagasiner. En anden begrundelse for ikke at udføre dybe boringer er, at der med den tidshorizont, som en villatanksag normalt gennemføres indenfor ikke kan forventes gennembrud til dybere magasiner. Det vil derfor fortrinsvis være på sager med restforurening, og hvor der er udført grundvandsmonitoring, at der foreligger analysedata fra dybereliggende magasiner.

De 39 lokaliteter, der er udvalgt til detailscreening, er gennemgået for filtersætning i et dybereliggende magasin. På 11 lokaliteter er der placeret mindst 1 filter i et dybereliggende grundvandsmagasin (typisk placeret nedstrøms jord- og terrænnær grundvandsforurening). Af de 11 lokaliteter er der på 3 lokaliteter foretaget mere end 2 monitoringsrunder i det dybereliggende magasin. Følgende kan sammenfattes ud fra gennemgangen:

- Den maksimalt påviste koncentration i et dybereliggende filter er 65 µg/l totalkulbrinter.
- Der er ikke påvist overskridelser af kvalitetskriterier for BTEX'er i dybereliggende magasiner.
- På 5 af de 11 lokaliteter er der udelukkende konstateret < 5 µg/l i det dybereliggende magasin.
- Indholdet af totalkulbrinter i dybereliggende magasiner aftager til < 5 µg/l efter maksimalt 2 års monitoring.

Det er således erfaringen, at den horisontale udbredelse generelt er langt vigtigere end den vertikale udbredelse.

#### 2.2.14 Konstaterede indhold af BTEX'er

Der er lavet en opgørelse af antallet af kemiske analyser, hvor der forekommer overskridelse af Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterier for BTEX'er. Med i denne undersøgelse er der ikke medregnet analyseresultater fra boringer, hvor der aldrig er konstateret overskridelse af Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterier såsom afgrænsende boringer.

På nogle sager er det valgt ikke at udtage prøver til kemisk analyse hvis der forekommer fri fase. I disse tilfælde er det i det følgende antaget, at der er forekommer overskridelse af Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterier for både totalindhold af kulbrinter og BTEX'er.

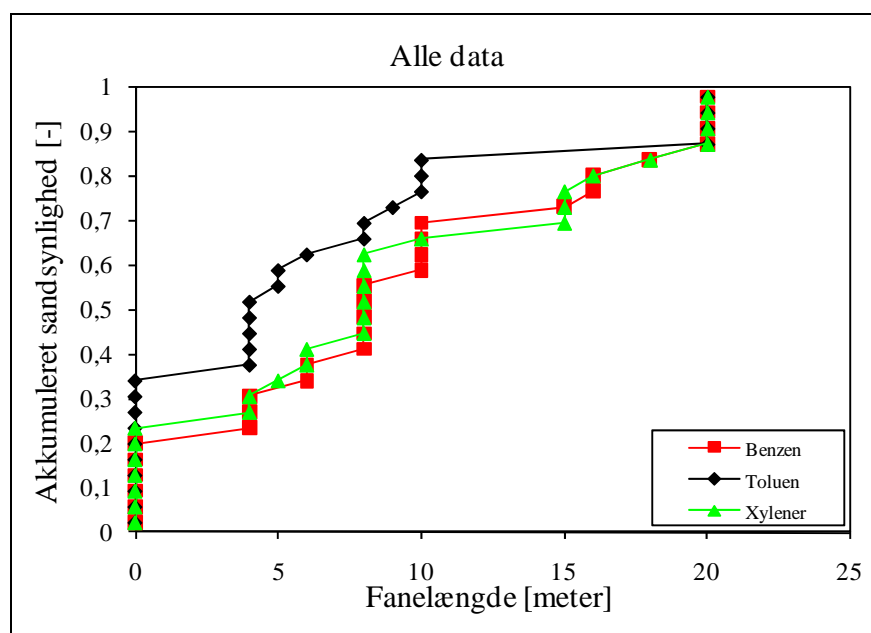
Der er således konstateret 154 overskridelser af Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterium for benzen, 119 overskridelser for toluen, 138 overskridelser for xylener og 307 overskridelser for totalindhold af kulbrinter.

I én kemisk analyse, på Kielstrupvej (boring S3), er der konstateret et indhold af benzen over Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterium uden, at der blev konstateret totalindhold af kulbrinter over Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterium.

Der forekommer således overskridelse af Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterium for benzen i 51% af målingerne, hvor der er overskridelse for totalindhold af kulbrinter, for toluen forekommer der overskridelse af Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterium i 39 % af målingerne, hvor der er overskridelse af totalindholdet af kulbrinter og for xylener forekommer der overskridelse af Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterier i 45 % af de tilfælde, hvor der er overskridelse af grundvandskvalitetskriteriet for totalindhold af kulbrinter. Dette viser, at det i praksis er totalindholdet af kulbrinter, der vil være den styrende parameter for risikovurderinger af grundvandsforurening på villatanksagerne.

På de enkelte sager er der foretaget en visuel vurdering af forureningsfanens udbredelse for benzen, toluen og xylener, ved at opmåle afstanden manuelt mellem boringer hvor der forekommer overskridelse af grundvandskvalitetskriterierne. Dertil er lagt halvdelen af afstanden til næste nedstrøms boring hvor der ikke er konstateret indhold over grundvandskvalitetskriterierne. Opmålingen er udført for henholdsvis første og sidste monitoringsrunde for hver sag. Fra hver sag er forureningsfanen for de tre komponenter opmålt ved henholdsvis første og sidste monitoringsrunde.

Forureningsfanerne for BTEX'er fremgår af figur 14.



**Figur 14.** Fanelængder for benzen, toluen og xylener.

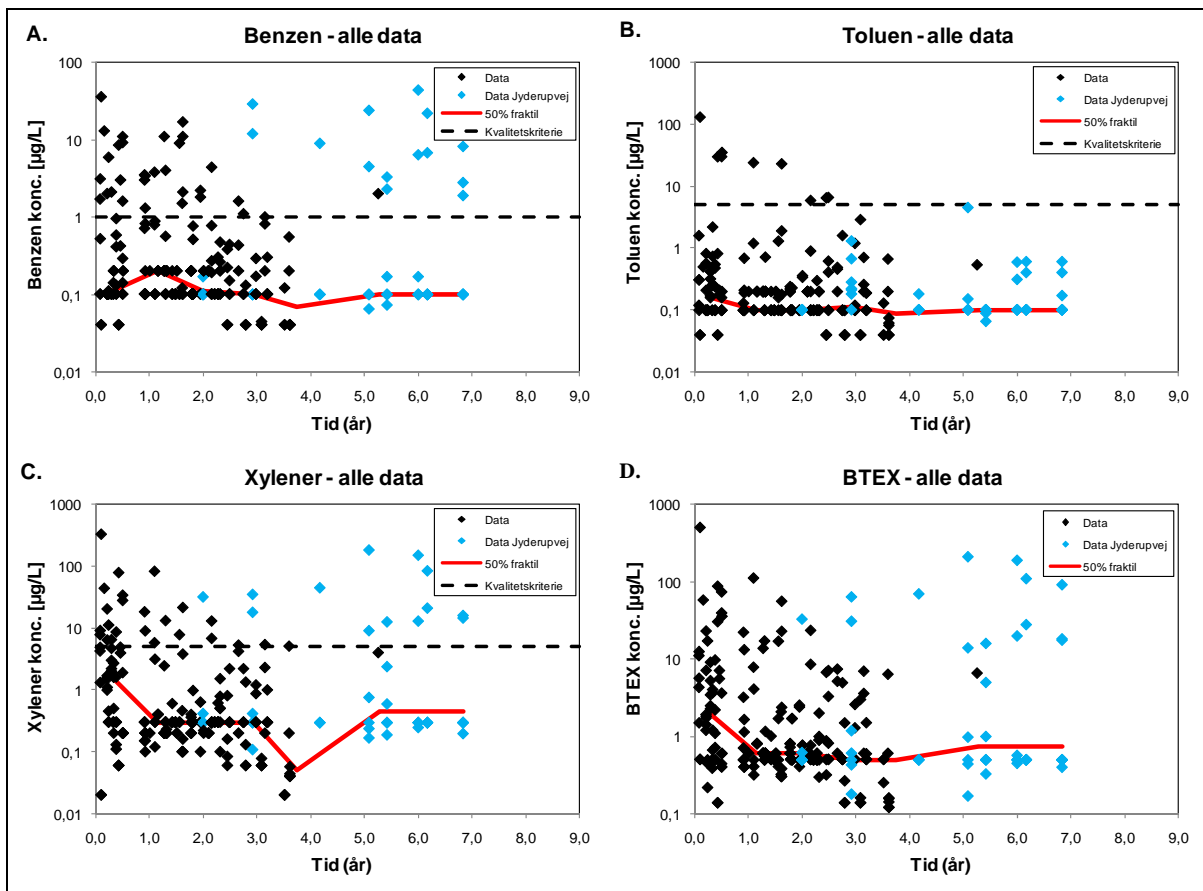
Som det fremgår af figur 12 er der ikke konstateret fanelængder for benzen, toluen og xylener over Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterier på mere end ca. 20 m fra kildeområdet.

I tabel 12 er 50 og 90 % fraktilen og den maksimale fanelængde, som er afbilledet i figur 14 opsummeret.

| Fraktil/maks. | 50 % [m] | 90 % [m] | Maks. [m] |
|---------------|----------|----------|-----------|
| Benzen        | 8        | 20       | 20        |
| Toluene       | 4        | 20       | 20        |
| Xylene        | 8        | 20       | 20        |

**Tabel 12.** 50 og 90 % fraktiler, samt maksimalt opmålte fanelængder for totalindhold af kulbrinter.

Som det fremgår af tabel 12 er 50% fraktilen for fanelængden af benzen, toluen og xylene på henholdsvis ca. 8, 4 og 8 m. Det er endvidere konstateret, at forureningsfanen for benzen, toluen og xylene i samtlige tilfælde er kortere end de tilsvarende opmålte forureningsfaner for totalindhold af kulbrinter. Til vurdering af den tidlige udvikling af indholdet af BTEX'er i borerne, er koncentrationen af benzen, toluen, xylene og BTEX'er plottet mod spild-/afværgetidspunktet i figur 15. Der er kun medtaget resultater fra borer hvor der på et tidspunkt i monitoringsforløbet er konstateret indhold over analysemetodernes detektionsgrænser. I borer hvor der er konstateret fri fase, er der i flere tilfælde ikke udført kemisk analyse, men blot konstateret at der var fri fase, og ofte opmålt hvor højt det står op i filterrøret. Målinger hvor der er konstateret fri fase er ikke medtaget i nærværende vurdering, men forureningsfaner med fri fase behandles i afsnit 2.3. Der er dog medtaget analyseresultater fra borer hvor der senere i monitoringsforløbet ikke længere konstateres fri fase, men kun opløst forurening.



**Figur 15.** Målte koncentrationer i alle boringer plottet mod tid siden spild/afværgetidspunktet for benzen (A), toluen (B), xylener (C) og BTEX'er (D).

Som det fremgår af figur 15 ligger 50% fraktilen for alle komponenter aldrig over Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterier. Af samme årsag er det svært på baggrund af 50% fraktilen at afgøre om der generelt er en trend i den tidlige variation i koncentrationen af enkeltkomponenter og BTEX'er. Det vurderes dog, ved visuel vurdering af analyseresultaterne, at der er en dalende tendens over tid, som er mest udpræget for toluen.

Det bemærkes endvidere, at næsten alle datapunkterne der ligger efter 4 år fra spild-/afværgetidspunktet, er fra en sag, Jyderupvej, hvor der ikke er udført egentlige afværgeforanstaltninger, men blot udført monitoring af grundvandsforureningen over tid. Det skal i denne forbindelse bemærkes, at analyselaboratoriet i nogle tilfælde på denne sag har karakteriseret indholdene som benzin. Sammenholdt med de relativt høje fraktioner af BTEX'er indikerer dette, at der på denne sag forekommer grundvandsforurening ud over det, der er spildt fra villatanken. Fokuseres udelukkende på de resterende sager (sorte datapunkter) fremgår det, at de konstaterede indhold af enkeltkomponenter og BTEX'er reduceres over tid.

#### 2.2.15 Fanelængder på sager frasorteret efter detailscreening

Der er udført en yderligere overordnet gennemgang af de 25 sager der blev frasorteret efter detailscreening udført af DMR og NIRAS, for at undersøge, hvordan fanelængderne fra disse sager stemmer overens med de resultater der er opnået ved den primære databehandling. Ved denne gennemgang er der anvendt data fra 9 af de 25 frasorterede sager. De resterende 16 sager er ikke anvendt eks. pga. lidt eller slet ingen indhold af kulbrinter i grundvandet, fravær af en entydig strømningsretning, fordi det ikke vides med sikkerhed om jordforureningen har nået grundvandet eller fordi forureningen ikke vurderes at være afgrænset tilstrækkeligt til at vurdere fanelængden.

Overordnet kan det konkluderes, at der på disse sager ikke er konstateret fanelængder større end ca. 30 m, med indhold over Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterium for totalindhold af kulbrinter. Det skal dog understreges, at fanerne på disse sager ikke er opmålt ved den standardiserede metode, som er anvendt i nærværende erfaringsopsamling, men ved opmåling af en vurderet faneudbredelse ud fra de afgrænsende borer. Ud af de 9 sager er oliespildet i 4 af sagerne vurderet til < 100 kg olie og på disse sager er der ikke konstateret fanelængder længere end 10 m med totalindhold af kulbrinter over Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterium.

Resultaterne fra de 25 sager frasorteret ved detailscreeningen understøtter dermed det, der er fundet på sagerne der indgår i erfaringsopsamlingen.

#### 2.2.16 Sammenfatning fanelængder

I nærværende erfaringsopsamling er det bl.a. formålet, at belyse størrelsen på fanelængder fra grundvandsforurening, samt at vurdere eventuelle sammenhænge med en række forhold, som vurderes at kunne have indflydelse på forureningsfanens længde. Datagrundlaget omfatter samtlige de 14 ud af 1.436 villatanksager, der opfylder de opstillede objektive screeningskriterier.

Af tabel 13 fremgår en oversigt over median og maksimalt opmålte fanelængder fra de forskellige sagsgrupperinger.

| Sagsgruppering:          | Medianen [m] | Maksimum [m] |
|--------------------------|--------------|--------------|
| Alle data                | 13           | 48           |
| Sidste monitoringsrunde  | 12           | 28           |
| Før afværge              | 15           | 26           |
| Efter afværge            | 12           | 48           |
| <=500 kg olie            | 11           | 22           |
| >500 kg olie             | 23           | 48           |
| < 5.000 mg/kg TS         | 13           | 48           |
| > 5.000 mg/kg TS         | 13           | 33           |
| Opløst forurening        | 10           | 33           |
| Fri fase                 | 14           | 48           |
| Med ler i mættet zone    | 12           | 22           |
| Uden ler i mættet zone   | 14           | 48           |
| Uden sand i umættet zone | 12           | 28           |
| Med sand i umættet zone  | 15           | 48           |
| >50 % belægning          | 12           | 48           |
| <50 % belægning          | 20           | 33           |
|                          |              |              |
| JAGG trin II             | >1.000       | >1.000       |
| JAGG trin III (anaerob)  | 558          | >1.000       |
| JAGG trin III (aerob)    | 98           | 328          |

**Tabel 13.** 50 % fraktilen og maksimale opmålte/beregnete fanelængder for totalindhold af kulbrinter >9 µg/L.

*Længde af forureningsfaner* Følgende kan sammenfattes omkring fanelængden under henvisning til oversigten i tabel 13:

- Den maksimale fanelængde for grundvandsforurening (totalindhold af kulbrinter), som overskrider Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterium på 9 µg/L, er 48 meter og medianen er 13 meter.
- Vurderet ud fra den sidste monitoringsrunde på hver sag, er det til sammenligning fundet, at de maksimale fanelængder for totalindhold af kulbrinter på >9 µg/L er på 28 meter og medianen er 12 meter. Dette understøtter således, at der forekommer en reduktion i fanelængder over tid.
- Produktmængden er, den af de undersøgte parametre, der vurderes at have den største betydning for fanelængden, idet produktmængder, der er <500 kg olie, resulterer i fanelængder med en median værdi på 11 meter mens fanelængder fra sager med en produktmængde >500 kg olie har en medianlængde på 23 meter. Forureningsfanerne for sager med en produktmængde <500 kg er altså halvt så lange som fanelængder fra sager med en produktmængde >500 kg olie.
- Tilstedeværelsen af fri fase medfører længere forureningsfaner, svarende til en fanelængde med en medianlængde på 14 m

sammenlignet med fanerne på sager, hvor der ikke er observeret fri fase, hvor medianfanelængden er opmålt til 10 m. Forskellen i fanelængde er dermed en faktor ca. 1,5.

- Det er konstateret, at de opmålte faner på sager med ler i de vandførende aflejringer er lidt kortere (medianlængde på 12 m) end fanerne opmålt på sager, hvor der ikke er ler i de vandførende aflejringer (medianlængde på 14 m), hvilket indikerer at porevandshastigheden influerer på fanelængden. Faner fra sager med lerede aflejringer er maksimalt opmålt til 22 m for indhold  $>9 \mu\text{g/L}$ , mens de maksimalt opmålte faner på sager uden ler i de vandførende aflejringer er opmålt til 48 m.
- På baggrund af det foreliggende datagrundlag har det ikke været muligt at konstatere en sammenhæng mellem fanelængder og geologi i umættet zone, effekt af oprensning, belægningsgrad over jordforurening. Dette kan muligvis tilskrives, at andre faktorer såsom effekten af produktmængden udviser en eventuel mindre effekt af disse faktorer. Endvidere har det ikke været muligt, at vurdere effekten af redoxforhold i de vandførende aflejringer, idet der kun på en ud af 9 sager med data for redoxforhold er anaerobe forhold i de vandførende aflejringer.
- Ved sammenligning imellem opmålte fanelængder og fanelængder beregnet med Miljøstyrelsens JAGG-model trin IIb bliver de beregnede faner mere end en faktor 20 længere end de opmålte faner, og den beregnede median-fanelængde (50 % fraktil) er 1.000 m. Selv hvis benzen benyttes som modelstof ved beregning på trin III, og adsorption og nedbrydning medtages i beregningen af fanelængden, opnås beregnede fanelængder der overstiger de opmålte med en faktor ca. 8 og 42, under hhv. aerobe og anaerobe magasinforhold. Det bemærkes, at der i flere tilfælde er tale om en ekstrapolering ud over JAGG modellens anbefalede anvendelsesområde, hvorfor beregnede fanelængder over 100 m skal betragtes med forbehold og således kun er orienterende.
- I relation til risikovurdering er det således vist, at anvendelse af benzen som modelstof i JAGG-beregningerne (trin III) på samtlige de undersøgte sager resulterer i konservative estimater på fanelængden i forhold til de opmålte fanelængder.

#### *Reduktion af fanelængde*

Det er generelt konstateret, at fanerne fra sagerne i erfaringsopsamlingen reduceres over tid, og at den største reduktion forekommer over de første 1-3 år, hvorefter det ikke entydigt kan udledes om fanelængderne er stabile eller fortsat reduceres. Der er dog intet, der indikerer, at fanelængderne stiger over tid, hverken generelt eller hvis fanelængden betragtes på sagerne enkeltvis (jf. bilag B).

#### *Vertikal spredning*

Generelt er det konstateret, at den horisontale udbredelse af fyringsolieforurening i grundvandet langt overstiger den vertikale udbredelse. Der er således kun konstateret 11 lokaliteter, hvor der er placeret mindst 1 filter i et dybereliggende magasin. Der er maksimalt konstateret et totalindhold af kulbrinter på  $65 \mu\text{g/L}$  og ingen overskridelser for BTEX'er i dybereliggende magasiner. De konstaterede indhold reduceres til  $<5 \mu\text{g/L}$  efter maksimalt 2 års monitoring. Overordnet set kan

*Fanelængder for  
BTEX'er*

der være flere forskellige årsager til at filtre til dybereliggende magasiner ikke er etableret på de resterende sager. Det må dog antages, at der ville være etableret filtre, hvis det var vurderet relevant af myndigheder og rådgiver dvs. at der har været en reel risiko for vertikal spredning. Der er generelt konstateret relativt lavere indhold af BTEX'er i grundvandet, idet der på de 14 sager er konstateret 154 overskridelser af Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterier for benzen, 119 overskridelser for indhold af toluen og 138 overskridelser for indhold af xylener mens der er konstateret 307 overskridelser af grundvandskvalitetskriteriet for totalindhold af kulbrinter. Der er lavet en visuel vurdering (manuel opmåling) af forureningsfanerne af benzen, toluen og xylener, hvilket resulterer i median fanelængder på 8; 4 og 8 meter for henholdsvis benzen, toluen og xylener. De maksimalt opmålte fanelængder for alle tre komponenter er 20 m. Der er endvidere indikationer på at indholdet af BTEX'er i grundvandet reduceres over tid, specielt for sager, hvor der er udført afværgeforanstaltninger. Det er på samtlige sager konstateret, at forureningsfanerne for benzen, toluen og xylener er kortere end fanerne for totalindhold af kulbrinter.

*Redoxforhold*

Der er på 9 af de 14 sager målt redoxforhold i grundvandet, opstrøms forureningen, i fanen og nedstrøms. Der er overvejende konstateret de højeste indhold af ilt, nitrat og sulfat opstrøms fanen og det laveste niveau i fanen, mens forholdene nedstrøms forureningsfanen begynder at stige til et niveau der er sammenligneligt med det der er konstateret opstrøms. Dette underbygger, at der generelt forekommer biologisk aktivitet, der hænger sammen med nedbrydningen af oliekomponenter. Det vurderes derfor, at den biologiske omsætning kan forklare en del af de forskelle der er redegjort for i det ovenstående, mens omfanget af fysiske processer såsom adsorption ikke er undersøgt i nærværende erfaringsopsamling.

*Effekt af grundvands-  
spejlets beliggenhed*

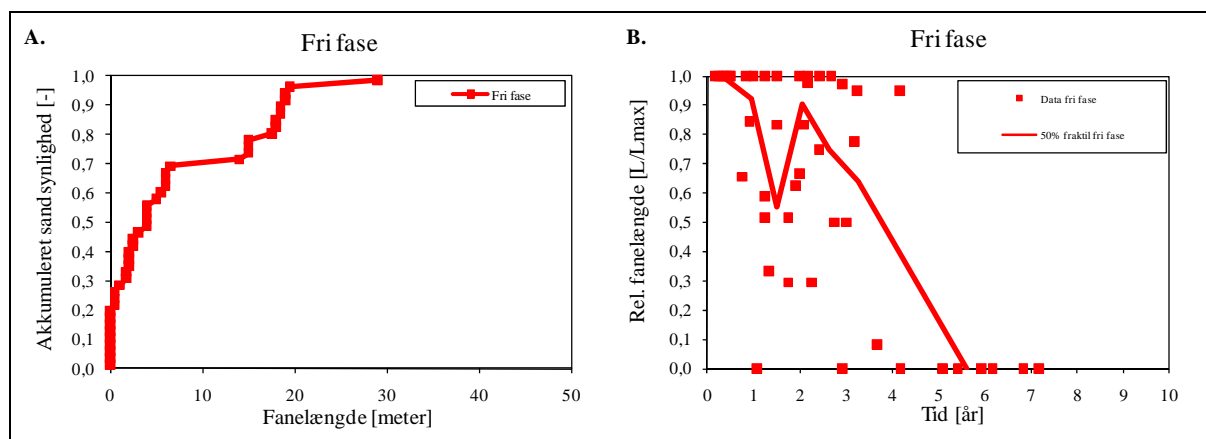
Der er udført en analyse af om grundvandsspejlets beliggenhed kan relateres til totalindhold af kulbrinter i borerne og midlertidigt forøgede fanelængder. Der blev ikke fundet en direkte sammenhæng mellem totalindhold af kulbrinter eller midlertidigt forøgede fanelængder med grundvandsspejlets beliggenhed. Der er dog på fire sager observeret en sammenhæng imellem pludselige stigninger i vandspejlsniveauet og midlertidigt forøget fanelængde, mens der på tre andre sager kunne der observeres en sammenhæng imellem pludselige reduktioner i vandspejlsniveauet og midlertidigt længere faner. Det vurderes derfor, at der er sammenhænge, men at datagrundlaget er for snævert til at udlede dem endeligt.

### 2.3 Fanelængde af fri fase forurening

Mængden af fri fase på grundvandsspejlet fra spild på villatanksager vil være styret af forskellige parametre bl.a. spildstørrelsen, permeabiliteten i jordlagene i den umættede zone samt mægtigheden af den umættede zone. På de screenede sager ses en stor variabilitet i geologi, grundvandsforhold og spildhistorik. Derudover er der stor forskel på, hvor meget der er rensat op på de enkelte sager og dermed på den mængde restforurening, der bidrager til opbygning af fri fase på grundvandsspejlet.



Der er i præsentationen af fri fase fanelængder lagt vægt på at beskrive den tidlige variation i udbredelsen af den fri fase, samt eventuelle sammenhænge i forhold til relevante parametre. Datagrundlaget bygger på måling af fri fase på 9 ud af de 14 screenede sager. Kemiske analyser med indhold af totalkulbrinter på mere end 6.000  $\mu\text{g/L}$  tolkes som tilstedeværelse af fri fase/oliefilm. I figur 16 er alle data for fri fase gengivet.



**Figur 16.** Fanelængder for fri fase (A) og relative fanelængder over tid for fri fase (B).

På baggrund af fordelingsfunktionen i figur 16 (plot A) kan 50 % fraktilen beregnes til 4 m, 90 % fraktilen beregnes til 19 m og den maksimalt opmålte fanelængde for fri fase er 29 m.

Med henblik på at belyse den tidlige udvikling i udbredelsen af fri fase er det samlede datagrundlag, hvori der indgår to eller flere målerunder med fri fase præsenteret i figur 16 (plot B).

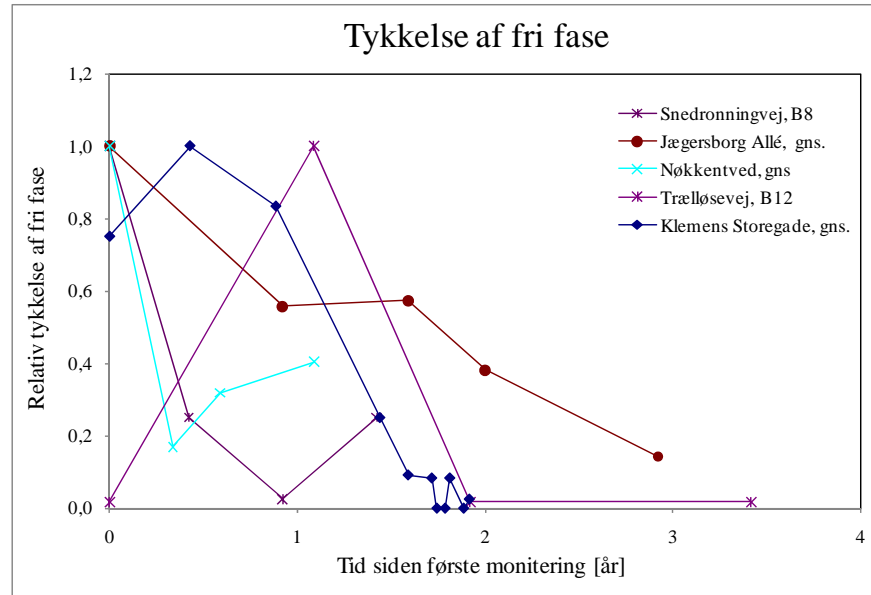
Det fremgår af figur 16 (plot B), at der er en tendens til at fanelængderne for fri fase reduceres over tid. På 8 ud af 9 sager er den største udbredelse opmålt ved den første opmåling. På en af sagerne (Jægersborg Allé) forekommer en relativ stabil fanelængde over hele monitoringsperioden (se bilag B4). Når fanelængden tilsyneladende mindskes skal det opfattes som, at tilførslen af fri fase fra umættet zone aftager, samtidig med at den fri olie efterhånden flyder ud i smearzonen, og ikke længere registreres i borerne, men findes som residual fase.

I det følgende er de enkelte dataserier gennemgået med henblik på at undersøge eventuelle sammenhænge mellem udbredelse af fri fase og andre relevante parametre, herunder bl.a. størrelsen af forurening og beliggenheden af grundvandspejlet.

Som udgangspunkt vurderes datagrundlaget for spinkelt til at belyse sammenhænge mellem fri fase udbredelse og geologi/strømningsforhold samt betydningen af befæstning af overfladen omkring restforureningen.

### 2.3.1 Tidslig udvikling i tykkelse af fri fase

Den tidlige udvikling med hensyn til tykkelse af fri fase er præsenteret i figur 17. Data fra 5 sager, hvor der er målt fri fase i én eller flere boringer over min. 4 målerunder indgår. Sager, hvor kun er konstateret oliefilm er ikke medtaget.



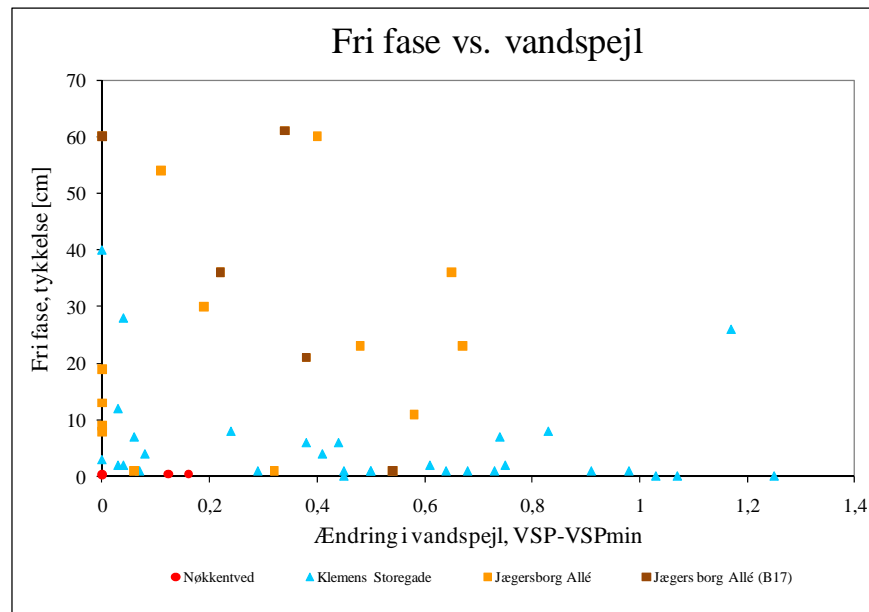
**Figur 17.** Tidslig udvikling i tykkelsen af fri fase.

Det fremgår af figur 17, at den største tykkelse af fri fase i 3 ud af 5 sager ses ved den første monitoringsrunde. Efter godt 1 års monitorering ses et fald i fri fase på alle sager. På Nøkkentvedgård er der dog kun tilgængelige data fra første års monitorering. Samlet set viser figur 17, ud fra det relativt begrænsede datamateriale, en tendens til, at tykkelsen af den fri fase reduceres med tiden, hvilket også virker intuitivt fornuftigt.

### 2.3.2 Fri fase tykkelse og ændringer af grundvandsspejl

Ud fra det inddragede datamateriale er det undersøgt om der kan ses en sammenhæng mellem grundvandsspejlets beliggenhed og tykkelsen af fri fase.

I figur 18 er data fra sager, hvor der findes samstemmende målinger af fri fase og vandspejlsniveau inddraget. Den målte tykkelse af fri fase er plottet i forhold til ændringen af vandspejlsniveauet på de tre lokaliteter, hvor der findes samstemmende målinger af tykkelsen af fri fase og pejling af vandspejl. Det skal bemærkes, at datagrundlaget er yderst begrænset, idet der kun er tale om i alt 9 boringer.



**Figur 18.** Tykkelse af fri fase i forhold til ændring i vandspejl.

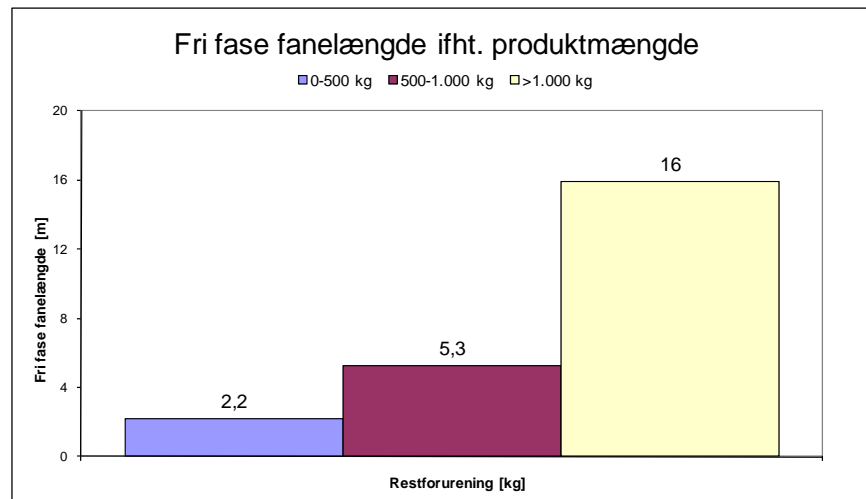
I en enkelt boring på Jægersborg Allé (B17), der er fremhævet på figur 18, ses en tendens til en reduceret tykkelse af fri fase ved stigende vandspejl.

I de øvrige boringer ses ingen entydig sammenhæng mellem tykkelsen af den fri fase i forhold til ændringen af vandspejlsniveauet. Det vurderes, at dette kan skyldes det spinkle datagrundlag. Endvidere kan andre forhold, herunder den generelt aftagende fasetykkelse over tid overskygge effekten af grundvandsfluktuationerne. Endelig kan det spille ind, at placeringen af (rest)forureningen ifht. filteret og den lokale geologi omkring boringen har stor betydning for tilstrømning af fri fase.

### 2.3.3 Fanelængde ifht. størrelse af produktmængde

Det er undersøgt om der er en sammenhæng mellem udbredelse af fri fase og størrelse af restforurening. Ved restforurening skal forstås den samlede forureningsmasse ved monitoringsstart. Datagrundlaget giver ikke mulighed for at differentiere mellem fri produktfase og residualt bundet olie.

Figur 19 viser den gennemsnitlige fanelængde i forhold til størrelsen på restforureningen angivet i intervallerne 0-500 kg, 500-1.000 kg og >1.000 kg.



**Figur 19.** Gennemsnitlig fanelængde ifht. produktmængde. Der er 4 sager med spildstørrelse i intervallet 0-500 kg, 2 sager intervallet 500-1.000 kg og 3 sager med spildstørrelse >1.000 kg.

Det fremgår af figur 19 at de største fri fase fanelængder ses på sager, hvor de største produktmængder er registreret og at der er sammenhæng mellem restforurening og faneudbredelse af den fri fase. Der er således konstateret en gennemsnitlig fanelængde på 2,2 m for sager med med en spildstørrelse <500 kg. Det skal dog påpeges, at datamaterialet er spinkelt, og parametre såsom mægtighed og permeabilitetsforhold i jordlagene i umættet zone, samt belægningsforholdene omkring restforureningen vil have indflydelse på dannelse af fri fase på grundvandsspejlet.

#### 2.3.4 Sammenfatning fri fase udbredelse

Ved den gennemførte erfaringsopsamling er det forsøgt at belyse eventuelle sammenhænge mellem fri fase olie og en række parametre, der kan have indflydelse på dannelsen og spredning af fri fase. Følgende kan sammenfattes omkring udbredelse af fri fase.

- Den maksimale udbredelse af fri fase er målt til ca. 30 m og medianfanelængden af fri fase er ca. 4 m.
- De største fanelængder ses på sager, hvor der er efterladt størst restforurening og der ses en sammenhæng mellem restforurening og faneudbredelse af den fri fase.
- Der ses en tendens til at fanelængderne for fri fase reduceres over tid. Reduktionen i fri fase fanelængde forekommer primært indenfor de første 3-4 år.
- Med hensyn til tykkelsen af fri fase reduceres denne med tiden.
- Der ses ingen entydig sammenhæng mellem tykkelsen af den fri fase og ændringen af vandspejlsniveauet. Placering af filter i forhold til vandspejl og fri fase kan bevirke, at der forekommer store variationer i målingerne.
- Resultaterne vedrørende fri fase er baseret på data fra 9 sager. Med henblik på at undersøge hvorvidt resultaterne understøttes af de 25 sager, der blev frasorteret efter detailscreening udført af DMR og NIRAS, er der udført yderligere en gennemgang af data fra disse

sager. Ved denne screening er der kun fundet data fra 1 boring på 1 lokalitet, med fri fase. På denne ene sag kan det konkluderes, at fanelængden af den fri fase er mindre end 10 m, hvilket stemmer overens med resultaterne fra databehandlingen.



## 3 Konklusioner

Der er gennemført en erfaringsopsamling, hvor der er inddraget data fra 14 af de største og mest veldokumenterede villatanksager, ud af et samlet antal på 1.436 sager. De 14 sager er udvalgt fordi de overholder alle de opstillede objektive screeningskriterier. På baggrund af erfaringsopsamlingen kan følgende hovedkonklusioner fremdrages angående fanelængden for opløst forurening på villatanksager:

### *Opløst forurening*

- Data fra de 14 sager er analyseret ved standardiserede metoder for at sikre en ensartet behandling af data og sikre minimal udviskning af trends som følge af forskellige metoder til behandling af data forskellige rådgivere imellem.
- Den typiske forureningsfane i grundvandet (indhold over 9 µg/L) er 13 meter og der er maksimalt konstateret en faneudbredelse på 48 m.
- Den maksimale længde af forureningsfanen på sager med <500 kg produkt er 22 meter med en median længde på 11 meter. Faner fra sager med en produktmængde >500 kg olie resulterer i fanelængder med en median længde på 23 m og maksimalt 48 meter.
- Generelt ses, de længste fanelængder i begyndelsen efter spild/afværge og efterfølgende reduceres/stabiliseres fanelængderne væsentligt over tid og den største reduktion i fanelængden med indhold >9 µg/L forekommer typisk indenfor de første 2-3 år. Vurderet ud fra den sidste monitoringsrunde på de 14 sager, kan der forventes en medianfanelængde på 12 m og en maksimal fanelængde på 28 meter for indhold >9 µg/L.
- Faner fra sager med relativt høje jordkoncentrationer og faner fra sager med fri fase er generelt længere tid om at blive reduceret i udbredelse sammenlignet faner fra sager med relativt lave jordkoncentrationer og sager uden fri fase. Faner fra sager med lave indhold og uden fri fase reduceres endvidere til et lavere niveau (30-60 % af maks fanelængde, som er hhv. ca. 48 og 33 m for sager med lave indhold og sager uden fri fase).
- Ved sammenligning imellem de reelt opmålte fanelængder og fanelængder beregnet med Miljøstyrelsens JAGG-model trin II b bliver de beregnede faner mere end en faktor 20 længere end de opmålte faner, og den beregnede median-fanelængde (50 % fraktil) er 1.000 m. Selv hvis benzen benyttes som modelstof ved beregning på trin III, og adsorption og nedbrydning medtages i beregningen af fanelængden, opnås beregnede fanelængder, der overstiger de opmålte med en faktor ca. 8 og 42, under hhv. aerobe og anaerobe magasinforhold. Resultaterne indikerer således, at fysiske og biologiske processer har meget stor indflydelse på fanelængden. Det bemærkes, at der i flere tilfælde er tale om en ekstrapolering ud over JAGG modellens anbefalede anvendelsesområde, hvorfor beregnede fanelængder over 100 m skal betragtes med forbehold og således kun er orienterende.

- I relation til en risikovurdering er det således vist, at anvendelse af benzen som modelstof i JAGG-beregningerne på samtlige de undersøgte sager resulterer i konservative estimater på fanelængden i forhold til de opmålte fanelængder.
- Det er konstateret, at der generelt er betydelig færre overskridelser af Miljøstyrelsens grundvandskvalitetskriterier for BTEX'er sammenlignet med antallet og omfanget af overskridelser af totalindholdet af kulbrinter. Overslagsmæssigt har forureningsfanerne for benzen med indhold større end grundvandskvalitetskriterierne en median længde på 8 meter, forureningsfanerne for toluen en medianstørrelse på 4 meter og xylener en medianlængde på 8 meter. De maksimalt opmålte fanelængder for alle tre komponenter er 20 meter.
- På samtlige undersøgte sager er forureningsfanerne for BTEX'er kortere end forureningsfanerne for totalindhold af kulbrinter.
- Generelt er det konstateret, at den horisontale udbredelse af fyringsolieforurening i grundvandet langt overstiger den vertikale udbredelse. Der er maksimalt konstateret et totalindhold af kulbrinter på 65 µg/L og ingen overskridelser for BTEX'er i dybereliggende magasiner. De konstaterede indhold reduceres til <5 µg/L efter maksimalt 2 års monitorering.

#### *Fri fase*

På 9 af de 14 sager forekommer der fri fase. Hovedkonklusionerne for forureningsfaner med fri fase i kildeområdet er som følger:

- Den maksimale udbredelse af fri fase er målt til ca. 30 m med en medianfanelængde på 4 meter.
- De største fanelængder ses på sager, hvor der er efterladt størst restforurening og der ses en sammenhæng mellem restforurening og faneudbredelse af den fri fase.
- Der ses en tendens til at fanelængderne for fri fase reduceres over tid. På de sager hvor der ikke sker en kildeoprensning stabiliseres fanen inden for det første års monitorering.
- Med hensyn til tykkelse af fri fase ses en tendens til, at denne reduceres med tiden.



## 4 Referencer

- /1/ Kemiske stoffers opførsel i jord og grundvand: Bind 2  
Vejledning nr. 20.  
Miljøstyrelsen 1996.
- /2/ Oprydning på forurenede lokaliteter – appendikser.  
Vejledning nr. 7.  
Miljøstyrelsen 1998.
- /3/ Rasband, W.S., ImageJ, U. S. National Institutes of Health,  
Bethesda,  
Maryland, USA, <http://rsb.info.nih.gov/ij/>, 1997-2005.
- /4/ R.H. Walpole og R.E. Myers.  
Probability and statistics for engineers and scientists.  
Prentice Hall, 1993.



# Bilag A: Sagsoversigt

| Sagsnr. | Adresse           | Spilddato     | Afværgetype   | Afværge start/slut   |    | Spildmængde og/eller restspild | Borings nr. ved hotspot | Maks. gv konc. i grundvand [µg/L] | Dataanalyse |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | Fraktion af jordforurening under belægning [%] | Geologi                           |                                      |                                    |
|---------|-------------------|---------------|---|--|----|--------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|--|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
|         |                   |               |   | Dato   | kg |                                |                         |                                   | 1           | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |  | I umættet zone                    | I vandførende aflejringer            |                                    |
| 1       | Gannebro          | aug-03        | Afgravning  | Uge 13-25 2008   |    | 101-205                        | B2                      | 17.000                            |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  | 75%                               | Forskelligartet sand, muld, grus ler | Sandet moræneler                   |
| 2       | Jyderupvej        | jul-01        | Naturlig nedbrydning  | -  |    | 501-1000                       | M8                      | 14.000                            |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  | 50%                               | Sandet ler                           | Sandet Moræneler                   |
| 3       | Kirkebakkevej     | 16. feb. 2007 | Ikke foretaget afværgen endnu   | -  |    | 330-675                        | 01, B6                  | Oliefilm                          |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  | 50%                               | Sand                                 | Sand                               |
| 4       | Jægersborg Allé   | 3. juli 2001  | Aktiv ventilation, udskiftning af forurenede jord og bygningsdele, passiv ventilation, oppumpning af fri fase | Aktiv ventilation: 2. halvår 2001; udskiftning af forurenede jord og bygningsdele: 2003; passiv ventilation: 2003-nu; oppumpning af fri fase: juli 2001-november 2002; herefter fortsat lænsning af mindre mængde fri fase |    | 7.400-8.300                    | HB4, HB5, B6, B18       | 132 cm fri fase                   |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  | 50%                               | Moræneler                            | Sand                               |
| 5       | Trællosevej       | jun-04        | 2'opgravning  | Jun-aug 2004 og 19. maj 2006   |    | 170-260 og 40-190              | B12                     | 6 cm fri fase                     |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  | 100%                              | Moræneler                            | Primært sandet moræneler           |
| 6       | Klemens Storegade | 9. okt. 2004  | Grave og afskimning   | Grave: Okt-nov 2004 og mar 2005, afskimning er sket løbende  |    | 870 og 260-600                 | B1-B4, B9 og B25, B27   | 6 cm fri fase                     |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  | 100% restforurening under bygning | Sand                                 | Sand med underliggende klippegrund |
| 7       | Lindevangsvej     | 12. maj 2004  | Delvis opgravning af forurenede jord  | aug-04   |    | 2.500-4.250                    | B26                     | 5.300 µg/L                        |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  | 50%                               | Sand                                 | Sand                               |
| 8       | Nøkkentved        | jan-04        | Delvis opgravning af forurenede jord og   | feb-04 til mar-05  |    | 1.700 og 1.200                 | B12                     | 30 cm fri fase                    |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  | 100%                              | Sand                                 | Sand og moræneler                  |
| 9       | Snedronningvej    | dec-00        | Opgravning, oppumpning og afgravning  | Opgravning: 24-26. jan 2001, oppumpning: 26. jan-7. feb 2001 og opgravning: 2. jan til medio febr 2002.  |    | 3.000 og 700-1.500             | B8                      | 4 cm fri fase                     |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  | 60%                               | Sand og moræneler                    | Primært smeltevandssand            |
| 10      | Viderupgårdsvej   | jun-03        | Afgravning og afværgepumpning   | Sep 03; jan 04   |    | 251-500                        | B11                     | 390                               |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  | 75%                               | Sand, mellem-grovkornet              | Sand, fint                         |
| 11      | Vostervej         | aug-04        | Afgravning  | aug-04   |    | 51-100                         | B4                      | 9.500                             |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  | 25%                               | Fyldsand                             | Leret sand                         |
| 12      | Kielstrupvej      | 19. aug. 2005 | Afgravning + lænsning af fri fase   | feb 06; Sep-nov 06   |    | 51-100                         | S5                      | Oliefilm                          |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  | 100%                              | Fyldsand                             | Sand mellemkornet                  |
| 13      | Akkerupvej        | 9. mar. 2005  | Afgravning  | nov-05   |    | 101-250                        | B1 ny                   | 2.700                             |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  | 50%                               | sand                                 | Sand mellemkornet                  |
| 14      | Rosevej           | 16. dec. 2004 | Afgravning  | feb-05   |    | <20                            | HB7                     | 1.600                             |             |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  | 0%                                | Fyld, muld, tørv                     | Tørv og gytje                      |

- 1 For afværgen
- 2 Efter afværgen
- 3 Produktmængde > 500 kg
- 4 Produktmængde < 500
- 5 >50% jordforurening under hus/belægning
- 6 Sand i umættet zone
- 7 Med ler i vandførende aflejringer
- 8 Uden fri fase
- 9 Uden eller med begrænset fri fase
- 10 Maksimalt målt jordkoncentration < 5.000 mg/kg TS i hot-spot
- 11 Sager hvor der er målt redox parametre
- 12 Med fri fase
- 13 Konc. af TVOC vs. grundvandsspejl
- 14 Fanelængde vs. grundvandsspejl
- 15 Sager med data til vurdering af redoxforhold.

# Bilag B: Sags gennemgang

I det følgende refereres relevante oplysninger fra de 14 sager, som har levet op til de opstillede screeningskriterier (jf. afsnit 2.1).

## B.1: Gannebro

### **Beskrivelse af lokalitet og data**

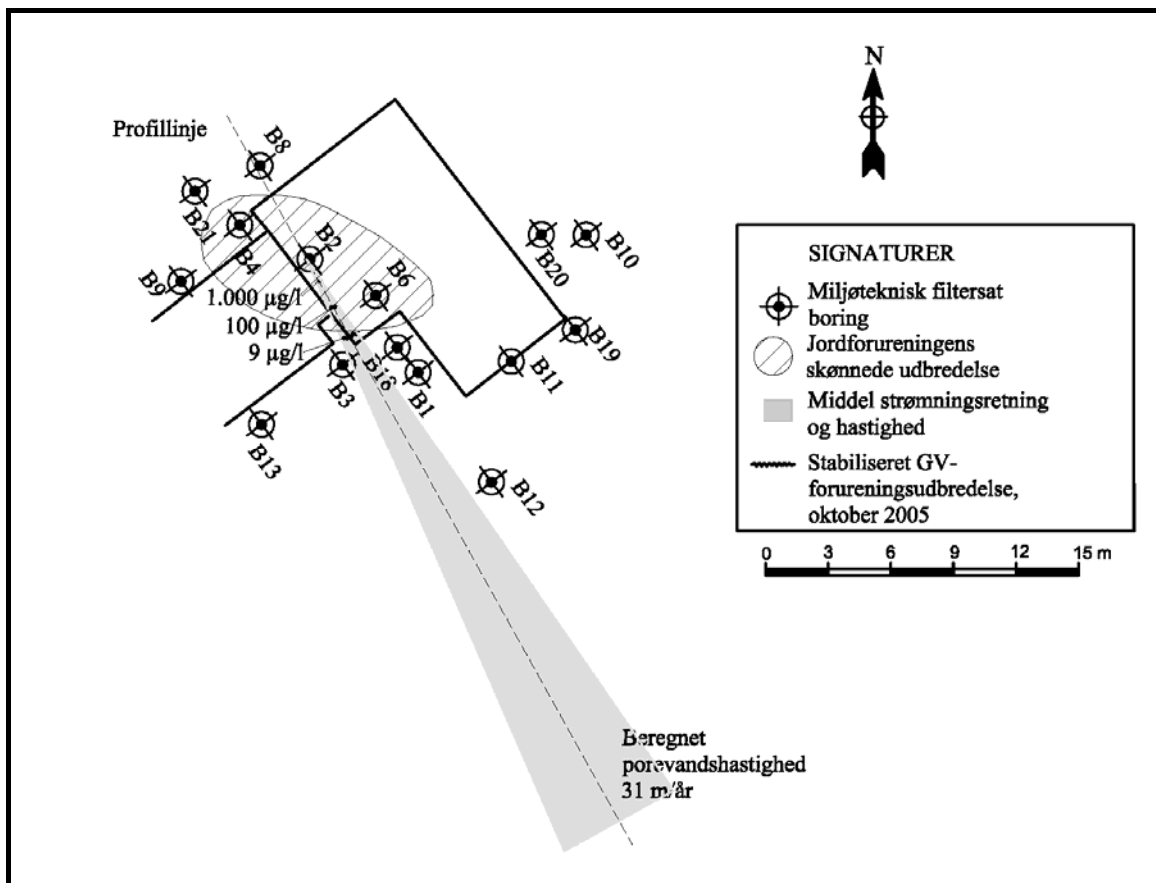
På Gannebro er grundvandsforureningen monitoreret over 2 runder i 15 filtersatte boringer (B1-B4, B6, B8-B13 og B18-B21). Boring B2 og B6 er udført i en udestue mens de resterende er udført udendørs. Monitoringsrunderne er udført i 2003-2005.

Spildet er konstateret den 14. august 2003 og er anslået til ca. 101-205 kg med en vertikal udbredelse over ca. 1,5-4,0 m.u.t.

Spildet bevirker en kraftig forurening af grundvandet, som er pejlet til ca. 1-2 m.u.t.

Der er i 2008 udført en oprensning på ejendommen, der omfattede bortgravning af 761 ton forurenede jord og der efterlades ca. 6 tons forurenede jord (2,3 kg olie) under beboelsen.

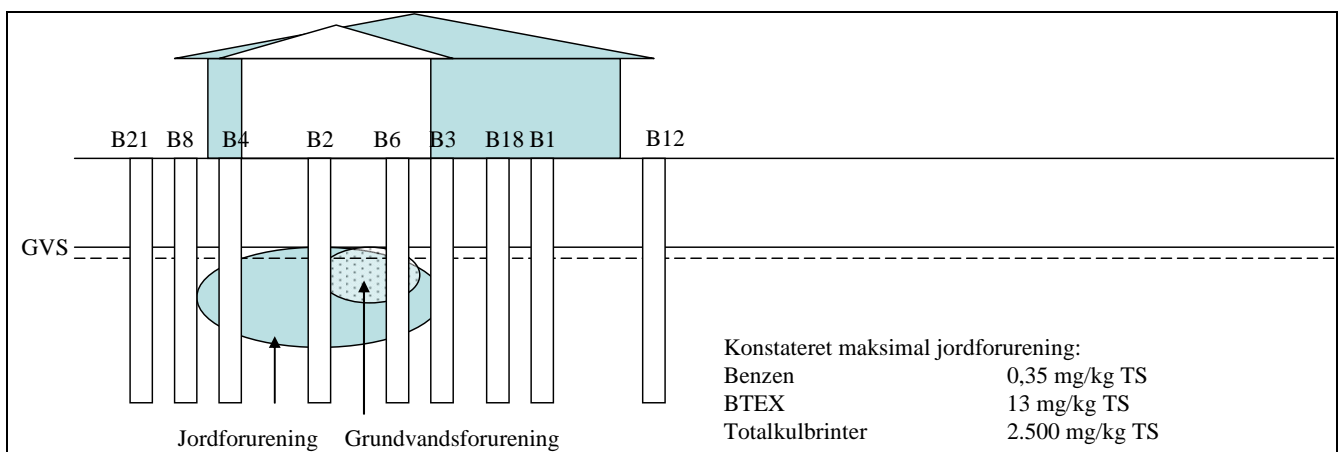
En oversigtsplan over lokaliteten fremgår af figur B.1, sammen med den horisontale beliggenhed af profilsnittet, som fremgår af figur B.2. Oversigtsplanen er udarbejdet i programmerne ImageJ og Surfer (jf. bilag C) og der kan derfor forekomme mindre afvigelser i strømningsretning og porevandshastighed i forhold til hvad der er oplyst i de tidligere udarbejdede rapporter over lokaliteten.



Figur B.1. Oversigtsplan med data udarbejdet i ImageJ og Surfer.

Som det fremgår af figur B.1 er den gennemsnitlige strømningens retning bestemt som værende sydøstlig, med en estimeret porevandshastighed på 31 m/år.

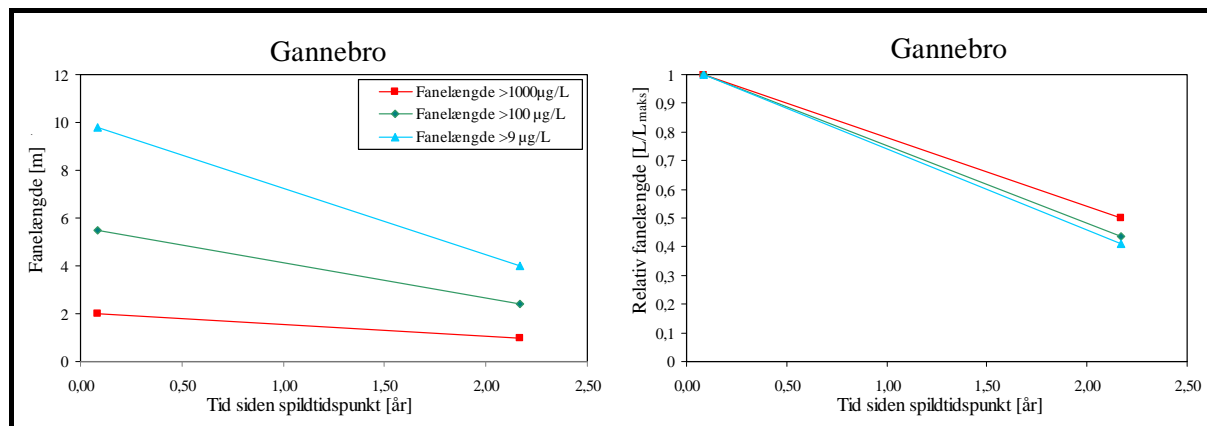
Et profilsnit over lokaliteten med relevante data fremgår af figur B.2. Ud fra lokale pejledata vurderes strømningens retning under/omkring bygningen at følge profilsnittet i figur B.2.



Figur B.2. Skitse over grundvandsforureningens vertikale beliggenhed på Gannebro.

## Faneopmåling

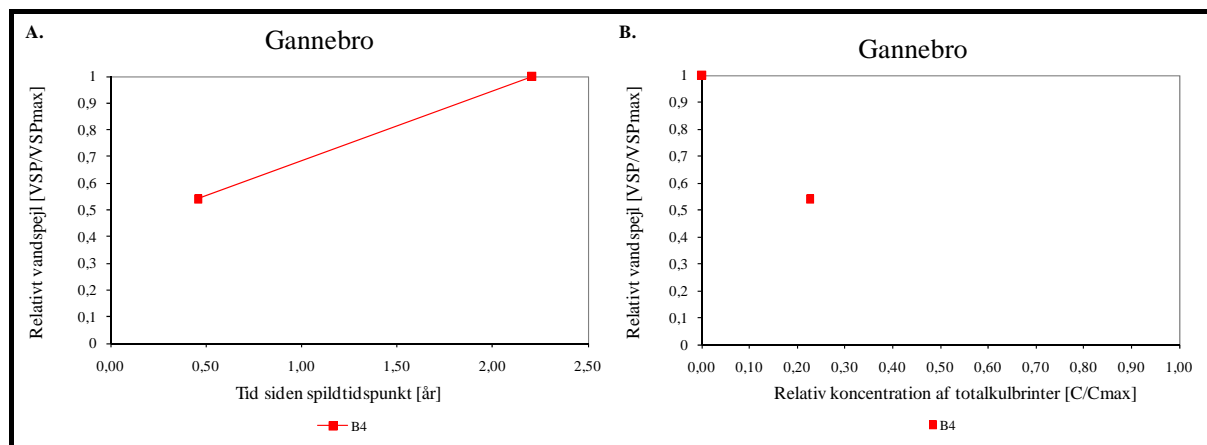
Af figur B.3 fremgår de opmålte fanelængder.



Figur B.3. Fanelængder præsenteret direkte og som relative fanelængder ifht. den maksimalt målt fanelængde.

## Pejledata

Af figur B.4 fremgår pejledata i forhold til tid og i forhold til relativ koncentration for de boringer, hvori der er påvist indhold af totalkulbrinter



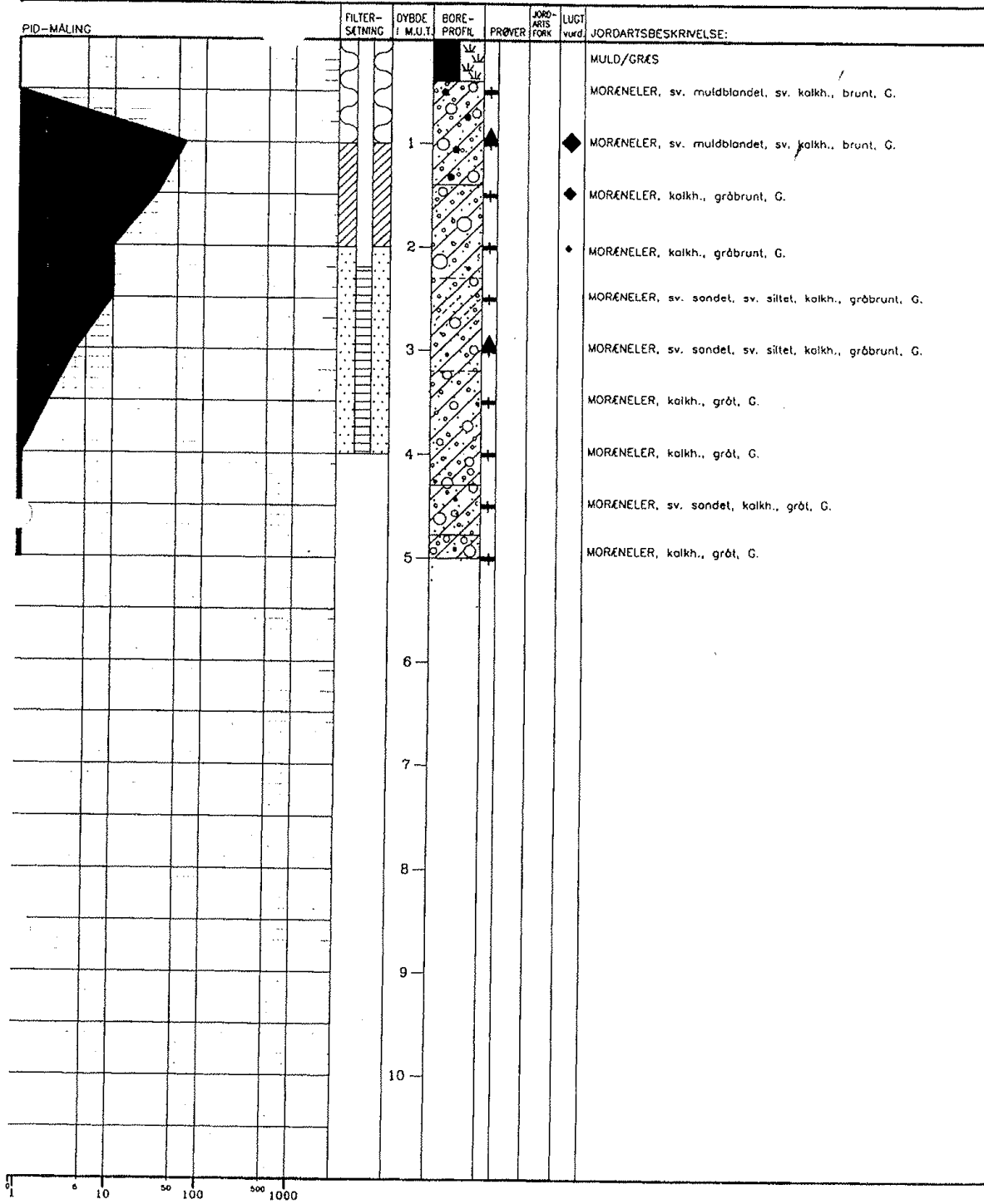
Figur B.4 Ændring i vandspejl over tid (A) og ændring i vandspejl som funktion af relativ koncentration (B).

## Boreprofiler

På følgende side ses boreprofil for B4.

# Miljøteknisk lokaliseringsboring:

B4



Boremetode: ø100 mm uforet tørboring.

**SKUDE & JACOBSEN**  
Rådgivende Ingeniører

Sag: Gannebro



## B.2: Jyderupvej

### **Beskrivelse af lokalitet og data**

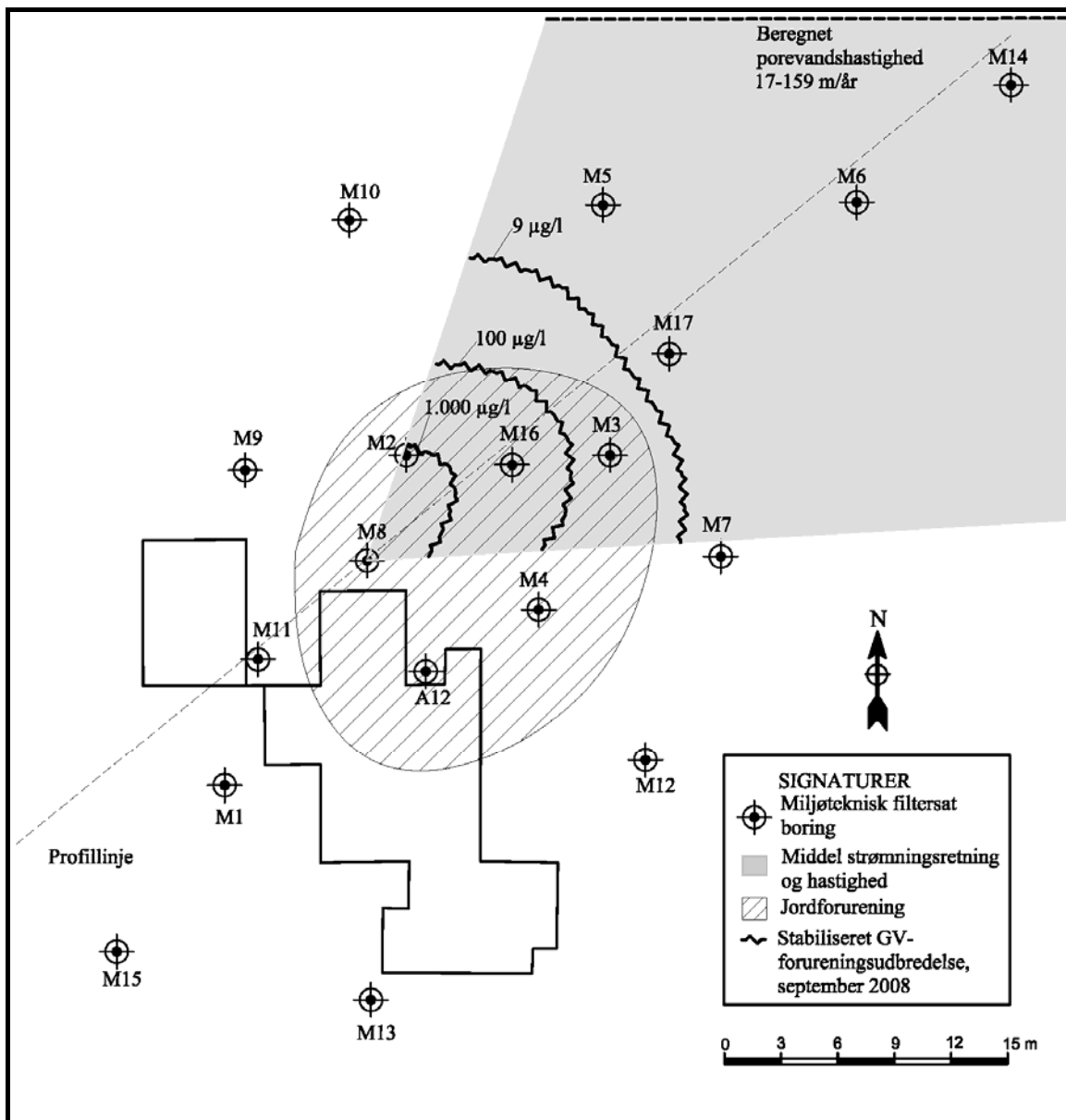
På Jyderupvej er grundvandsforureningen monitoreret over 2-9 runder i 16 filtersatte boringer (M2-M6, M8-M17 og A12). Boringerne er udført udendørs.

Spildet er konstateret den 18. juli 2001 og er anslået til ca. 1.200 L olie. Olien er sivet ned i jorden under udhusgulvet. Spilmængden er ca. 501-1.000 kg med en vertikal udbredelse på 2,0-4,0 m.u.t. Spildet bevirker foruden jordforurening til en relativt kraftig forurening i grundvandet, som er pejlet til ca. 1-2 m.u.t.

Det vurderes, at forureningen ikke udgør en risiko for ejendommens anvendelse samt områdets grundvandsinteresser, hvorfor der ikke etableres afværgeforanstaltninger. Det vælges, at udføre et større monitoreringsprogram af forureningens udbredelse samt den naturlige nedbrydning.

På enkelte grundvandsmonitoreringsdata har analyselaboratoriet karakteriseret indholdet som benzen, hvilket kan forklare relativt høje indhold af BTEX'er, som er konstateret på denne lokalitet.

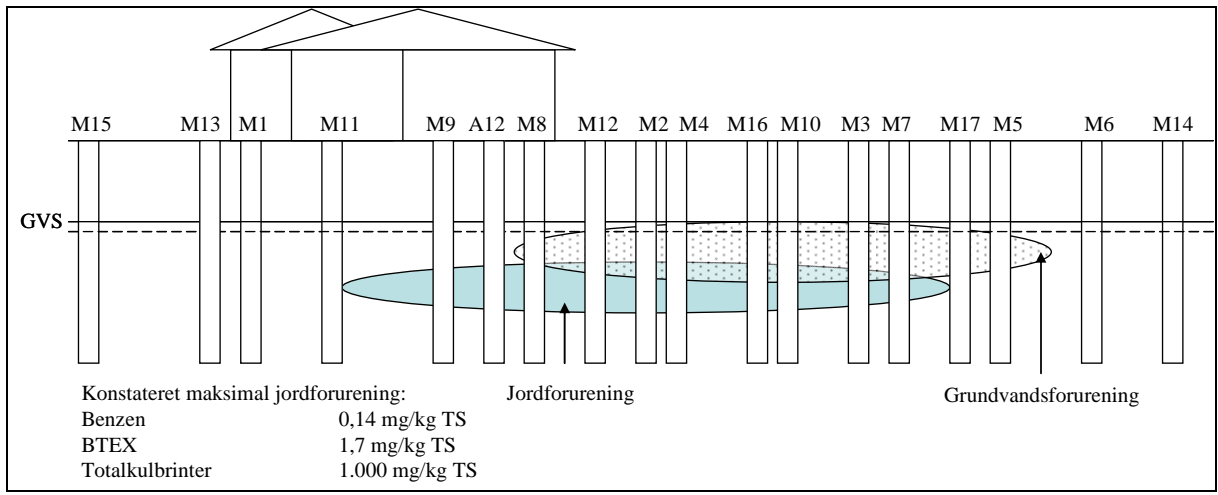
En oversigtsplan over lokaliteten fremgår af figur B.5, sammen med den horisontale beliggenhed af profilsnittet, som fremgår af figur B.6.



**Figur B.5.** Oversigtsplan med data udarbejdet i ImageJ og Surfer.

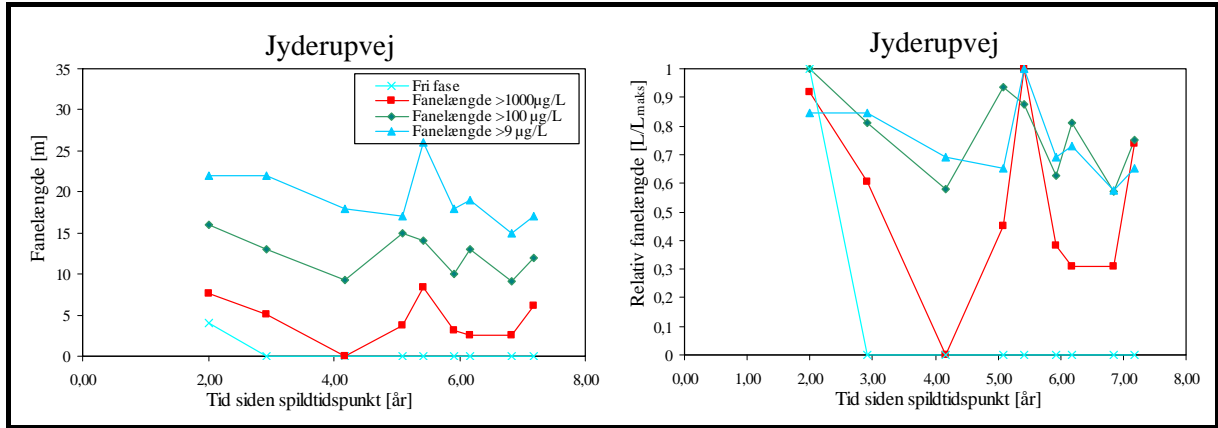
Som det fremgår af figur B.5 er den gennemsnitlige strømningsretning bestemt som værende nord-nordøstlig til nordøstlig, med en estimeret porevandshastighed på 17-159 m/år. Det fremgår endvidere at boring M5, M6, M14 og M17 er placeret nedstrøms jordforureningen og indenfor ét års transportafstand fra forureningen.

Et profilsnit over lokaliteten med relevante data fremgår af figur B.6. Ud fra lokale pejledata vurderes strømningsretningen under/omkring bygningen at følge profilsnittet i figur B.6.



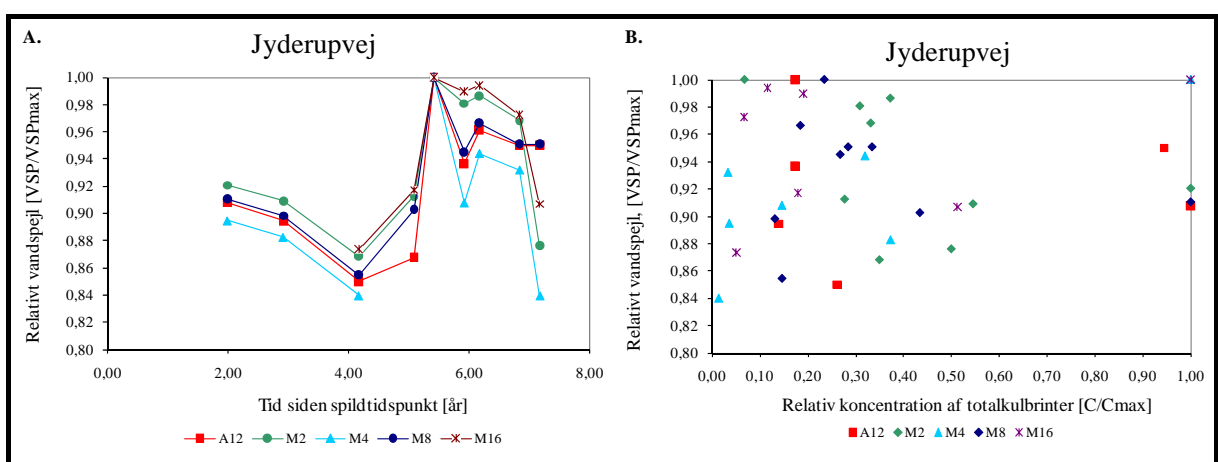
Figur B.6. Skitse over grundvandsforureningens vertikale beliggenhed på Jyderupvej.

**Faneopmåling** Af figur B7 fremgår de opmålte fanelængder.



Figur B.7. Fanelængder præsenteret direkte og som relative fanelængder ifht. den maksimalt målt fanelængde.

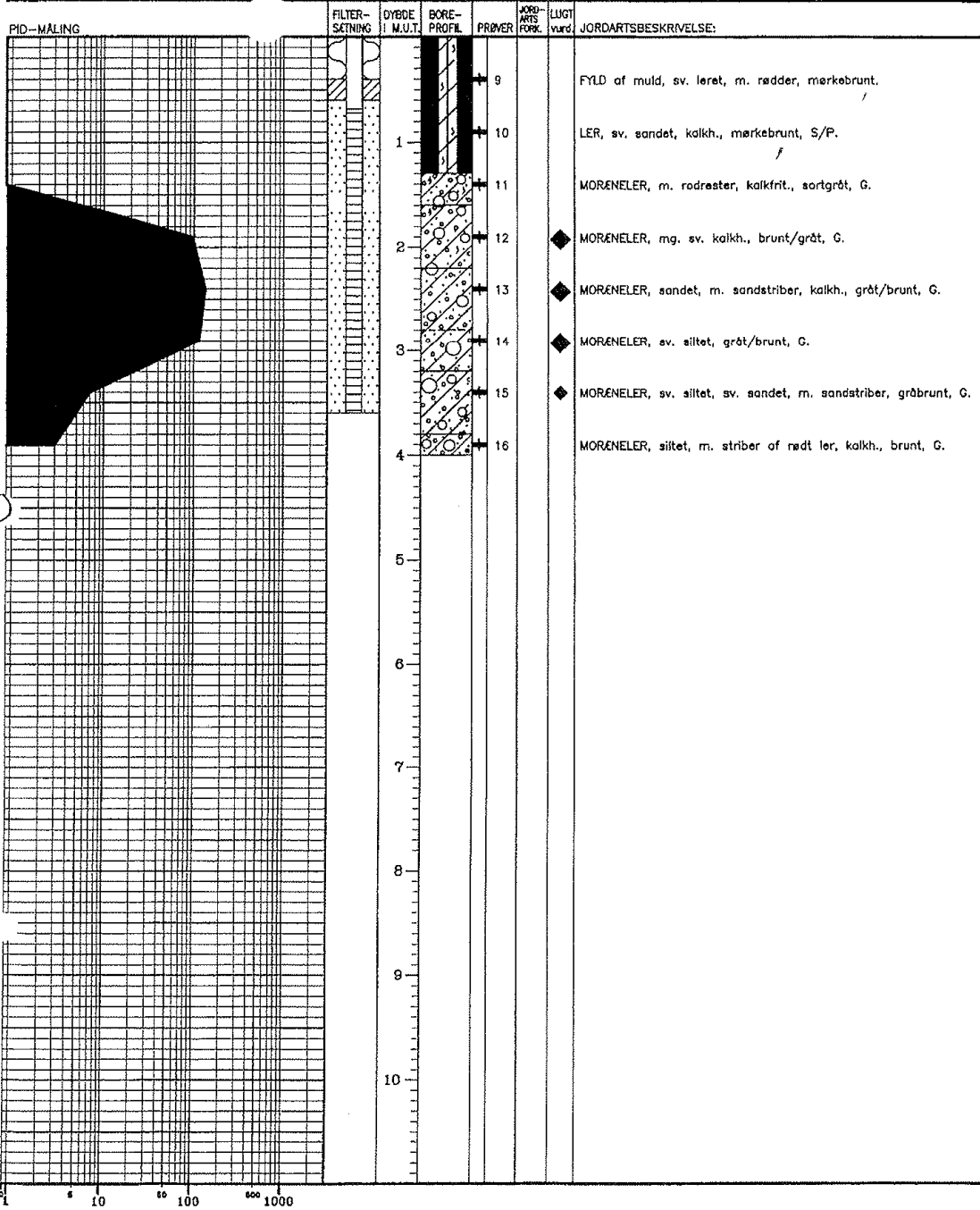
**Pejledata** Af figur B.8 fremgår pejledata i forhold til tid og i forhold til relativ koncentration for de boringer, hvori der er påvist totalindhold af kulbrinter.



Figur B.8 Ændring i vandspejl over tid (A) og ændring i vandspejl som funktion af relativ koncentration (B).

Miljøteknisk lokaliseringsboring:

M8



Boremåte: ø150 mm uforet tørboring.

SKUDE & JACOBSEN  
Rådgivende Ingeniører

Sag: Jyderupvej

### B.3: Kirkebakkevej

#### Beskrivelse af lokalitet og data

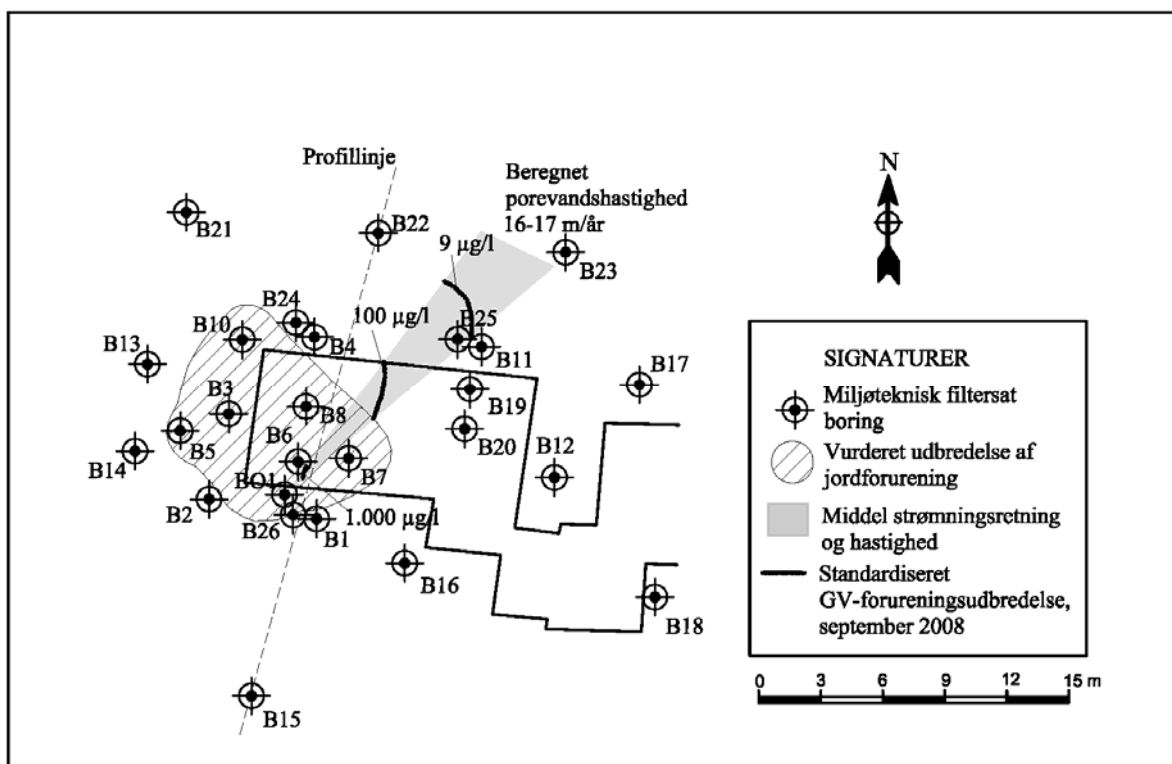
På Kirkebakkevej er grundvandsforureningen monitoreret over 3 runder i 22 filtersatte boringer (B1-B8 & B10-B23) i det sekundære magasin samt 2 runder i 3 filtersatte boringer (B24-B26) i det primære magasin. B6-B8, B19 og B20 er udført indendørs, mens de resterende boringer udført udendørs.

Spildet er konstateret den 16. februar 2007 og er anslået til minimum ca. 500 L.

Der er ikke foretaget oprensning på ejendommen.

Det er vurderet, at jordforureningen har et volumen på 220-270 tons jord (330-675 kg olie). Der er desuden konstateret en kraftig forurening i grundvandet, som er pejlet til ca. 3,5-4,5 m.u.t.

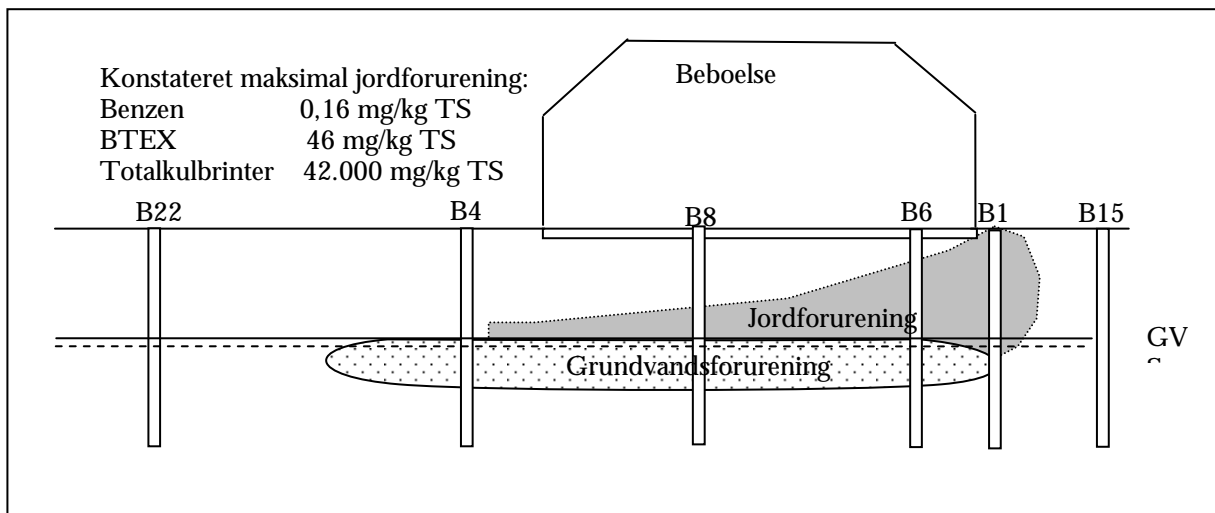
En oversigtsplan over lokaliteten fremgår af figur B.9. Oversigtsplanen er udarbejdet i programmerne ImageJ og Surfer (jf. bilag C) og der kan derfor forekomme mindre afvigelser i strømningsretning og porevandshastighed i forhold til hvad der er oplyst i de tidligere udarbejdede rapporter over lokaliteten.



Figur B.9. Oversigtsplan med data udarbejdet i ImageJ og Surfer.

Som det fremgår af figur B.9 er den gennemsnitlige strømningsretning bestemt som værende vestlig til nordøstlig med en estimeret porevandshastighed på 16-17 m/år (ikke estimeret i rapporten).

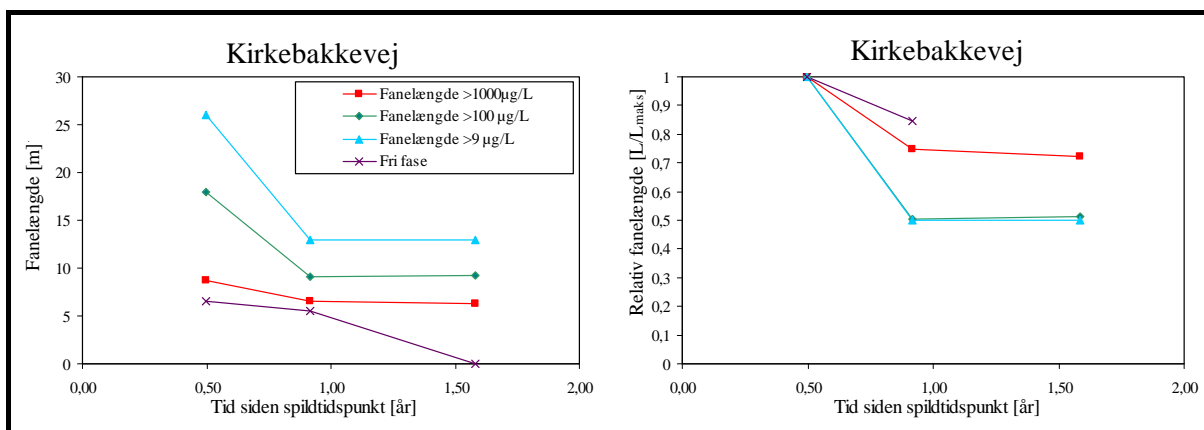
Et profilsnit over lokaliteten med relevante data fremgår af figur B.10.



Figur B.10. Skitse over jord- og grundvandsforureningens vertikale beliggenhed på Kirkebakkevej.

**Faneopmåling**

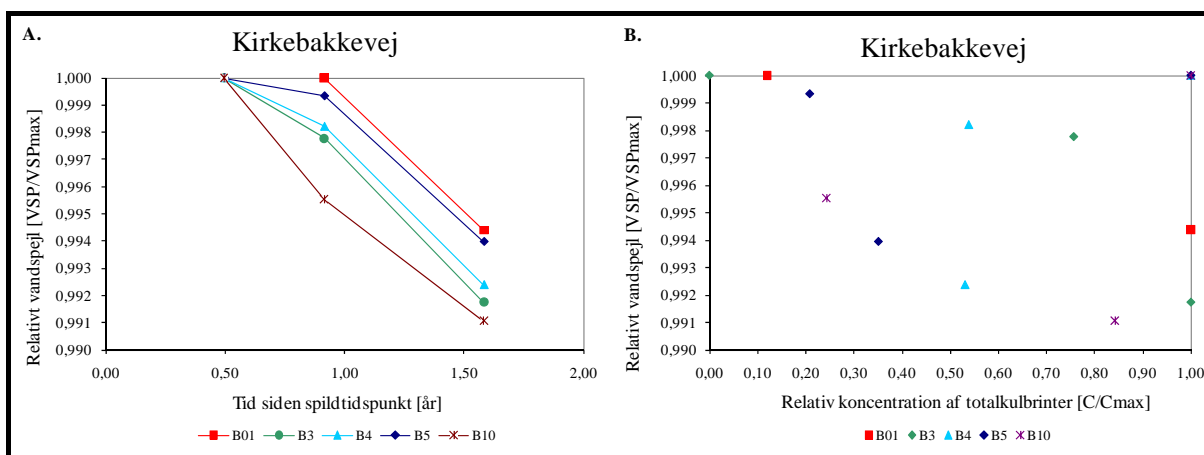
Af figur B11 fremgår de opmålte fanelængder.



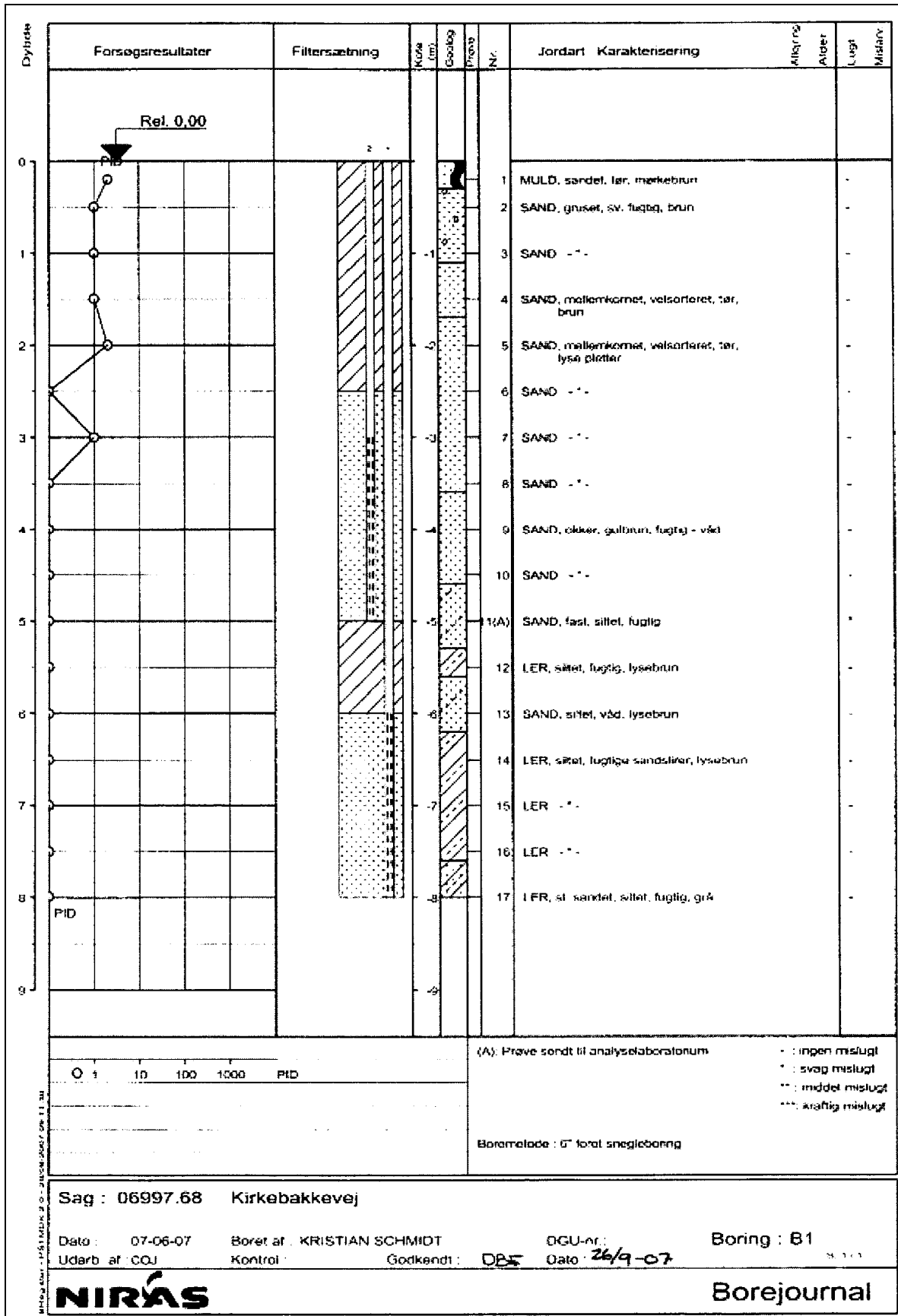
Figur B.11. Fanelængder præsenteret direkte og som relative fanelængder ifht. den maksimalt målt fanelængde.

**Pejledata**

Af figur B.12 fremgår pejledata i forhold til tid og i forhold til relativ koncentration for de boringer, hvori der er påvist indhold af totalkulbrinter og som har en serie på minimum 3 datasæt.



Figur B.12 Ændring i vandspejl over tid (A) og ændring i vandspejl som funktion af relativ koncentration (B).



#### B.4: Jægersborg Allé

##### **Beskrivelse af lokalitet og data**

På Jægersborg Allé er grundvandsforureningen monitoreret over 3-8 runder i 16 filtersatte boringer (B11-B17 og B19-B27). Endvidere er der monitoreret fra et filter i det primære magasin i en enkelt boring i nedstrøms retning (B23).

Spildet er konstateret i juli 2001 og er anslået til ca. 11-12.000 L.

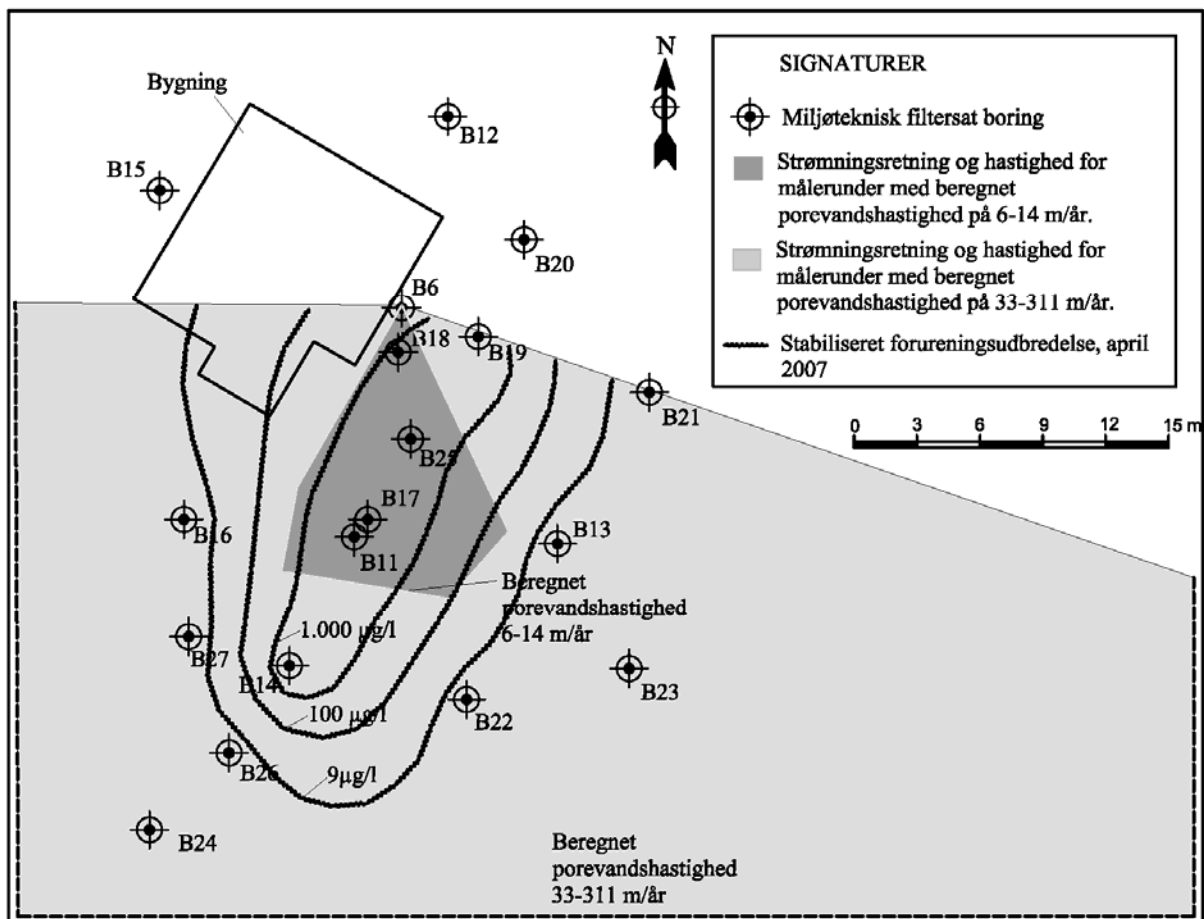
Oprensningen på ejendommen bestod af opsamling af fri fase med olieskimmere og whalepumper samt ved Enhanced Fluid Recovery og fandt sted i perioden fra august 2001 frem til november 2002. I denne periode blev der opsamlet ca. 1.400 l olie. I 2003 er der anslået fjernet ca. 650-900 kg olie ved udskiftning af forurenede bygningsdele og jord.

Der vurderes at være efterladt i alt 2-3.000 l fri fase og ca. 6.500 l olie bundet som restforurening i jorden, dvs. i alt 8.500-9.500 l olie (7.400-8.300 kg olie). Efterfølgende er der lænset en begrænset mængde fri fase olie efter hver monitoringsrunde. Ved lænsningen er der i alt opsamlet 96 l olie, hvilket svarer til mindre end 2% af den anslåede efterladte mængde olie.

Der er kraftig forurening med fri fase på grundvandet med en omkringliggende opløst fane. Grundvandsstanden i det sekundære magasin er pejlet til ca. 5-6 m.u.t.

En oversigtsplan over lokaliteten fremgår af figur B.13. Oversigtsplanen er udarbejdet i programmet ImageJ og Surfer (jf. bilag C) og der kan derfor forekomme mindre afvigelser i strømningsretning og porevandshastighed i forhold til hvad der er oplyst i de tidligere udarbejdede rapporter over lokaliteten.

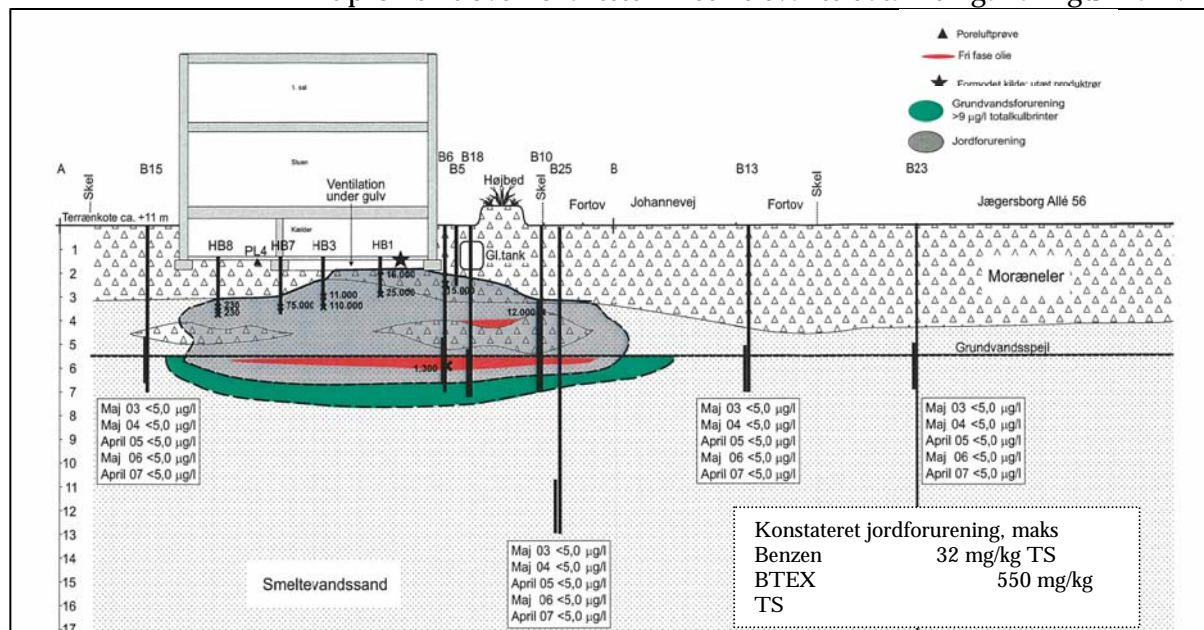




Figur B.13. Oversigtsplan med data udarbejdet i ImageJ og Surfer.

Som det fremgår af figur B.13 er den gennemsnitlige strømningsretning bestemt som værende vestlig til sydvest-sydøstlig, med en estimeret porevandshastighed på 6-311 m/år.

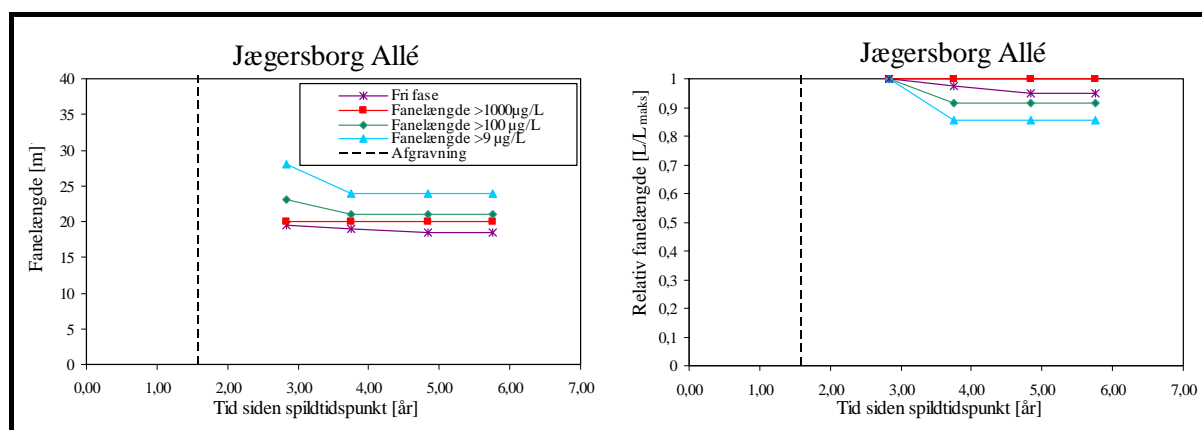
Et profilsnit over lokaliteten med relevante data fremgår af figur B.14.



Figur B.14. Skitse over grundvandsforureningens vertikale beliggenhed på Jægersborg Allé umiddelbart efter oprensning.

## Faneopmåling

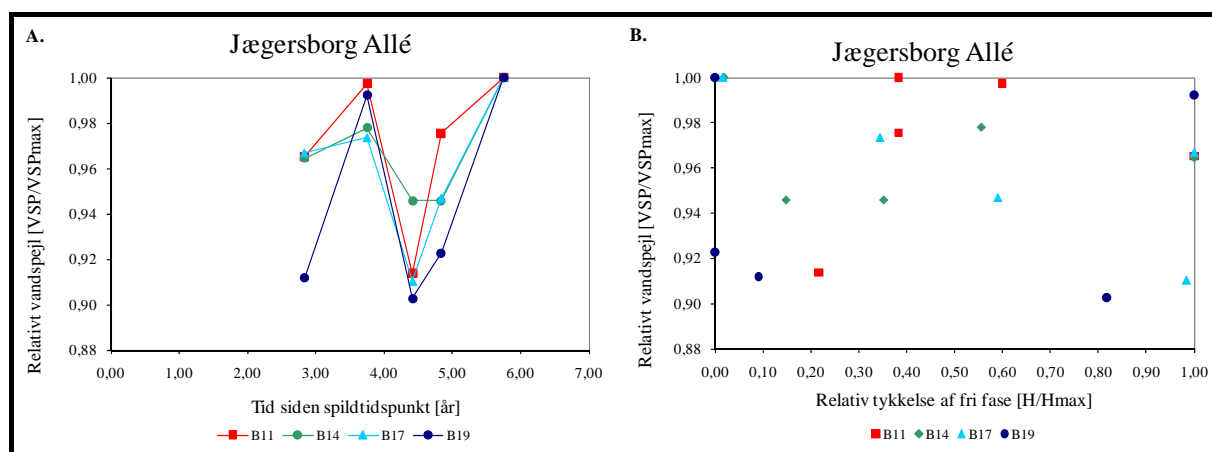
Af figur B.15 fremgår de opmålte fanelængder.



Figur B.15. Fanelængder præsenteret direkte og som relative fanelængder ifht. den maksimalt målt fanelængde.

## Pejledata

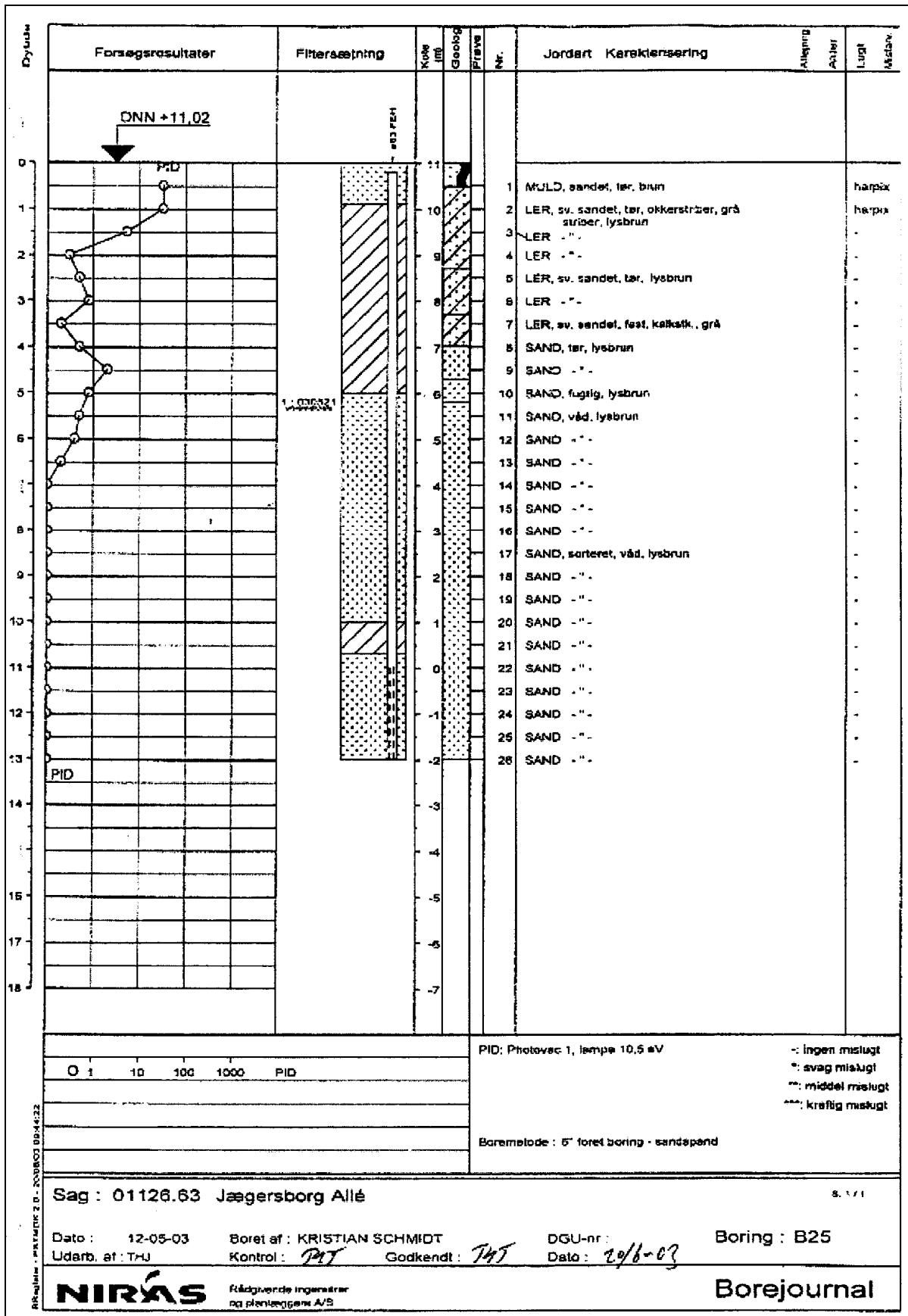
Af figur B.16 fremgår pejledata i forhold til tid og i forhold til relativ tykkelse af fri fase.



Figur B.16 Ændring i vandspejl over tid (A) og ændring i vandspejl som funktion af relativ koncentration (B).

## Boreprofiler

På følgende side ses boreprofil for B25.



## B.5: Trælløsevej

### Beskrivelse af lokalitet og data

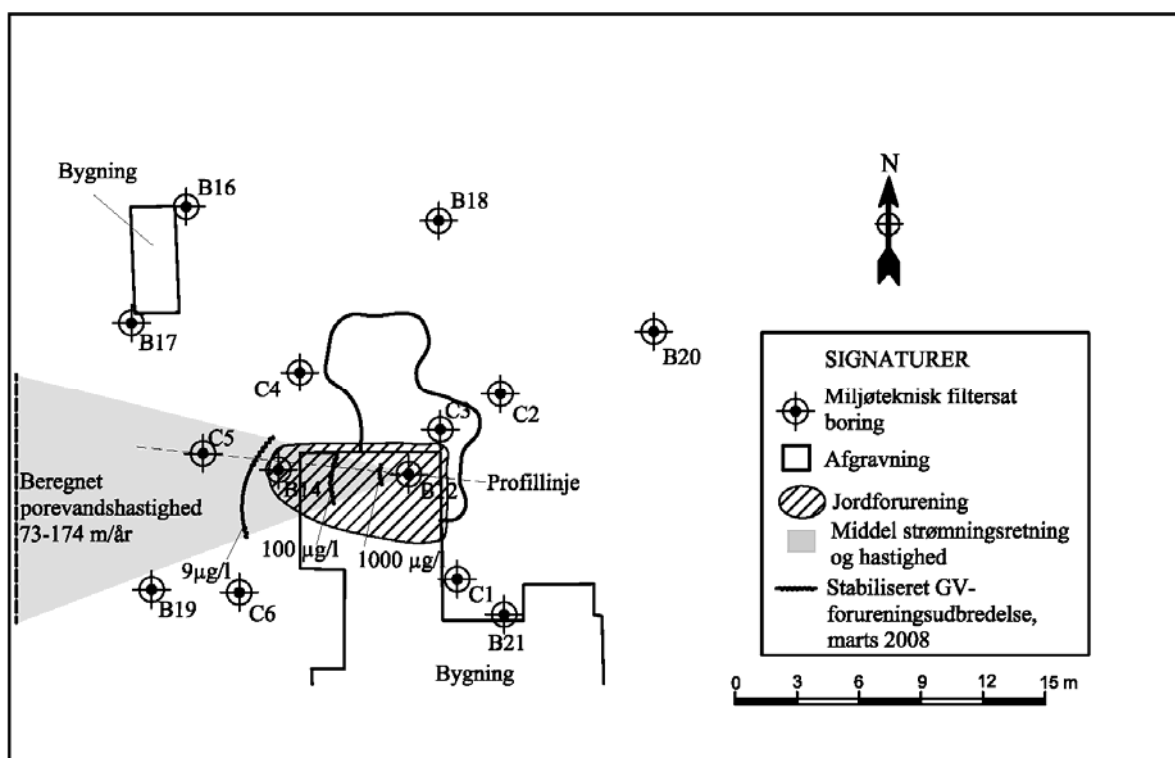
På Trælløsevej er den terrænnære grundvandsforurening monitoreret over 4 monitoringsrunder i 7-14 boringer (B12, B14, B16-B21 og C1-C6). Efter de første 2 monitoringsrunder er der dog udført en delvis oprensning.

Spildet er konstateret i juni 2004 og er anslået til ca. 200-300 liter olie.

I juni-august 2004 blev der opgravet den umiddelbart tilgængelige del af forureningen. Der blev i denne forbindelse opgravet ca. 52 tons jord, hvorved der vurderedes fjernet ca. 30-60 l olie (restforurening 170-260 kg olie). I maj 2006 blev der bortgravet ca. 10 tons forurenede jord under garagegulv, svarende til ca. 50-90 l olie (restforurening 40-190 kg olie). Der vurderes at være efterladt en restforurening under bygningen på i alt 40-70 l olie i dybden 1,1-1,9 m.u.t., mens den resterende del af restforureningen primært vurderes at befinde sig som fri fase på grundvandsspejlet eller som opløst i vandet.

Geologien på lokaliteten udgøres primært af sandet moræneler.

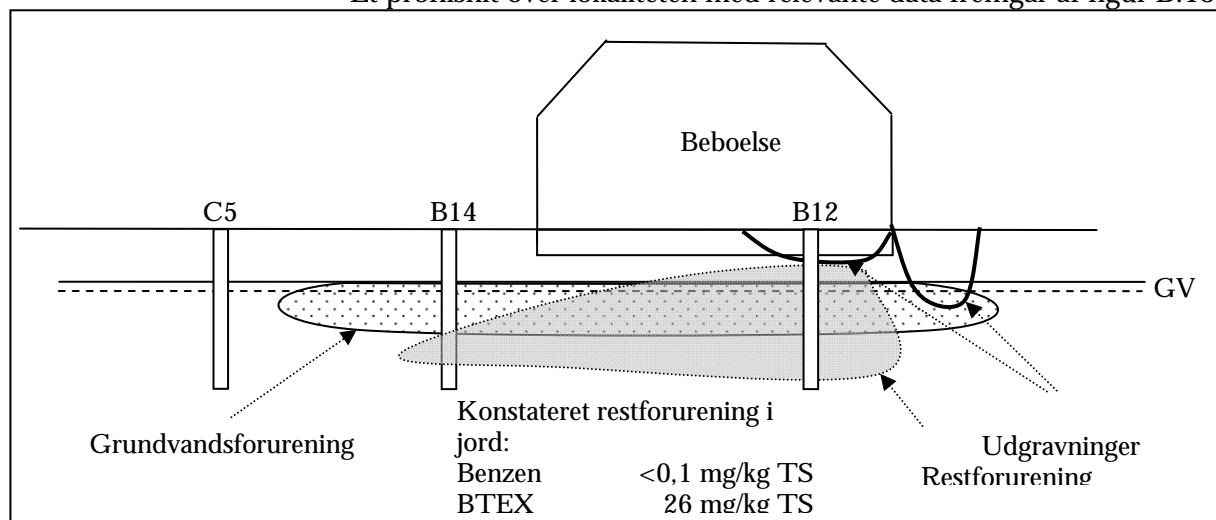
En oversigtsplan over lokaliteten fremgår af figur B.17. Oversigtsplanen er udarbejdet i programmerne ImageJ og Surfer (jf. bilag C) og der kan derfor forekomme mindre afvigelser i strømningsretning og porevandshastighed i forhold til hvad der er oplyst i de tidligere udarbejdede rapporter over lokaliteten.



Figur B.17. Oversigtsplan med data udarbejdet i ImageJ og Surfer.

Som det fremgår af figur B.17 er den gennemsnitlige strømningsretning bestemt som værende vestlig, med en estimeret porevandshastighed på 73-174 m/år i det primære magasin. Det fremgår endvidere at bl.a. boring B14 og C5 er placeret nedstrøms restforureningen og indenfor én måneds transportafstand fra restforureningen.

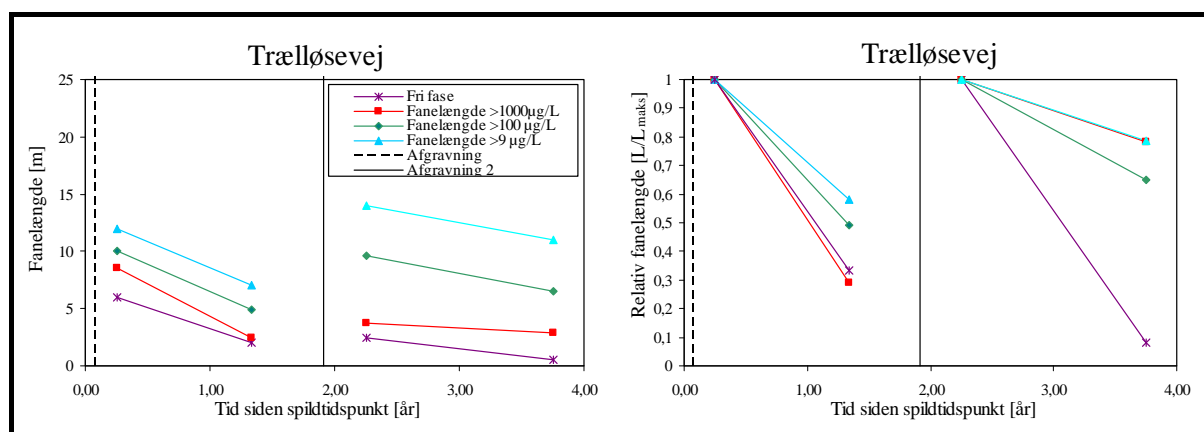
Et profilsnit over lokaliteten med relevante data fremgår af figur B.18.



**Figur B.18.** Skitse over grundvandsforureningens vertikale beliggenhed på Trælløsevej efter oprensning.

### Faneopmåling

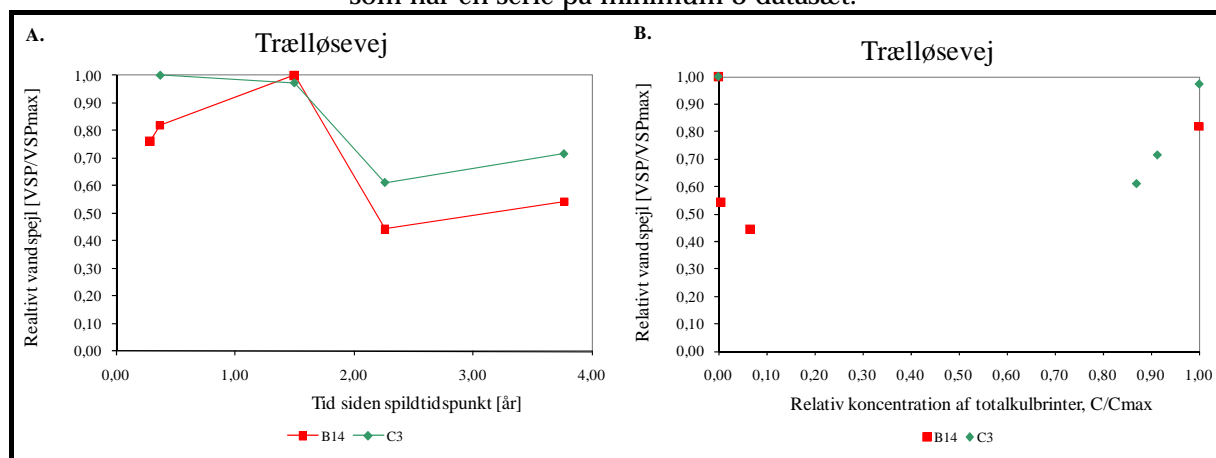
Af figur B.19 fremgår de opmålte fanelængder.



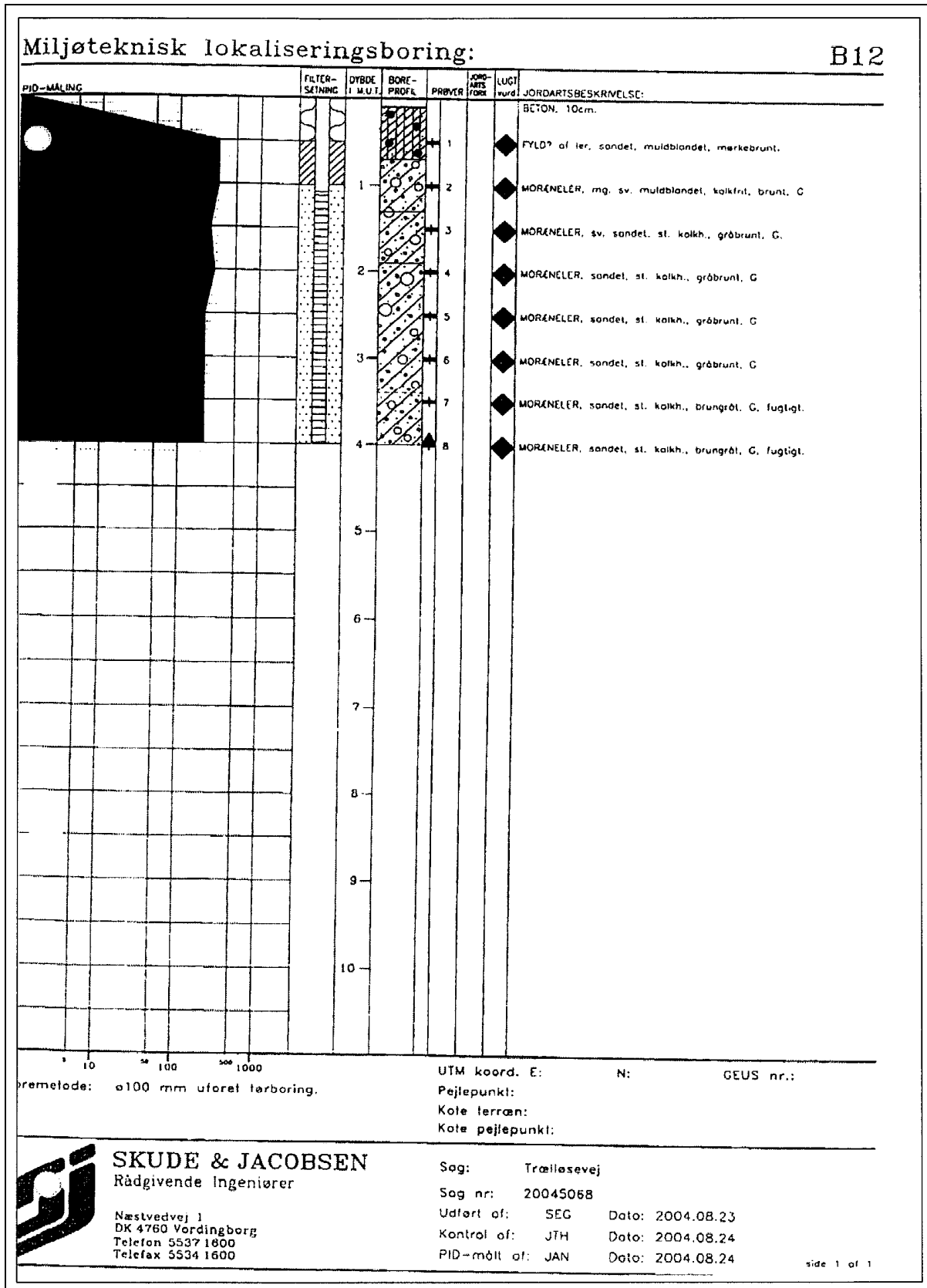
**Figur B.19.** Fanelængder præsenteret direkte og som relative fanelængder ifht. den maksimalt målt fanelængde.

### Pejledata

Af figur B.20 fremgår pejledata i forhold til tid og i forhold til relativ koncentration for de borer, hvori der er påvist indhold af totalkulbrinter og som har en serie på minimum 3 datasæt.



**Figur B.20** Ændring i vandspejl over tid (A) og ændring i vandspejl som funktion af relativ koncentration (B).



## B.6: Klemens Storegade

### **Beskrivelse af lokalitet og data**

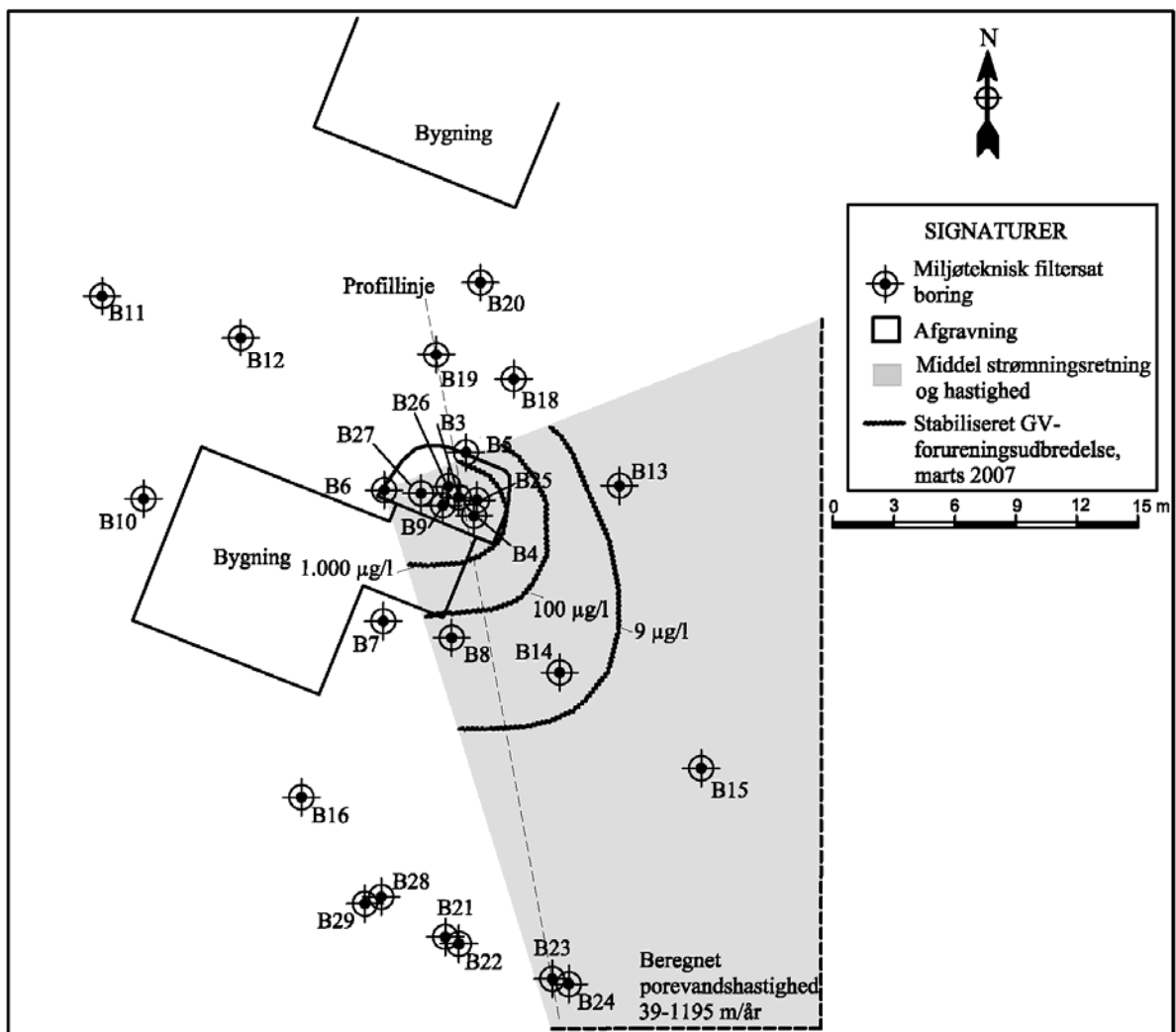
På Klemens Storegade er grundvandsforureningen monitoreret over 5 runder i 26 filtersatte boringer (B3-B16 og B18-B29) efter der er udført oprensning på ejendommen.

I perioden 1.-9. oktober 2004 er der foregået et spild fra en utæt olietank på ca. 1.000 l.

Oprrensningen på ejendommen bestod af en afgravning af 14,8 tons d. 12-22. oktober 2004, svarende til ca. 100-140 l olie. I oktober/november 2004 er der desuden oppumpet 30-40 l fri fase olie. I marts 2005 er der opgravet yderligere 64,4 tons jord, svarende til ca. 75-380 l olie. Under monitoringen er der endvidere løbende oppumpet fri fase olie fra boringerne. Ca. 50 l er oppumpet, hvilket dog vurderes at være en væsentlig mindre andel end den samlede efterladte restforurening (260-600 kg olie). I alt vurderes der at være fjernet 300-700 l olie.

Der er efterladt en restforurening i jorden på i alt ca. 20 m<sup>2</sup> med en vertikal udbredelse over ca. 2,0-2,5 m.u.t., hvoraf ca. halvdelen ligger under huset. Dette svarer til i alt ca. 18 tons forurenede jord. Størstedelen af restforureningen vurderes som udgangspunkt at ligge som fri fase på grundvandsspejlet ca. 3 m.u.t. i en tykkelse på op til 26 cm over et område på ca. 50 m<sup>2</sup>.

En oversigtsplan over lokaliteten fremgår af figur B.21. Oversigtsplanen er udarbejdet i programmerne ImageJ og Surfer (jf. bilag C) og der kan derfor forekomme mindre afvigelser i strømningsretning og porevandshastighed i forhold til hvad der er oplyst i de tidligere udarbejdede rapporter over lokaliteten.

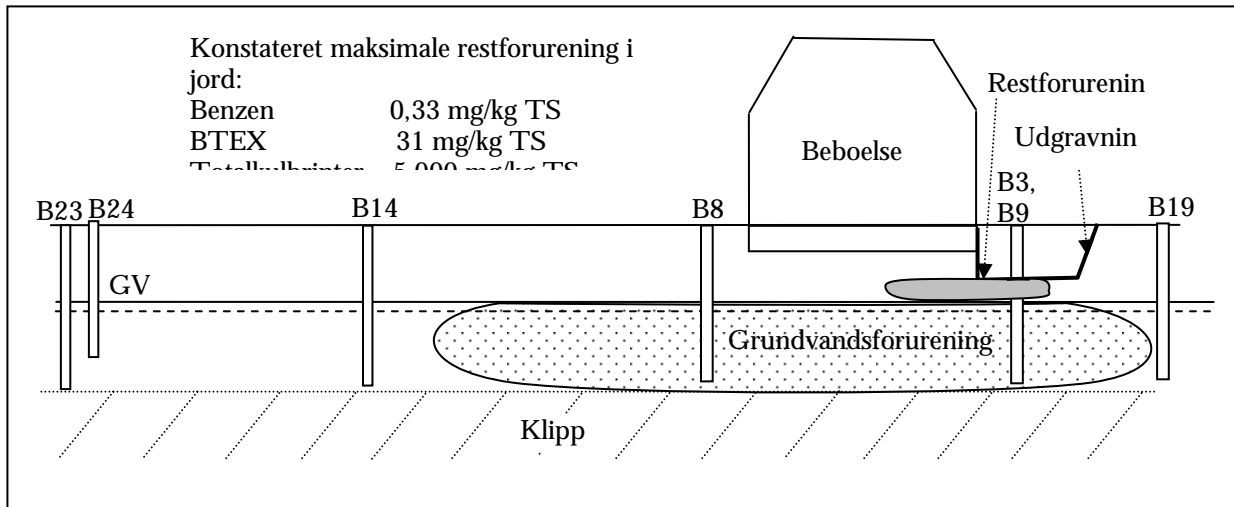


Figur B.21. Oversigtsplan med data udarbejdet i ImageJ og Surfer.

Som det fremgår af figur B.21 er den gennemsnitlige strømningsretning bestemt som værende øst-sydøstlig, med en estimeret porevandshastighed på 39-1195 m/år. Det fremgår endvidere at borerne B14 og B15 er placeret nedstrøms restforureningen og indenfor et halvt års transportafstand fra restforureningen.

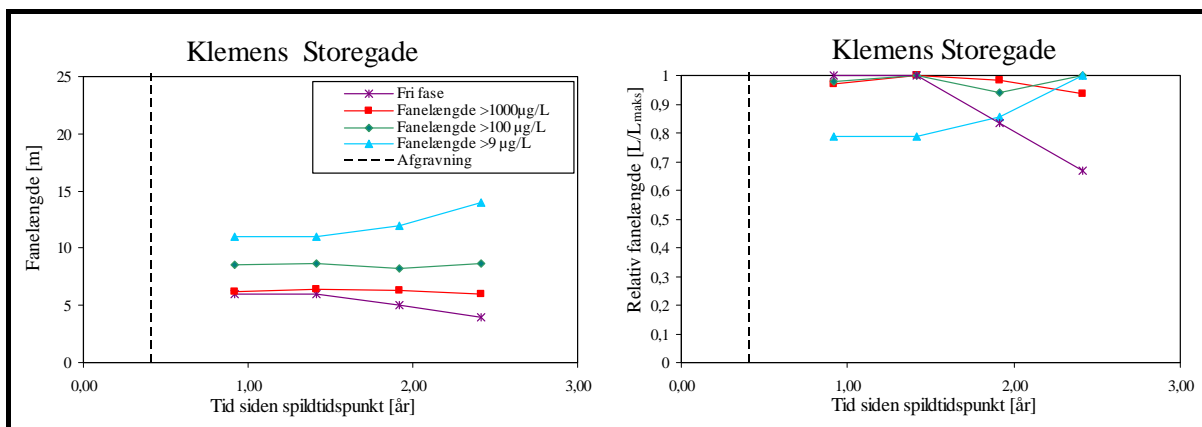


Et profilsnit over lokaliteten med relevante data fremgår af figur B.22.



Figur B.22. Skitse over grundvandsforureningens vertikale beliggenhed på Klemens Storegade, umiddelbart efter oprensning.

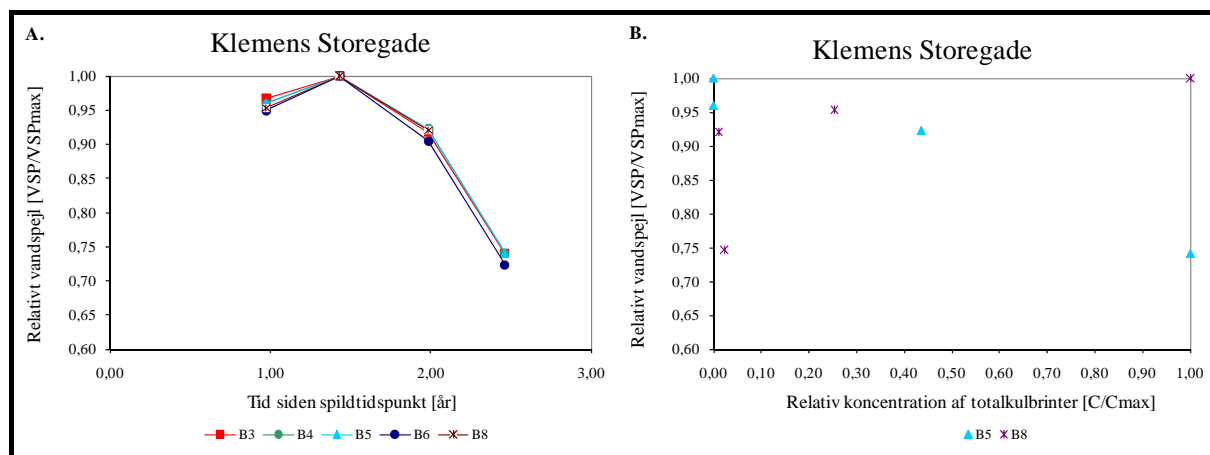
**Faneopmåling** Af figur B.23 fremgår de opmålte fanelængder.



Figur B.23. Fanelængder præsenteret direkte og som relative fanelængder ifht. den maksimalt målt fanelængde.

## Pejledata

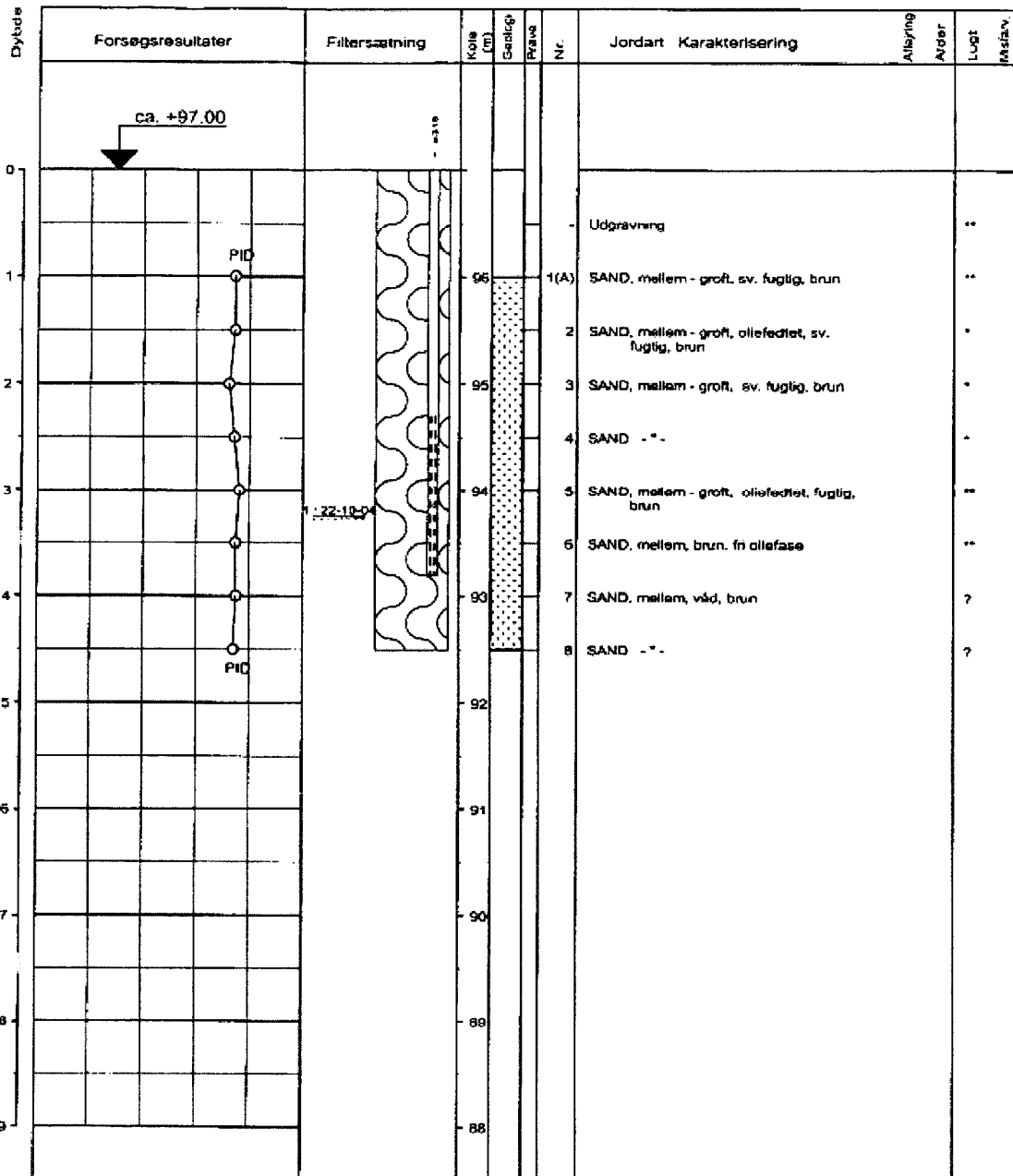
Af figur B.24 fremgår pejledata i forhold til tid og i forhold til relativ koncentration for de boringer, hvori der er påvist indhold af totalkulbrinter og som har en serie på minimum 3 datasæt.



Figur B.24 Ændring i vandspejl over tid (A) og ændring i vandspejl som funktion af relativ koncentration (B).

## Boreprofiler

På følgende side ses boreprofil for B3.



0 1 10 100 1000 PID

(A): Prøve sendt til analyselaboratorie

PID: Photovac nr. 2

1 cm fri olie på grundvand

Boremetode: Håndbor til 3,5 m, rest 6" snegt, uforet

- : ingen mistugt

\* : svag mistugt

\*\* : middel mistugt

\*\*\* : kraftig mistugt

Sag : 04272.24 Klemens Storegade

Dato : 12-10-04

Boret af : NIRAS/PL-ENTREPRISE

DGU-nr :

Boring : B3

Udarb. af : JCC

Kontrol : ADT

Godkendt : ADT

Dato : 26/11-04

2 / 1

**NIRAS**

Rådgivende ingeniører  
og planlæggere A/S

Borejournal

## B.7: Lindevangsvej

### Beskrivelse af lokalitet og data

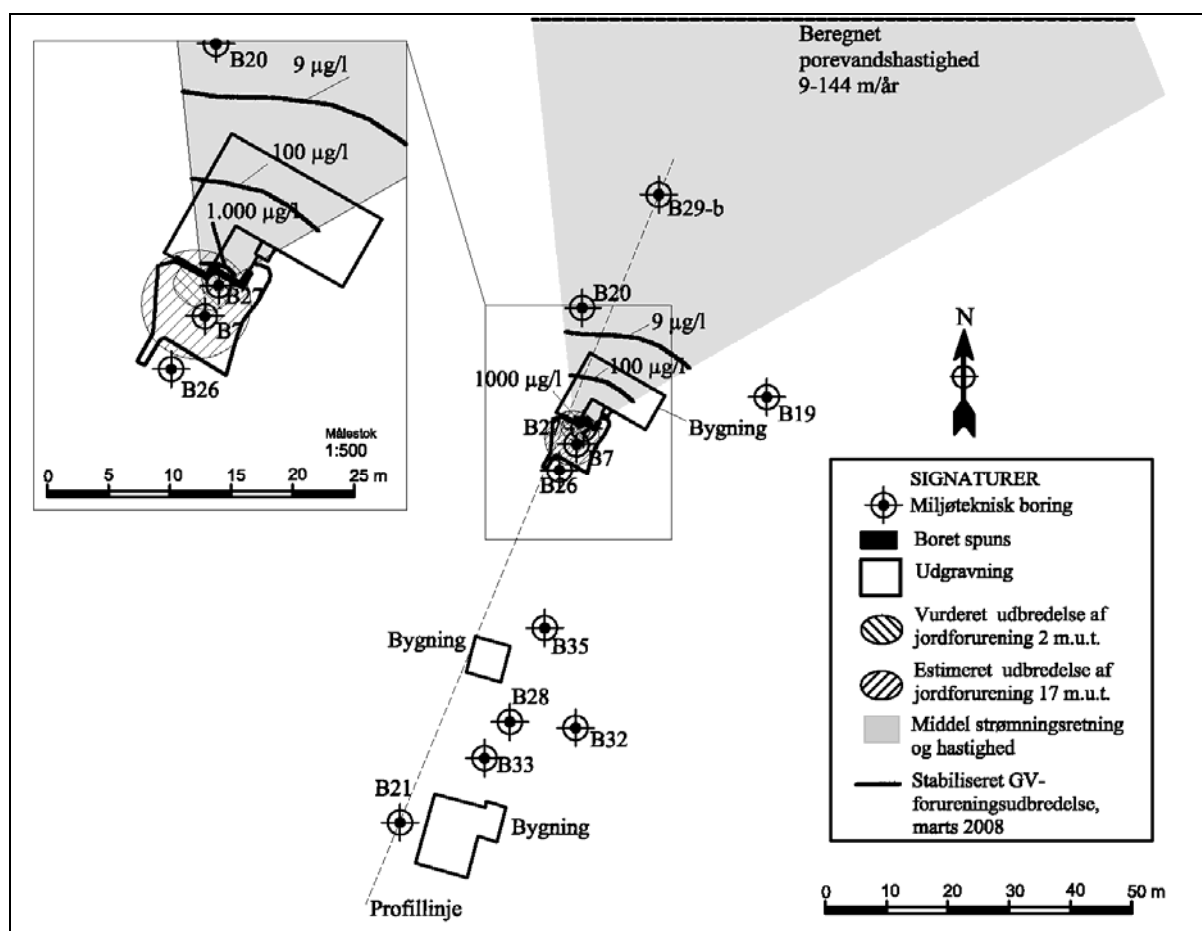
På Lindevangsvej er grundvandsforureningen monitoreret over 4-5 runder i 6 filtersatte boringer (B19, B20, B21, B26, B27 og B29-b)) efter der er udført delvis oprensning på ejendommen. Der er monitoreret i det primære magasin, idet der ikke findes sekundære magasiner i området.

Spildet er konstateret og standset i april 2004 og er vurderet til at have fundet sted over en periode på mindst 10 år. Spildet er anslået til i størrelsesorden 3-5.000 l.

Oprensningen på ejendommen bestod af en afgravning af 141 tons forurenede jord (svarende til ca. 550 l olie) til 2 m.u.t. nær huset i august 2004.

Der er efterladt en større restforurening i den umættede zone 0-17 m.u.t., som er vurderet at udgøre 2.500-4.250 kg olie. Der er konstateret en kraftig forurening i det primære grundvand, som er beliggende 17 m.u.t. direkte under kilden.

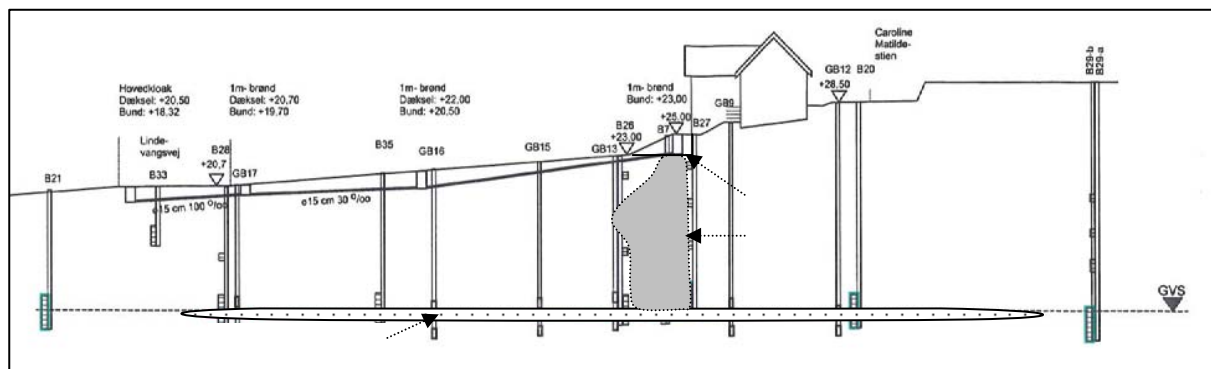
En oversigtsplan over lokaliteten fremgår af figur B.25. Oversigtsplanen er udarbejdet i programmerne ImageJ og Surfer (jf. bilag C) og der kan derfor forekomme mindre afvigelser i strømningsretning og porevandshastighed i forhold til hvad der er oplyst i de tidligere udarbejdede rapporter over lokaliteten.



Figur B.25. Oversigtsplan med data udarbejdet i ImageJ og Surfer.

Som det fremgår af figur B.25 er den gennemsnitlige strømningsretning bestemt som værende nord-nordøstlig, med en estimeret porevandshastighed på 9-144 m/år.

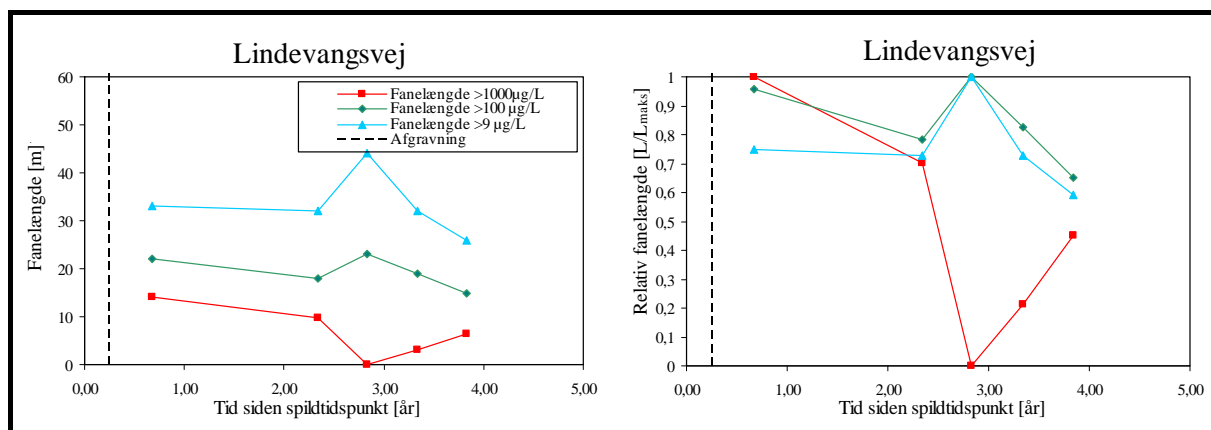
Et profilsnit over lokaliteten med relevante data fremgår af figur B.26. Ud fra lokale pejledata vurderes strømningsretningen under/omkring bygningen at følge profilsnittet i figur B.26.



**Figur B.26.** Skitse over grundvandsforureningens vertikale beliggenhed på Lindevangsvej efter oprensning.

### Faneopmåling

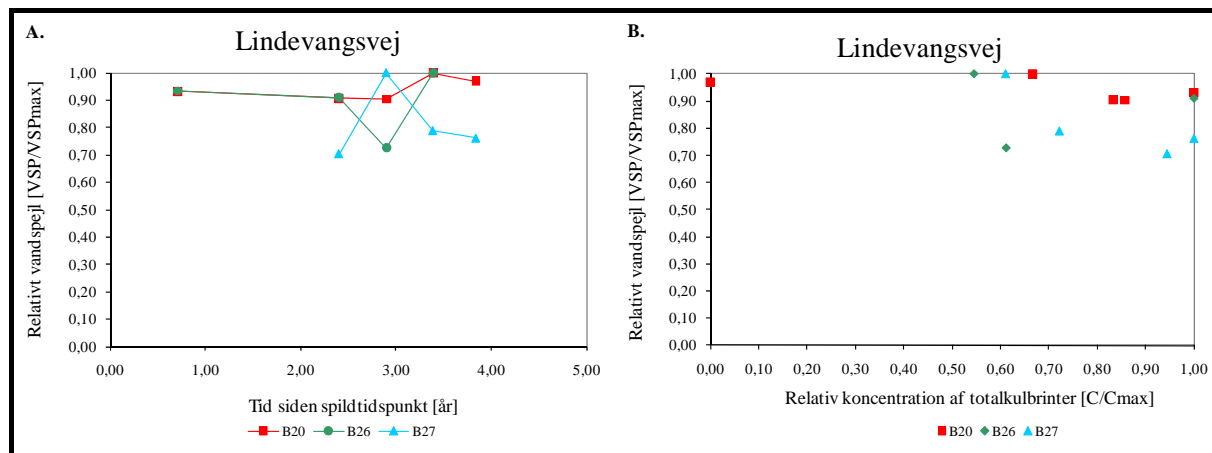
Af figur B.27 fremgår de opmålte fanelængder.



**Figur B.27.** Fanelængder præsenteret direkte og som relative fanelængder ifht. den maksimalt målt fanelængde.

## Pejledata

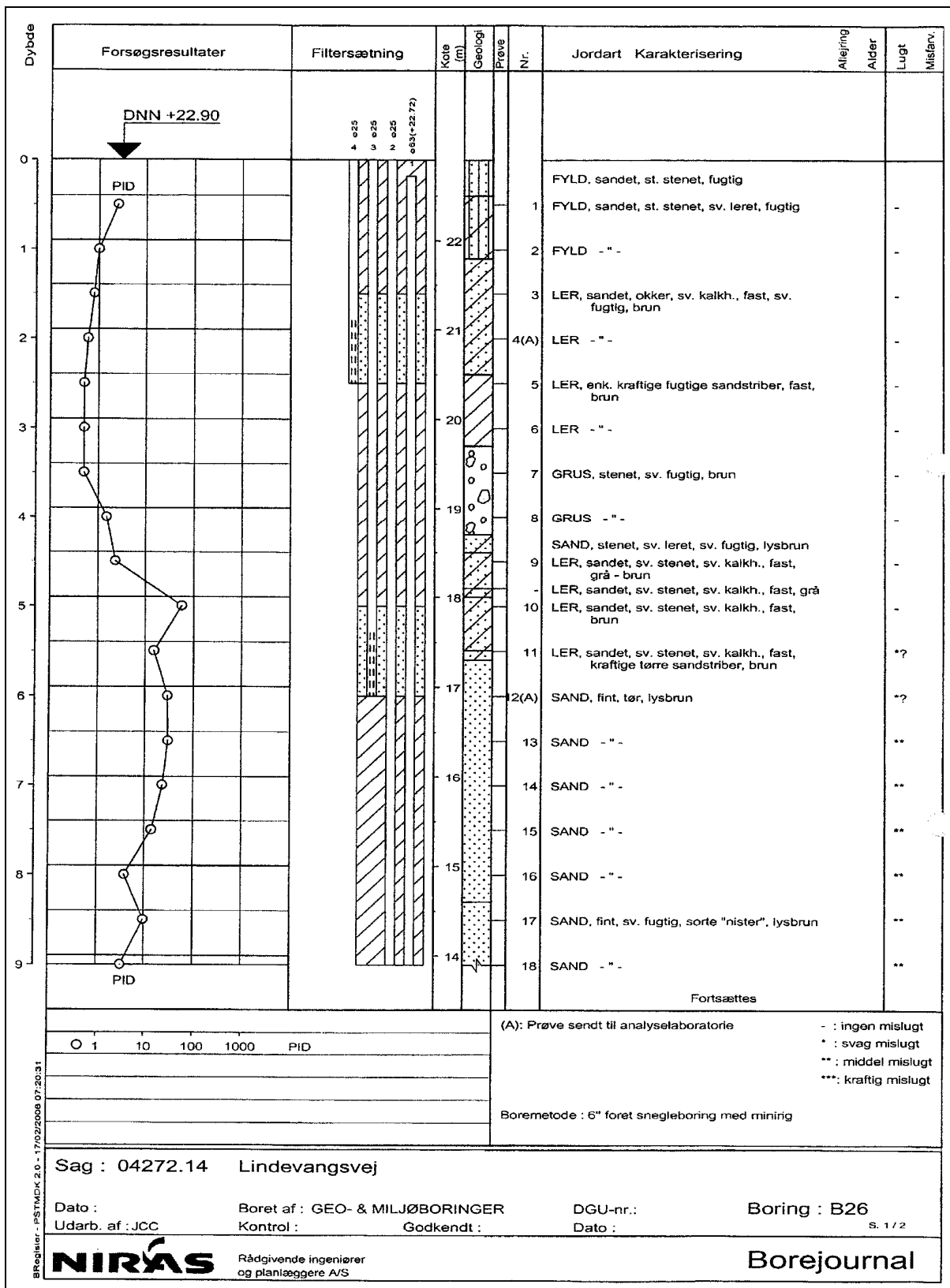
Af figur B.28 fremgår pejledata i forhold til tid og i forhold til relativ koncentration for de boringer, hvori der er påvist indhold af totalkulbrinter og som har en serie på minimum 3 datasæt.



**Figur B.28** Ændring i vandspejl over tid (A) og ændring i vandspejl som funktion af relativ koncentration (B).

## Boreprofiler

På følgende side ses boreprofil for B26.



## B.8: Nøkkentved

### Beskrivelse af lokalitet og data

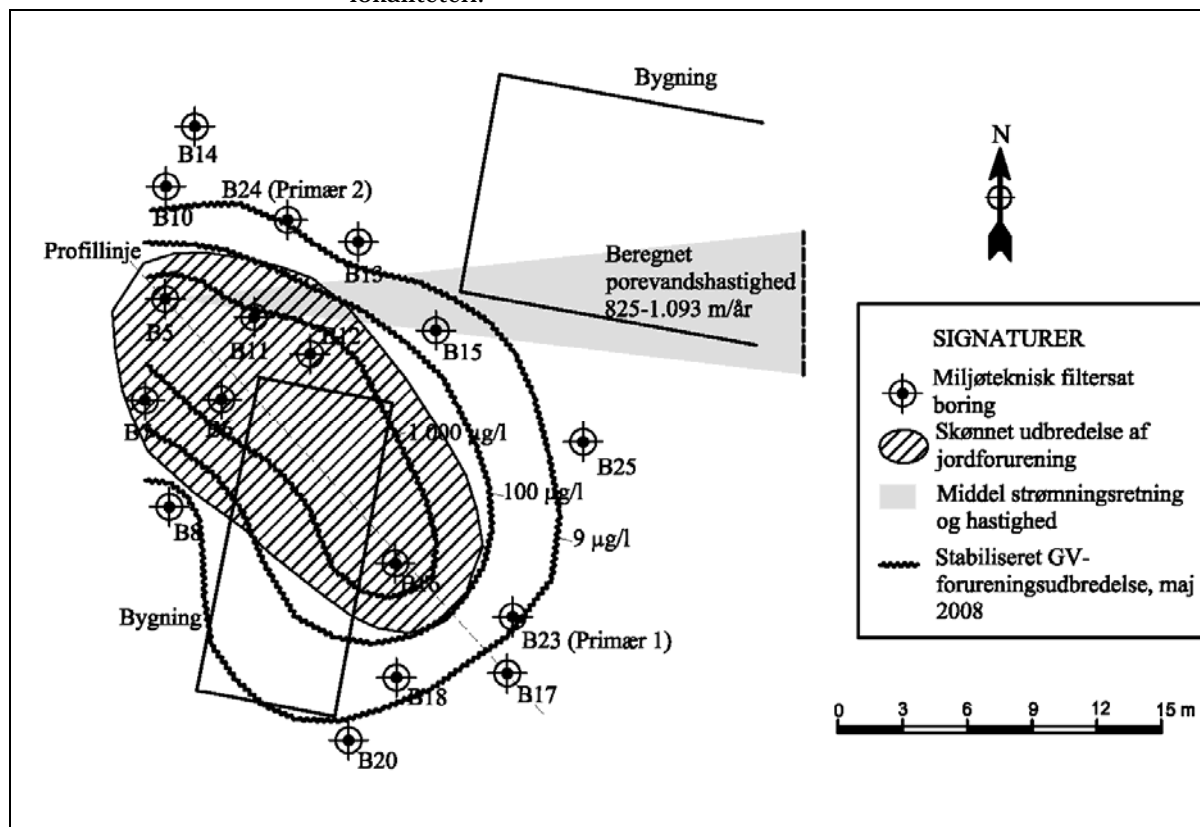
På Nøkkentved er grundvandsforureningen monitoreret over 8 runder i 19 filtersatte boringer (B5-B8, B10-B18, B20, B23-B25) efter der er udført oprensning på ejendommen. 2 af filtrene (B23 og B24) er sat i et dybereliggende magasin.

Spildet er sket i januar 2004 og vurderes at bestå af ca. 2.000 l olie.

Oprensningen på ejendommen bestod af en mindre afgravning til ca. 0,5 m.u.t. ved hotspot, samt afskimning af fri fase i perioden februar 2004 til marts 2005. Ved oppumpning af fri fase fjernes der i den angivne periode ca. 550 l olie. Oppumpningen af fri fase vurderes at udgøre den primære oprensning. Skimningen af den fri fase olie fortsætter ind i monitoringsperioden, men denne del udgør dog kun ca. 30 l og vurderes derfor at være ubetydelig i forhold til den samlede restforurening.

Der er efterladt en restforurening under og udenfor huset over et areal på i alt ca. 100 m<sup>2</sup>. Dybden af jordforureningen varierer meget som følge af den meget varierende geologi og starter nogle steder 0,5 m.u.t., mens den andre steder ikke er helt afgrænset 6,0 m.u.t. En stor del af forureningen vurderes dog at befinde sig som fri fase olie på grundvandsspejlet. Grundvandsspejlet varierer meget, men er i flere boringer er pejlet til omkring 5,0 m.u.t. Restforureningen vurderes at udgøre 1.200 kg olie.

En oversigtsplan over lokaliteten fremgår af figur B.29. Oversigtsplanen er udarbejdet i programmerne ImageJ og Surfer (jf. bilag C) og der kan derfor forekomme mindre afvigelser i strømningsretning og porevandshastighed i forhold til hvad der er oplyst i de tidligere udarbejdede rapporter over lokaliteten.

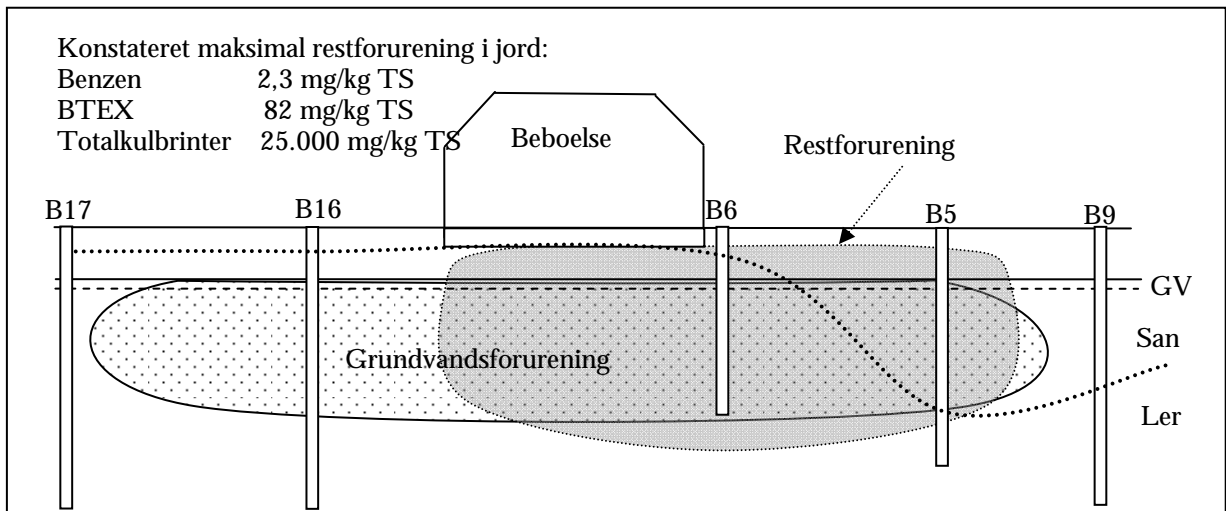


Figur B.29. Oversigtsplan med data udarbejdet i ImageJ og Surfer.



Strømningsretningen meget på grund af den meget vekslende geologi, som mod syd primært udgøres af ler med sandslirer, mens den nordlige del primært udgøres af sand i de terrænnære aflejringer. Strømningsretningen har ved de seneste monitoringer været nordøstlig, østlig og sydøstlig, mens den gennemsnitlige strømningsretning i ImageJ er beregnet til at være østlig. På baggrund af den vekslende geologi er det ikke muligt at vurdere en porevandshastighed, der gælder for hele området. Ud fra pejledata er der i ImageJ beregnet en porevandshastighed på 825-1.093 m/år. På baggrund af den konstaterede forureningsfane, vurderes boring B17 at stå nedstrøms restforureningen og indenfor én uges transportafstand fra restforureningen.

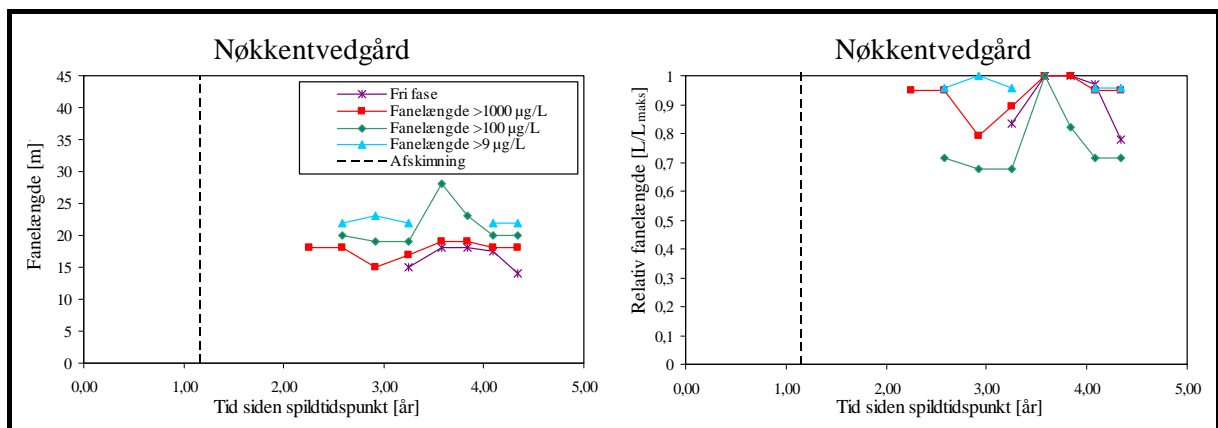
Et profilsnit over lokaliteten med relevante data fremgår af figur B.30.



Figur B.30. Skitse over grundvands- og jordforureningens vertikale beliggenhed på Nøkkentved.

### Faneopmåling

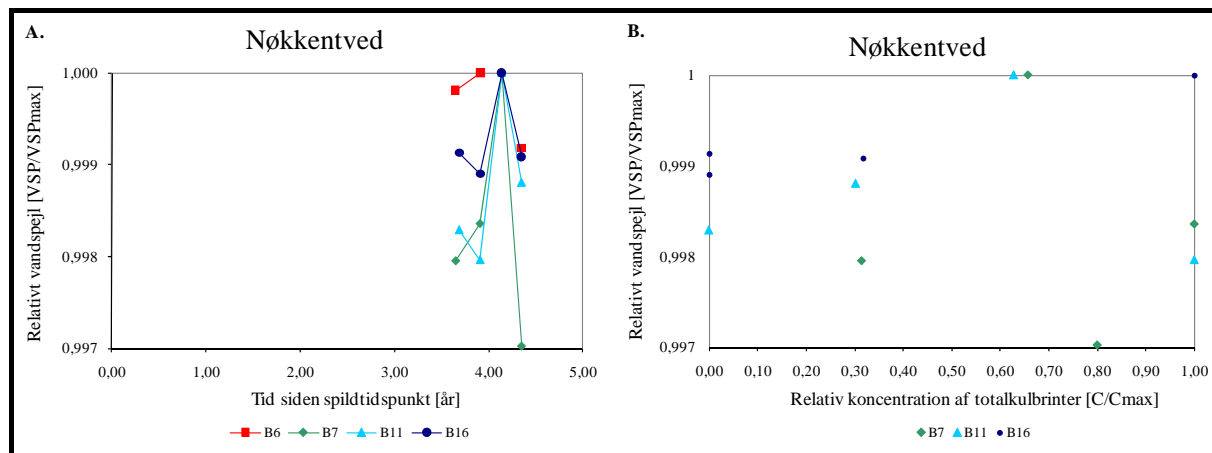
Af figur B31 fremgår de opmålte fanelængder.



Figur B.31. Fanelængder præsenteret direkte og som relative fanelængder ifht. den maksimalt målt fanelængde.

## Pejledata

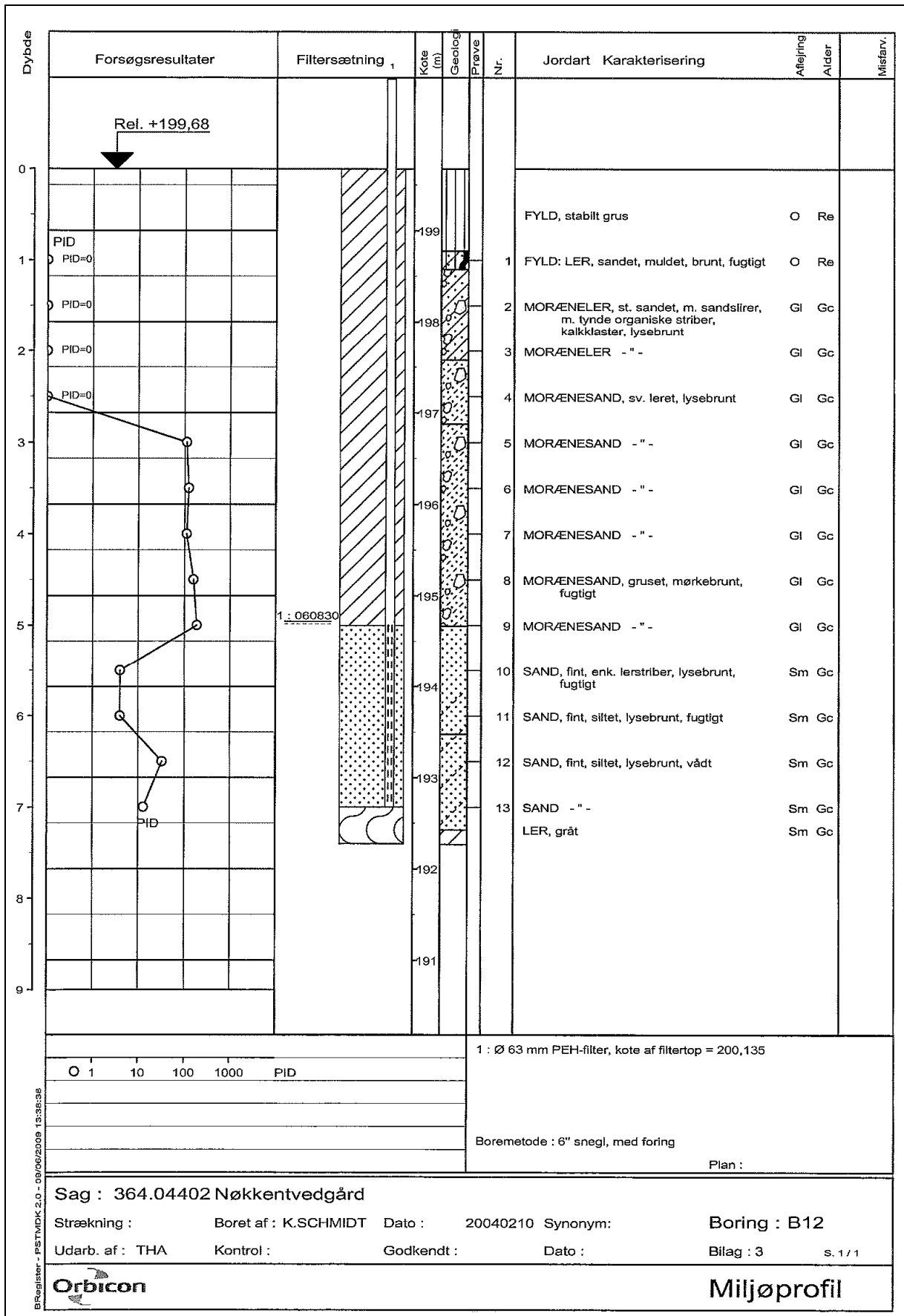
Af figur B.32 fremgår pejledata i forhold til tid og i forhold til relativ koncentration for de boringer, hvori der er påvist indhold af totalkulbrinter og som har en serie på minimum 3 datasæt.



**Figur B.32** Ændring i vandspejl over tid (A) og ændring i vandspejl som funktion af relativ koncentration (B).

## Boreprofiler

På følgende side ses boreprofil for B12 i hotspot.



## B.9: Snedronningvej

### Beskrivelse af lokalitet og data

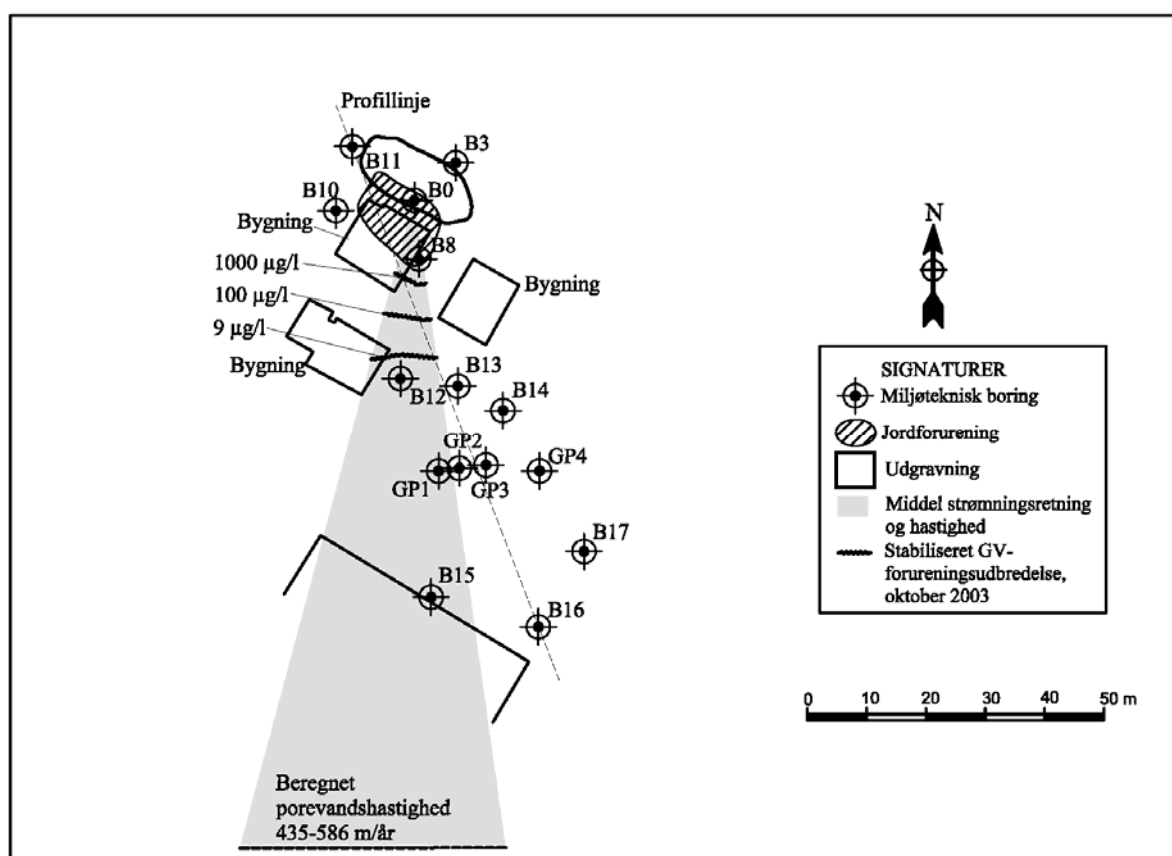
På Snedronningvej er den terrænnære grundvandsforurening monitoreret over 2-5 monitoringsrunder i 12 borer (B8, B11-B17 og GP1-GP4), hvoraf de 4 sidstnævnte borer er udført med geoprobe. Der er desuden monitoreret i det dybereliggende magasin nedstrøms lokaliteten i 6 filter (B12-B16).

Spildet er konstateret i december 2000 og er anslået til minimum 3.500 l.

Oprensningen på ejendommen bestod af opgravning af 67 tons jord i perioden 24-26. januar 2001, oppumpning af 950 l olie i perioden 26. januar-7. februar 2001 og igen opgravning af 371 tons jord i perioden og 2. januar til medio februar 2002. Der vurderes i alt at være fjernet 2.000-2.500 l olie og at være efterladt ca. 800-1.700 l olie i jord (ca. 700-1.500 kg) og grundvand (anslået ca. 190 l i jord og 600-1.500 l i vandet, primært som fri fase).

Den efterladte restforurening i jorden er primært beliggende under huset, hvor det af byggetekniske årsager ikke var muligt at bortgrave mere forurenede jord. Den primære restforurening udgøres af fri fase på grundvandsspejlet, som er pejlet til ca. 2,7 m.u.t.

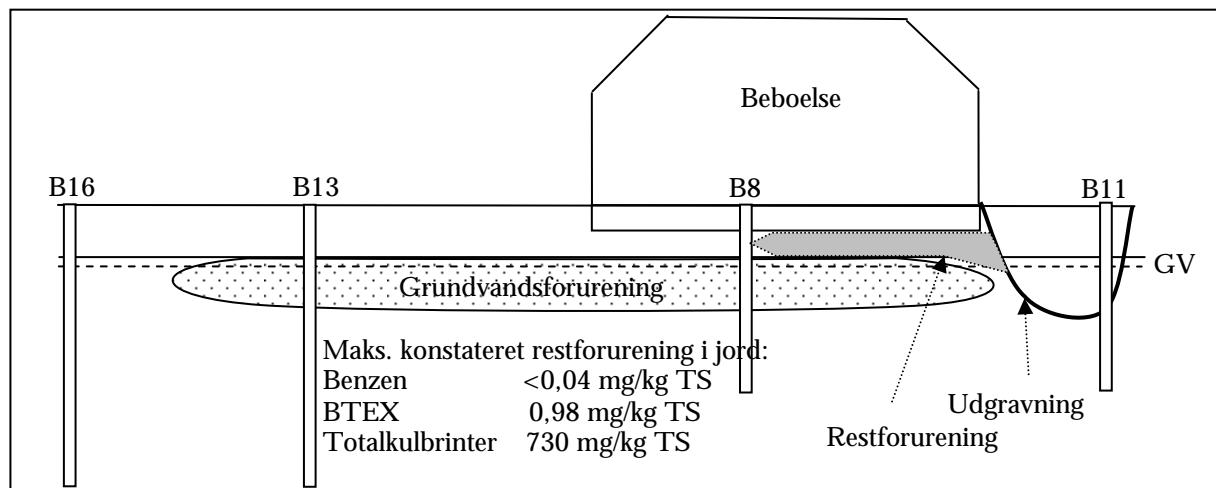
En oversigtsplan over lokaliteten fremgår af figur B.33. Oversigtsplanen er udarbejdet i programmerne ImageJ og Surfer (jf. bilag C) og der kan derfor forekomme mindre afvigelser i strømningsretning og porevandshastighed i forhold til hvad der er oplyst i de tidligere udarbejdede rapporter over lokaliteten.



Figur B.33. Oversigtsplan med data udarbejdet i ImageJ og Surfer.

Som det fremgår af figur B.33 er den gennemsnitlige strømningsretning bestemt som værende sydlig, med en beregnet porevandshastighed på 435-586 m/år. Det fremgår endvidere, at bl.a. boring B12 og B15 er placeret nedstrøms restforureningen inden for 2 måneders transportafstand.

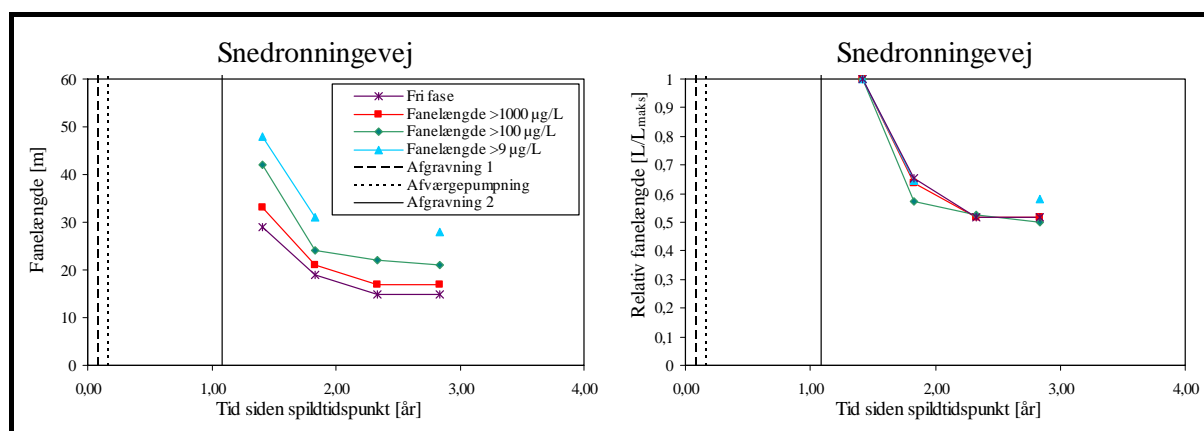
Et profilsnit over lokaliteten med relevante data fremgår af figur B.34.



**Figur B.34.** Skitse over grundvandsforureningens vertikale beliggenhed på Snedronningvej efter oprensning.

### Faneopmåling

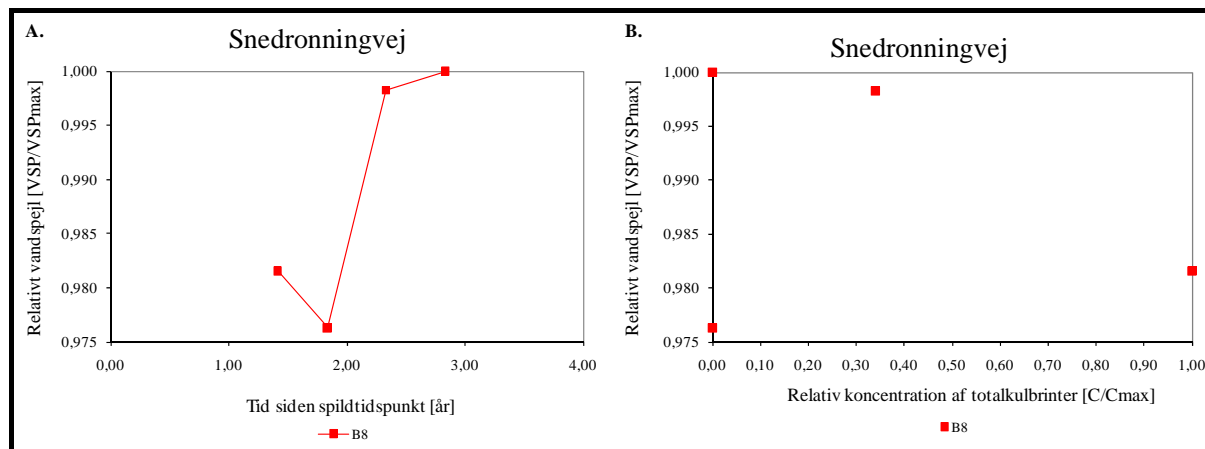
Af figur B.35 fremgår de opmålte fanelængder.



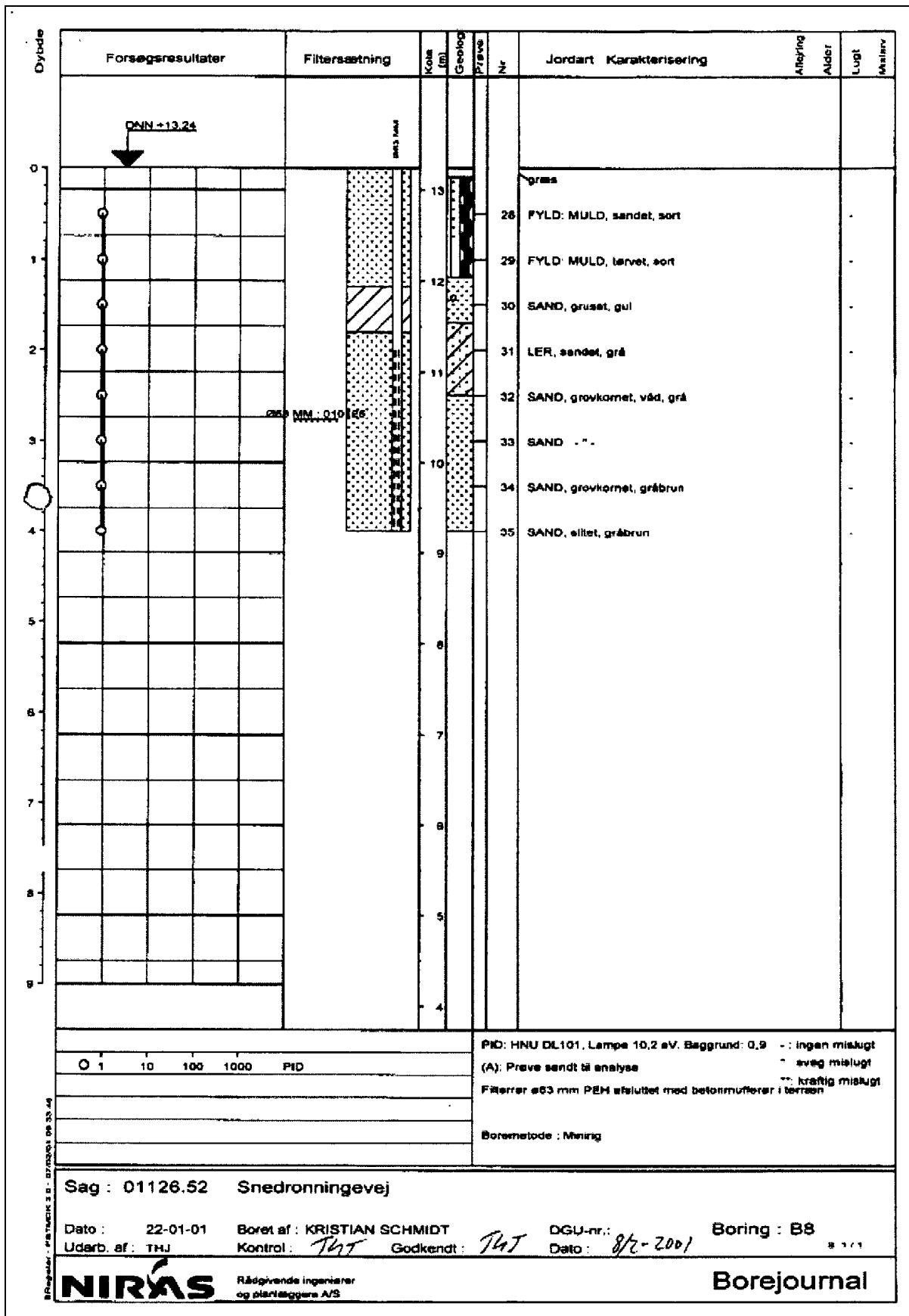
**Figur B.35.** Fanelængder præsenteret direkte og som relative fanelængder ifht. den maksimalt målt fanelængde.

## Pejledata

Af figur B.36 fremgår pejledata i forhold til tid og i forhold til relativ koncentration for de boringer, hvori der er påvist indhold af totalkulbrinter og som har en serie på minimum 3 datasæt.



**Figur B.36** Ændring i vandspejl over tid (A) og ændring i vandspejl som funktion af relativ koncentration (B).



## B.10: Viderupgårdsvej

### Beskrivelse af lokalitet og data

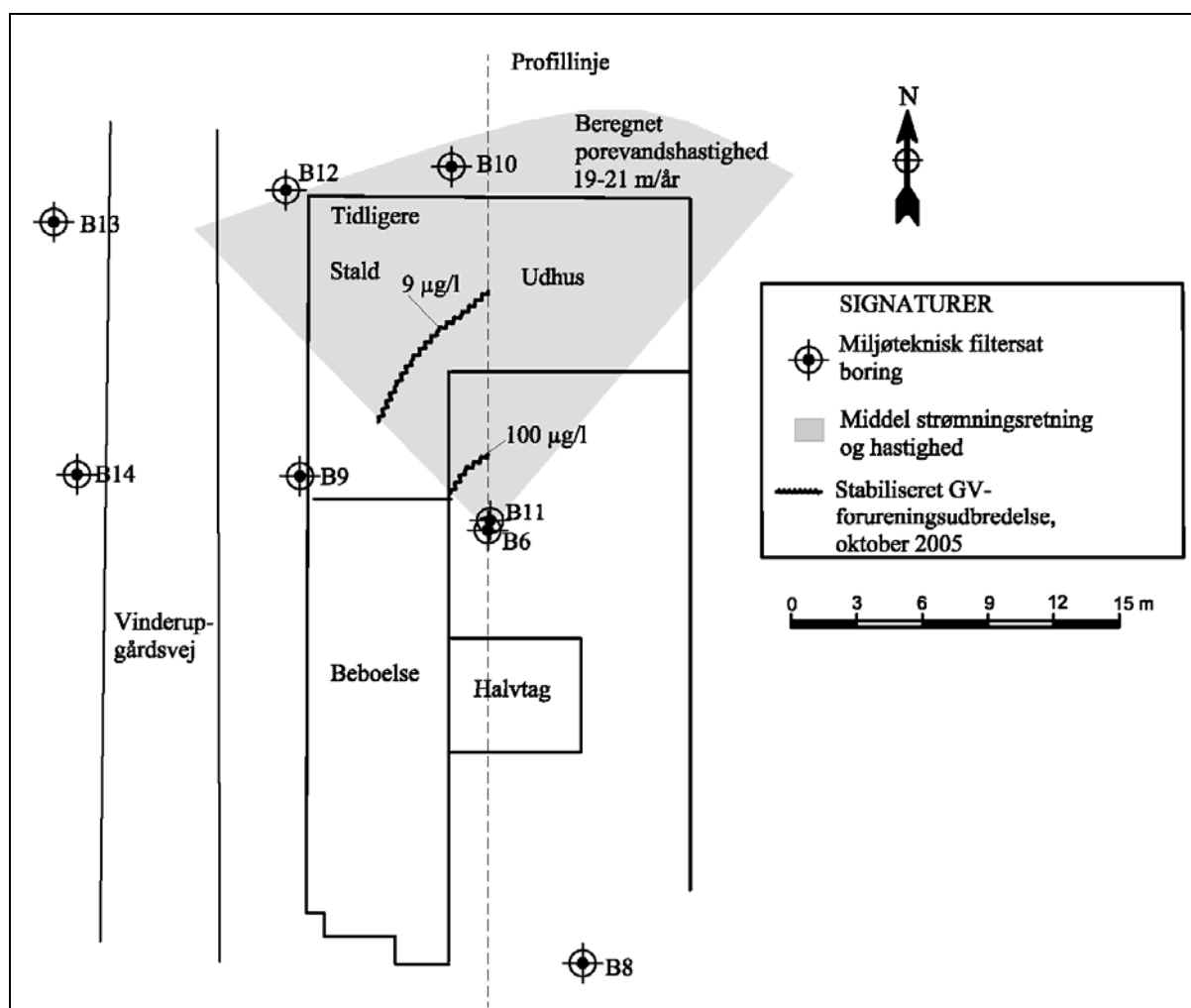
På Viderupgårdsvej er grundvandsforureningen monitoreret over 1-2 runder i 7 filtersatte boringer (B6, B8-B13) efter der er udført oprensning på ejendommen. Boringerne er udført udendørs.

Spildet er konstateret den 30. august 2003 og er anslået til ca. 1.000 L.

Oprensningen på ejendommen bestod af en straksafgravning af 40,28 ton forurenede jord 11. september 2003.

Der er efterladt en restforurening under beboelsen, tidligere staldbygning og gårdspladsen, som reelt vurderes utilgængeligt. Restforureningen vurderes at udgøre 200-400 forurenede jord (251-500 kg olie) med en vertikal udbredelse på 0-4,5 m.u.t. Der er imidlertid en relativt kraftig forurening i grundvandet, som er pejlet til ca. 2,5 m.u.t.

En oversigtsplan over lokaliteten fremgår af figur B.37, sammen med den horisontale beliggenhed af profilsnittet, som fremgår af figur B.38.

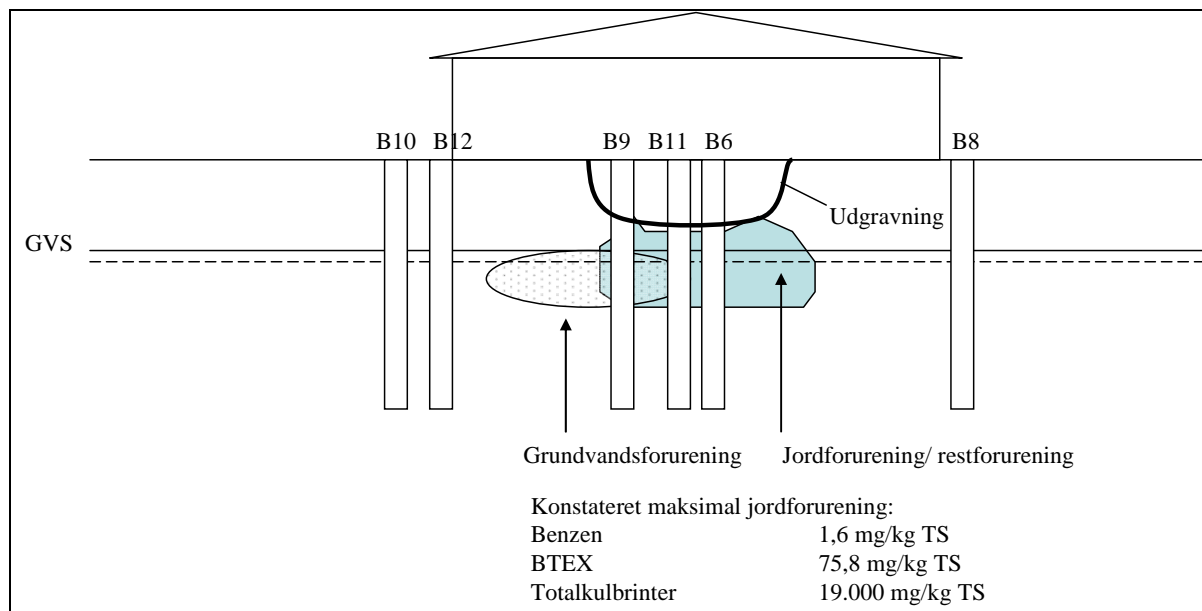


Figur B.37. Oversigtsplan med data udarbejdet i ImageJ og Surfer.



Som det fremgår af figur B.37 er den gennemsnitlige strømningsretning bestemt som værende nordvestlig til sydvestlig, med en estimeret porevandshastighed på 19-21 m/år. Det fremgår endvidere at boring B10 er placeret nedstrøms restforureningen og indenfor ét års transportafstand fra restforureningen.

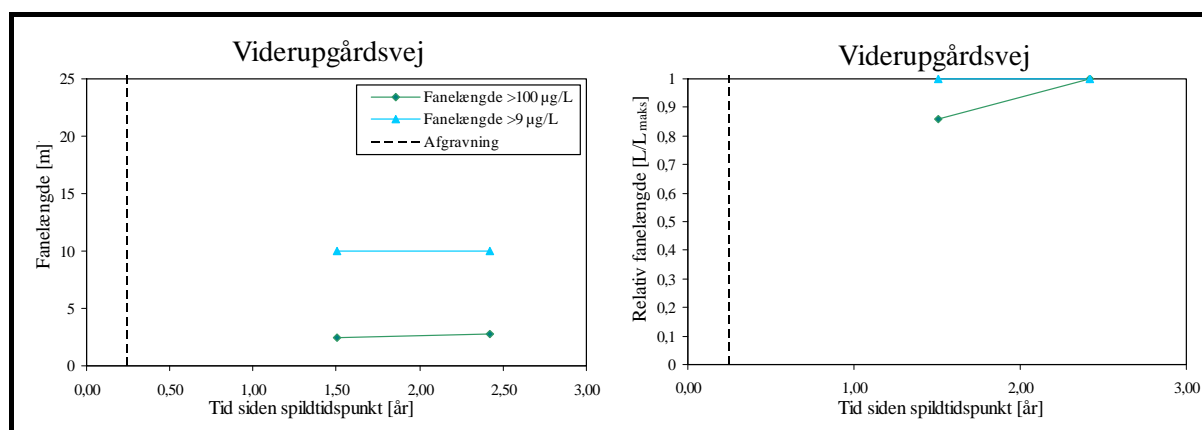
Et profilsnit over lokaliteten med relevante data fremgår af figur B.38. Ud fra lokale pejledata vurderes strømningsretningen under/omkring bygningen at følge profilsnittet i figur B.38.



Figur B.38. Skitse over grundvandsforureningens vertikale beliggenhed på Viderupgårdsvej.

### Faneopmåling

Af figur B39 fremgår de opmålte fanelængder.



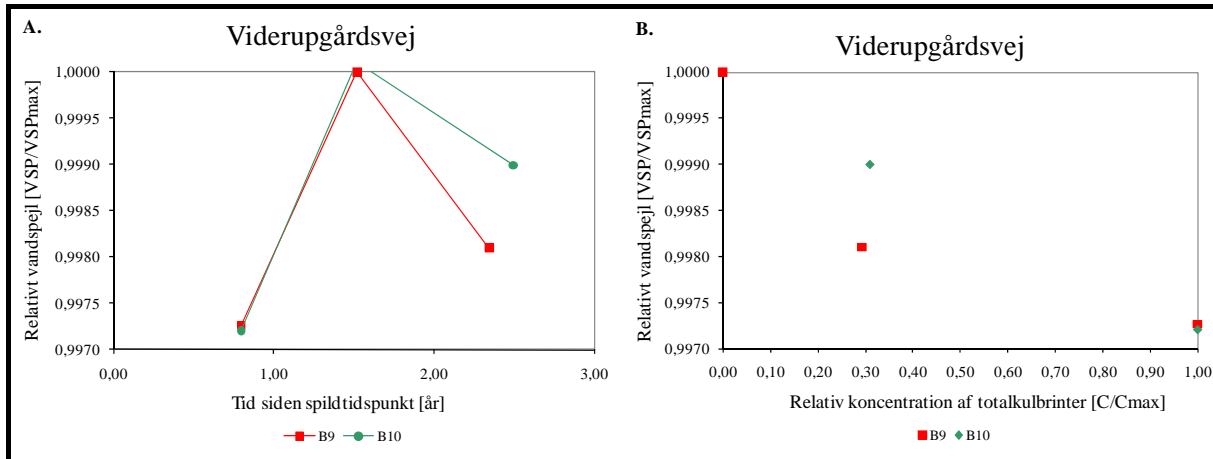
Figur B.39. Fanelængder præsenteret direkte og som relative fanelængder ifht. den maksimalt målt fanelængde.

Som det fremgår af figur 39 er der inddraget to monitoringsrunder fra Viderupgårdsvej. Viderupgårdsvej afviger fra de andre sager ved, at der på denne sag er tale om en blandingsforurening af dieselolie, benzin og petroleum, vurderet ud fra analyselaboratoriets kommentarer på grundvandsprøverne. Af analyselaboratoriets kommentarer fremgår det, at der i den sidste monitoringsrunde er konstateret indhold der er karakteriseret som

nedbrudt gasolie samt nedbrudt benzin/petroleum. I den første monitoringsrunde er indholdet karakteriseret som nedbrudt benzin, terpentin, petroleum eller lign. Det er i nærværende rapport konservativt antaget at hele indholdet i begge monitoringsrunder stammer fra gasolie, hvilket vil resultere i den relativt længste fanelængde.

### Pejledata

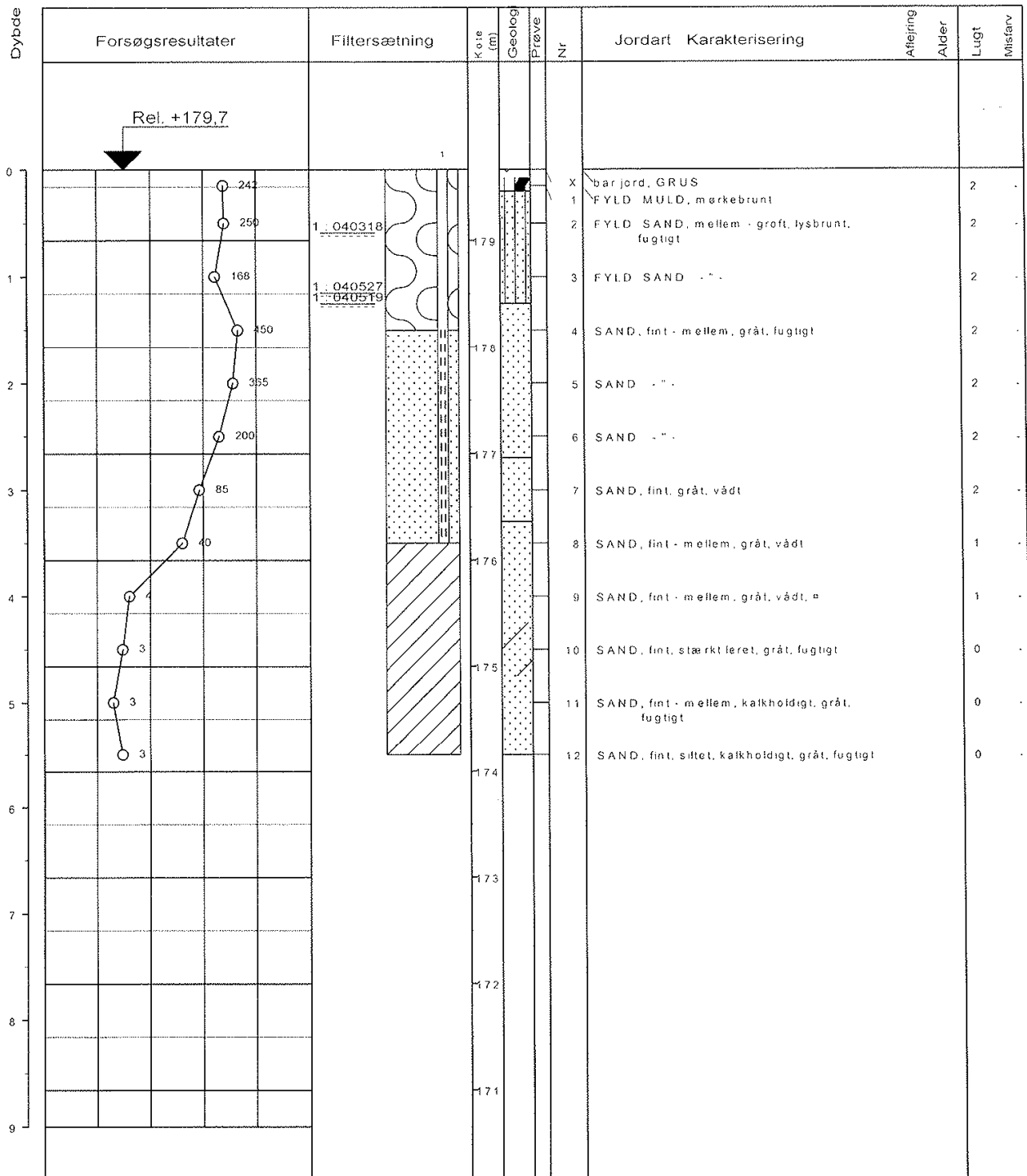
Af figur B.40 fremgår pejledata i forhold til tid og i forhold til relativ koncentration for de boringer, hvori der er påvist indhold af totalkulbrinter og som har en serie på minimum 3 datasæt.



**Figur B.40** Ændring i vandspejl over tid (A) og ændring i vandspejl som funktion af relativ koncentration (B).

### Boreprofiler

På følgende side ses boreprofil for B11.



|      |    |     |      |       |
|------|----|-----|------|-------|
| ○ 10 | 20 | 30  | 40   | W (%) |
| ○ 1  | 10 | 100 | 1000 | PI    |

# = prøve udtaget til kemisk analyse  
 0 = ingen lugt  
 1 = svag lugt  
 2 = lugt  
 3 = stærk lugt  
 + = misfarvet  
 - = ikke misfarvet  
 Boremetode: Tørboring uden foring

BRegister - PSTMDK 2.0 - 01/06/04 15.11.23

Viderupgårdsvej

Boring : B11

Dansk Miljørådgivning A/S

Miljøprofil

## B.11: Vostervej

### Beskrivelse af lokalitet og data

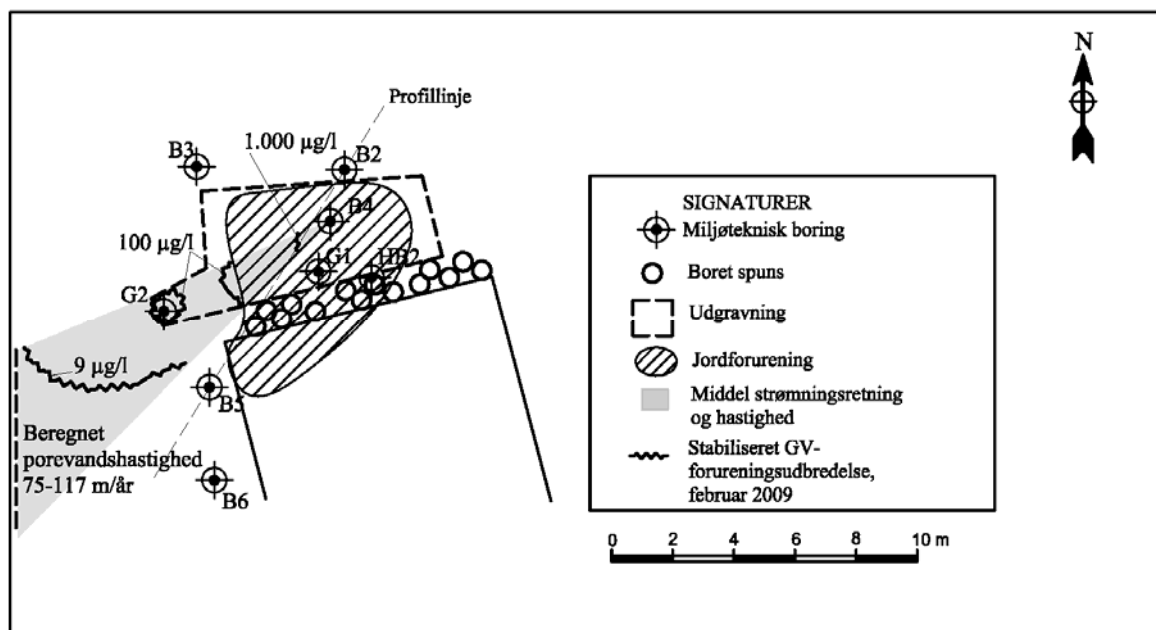
På Vostervej er grundvandsforureningen monitoreret over 5 runder i 9 filtersatte borer (B2-B5, G1 og G2) efter der er udført oprensning på ejendommen. Boringerne er udført udendørs.

Spildet er konstateret den 4. august 2004 og er anslået til ca. 300 L fyringsolie.

Oprensningen på ejendommen bestod af opboring/afgravning af 60 ton forurenede jord i perioden 16-27. august 2004. Under oprensningen blev der løbende oppumpet fri fase i udgravningens bund. I perioden 9. februar- 27. maj 2005 kører olieskimmer i boring G1 og B4. Der er i alt fjernet 8-10 liter frifase fyringsolie fra det sekundære grundvand.

Der er efterladt restforurening under huset/viktualiekælder og dybere end udgravningens bund, som er vurderet at udgøre ca. 80 tons forurenede jord (51-100 kg olie) med en vertikal udbredelse på 2,5-4,0 m.u.t. Der er imidlertid en relativt kraftig forurening i grundvandet, som er pejlet til ca. 2-2,5 m.u.t.

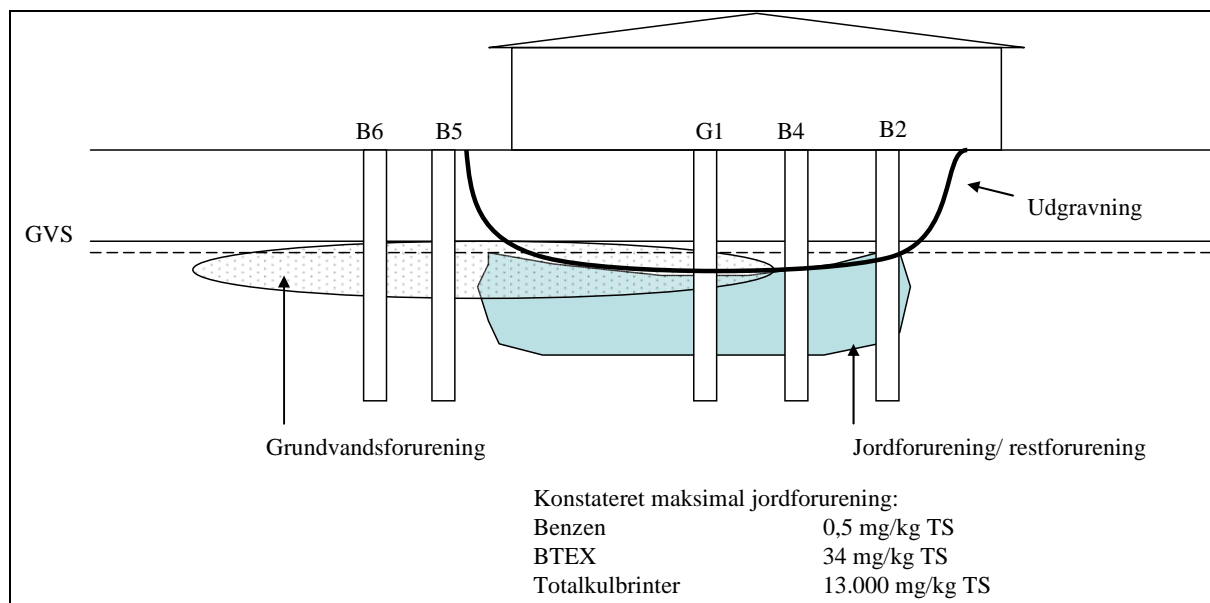
En oversigtsplan over lokaliteten fremgår af figur B.41. Oversigtsplanen er udarbejdet i programmerne ImageJ og Surfer (jf. bilag C) og der kan derfor forekomme mindre afvigelser i strømningsretning og porevandshastighed i forhold til hvad der er oplyst i de tidligere udarbejdede rapporter over lokaliteten.



Figur B.41. Oversigtsplan med data udarbejdet i ImageJ og Surfer.

Som det fremgår af figur B.41 er den gennemsnitlige strømningsretning bestemt som værende øst-sydøstlig til sydøstlig, med en estimeret porevandshastighed på 75-117 m/år. Det fremgår endvidere at boring G2 er placeret nedstrøms restforureningen og indenfor ét års transportafstand fra restforureningen.

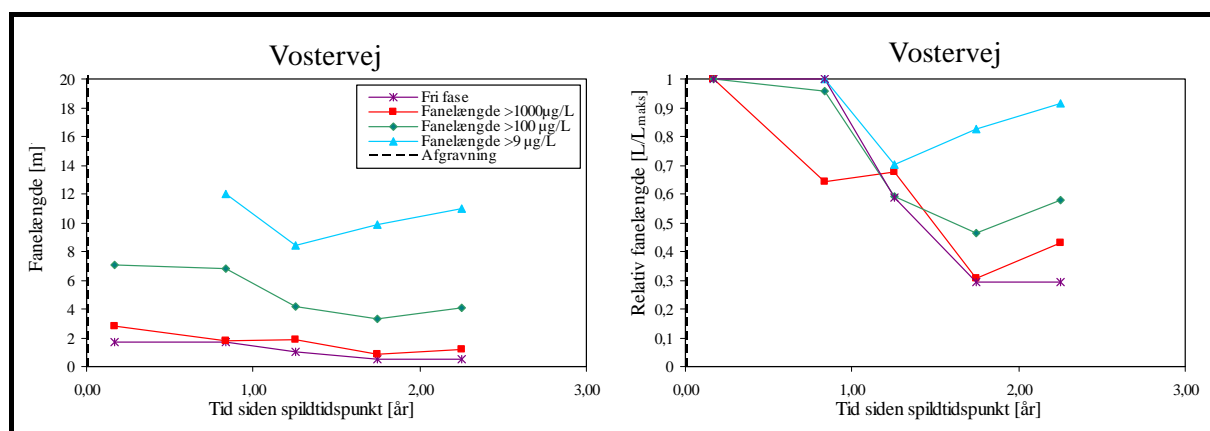
Et profilsnit over lokaliteten med relevante data fremgår af figur B.42. Ud fra lokale pejledata vurderes strømningsretningen under/omkring bygningen at følge profilsnittet i figur B.42.



Figur B.42. Skitse over grundvandsforureningens vertikale beliggenhed på Vostervej.

### Faneopmåling

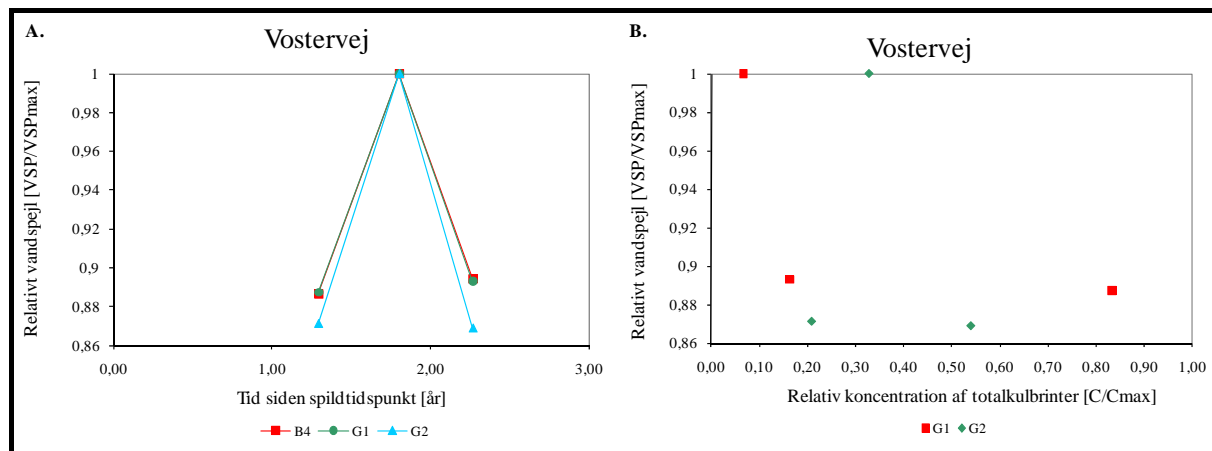
Af figur B43 fremgår de opmålte fanelængder.



Figur B.43. Fanelængder præsenteret direkte og som relative fanelængder ifht. den maksimalt målt fanelængde.

## Pejledata

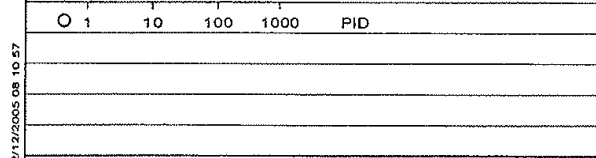
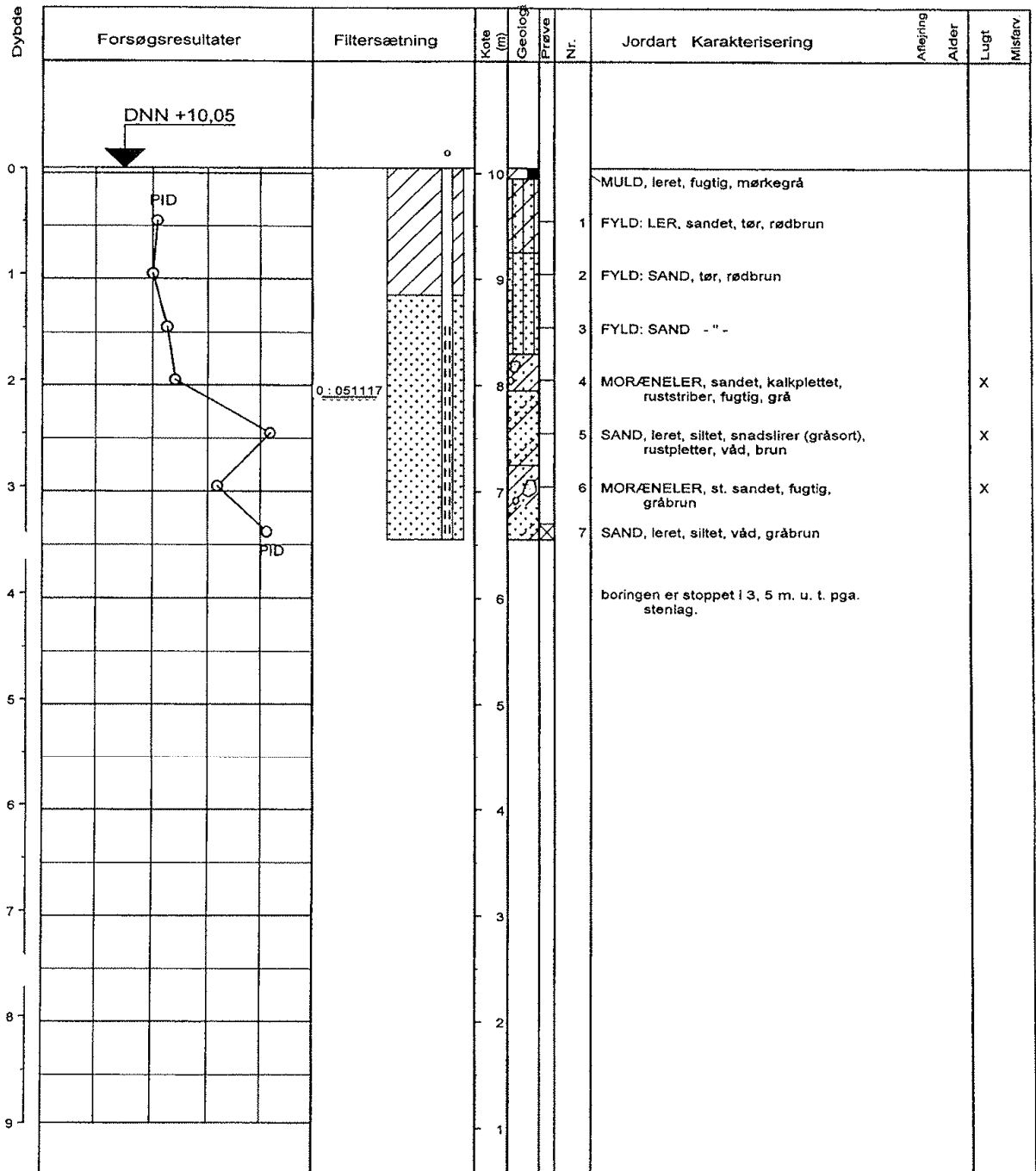
Af figur B.44 fremgår pejledata i forhold til tid og i forhold til relativ koncentration for de boringer, hvori der er påvist indhold af totalkulbrinter og som har en serie på minimum 3 datasæt.



**Figur B.44** Ændring i vandspejl over tid (A) og ændring i vandspejl som funktion af relativ koncentration (B).

## Boreprofiler

På følgende side ses boreprofil for B4.



Boremethode : Tørboring uden foring  
Plan :

Sag : Vostervej  
Dato : 20041005  
Boring : B4

**COWI** Miljøprofil

BRegister - PS 11 - K 2.0 - 02/12/2005 08 10 57

## B.12: Kielstrupvej

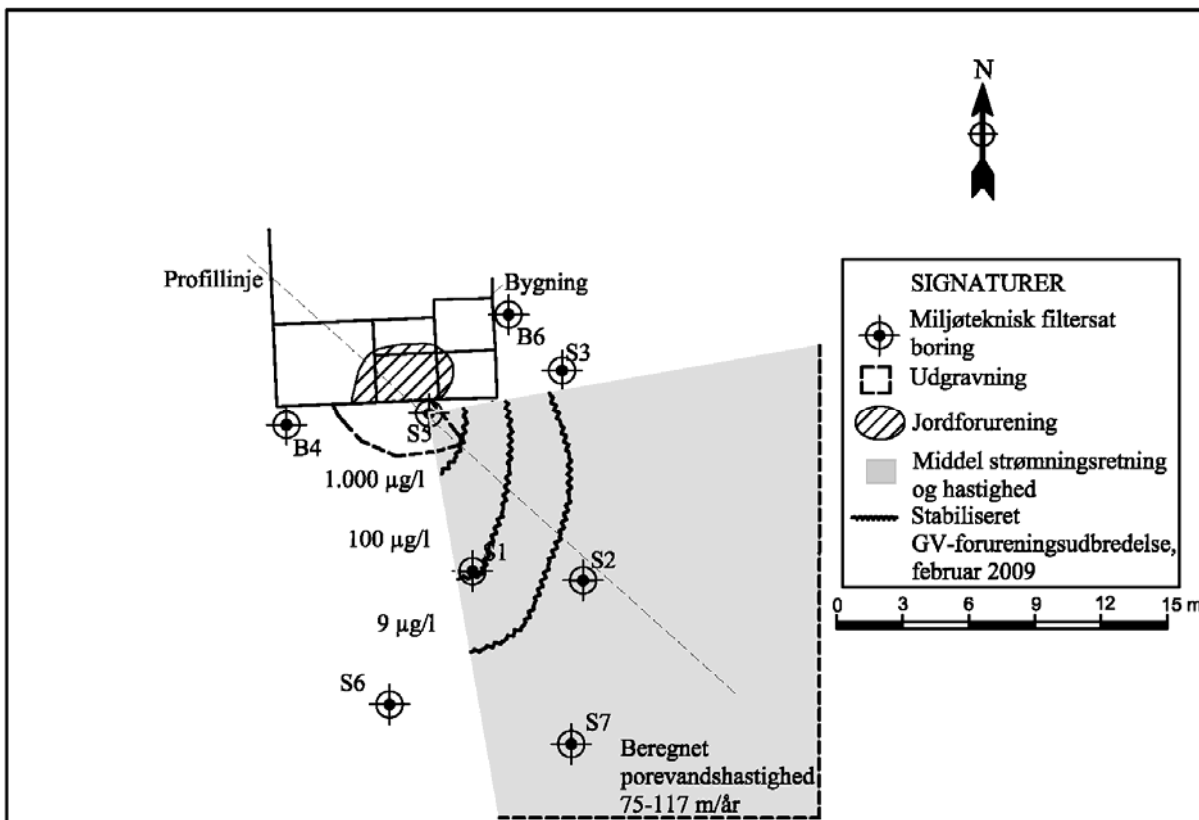
### Beskrivelse af lokalitet og data

På Kielstrupvej er grundvandsforureningen monitoreret over 7 runder i 6 filtersatte boringer (S1-S3 og S5-S7) efter der er udført oprensning på ejendommen. Boringerne er udført udendørs.

Oprensningen på ejendommen bestod af en afgravning af 41,26 ton forurenede jord i uge 8-9 2005.

Der er efterladt en restforurening under beboelsen, som er vurderet at udgøre 15-30 tons olieforurenede jord med en vertikal udbredelse på 1,5-2,3 m.u.t. Der er desuden en relativt kraftig forurening i grundvandet, som er pejlet til ca. 0,72-2,5 m.u.t. Restforureningen er samlet set vurderet som 51-100 kg olie.

En oversigtsplan over lokaliteten fremgår af figur B.45, sammen med den horisontale beliggenhed af profilsnittet, som fremgår af figur B.46.

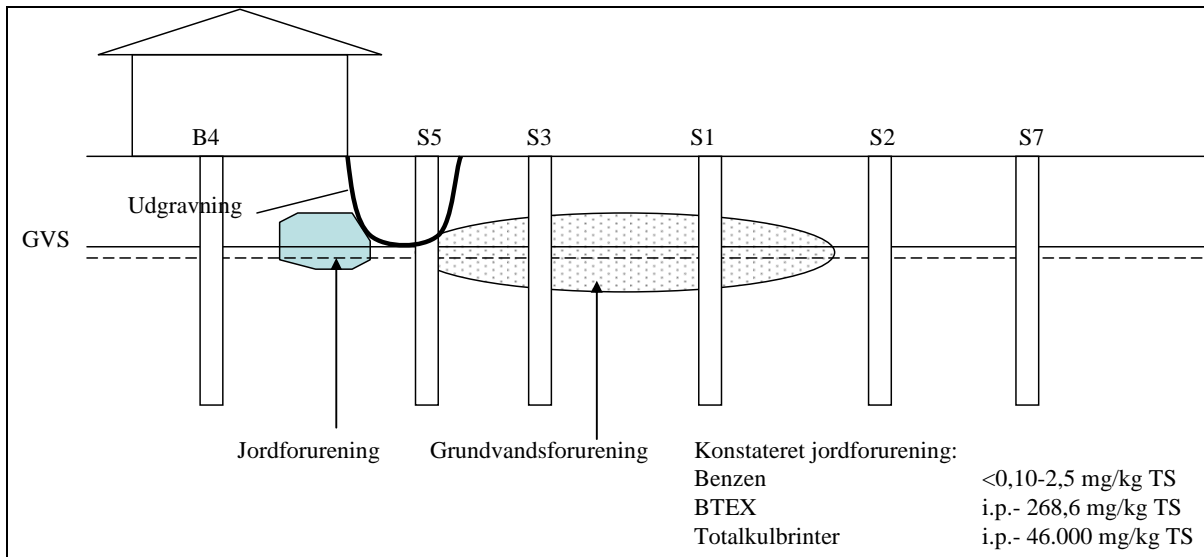


Figur B.45. Oversigtsplan med middelstrømningsretning og porevandshastighed.

Som det fremgår af figur B.45 er den gennemsnitlige strømningsretning bestemt som værende østlig til sydlig, med en estimeret porevandshastighed på 75-117 m/år. Det fremgår endvidere at boring S1, S2 og S7 er placeret nedstrøms restforureningen og indenfor ét års transportafstand fra restforureningen.



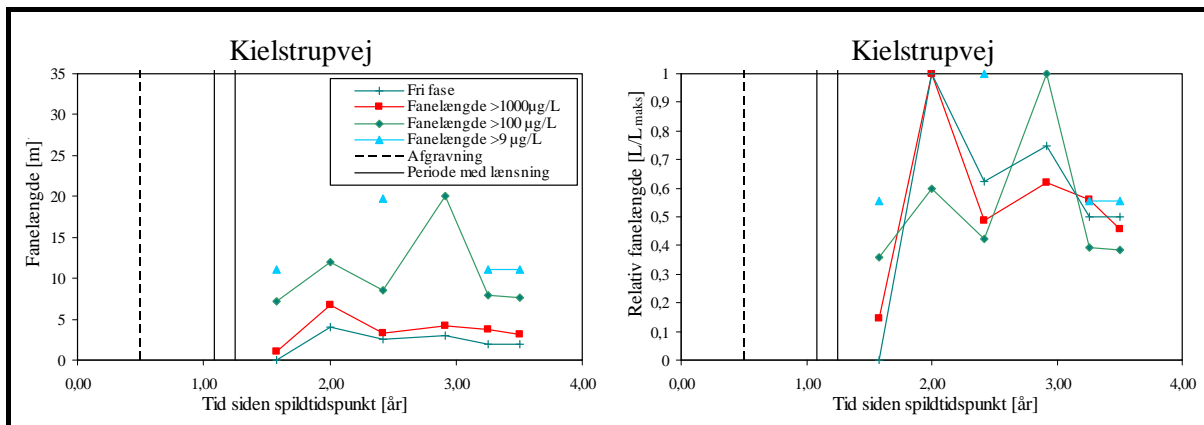
Et profilsnit over lokaliteten med relevante data fremgår af figur B.46. Ud fra lokale pejledata vurderes strømningsretningen under/omkring bygningen at følge profilsnittet i figur B.46.



Figur B.46. Grundvandsforureningens vertikale beliggenhed på Kielstrupvej.

### Faneopmåling

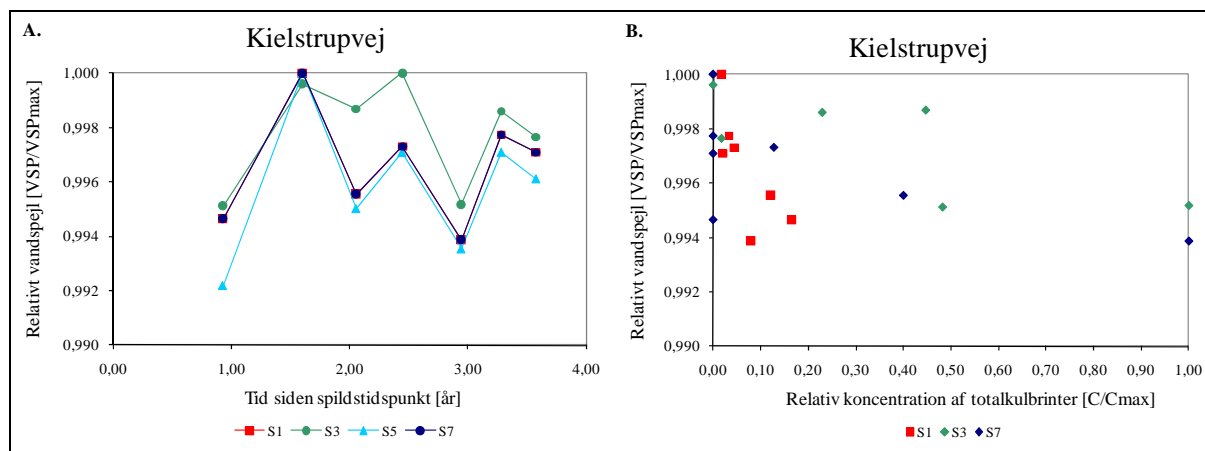
Af figur B47 fremgår de opmålte fanelængder.



Figur B.47. Fanelængder præsenteret direkte og som relative fanelængder ifht. den maksimalt målt fanelængde.

## Pejledata

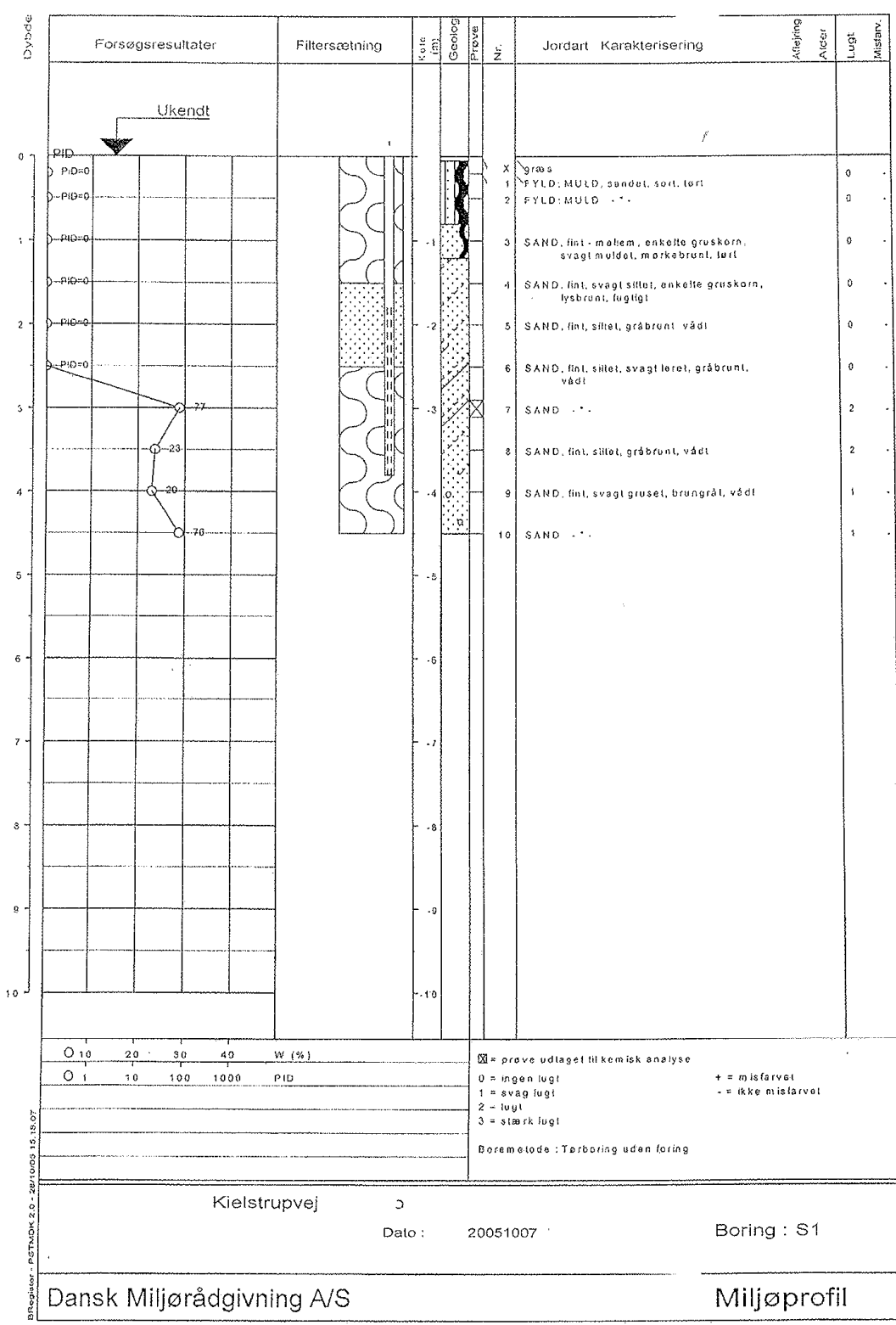
Af figur B.48 fremgår pejledata i forhold til tid og i forhold til relativ koncentration for de borer, hvori der er påvist indhold af totalkulbrinter og som har en serie på minimum 3 datasæt.



**Figur B.48** Ændring i vandspejl over tid (A) og ændring i vandspejl som funktion af relativ koncentration (B).

## Boreprofiler

På følgende side ses boreprofil for S1.



### B.13: Akkerupvej

#### Beskrivelse af lokalitet og data

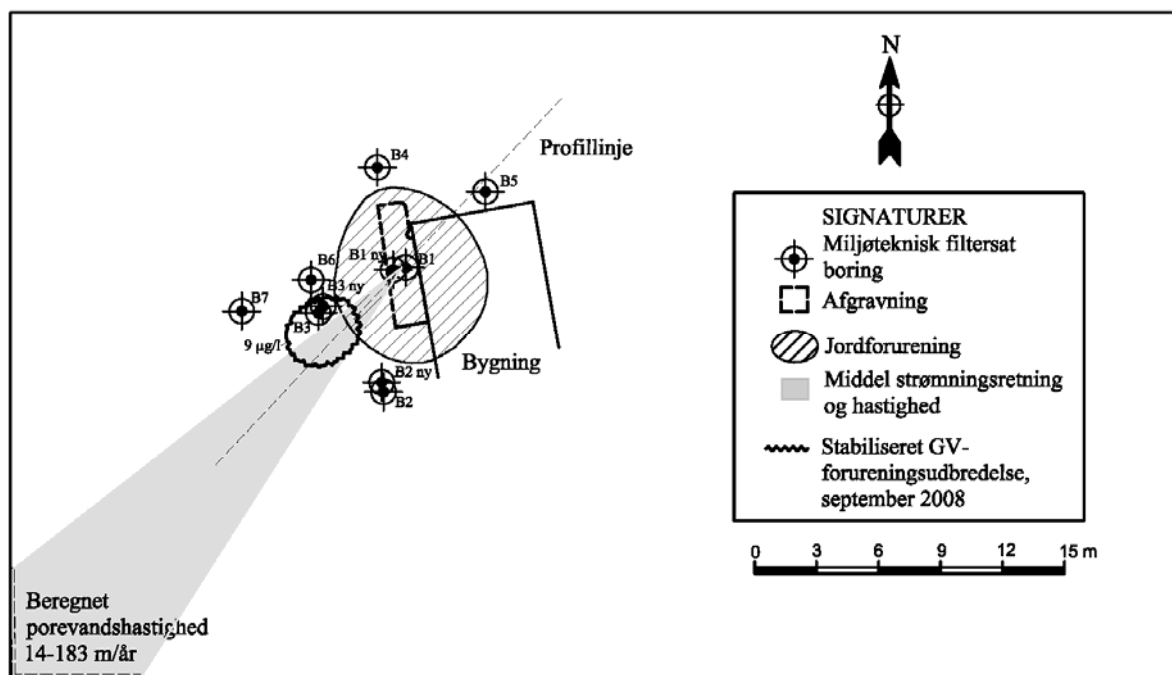
På Akkerupvej er grundvandsforureningen monitoreret over 2 runder i 9 filtersatte boringer (B1-B4, B6, B7 og B1ny-B3ny) efter der er udført oprensning på ejendommen. Boringerne er alle udført udendørs.

Spildet er konstateret den 9. marts 2005 og er anslået til ca. 260 L olie.

Oprensningen på ejendommen bestod af en afgravning af ca. 16 ton forurenede jord i perioden 14-16. marts 2005.

Der er efterladt restforurening udenfor og under huset, som er vurderet at udgøre ca. 140 kg olie, svarende til 170 l olie, og have en vertikal udbredelse på 0,5-2,0 m.u.t. Der er desuden forurening i grundvandet, som er pejlet til ca. 0,75 m.u.t.

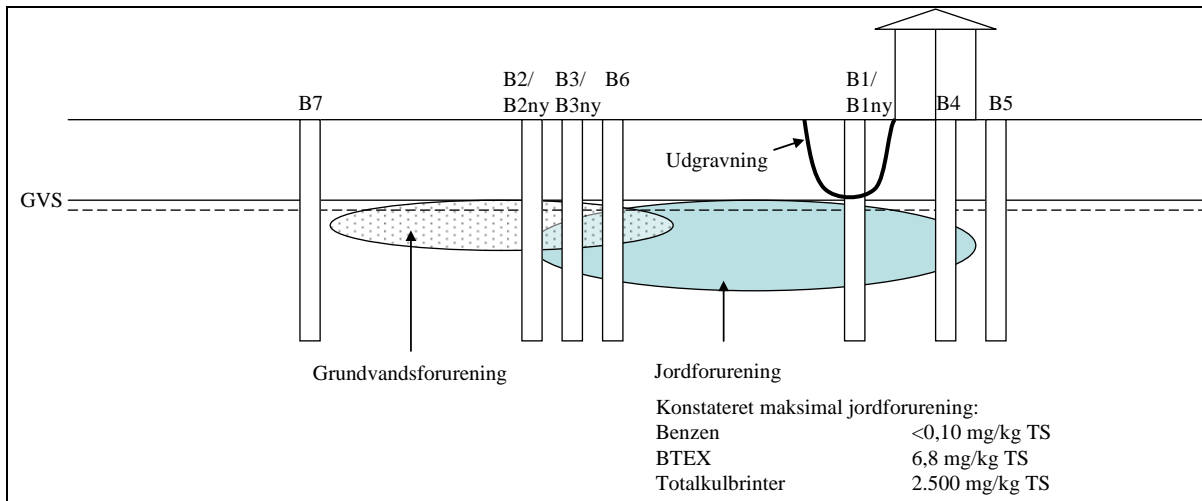
En oversigtsplan over lokaliteten fremgår af figur B.49, sammen med den horisontale beliggenhed af profilsnittet, som fremgår af figur B.50.



Figur B.49. Oversigtsplan med middelstrømingsretning og porevandshastighed.

Som det fremgår af figur B.49 er den gennemsnitlige strømning bestemt som værende sydvestlig, med en estimeret porevandshastighed på 14-183 m/år. Endvidere fremgår det af figur B.49, at der ikke forekommer indhold  $>100 \mu\text{g/L}$  efter at forureningsfanen er stabiliseret, hvorfor der ikke er påtegnet faneudbredelser  $>100 \mu\text{g/L}$ .

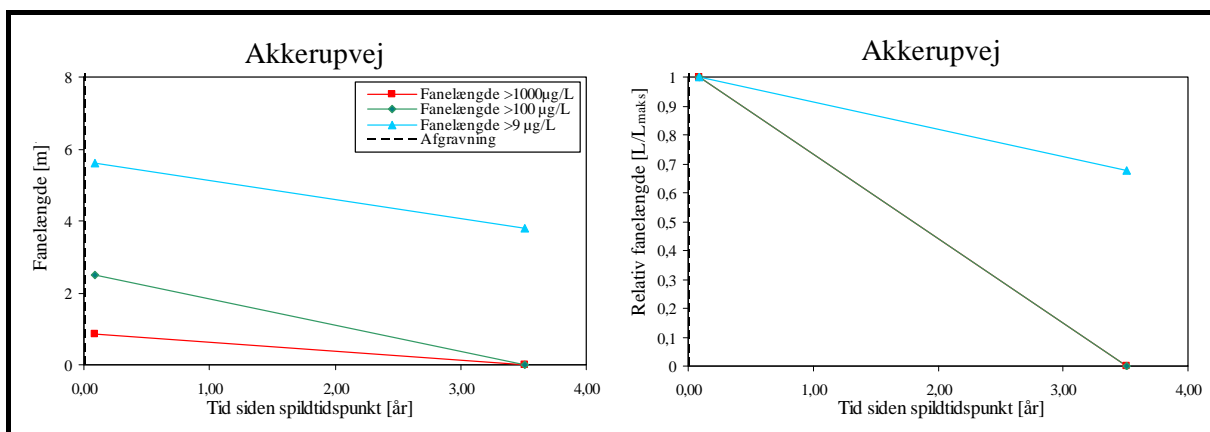
Et profilsnit over lokaliteten med relevante data fremgår af figur B.50. Ud fra lokale pejledata vurderes strømningens retning under/omkring bygningen at følge profilsnittet i figur B.50.



Figur B.50. Grundvandsforureningens vertikale beliggenhed på Akkerupvej.

**Faneopmåling**

Af figur B51 fremgår de opmålte fanelængder.



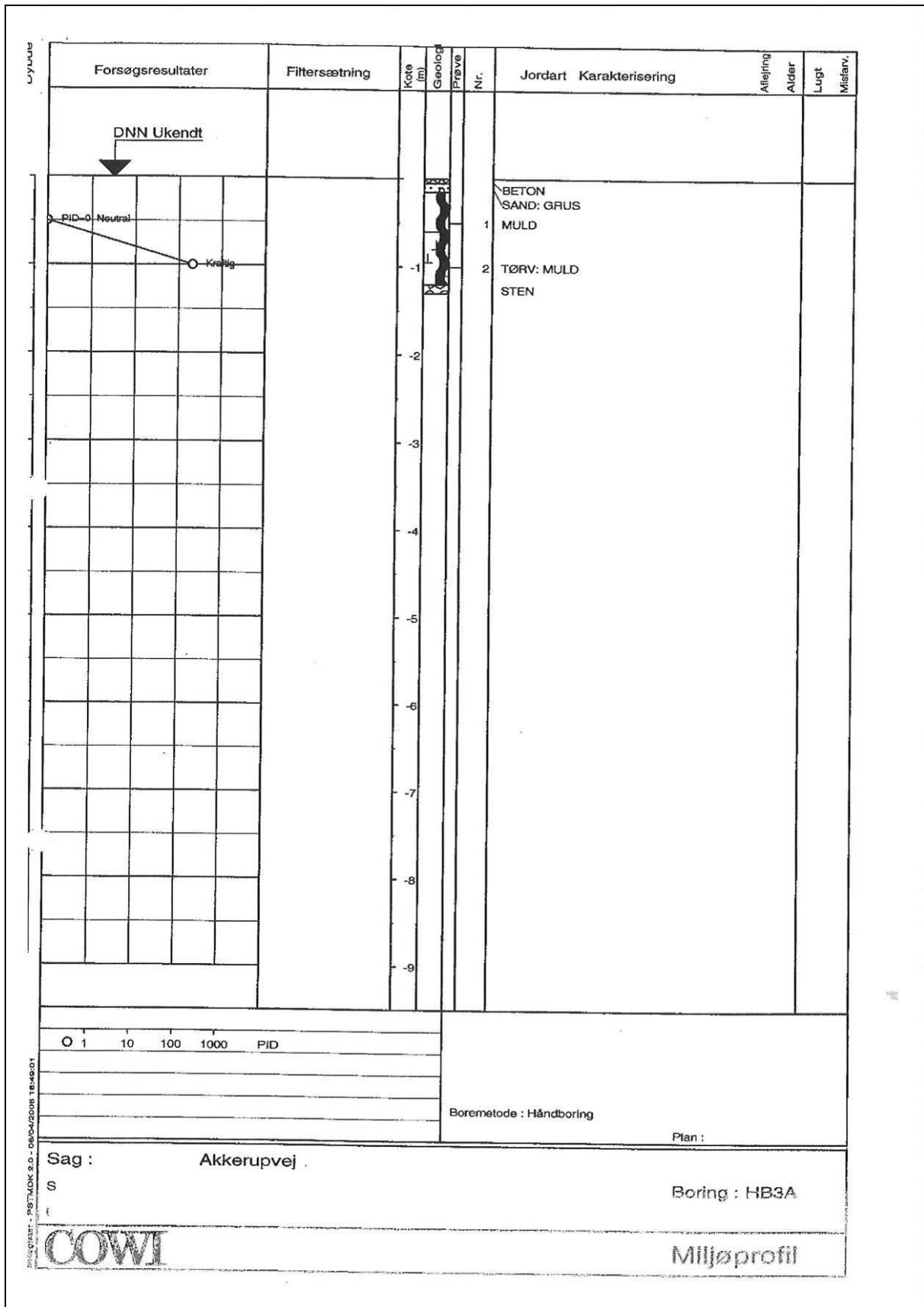
Figur B.51. Fanelængder præsenteret direkte og som relative fanelængder ifht. den maksimalt målt fanelængde.

**Pejledata**

Ingen data angivet.

**Boreprofiler**

På følgende side ses boreprofil for HB3A.



## B.14: Rosevej

### Beskrivelse af lokalitet og data

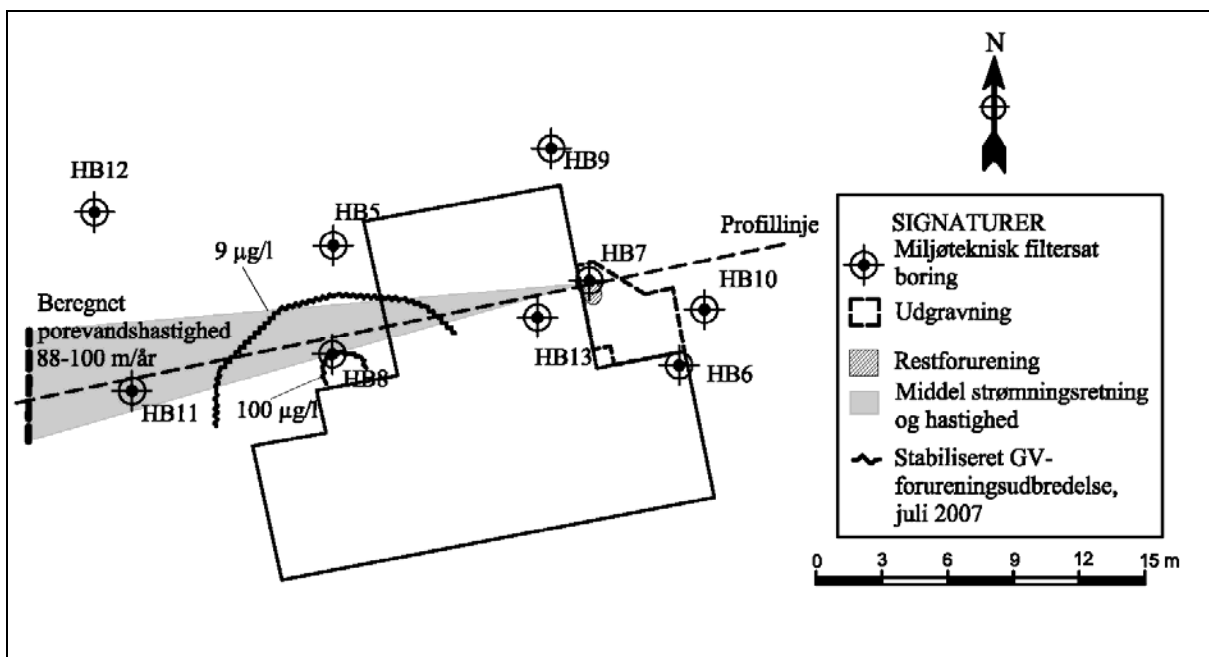
På Rosevej er grundvandsforureningen monitoreret over 2-3 runder i 9 filtersatte boringer (HB5-HB13) efter der er udført oprensning på ejendommen. én af boringerne, HB13, er udført indendørs mens de resterende er udført udendørs.

Spildet er konstateret den 16. december 2004 og er anslået til ca. 950 L.

Oprensningen på ejendommen bestod af en afgravning af 46,5 ton forurenede jord i uge 8-9 2005.

Der er efterladt en begrænset restforurening udenfor huset, som er vurderet at udgøre mindre end 2,5 tons (< 20 kg olie) forurenede jord med en vertikal udbredelse på 1,4-1,8 m.u.t. Der er imidlertid en relativt kraftig forurening i grundvandet, som er pejlet til ca. 0,5-1 m.u.t.

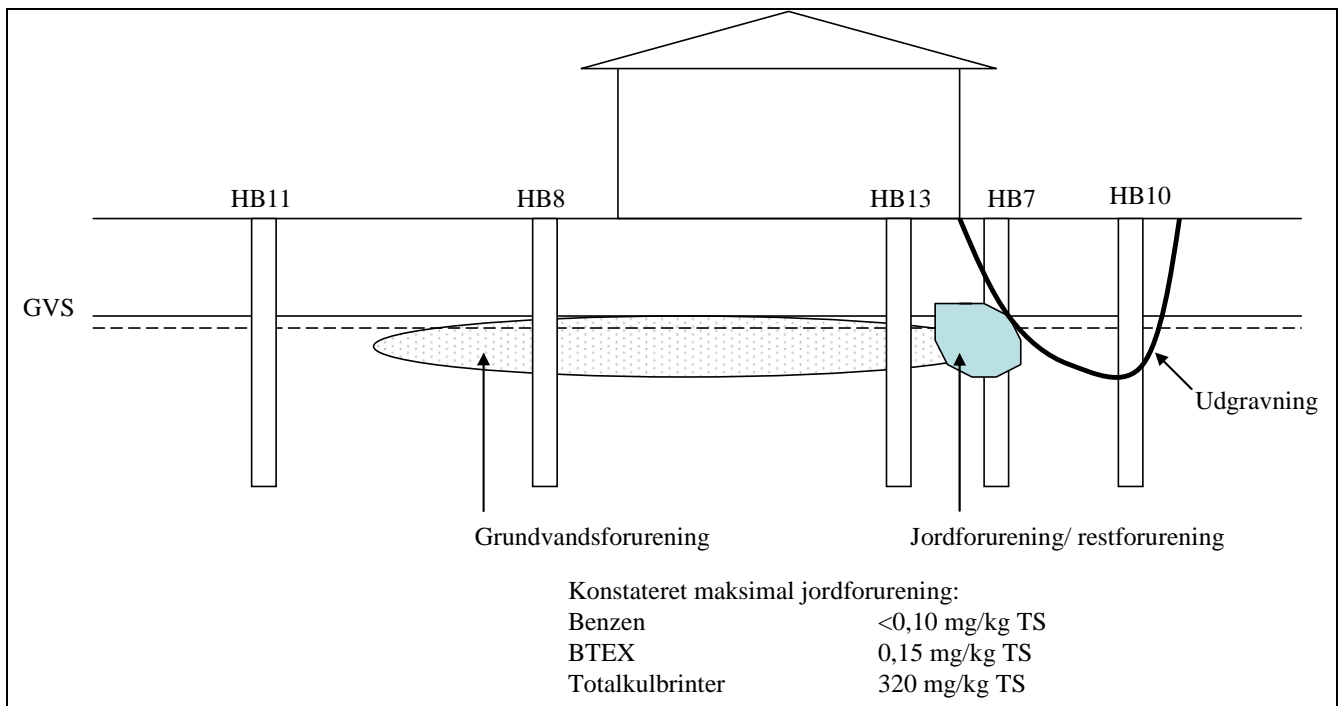
En oversigtsplan over lokaliteten fremgår af figur B.52, sammen med den horisontale beliggenhed af profilsnittet, som fremgår af figur B.53.



Figur B.52. Oversigtsplan med data udarbejdet i ImageJ og Surfer.

Som det fremgår af figur B.52 er den gennemsnitlige strømningssnitning bestemt som værende vestlig til vest-sydvestlig, med en estimeret porevandshastighed på 88-100 m/år. Det fremgår endvidere at såvel boring HB8 som HB11 er placeret nedstrøms restforureningen og indenfor ét års transportafstand fra restforureningen.

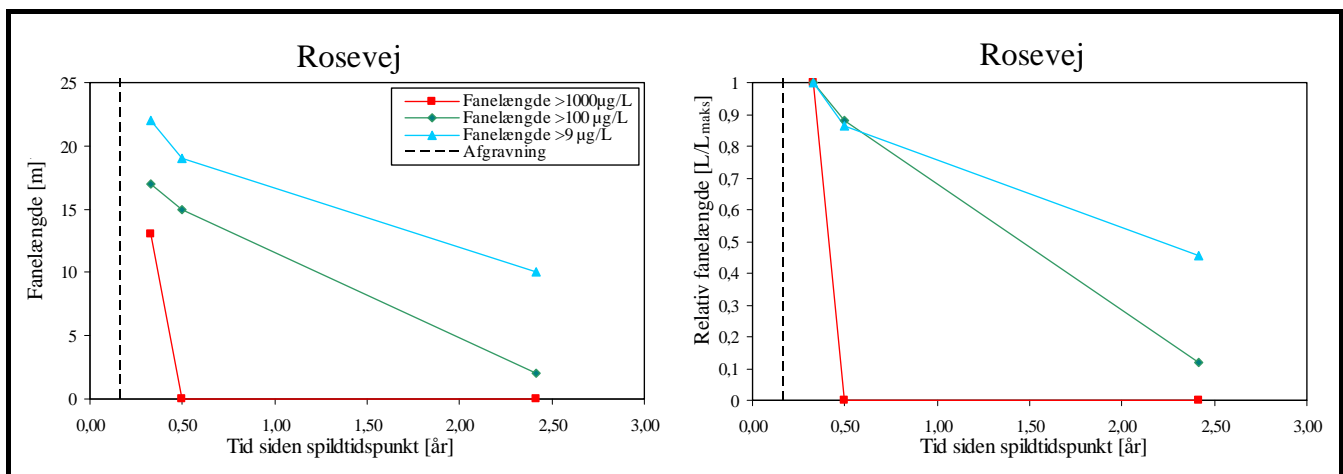
Et profilsnit over lokaliteten med relevante data fremgår af figur B.53. Ud fra lokale pejledata vurderes strømningssnitningen under/omkring bygningen at følge profilsnittet i figur B.53.



Figur B.53. Grundvandsforureningens vertikale beliggenhed på Rosevej.

**Faneopmåling**

Af figur B54 fremgår de opmålte fanelængder.

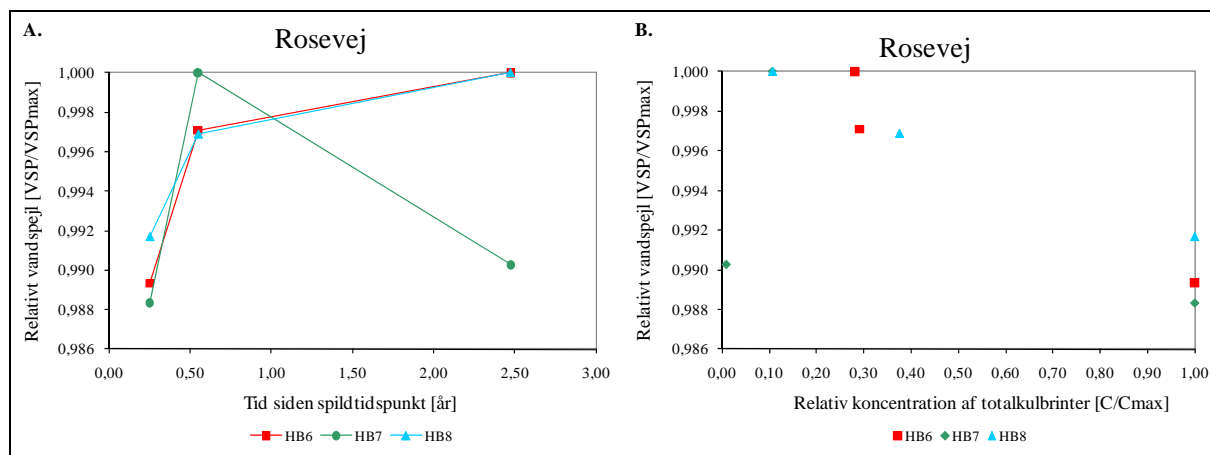


Figur B.54. Fanelængder præsenteret direkte og som relative fanelængder ifht. den maksimalt målt fanelængde.



## Pejledata

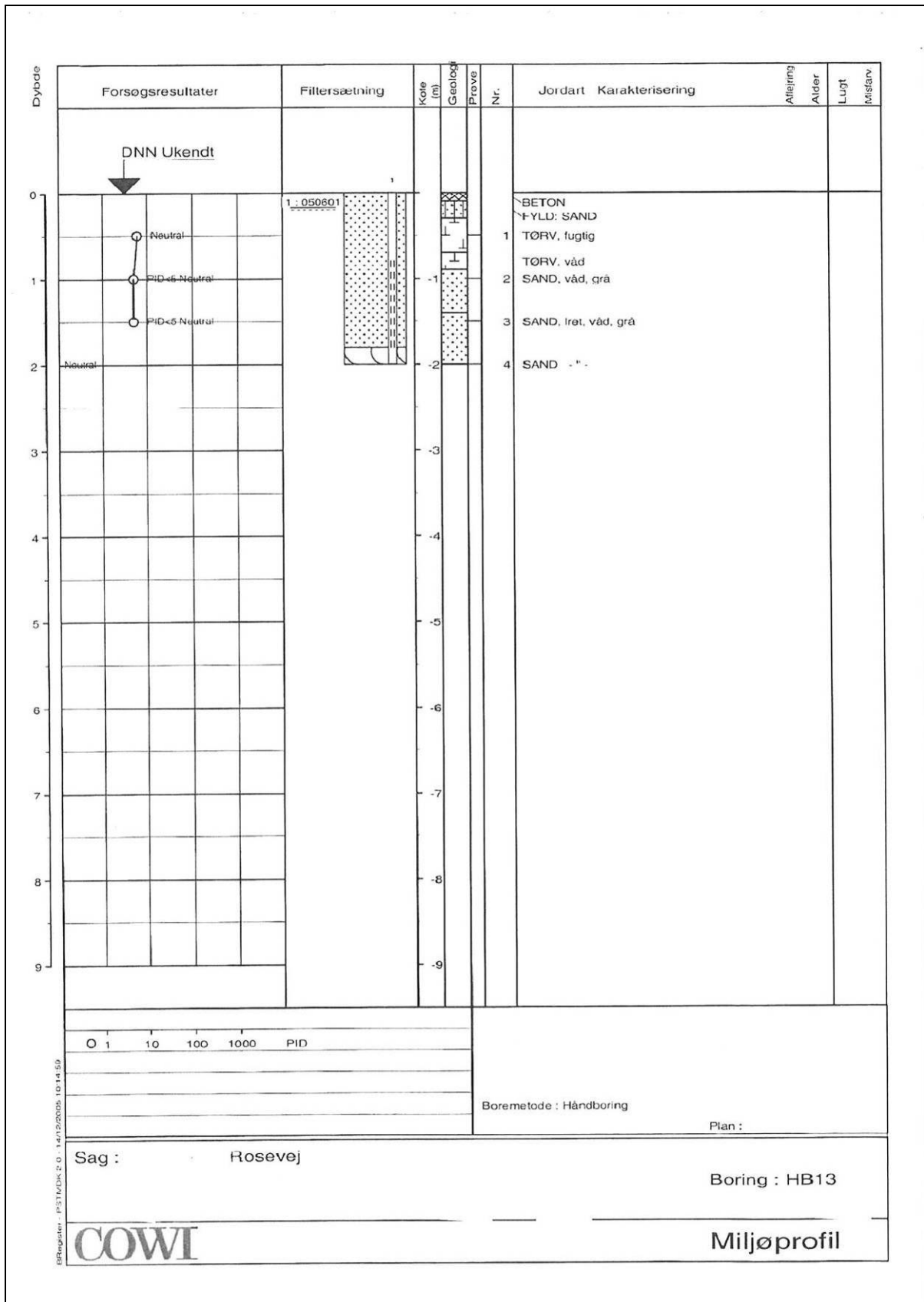
Af figur B55 fremgår pejledata i forhold til tid og i forhold til relativ koncentration for de boringer, hvori der er påvist indhold af totalkulbrinter og som har en serie på minimum 3 datasæt.



Figur B.55. Fanelængder præsenteret direkte og som relative fanelængder ifht. den maksimalt målt fanelængde.

## Boreprofiler

På følgende side ses boreprofil for HB13.



# Bilag C: Metoder

I det følgende beskrives de anvendte metoder til bestemmelse af overordnet strømningsretning og grundvandsforureningens fanelængde, som er benyttet i projektet.

## **Formål med metoderne**

Metodernes formål er at minimere subjektive vurderinger af pejle- og måledata ifht estimering af fanelængden på de enkelte sager. Ydermere er det formålet at opstille det nødvendige vurderingsgrundlag til at sikre, at de filtersatte boringer på ejendommene er placeret passende ifht strømningsretning og afstand. Med passende placering af boringer menes, at grundvandsforureningen er afgrænset af boringer placeret i nedstrøms retning og med passende afstand menes, at boringerne er placeret i en afstand hvor den estimerede porevandshastighed og monitoringsperiodens længde sandsynliggør, at grundvandsforureningen forventes at kunne være nået hen til de nedstrøms boringer indenfor monitoringsperioden.

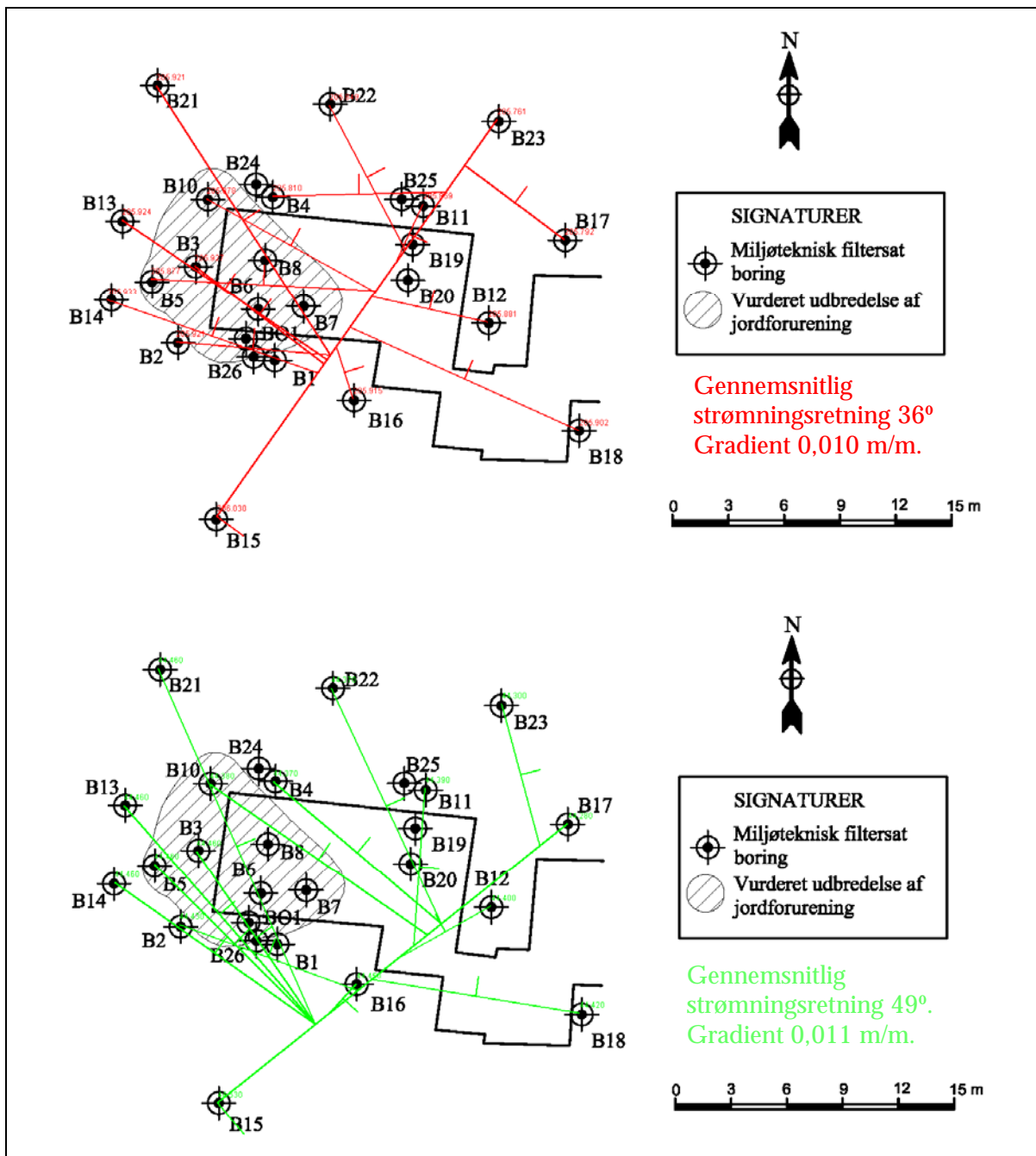
## **Bestemmelse af strømningsretning**

Strømningsretningen i det terrænnære sekundære magasin er beregnet ved anvendelse af lineær interpolation imellem det maksimale og minimale relative grundvandsspejl (RGVS), i de pejlede filtre, og en projektion af vandspejlet i de øvrige filtre ind på denne linje.

Til proceduren anvendes ImageJ /3/, som er et digital billedbehandlingsprogram der typisk anvendes i forbindelse med mikroskopi og medicinske formål. DMR har udviklet en macro til ImageJ som udfører den lineære interpolation og laver en grafisk indtegning af strømningsretningen "for hver boring". I praksis gennemføres proceduren ved at indlæse en situationsplan i ImageJ. Antallet af boringer indtastes og efterfølgende klikkes på hver boring hvorefter et felt til indtastning af den relative vandspejlskote kommer frem. Macroen beregner ud fra dette strømningsretningen på baggrund af vandspejlsniveauet i hver boring (i grader).

Den beregnede strømningsretning fra hver boring anvendes efterfølgende i macroen til beregning af den gennemsnitlige strømningsretning (i grader), baseret på pejleresultaterne for samtlige filtersatte boringer på lokaliteten. Derpå beregner macroen automatisk den hydrauliske gradient, efter indlæsning af plantegningens størrelsesforhold. På baggrund af det maksimale og minimale RGVS, den gennemsnitlige strømningsretning og den hydrauliske gradient, samt en indtastet hydraulisk ledningsevne og effektiv porøsitet beregner macroen endvidere porevandshastigheden og påsætter en vektor som går ud fra hot-spot med en retning som den gennemsnitlige strømningsretning og en længde svarende til porevandshastigheden i meter pr. år.

I det følgende anvendes dataene fra Kirkebakkevej (to pejlerunder) som eksempel. Af figur C.1 fremgår outputtet fra macroen efter lineær interpolation og påtegning af strømningsretningen baseret på pejleresultaterne fra hver boring.

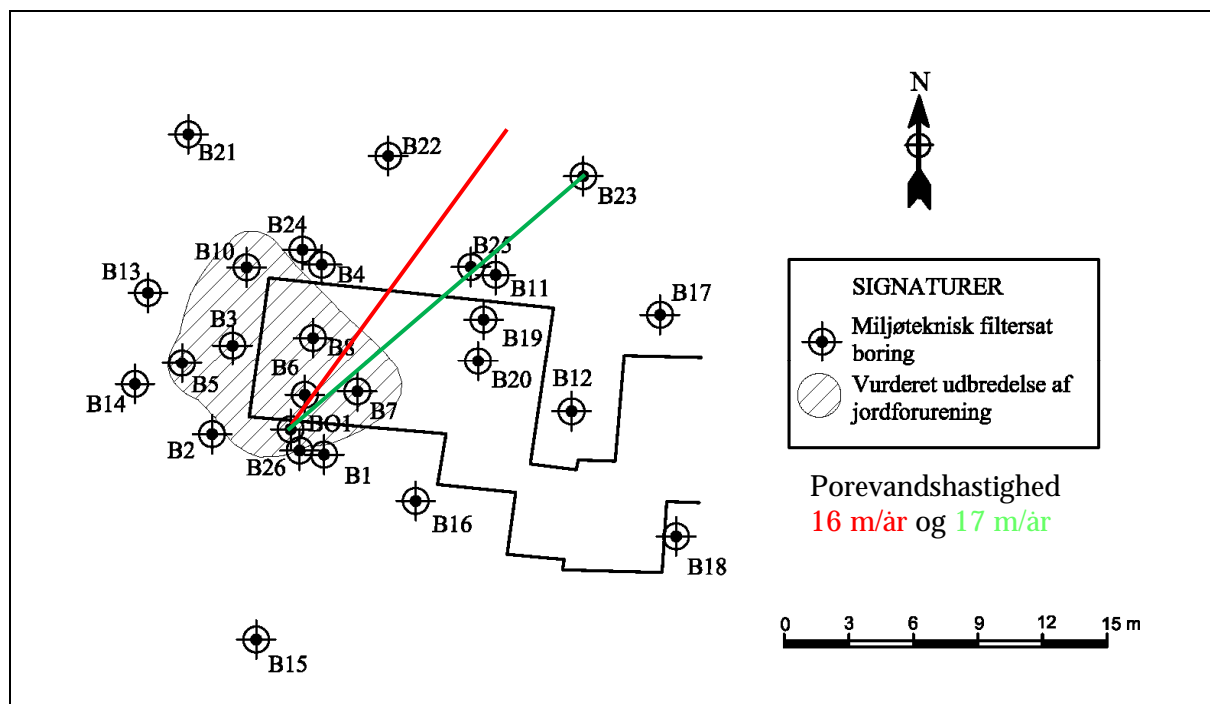


**Figur C.1:** Output fra macro og gennemsnitlig strømningensretning. Røde streger er udfærdiget på baggrund af pejledata fra 28/8 2008 og grønne streger er udfærdiget på baggrund af pejledata fra 9/9 2008.

Som det fremgår af figur C.1 er der rimelig overensstemmelse imellem de to pejlerunder, selvom der i begge runder forekommer enkelte borer med afvigende strømningensretninger. På baggrund af ovenstående er gradienten endvidere beregnet, efter indlæsning af plantegningens størrelsesforhold.

I macroen beregnes porevandshastigheden ud fra gradienten, samt en indlæst værdier for den effektive porøsitet (tabelværdi fra JAGG) og den hydrauliske ledningsevne (ud fra slugtest eller tabelværdi fra JAGG). Værdierne der er hentet fra JAGG, er baseret på geologien i de vandførende aflejringer.

Efterfølgende åbnes en ny situationsplan i programmet og de førmtalte vektorer påtegnes af macroen efter indtastning af resultaterne fra ovenstående databehandling. Outputtet fra dette fremgår af figur C.2.

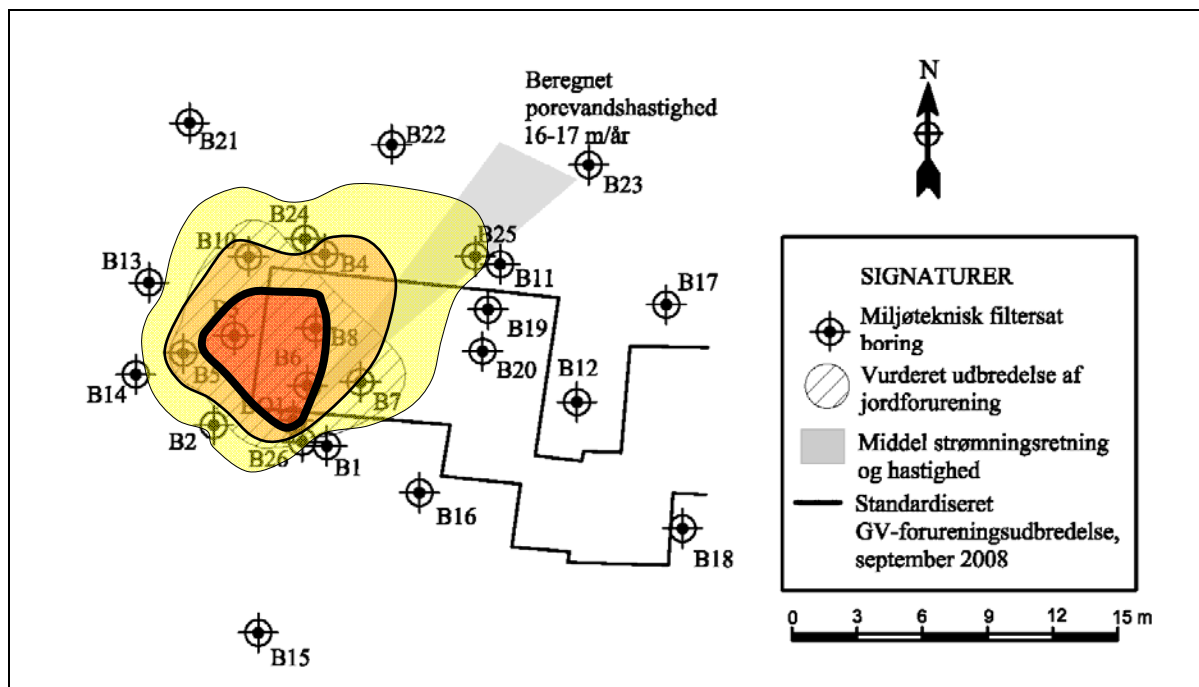


**Figur C.2:** Output fra macro; retning og beregnet porevandshastighed (m/år). Rød er udfærdiget på baggrund af pejledata fra 28/8 2008 og grøn er udfærdiget på baggrund af pejledata fra 9/9 2008.

På baggrund af figur C.2 kan det således vurderes, at der er borer placeret nedstrøms forureningens konstaterede hot-spot og at de er placeret i en afstand der sandsynliggør, at forureningen indenfor et år må forventes at kunne nå hen til boringen (B22), hvis der ikke forekommer nedbrydning. De gennemsnitlige strømningsretninger angiver endvidere den retning, hvor grundvandsforureningens fanelængde er blevet opmålt, som det fremgår af nedenstående.

### **Opmåling af fanelængde**

Ved opmåling af forureningsfanerne er de målte koncentrationer fra de forskellige monitoringsrunder plottet ind i Surfer, som er et kontureringsværktøj baseret på kriging. Ved krigingen er der anvendt et lineært variogram med en hældning på 1, under antagelse af isotropi. Dette svarer til, at koncentrationerne imellem borerne er beregnet på baggrund af triangulering (fladeinterpolation) med smoothing. Dataene er inden indtastning Ln-transformeret. Monitoringsdataene er i enkelte tilfælde ekstrapoleret for at beregne fanelængden (maks. 1-2 meter fra den boring der er placeret længst nedstrøms). I andre tilfælde har det ikke været muligt at komme frem til en afgrænsning af forureningen og i disse tilfælde angives resultatet som ikke afgrænset. Dette skal ikke tages som et udtryk for at fanen vurderes at være meget længere, men snarere, at der ikke har været tilstrækkeligt med borer til at sikre den fornødne afgrænsning i den pågældende monitoringsrunde. For samtlige sager med enkelte mellemliggende monitoringsrunder uden afgrænsning af fanen, er der i efterfølgende monitoringsrunder fremkommet en afgrænsning af fanen. Af figur C.3 fremgår den interpolerede grundvandsforureningsfane for en monitoringsrunde på Kirkeballevvej.



**Figur C.3:** Interpoleret opløst forureningsfane. Gul er forureningsfanen > 9 µg/L, orange er forureningsfanen > 100 µg/L og rød er forureningsfanen > 1.000 µg/L.

Fanerne er efterfølgende importeret i ImageJ og opmålt fra kildeområdet og nedstrøms, dvs. fra den boring i kildeområdet der er placeret mest muligt opstrøms og som indeholder totalindhold af kulbrinter, henholdsvis >9 µg/L (B2), >100 µg/L (B5) og >1.000 µg/L (B01).

# Bilag D: Databehandling

I det følgende gennemgås databehandlingen der ligger til grund for konklusionerne i nærværende rapport. Der er udført forskellige dataanalyser for undersøgelse af henholdsvis fanelængde samt til vurdering af en eventuel øget udvaskning ved relativt højere vandspejl.

## Fanelængde

For at få en struktureret og kvantitativ databearbejdning, er der for hver dataanalyse i rapportens afsnit 2, optegnet følgende plots:

Plot A: Empirisk fordelingsplot af fanelængde.

Plot B: Relativ fanelængde ( $L/L_{max}$ ) som funktion af tid efter spild-tidspunkt/afværgeafslutning med 50 % fraktil plottet som funktion af tiden.

## Plot A

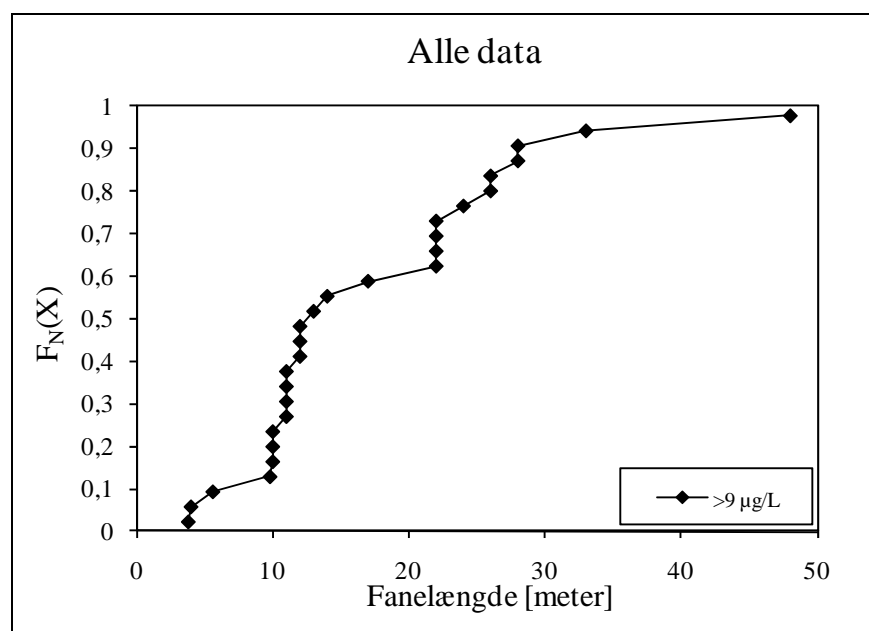
I det følgende er den statistiske procedure, der ligger til grund for det empiriske fordelingsplot for de opmålte fanelængder beskrevet – via et eksempel baseret på opmålte fanelængder ( $>9 \mu\text{g/L}$ ) fra alle sager.

Indledningsvist er fanelængder rangeret og plottet mod den empiriske fordelingsfunktion  $F_N(X)$ :

$$F_N(X) = \frac{(i - 3/8)}{(N + 1/4)}$$

Hvor  $i$  er nummeret på observationen, efter rangordning,  $N$  er antallet af observationer og  $F_N(X)$  er den empiriske fordelingsfunktion; dvs. den fraktion af data der er mindre end eller lig med værdien for observation nr.  $i$ .

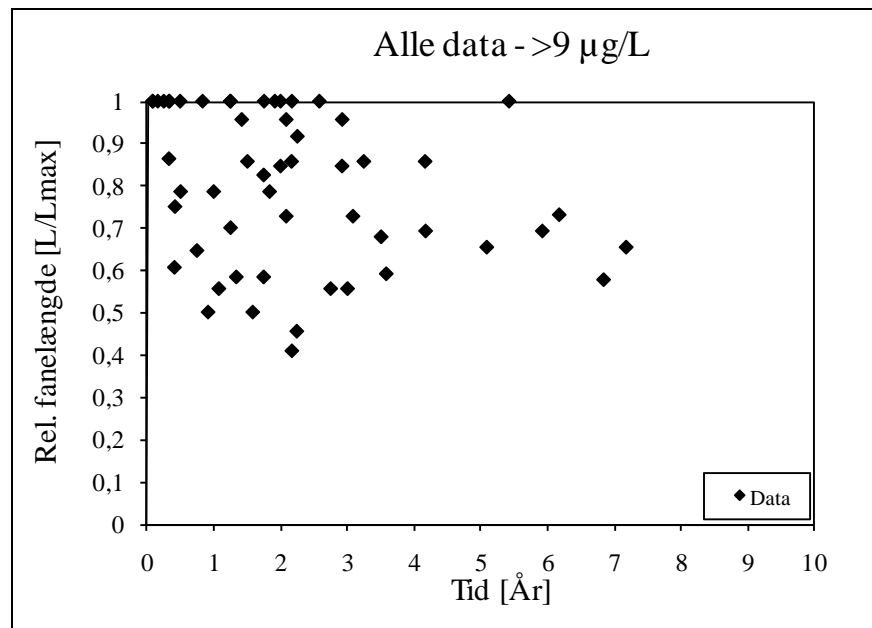
Af figur D.1 fremgår eksemplet på den empiriske fordelingsfunktion.



Figur D.1. Empirisk fordelingsfunktion for fanelængder (alle data).

### Plot B

Til vurdering af den tidlige udvikling af fanelængden, er der for at undgå subjektivitet i datatolkningen opstillet en standardiseret metodik til fraktilestimering, som er "programmeret" i Excel og som beskrives i det følgende. De rå data som beskriver den tidlige udvikling er plottet som det fremgår af figur D.2.



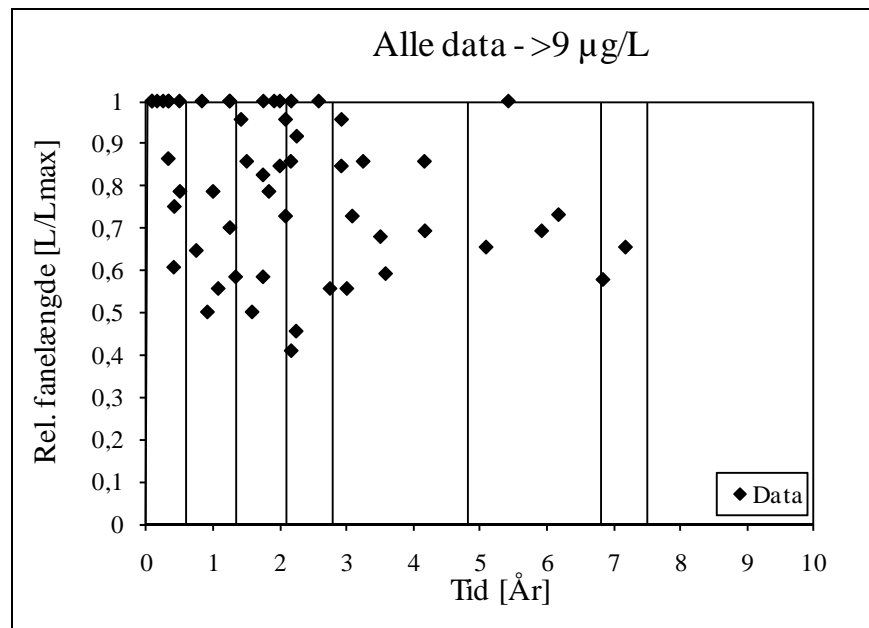
**Figur D.2.** Tidlig udvikling i fanelængde efter spild-/afværgetidspunkt.

Havde data været målt på "pæne/ordnede" tidspunkter; f.eks. efter 1, 2 og 3 år osv. ville man til hvert tidspunkt kunne estimere fraktiler ved en simpel rangordning af koncentrationsdataene til hvert tidspunkt. Var der f.eks. 10 datapunkter målt til tiden 1 år efter spildtidspunkt/afværgeafslutning, ville 50 % fraktilen eksempelvis kunne estimeres som mellemste fanelængde.

Nu er data imidlertid ikke målt på ordnede tidspunkter, hvorfor der er foretaget en tidsmæssig gruppering af de målte data, således, at det indenfor hver tidsmæssig gruppering er muligt, at estimere fraktiler, som om data indenfor hver gruppering var målt til samme tidspunkt. Dette er essentielt en form for numerisk statistik.

Hver gruppering er som udgangspunkt valgt således, at der er mindst 2 datapunkter repræsenteret i hver gruppe. Desuden er grænserne forsøgt valgt således, at de (efterfølgende) estimerede fraktiler ikke misrepræsenterer data i scatterplottet (figur D.2). For data i figur D.2 kommer gruppindelningen til at se ud som i figur D.3.

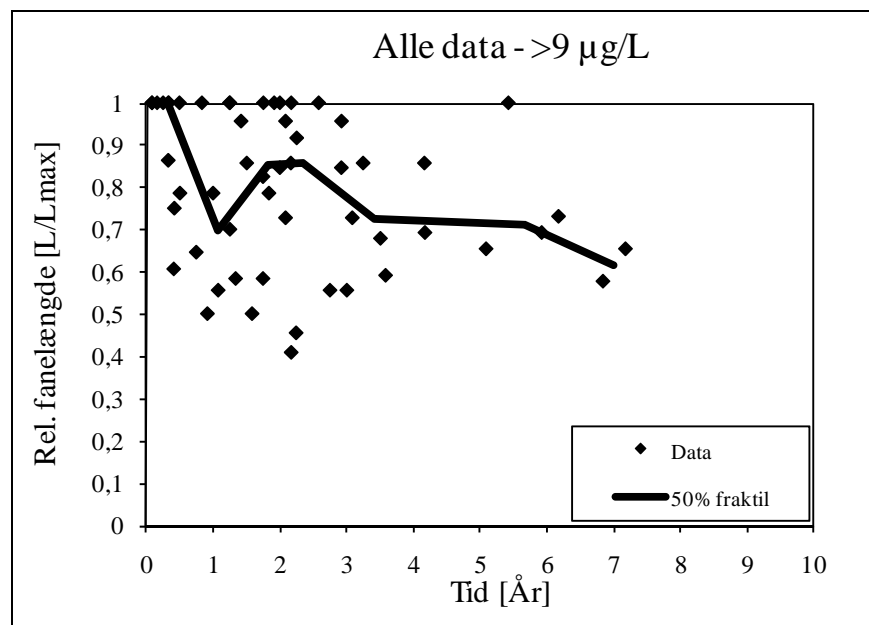




**Figur D.3.** Gruppeinddelinger af data, til estimering af fraktiler indenfor hver gruppe.

Efterfølgende er fraktilfunktionen i Excel benyttet til at estimere 50 % fraktiler for hver gruppe; svarende til den koncentration, som halvdelen af data (mindst ét datapunkt) er lavere end. Fraktilestimatet for hver gruppe er efterfølgende tilegnet den tidlige middelværdi i hver gruppe – og der er optegnet linjer imellem estimatorerne for hver datagruppering.

Det endelige resultat er vist i figur D.4.



**Figur D.4.** Endelig præsentation af 50 % fraktilestimater for de opmålte fanelængder.

Som det fremgår af plottet, ”fanger” metoden tendenserne i datamaterialet og det giver mulighed for en kvantitativ tolkning, af mediantendensen for datamaterialet (50 % fraktilet).