



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Variationer i poreluftens forureningsindhold

Spor 2.

Anvendelse og formidling af eksisterende viden

Anette Andersen og Signe Nielsen
Orbicon

Mette Broholm
Orbicon/DTU

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	3
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	5
SUMMARY AND CONCLUSIONS	7
1 INDLEDNING	9
1.1 BAGGRUND	9
1.2 FORMÅL	10
1.3 STRATEGI	11
2 STYRENDE PARAMETRE	13
3 ANALYSE AF PORELUFTVARIATIONER PÅ 5 LOKALITETER	19
3.1 FREMGANGSMÅDE FOR VIDENSOPSAMLING	19
3.2 VIDENSOPSAMLING	19
3.3 RESULTAT AF DATAANALYSE	22
3.4 BEGRÆNSNINGER FOR DATABEARBEJDNING	23
3.5 RUMLIG VARIATION – STYRENDE PARAMETRE	23
3.6 TIDSLIG VARIATION – STYRENDE PARAMETRE	24
3.6.1 Vandspejlsfluktuation, opløst fane	25
3.6.2 Vandspejlsfluktuation, fri fase/ sorberet stof	1
3.6.3 Trykændringer	25
4 OPSTILLING AF KONCEPTUEL MODEL	27
4.1 BEHOV FOR KONCEPTUELLE MODELLER	27
4.2 FREMGANGSMÅDE VED OPSTILLING AF KONCEPTUEL MODEL	27
5 VURDERING AF USIKKERHEDER PÅ PORELUFTMÅLINGER	29
5.1 ZONERINGSPRINCIPPET OG ZONERINGSFAKTORER	29
5.2 RUMLIG VARIATION	30
5.3 TIDSLIGE VARIATIONER	32
6 KONKLUSION	35
6.1 PROJEKTRESULTATER	35
6.2 HOVEDKONKLUSIONER OG ANBEFALINGER	36
7 REFERENCER	37
BILAG	
Bilag A	Styrende parametre
Bilag B	Resumé og datablad for 5 lokaliteter
Bilag C	Variationer i poreluften på 5 lokaliteter

Forord

Region Syddanmark har igangsat projektet "Variationer i poreluftens forureningsindhold" /Region Syddanmark, 2007/. Formålet med projektet er at udarbejde en metodik, hvorved der kan tages højde for rumlige og tidslige variationer i poreluftmålinger. Metodikken skal anvendes ved vurdering af poreluftmålinger i forbindelse med beslutning om kortlægning af lokaliteter på vidensniveau 2 samt vurdering af indeklimapåvirkning i konkrete og fremtidige bygninger.

Projektet er inddelt i to spor. Spor 1 "Vidensopbygning" er udarbejdet af NIRAS og COWI og spor 2 "Anvendelse og formidling af eksisterende viden" er udarbejdet af Orbicon. Nærværende rapport omhandler udelukkende spor 2 "Anvendelse og formidling af eksisterende viden".

Projektets spor 2 er gennemført af følgende projektgruppe:

- Anette Andersen, Orbicon
- Signe Nielsen, Orbicon
- Nina Tuxen, Orbicon
- Mette Broholm, Orbicon/DTU

Projektets styregruppe har bestået af:

- Mette Christophersen (formand), Region Syddanmark
- Ole Ladefoged Mikkelsen, Region Syddanmark
- Preben Bruun, Miljøstyrelsen
- Christian Andersen, Videncenter for Jordforurening
- Mads Georg Møller, Rambøll
- Lotte Hjerrild, Rambøll

Endvidere har der været tilknyttet en følgegruppe, som har deltaget i to workshops afholdt i forbindelse med gennemførelse af projektet.

Følgegruppen har foruden styregruppen bestået af:

- Mariam Wahid, Region Hovedstaden
- Arne Rokkjær, Region Hovedstaden
- Børge Hvidbjerg, Region Midt
- Steffen Gram Lauridsen, Region Midt
- Susanne Pedersen, Region Sjælland
- Martin Stærmose, Region Sjælland
- Morten R. Nielsen, Region Syddanmark
- Henrik Nordtorp, Region Nord
- Jesper Simesen, Region Nord
- Tjalfe Poulsen, AAU
- Tage V. Bote, COWI
- Per Loll, DMR
- Jes Holm, GEO
- Jacqueline Anne Falkenberg, NIRAS

- Anders G. Christensen, NIRAS
- Annette Pia Mortensen, NIRAS
- Lizzi Andersen, COWI

Sammenfatning og konklusioner

Hovedformålet med dette projekt er at udarbejde en metodik til vurdering af variationen i forureningskoncentrationen i poreluft, idet tidligere projekter har påvist både store tidslige og rumlige variationer. Projektet har til formål at forbedre vurderingen af repræsentativiteten af poreluftmåleresultater, som anvendes i forbindelse med myndighedernes sagsbehandling vedrørende kortlægning og risikovurdering.

Resultater og konklusioner i denne rapport er baseret på en gennemgang af koncentrationsvariationen i poreluft og muligt styrende parametre for denne variation på 5 tidligere undersøgte lokaliteter. På baggrund heraf er størrelsesordenen for den tidslige og rumlige variation af koncentrationen estimeret. Resultatet forbedrer mulighederne for at vurdere den gennemsnitlige koncentration i poreluften og kan herigennem bidrage til at kvalificere risikovurderinger.

På de 5 lokaliteter er generelt observeret en rumlig variation på $\frac{1}{2}$ -3 størrelsesordener indenfor afstande på under 10 m. Den rumlige variation er primært betinget af afstanden til kilden, og den generelle tendens er et fald på 1 størrelsesorden pr. 10 m afstand til kildeområde.

Der er typisk observeret tidslige variationer fra under 1 til 3 størrelsesordener på de 5 lokaliteter - i et enkelt tilfælde op til 5 størrelsesordener (målinger foretaget i poreluften under et gulv). Generelt er den tidslige variation mellem målinger inden for samme år ikke observeret større end 1 størrelsesorden, mens variationen mellem forskellige år er markant højere.

Vandspejlsfluktuationer er den parameter, der er vurderet at betinge de største tidslige ændringer i poreluftkoncentrationen på alle 5 lokaliteter. Både naturlige og påførte (f.eks. ved pumpning) vandspejlsfluktuationer, som blotter en kilde i mættet zone, kan føre til markant koncentrationsstigning i en længere periode.

På de 5 lokaliteter er der ikke observeret en sammenhæng mellem nedbør, barometriske trykændringer og forureningskoncentrationen i poreluft.

Det vurderes vigtigt, at der opstilles en konceptuel model for den enkelte forureningssituation med henblik på bedst muligt at kunne vurdere de rumlige og tidslige variationer i poreluftmålingerne.

Flere målepunkter vil altid øge viden om den rumlige variation og dermed mindske usikkerheden af risikovurderingen, men der kan ikke fastsættes en generelt faktor for reduktion af usikkerheden ved et øget antal målepunkter. Ud fra erfaringerne for de 5 lokaliteter forventes en samlet rumlig variation på op til 6 størrelsesordener indenfor et areal på $10 \cdot 10$ m på en lokalitet, hvor forureningsbilledet ikke er kortlagt. Hvis målinger, eller evt. historik, med sikkerhed har belyst den eksakte placering af kilden/kilderne samt det gennemsnitlige fald væk fra kildeområdet kan usikkerheden reduceres til 2 størrelsesordener indenfor samme afstand til kilden. Ønskes den rumlige

variation holdt under 1 størrelsesorden, er det nødvendigt at have målepunkter med højst 5 m's afstand i samme retning fra kildeområdet.

Vidensgrundlaget for den tidlige variation øges ikke væsentligt ved at udføre flere målerunder indenfor samme år, medmindre der er sket markante ændringer, f.eks. udført afværgeforanstaltninger. Størrelsen af den tidlige variation på 1-3 størrelsesordener kan mindskes mest effektivt ved at udføre gentagne måling i forhold til bestemmelse af alle potentielt styrende parametre.

Til at belyse den tidlige variation anbefales at foretage målinger, der er repræsentative i forhold til forskellige jordtemperaturer over 2-3 år og undgå prøvetagning under eller lige efter flerdagsregn. Da variationerne forventes at være forholdsvis ensartede i et område behøves der kun monitoring i udvalgte punkter. Monitoring af vandspejlsniveau kan også anbefales og betydeligt fald i vandspejl (sammenholdt med variationer i en forudgående periode) bør lede til supplerende monitoring.

Udføres dele af en forureningsundersøgelse som supplerende målinger, bør disse hæftes op på en eller flere referencemålinger i målepunkter, hvor der er udført tidligere målinger for at belyse den tidlige variation. Derved kan den rumlige og tidlige variation adskilles, således at den rumlige variation kan kortlægges.

Summary and conclusions

The main objective of this project is to develop a method for evaluating variations in pollution measurements in soil gas, as earlier projects have shown wide temporal and spatial variations. The project aims to improve the assessment of representativeness of soil gas measurements as used by authorities in case administration with regard to mapping and risk assessment.

Results and conclusions in this report are based on a study of variations in concentrations of soil gas and the possible controlling parameters for such variations at five previously investigated locations. The orders of magnitude of temporal and spatial variations in soil gas concentrations were estimated using this information. The result improves the possibilities for assessing the mean soil gas concentration and can thus contribute to further qualification of risk assessments.

At the five locations a general spatial variation of $\frac{1}{2}$ -3 orders of magnitude within 10 metres has been observed. The spatial variation is primarily dependant on the distance from the source. The general tendency is a decrease of one magnitude for every 10 metres' distance from the source area.

Temporal variations from under 1 to 3 orders of magnitude have been observed at the five locations, and in one case up to 5 orders of magnitude, (measurement of pore gas under a floor). In general, the temporal variation between observations within the same year has not been above 1 order of magnitude, whereas the variation between different years is significantly higher.

Water level fluctuations are the parameter which is thought to have caused the most significant changes over time in the soil gas concentration at all five locations. Water level fluctuation, exposing a source in the saturated zone, whether introduced by pumping or by natural causes, may lead to a significant increase in concentrations over a longer period of time.

No connection between rainfall, changes in barometric pressure and concentrations of pollution in soil gas has been observed at the five locations.

It is concluded that it is important to develop a conceptual model for each pollution occurrence in order to assess temporal and spatial variations in soil gas measurements.

Additional measurement points will always increase the knowledge of spatial variations and hence reduce uncertainty but it is not possible to determine a general level for reducing uncertainty by increasing the number of measurement points. From the five locations, a spatial variation of up to 6 orders of magnitude is expected within an area of 10•10 m at a site where the extent of contamination has not been mapped. If measurements or records have established the exact location of the source / sources with certainty and the average decrease in pollutants away from the source, the uncertainty can be reduced to 2 orders of magnitude within the same distance from the source. If the spatial variation is to be kept below one order of magnitude, it is

necessary to have measurement points at 5 metre distances in the same direction from the source area.

The understanding of temporal variations does not increase significantly as a result of additional measurements within the same year unless there have been marked changes, for example remediation. A range of temporal variations between 1-3 orders of magnitude can be reduced most effectively by performing repeated measurements taking into account all potential controlling parameters.

To illustrate temporal variations, it is recommended that measurements are taken to represent different soil temperatures over 2-3 years. Sampling during or just after several days of rain should be avoided. Since variations are typically relatively uniform in an area, only selected points need monitoring. Monitoring of the water table is also recommended and additional monitoring should be undertaken if there is a significant drop in the water level (in comparison with variations in a prior period).

If parts of a pollution investigation are performed as additional measurements, these should be compared to one or more reference measurements taken at the same measurement points in order to examine temporal variation. This allows spatial and temporal variations to be separated so that the spatial variation can be mapped.

1 Indledning

Poreluftmålinger er et effektivt redskab til opsporing og afgrænsning af flygtige forureninger. Vurderingen af, hvor repræsentative resultaterne af poreluftmålinger er, er imidlertid vanskelig, da rumlige og tidlige variationer betyder en samlet variation af forureningskoncentrationen i poreluften på flere størrelsesordener – selv inden for afstande på under 10 m.

I dette projekt er koncentrationsvariationen i poreluft og muligt styrende parametre for poreluftvariationen på 5 tidligere undersøgte lokaliteter vurderet. På baggrund heraf er størrelsesordenen for den tidlige og rumlige variation af poreluftindholdet estimeret. Resultatet forbedrer mulighederne for at vurdere det gennemsnitlige poreluftindhold og kan herigennem bidrage til at kvalificere risikovurderinger.

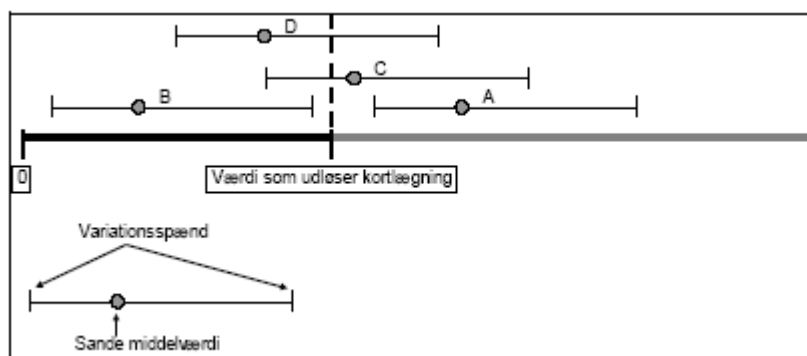
1.1 Baggrund

Der er påvist rumlige variationer af poreluftkoncentrationer på op til 6 størrelsesordener inden for et forholdsvis begrænset areal og tidlige variationer i et givent målepunkt på op til 4 størrelsesordener /Miljøstyrelsen, 2006/.

De store naturlige variationer i poreluftkoncentrationerne betyder, at risikovurderinger på basis af enkelte målinger er forbundet med meget stor usikkerhed.

Der vil naturligt være et fald i poreluftkoncentrationerne som funktion af stigende afstand til kilden. Størrelsen af dette fald i koncentrationerne kendes dog ikke.

I relation til eksponering af mennesker er det for typiske flygtige forureningskomponenter som benzen og chlorerede opløsningsmidler den gennemsnitlige påvirkning over tid, der er relevant, idet stofferne har en kronisk langtidseffekt. For at vurdere om forurening på en lokalitet udgør en risiko er det derfor vigtigt at kende det gennemsnitlige indhold i poreluften over tid og indenfor et vist areal, hvorimod maks- og minimumværdier er af mindre interesse, se figur 1.1., hvor 4 scenarier er illustreret. Det fremgår her, at der i scenarie C og D er risiko for, at man fejlfortolker poreluftmålingerne.



Figur 1.1 Tidslige variationer i forureningskoncentrationen i poreluft i relation til middelværdi.

Ved at øge kendskabet til den naturlige variation af forureningskoncentrationerne ved poreluftmålingerne, kan der opstilles "sikkerhedsfaktorer", der tager højde for den naturlige variation.

I /Fyns Amt et al., 2006/ er udfordringerne i variationen i poreluften søgt håndteret via et såkaldt "zoneringsprincip", der bygger på statistiske betragtninger af en større mængde data. Zoneringsprincippet er illustreret i figur 1.2.



Figur 1.2 Zoneringsprincippet

Zoneringsprincippet udtrykker med hvilken sikkerhed en måleværdi (eller et givent sæt af måleværdier) ligger tæt på den reelle middelværdi, og dermed kan anvendes i en vurdering af, om et areal skal kortlægges eller ej.

Det er på det nuværende vidensgrundlag ikke muligt at vurdere entydigt, om en given poreluftmåling ligger under, på eller over gennemsnitsniveau. Zoneringsprincippets zoneafgrænsning og konkrete muligheder for at indskrænke revurderingszonen er også ukendte.

1.2 Formål

Formålet med dette projekt er at forbedre vurderingen af usikkerheder på poreluftmålinger, som skal anvendes i forbindelse med myndighedernes sagsbehandling. Herunder at udarbejde en metodik for, hvorledes usikkerheder på poreluftmålinger vurderes og anvendes ved risikovurdering baseret på zoneringsprincippet. Projektet skal således bidrage til at kunne foretage en optimal risikovurdering for en aktuel eller fremtidig indeklimapåvirkning ved at forbedre datainput til risikoberegninger vha. f.eks. JAGG.

På baggrund af eksisterende viden er det målet, at der kan fastlægges konkrete sikkerhedsfaktorer, der på enkel vis kan inddrages i forbindelse med forureningsundersøgelser.

1.3 Strategi

I projektet er indgået 3 elementer, der tilsammen indfrier projektets formål.

- Review af udvalgte relevante forskningsprojekter med fokus på hvordan forskellige parametre påvirker poreluftindholdet rumligt såvel som tidsligt.
- Gennemgang af fem lokaliteter med omfattende undersøgelsesmateriale og herudfra at undersøge, hvilke parametre, der er betydende for poreluftvariationerne.
- Viden fra de to ovennævnte elementer er omsat til anbefalinger for opstilling af konceptuel model og brug af sikkerhedsfaktorer i forskellige forureningssituationer.

I gennemgangen er der fokuseret på en række større projekter, der undersøger kildeudbredelsen fra veldefinerede kildeområder i den umættede zone på baggrund af detaljerede feltstudier. Resultaterne herfra er koblet til en generel teoretisk viden om poreluftprocesser.

Fremgangsmåden for indsamling af viden fra eksisterende undersøgelser har været udarbejdelse af en bruttoliste over lokaliteter, på baggrund af alle 5 regioners viden om lokaliteter med relevans for projektet. Herudfra er foretaget en udvælgelse af 5 lokaliteter, hvorfra der er indsamlet og gennemgået oplysninger.

Kriterierne for udvælgelse af lokaliteter til bruttolisten har været, at der foreligger oplysninger om følgende:

- Der er udført undersøgelser i én eller flere omgange ved hjælp af poreluftmålinger samt evt. jord- og grundvandsanalyse.
- Der er kendskab til styrke og omfang af forureningen (inden sagen evt. er blevet afværget).
- Som minimum ønskes, at en af følgende forureningskomponenter indgår i undersøgelserne:
 - Tetrachloretylen
 - Trichloretylen
 - Benzen
 - Toluen
 - Xylener

Region Nordjylland og Region Midtjylland har begge indmeldt 1 lokalitet, mens Region Syddanmark har indmeldt 16 lokaliteter, Region Sjælland 3 lokaliteter og Region Hovedstaden 4 lokaliteter.

Ud fra bruttolisten er følgende 5 lokaliteter udvalgt til vidensopsamlingen:

- Fredericiagade, Aalborg
- Fynsgade 37, Fredericia
- Dalumvej 34B, Odense
- Slotsherrensvej 203, Islev
- Frydensbjergvej 29-31, Stenløse

De 5 lokaliteter er udvalgt på baggrund af kriterier om:

- Flere målerunder og målepunkter.
- Forskellige geologiske forhold.
- Forskellige forureningskomponenter.

Data fra de 5 lokaliteter er omsat til generelle anbefalinger ved at opstille en konceptuel model for lokaliteterne og vurdere de styrende parametre for hhv. rumlig og tidslig variation. Herudfra er evt. fællestræk for lokaliteterne samt væsentlige forhold for poreluftvariationen trukket frem. En vurdering af usikkerheden på poreluftmålingerne og konkrete anbefalinger er således baseret på gennemførte undersøgelser og ikke teoretiske overvejelser eller modelberegninger.

Dette giver en række begrænsninger, da flere forhold ikke er målt og dermed ikke kan vurderes i de gennemførte undersøgelser. Da de styrende parametre samtidig indgår i et komplekst samspil, er det svært at adskille effekten af de enkelte parametre. Strategien er imidlertid valgt for at holde fokus på de faktiske forhold og komplekse samspil, der finder sted på forurenede lokaliteter og ikke en tænkt "sandkasse".

I projektet er der fokuseret på variationer af koncentrationer fra en til flere størrelsesordener, da det er disse variationer, der er af væsentlig betydning i forbindelse med vurdering af risiko og kildeafgrænsning. Således ses bort fra mindre betydende faktorer som f.eks. prøvetagningsteknik.

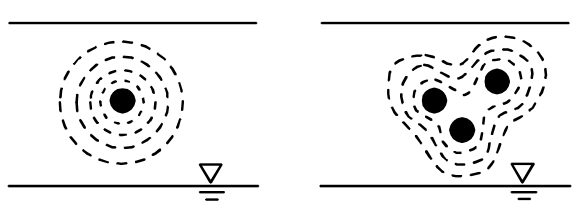
2 Styrende parametre

Måleresultaterne i poreluften vil variere som følge af prøvetagning og analyseforhold, rumlig variation som følge af geologi, forureningsfordeling, befæstelse m.m. og tidlig variation som følge af meteorologiske forhold m.m.

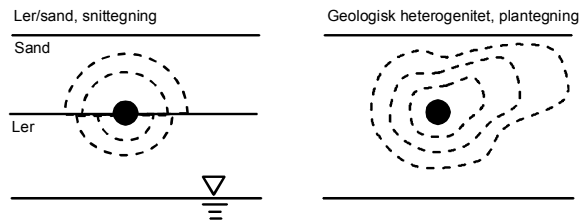
Fejl som følge af prøvetagningsmetode, pumpevariation og analyseusikkerhed er normalfordelte og spredningen er normalt på faktor niveau. Variationerne på prøvetagningsmetode, analysemetode m.m. er således små i sammenligning med de rumlige og tidlige variationer, der er observeret i /Miljøstyrelsen, 2006/. Variationerne som følge af prøvetagningsmetode m.m. er derfor ikke behandlet i dette projekt.

Forskningen har gennem en årrække øget kendskabet til de styrende faktorer for poreluftvariationer gennem forsøg, modelarbejde og generelle teoretiske betragtninger. I nedenstående tabel er faktorer, der kan påvirke den rumlige og tidlige variation af poreluftkoncentrationer opsummeret skematisk. Tabellen er baseret på gennemgangen i bilag A af kontrollerede feltforsøg og udviklingsprojekter. I bilag A findes en mere detaljeret beskrivelse af de enkelte parametres betydning for poreluftindholdet i den umættede zone baseret på gennemgang af forsøgsresultater fra udvalgte feltforsøg.

Til trods for teoretisk viden og feltforsøg om forureningsudbredelse og parametres betydning for poreluftvariationer er det ofte vanskeligt at overføre denne viden direkte til forurenede lokaliteter, da parametrene indgår i et komplekst samspil, og der ofte er usikkerhed om geologi, forureningskilder og øvrige parametre.

Parameter	Betydning
Forureningsfordeling	 <p>Spildets art eller forureningsfordelingen på en lokalitet kan være meget heterogen. Udformningen af afdampningsfanen vil være præget af forureningsfordelingen i kildeområdet, og selv små heterogeniteter kan have betydning for udbredelse af forurening i forskellige retninger. I mange forureningsituationer er der tale om flere mindre spild stammende fra f.eks. oplag, utætte kloakker, kloakbrønd m.m. Dette betyder, at forureningen i både jord og grundvand varierer rumligt også udenfor et udpeget kildeområde, hvilket betyder en rumlig variation i kildeområdet og en heterogen forureningsspredning i poreluften.</p>

Geologi

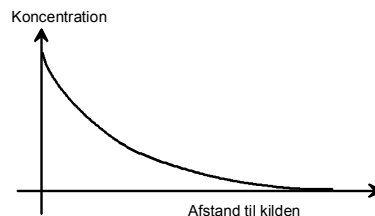


Udbredelsen af flygtigt stof i poreluft er domineret af diffusion i luft. Den relative volumenandel af luft og sammenhæng mellem luftfyldte porer er derfor afgørende for spredningen. Da geologi er afgørende for vandindhold og volumenandel af poreluft kan geologisk heterogenitet have stor betydning for den rumlige fordeling af stof.

I simuleringer i spor 1 /Miljøstyrelsen, 2010/ er der vist, at geologisk lagdeling har betydning for poreluftkoncentrationen i en given dybde. Med et lagpermeabelt lag mod terræn bliver poreluftkoncentrationen betydelig højere end simuleret under homogene forhold.

I spor 1 er endvidere vist, at ved en ændring af kildestyrken ses en ændring i poreluftkoncentrationen momentant for stoffer med lav sorption og en kilde tæt på terræn. For stoffer med en kraftig sorption medfører hurtige ændringer i kildestyrken ikke en målbar variation i poreluftkoncentrationen i et givent målepunkt. Op til 1,5 år er observeret før en stationær koncentration indtræffer /Miljøstyrelsen, 2010/.

Afstand til kilde

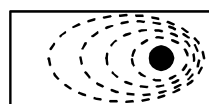


Generelt observeres ved poreluftforureninger en radial udbredelse med eksponentielt aftagende koncentrationer i poreluften som funktion af afstanden fra kilden (diffusionsbetinget). Koncentrationsgradienten varierer: under kilden er der stort set ingen gradient, men mod terræn ses en gradient, som afspejler afdampningen til atmosfæren.

Spredning fra et kildeområde kan endvidere ske ved advektion i hhv. luft, vand og fri fase. Ved målinger af poreluft tæt ved opløste / fri fase forureningsfaner fra et kildeområde forventes afstanden fra målepunktet til fanen samt evt. diffusionshæmmende uforurennet vand over fanen at være afgørende for koncentrationsniveauet i poreluften.

I simuleringer i spor 1 er det vist, at i en radius omkring kilden aftager koncentrationen ca. 1 størrelsesorden pr. 10 m /Miljøstyrelsen, 2010/.

Befæstningsgrad

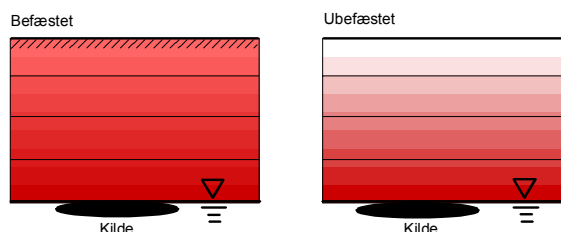


Befæstet, horisontal plan

Befæstning eller bygninger kan have betydning for den overfladenære udbredelse af stof i poreluften. Udbredelsen skyldes, at den diffusive fortynding, som sker med ren atmosfærisk luft i den øverste del af jordmatricen, ikke har samme effekt under bygningen. Undertryk i bygningen skaber en advektiv transport mod bygningen, som yderligere kan øge koncentrationen under bygningen.

En irregulær udbredelse med f.eks. væsentligt større udbredelse af TCE i poreluften i en bygnings længderetning end bredde kan således ses.

Befæstelse af overfladen bevirker desuden en mindre grad af afdampning til atmosfæren og højere koncentrationsniveau i de øvre jordlag. Befæstelse af overfladen vil således betyde, at koncentrationsprofilen vertikalt over tid vil blive udlignet fra en kilde mod terræn, med mindre der foregår væsentlig nedbrydning.



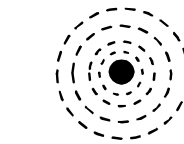
Befæstningsgraden vil endvidere have betydning for om og hvordan meteorologiske forhold påvirker poreluftkoncentrationen.

Således vil nedbør som udgangspunkt ikke påvirke koncentrationsniveauet i poreluft ved befæstede områder, mens barometerfald kan føre til en øget horisontal spredning under befæstede områder.

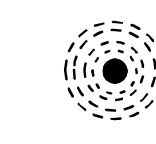
I simuleringer i spor 1 viser profiler tydeligt, at koncentrationer er større under bygninger end i en tilsvarende dybde uden for bygningens influenszone. Dette er især udtalt ved et dybereliggende grundvandsspejl /Miljøstyrelsen, 2010/.

Jordtemperatur i kilde

Høj temperatur, plan

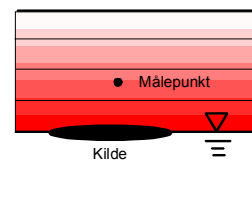
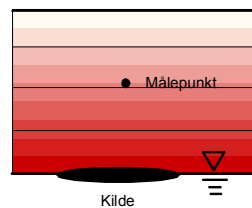


Lav temperatur, plan

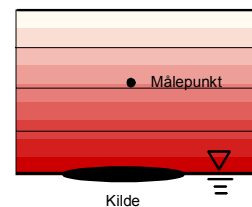
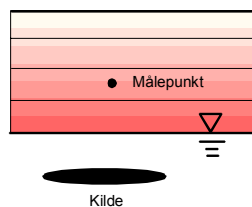


Temperaturstigninger øger damptrykket, koncentrationsgradienten og diffusionskoefficienten og samtidig reduceres retardationen (da fasefordelingen til vandfase og dermed sediment bliver mindre når Henrys lov konstanten stiger). Samlet giver dette anledning til større spredning ved både diffusion og densitetsbetinget flow.

Vandspejlsændringer



I situationer med LNAPL/opløst fane ved vandspejlet vil en stigning i vandstanden føre til stigende koncentration i målepunkter i umættet zone, idet afstanden til forureningskilden reduceres.

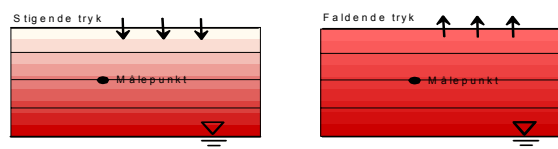


Ved (D)NAPL under normal vandspejlet vil faldende vandstand føre til eksponering af poreluften til NAPL og dermed stigende koncentration i poreluften.

Ved en grundvandsbåren forurening kan sidstnævnte effekt også opstå ved eksponering af poreluft til forurenede porevand ved faldende vandspejl pga. afdampning fra porevand over et væsentlig større areal end afdampning fra vandspejlet af grundvandet.

Ved en kilde i umættet zone, kan stigende vandspejl presse forurenede poreluft opad, hvilket evt. kan føre til kortvarig koncentrationsstigning nær terræn og føre til større horisontal spredning.

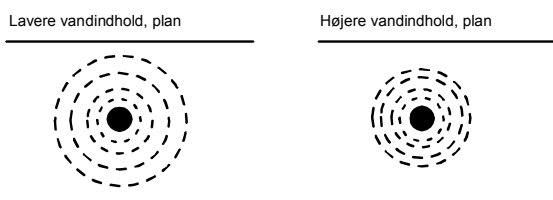
Barometertryk-ændringer



Ændringer i barometertryk fører til ændring i trykdifferensen mellem jorden og atmosfæren, hvilket fører til advektivt gasflow. Retning og effekt afhænger af befæstning/bygninger og heterogenitet i jordlagenes permeabilitet. Under befæstede arealer vil der overvejende ske vertikal strømning af poreluft.

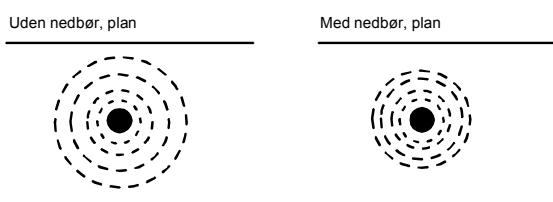
I spor 1 har simuleringen vist, at en større amplitude og periode, en større gaspermeabilitet samt en større tykkelse af umættet zone giver større poreluftvariation. De tidslige variationer i poreluftkoncentrationen som funktion af ændringer i barometertrykket resulterer i en absolut variation på under 6 % i umættet zone. Størst tidslig variation observeres i jorden direkte under en sprække i en bygning, hvor variationen er op til 82,5 % svarende til en faktor 10 i variation.

Vandindhold i jorden



Udbredelse af flygtigt stof i poreluften er bestemt af diffusion i luft, og den relative volumenandel af luft og sammenhæng mellem luftfyldte porer er derfor afgørende for spredningen. Ved et øget vandindhold mindskes volumenandel af poreluft og sammenhæng mellem luftfyldte porer mindskes, hvilket kan betinge en mindre udbredelse.

Nedbør



Nedbørshændelser fører til infiltration af vand i umættet zone og dermed til en nedsivende front med højere vandindhold.

Fasefordeling fra poreluft til vandfase medfører en udvaskning af stof som følge af opløsning af forureningen i porevandet, og kan dermed potentielt føre til forbigående fald i koncentrationen i poreluften.

Nedbør kan endvidere virke mindskende på udveksling af luft med atmosfæren, hvilket kan medføre stigende koncentration i poreluft og dermed have en effekt, der minder om befæstelse.

3 Analyse af poreluftvariationer på 5 lokaliteter

Der er udført en vidensopsamling med henblik på at analysere variationer i poreluftkoncentrationerne på 5 lokaliteter. De 5 undersøgte lokaliteter er forskellige både mht. geologi, forureningstype og undersøgelsesomfang. For alle lokaliteterne er, på det eksisterende datagrundlag, foretaget en analyse af hvilke parametre, der påvirker poreluftvariationen.

3.1 Fremgangsmåde for vidensopsamling

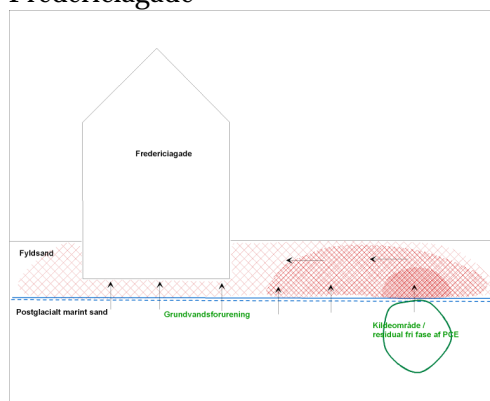
Den indsamlede viden på de 5 lokaliteter er angivet som et resumé og på et datablad. Resumeet opsummerer de udførte undersøgelser i tekst og variationen i rum og tid beskrives. På databladet er udvalgte data fra hver lokalitet angivet i en oversigtsliste. Formålet med databladet er at foretage en systematisk indsamling og opstilling af informationer fra lokaliteterne, for derved at have en fælles referenceramme.

I resumé og datablad foretages ingen databehandling, men alene en sammenstilling af eksisterende data fra de udførte undersøgelser på lokaliteterne. Resumé og datablade for de 5 lokaliteter findes i bilag B. Analyserne af variationer i poreluftkoncentrationerne for de 5 lokaliteter findes i bilag C.

3.2 Vidensopsamling

Stofgruppe, kildetype, geologi, øverste magasin samt rumlig og tidslig variation er vist nedenfor.

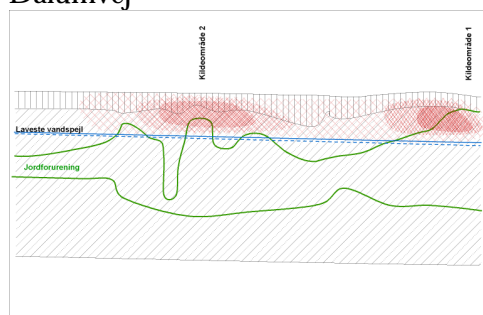
Fredericiagade



Stofgruppe	PCE
Kildetype	Residual fri fase / opløst fane
Geologi	Velsorteret fyldsand / marint postglaciært sand
Øverste magasin	3 m u.t., frit gvs.

Rumlig variation	Tidslig variation
<ul style="list-style-type: none"> • ½ størrelsesorden pr. 10 m mod nord og vest, 1 størrelsesorden pr. 10 m mod syd og øst • Under gulv, generelt en faktor 2 • 1-2 størrelsesordener over 10 m nord for Fredericiagade i samme afstand fra kildeområdet 	<ul style="list-style-type: none"> • 1-3 størrelsesordener før, under og efter afværgepumpning • Faktor 1-3 på måling indenfor 1 år efter afværgepumpning

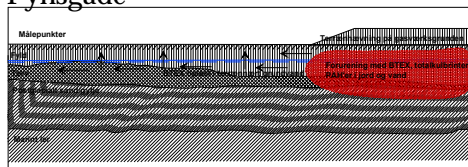
Dalumvej



Stofgruppe	PCE
Kildetype	Residual fri fase / opløst fane
Geologi	Fyld / moræner
Øverste magasin	2-3 m u.t.

Rumlig variation	Tidslig variation
<p>Kildeområde 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 størrelsesorden over 10 m mod øst og syd • 1 størrelsesorden pr. 10 m mod vest under bygning • 1 størrelsesorden over 15-20 m mod nord <p>Kildeområde 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1-2 størrelsesordener over 5-10 m • Grundvandsfanen: • 3 størrelsesordener over 60 m nedstrøms ejendommen • < 1 størrelsesorden over forureningsfanen 	<ul style="list-style-type: none"> • 1-2 størrelsesordener før og efter 2003

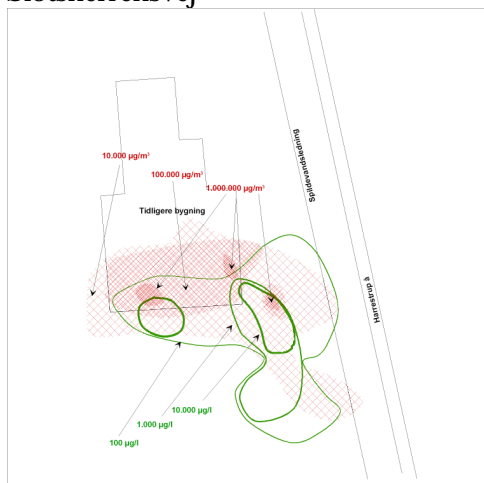
Fynsgade



Stofgruppe	BTEX
Kildetype	Opløst fane
Geologi	Fyld /Ferskvands- og marine aflejring (inkl. gytje og tørv), fed moræneler
Øverste magasin	1-2 m u.t., frit gvs.

Rumlig variation	Tidslig variation
<ul style="list-style-type: none"> 1 størrelsesorden på 50 m på gasværksgrunden 	<ul style="list-style-type: none"> 1 størrelsesorden fra 1994 til 2007/08 nedstrøms gasværksgrunden < 1 størrelsesorden i perioden 07/08 nedstrøms gasværksgrunden

Slotsherrensvej



Stofgruppe	PCE / TCE
Kildetype	Fri fase i umættet zone / opløst fane
Geologi	Fyld / moræneler / sandlomme
Øverste magasin	1,5-3,5 m u.t. frit gvs.

Rumlig variation	Tidslig variation
<ul style="list-style-type: none"> 2-3 størrelsesordener på 6-10 m 2-3 størrelsesordener på 25•30 m under gulv 	<ul style="list-style-type: none"> 2-5 størrelsesordener under gulv 1-2 størrelsesordener i umættet zone

Frydensbergvej



Stofgruppe	PCE / TCE
Kildetype	Fri fase i umættet zone / opløst fane
Geologi	Fyld / moræner / sandlomme
Øverste magasin	1,5-3,5 m u.t. frit gvs.

Rumlig variation	Tidslig variation
• ½-3 størrelsesordener på 6 m	• Ukendt

På de 5 lokaliteter er generelt observeret en rumlig variation på ½-3 størrelsesordener indenfor afstande på under 10 m.

Den rumlige variation er primært betinget af afstanden til kilden, således er den generelle tendens et fald på 1 størrelsesorden pr. 10 m afstand til kildeområdet. Der er dog observeret større fald i poreluftkoncentrationerne pr. 10 m afstand til kildeområdet.

Derudover er der både i kildeområder og ved vandspejlsbårne forureninger observeret store rumlige variationer.

På de 5 lokaliteter er der ikke observeret markante forskelle mellem den rumlige variation under gulv og generelt i den umættede zone.

Der er observeret tidslige variationer fra under 1 til 3 størrelsesordener, i et enkelt tilfælde op til 5 størrelsesordener under gulv. Generelt er den tidslige variation mellem målinger inden for samme år ikke observeret større end 1 størrelsesorden, mens variationen mellem forskellige år er markant højere. Det vurderes, at gentagne målinger samme år ikke er dækkende til beskrivelse af årstidsvariationen.

3.3 Resultat af dataanalyse

Resultatet af analyserne af poreluftsvariationer for de 5 lokaliteter findes i bilag C og er opsummeret i nedenstående tabel 3.1.

Tabel 3.1 Styrende parametre for de 5 lokaliteter

	Fredericiagade	Dalumvej	Fynsgade	Slotsherrensvej	Frydensbergvej
Geologi				+	+
Afstand til kilde	+	+		+	
Supplerende målerunder		+			o
Nedbør	o	o	o	o	
Differenstryk	o	o	o	o	
Jordtemperatur	o	o			
Vandspejlsniveau	+	+	+	+	+
+	Parameteren har betydning				
o	Parameteren har ikke betydning				
	Ikke undersøgt				

3.4 Begrænsninger for databearbejdning

Datagrundlaget har sat begrænsninger for hvor dybdegående og detaljeret det har været muligt at analysere variationerne i poreluftkoncentrationerne på de enkelte lokaliteter. Til trods for et omfattende datamateriale har der ved alle lokaliteter været begrænsninger. Nedenfor opridses gentagne og væsentlige problemstillinger med datamaterialet:

- Kilde ikke afgrænset
- Ingen gentagne målinger i samme målepunkter
- Ikke udført samhoørende målinger af parametre (vandspejl, meteorologiske data, geologi mv.) og koncentrationsniveauet i poreluften

3.5 Rumlig variation – styrende parametre

Den store rumlige variation har, sammen med enkelte lokaliteter med begrænset eller ingen historik, vist betydningen af en god kildeforståelse for at mindske usikkerheden på den rumlige variation. Analyserne for lokaliteterne viser, at målepunktets kildenærhed er essentielt for det målte forureningsindhold.

Analysen af Fredericiagade viser, at der forekommer en stor rumlig variation i punkter i samme afstand til kilden (i afstande op til 50 m fra kildeområdet). Dette betyder, at den rumlige variation i hele det forureningspåvirkede område kun kan reduceres væsentligt ved at udtage flere prøver i alle retninger fra kilden, med en indbyrdes afstand på under 10 m.

På flere af lokaliteterne er formålet med supplerende målerunder en afgrænsning af forureningen. Dermed er der i hver målerunde udtaget prøver i stigende afstande fra kilden, idet det er forventet, at koncentrationen er kendt tættere ved kilden. Imidlertid betyder denne fremgangsmåde, at det ikke er muligt at skelne mellem rumlig og tidlig variation, og dermed er selve forureningsafgrænsningen og koncentrationsprofilen fra kilden usikkert. Det

betyder, at supplerende målinger bør hæftes op på en til flere referencemålinger i målepunkter, hvor der er udført tidligere målinger.

De 5 lokaliteter viser et mindre fald i poreluftkoncentrationen med afstand til kilden, end der ses i feltforsøg med små klart afgrænsede kilder, se bilag A. Dette skyldes, at poreluftforureningen stammer fra kildeområder bestående af flere spild og/eller grundvandsbårne forureninger. Generelt ses et fald fra kilden på 1-2 størrelsesordener pr. 10 m.

3.6 Tidslig variation – styrende parametre

Der er observeret tidlige variationer fra under 1 til 5 størrelsesordener. Generelt er den tidlige variation mellem målinger inden for samme år ikke observeret større end 1 størrelsesorden, mens variationen mellem år er markant højere. Gentagne målinger inden for et år ser dog ikke ud til dækkende at beskrive årstidsvariation. Vandspejlsfluktuationer er den parameter, der er vurderet at betinge de største tidlige ændringer i poreluftindholdet på alle 5 lokaliteter. Grundvandet er terrænnært på alle lokaliteter.

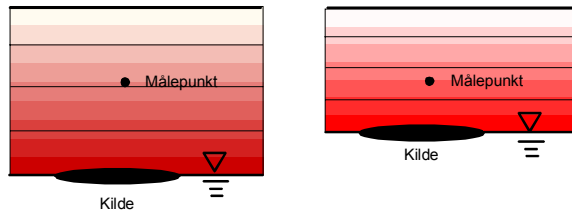
På Fredericiagade og Slotsherrensvej forårsager vandspejlsænkning, som følge af afværgepumpning, blotlægning af mobil og residual fri fase, og deraf følgende tidlige variationer på mellem 1 og 3 størrelsesordener. Efter blotlægning af fri fase konstateres høje poreluftindhold i målinger mindst et år efter blotlægningen, mens yderligere vandspejlsænkninger efter blotlægning umiddelbart ikke ses at påvirke koncentrationsniveauet i poreluften væsentligt. Dette stemmer overens med simuleringen i spor 1 som har vist, at sorptionen har betydning for steady-state efter en ændring. I en simulering sås således først steady-state 1,5 år efter ændring af kildestyrke. /Miljøstyrelsen, 2010/.

På Fynsgade, forurenede med opløste BTEX komponenter, er der en eksponentiel sammenhæng mellem relativ afstand fra vandspejl til målepunkt og faldende poreluftindhold. Dette gælder for alle 3 stoffer og samtlige 5 målepunkter. Des højere generelt koncentrationsniveau i målepunktet, des større tidslig variation ses tilsyneladende. Resultaterne fra lokaliteten viser, at vandspejlsfluktuationers betydning mindskes med stigende afstand til målepunktet, således forventes ingen væsentlig variation som følge af vandspejlsændringer ved minimumsafstande på ca. 1 m mellem vandspejl og målepunkt.

På de fem lokaliteter foreligger der ikke lokale metrologiske data og derfor er poreluftkoncentrationer sammenholdt med regionale data fra DMI. Herudfra er der ikke konstateret sammenhæng mellem nedbør, barometriske trykændringer og poreluftindholdet. Trykændringer er dog tidligere set at betinge variationer på faktor niveau /Nielsen, S., 2007/. Dette stemmer overens med modulsimuleringerne i spor 1 /Miljøstyrelsen, 2010/. Disse ændringer forventes dermed at være små set i forhold til f.eks. vandspejlsfluktuationer, som er set at betinge variationer i størrelsesordener. Endvidere er trykændringer hurtige ændringer i forhold til aftrykkene af en forurening, som er vist at kunne ses op til 1 år efter en kilde er afgravet, hvilket betyder, at variationen som følge af trykændringer udlignes over tid.

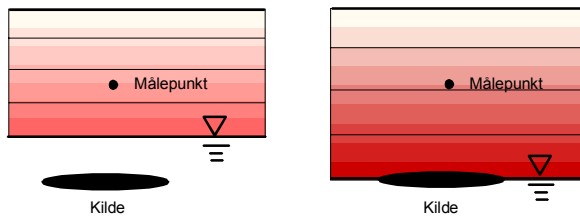
Betydningen af styrende parametre, som er belyst med erfaringsopsamlingen fra de 5 lokaliteter, er listet nedenfor. Det har ved erfaringsopsamlingen ikke været muligt at belyse de øvrige styrende faktorer listet i afsnit 2.

3.6.1 Vandspejlsfluktuation, opløst fane



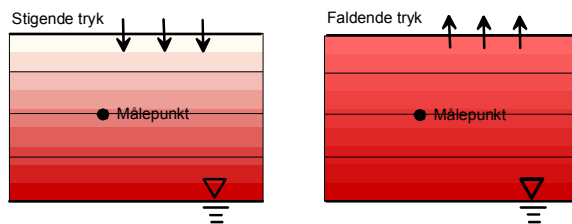
Forhold, der afgør betydning	Betydning
Afstand til grundvandsspejl Opløst forurening	Op til 1 størrelsesorden når afstand under 1 m mellem målepunkt og vandspejl. Ingen betydning med større afstand over ca. 1 m

3.6.2 Vandspejlsfluktuation, fri fase / sorberet stof



Forhold, der afgør betydning	Betydning
Beliggenhed af residual fri fase / sorberet stof	1 til 3 størrelsesordener når residual fri fase / sorberet stof blottægges

3.6.3 Trykændringer



Forhold, der afgør betydning	Betydning
Faldende / stigende tryk	Betydning ikke observeret, på faktorniveau

4 Opstilling af konceptuel model

En konceptuel model opstiller hvordan en forureningsituationen forstås og fortolkes. Den er dermed helt essentiel for at belyse variationerne i poreluftkoncentrationerne. I analysen af de 5 lokaliteter er der arbejdet systematisk med opstilling af konceptuelle modeller, og disse har tydeliggjort væsentlige og uvæsentlige processer på de enkelte lokaliteter, og understøttet de konklusioner, der er draget på baggrund af datamaterialet.

En konceptuel model er en simplificeret tolkning af hydrogeologi, forureningsart samt væsentlige spredningsprocesser. En konceptuel model er dermed et idealiseret billede af virkeligheden – eller den bedst mulige tolkning af de processer og forhold, der gør sig gældende i en eksakt forurenings-situation. Ved opstilling af en konceptuel model inddrages derfor al relevant eksisterende viden, og under opstillingen synliggøres samtidig de forhold, hvor modellen er utilstrækkelig, og øget viden er nødvendig.

4.1 Behov for konceptuelle modeller

Gennemgangen af de 5 lokaliteter har vist, at det er meget vigtigt at opstille en konceptuel model for den enkelte forureningsituation med henblik på at vurdere de rumlige og tidlige variationer i poreluftmålingerne. For at forstå poreluftvariationen er det f.eks. helt essentielt at forstå, hvor kilden til, den i et givet målepunkt, fundne påvirkning af poreluften er beliggende. Denne kilde kan være en anden end selve kildeområdet.

Eksempelvis er en række målepunkter på Fynsgade beliggende 10-30 m nedstrøms selve kildeområdet på gasværksgrunden. Samtidig findes en grundvandsbåren forureningsfane med højt vandspejl (mindre end 0,5 m fra målepunkterne). I de nedstrøms målepunkter vil poreluftforureningen være betinget af afdampning fra grundvandet. Er fokus på gasværksgrunden og ikke den grundvandsbåre forurening som kilde, vil data kunne misfortolkes og forkerte konklusioner om poreluftvariationen opnås. Det er netop i forståelsen af forholdene og forureningsudbredelse, at det er essentielt at opstille en velfunderet konceptuel model til tolkning og afkodning af virkeligheden.

4.2 Fremgangsmåde ved opstilling af konceptuel model

Opstilling af konceptuelle modeller er så vigtig en del af at forstå poreluftvariationen på en given lokalitet, at det er valgt at introducere konceptet, især i relation til de forhold der er vigtige i forbindelse med poreluftmålinger. Målet med denne rapport er dog ikke at opstille en fuldstændig vejledning i opsætning af konceptuelle modeller. En konceptuel model vil som oftest kunne opstilles mest effektivt gennem visualisering hhv. i det horisontale og vertikale plan.

Ved opstilling af en konceptuel model skal der først og fremmest tages udgangspunkt i kendt, aktuel viden for en lokalitet. Dernæst tolkes

forventninger til ukendte forhold i ens model, som f.eks. sammenhæng mellem geologiske lag i forskellige borer, forureningsudbredelse og spredningsveje.

I forbindelse med tolkningen er det vigtigt at være opmærksom på hvilke forhold, der mangler viden om, og hvor datagrundlaget bør udbygges for hhv. at opbygge og underbygge en konceptuel forståelse. Derved er processen med opstilling af en konceptuel model med til at udpege hvor datagrundlaget er svagt, og hvilke yderligere undersøgelsestiltag, der bør udføres, for at udbygge vidensniveauet og/eller verificere modellen.

På Fynsgade er, på baggrund af måledata og teori, eksempelvis opstillet en konceptuel model (se bilag C) som viser, at poreluftkoncentrationen aftager eksponentielt med afstanden til vandspejlet. Her vil det være en fordel enten at udtage flere poreluftmålinger med stigende afstand til grundvandspejlet og/eller flere målerunder med samtidig måling af vandspejlsniveauet, således at den konceptuelle forståelse af systemet kan verificeres yderligere. Den konceptuelle forståelse af Fynsgade bygger på, at forureningen på gasværksgrunden er uden betydning i poreluftmålepunkterne grundet den store afstand. Flere systematiske målinger mellem de benyttede målepunkter og gasværksgrunden i både vand og poreluft vil desuden kunne være med til at fastlægge inden for hvilken afstande til kilden i den umættede zone på gasværksgrunden, at denne er dominerende for poreluftindholdet. Derved vil den konceptuelle forståelse af systemet øges yderligere.

I tabel 4.1 er de parametre, der er vurderet for vigtige i forbindelse med analyse af poreluftvariationer, angivet. Vurderingen er foretaget på baggrund af teori og analyse af de 5 lokaliteter.

Tabel 4.1 Parametre, der skal kendes ved opstilling af konceptuel model i forbindelse med poreluftvariationer

Parameter	Vigtige forhold at afklare
Vandspejl	<ul style="list-style-type: none"> • Afstand til målepunkt • Fluktuationer over år • Indgreb der påvirker vandspejlsniveau
Forurening	<ul style="list-style-type: none"> • Eksakt placering • Beliggenhed (udstrækning, form og beliggenhed i fht. vandspejl og overflade) • Form (fri fase, opløst etc.) • Koncentrationsniveauer i de forskellige medier • Potentielle ikke belyste kilder
Geologi	<ul style="list-style-type: none"> • Dominerende geologi • Homogenitet • Præferentielle flowretninger (gas og vand) samt evt. "flowlommer" af f.eks. grovkornet sand • Vandindhold og evt. fluktuationer i dette
Meteorologiske forhold	<ul style="list-style-type: none"> • Befæstningsgrad • Mulighed for luftudveksling med hhv. atmosfære, kælder og øvrig bebyggelse • Forhold med betydning for infiltration (nedbør, dræn, afløb, afstrømningsmønstre)

5 Vurdering af usikkerheder på poreluftmålinger

De store naturlige variationer i poreluftkoncentrationerne betyder, at risikovurderinger på basis af enkelte målinger er forbundet med meget stor usikkerhed. Der er på nuværende tidspunkt ikke muligt entydigt at afgøre om resultatet af en given måling ligger under, på eller over det reelle gennemsnitsniveau.

På de 5 lokaliteter er der set en tidslig og rumlig variation på poreluftmålinger, der medfører en stor usikkerhed i forbindelse med vurdering af risiko og grundlag for kortlægning eller ej. På baggrund af de gennemførte analyser af de 5 lokaliteter og opstilling af konceptuel model, gives anbefalinger til hvordan usikkerheden på poreluftmålingerne vurderes og eventuelt mindskes.

5.1 Zoneringsprincippet og zoneringsfaktorer

Usikkerheden på poreluftmålingerne udgør en risiko for såvel mennesker som miljø, men også en risiko for retssikkerheden for såvel regioner som grundejere, idet det reelt ikke vides om forureningen udgør en risiko, eller om der er grundlag for kortlægning, når gennemsnitspåvirkningen ikke kendes.

Problemet med, at man ikke ved om en målt værdi ligger over, på eller under den reelle middelværdi kan håndteres i en risikovurdering ved at afprøve, hvor meget sikkerhedsmargin, der er til en given grænseværdi.

Data kan vurderes ud fra zoneringsprincippet, hvor zoneringsfaktorer afpasses efter den usikkerhed, som et givent undersøgelses set-up medfører (geologi, forureningstype m.m.). Zoneringsfaktoren udtrykker, hvor sikker man er på, at et givent sæt af måleværdier ligger tæt på den reelle middelværdi.

Antagelsen er endvidere, at med en god historik, mange måleresultater, gentagne målinger m.m., vil vurderingen blive mere sikkert og entydig.

Tilsvarende vil en mangelfuld historik og uhensigtsmæssig placering af målepunkter betyde, at zoneringsfaktoren øges for at kompensere for usikkerhederne.

Grundlaget for opstilling af zoneringsfaktorer er en statistiske betragtning af større serier af måledata. De 5 lokaliteter er alle større undersøgelser i forhold til gængse undersøgelser. Gennemgangen har vist, at ingen af de 5 lokaliteter har måledata af en størrelse, som er tilstrækkelig til at de kan benyttes statistisk. På 3 af de 5 lokaliteter er der trods mange målerunder ikke foretaget gentagen måling i samme punkt til at belyse den tidslige variation.

På ingen af de 5 lokaliteter er alle de parametre målt, som kan have betydning for den rumlige og tidslige variation. Det er derfor ikke muligt at fastlægge generelle zoneringsfaktorer på baggrund af de 5 lokaliteter. Der kan dog ud

fra de 5 lokaliteter opstilles nogle generelle anbefalinger og en vurdering af hvilke og hvor store rumlige og tidslige variationer, der kan forventes.

5.2 Rumlig variation

Ud fra de 5 lokaliteter forventes en rumlig variation på op til 2 størrelsesordener i samme afstand fra kildeområdet. Endvidere forventes 1-2 størrelsesordener og op til 4 størrelsesordener pr. 10 m (stigende afstand til kilden). Det betyder, at der kan forventes en samlet rumlig variation på op til 6 størrelsesordener indenfor et areal på 10•10 m på en lokalitet, hvor forureningsbilledet/-udbredelsen ikke er kortlagt.

Det reelle forureningsbillede på en lokalitet er udtrykt i en rumlig variation af poreluftkoncentrationerne fra 0 til den maksimale koncentration. Det giver derfor ikke mening at definere en gennemsnitsværdi på det samlede forureningsbillede. Derimod kan det være hensigtsmæssigt at belyse gennemsnitsniveau inden for et delområde med samme forureningsniveau f.eks. under gulv eller i områder med samme udbredelsesmønster. Dette er muligt, hvis forureningsudbredelsen er belyst i alle retninger fra kilden, således at delområder med samme forureningsniveau og beliggenhed er i overensstemmelse med den konceptuelle forståelse af lokaliteten.

Man opnår reelt kun en øget viden med belysning af rumlig variation, hvis der udtages et tilstrækkeligt antal undersøgelsepunkter til at kortlægge det samlede forureningsbillede på en lokalitet. Udføres dele af forureningsundersøgelsen som supplerende målinger, bør disse hæftes op på en til flere referencemålinger i målepunkter, hvor der er udført tidligere målinger, for at belyse den tidslige variation. Derved kan den rumlige og tidslige variation adskilles, således at den rumlige variation kan kortlægges.

Flere målepunkter vil altid øge viden om den rumlige variation og dermed mindske usikkerheden, men der kan ikke fastsættes et generelt niveau for reduktion af usikkerheden ved et øget antal målepunkter. Der kan derfor ikke generelt opsættes retningslinjer om, at en fordobling etc. af prøvetagningspunkter f.eks. halverer eller reducere usikkerheden med f.eks. 20 % på den rumlige variation.

Ud fra de 5 lokaliteter forventes, som beskrevet ovenfor, en samlet rumlig variation på op til 6 størrelsesordener på en lokalitet, hvor forureningsbilledet ikke er kortlagt.

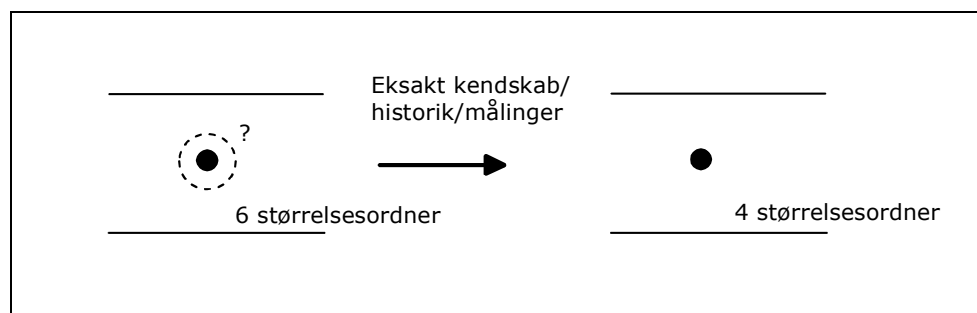
Hvis målinger, eller evt. historik, med sikkerhed har belyst den eksakte placering af kilden/kilderne samt det gennemsnitlige fald væk fra kildeområdet, kan usikkerheden reduceres til 2 størrelsesordener indenfor samme afstand til kilden. Ønskes den rumlige variation belyst ned til 1 størrelsesorden, er det nødvendigt at have målepunkter med 5 m afstand i samme retning fra kildeområdet, bestemt ud fra en konceptuel forståelse af forureningsituationen (i forhold til f.eks. grundvandsfanens beliggenhed eller radiale udbredt forurening fra kilde i umættet zone).

I nedenstående tabel 5.1 er vist de faktorer, som har betydning for usikkerheder på den rumlige variation, med hvilken størrelsesorden faktoren kan reduceres og hvilke muligheder der er for reduktion af usikkerheden. Ved målinger, hvor der ikke detekteres forurening i poreluft, bør disse vurderes, som måling af en værdi svarende til detektionsgrænsen. De supplerende

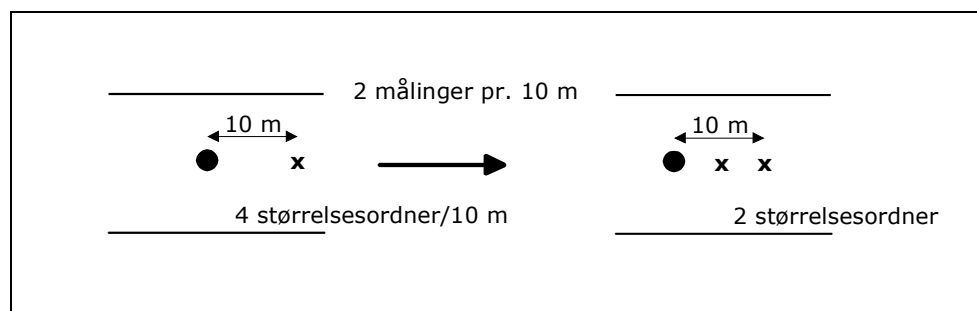
målepunkter ændrer ikke ved usikkerhed forbundet med tidslig variation. Betydningen på de enkelte faktorer og reduktion er illustreret i figur 5.1-5.3.

Tabel 5.1 Forskellige faktorer betydning for usikkerheden på den rumlige variation og muligheden for reduktion af usikkerheden

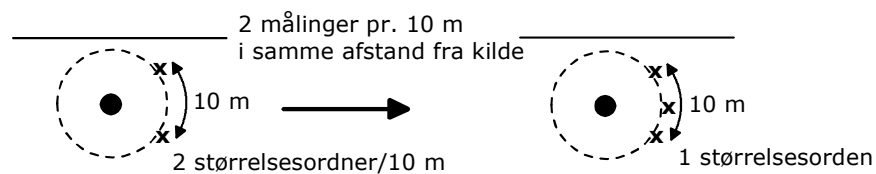
Faktor	Størrelsesordener	Reduktion af usikkerhed (størrelsesordener), ved bestemmelse af faktor	Mulighed for reduktion
Kildeplacering	6	4	God historik og/eller mange målepunkter i formodet kildeområde
Afstand til kilde	4 pr. 10 m	2	2 målinger pr. 10 m afstand til kilde i en given retning
Variation inden for samme afstand	2 pr. 10 m	1	2 målinger pr. 10 m i samme afstand til kilde



Figur 5.1 Betydning af kendt kildeplacering og mulighed for reduktion.



Figur 5.2 Betydning af afstand til kilden og mulighed for reduktion.



Figur 5.3 Betydning af variation indenfor samme afstand og mulighed for reduktion.

Der er rimelig god overensstemmelse med forskningsresultater fra feltforsøg med chlorerede opløsningsmidler. For udbredelse af stoffer, som nedbrydes i umættet zone, kan koncentrationsgradienten i poreluften og dermed den rumlige variation over en given afstand, være større. Ved undersøgelse af ovennævnte omfang burde en større gradient afsløres, hvorefter der kan tages beslutning om evt. supplerende undersøgelser.

5.3 Tidslige variationer

På de 5 lokaliteter er der kun foretaget få gentagne målinger i/nær samme punkt til forskelligt tidspunkt. Datagrundlaget og vurderingen af den tidslige variation er derfor usikkert.

På de 5 lokaliteter er der set en tidslig variation på 1-2 størrelsesordener i situationer, hvor der ikke er foretaget ydre indgreb, som f.eks. afværgepumpning eller afgravning. Generelt er der observeret 1-2 størrelsesordener over år og under 1 størrelsesorden indenfor et år. Der er dog i de 5 lokaliteter ikke kendskab til de reelle årstidsvariationer. Den større variation i poreluften koncentrationsniveau over år kan f.eks. skyldes udvaskning og afdampning af forureningen.

På det eksisterende datagrundlag fra de 5 lokaliteter tyder det derfor på, at vidensgrundlaget ikke øges ved at udføre flere målerunder indenfor samme år, medmindre der er sket markante ændringer, f.eks. udført afværge. Hvis den tidslige variation på 2 størrelsesordener over år skal reduceres, er det nødvendigt at foretage gentagne målinger i de samme punkter over flere år.

Tabel 5.2 Forskellige faktorerers betydning for usikkerheden på den tidslige variation

Faktor	Forhold, der afgør betydning	Betydning
Vandspejlsfluktuation, opløst fane	Afstand til grundvandsspejl Opløst forurening	Op til 1 størrelsesorden når afstand under 1 m mellem målepunkt og vandspejl. Ingen betydning med større afstand over ca. 1 m
Vandspejlsfluktuation, fri fase / sorberet stof	Beliggenhed af residual fri fase / sorberet stof	1 til 3 størrelsesordener når residual fri fase / sorberet stof blotlægges
Trykændring	Faldende / stigende tryk	Betydning ikke observeret, forventes på faktor niveau

For kilder i umættet zone tyder forskningsresultater på variationer på 1-2 størrelsesordener mellem årets varmeste (juli-august) og koldeste (januar-februar) måneder mht. jordtemperatur.

Vandspejlsfluktuation som blotter en kilde i mættet zone, hvad enten den er påført ved f.eks. pumpning eller naturligt, kan føre til markant koncentrationsstigning for en længere periode.

På det eksisterende grundlag kan der ikke gives en anbefaling til hvor mange gange og med hvilket tidsinterval målinger bør foretages for at mindske usikkerheden på den tidslige variation. Der vil dog være god mening i at foretage målinger, der er repræsentative i forhold til forskellige jordtemperaturer over 2-3 år og undgå prøvetagning under eller lige efter flerdagsregn. Da variationerne typisk er forholdsvis ensartede i et område, behøves der kun monitoreres i udvalgte punkter. Monitorering af vandspejlsniveau kan

også anbefales og betydeligt fald i vandspejl (sammenholdt med variationer i en forudgående periode) bør lede til supplerende monitoring.

Der er på to lokaliteter set at afværgepumpning med følgende afsenkning af vandspejlet i områder med residual fri fase/kraftig jordforurening under vandspejlet, har betydet et markant forhøjet indhold i poreluften i forhold til en upåvirket situation. Dette betyder, at hvis en forurening udgør en risiko for grundvandsressourcen men ikke for indeklima, kan afsenkning af vandspejlet resultere i, at forureningen vil begynde at udgøre en risiko for indeklima i en længere periode (år). Ydre påvirkning medfører således, at der bør foretages nye målinger og en revision af risiko og vurderingen af kortlægningen.

På baggrund af det begrænsede datagrundlag på de 5 lokaliteter er kun vandspejlsændringer set at have en væsentlig betydning for den tidlige variation. Øvrige parametre, f.eks. meteorologiske forhold er ikke set at have en betydning på størrelsesordensniveau.

Optimale målebetingelser er måling under en gennemsnitssituation, således at en måling i et punkt afspejler den gennemsnitlige værdi. Måling under optimale målebetingelser kræver, at der er fuldstændig styr på den konceptuelle model og hvilke parametre, som betinger den tidlige variation. Dette kræver at der i forbindelse med gennemførte undersøgelser skal bestemmes en række parametre, som i dag normalt ikke bestemmes i forbindelse med poreluftsundersøgelser, f.eks. måling af vandindhold, måling af nedbør og trykforhold på lokaliteten, vandspejlsfluktuationer, geologi m.m.

Teoretiske betragtninger og klart afgrænsede feltforsøg kan belyse betydningen af de enkelte parametre. Men på virkelige lokaliteter vil der ses et langt mere komplekst samspil af parametre, der gør, at de enkelte parametres betydning ikke kan adskilles fra hinanden. Det vurderes derfor, at usikkerheden på den tidlige variation på 2 størrelsesordener kan mindskes mest effektivt ved at udføre gentagne måling i forhold til bestemmelse af alle potentielt styrende parametre.

6 Konklusion

Formålet med dette projekt er, at forbedre vurderingen af usikkerheder på poreluftmålinger, som skal anvendes i forbindelse med myndighedernes sagsbehandling i forbindelse med kortlægning og risikovurdering.

Projektet har omfattet review af udvalgte relevante forskningsprojekter med fokus på hvordan forskellige parametre påvirker poreluftindholdet rumligt såvel som tidsligt. Endvidere er koncentrationsvariationen i poreluft og muligt styrende parametre for poreluftvariationen på 5 tidligere undersøgte lokaliteter analyseret. På baggrund heraf er størrelsesordenen for den tidslige og rumlige variation af poreluftindholdet fastlagt. Resultatet forbedrer mulighederne for at vurdere det gennemsnitlige poreluftindhold og kan herigennem bidrage til at kvalificere risikovurderinger.

6.1 Projektresultater

På de 5 lokaliteter er generelt observeret en rumlig variation på $\frac{1}{2}$ -3 størrelsesordener indenfor afstande på under 10 m. Den rumlige variation er primært betinget af afstanden til kilden, således er den generelle tendens et fald i koncentrationsniveauet på 1 størrelsesorden pr. 10 m afstand til kildeområde. De 5 lokaliteter viser et mindre fald med afstand til kilden end der ses i feltforsøg med små klart afgrænsede kilder. Dette skyldes, at poreluftforureningen med stor sandsynlighed stammer fra kildeområder bestående af flere spild og/eller grundvandsbårne forureninger.

Dataanalysen på de 5 lokaliteter viser, at det er vigtigt at have en god kildeforståelse, da det vil mindske usikkerheden på den rumlige variation. På de 5 lokaliteter er der ikke observeret markante forskelle mellem den rumlige variation under gulv og generelt i den umættede zone.

På flere af lokaliteterne er baggrunden for supplerende målerunder en afgrænsning af forureningen. Dermed er der i hver målerunde udtaget prøver i stigende afstande fra kilden, idet det er forventet, at koncentrationen er kendt tættere ved kilden. Imidlertid betyder denne fremgangsmåde, at det ikke er muligt at skelne mellem rumlig og tidslig variation og dermed er selve forureningsafgrænsningen og koncentrationsprofilen fra kilden usikkert.

Der er observeret tidslige variationer fra under 1 og op til 3 størrelsesordener, i et enkelt tilfælde op til 5 størrelsesordener under gulv. Generelt er den tidslige variation i poreluftmålinger mellem målinger inden for samme år ikke observeret større end 1 størrelsesorden, mens variationen mellem forskellige år er markant højere. De gentagne målinger samme år på de 5 lokaliteter er dog ikke dækkende til beskrivelse af årstidsvariationen.

Vandspejlsfluktuationer er den parameter, der er vurderet at betinge de største tidslige ændringer i poreluftindholdet på alle 5 lokaliteter. Grundvandet er terrænnært på alle lokaliteter.

På to lokaliteter forårsager vandspejlsænkning, som følge af afværgepumpning, blotlægning af mobil og residual fri fase, og deraf følgende tidlige variationer på mellem 1 og 3 størrelsesordener. Efter blotlægning af fri fase konstateres høje poreluftindhold i målinger mindst et år efter blotlægningen, mens yderligere vandspejlsænkninger efter blotlægning umiddelbart ikke ses at påvirke koncentrationsniveauet i poreluften væsentligt.

På de 5 lokaliteter foreligger der ikke observeret sammenhæng mellem nedbør, barometriske trykændringer og poreluftindholdet. Disse ændringer forventes at være små set i forhold til f.eks. vandspejlsfluktuationer.

6.2 Hovedkonklusioner og anbefalinger

Gennemgangen af de 5 lokaliteter har vist, at det er meget vigtigt at opstille en konceptuel model forureningsituationen med henblik på at vurdere de rumlige og tidlige variationer i poreluftmålingerne. For at forstå poreluftvariationen er det f.eks. helt essentielt at forstå, hvor kilden er, til den i et givet målepunkt fundne påvirkning af poreluften. Denne kilde kan være en anden end selve kildeområdet.

Flere målepunkter vil altid øge viden om den rumlige variation og dermed mindske usikkerheden, men der kan ikke fastsættes et generelt niveau for reduktion af usikkerheden ved et øget antal målepunkter. Ud fra erfaringerne med de 5 lokaliteter forventes en samlet rumlig variation på op til 6 størrelsesordener indenfor et areal på 10•10 m på en lokalitet, hvor forureningsbilledet ikke er kortlagt.

Tidsligt er der generelt observeret variationer i koncentrationsniveauet i poreluften på 1-2 størrelsesordener over flere år og under 1 størrelsesorden indenfor et år. Vidensgrundlaget øges således ikke ved at udføre flere målinger indenfor samme år, medmindre der er sket markante ændringer, f.eks. udført afværge.

Ved undersøgelser vil der ses et komplekst samspil af parametre, der gør at de enkelte parametres betydning ikke kan adskilles fra hinanden. Usikkerheden på den tidlige variation på 2 størrelsesordener kan derfor mindskes mest effektivt ved at udføre gentagne måling i forhold til bestemmelse af alle potentielt styrende parametre.

Der vil derfor være god mening i at foretage målinger, der er repræsentative i forhold til forskellige jordtemperaturer over 2-3 år og undgå prøvetagning under eller lige efter flerdagsregn. Da variationerne typisk er forholdsvis ensartede i et område behøves der kun monitoreres i udvalgte punkter. Monitoring af vandspejlsniveau kan også anbefales og betydeligt fald i vandspejl (sammenholdt med variationer i en forudgående periode) bør lede til supplerende monitoring.

Udføres dele af en forureningsundersøgelse som supplerende målinger, bør disse hæftes op på en til flere referencemålinger i målepunkter, hvor der er udført tidligere målinger for at belyse den tidlige variation. Derved kan den rumlige og tidlige variation adskilles, således at den rumlige variation kan kortlægges.

7 Referencer

Miljøstyrelsen, 2010. Variationer i poreluftens forureningsindhold, spor 1. Opstilling af modelscenarier, udvælgelse af modeller og modelberegninger. Miljøprojekt 1326, Miljøstyrelsen, 2010.

Fyns Amt, Miljøstyrelsen, Amternes Videncenter for Jordforurening. Variationer i poreluftens forureningsindhold – projektkatalog for det videre arbejde. Dateret 10. januar 2006.

Miljøstyrelsen, 2006. Poreluftprojekt - Styrende parametre for tidlige variationer af indholdet af klorerede opløsningsmidler i sand- og lerjorde. Hovedrapport og bilagsrapport. Miljøprojekt nr. 1094 og 1095, 2006.

Nielsen, S., 2007. Stoftransport i umættet zone. Matematisk modellering af transport af TCE i den umættede zone under et befæstet areal. Eksamensprojekt ved Miljø & Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet.

Region Syddanmark. Udredningsprojekt for Region Syddanmark og Miljøstyrelsen. Udbud. Variationer i poreluftens forureningsindhold, Opstilling af modelscenarier, udvælgelse af modeller og modelkørsler, november 2007.

Styrende parametre

For at indkredse de betydende faktorer inden gennemgangen af de 5 lokaliteter er indhentet erfaringer fra 2 kontrollerede feltforsøg udført i 2 forskningsprojekter /Conant et al., 1996, Christophersen et al., 2005/ og fra et udviklingsprojekt med særlig detaljeret prøvetagning og modellering /Tuxen et al., 2006/. Derudover er der indhentet erfaringer fra undersøgelser i poreluften på forsøgslokaliteter med tidligere (bortgravet forud for poreluftmålinger) residual fri fase i umættet zone hhv. med kilde af residual fri fase under laveste vandspejl /Rivett, M., 1995/.

1.1 Opstilling af faktorer

Faktorer/parametre, som umiddelbart forventedes at være af betydning for det i poreluften målte indhold af flygtige forureningskomponenter (primært chlorerede opløsningsmidler og BTEX), er listet i tabel 1.1.

Tabel 1.1: Opstilling af faktorer, som forventes af betydning.

Rumlig variation	Vandindhold
	Geologi, permeabilitet/porøsitet, volumenandel luft
	Forureningsfordeling og -type, samhørende data for jord og poreluft
	Retardation ved opløsning/sorption
	Befæstning/bygninger/influenszone ved bygning
	Historik/konceptuel model (styr på kildeområder)
	Nedbrydning
Tidslig variation	Nedbør/infiltration/vandindhold
	Jordtemperatur (årstidsvariation)
	Vandspejlsfluktuationer ved NAPL
	Differenstryk (variation ved f.eks. lavtrykspassage)
	Vindforhold

Betydningen af faktorerne er søgt belyst ud fra publicerede observationer/data fra forsknings-/udviklingsprojekterne /Christophersen et al., 2005, Conant et al., 1996 og Tuxen et al., 2006/.

I det ene forskningsprojekt (Waterloo) er udført 2 forsøg med placering af en kilde af residual TCE i umættet zone på en sandlokalitet i Canada, et sommer- og et vinterforsøg /Conant et al., 1996/. Der er udført detaljeret monitoring både rumligt og over tid i en periode på 3-4 uger efter placering af kilden samt scenariomodellering til illustration af faktorer/parametre.

I det andet forskningsprojekt (GRACOS) er udført et forsøg med placering af en kilde af kulbrinter, incl. BTEX, svarende til flybrændstof i umættet zone på en sandlokalitet i Danmark (Værløse) /Christophersen et al., 2005/. Der er her foretaget detaljeret monitoring både rumligt og over tid i en periode på 1 år. Forsøget er modelleret bl.a. med henblik på vurdering af effekten af nedbrydning.

I udviklingsprojektet (RAP) er udført detaljeret monitoring og modellering for en eksisterende TCE kilde i umættet zone under en bygning på en sandlokalitet (Rundforbivej) i Danmark /Tuxen et al., 2006/.

Da der i alle 3 tilfælde er tale om residual fase kilder i umættet zone, kan de ikke direkte anvendes til at vurdere poreluftpåvirkning fra grundvandsbåren forurening eller residual kilder på/under vandspejlet.

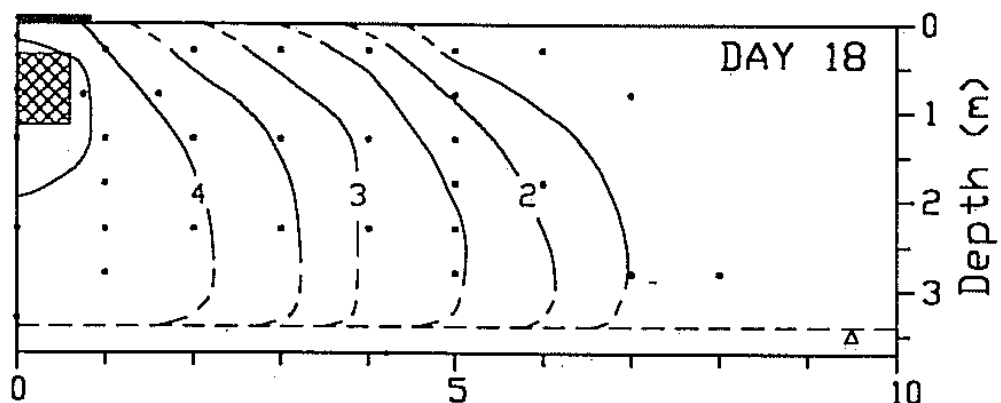
I et forskningsprojekt /Rivett, M., 1995/ med poreluftundersøgelser på 2 forsøgslokaliteter, dels forsøgsområdet for det ovenfor nævnte forsøg af /Conant et al., 1996/ efter den residuale TCE kilde var fjernet, og dels en nærliggende forsøgslokalitet med en blandet residual PCE, TCE og TCM kilde placeret under laveste vandspejl, er aftrykket efter residuale kilder i umættet zone hhv. påvirkningen fra en forurening under grundvandsspejlet undersøgt.

1.2 Betydning af faktorer

1.2.1 Rumlig variation

Væsentligst betydning for den rumlige variation i koncentrationer i poreluft har den rumlige fordeling af forureningen, forureningstypen samt den geologisk variation. Med hensyn til forureningstype er det valgt at fokusere på LNAPL/DNAPL, NAPL/opløst+sorberet samt aerobt nedbrydelig/persistent, idet andre relevante stofspecifikke parametre for chlorerede opløsningsmidler og BTEX er relativt ens.

Forurening i form af residual NAPL i et kildeområde i umættet zone fører ved fordampning fra den residuale fase til poreluften til en radial udbredelse med eksponentielt aftagende koncentrationer i poreluften med afstanden fra kilden /Christophersen et al., 2005 og Conant et al., 1996/. TCE aftog således 3 størrelsesordener over en afstand på 5-8 m /Conant et al., 1996/ jf. figur 1.1.



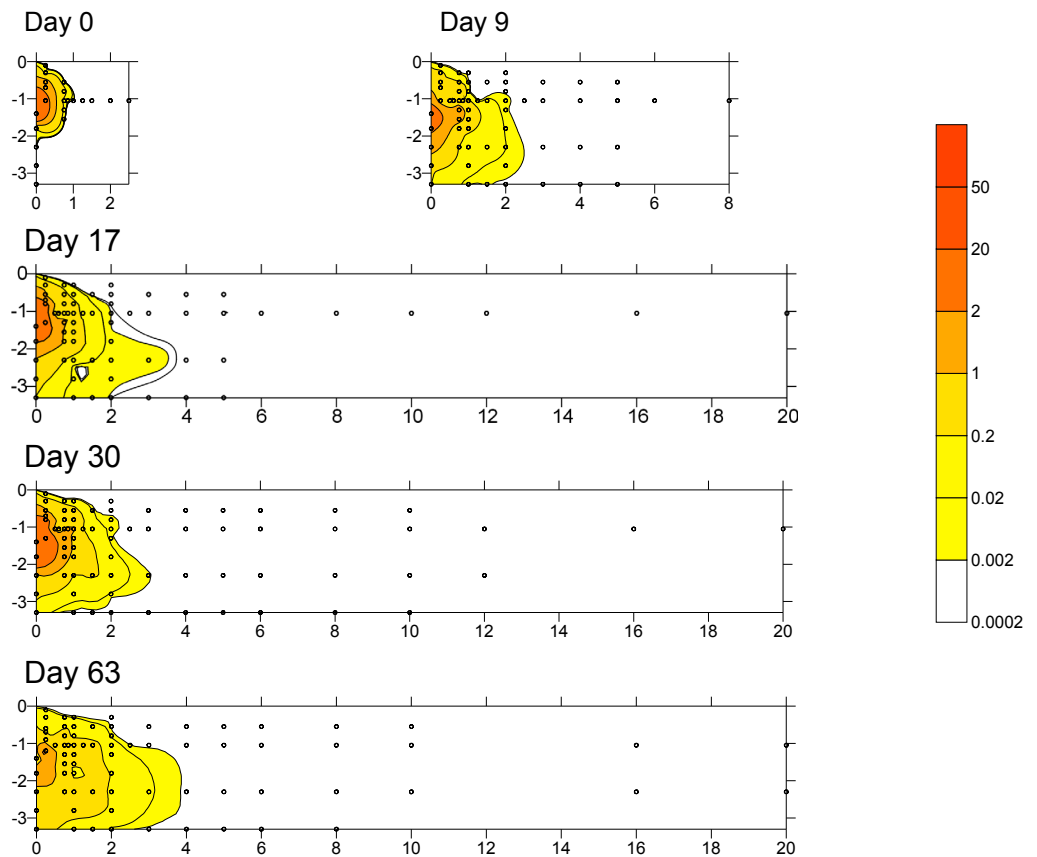
Figur 1.1: TCE udbredelse i poreluft fra residual kilde af TCE i umættet zone, fra /Conant et al., 1996/. X-akse angiver afstand i meter.

Toluen aftog 3 størrelsesordener i koncentration over en afstand på 2-3 meter fra en kilde med residual kulbrinteblending /Christophersen et al., 2005/ jf.

figur 1.2. Den kortere afstand for toluens udbredelse i forhold til TCE skyldes antagelig primært aerob nedbrydning af toluen.

Koncentrationsniveauet i poreluften er meget afhængigt af placeringen af målepunktet i forhold til kilden. For kilder placeret i toppen/midten af den umættede zone ses den største koncentrationsforskel for horisontal afstand, mens koncentrationsniveauet er mere ensartet over dybden.

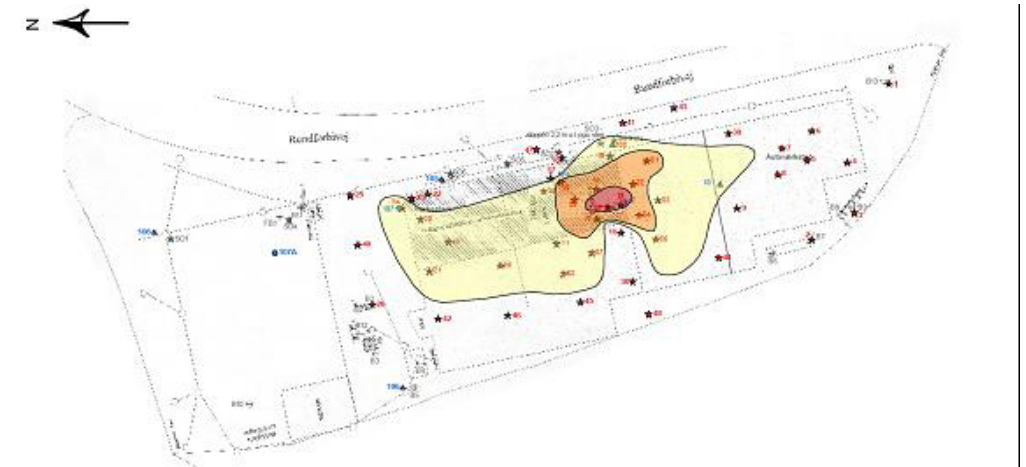
I figur 1.1 hhv. 1.2 ses fra terræn og ned til en dybde svarende til toppen af den residuale kilde (ca. 0,5 m) koncentrationsfald på 1 (TCE, Waterloo) til 2 (Toluen, GRACOS) størrelsesordener. Der er her flere årsager: tab til atmosfæren, tilbageholdelse som følge af sorption (se senere afsnit) og nedbrydning.



Figur 1.2: Toluenudbredelse i poreluft i sandaquifer fra residual kilde af kulbrinteblending "flybrændstof". Resultater fra GRACOS forsøg /Christophersen et al., 2005/. X- og Y-akse angiver afstand hhv. dybde i meter. Koncentrationer i mg/l luft.

Begge ovennævnte forsøg viste en ensartet radial udbredelse.

Befæstning eller bygninger kan dog have betydning for den overfladenære udbredelse af stofferne i poreluften. En irregulær udbredelse af TCE i poreluften er således set på Rundforbivej, hvor en kilde midt under en bygning, har givet anledning til væsentligt større udbredelse i poreluften i bygningens længderetning end bredderetning /Tuxen et al., 2006/ jf. figur 1.3.



Figur 1.3: TCE udbredelse i poreluft under bygning fra /Tuxen et al., 2006/

Ved en LNAPL, som flyder på vandspejlet vil afstanden fra målepunktet til denne LNAPL pool være afgørende for koncentrationsniveauet.

En DNAPL pool eller residual kilde kan være beliggende under vandspejlet (evt. periodisk). Da diffusion i vand er meget langsom sammenholdt med luft er det af afgørende betydning for koncentrationen i poreluften om kilden er beliggende på eller under grundvandsspejlet.

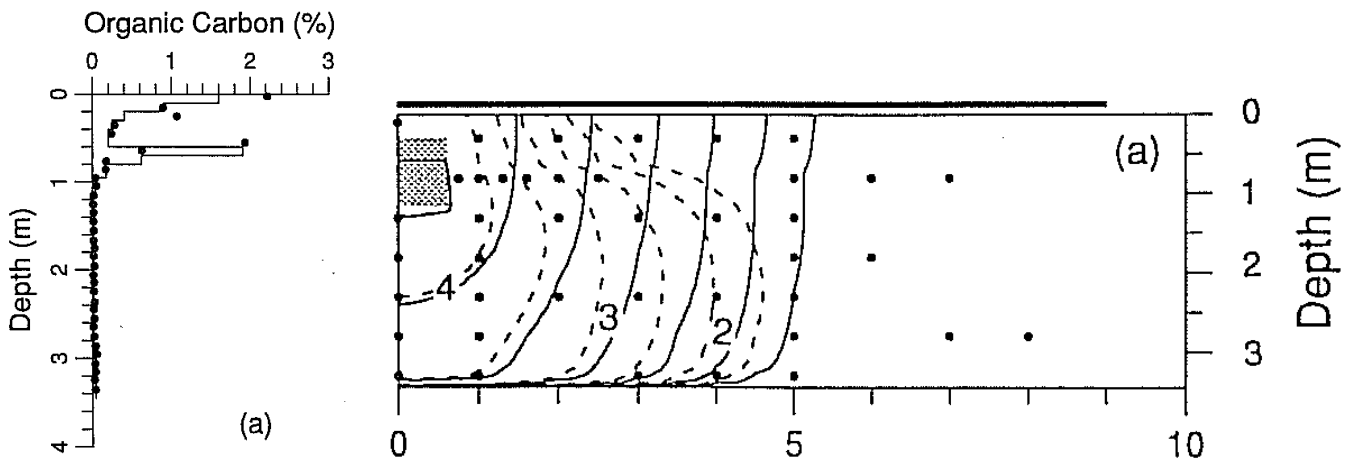
Ved vandbåren forurening i opløst fase fra en opstrøms kilde vil afstanden fra målepunktet til vandspejlet formodentlig være afgørende, forudsat forureningen træffes i toppen af magasinet.

Et godt kendskab til kildeplaceringen og tilstedeværelsen af fri fase på en lokalitet er således afgørende for forståelse af den rumlige variation i poreluftkoncentrationer. Forureningsfordelingen på en lokalitet kan endvidere være meget heterogen og vanskeliggøre en god kildekarakterisering og dermed forståelse af den rumlige variation i poreluftkoncentrationer.

Geologisk heterogenitet kan have stor indflydelse på fordelingen af forurening. Da udbredelsen af stofferne i poreluft er domineret af diffusion i luft er den relative volumenandel af luft og sammenhæng mellem luftfyldte porer afgørende for spredningen. De forholdsvis letopløselige stoffers udbredelse forsinkes endvidere ved fordeling til vandfasen, hvorfor vandindholdet har betydning for hvor hurtigt udbredelsen sker.

I lavpermeable lag er porerne mindre (om end porøsiteten kan være større) end i mere permeable lag, og de luftfyldte porer er ligeledes mindre, hvorfor sammenhængen mellem luftfyldte porer afskæres ved relativt mindre vandindhold. Desuden har lavpermeable lag ofte et lavere volumenindhold af luft og et højere vandindhold end højpermeable. Der sker således langsommere spredning i lavpermeable indslag. Sorption fra opløst fase til organisk stof i sedimentet/jorden vil yderligere retardere stoffernes udbredelse i poreluften. Den mere begrænsede udbredelse i et organisk rigt lag som følge af sorption observeredes tydeligt i feltforsøg med TCE (figur 1.4 /Conant et al., 1996/), hvor koncentrationskonturer viste op til 2-3 meters mindre udbredelse i det organisk rige lag end øvrige sand (ved udbredelser i sandet

på 5-8 m). Tilsvarende eller større forskel blev observeret ved modellering af forsøget med og uden det organisk rige lag.



Figur 1.4: Profil for indhold af organisk kulstof og model simuleringer med (stiplet) og uden (fuldt optrukket) sorption fra /Conant et al., 1996/. Effekten af sorption til laget ses tydeligt på udbredelsen af TCE i poreluften, specielt i dette vinterforsøg med til dækket overflade. Logaritmen til koncentrationen i mol/L er givet på kurverne.

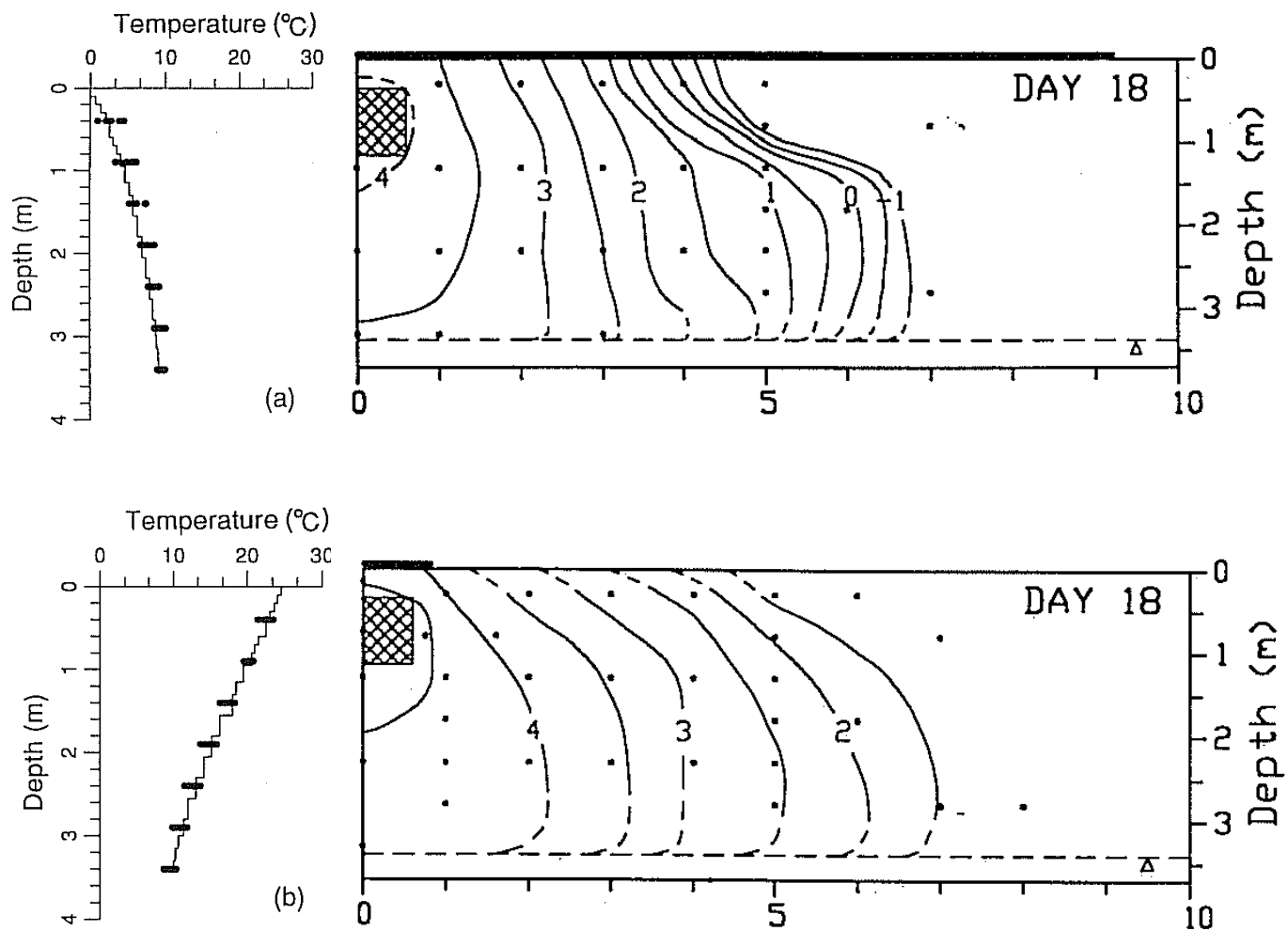
1.2.2 Transient variation

Variationer i lufttemperaturen giver anledning til årstidsvariation i jordtemperaturen, hvorimod døgnvariation i lufttemperaturen ikke giver væsentlige udslag i jordtemperaturen. Årstidsvariationen i jordtemperaturen er højest ved jordoverfladen og aftager med dybden til forsvindende ved vandspejlet (ca. 10 °C). I GRACOS projektet på Flyvestation Værløse blev temperaturen ca. 1 m u.t. fundet at variere mellem 3 °C og 18 °C /Christophersen et al., 2005/.

Årstidsvariation i jordtemperaturen giver anledning til varierende kildestyrke i poreluften specielt ved tilstedeværelse af NAPL men også ved opløst forurening, da damptryk og Henrys lov konstant varierer med temperaturen. En stigning i temperatur giver anledning til højere koncentration i kilden og dermed højere koncentrationsgradient og densitetsforskel mellem poreluft med TCE og ren luft. Temperaturstigning øger diffusionskoefficienten og samtidig reduceres retardationen (da fasefordelingen til vandfase og dermed sediment bliver mindre, når Henrys lov konstanten stiger). Samlet giver dette anledning til større spredning ved både diffusion og densitetsbetinget flow. Årstidsvariationen giver således anledning til variation i poreluftkoncentrationen i målepunkter i, og specielt udenfor, kildeområdet.

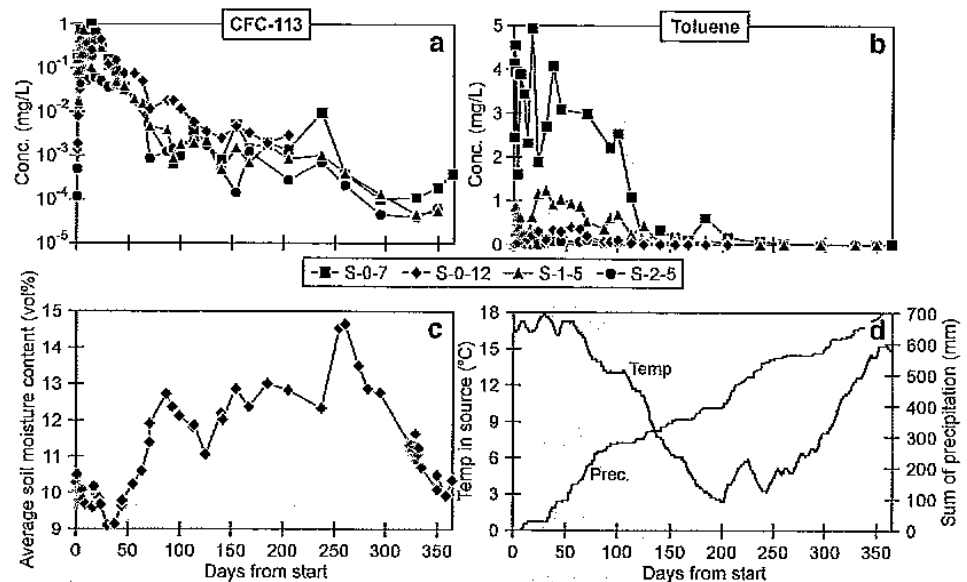
I feltforsøg med TCE /Conant et al., 1996/ er der udført et vinterforsøg og et sommerforsøg med jordtemperatur i kildedybde på 3-5 °C hhv. 20-23 °C. Koncentrationsniveauet i kilden var ca. 2,5 gange højere om sommeren end om vinteren. Dog i ca. 2 meters og i ca. 5 meters afstand var koncentrationsniveauerne efter ca. 3 uger (forholdsvis stabil udbredelse) en størrelsesorden hhv. 1,5-2 størrelsesordener højere om sommeren end om vinteren. Resultaterne er illustreret for dag 18 i figur 1.5. Årstidsvariationer i

temperatur kan altså give størrelsesordener i forskel i koncentrationer udenfor kilden.



Figur 1.4: Temperaturprofiler og TCE koncentrationsprofiler (logaritmen til koncentrationen angivet på kurver) for vinter hhv. sommerforsøg fra /Conant et al., 1996/.

I GRACOS projektet /Christophersen et al., 2005/ som forløb over et helt år, faldt koncentrationen af en tilsat tracer, en freon som ikke nedbrydes, generelt over tid på grund af ændring af molfraktionen i kilden, efterhånden som den fordampede. Alligevel sås 1-2 størrelsesordeners fald/stigning i koncentrationer i udvalgte punkter udenfor men nær kilden ved 3-5 °C fald/stigning i jordtemperatur indenfor ca. 1 måned (dag 200-225), jf. figur 1.5. Her sås dog også stigning i nedbør og dermed jordfugtighed samtidig med faldet i temperatur, hvilket kan være medvirkende til koncentrationsfaldet.

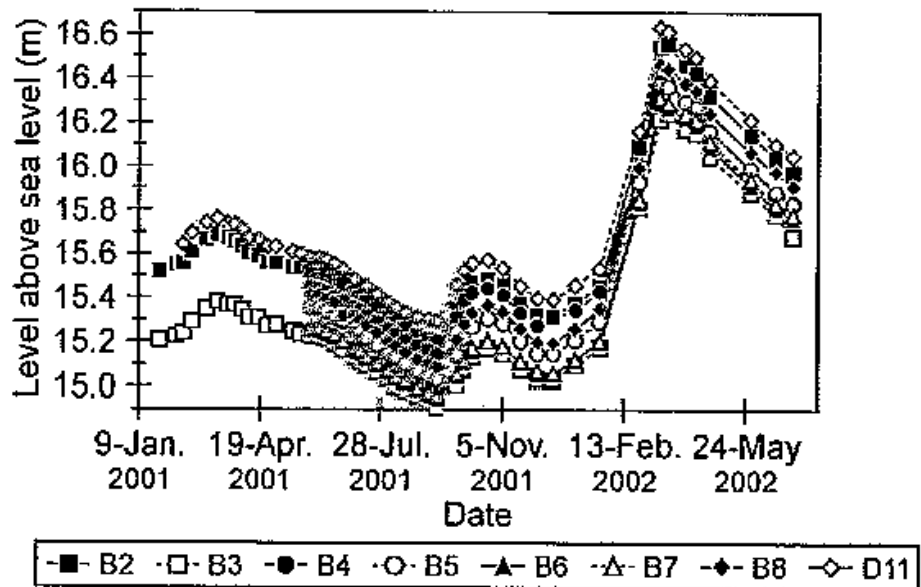


Figur 1.5: Udvikling i CFC- og toluenkonzentrationer i udvalgte punkter og nedbør samt vandindhold og temperatur i jorden i dybde svarende til midten af kilden fra GRACOS projektet /Christophersen et al., 2005/. Perioden er 3. juli 2001 til 3. juli 2002.

Nedbørshændelser fører til infiltration af vand i umættet zone og dermed til nedsivende front med højere vandindhold, specielt større nedbørshændelser eller afsmeltning af sne, se figur 1.5 og 1.6. I perioden 40-70 dage (september-oktober mdr.) fra start kom en del nedbør efter en tør periode, og der observeres øget vandindhold i dybde svarende til kilden og vandstandsstigning. Omkring dag 220 (februar-marts) skete en afsmeltning af sne med samme resultat. Fasefordeling fra poreluft til vandfase medfører en udvaskning af stof og dermed fald i koncentrationen i poreluften. Ved tilstedeværelse af NAPL i kildeområdet reableres koncentrationsniveauet ret hurtigt, mens det vil tage lidt tid før koncentrationerne i større afstand fra kildeområdet er reableret.

For opløst/sorberet forurening (ingen NAPL fase) kan det tage længere tid som følge af langsom desorption og evt. matrixdiffusion. Der observeredes kun begrænset fald i koncentration af toluen (< 1 størrelsesorden) i en periode med forholdsvis megen nedbør (dag 40-70) på GRACOS projektet /Christophersen et al., 2005/. Det skal her bemærkes, at der ikke var infiltration gennem selve kildeområdet. Da infiltrationen fra senere nedbørshændelser og afsmeltning af sne i GRACOS projektet typisk var sammenfaldende med temperaturfald kan effekterne ikke adskilles.

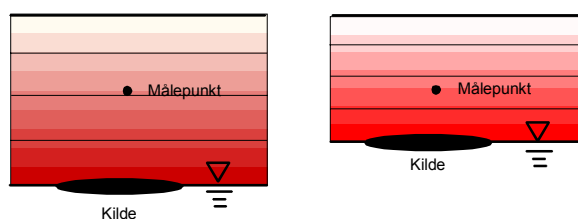
I et efterfølgende studenterprojekt /Frier et al., 2003/ med en kilde af TCE og toluen på GRACOS lokaliteten, resulterede pludselig afsmeltning af sne fulgt af frostperiode i et betydeligt (ca. 1 størrelsesorden) og ret langvarigt fald i koncentrationerne af TCE og toluen i de overfladenære målepunkter samt i et fald i flux til atmosfæren (> 1 størrelsesorden). Sammenpresningen af poreluft forårsaget af nedsivning af vand fra afsmeltningen resulterer i at forureningens horisontale udbredelse steg kraftigt fra afgrænsning omkring 2 m fra kilden til omkring 4 m fra kilden og i en koncentrationsstigning på en størrelsesorden 2 m fra kilden.



Figur 1.6: Vandspejlskoter fra GRACOS projektet/Christoffersen et al., 2005/. Stigninger i august 2001 og februar 2002 svarer tidsmæssigt til stigninger i vandindhold i figur 3.2 dag 40-70 hhv. omkring dag 250. Den første periode var regnfuld mens den sidste periode var en følge af sneafsmeltning.

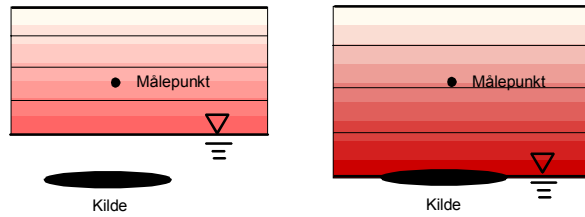
Vandspejlsvariation observeres som årstidsvariation, jf. figur 1.6. De mest markante stigninger i vandspejl (øvre) observeres efter afsmeltning af sne og voldsomme eller langvarige/gentagne regnhændelser. Fald i vandstand sker derimod forholdsvis langsomt efter en markant stigning og i særligt tørre perioder (ingen eller meget begrænset nedbør).

I situationer med LNAPL på vandspejlet vil en stigning i vandstanden føre til stigende koncentration i målepunkter i umættet zone, idet afstanden til forureningskilden reduceres, figur 1.7.



Figur 1.7 Koncentration i poreluften som funktion af varierende vandspejl ved LNAPL.

Ved (D)NAPL under normal vandspejlet vil aftagende vandstand føre til eksponering af poreluften til NAPL og dermed stigende koncentration i poreluften i perioden med lavt vandspejl, figur 1.8.



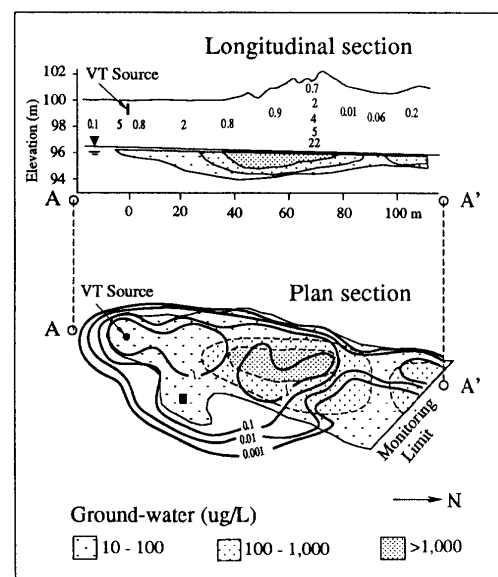
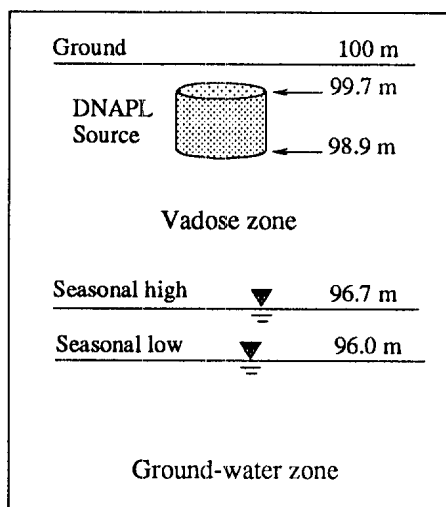
Figur 1.8 Koncentration i poreluften som funktion af varierende vandspejl ved blotlægning af residual fri fase.

Ved en grundvandsbåren forurening kan sidstnævnte effekt også opstå ved eksponering af poreluft til forurenede porevand ved faldende vandspejl. I tilfælde, hvor kilden er beliggende i umættet zone, kan stigende vandspejl presse forurenede poreluft opad, hvilket evt. kan føre til kortvarig koncentrationsstigning nær terrænet. Vandspejlsfluktuationer forventes at kunne føre til variation på størrelsesordener ved forurening på/under vandspejlet.

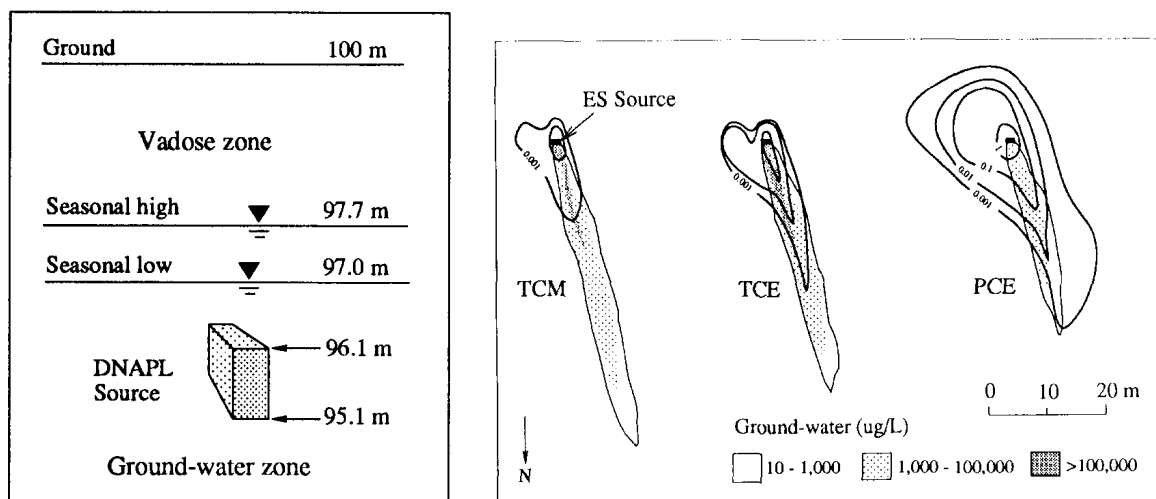
Ændringer i barometertryk fører til ændring i trykdifferensen mellem jorden og atmosfæren, hvilket fører til advektivt gasflow. Retning og effekt afhænger af befæstning/bygninger og heterogenitet i jordlagenes permeabilitet. Effekten på koncentrationerne er typisk faktor 2-3 for sandjorde og ikke størrelsesordener (Nielsen, S., 2007). Umiddelbart forventes effekten således begrænset.

Selvom poreluftundersøgelsen af (Rivett, M., 1995) ikke direkte beskriver rumlig eller tidlig variation, er der nogle observationer, som er væsentlige for opstilling af konceptuelle modeller for forskellige typer af forurening og for vurdering af poreluftkoncentrationer. Figurer som illustrerer kildernes beliggenhed og poreluft og grundvandskoncentrationer på forsøgsområderne er gengivet i figur 1.9 og 1.10.

(b) VT Site DNAPL Source

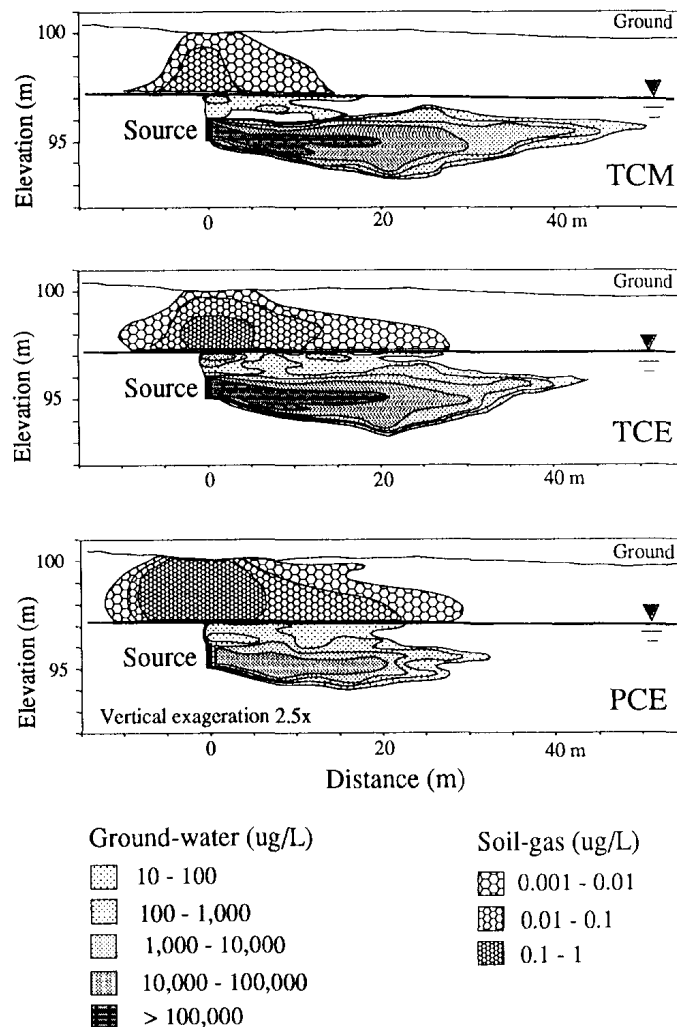


(a) ES Site DNAPL Source



Figur 1.9 Grundvands- og poreluft påvirkning fra tidligere residual fri fase TCE kilde i umættet zone (bortgravet 400 dage før monitoringsrunden) fra /Rivett, M., 1995/.

Poreluftkoncentrationerne i den umættede zone, hvor der tidligere var en residual kilde /Conant et al., 1996/ tilstede i 90 dage og bortgravet 400 dage før poreluftundersøgelsens udførelse, viser stadig tydelig påvirkning omkring den tidligere kilde, om end koncentrationerne er 4-5 størrelsesordener lavere. Der er en tydelig længere udbredelse i nedstrøms retning – et aftryk af den daværende udbredelse i grundvand. Det er bemærkelsesværdigt at aftrykket i poreluften varer så længe efter kilden er fjernet. Der ses yderligere et område med højere koncentrationer over forureningsfanen i grundvandets maksimale koncentration ved poreluftundersøgelsen ca. 50 m nedstrøms det oprindelige kildeområde. Dette viser, hvordan opløst forurening i den kapillære zone og det allerøverste grundvand påvirker poreluften.



Figur 1.10 Poreluft og porevandspåvirkning på forsøgsområde med kilde placeret under laveste vandspejl. Ved indbygning af kilden blev lidt materiale spildt på udgravningens sider over vandspejlet, hvilket har resulteret i en poreluftpåvirkning centreret omkring blandeområdet og kilden domineret af PCE.

Poreluftkoncentrationerne i den umættede zone over kilden placeret under vandspejlet er meget lave (5-6 størrelsesordener lavere for TCE end de oprindelig var ved kilden i umættet zone). Disse består overvejende af PCE og vurderes at stamme fra mindre spild i umættet zone i udgravningen under indbygningen af kilden under vandspejlet. Det ses tydeligt, at den koncentrerede fane under vandspejlet ikke giver anledning til væsentlig påvirkning af poreluften. Dette skyldes at diffusion i vandfasen er meget langsom sammenholdt med diffusion i poreluft.

1.3 Referencer

- /1/ Christophersen, M., Broholm, M.M., Mosbæk, H., Karapanagioti, H.K., Burganos, V.N., og Kjeldsen, P., 2005. Transport of hydrocarbons from an emplaced fuel source experiment in the vadose zone at Airbase Værløse, Denmark. *J. Contam. Hydrol.*, 81, 1-33.
- /2/ Conant, B.H., Gillham, R.W., og Mendoza, C.A., 1996. Vapor transport of trichloroethylene in the unsaturated zone: Field and numerical modeling investigations. *Water Resour. Res.*, 32(1), 9-22.
- /3/ Frier, B., og Rasmussen, S.F., 2003. Undersøgelse af flygtige stoffers emission fra den umættede zone under dynamiske forhold. Eksamensprojekt ved Miljø & Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet.
- /4/ Nielsen, S., 2007. Stoftransport i umættet zone. Matematisk modellering af transport af TCE i den umættede zone under et befæstet areal. Eksamensprojekt ved Miljø & Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet.
- /5/ Tuxen, N., Troldborg, M., Binning, P.G., Kjeldsen, P., og Bjerg, P.L., 2006. Risikovurdering af punktkilder. Notat 1. Miljø & Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet og Region Hovedstaden.
www.sara.env.dtu.dk
- /6/ Rivett, M. 1995. Soil-gas signatures from volatile chlorinated solvents. Borden field experiments. *Ground Water*, 33 (1), 84-98

1 Resumé og datablad, Fredericiagade

1.1 Historik og undersøgelser

Fredericiagade 13 ligger i den vestlige del af Aalborg centrum, der er et ældre byområde, som primært anvendes til bolig og i mindre grad liberalt erhverv.

På grunden har der i perioden 1897 til 1985 været renseri, hvor der bl.a. er anvendt terpentiner og TCE indtil 1954 og herefter primært PCE som rensesvæske. Sidst i driftsperioden er der årligt anvendt ca. 56 tons PCE.

I forbindelse med opførelse af boligbyggeri blev der truffet forurening med chlorerede opløsningsmidler. Efterfølgende blev der i 1988 afgravet ca. 1.200 tons stærkt forurenede jord (PCE > 10 mg/kg) indeholdende ca. 600 kg PCE og 2.900 tons svagt forurenede jord ned til grundvandsspejlet. Efter afgravning blev der opfyldt med sand og opført bolig oven på udgravningsområdet.

Der blev efterladt forurening i grundvandet herunder fri fase, som er forsøgt oprenset. I perioden 1988 til 1992 (29. april 1992) er grundvand oppumpet ved anvendelse af sugespidsanlæg (i alt ca. 2.200 kg PCE oprenset) og 1993 (16. februar 1993) til 1996 (3. oktober 1996) ved oppumpning fra én filtersat boring i kildeområdet. Der er i alt oppumpet ca. 2,9 tons PCE.

I alt er der ved de udførte afværgeforanstaltninger fjernet ca. 3,5 tons PCE.

Afværgeoppumpningen er stoppet i oktober 1996 med henblik på at nedbringe påvirkningen af indeklimaet i boligerne på Fredericiagade 13. Efterfølgende er der udført monitorering i grundvand, poreluft samt indeluft. I 2003/2004 er der udført supplerende boringer, poreluft m.m. på Fredericiagade 13 og naboejendomme.

I forbindelse med poreluftprojektet i 2006 er der udført en række undersøgelser på lokaliteten ved bl.a. etablering af faste målestationer for måling i poreluften, under gulv og i indeluft. Første målerunder (november 2003) er sammenfaldende med målerunder foretaget i forbindelse med monitorering på Fredericiagade 13 og naboejendomme af Region Nordjylland.

1.2 Geologi/hydrogeologi

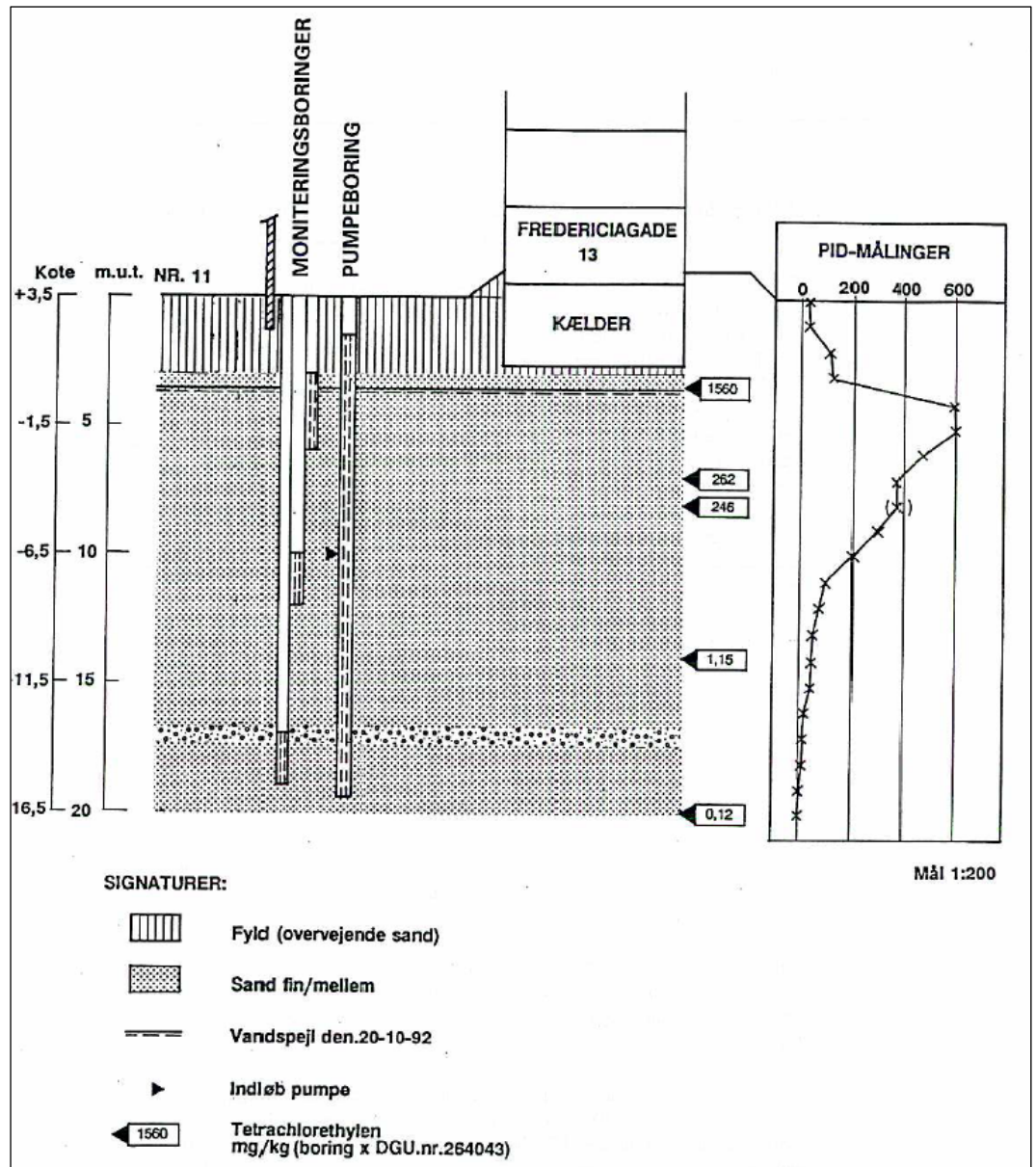
Terrænet er oprindeligt beliggende omkring kote +3 m DVR90 og hævet til omkring kote +3,5 m DVR90 i forbindelse med byggeriet.

Geologien består øverst af ca. 3 m fyld, heraf øverst 0,1-0,25 m let sandmuld og ca. 3 m velsorteret fyldsand, som er indbygget i forbindelse med tidligere afgravning af jordforurening på lokaliteten. Fyldsandet består af

mellemkornet sand med vekslende indhold af mindre sten. Fra 2-2,25 m u.t. er fyldsandet mere stenet.

Under fyldsandet træffes intakte aflejringer af marint postglaciale sand, som er fint til mellemkornet til ca. 20 m u.t. Omkring 17 m u.t. findes lag på ca. 0,5 m af sten og grus.

Grundvandsspejlet er frit og er beliggende ca. 3 m u.t. Strømningsretningen er rettet mod nord mod Limfjorden. Geologien på ejendommen og indhold i jordprøver af PCE under grundvandsspejl i pumpeboring er vist i nedenstående figur 1.1.



Figur 1.1 Geologi på Fredericiagade 13 og indhold af PCE i jord i pumpeboring

1.3 Forureningssituation

Ved den indledende undersøgelse i 1987, før etablering af afværgeforanstaltning er der i jorden fundet indhold af PCE op til 1.768

mg/kg og op til 78.500 µg/l i grundvandet. Forureningen var hovedsagelig lokaliseret på grundens østlige del ind mod Fredericiagade 11.

Den primære forureningskomponent på ejendommen er PCE. De øvrige chlorerede opløsningsmidler udgør typisk under 5 % af forureningen i både poreluft, jord og grundvand.

1.3.1 Jordforurening

Jordprøver udtaget i 2004 viste indhold af PCE op til 29 mg/kg TS på Fredericiagade 13. På naboejendommen lå indholdet generelt under 0,5 mg/kg. Der er set et uændret forureningsniveau under oppumpningen, hvilket indikerer, at PCE udvaskes fra en betragtelig pulje af fri eller residual fri fase af PCE. Det er på denne baggrund vurderet, at der i kildeområdet i 2004 findes fri fase af PCE, i størrelsesorden 7.000-25.000 kg PCE.

1.3.2 Forurening i grundvand

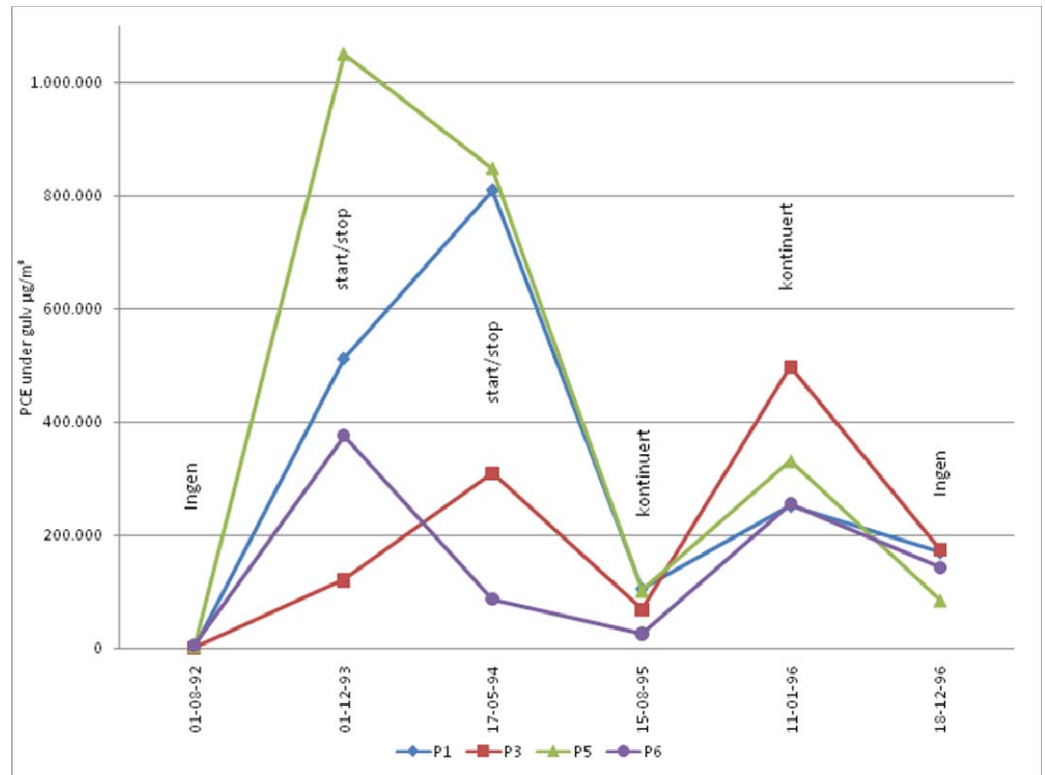
Analyseresultater fra pumpeboringen fra 1993-1996 viste, at indholdet af PCE varierede mellem 6.000 og 21.000 µg/l med markante udsving omkring et generelt indhold på 10.000-12.000 µg/l. Bortset fra et fald i starten af afværgeoppumpningen er der ikke observeret et signifikant fald i indholdet i grundvandet.

I monitoringsboring på Fredericiagade 13 er der i filter placeret 3-6 m u.t. i 2002 påvist indhold på 14.000 µg/l. I dybereliggende filtre i samme boring er indholdet væsentligt lavere (<190 µg/l). Ved prøvetagning i november 2003 og april 2004, udtaget samtidig med poreluftmålinger, er der påvist indhold af PCE i pumpe-/monitoringsboringen på hhv. 18.000 og 26.000 µg/l. I boring beliggende 10 m nord for afværgeboringen er der i 2004 påvist indhold på 110.000 og 210.000 µg/l (filtersat 2,5-4,5 m u.t.). Forureningen i grundvandet spredes mod nord mod Limfjorden.

1.3.3 Forurening i poreluft og indeluft

Poreluftprøver i umættet zone er generelt udført i dybden 1,2-2,9 m u.t. og således udført i fyldsandet i det afgravede område eller i postglacialt sand udenfor det afgravede område.

I det kapillærbrydende lag under kældergulvet blev der i perioden 1992 til 1996 under afværgeoppumpningen observeret store variationer af PCE. I 1992 blev der efter længerevarende standsning af oppumpningen (3-4 måneder) påvist indhold af PCE i det kapillærbrydende lag under bygningerne på 736-5.220 µg/m³. Indhold af PCE i det kapillærbrydende lag (P1, P3, P5 og P6) under Fredericiagade 13 for perioden 1992 til 1996 er vist i figur 1.2.



Figur 1.2 PCE i det kapillarbrydende lag under gulv i P1, P3, P og, P6 under afvæргеoppumpning.

Under afvæргеoppumpningen med en start/stop drift varerede indholdet under gulv af Fredericiagade 13 mellem 85.850 og 1.050.000 µg/m³. Under kontinuert oppumpning varerede indholdet af PCE mellem 25.100 og 497.000 µg/m³. Indholdet varerede således betydeligt afhængig af driftsstrategien (start/stop eller kontinuert), jf. figur 1.2.

Syd for Fredericiagade 13 blev der i december 1996 i poreluften påvist indhold af PCE på 57-106 µg/m³.

Umiddelbart efter stop af afvæргеoppumpningen blev der observeret et betydeligt fald i PCE i det kapillarbrydende lag, mens der efterfølgende i 1999 blev der påvist indhold under 1.000 µg/m³. I 2002 blev der påvist indhold på 43.000-120.000 µg/m³.

Indhold af PCE i indeluften i kælderen viste et indhold på 82 µg/m³ i 1993. I perioden 1993 til 1996 blev der målt indhold op til 6.260 µg/m³. Efter stop af afvæргеoppumpningen blev der observeret et faldende indhold med et indhold af PCE i 1999 på 20 µg/m³ og 390 µg/m³ i 2002.

De høje indhold i poreluften under afvæргеoppumpningen frem til 1996 skyldes sandsynligvis, at kraftig jordforurening, evt. fri fase, er frilagt, og derfor har kunnet afdampe til poreluften. Efter 1996, hvor afvæргеoppumpning er stoppet, er den væsentligste kilde til poreluftforureningen afdampning fra grundvandsforureningen.

I poreluften er der i 2003/2004 påvist indhold af PCE op til over 270.000 µg/m³. Højeste indhold er påvist på den østlige del af grunden. Forureningen i poreluften er spredt til naboejendommen især mod øst, nord og vest og i mindre grad mod syd.

1.4 VARIATIONEN I PORELUFTENS FORURENINGSINDHOLD

Poreluftkoncentrationerne er meget varierende over perioden indtil 1996 pga. den gennemførte afværgeoppumpning, jf. figur 1.2.

1.4.1 Rumlig variation

Målinger på Fredericiagade 13 og naboejendommen i 2003/2004 viser, at indholdet af PCE varierer rumligt i poreluften på 2-3 størrelsesordener fra indholdet på Fredericiagade 13 til naboejendomme med lave indhold (PCE < 100 µg/m³).

I kildeområdet ses en rumlig variation på 1 størrelsesorden. Rumlig variation er vist på vedlagte situationsplan, hvor målinger fra 2003 og 2004 indgår.

Poreluftindholdet varierer en halv størrelsesorden pr. 10 m afstand til kilden mod nord og vest og 1 størrelsesorden pr. 10 m mod syd og øst.

Nord for Fredericiagade ses en variation på 1-2 størrelsesorden over 10 m i samme afstand fra kildeområdet.

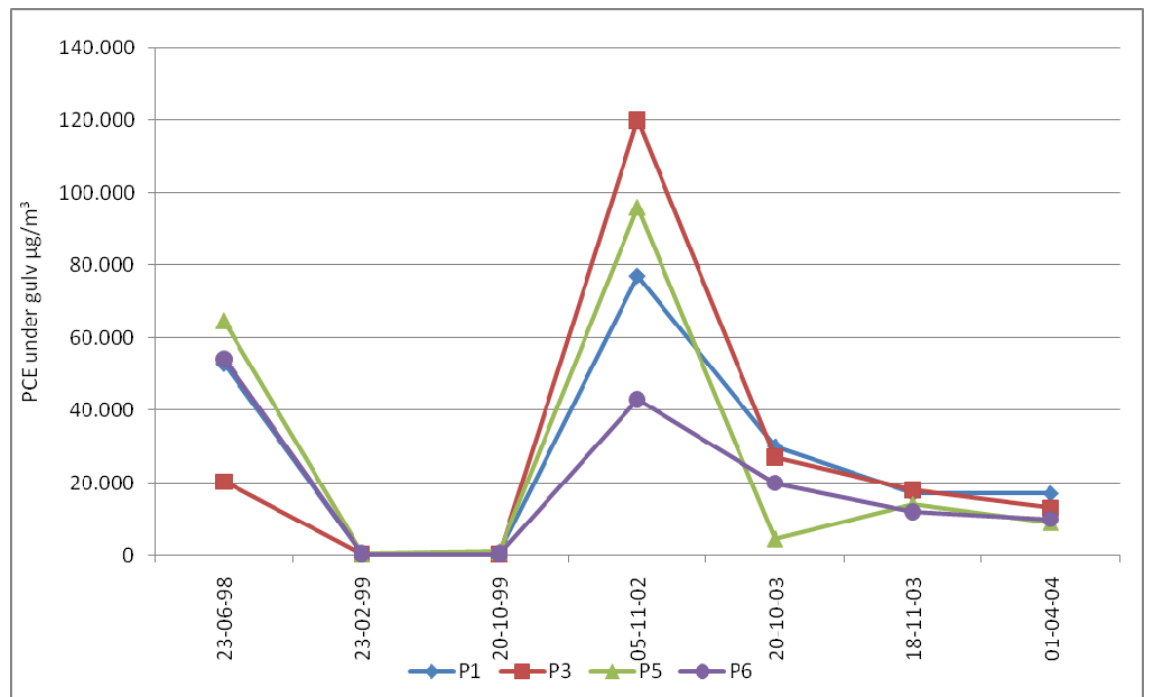
Under gulv er variationen generelt en faktor 2.

1.4.1.1 Rumlig variation i poreluftprojektet

Koncentrationsforskellen mellem de 5 poreluftsonder udendørs varierer rumligt typisk med en faktor 3-4 mellem højeste og laveste værdi (sonder placeret i et kvadrat på 4·4 m og en centralt placeret sonde).

1.4.2 Tidslig variation

På Fredericiagade 13 viser poreluftmålinger efter stop af afværgeoppumpningen stor variation. I 5 målerunder (P1, P3, P5 og P6) varierer indholdet af PCE i det enkelte punkt med en faktor 200 til 1.000 dvs. en størrelsesorden 2 til 3. Indhold i disse poreluftpunkter under gulv fremgår af figur 1.3. Inden for et enkelt år er variationen på faktorniveau i måleperioden 2003-2004.



Figur 1.3 Indhold af PCE i P1, P3, P5 og P6 på Fredericiagade 13

Laveste indhold træffes februar og oktober 1999, som ligger markant lavere end andre målerunder. Et af de højeste indhold træffes som forventet i målerunde foretaget i december 1996, dvs. kun 2½ måned efter stop af afværggeoppumpningen.

I 3 målerunder foretaget oktober og november 2003 og april 2004 varierer indholdet indenfor en faktor 2-3, dvs. der ses en væsentlig lavere variation. Indholdet ligger her i den lave ende af koncentrationsintervallet observeret ved tidligere målerunder.

For to målerunder foretaget i oktober og november 2003 både på Fredericiagade 13 og naboejendomme varierer indholdet af PCE meget lidt, generelt under en faktor 2.

Der er ikke observeret en sammenhæng mellem høje og lave indhold af PCE i poreluften samt lavtryks- og højtrykspassager og nedbør.

1.4.2.1 Tidslig variation i poreluftprojektet

I de 5 udendørs poreluftsonderinger varierer indholdet af PCE tidsligt med op til en faktor 2 ved 3 målerunder udført november 2003, februar og august 2004. De højeste indhold er fundet i første målerunde om efteråret (november 2003), bortset fra en enkelt sonde, hvor højeste indhold er påvist om sommeren. Lavest indhold er påvist om vinteren (februar 2004). Grundvandspotentialet var lavest i november 2003 og højest i marts 2004. Der er observeret en potentialeforskel på ca. 30 cm.

Resultater fra kontinuert måling i poreluftsonderingerne over 2-3 uger viser, at tidsligt varierer indholdet af PCE relativt lidt, typisk på 10-20 %.

I forbindelse med poreluftmålinger er differenstrykket (trykforskel mellem poreluften og udeluften) målt. For 1. og 2. målerunde ses meget store

differenstryk, som hyppigt, men ikke altid modsvarer ændringerne i barometertrykket. I målerunde 1 er der generelt observeret en sammenhæng mellem barometertrykket og differenstryk. I 2. målerunde er der observeret et væsentligt differenstryk, op til ± 2.000 Pa, samme størrelsesorden for ændring i barometertrykket. De høje differenstryk er vurderet at skyldes, at topjorden (muldlaget) har været vandmættet, og derfor har virket som en impermeabel barriere mellem atmosfæren og poreluften. I 3. målerunde er differenstrykket markant lavere end de to første målerunder, op til ± 10 Pa. Der er ikke observeret en tydelig sammenhæng med barometertrykket.

Temperaturen har været konstant indenfor de enkelte målerunder. Temperaturen har i jorden ligget på ca. 10 °C i efteråret og vinteren mens temperaturen har ligget på $15-16$ °C i sommermålingen. Under gulv har temperaturen i højere grad fulgt den udendørs temperatur. I målerunde 1, 2 og 3 var temperaturen hhv. 14 , ca. 5 og 18 °C.

Det højeste vandindhold i jorden er fundet i målerunde 2 (februar 2004), mens det laveste vandindhold er observeret i 1. målerunde (november 2003). At det laveste vandindhold i jorden ikke træffes om sommeren skyldes formodentlig, at der faldt meget nedbør i sommeren 2004.

De fundne indhold af PCE i udendørs poreluftsonderinger i poreluftprojektet er i samme størrelsesorden som målt i undersøgelserne og monitoringen på Fredericiagade 13.

1.4.2.2 Variation under gulv i poreluftprojektet

Under gulv er der ved 3 målerunder i 2003/2004 påvist indhold af PCE på $23.000-73.000$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$. I den enkelte målerunde er der observeret nogenlunde ens forureningsniveau i de 5 målepunkter i det kapillarbrydende lag. Der ses således ikke en horisontal forskel i koncentrationsniveau.

Højeste indhold er påvist i målerunde 1 i efteråret (november 2003). Koncentrationsniveau i 2. og 3. målerunde er rimeligt ens, dog er indholdet i målerunde 2 lidt lavere. Variationen mellem de tre målerunder for den enkelte sonde er typisk væsentligt mindre end $40-50$ %.

Måling under gulv er ca. en faktor $4-5$ lavere i de enkelte målerunder end de højeste påviste koncentrationer i de udendørs poreluftsonderinger.

Indholdet målt under gulv i november 2003 i poreluftprojektet er på samme niveau som målt i november 2002 i forbindelse med monitoringen.

Lokalitet		Geologi / hydrogeologi		Forurening	
Lokalitet:	Fredericiagade 13, Aalborg	Befæstelse:	Ubefæstet	Forurennet areal (m ²):	6000
Aktivitet navn:	Renseeri	Umættet zone:	Fyldsand/ marint sand	Areal af hotspot (m ²):	150
Kortlægningsstatus	V2	Øverste grundvandsspejl (m u.t.):	3 m u.t.	Information om NAPL:	NAPL i hotspot
Driftsperiode:	1897-1985				
Forureningskomponenter:	PCE				
Info om årligt forbrug:	56 tons pr. år sidst i driftperioden				
Info om årlig bortskaffelse:	?				
Undersøgelingsomfang og koncentrationsniveau, jord og grundvand					
65 jordprøver i 1987 på Fredericiagade 13	op til 1.768 mg/kg				
4 jordprøver i 2004 på Fredericiagade 13	0,045-29 mg/kg				
14 jordprøver i 2004 på naboejendomme	0,0031-0,73 mg/kg				
19 vandprøver på Fredericiagade 13 i 1987	50-78.500 µg/l				
14 vandprøver 1996-2004 på Fredericiagade 13	0-210.000 µg/l				
15 vandprøver i 2004 på naboejendomme	3-10.300 µg/l				
Undersøgelingsomfang og koncentrationsniveau, poreluft					
Målerunder	Antal punkter	Koncentrationsniveau	Oppumpning	Meteorologiske data	
aug-92	5	49-5.220 µg/m ³	ingen		
dec-93	5	8.320-1.050.000 µg/m ³	start/stop		
17-05-1994	5	8.400-848.000 µg/m ³	start/stop		
15-08-1995	4	25.100-105.000 µg/m ³	kontinuert		
11-01-1996	4	251.000-497.000 µg/m ³	kontinuert		
18-12-1996	4	83.800-174.000 µg/m ³	ingen		
18-12-1996	4	57-110 µg/m ³	ingen		
23-06-1998	4	20.200-64.700 µg/m ³	ingen		
23-02-1999	4	190-444 µg/m ³	ingen		
20-10-1999	4	167-1.019 µg/m ³	ingen		
05-11-2002	4	43.000-120.000 µg/m ³	ingen		
20-30/10-03	51	3->270.000 µg/m ³	ingen		
12-21/11-03	21	2-390.000 µg/m ³	ingen		
31/3-2/4 2004	19	20-300.000 µg/m ³	ingen		
14-16/4 2004	24	2-7.500 µg/m ³	ingen		
3-5/5 2004	9	2-20.000 µg/m ³	ingen		
13-16/12 2004	16	1-23.000 µg/m ³	ingen		
20-23/12 2004	9	5-1.200 µg/m ³	ingen		
<p>Variationer i poreluften</p> <p>Rumlige variationer:</p> <p>2-3 størrelsesordener indenfor 50 m fra kildeområde til naboejendomme</p> <p>1 størrelsesorden indenfor 10 fra kildeområdet</p> <p>Faktor 3-4 mellem 5 sonder i felt på 4 m i poreluftprojektet</p> <p>Størrelsesordener 2-3 under gulv af Fredericiagade 13</p> <p>Faktor 2-3 i 3 målerunder i oktober og november 2003 samt april 2004</p> <p>Faktor 2 i 3 målerunder i november 2003 samt februar og august 2004</p> <p>Tidslige variationer:</p> <p>30 mm indenfor sidste 2 dage</p> <p>15 mm indenfor sidste 5 dage</p> <p>< 5 mm indenfor sidste 5 dage</p> <p>< 1 mm indenfor sidste 5 dage</p> <p>< 5 mm indenfor sidste 5 dage</p> <p>Stigende nedbr højtrykspassage og lavtrykspassage</p> <p>< 5 mm indenfor sidste 5 dage</p> <p>0 mm indenfor sidste 5 dage</p> <p>25 mm på sidste måledag</p> <p>< 5 mm indenfor sidste 5 dage</p> <p>5-15 mm indenfor sidste 5 dage, stigende i måleperioden</p>					



- SENAPLUR**
- Porefuldsomte under gulv, eksisterende (MP)
 - Porefuldsomte under gulv, efteråret 2003
 - Porefuldsomte under gulv, 2004
 - Porefuldsomte under gulv, efteråret 2004
 - ▲ Porefuldsomte, eksisterende (PL)
 - ▲ Porefuldsomte, efteråret 2003
 - ▲ Porefuldsomte, foråret 2004
 - ▲ Porefuldsomte, efteråret 2004
 - ▲ Koncentration af TeCC µg/m³
 - ▲ Koncentration af benzen µg/m³
 - ▲ Koncentration af vinylchlorid µg/m³
 - ▲ 100 x afløpsningskriteriet: 600 µg/m³
 - ▲ 1000 x afløpsningskriteriet: 6000 µg/m³
- MA 1:500 Sag nr. 03.210.03 8. februar 2005

Bilag 6.1
Aalborg Kommune
Fredericiagade, Aalborg
FORURENINGSTILSTAND – poreluft

NIRÅS Rødgvejende ingeniører og plantegere A/S
 Vestre Havnemølle 5, DK-9800 Aalborg, Tlf. 833 6400

2 Resumé og datablad, Dalumvej

2.1 Historik og undersøgelser

Der har været renseri på ejendommen fra 1955. Renseriet er stadig i drift. Der har været anvendt PCE og freon 113 som rensesvæske. Fyns Amt gennemførte de første undersøgelser af renseriet i 1992. Der er siden foretaget flere undersøgelser samt foretaget afværgeforanstaltninger på ejendommen og naboejendomme.

Der er ved de gennemførte undersøgelser påvist to kildeområder, dels under og umiddelbart øst for renseribygningen, benævnt kildeområde 1 og dels ved kloakbrønd i området mellem boligen og renseriet, benævnt kildeområde 2.

Forureningen i kildeområdet under og øst for renseriet er primært undersøgt fra 1992 til 2001. Kilden til forureningen vurderes primært at skyldes udsivning fra utætheder i en del af kloaksystemet, der tidligere har modtaget spildevand fra renseriet samt spild ved rensesmaskine og ved oplag øst for renseribygningen.

På baggrund af de udførte undersøgelser blev der i efteråret 2002 udført en delvis oprensning af forureningen ved bortgravning af forurenede jord og kemisk oxidation ved tilsætning af kaliumpermanganat til indbygningsmaterialerne. Efterfølgende er der udført monitoring indtil 2007.

I forbindelse med denne monitoring blev der observeret en hidtil overset forurening/kildeområde ved en tidligere spildevandsbrønd i området mellem boligen og renseriet. Dette kildeområde er undersøgt fra 2003 og frem. I 2006 er der foretaget afværgeforanstaltninger i form af opboring af forurenede jord ved spildevandsbrønd, opgravning af forurenede jord og etablering af ventilationssystem under boligen.

2.2 Geologi/hydrogeologi

Terræn er beliggende omkring kote + 15 m DVR90. Terrænet faldet i nordøstlig retning mod Odense Å.

På Dalumvej 34B og omkringliggende grunde er der øverst truffet 0,3 – 1,9 m fyld/muld. Fyldlagene består hovedsageligt af sand og ler.

Under fyldlaget er truffet moræneler med et varierende indhold af silt og sand. Sandindslagene i moræneleret findes dels som små isolerede sandlinser og dels som tynde sandstriber/sandlag af varierende tykkelse, hvoraf en del er vandførende. Flere af sandlagene vurderes at have en vis horisontal udbredelse. Moræneleret er oxideret indtil ca. 5 m u.t., hvorefter den er reduceret.

Der er i dybere borer i moræneleret truffet flere sandlag på ca. 0,5-1 meters tykkelse.

Grundvandet i de terrænnære sandlag/sandstriber er spændt. Grundvands-potentialet på Dalumvej 34 findes omkring kote +12 til kote +13,5 m DVR90. Vandspejlet er beliggende mellem 2,0 m u.t. i perioder med højest grundvandsstand og ca. 2,9 m u.t. i perioder med lavest grundvandsstand. Der er en nedadrettet gradient fra det terrænnære grundvand til dybereliggende vandførende lag/magasiner.

Det terrænnære grundvand afdrænes i nordøstlige retning mod Odense Å.

2.3 Forureningssituation

Der er på Dalumvej 34B lokaliseret to kildeområder med forurening med chlorerede opløsningsmidler, hhv. under og umiddelbart øst for renseribygningen samt ved en tidligere kloakbrønd/sivebrønd i området mellem boligen og renseribygningen.

Forureningen udgøres langt overvejende af PCE i de to kildeområder. I enkelte målepunkter er der også målt betydelige indhold af TCE. Generelt udgør indholdet af nedbrydningsprodukter typisk under 1 %.

2.3.1 Kildeområde under/omkring renseriet, kildeområde 1

Umiddelbart under/omkring renserilokalet samt på arealet umiddelbart øst herfor er der påvist markant forhøjede indhold af chlorerede opløsningsmidler i poreluften, jord og grundvand.

2.3.1.1 Poreluft

Under renseriet er der påvist niveauer af PCE på op til 590.000 µg/m³, mens der øst herfor mod skel mod Lykkehåbs Allé 4 er påvist indhold op til 2.100.000 µg/m³. Højeste indhold af PCE er påvist i et område øst for renseribygningen. Høje indhold af PCE i poreluften, over 100.000 µg/m³ var stort set afgrænset til området under selve renseriet samt til området øst for renseriet, hvor der har været oplag af renseriaffald.

Udbredelsen af chlorerede opløsningsmidler i poreluften for målinger indtil 2001 fremgår af vedlagte situationsplan.

2.3.1.2 Jord

Under gulv af renseriet er der påvist indhold af PCE på op til 10 mg/kg TS. Øst for renseriet er der påvist indhold af PCE i jorden i koncentrationer op til 40-50 mg/kg TS i dybder mellem 4 og 8 m u.t. Der er i enkelte jordprøver i kildeområdet observeret svage indikationer på tilstedeværelse af residual fri fase af chlorerede opløsningsmidler ved udrykning med Sudan IV. Indhold af PCE i poreluft, jord og terrænnært grundvand indikerer, at PCE findes som residual fri fase i kildeområdet.

Vertikalt vurderes det, at forureningen strækker sig ca. 10 m u.t. i kildeområdet. Hovedparten af forureningen i kildeområdet befinder sig i moræneleret i den mættede zone.

2.3.1.3 Grundvand

I grundvandet er de højeste koncentrationer af PCE, 12.000 – 58.000 µg/l, påvist i kildeområdet. Højeste koncentrationer træffes omkring 4-7 m u.t. Omkring 11 m u.t. er der påvist indhold af PCE på 650 µg/l, og 9,2 µg/l omkring 13-15 m u.t. Der er ikke påvist indhold i 20-22 m u.t. Generelt vurderes, at den væsentligste del af grundvandsforureningen i kildeområdet befinder sig mellem grundvandsspejlet og ca. 10 m's dybde.

Forureningen er i sekundært terrænnært grundvand spredt i betydelig afstand nordøst for lokaliteten. I borer, der er udført i kanten af og nedstrøms kildeområdet, er der i grundvandet påvist indhold af PCE på op til 7.000 µg/l.

Længere nedstrøms bliver fanen sammenhængende med forureningsfanen fra Dalumvej 28, jf. vedlagte situationsplan. I forureningsfanen ca. 100 m nedstrøms kildeområdet er der målt PCE i en koncentration på 2.600 µg/l. Det er usikkert, hvorvidt dette indhold stammer fra forureningen på Dalumvej 34B eller Dalumvej 28 eller en blanding af forureningsfanerne. Forureningsfanen i det terrænnære magasin fra Dalumvej 34B og fra Dalumvej 28 er vist på vedlagte situationsplan.

2.3.1.4 Spredning af poreluftforureningen

I nedstrøms retning er der i poreluften på naboejendomme på Lykkehåbs Allé og Lindevej målt indhold af PCE op til 260.000 µg/m³. De højeste koncentrationer er påvist over forureningsfanen i det terrænnære grundvand. Poreluftniveauet af PCE aftager dog tilsyneladende markant med afstanden fra centrum af grundvandsforureningsfanen. Således er PCE-koncentrationen ca. 100 µg/m³ ca. 20 m fra den centrale del af fanen.

Længere nedstrøms bliver fanen sammenhængende med en forureningsfane med PCE fra Dalumvej 28, hvorfor de påviste indhold på Lindvej mere sandsynligt stammer fra forureningen på Dalumvej 28, jf. vedlagte situationsplan.

På vestsiden af Lindevej er der påvist indhold af PCE på mellem 68 og 260.000 µg/m³, med højeste koncentrationer under Lindvej 29 og 31. På østsiden af Lindevej er der målt indhold af PCE op til 268 µg/m³. Indhold af PCE i poreluften er ved måling i 2001 i flere tilfælde lavere eller på niveau med indhold af PCE i indeluften i kældre.

Der er på naboejendomme til Dalumvej 34B i indeluften påvist indhold af TCE og PCE, op til hhv. 5,7 og 340 µg/m³. Generelt ligger indholdet af PCE på naboejendomme i indeluften dog lavt, under 10 µg/m³.

2.3.2 Kildeområde ved sydøstlige hjørne af beboelsen, kildeområde 2

Kildeområdet er lokaliseret umiddelbart omkring spildvandsbrønd. Under gulv af boligen er der i poreluften målt indhold af PCE på op til 2.100.000 µg/m³. Syd og øst for boligen er der påvist indhold af PCE op til 1.700.000 µg/m³. Højeste koncentrationer træffes omkring spildevandsbrønden og langs kloakledningen fra brønden.

I kildeområdet ved boligen er der i jorden påvist indhold af PCE op til 2.500 mg/kg TS i 3,5 m u.t., hvilket svarer til fri fase af chlorerede opløsningsmidler. I forbindelse med opboring af forurenede jord er der påvist indhold af PCE på op til 14.000 mg/kg TS. Højeste forureningskoncentrationer i jorden findes fra 2 til 7 m u.t.

I forbindelse med undersøgelse og monitorering er der i det terrænnære grundvand ved kildeområdet påvist indhold af PCE op til 87.000 µg/l omkring spildevandsbrønden. Forureningsfanen er ikke afgrænset ved de udførte undersøgelser.

I indeluften af boligen er der påvist indhold af PCE op til 150 µg/m³.

2.4 Variationen i poreluftens forureningsindhold

Poreluftmålingerne i umættet zone er generelt udført i dybden 0,7-1,8 m u.t. dvs. i fyldlag bestående af sand og/eller ler eller udført i moræneler.

2.4.1 Rumlig variation

Under gulv af renseribygningen og umiddelbart øst herfor er der i poreluften målt indhold af PCE op til 2.100.000 µg/m³. De høje indhold (> 100.000 µg/m³) er truffet under renseribygningen og umiddelbart øst herfor.

Indholdet af PCE reduceres med 1 størrelsesorden pr 10 m mod øst og syd og vest under bygning. Mod nord forekommer 1 størrelsesordens reduktion over 15-20 m.

Udbredelsen af forureningen i poreluften følger strømningsretningen i det terrænnære grundvand mod nordøst. Indholdet af PCE reduceres med 4 størrelsesordener, 50-80 m nedstrøms kildeområde 1. Poreluftforureningen er markant aftagende i retninger bort fra den centrale del af forureningsfanen i det terrænnære magasin til niveauer på <500 µg/m³.

Længere nedstrøms observeres igen høje indhold af PCE i poreluften, hvor forureningsfanerne fra Dalumvej 34B og Dalumvej 28 er sammenfaldende. Det er mest sandsynligt at PCE i poreluften på Lindevej stammer fra forureningsfanen fra Dalumvej 28.

I kildeområde 2 observeres en rumlig variation på 1-2 størrelsesorden over 5-10 m.

I de enkelte målerunder ses en mindre rumlig variation, under 1 størrelsesorden, mellem punkter som ligger tæt. Under gulv af renseribygningen er der således observeret indhold indenfor 1 størrelsesorden i to målerunder.

Under gulv af boligen er de højeste koncentrationer påvist i det sydøstlige hjørne tættest på kildeområdet. Koncentrationen falder under gulvet med større afstand til kilden i de enkelte målerunder.

2.4.2 Tidslig variation

Der er ikke foretaget gentagen måling i samme punkt. Tidslige variationer er derfor vurderet på baggrund af målinger udført med en lille afstand.

Under gulv af renseribygningen observeres samme indhold ved målerunder i juli 1994 og juni 1998 (210.000-590.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Tidligere målerunder i oktober 1992 viste et væsentligt lavere niveau, 2 størrelsesordener.

Indhold af PCE under gulv af boligen er væsentlig lavere i december 2004 end målinger udført i 2003. Indholdet i 2004 er på niveau med indholdet i 1999. Der er tale om en forskel på 2-3 størrelsesordener.

Tidsligt varierer målinger øst og syd for boligen 1 størrelsesorden mellem målinger udført i juni 2001 samt september-oktober 2003. Højeste indhold træffes i september-oktober 2003.

Lokalitet		Geologi / hydrogeologi		Forurening	
Lokalitet:	Dallumvej 34B, Odense	Befæstelse:	Befæstet omkring	Forureningsareal (m ²):	6000
Aktivitet navn:	Renseri	Umættet zone:	renseri, have ved bolig	Areal af hotspot (m ²):	150
Kortlægningsstatus	V2	Øverste grundvandsspejl (m u.t.):	0,3-1,9 m fyld i form af sand og ler, derunder ML	Information om NAPL:	Residual NAPL i de to kildeområder
Driftsperiode:	1955 - i drift		1,5-3 m u.t.		
Forureningskomponenter:	PCE				
Info om årligt forbrug:	?				
Info om årlig bortskaffelse:	?				
Undersøgelingsomfang og koncentrationsniveau, jord og grundvand					
37 jordprøver i kildeområde 1	0,067-49 mg/kg TS				
5 jordprøver udenfor kildeområde 1	0,0057-28 mg/kg TS				
7 vandprøver i kildeområde 1 i 3,5-7 m u.t.	430-58.000 µg/l	4-6 størrelsesordener indenfor 10 m fra kildeområde mod syd og vest			
2 vandprøver i kildeområde 1 i 11-15 m u.t.	9,2-650 µg/l	3-4 størrelsesordener indenfor 50-80 m fra kildeområdet i nedstrøms retning			
1 vandprøve i kildeområde 1 i 20-22 m u.t.	<0,003 µg/l	Rumlige variationer under 1 størrelsesorden mellem tætliggende punkter			
26 vandprøver i kildeområder 1, nedstrøms	<0,003-7.000 µg/l	Rumlige variationer på mindre end 1 størrelsesorden under gulv af rensertbygningen			
25 jordprøver i kildeområde 2	0,44-14.000 mg/kg TS	2 størrelsesordener under gulv af renseri mellem oktober 1992 og juli 1994/juni 1998			
23 jordprøver til afgrænsning af kildeområde 2	0,029-46 mg/kg TS	1 størrelsesorden i nedstrøms retning i juni 2000 og juli 2005			
16 vandprøver i kildeområde 2 i 2.004	3-82.000 µg/l	2-3 størrelsesordener under gulv af boligen mellem oktober 1999 /december 2004 og 2003			
5 vandprøver i juni 2005 i kildeområde 2	2.100-87.000 µg/l				
2 vandprøver i juli 2005 i kildeområde 2	<0,05 µg/l				
9 vandprøver i august 2005 i kildeområde 2	<0,02-10.000 µg/l				
Undersøgelingsomfang og koncentrationsniveau, poreluft					
Målerunder	Antal punkter		Meteorologiske data		
okt-92	3	1900-2100 µg/m ³			
04-07-1994	6	59000-590000 µg/m ³	ingen nedbør		
18-06-1998	3	210000-260000 µg/m ³	20 mm indenfor sidste 5 dage		
20-10-1998	1	8300 µg/m ³	0 mm indenfor sidste 5 dage		
8-9/11-1999	20	0,89-1400000 µg/m ³	10 mm indenfor sidste 5 dage		
14-06-2000	14	18400-2095000 µg/m ³	10 mm indenfor sidste 5 dage		
08-11-2000	6	0,4-16 µg/m ³	10 mm indenfor sidste 5 dage		
09-11-2000	11	1505-73.900 µg/m ³	10 mm indenfor sidste 5 dage		
19-06-2001	17	10-80410 µg/m ³	<5 mm indenfor sidste 5 dage		
25-09-2003	22	1400-2100000 µg/m ³	5 mm indenfor sidste 5 dage		
09-10-2003	5	110000-530000 µg/m ³			
16-11-2004	8	8,2-34.000 µg/m ³			
06-12-2004	1	2100 µg/m ³			
14-07-2005	19	4-54.000 µg/m ³			
04-07-2006	9	0,5-110 µg/m ³			

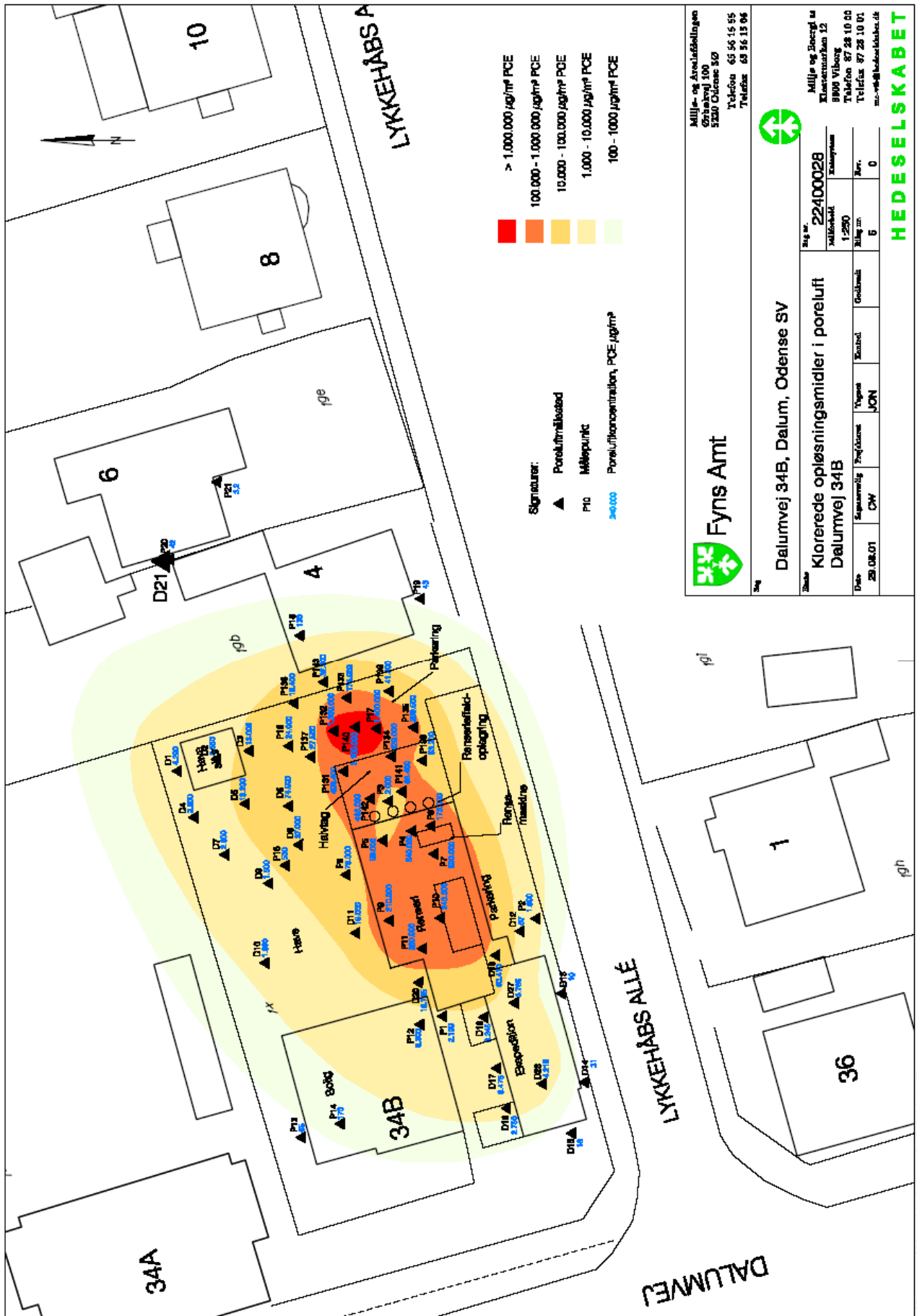
Meteorologiske data

Undersøgelingsomfang og koncentrationsniveau, poreluft

Antal punkter

Koncentrationsniveau

Målerunder



Signaturer:
 ▲ Poreluftmålested
 P10 Målepunkt
 240.000 Poreluftkoncentration, PCE µg/m³

Fyns Amt

Dalumvej 34B, Dalum, Odense SV

Miljø- og Arealafdelingen
 Strybevej 10B
 5250 Odense SV
 Telefon 65 56 15 55
 Telefax 65 56 15 96

St. nr. 22400028

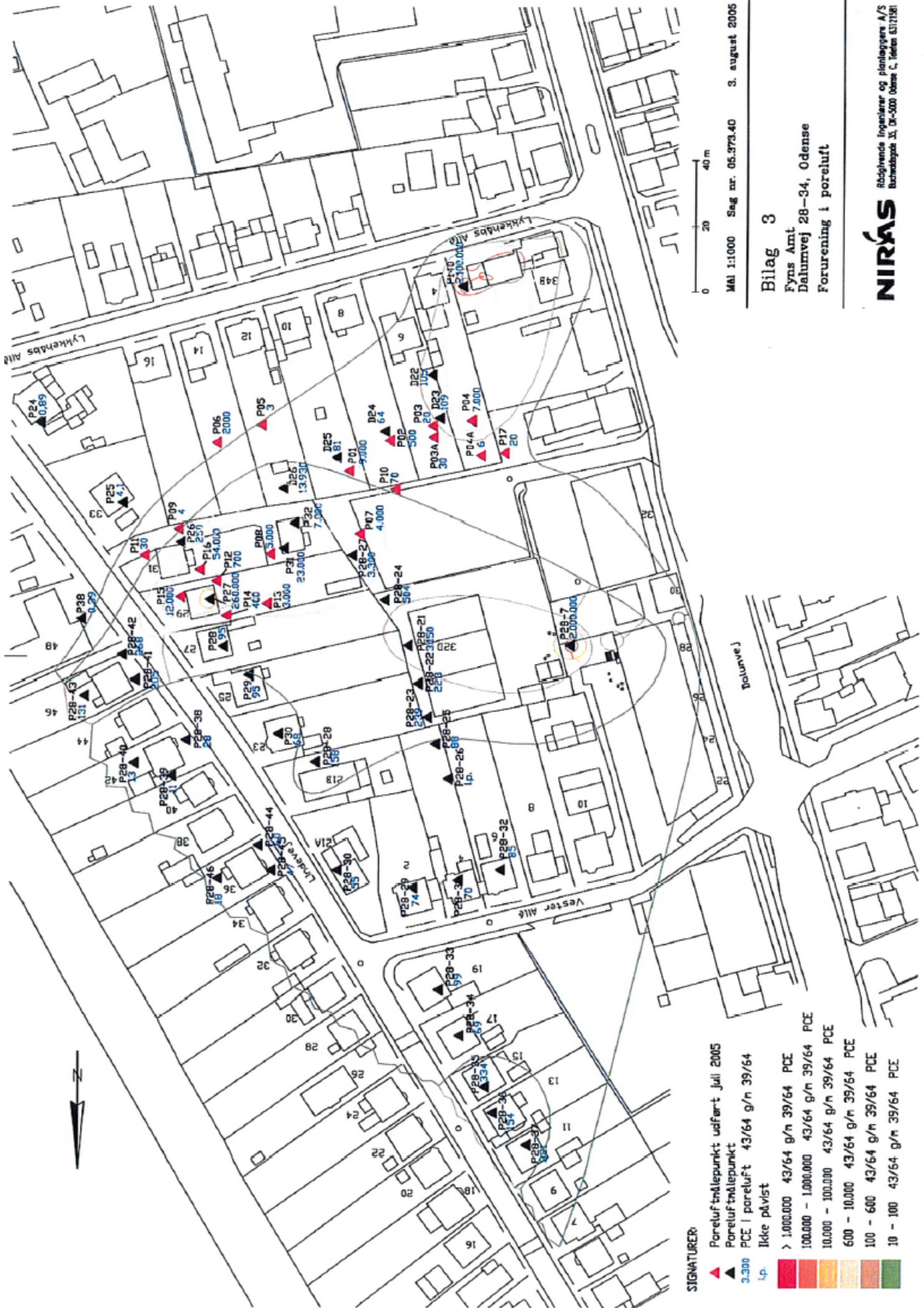
Klorerede opløsningsmidler i poreluft
 Dalumvej 34B

Miljø og Bærgi i
 Kløvermarken 12
 8000 Viborg
 Telefon 87 28 10 00
 Telefax 87 28 10 01
 ma-vej@klovermarken.dk

St. nr.	22400028
Måleperiode	1-2000
Bilag nr.	6
Blad nr.	0
Signaturvej	CW
Føjlsnavn	ION
Skædet	
Gældemål	

HEDESELSKABET

IT:\moduler\99\1000000 E - Ann - 17.02.2000 10.57.04



MAI 1:1000 Sag nr. 05.373.40 3. august 2005

Bilag 3

Fyns Amt
Dehurnvej 28-34, Odense
Forurening i poreluft

NIRÅS Rådgivende Ingeniører og Plantelegere A/S
Buchtøjsgade 33, DK-5000 Odense C, Telefon 63717581

- SIGNATURER:**
- ▲ Poreluftmålepunkt udført juli 2005
 - ▲ Poreluftmålepunkt
 - ▲ PCE i poreluft 43/64 g/m³ 39/64
 - h. Ikke påvist
- | | | | |
|--|---------------------|------------------------------|-----|
| | > 1.000.000 | 43/64 g/m ³ 39/64 | PCE |
| | 100.000 - 1.000.000 | 43/64 g/m ³ 39/64 | PCE |
| | 10.000 - 100.000 | 43/64 g/m ³ 39/64 | PCE |
| | 600 - 10.000 | 43/64 g/m ³ 39/64 | PCE |
| | 100 - 600 | 43/64 g/m ³ 39/64 | PCE |
| | 10 - 100 | 43/64 g/m ³ 39/64 | PCE |



SIGNATURER:

- Undersøgsbeboring, filteract
- Borings nr.
- 68-1-2-DCE (log/l)
- PCE (log/l)
- Feltesledning
- Regnmaldledning
- 50-knave PVC i grundvand (log/l)



MAI 1:1000 Sag nr. 05.573.40 3. august 2005

Bilag 2

Fyns Amt
 Dalurvej 28-34, Odense
 Grundvandsforurening

NIRÅS

Ribjvindes Ingeniør og planlægger A/S
 Botanistvej 33, DK-5000 Odense C, Tlf: 63123811

3 Resumé og datablad, Fynsgade

3.1 Historik og undersøgelser

Der har været gasværk på ejendommen i en ikke angivet periode.

Der er gennemført flere undersøgelser på gasværksgrunden og nedstrøms mod syd på naboarealer i perioden 1992 til 2008. Der er desuden udført afværgeforanstaltning bestående af afgravning af jord til 0,5 m. u.t., og retablering med asfalt på tidligere sydligt græsareal.

Forureningen på gasværksgrunden i form af BTEX, cyanid, kulbrinter og PAH'er stemmer overens med truffet forurening på andre gasværksgrunde. En situationsplan viser, at der hovedsagelig er tanke til gas på den nordlige del af arealet og produktionsbygninger på den sydlige del af arealet.

De udførte boringer og poreluftprøver dækker generelt hele gasværksgrunden, og er ikke placeret i specifikke områder. Omfanget af jord- og poreluftprøver vurderes at være dækkende for grunden.

Der er gennemført målinger i poreluften to gange (1994 og 29/8 - 1/9 2005) på den tidligere gasværksgrund og 4 gange hhv. 10 m syd og 40 m sydvest og vest for gasværksgrunden (10-13/1 1994, 13/11 og 22/11 2007 samt 22/2 2008).

3.2 Geologi/hydrogeologi

Terræn er beliggende omkring kote +2 m DVR90. På gasværksgrunden træffes øverst 1-2 m fyld, hvorunder der træffes postglaciale aflejringer i form af flydejords-, ferskvands- og marine aflejringer herunder gytje og tørv. Fra ca. 4-5 m u.t. er der truffet marine aflejringer overvejende bestående af fedler.

Grundvandspotentialet for det primære magasin er beliggende omkring kote +2 m DVR90 og således spændt og er knyttet til kvartære reservoirbjergarter i form af smeltevandssand. Strømningsretningen er ud fra forskellige kilder vurderet hhv. sydøstlig, sydlig og syd-sydvestlig, sidstnævnte ud fra pejlinger i 2005, hvor gradienten er bestemt til 2,5 ‰.

Der er konstateret sekundært grundvand knyttet til de postglaciale aflejringer. Vandspejl er observeret omkring 1 – 2 m u.t. Den overordnede vandbevægelse er syd til sydvestlig mod Lillebælt.

I 1994 er der påvist basiske forhold på en stor del af lokaliteten med jord-pH op til 11,31.

3.3 Forureningssituation

På gasværksgrunden er der truffet forurening i poreluft, jord og sekundært grundvand med kulbrinter, PAH'er, tungematerialer og cyanid.

3.3.1 Jordforurening

På hele gasværksgrunden er der ved en undersøgelse i 1994 påvist forhøjet indhold af kulbrinter (op til 440.000 mg/kg jord) samt forhøjet indhold af arsen og bly og i en enkelt boring cadmium. Kulbrinter er identificeret som stenkulstjære. Ved undersøgelse i 2005 er der i jorden påvist indhold af benzen, toluen, xylener og naphthalen op til hhv. 38, 29, 33 og 2980 mg/kg TS. Indholdet af totalkulbrinter er påvist op til 45.000 mg/kg TS. Der er ingen umiddelbar sammenhæng mellem et højt indhold af benzen og toluen samt et tilsvarende højt indhold af totalkulbrinter. Højeste indhold af xylener og naphthalen er generelt observeret i jordprøver med høje koncentrationer af totalkulbrinter.

Ved undersøgelsen i 2005 er indhold af benz(a)pyren, dibenzo(a,h)anthracen og sum af PAH'er påvist op til hhv. 250, 166 og 7.510 mg/kg TS i jorden. Der er påvist enkelte overskridelser af jordkvalitetskriterier for tungmetallerne bly og nikkel.

Cyanid er ikke påvist over jordkvalitetskriteriet ved undersøgelsen i 2005.

3.3.2 Forurening i grundvand

I det sekundære grundvand er der påvist forhøjet indhold af BTEXN, specielt langs den østlige del af arealet. Phenol er også påvist, højest indhold ved den sydlige gasbeholder (460 µg/l).

Fra gasværksgrunden spredes forureningen i det sekundære grundvand mod syd og sydvest. I tre boringer ved det sydlige skel af gasværksgrunden er der påvist indhold af BTEX og totalkulbrinter i det sekundære grundvand. Der er påvist indhold af benzen, toluen og totalkulbrinter på op til hhv. 380, 15 og 2.900 µg/l. I 2005 er påvist indhold af totalkulbrinter og BTEXN på 1700, 120, 8,9, 36, 47 og 500 µg/l. Der er desuden målt forhøjet indhold af hhv. bly og nikkel på 28 og 19 µg/l. Der er målt lettere forhøjede indhold af cyanid og PAH'er på hhv. 224 og 0,8 µg/l eller ca 4 gange overskridelse af jordkvalitetskriterierne.

Indholdet i vandprøverne varierer generelt indenfor en faktor 2 og 3 indenfor de to prøvetagninger i september og december 2005 og/eller indenfor prøvetagninger i samme måned.

3.3.3 Forurening i poreluft

På gasværksgrunden er der i poreluften påvist indhold af benzen, toluen, xylener og totalkulbrinter op til hhv. 97, 5.400, 230 og 19.000 µg/m³. Højeste koncentrationer er truffet i poreluften centralt på den tidligere gasværksgrund. Poreluftprøver er udtaget 3 gange i perioden november 2007 til februar 2008. 10-40 m syd og vest for grunden er der påvist indhold af benzen, toluen, xylener og totalkulbrinter op til hhv. 5,9; 68; 45,5 og 430 µg/m³. En enkelt måling viser et betydeligt indhold, men vurderes at skyldes et nyt spild, og medtages derfor ikke.

3.4 Variationen i poreluftens forureningsindhold

Poreluftprøver er generelt udtaget i dybden 0,6-1 m u.t. dvs. fortrinsvis udtaget i fyldmaterialer.

3.4.1 Rumlig variation

De højeste koncentrationer på den tidligere gasværksgrund af både BTEX og totalkulbrinter er truffet på den centrale del. De laveste indhold træffes på den nordlige del af gasværksgrunden. Højeste koncentrationer er påvist i tilknytning til forureningskilderne. Rumligt varierer indholdet i poreluften fra under detektionsgrænsen til 76, 5.400 og 230 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for hhv. benzen, toluen og xylener. I kildeområdet, som formodes at være store dele af den tidligere gasværksgrund ses en rumlig variation op til 1 størrelsesorden.

Syd for gasværksgrunden er der i poreluften påvist indhold af benzen, toluen og xylener op til hhv. 5,9, 90 og 84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De højeste koncentrationer træffes sydvest for gasværksgrunden, svarende til en forureningsspredning i det sekundære grundvand. Faldet hertil er ca. 1 størrelsesorden på 50 m.

3.4.2 Tidslige variationer

Målinger i 1994 vest og syd for gasværksgrunden viser et indhold af benzen og toluen over det målte indhold i 2007/2008. Der er dog stor variation i koncentrationer ved poreluftmålingerne i 1994. Enten måles et relativt højt indhold af benzen og toluen eller intet indhold, hvilket kan skyldes en høj detektionsgrænse. For to punkter, udtaget i umiddelbar nærhed af hinanden i 1994 og 2007/2008 ses dog, at indhold af benzen ligger 1-2 størrelsesordener og indhold af toluen 1 størrelsesorden, højere i 1994 end 2007/2008.

Indholdet i poreluften på gasværksgrunden stammer fra en afdampning af forurening i både jord og sekundært grundvand, mens indholdet i poreluften syd for Fynsgade alene stammer fra en afdampning fra det sekundære grundvand.

Målinger syd for gasværksgrunden i de 3 målerunder i 2007/2008 varierer for benzen, toluen og xylener med hhv. en faktor 6,7-16, 2,4-44 og 5,6-22. Højeste koncentrationer træffes ved måling 13/11 2007 og laveste indhold ved måling den 22/2 2008. Målingen den 22/11 2007 og 22/2 2008 er udført under en lavtrykspassage, hvor der dagene forinden ligeledes har været lavtryk.

Måling den 13/11 2007 er udført under en højtrykspassage, hvor der har været stigende tryk dagene forinden. Inden måling 13/11 2007 er der faldet en del nedbør, hvilket ikke er tilfældet før måling 22/11 2007 og 22/2 2008. Vandstanden var den 13/11 2007 0,8 m u.t., 1,2 m u.t. den 22/11 2007 og 1,6 m u.t. den 22/2 2008.

Lokalitet		Geologi / hydrogeologi		Forurening	
Lokalitet:	Fynsgade, Fredericagade	Befæstet på gasværks-	Forurenet areal (m ²):	7000	
Aktivitet navn:	Gasværk	grunden, overvejende	Areal af hotspot (m ²):	1800	
Kortlægningsstatus	V2	befæstet nedstrøms	Information om NAPL:	Ingen NAPL	
Driftsperiode:	?	1-2 m fylt, derunder			
Forureningskomponenter:	BTEX, totalkulbrinter, PAH'er	postglaciale aflejringer			
Info om årligt forbrug:	?	1-2 m u.t.			
Info om årlig bortskaffelse:	?				
Undersøelsesomfang og koncentrationsniveau, jord og grundvand					
11 jordprøver på gasværksgrunden	<0,1-38 mg/kg TS benzen <0,1-29 mg/kg TS toluen <0,3-37 mg/mg TS xylener	1 størrelsesorden på gasværksgrunden over 50 m for både benzen, toluen og xylener			
17 vandprøver langs nedstrøms skel og nedstrøms gasværksgrunden	<0,04-380 µg/l benzen <0,04-15 µg/l toluen 0,11-170 µg/l xylener	1-2 størrelsesordener for benzen for måling i 1994 og 2007/2008 Op til 1 størrelsesorden for toluen mellem 1994 og 2007/2008 Høj- og lavtrykspassage ingen observeret effekt Høje indhold ved højt grundvandsspejl			
Undersøelsesomfang og koncentrationsniveau, poreluft					
Målerunder	Antal punkter	Koncentrationsniveau			
1994	6	0-0,04 ppm benzen 0-0,48 ppm toluen	Udført nedstrøms gasværksgrunden		
29-08-2005	15	<0,1-97 µg/m ³ benzen 2,8-5,400 µg/m ³ toluen <0,3-230 µg/m ³ xylener	Udført på gasværksgrunden Højtrykspassage, 10-15 mm indenfor sidste 5 dage, gvs. ?		
13-11-2007	5	1,5-5,9 µg/m ³ benzen 22-90 µg/m ³ toluen 31-84 µg/m ³ xylener	Permanent måle sonder, nedstrøms gasværksgrunden 5-10 mm indenfor sidste 5 dage Højtrykspassage, 5-10 mm indenfor sidste 5 dage, gvs. 0,8 m u.t.		
22-11-2007	5	0,21-1,5 µg/m ³ benzen 4,5-16 µg/m ³ toluen 6,3-15 µg/m ³ xylener	Permanent måle sonder, nedstrøms gasværksgrunden Lavtrykspassage, 0 mm indenfor sidste 5 dage, gvs. 1,2 m u.t.		
22-02-2008	5	0,22-0,41 µg/m ³ benzen 2,0-9,3 µg/m ³ toluen 2,3-18 µg/m ³ xylener	Permanent måle sonder, nedstrøms gasværksgrunden Lavtrykspassage, <5 mm indenfor sidste 5 dage, gvs. 1,6 m u.t.		

4 Resumé og datablad, Slotsherrensvej

4.1 Historik og undersøgelser

På grunden har der været metalforarbejdende virksomheder i perioden 1961 til omkring 2002. De tidligere bygninger er fjernet i juli 2005, dog ikke fundamenter og terrændæk, og der er planlagt opført boligbyggeri. Umiddelbart øst for lokaliteten er en spildevandsledning og Harrestrup Å beliggende.

Der er ikke udarbejdet historisk redegørelse som sandsynliggør, hvor kilderne til forureningen er. Poreluftforureningen er kun undersøgt under gulv af tidligere bygning samt i nedstrøms retning af det terrænnære grundvand.

Der er udført forureningsundersøgelser i 2004 (kun jord og grundvand), 2005 og 2006. Der er foretaget en oppumpning af fri fase af chlorerede opløsningsmidler og grundvand med sugespidsanlæg i august/september 2005. En analyse af udledt vand viste indhold af TCA, DCA og PCE i koncentrationer på 810, 280 og 200 µg/l. Det formodes at der er tale om rensat grundvand udledt til kloak, da der foreligger ansøgning herom. Der foreligger ikke oplysninger om oppumpede mængder.

4.2 Geologi/hydrogeologi

Terræn er beliggende omkring kote + 9 m DVR90. Den udarbejdede konceptuelle model for geologien er vist nedenfor.

Enhed	Magasin	Mægtighed, meter	Topkote, DVR90	Beskrivelse
Fyld/overjord		0,5-4,4	+9	Fyld, muld, postglaciale organiskholdige aflejringer, brun, rødbrune og sorte
Terrænnære senglaciale og glaciale aflejringer	Øvre sekundære	1-5	+8 til +5	Stærkt vekslende aflejringer af morænesand og -ler med talrige sandslirer, kalkholdig, grå
Smeltevandsler		2-6	+7 til +4	Fed ler med tynde lyse slirer af silt og finsand, kalkholdig, grå-mørkegrå
Smeltevandssand	Nedre sekundære	2-3	+3 til +2	Smeltevandssand, fint til mellem, kalkholdig, lysgrå
Moræneler		2-5	+1 til -1	Hård til blød moræneler med vekslende præg af kalkunderlag
Kalk	Primære		-3 til -4	Kalksandskalk/slamkalk, Danien

Det øvre sekundære grundvand afdrænes mod sydøst mod spildevandsledningen med en gradient på omkring 20 ‰. I det nedre sekundære magasin er der ingen entydig gradient og strømningsretning.

Der er observeret både op- og nedadrettede gradienter mellem det øvre og nedre sekundære grundvand, som sandsynligvis afspejler sæsonvariationer. Geologisk snit med forureningsudbredelse i det sekundære grundvand er vedlagt.

4.3 Forureningsituation

På Slotsherrensvej 203 samt syd og øst herfor er der truffet forurening med især PCE og TCA. Forureningen er truffet i både poreluft, jord og sekundært grundvand. Der er også påvist indhold af oliekomponenter, generelt på meget lavt niveau i forhold til forureningen med chlorerede opløsningsmidler. Der er dog påvist fri fase skæreolie i to borer, samt høje indhold af totalkulbrinter i to øvrige borer, den ene nær en fyringsolietank.

Der ses en tendens til, at PCE og nedbrydningsprodukter dominerer under den sydligste del af den tidligere bygning og syd herfor, mens TCA dominerer på den sydøstlige del af lokaliteten ud mod Harrestrup Å.

4.3.1 Jordforurening

Der er prøvetaget enkelte jordprøver, som viser indhold af PCE og TCA op til hhv. 19 og 120 mg/kg TS. Der er påvist fri fase af chlorerede opløsningsmidler.

4.3.2 Forurening i grundvand

Der er i det øvre sekundære grundvand påvist indhold af PCE og TCA op til hhv. 17.200 og 1.230.000 µg/l. Højeste indhold træffes på den sydligste del af lokaliteten. Forureningen i det øvre sekundære grundvand har spredt sig i sydøstlig retning mod spildevandsledningen og Harrestrup Å, bredende sig ud i nordlig og sydlig retning langs spildevandsledningen. Udbredelse af PCE og TCA og nedbrydningsprodukter i øvre sekundært grundvand er vedlagt.

Stofsammensætningen i den opløste fase i det øvre sekundære grundvand er på hele den østlige del af lokaliteten og ud mod Harrestrup Å samt syd herfor domineret af TCA og nedbrydningsprodukter heraf. Der er fundet koncentrationer af TCA over 100.000 µg/l samt fri fase. Indhold af PCE og nedbrydningsprodukter er påvist op til 35.000 µg/l. Koncentrationer over 10.000 µg/l af TCA, PCE og respektive nedbrydningsprodukter udgør et areal på hhv. knap 500 m² og 300 m².

Den geologiske variabilitet i det øvre sekundære grundvand afspejles i de opløste koncentrationer, idet disse nogle steder varierer betydeligt inden for et mindre område.

Vertikalt ses der en tendens til højere koncentrationer mest terrænnært i kildeområderne, mens koncentrationsniveauet er mere ensartet over dybden i det terrænnære grundvand uden for kildeområderne.

I det nedre sekundære grundvand er der påvist indhold af TCA og nedbrydningsprodukter på mellem 1,2 og 84 µg/l. Højeste koncentrationer er fundet i borer beliggende langs lokalitetens østlige og sydøstlige skel. Der

er påvist indhold af PCE og nedbrydningsprodukter på mellem 0,4 og 40 µg/l, højeste indhold er fundet på lokalitetens sydlige del og syd herfor.

Der er konstateret indhold af BTEX på den sydlige del af lokaliteten samt syd herfor i koncentrationer op til 800 µg/l i det øvre sekundære grundvandsmagasin. Koncentrationsniveau er generelt lavere, i størrelsesorden 1-50 µg/l, af BTEX.

Der er observeret en væsentlig nedbrydning af både PCE og TCA, idet der er påvist høje indhold af 1,1-DCA samt TCE og cDCE. Der er påvist lave indhold af VC, hvilket kan være en indikation på, at nedbrydningen ikke forløber helt til ende.

4.3.3 Forurening i poreluft

Poreluftprøver er udtaget i dybden ca. 1 og 1,5 m u.t. Prøverne er således udtaget i fyld, morænesand og moræneler. I undersøgelserne er aflejring ved prøvetagning ikke angivet.

Der er i poreluften påvist indhold af TCA, TCE og PCE op til hhv. 7.200, 190 og 1.900 mg/m³. De højeste indhold af chlorerede opløsningsmidler findes i poreluft på den sydøstlige del af lokaliteten. Forureningen i poreluften udbredes umiddelbart mod syd og øst svarende til grundvandsstrømningen. Mod vest og nord aftager forureningen i poreluften mere markant, jf. analyse i 2006. Sammenholdes resultaterne herfor imidlertid med øvrige målerunder er tendensen ikke entydig, især da antallet af poreluftmålinger er markant lavere nord og øst for den tidligere bygning. Udbredelsen fremgår af vedlagte situationsplan.

4.4 Variationen i poreluftens forureningsindhold

De enkelte målerunder supplerer tidligere målinger. Der er dog visse overlap. Generelt viser de forskellige målerunder høje og lave koncentrationer i samme områder. De forskellige målerunder udpeger således ikke forskellige kildeområder, men viser samme forureningsbillede.

Der observeres samme forureningsbillede samt både rumlig og tidlig variation for både PCE og TCA.

4.4.1 Rumlig variation

Forureningen med TCA er lokaliseret på den sydøstlige del af lokaliteten ud mod Harrestrup Å og mod syd. I kildeområdet ses en mindre rumlig variation mellem nærliggende målepunkter, generelt med en faktor 2, enkelte steder dog op til 1 størrelsesorden.

Der er ikke fundet et klart afgrænset kildeområde af TCE, men et større diffust kildeområde, formodentlig stammende fra flere spild. Det er ikke muligt at udpege de enkelte kildeområder på baggrund af det foreliggende materiale. Højeste koncentrationer er påvist under den sydlige del af bygningen samt umiddelbart syd og øst for den sydlige del af bygningen, herunder ved udendørs oplag sydøst for bygningen.

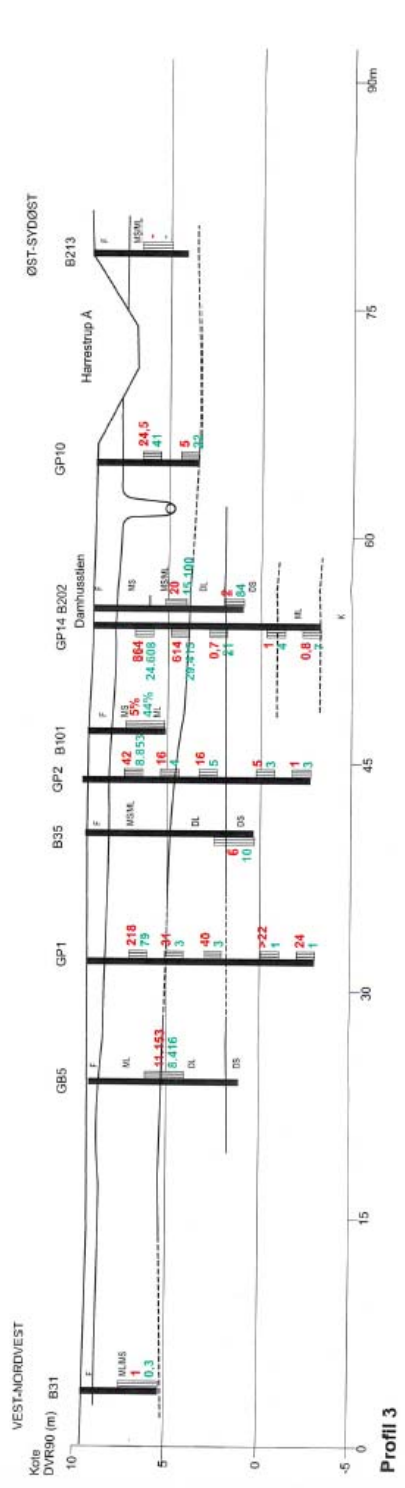
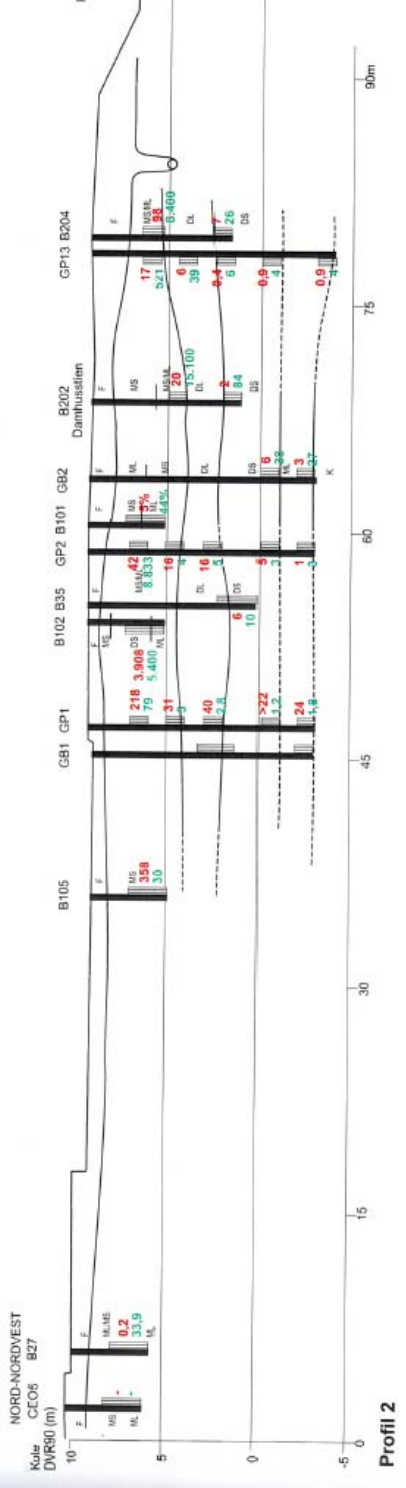
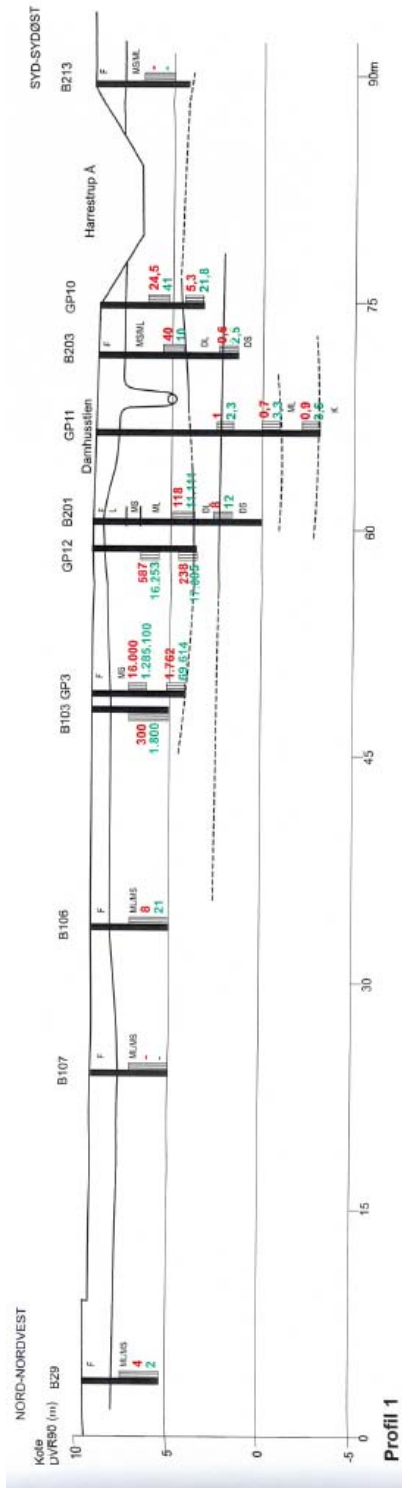
Eventuel forurening, herunder kildeområder nord og vest for den tidligere bygning er ikke kendt, da der ikke er foretaget undersøgelser. Det kan ikke afvises, at der findes kilder til forurening i disse områder. Som for TCA viser indholdet af PCE en rumlig variation i kildeområdet mellem nærliggende målepunkter, generelt med en faktor 2, enkelte steder op til 1 størrelsesorden. Der er observeret en rumlig variation på op til 2-3 størrelsesordner på 6-10 m. Under gulv observeres en rumlig variation på 2-3 størrelsesordner indenfor et areal på 25•30 m.

4.4.2 Tidslig variation

Poreluftmåling udført i juli 2005 med to dages mellemrum viser for målinger udtaget i nærheden af hinanden tilnærmelsesvis samme indhold. Der er dog tale om relativt få målinger til vurdering og de målte indhold er lave (< 500 µg/m³).

Resultaterne af poreluftmålinger i 2006 er markant højere end resultater af poreluftmålinger foretaget i tidligere undersøgelser i 2005. Under gulv af bygningen er indholdet i 2006 2-5 størrelsesordener højere end tidligere målinger. Uden for bygningen er variationen ikke så markant med 1-2 størrelsesordener.

Lokalitet		Geologi / hydrogeologi		Forurening	
Lokalitet:	Slotsherrnsvej 203, Rødovre	Befæstelse:	befæstet	Forurennet areal (m ²):	1.800 PCE 1.800 TCA
Aktivitet navn:	Metalforarbejdende virksomhed	Umættet zone:	0,5-4,4 m fyld, muld, post-glaciale organisk holdige aflejringer, derunder	Areal af hotspot (m ²):	300 PCE 500 TCA
Kortlægningsstatus	V2	Øverste grundvandsspejl (m u.t.):	1-5 m ML/MS 1,5-3 m u.t.	Information om NAPL:	NAPL i hotspot
Driftsperiode:	1961-2002				
Forureningskomponenter:	PCE, TCE, TCA				
Info om årligt forbrug:	?				
Info om årlig bortskaffelse:	?				
Undersøgelssomfang og koncentrationsniveau, jord og grundvand					
8 jordprøver	<0,005-19 mg/kg TS PCE <0,005-12 mg/kg TS TCA <0,005-2,0 mg/kg TS TCE	Variationer i poreluften			
67 vandprøver i øvre sek. mag. 2004-2006	<0,01-17.200 µg/l PCE <0,25-1.230.000 µg/l TCA <2-16.000 µg/l TCE <0,4-5,1µg/l PCE <0,4-46 µg/k TCA <0,4-5,4 µg/l TCE <0,02-3,7 µg/l PCE <0,02-38 µg/l TCA <0,02-0,23µg/l TCE	I kildeområdet ses en mindre rumlig variation mellem nærliggende målepunkter, generelt en faktor 2, enkelte steder op til 1 størrelsesorden			
24 vandprøver i nedre sek. mag 2004-2006		Ikke gentagne målinger i samme punkter/områder			
18 vandprøver i prim. Mag. 2004-2006		2-5 størrelsesorden under gulv af bygningen mellem 2005 og 2006 1-2 størrelsesorden udenfor bygningen mellem 2005 og 2006			
Undersøgelssomfang og koncentrationsniveau, poreluft					
Målerunder	Antal punkter	Koncentrationsniveau	Meteorologiske data		
april 2005	5	0,0014-1,5 mg/m ³ PCE 0,00092-1,4 mg/m ³ TCA <0,000096-0,32 mg/m ³ TCE	0 mm indenfor sidste 5 dage		
12-07-2005	22	i.p.-790 mg/m ³ PCE i.p.-176 mg/m ³ TCA i.p.-11 mg/m ³ TCE	Top af højtrykspassage, start af lavtrykspassage		
14-07-2005	10	<0,0001-3,2 mg/m ³ PCE <0,0001-6,3 mg/m ³ TCA	Lavtrykspassage		
29-30/6-06	11	<0,0001-0,16 mg/m ³ TCE 0,16-1.900 mg/m ³ PCE 58-3.800 mg/m ³ TCA	Højtrykspassage		
07-08-2006	15	0,05-190 mg/m ³ TCE <0,001-1.400 mg/m ³ PCE <0,001-2.900 mg/m ³ TCA <0,001-160 mg/m ³ TCE	Stabilit, start af lavtrykspassage		
			10-15 mm indenfor sidste 5 dage		
			15-20 mm indenfor sidste 5 dage		



- 0,07 Sum PCE + TCE + CDCE + VC (ug/l)
- 0,9 Sum 1,1,1-TCA + 1,1-DCE (ug/l)
- Ikke påvist
- Boring/Geoprobe
- Filler
- F Fyld / muld
- PG Postglaciale aflejringer
- ML Moræner
- MS Morænesand
- DL Smeltevandssilt- og sandalner
- DV Smeltevandssand/lær
- DS Smeltevandsgnis
- K Kalk

Blag 12a
Slotsherrensvej 203, Rodovre
 Geologiske profilnit med forureningsudbredelse





Bilag 11b

Slotsherrensvej 203, Redovre

Situationsplan med forureningsudbredelse i terrænært grundvand, 1:300

Sag nr.: 08.343.00

Oktober 2006



5 Resumé og datablad, Frydensbergvej

5.1 Historik og undersøgelser

Frydensbergvej 29, 31 og 33 er beliggende i den nordlige del af Stenløse industri kvarter.

Frydensbergvej 29 har været benyttet til metalsliberi i perioden 1972 til 1993, finmekanisk/elektronik værksted 1993-1996 og fra 1996 af et IT-firma samt beboelse.

Der er gennemført undersøgelser på Frydensbergvej 29, 31 og 33 i perioden 2004-2007. I Stenløse industri kvarter findes en række potentielle kilder og kendte forureninger med chlorerede opløsningsmidler i form af TCE og PCE. Kilden til forureningen på Frydensbergvej 29, 31 og 33 vurderes dog udelukkende at stamme fra aktiviteter på Frydensbergvej 29.

5.2 Geologi/hydrogeologi

Terrænet på lokaliteten er beliggende omkring kote +17-18 m DVR 90.

Geologien består øverst af fyld på op til 1,5 m u.t. Fyldet består af ler og i mindre grad sand. Herunder er der truffet sandet ler (moræne) til ca. 7 m u.t., ofte med sandlirer. Omkring 2-4 m u.t. er der i flere boringer truffet et sandlag på 0,2-2 m. Herunder træffes 1-4 m lag af sand/silt beliggende ca. 7-11 m u.t., hvorunder der træffes 5-7 m af stærkt sandet ler beliggende ca. 9-15 m u.t. Herunder træffes 0-2 m sand beliggende ca. 15-17 m u.t.

Der er fundet et øvre sekundært magasin knyttet til det stærkt sandede ler og/eller sandlirer 1,5-6 m u.t. Magasinet udgøres bl.a. af en sandlomme med en begrænset horisontal udbredelse på 15•30 m. Magasinet er ikke sammenhængende. Sandlommen er truffet på den sydøstlige del af Frydensbergvej 29 og den sydvestlige del af nr. 31. Vandspejlet er frit og er beliggende ca. 1,5-3,5 m u.t. Pejlinger indikerer østlig til sydøstlig strømningsretning i den sammenhængende del af magasinet, dvs. i sandlommen. Det øvre magasin er på baggrund af målinger af redoxpotentiale vurderet svagt reduceret og derved med begrænset potentiale for PCE-nedbrydning.

Et sammenhængende nedre sekundært magasin er knyttet til sand/silt laget 6,5-8,5 m u.t. Vandspejl er spændt og træffes i kote ca. 12 m DVR90 eller 6 m u.t. Strømningsretningen er sydlig.

Målinger har vist at der er en nedadrettet gradient mellem det øvre og nedre sekundære magasin.

Det primære magasin er knyttet til det nederste lag af sand/kalk fra 15-19,5 m u.t. og har et spændt vandspejl i 12 m DVR90 med en vurderet sydøstlig grundvandsstrømning.

5.3 Forureningssituation

Forureningen består hovedsagelig af PCE, men der er også konstateret nedbrydningsprodukterne TCE samt cis- og trans-1,2-DCE, generelt dog under 5 %.

Kildeområdet til forureningen er lokaliseret på Frydensbergvej 29 under den sydlige del af erhvervsbygningen ved sliberum og PCE-kar og afkast samt umiddelbart øst for bygningen, hvor der findes kloak- og regnvandsledninger. Udbredelse af PCE i jord, grundvand og poreluft er vist på vedlagte situationsplan. Mængden af PCE er skønnet til i størrelsesorden 1.500 kg.

5.3.1 Jordforurening

På Frydensbergvej 29 er der i jorden påvist indhold af PCE op til 31.000 mg/kg TS i hotspot. Der er langs erhvervsbygningen ud for luftafkast samt ved og under rum med PCE-kar truffet fri fase af PCE. Kilden til forureningen til den fri fase vurderes at være kondensat fra luftafkast og oplag af PCE ved døren ind til rum med PCE-kar. Ud for døren er der indikationer på fri fase fra terræn, i øvrige boringer ses indikation på fri fase med stigende dybde i større afstand fra området ved døren.

På Frydensbergvej 31 er der påvist indhold af PCE i jorden op til 29 mg/kg TS.

5.3.2 Forurening i grundvand

På Frydensbergvej 29 er der i det øvre sekundære grundvand påvist indhold af PCE op til 120.000 µg/l. Højeste indhold er påvist på den sydøstlige del af ejendommen. Forureningen er spredt til Frydensbergvej 31, hvor der er påvist et indhold af PCE på op til 25.000 µg/l. Forureningen i det øvre sekundære magasin er knyttet til en indlejret sandlomme, som træffes under den sydlige del af ejendommen og øst herfor på Frydensbergvej 31. Spredningen i den sammenhængende del af det terrænnære magasin er vurderet at være østlig. Spredningen mod øst i det terrænnære magasin aftager markant, hvor sandlommen slutter eller ikke er vandmættet.

I det nedre sekundære magasin er der påvist indhold af PCE op til 8.400 µg/l. I det nedre sekundære magasin spredes forureningen med grundvandet i sydøstlig retning, hvor fanen på undersøgelsestidspunktet er ca. 30 m. I det primære magasin er der påvist indhold af PCE op til 0,39 µg/l.

5.3.3 Forurening i poreluft og indeluft

På Frydensbergvej 29 er de højeste koncentrationer i poreluften fundet under den sydlige del af erhvervsbygningens sliberum og PCE-kar samt umiddelbart øst for denne, hvor der findes kloak- og regnvandsledninger. Under gulv er der konstateret PCE, op til 5.000 mg/m³ og udendørs op til 6.400 mg/m³.

I poreluften på Frydensbergvej 31 er der påvist indhold af PCE op til 760 mg/m³. Under gulv af Frydensbergvej 31 er der i poreluften påvist indhold af PCE op til 0,59 mg/m³. I indeluften i boligen på Frydensbergvej 31 er der målt indhold af PCE på op til 0,032 mg/m³.

Sonderinger under gulv af Frydensbergvej 29 udtaget i to dybder (under gulv og mindst 0,4 m under gulv) viser, at forureningen ikke kun findes i det kapillarbrydende lag under bygningen, men også i dybere jordlag.

Indhold af PCE i poreluften er vist i vedlagte situationsplan.

5.4 Variationen i poreluftens forureningsindhold

Poreluftmålingerne er udført i dybden 0,4-1,5 m u.t. dvs. fortrinsvis i fyldlag og eller i moræneler.

Målinger af PCE i poreluften er udført i 5 omgange, generelt i sommerperioden. Der er ikke udført gentagne målinger i samme punkt.

Indhold af PCE i en enkelt prøve udtaget på kulrør er ca. en faktor 10 lavere end bestemt ved felt-GC. Begrundelse angives i at det høje indhold af PCE i poreluften kræver fortynding til felt-GC, hvorved usikkerheden på resultatet øges.

5.4.1 Rumlig og tidslig variation

Udbredelsen af PCE på Frydensbergvej 31 er i vid udstrækning baseret på én målerunde (28/6 2006). Udbredelsen af PCE i poreluften, specielt mod øst stemmer ikke overens med udbredelsen af PCE i det terrænnære magasin. Der ses således en større udbredelse mod øst i poreluften end tilsvarende i det terrænnære magasin, hvor fanen udbredes mod syd.

Målingerne på Frydensbergvej 29, 31 og 33 viser, at indholdet af PCE varierer rumligt i poreluften 4-5 størrelsesordener fra indholdet i hotspot på Frydensbergvej 29 til lave indhold (PCE <0,1 mg/m³). I anden målerunde ses et klart fald i koncentration fra kildeområde. Koncentrationen reduceres 3 størrelsesordener over 6 m mod vest, mod øst reduceres koncentrationen 1-2 størrelsesordener over 3 m og ½-1 størrelsesorden over 6 m mod nord. Indholdet i tredje målerunde reduceres med 1 størrelsesorden over 10 m, hvilket er en væsentlig lavere reduktion end observeret i anden målerunde.

Under gulv ved lager er der målt indhold på mellem 500 og 8.000 mg/m³ ved måling i 3 omgange i 4 punkter. Indholdet varierer således indenfor 1 størrelsesorden over 2 m, hvilket kan skyldes en rumlig variation, men også en tidsmæssig variation. Laveste indhold måles i juli 2007 og højeste indhold september 2004.

Lokalitet		Geologi / hydrogeologi		Forurening	
Lokalitet:	Frydensbergvej 29, 31 og 33	Befæstelse:	Delvist	Forurenet areal (m ²):	1000
Aktivitet navn:	Metalilbereri	Umættet zone:	0-1,5 m fyld (især ler) op til 7 m sandet ML med sandslirer	Areal af hotspot (m ²):	100
Kortlægningsstatus	V2	Øverste grundvandsspejl (m u.t.):	1,5-3,5 m u.t.	Information om NAPL:	NAPL i hotspot
Driftperiode:	1972-1993				
Forureningskomponenter:	PCE				
Info om årligt forbrug:	800 l/år				
Info om årlig bortskaffelse:	350 l/år fordampet i				
Undersøgelisomfang og koncentrationsniveau, jord og grundvand					
17 jordprøver i hotspot	op til 31.000 mg/kg TS				
9 jordprøver på Frydensbergvej 29 derudover	0,33-23 mg/kg TS				
3 jordprøver på Frydensbergvej 31	<0,0005-29 mg/kg TS				
9 vandprøver 2004-2007 i hotspot i øvre mag.	5.100-120.000 µg/l				
12 vandprøver 2004-2007 derudover i øvre mag.	0,13-2.700 µg/l				
4 vandprøver 2004-2007 i hotspot i nedre mag.	63-8.400 µg/l				
10 vandprøver 2004-2007 derudover i nedre mag.	0,95-150 µg/l				
5 vandprøver i primært magasin	0,04-0,39 µg/l				
Undersøgelisomfang og koncentrationsniveau, poreluft					
Målerunder	Antal punkter	Koncentrationsniveau	Meteorologiske data		
27-28/9 2004	4	2.100-5.000 mg/m ³	Stabil tryk efter højtrykspassage	5-10 mm indenfor sidste 5 dage	
03-05-2005	10	<0,15-6.400 mg/m ³	Lavtrykspassage	10-15 mm indenfor sidste 5 dage	
27/28-07-2006	16	0,0094-760 mg/m ³	Start af højtrykspassage	15 mm indenfor sidste 5 dage	
03-07-2007	11	0,0092-520 mg/m ³	Lavtrykspassage	25 mm indenfor sidste 5 dage	
04-09-2007	6	0,0043-35 mg/m ³	Stabil tryk efter mindre lavtrykspassage	25 mm indenfor sidste 5 dage	

Variationer i poreluften

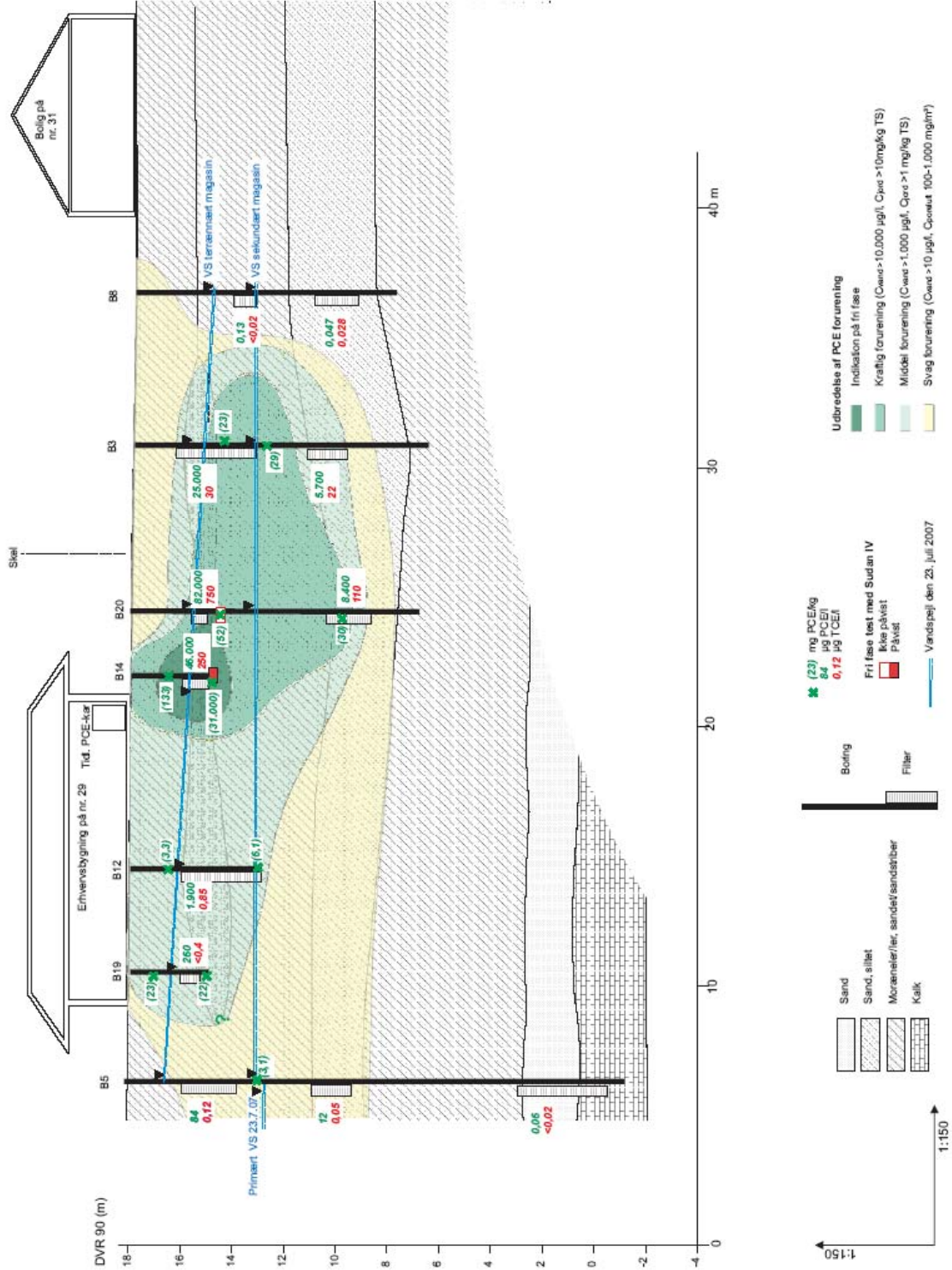
Rumlige variationer:

- 3 størrelsesordener indenfor 6 m mod vest
- 2 størrelsesordener indenfor 3 m mod øst
- 1 størrelsesorden under guld af silberum (4 målinger i 3 omgange)
- 1½-1 størrelsesorden over 6 m mod nord.

I en enkelt målerunde ses en mindre rumlig variation med en reduktion på 1 størrelsesorden pr. 10 m

Tidslige variationer:

- Ikke gentagne målinger i samme punkter/områder
- 1 størrelsesorden under guld af silberum (4 målinger i 3 omgange)



Bilag 5b
 Region Hovedstaden
 Frydensbergvej 29, Stenløse
 Snit 2





Bilag 3

Region Hovedstaden
Frydensbergvej 31, Stenløse

Takket horizontal forurenings-
udbredelse i porevåd

Sag nr.: 0527.02

August 2007

NIRAS
september 2007 blev opgjort 2007/08

1 Analyse af poreluftvariationer på Fredericiagade

Lokaliteten er et tidligere renseri, hvor der er sket forurening af undergrunden med PCE.

Der er udført i alt 18 målerunder i op til 51 målepunkter mellem 1992 og 2004. I 2003 og 2004 er udført supplerende målinger i forbindelse med "poreluftprojektet".

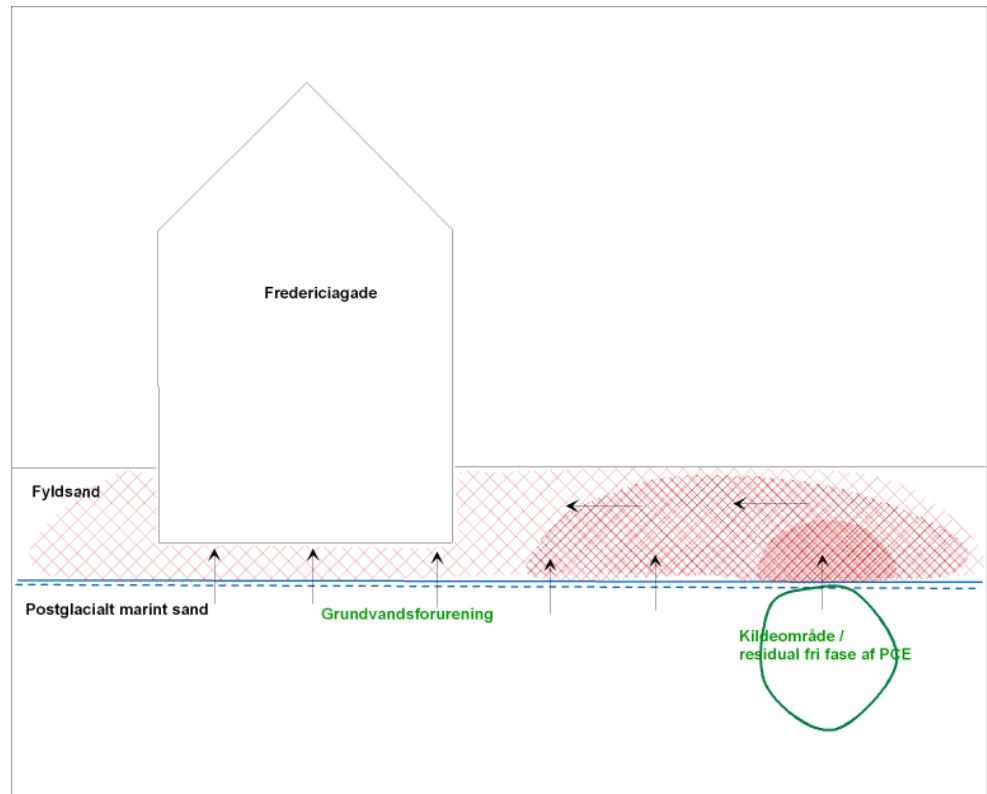
1.1 Konceptuel model

Forurening i umættet zone under Fredericiagade 13 er afgravet og efterfyldt med 3 m fyldsand bestående af mellemkornet sand med vekslende indhold af mindre sten. Fra omkring 2-2,5 m u.t. bliver fyldsandet mere stenet. Under fyldsandet findes marint postglacialt sand som er fint til mellemkornet. Vandspejl træffes ca. 3 m u.t. Arealet er delvist befæstet.

I mættet zone er efterladt fri fase af PCE. De højeste koncentrationer træffes på den østlige del af Fredericiagade 13.

Forureningen i mættet zone spredes med grundvandet mod nord mod Limfjorden.

Afdampning af PCE til umættet zone sker fra grundvandsforureningen, når den mættede zone overdækker mobil og residual fri fase af forureningen. Det vurderes at toppen af den kapillære zone er kraftig forurenet med PCE i kildeområdet. Ved lave vandspejl som følge af grundvandssænkning og/eller lavt vandspejl sker afdampningen af PCE til umættet zone primært fra den fri fase og i mindre grad fra grundvandsforureningen. Efter en eksponering af den fri fase må der i en længere periode (år) forventes forhøjede koncentrationer i poreluften. Konceptuel model er skitseret i figur 1.1.



Figur 1.1 Konceptuel model, Fredericiagade. Pile angiver spredningsvej ved diffusion

1.2 Styrende faktorer – rumlig variation

Kilden til umættet zone forurening på lokaliteten er fri fase og opløst indhold af PCE i grundvandet. Forureningsudbredelsen forventes konceptuelt at være betinget af diffusionsstyret udbredelse fra blotlagt forurening og i en periode hvorefter fra aftrykkene efter eksponering i umættet zone samt vertikal afdampning fra opløst PCE fra vandspejlet.

Den rumlige variation i 5 punkter sat i et net på 4•4 m ca. 10 m syd for kildeområdet (med højst registreret koncentration i grundvandet) er i poreluftprojektet vist at være en faktor 3-4, svarende til ca. 1 størrelsesorden pr. 10 m. Der er en klar tendens til at koncentrationsniveauet aftager med afstanden til kilden.

Et fald på 1 størrelsesorden pr. 10 m fra kildeområdet er i overensstemmelse med den overordnede tendens på lokaliteten, vist ved de samlede undersøgelser.

De enkelte målerunder har vist samme rumlige fordeling af forureningen i umættet zone, med en relativt ensartet spredning i alle retninger. Dette indikerer, at diffusionsstyret udbredelse fra kilden er den væsentligste transportmekanisme på lokaliteten.

Forureningen er dog spredt mere i nordlig til vestlig retning end i de øvrige 2 retninger. I vestlig retning aftager koncentrationen med en $\frac{1}{2}$ størrelsesorden pr. 10 m. Mod nord i nedstrøms retning aftager koncentrationen ligeledes $\frac{1}{2}$ størrelsesorden pr. 10 m.

Generelt er der sammenhæng mellem koncentrationsniveau og udbredelse af forurening i grundvandet og indholdet i umættet zone, baseret på vandprøver udtaget i perioden 2002-2004 og poreluftmålinger udført 2003-2004. En større udbredelse af poreluftforureningen mod nord i nedstrøms retning er derfor forventet.

Der er en høj tæthed af poreluft målepunkter i alle retninger fra kilden, så den varierende udbredelse i de forskellige retninger vurderes ikke at være udtryk for et asymmetrisk prøvetagningsmønster. Derimod er faneudbredelsen i den mættede zone ikke afdækket, idet der f.eks. kun er en enkelt boring i hhv. østlig og vestlig retning. Dermed er det ikke muligt at vurdere, om der er en sammenhæng mellem kildens faneudbredelse og de højere nordlige til vestlige poreluftkoncentrationer. Koncentrationsniveauet er dog generelt lavere i nordvestlige boringer end i nordøstlige boringer, hvilket indikerer, at dette ikke er tilfældet. Det er muligt, at forureningsudbredelsen er betinget af mindre geologiske variationer eller et asymmetrisk kildeområde, men datagrundlaget er ikke tilstrækkeligt til at afdække disse forhold. Forsøg har imidlertid vist, at kildens symmetri har stor betydning for aftrykket i omkringliggende poreluft og det er derfor ikke usandsynligt, at variationen i poreluftudbredelsen kan være betinget af forureningens udformning.

Nord for Fredericiagade 13 og dermed nedstrøms, observeres en stor rumlig variation i punkter med samme afstand til kildeområdet. Der ses en rumlig variation på 1-2 størrelsesordener over 10 m, enkelte steder op til 3 størrelsesordener over 10 m på tværs af afstanden til kildeområdet. Tendensen ses både under gulv og i umættet zone. Varierende høje og lave koncentrationer i poreluften følger til dels varierende indhold i grundvandet. Sammenhængen er dog ikke entydig.

Vandprøver og poreluftprøver er udtaget i samme periode. Vandprøver er udtaget 2-3 gange i perioden 2002-2004 og en enkelte vandprøve i 1996 viser rumlige variationer i koncentrationer på en faktor 2-6. Poreluftvariationen er således ikke alene betinget af afdampning fra grundvand/fri fase og hermed variationer i kildestyrken.

Under bygningen på Fredericiagade 13 er der foretaget en række målinger i 5 forskellige målepunkter. Der konstateres stort set ingen rumlige variation i disse målepunkter (mindre end en faktor 1,5-2 variation på nær et enkelt målepunkt, der er en faktor 6 under resterende målinger). Dette viser, at det kapillarbrydende lag under kælderen effektivt udligner koncentrationsforskelle under bygningen eller der er en rimelig ensartet koncentrationsfordeling i grundvandet under bygningen.

Geologiske parametre samt vandindhold er ikke målt i de enkelte punkter. Grunden er afgravet og fyldt med et rimeligt velsorteret sandlag. Variationen i kapillarkræfter, kornstørrelse, organisk indhold mv. er lille i velsorteret sand og derfor må disse parametres betydning for poreluftvariation også være mindre betydende.

1.3 Styrende faktorer – tidslig variation

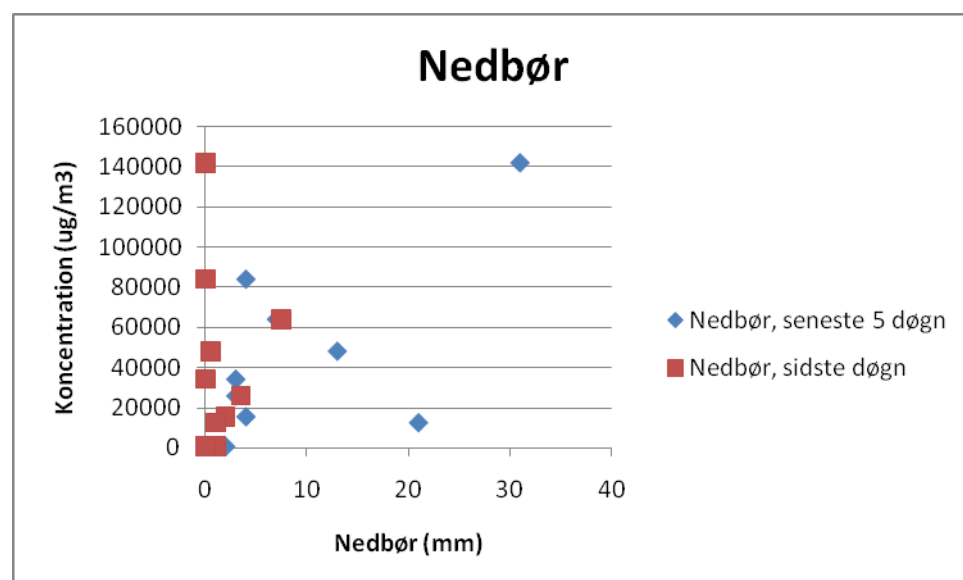
På målinger udført i perioden oktober 2003 til december 2004 er der observeret en tidslig variation på en faktor 1-3. Gentagne målinger er udført 2-3 gange i denne periode. Målingerne er udført 7-8 år efter afsluttet afværgepumpning.

1.3.1 Nedbør, infiltration og vandindhold

TDR-målinger på lokaliteten viser, at vandindholdet i de øvre lag er stort set konstante trods nedbør. Dermed forventes naturlige nedbørsmængder kun i begrænset omfang at påvirke variationerne i poreluftindholdet.

Vandindholdet i overjorden (0,5 m u.t.) er ca. 20 % v/v og vil dermed medvirke til at begrænse luftudvekslingen mellem atmosfære og umættet zone.

Figur 1.2 viser nedbørsmængde vs. koncentrationsniveau, hvoraf der ses at der ikke er indikationer for, at nedbør i de observerede mængder (op til 21 mm over 5 dage) påvirker koncentrationsniveauet i den umættede zone. På lokaliteten er nedbørsmængder på godt 20 mm over et til flere døgn dog vist at ændre vandindholdet i den øverste m af umættet zone. Ændringen giver ikke anledning til en mærkbar ændring i poreluftkoncentrationerne i umættet zone, hvilket underbygger at nedbør ikke har væsentlig betydning for koncentrationsvariationer i forureningens indhold i poreluften på lokaliteten.



Figur 1.2 Sammenhæng mellem nedbør og indhold i poreluften

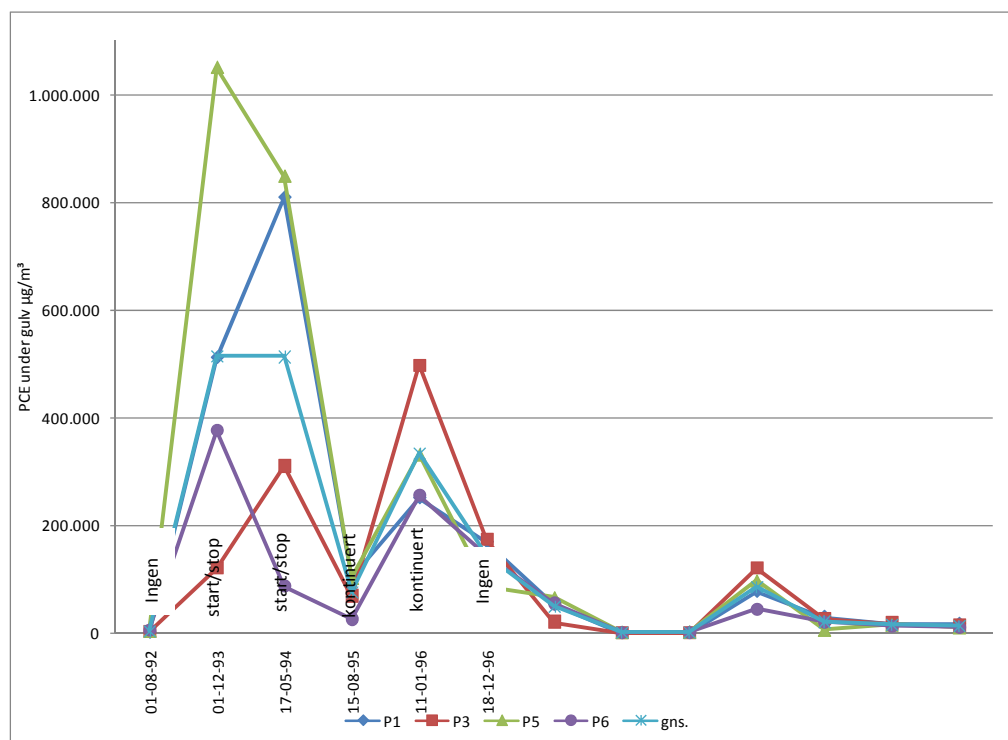
1.3.2 Jordtemperatur

Under gulv er der målt temperatur over en periode på 3-4 uger i 3 omgange i hhv. oktober, november og april. Heraf fremgår, at temperaturen ligger relativt stabilt på mellem 12 og 15 grader ved samtlige målinger. Der er ikke kendskab til temperaturen direkte i kildeområdet, men der forventes ikke store temperaturudsving her, idet kilden ligger tæt ved grundvandsspejlet. Temperaturudsvingene er dermed så små, at de ikke vurderes at øge fordampningen fra kildeområdet. Dette underbygges af, at der ikke ses

sammenhæng mellem middeldøgn-lufttemperaturen på måledage og målte koncentrationsniveauer.

1.3.3 Vandspejlsfluktuationer

Figur 1.3 viser koncentrationen over tid i perioden under og efter afværgepumpning. Heraf fremgår det, at koncentrationsniveauet ligger 1 til flere størrelsesordener højere under afværgepumpningen end efterfølgende, hvor et højere rovandsspejl formodes opnået. Dette er en klar indikation af, at afværgepumpningen blotlægger fri fase med deraf følgende højere koncentrationer i den umættede zone. Denne tendens forventes at kunne generaliseres. Således forventes, at man i områder med NAPL-fase vil finde koncentrationsniveauer over den forudgående middelværdi ved blotlægning af fri fase, f.eks. som følge af pumpning. Samme tendens formodes at forekomme ved blotlægning af residual fri fase eller væsentlige mængder af sorberet stof.



Figur 1.3 Koncentration i sonder over gulv som funktion af tiden.

Der er tilgængelige vandspejlsdata for målerunder foretaget omkring tidspunktet for afværgepumpningen. Der kan ikke udledes nogen sammenhæng mellem fluktuation i grundvandsspejlet og indholdet af PCE i poreluften i den periode, hvor grundvandsspejlet er afsænket. Ved blotlægningen af fri fase sker afdampning fra fasens overflade. Når toppen af den fri fase er blotlagt, forventes ikke at ske en væsentlig øgning i afdampning ved yderligere vandspejlssænkninger.

Herudover vurderes følgende elementer at have betydning for, at vandspejlsfluktuationer ikke ses at have betydning under oppumpningen:

- Under start/stop pumpning er registreret op til 18 cm forskel på grundvandsspejlet inden for et døgn. Da de aktuelle driftsforhold er

ukendte op til poreluftmåling og tidspunktet mellem poreluftmåling, og vandstandspejling ligeledes er ukendte, er der stor usikkerhed forbundet med at sammenkæde vandspejlspejlinger og poreluftindhold

- Ændringer i poreluftkoncentrationer som følge af vandspejlsfluktuationer forekommer langsomt efter blotlægning af fri fase, idet koncentrationsfald i poreluften forekommer langsomt efter blotlægning af fri fase.
- Vandspejlsfluktuationer vurderes på den pågældende lokalitet at have to modsatrettede indvirkninger på poreluftindholdet
 - a. Når vandspejlet falder blotlægges fase, hvilket får koncentrationsniveauet til at stige i målepunktet
 - b. Når vandspejlet stiger nærmer den opløste fase sig målepunktet, hvorved koncentrationsniveauet stiger (vurderes her for mindre betydende end a, idet den opløste fase har været i kontakt med fri fase og derved har et højt opløst koncentrationsniveau)

Der er ikke vandspejldata for de gentagne målinger efter afværgepumpningen og det er derfor ikke muligt at vurdere, hvorledes naturlige vandspejlsfluktuationer påvirker poreluftindholdet på den pågældende lokalitet. Samtidige målinger af PCE i poreluften og vandspejlsniveau i 2003/2004 i poreluftprojektet viser ikke en sammenhæng, hvilket tilskrives at de naturlige fluktuationer ikke har blotlagt fri fase. I det omfang at naturlige vandspejlsfluktuationer blotlægger residual fri fase forventes dette at give anledning til en til flere størrelsesordener i poreluftkoncentrationer.

I poreluftprojektet ses umiddelbart ingen sammenhæng mellem poreluftindholdet og en vandspejlsstigning på 10 cm i første målerunde. Afstanden mellem målepunkt og grundvandsspejl er ca. 1 m. Ud fra observationer på Fynsgade blev det vurderet at vandspejlsfluktuationers betydning mindskes med stigende afstande og er uden betydning ved afstande over 1 m.

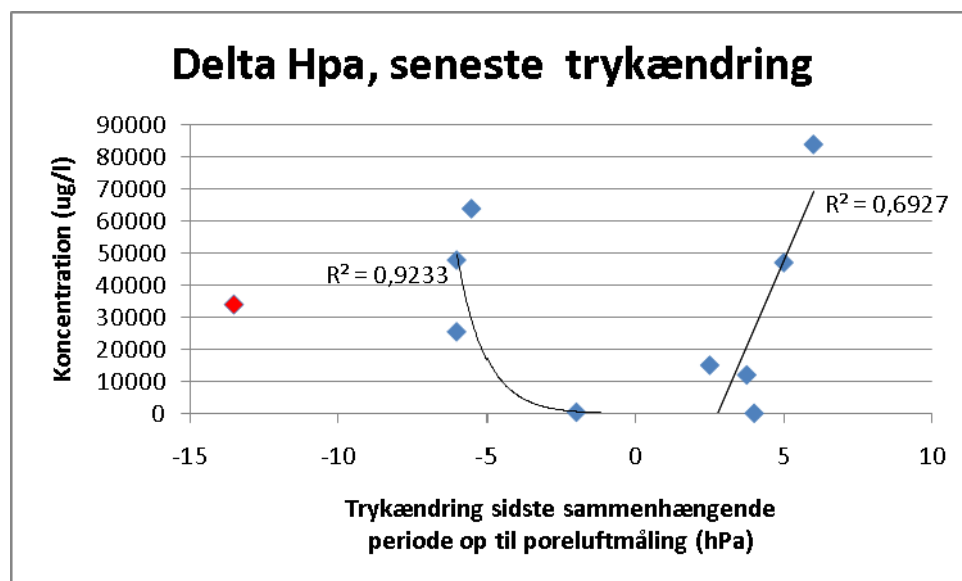
1.3.4 Differenstryk

Figur 1.4 viser koncentrationsniveauet i den umættede zone som funktion af de barometriske trykændringer de sidste 5 døgn før prøvetagningen.

Der ses ingen umiddelbar sammenhæng mellem barometriske trykændringer og koncentrationsniveauet i den umættede zone. Der er en svag tendens til at større relative trykændringer kan ses ved højere koncentrationsniveauer, men tendensen bæres op af få enkeltstående punkter. På denne baggrund vurderes det, at datagrundlaget er utilstrækkeligt til at af- eller påvise en sammenhæng mellem trykændringer og koncentrationsniveau på lokaliteten.

Konceptuelt er det på det nuværende videngrundlag kompliceret at afgøre, hvorledes barometertrykændringer påvirker målepunkter under bygninger. Idet der generelt er undertryk i bygninger, vil poreluftstrømningen, og dermed poreluftkoncentrationen i målepunkter under gulv være afhængig af bygningens influenszone og samspillet mellem trykforskelle i hhv. jord, atmosfære og bygning og permeabiliteten mellem de tre medier. Ved faldende barometertryk vil de to kræfter være ensrettede og man kan med sikkerhed

forvente en øget forureningsafdampning fra den evt. eksponerede frie fase samt grundvandsbårne forurening under gulv.



Figur 1.4 Indhold i poreluften af PCE som funktion af trykændringer.

I poreluftprojektet fra 2006 viste kontinuert måling af barometertryk, differenstræk og indhold af PCE under gulv og i umættet zone ingen sammenhæng mellem indhold og trykændringer.

1.4 Opsamling

På lokaliteten ses en rumlig variation på op til 1 størrelsesorden pr. 10 m med stigende afstand fra kildeområdet. Det betyder, at usikkerhed omkring en kildes eksakte placering og deraf følgende upræcise målelokaliteter, bør afføde brug af sikkerhedsfaktorer.

Rumlig variation under en bygning vurderes at være ekstremt afhængig af bygningens beskaffenhed. Data for Fredericiagade viser ikke tendens til øget eller mindsket poreluftvariation under bygninger, og det vurderes på den baggrund at der ikke er behov for en specifik sikkerhedsfaktor for poreluftvariation under en bygning – eller anderledes prøvetagningsprocedurer.

Nedbør er uden betydning på lokaliteten ved de målte nedbørsmængder under målerunderne. Det kan tilskrives, at nedbørsmængderne ikke påvirkede vandindholdet på lokaliteten i væsentlig grad. Dermed vurderes på baggrund af observationer på Fredericiagade at der ikke skal tilskrives en sikkerhedsfaktor til nedbørsforhold. Dette kan umiddelbart generaliseres til alle lokaliteter ved nedbørsmængder under ca. 7 mm/ 3 dage. Selv om der ikke er konstateret nogen sammenhæng, vil det være hensigtsmæssigt at undgå at måle lige efter eller under flerdagsregn på ubefæstede arealer, for at sikre, at der ikke forekommer en utilsigtet sammenhæng mellem nedbørsmængden og koncentrationsniveauet.

Blotlægning af residual fri fase ses at påvirke koncentrationsniveauet i umættet zone med 1 til flere størrelsesordener. Ved en evt. residual fri fase,

skal der tages højde for at usikkerheden på målingerne er forhøjet som konsekvens af evt. vandspejlsfluktuationers influens. Alternativt kan der foretages måling over en længere periode med kontinuert pejling og poreluftmåling til vurdering af vandspejlets influens af poreluftkoncentrationen. Ud fra denne viden kan kendskab til vandspejlets naturlige fluktuationer benyttes til at vurdere om en poreluftmåling ligger over eller under den sande middelværdi. Det er dog væsentligt at være opmærksom på, at der efter en evt. blotlægning er observeret langsomt aftagende aftryk.

Barometertrykændringer er på lokaliteten vist ikke at have betydning af væsentlig karakter.

2 Analyse af poreluftvariationer på Dalumvej

På lokaliteten har der været renseri siden 1955, renseriet er stadig i drift.

Forureningen er beskrevet ud fra undersøgelser omfattende i alt 90 jordprøver og 68 vandprøver på lokaliteten og nedstrøms, i alt 14 poreluftundersøgelser med mellem 1 og 22 punkter i perioden 1992 til 2006. Herudover er der udtaget en række jordprøver samt udført monitoring af grundvandet i forbindelse med de udførte afværgeforanstaltninger i 2002 og 2006.

2.1 Konceptuel model

Der er lokaliseret to kildeområder til forurening med PCE på lokaliteten, i det følgende benævnt kildeområde 1 og 2. Beliggenhed af kildeområde 1 og 2 fremgår af figur 2.1.

Kildeområde 1 er lokaliseret under og øst for renseribygningen. Kilden til forureningen er især spild fra renserimaskine og aktiviteter i renseribygningen, oplag af bl.a. renseriaffald øst for renseribygningen samt lækager i kloakken fra renseribygningen, som løber nord for renseribygningen. Forureningen i jord er lokaliseret fra terræn i spildområder under renseribygningen og øst for denne, mens forureningen ved kloakbrønd ved det nordøstlige hjørne af renseribygningen begynder fra omkring 2,5 m u.t.

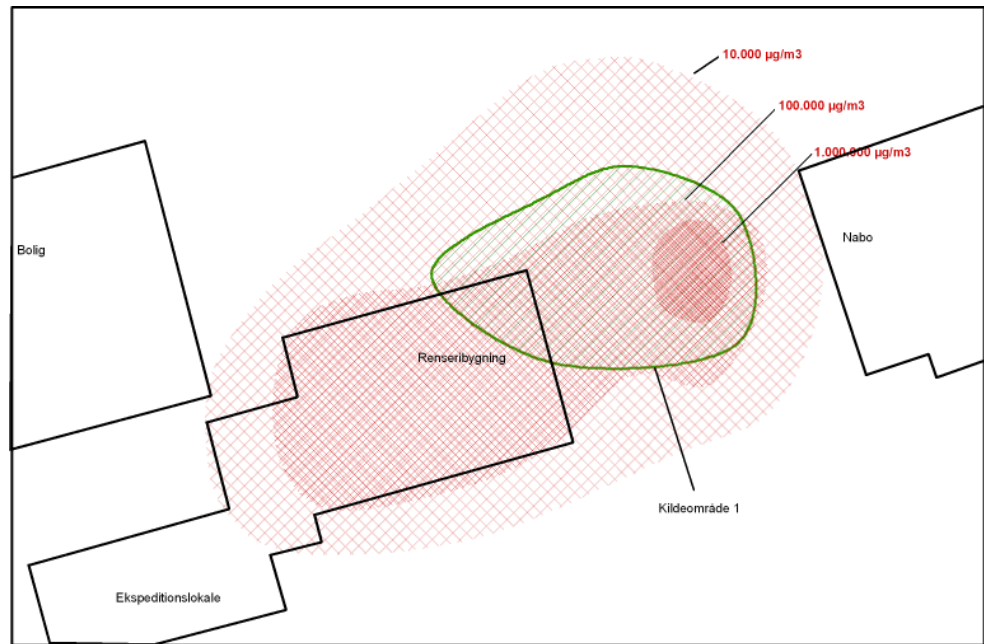
Der er indikationer på residual fri fase af PCE i kildeområdet øst for renseribygningen. Under parkeringsareal længere øst for renseribygningen er højeste indhold i poreluften påvist. Det er usikkert hvad kilden er, men det vurderes sandsynligt, at oplag/håndtering af rensevæske, udledning til jorden eller lignende er kilden til forureningen.

Kildeområde 2 er lokaliseret ved kloakbrønd i området mellem renseriet og boligen, nordvest for renseribygningen. Forureningen er kraftigst ved kloakbrønd samt ved en tidligere kloakledning under renseribygningen, hvor der er påvist lækager. Endvidere er påvist høje koncentrationer i jord langs kloakledningen mellem Dalumvej og kloakbrønden. Der er tale om residual fri fase af PCE. Højeste koncentrationer træffes 2,5-7,5 m u.t. Forureningen i jorden ses fra 2,0 til 9,0 m u.t.

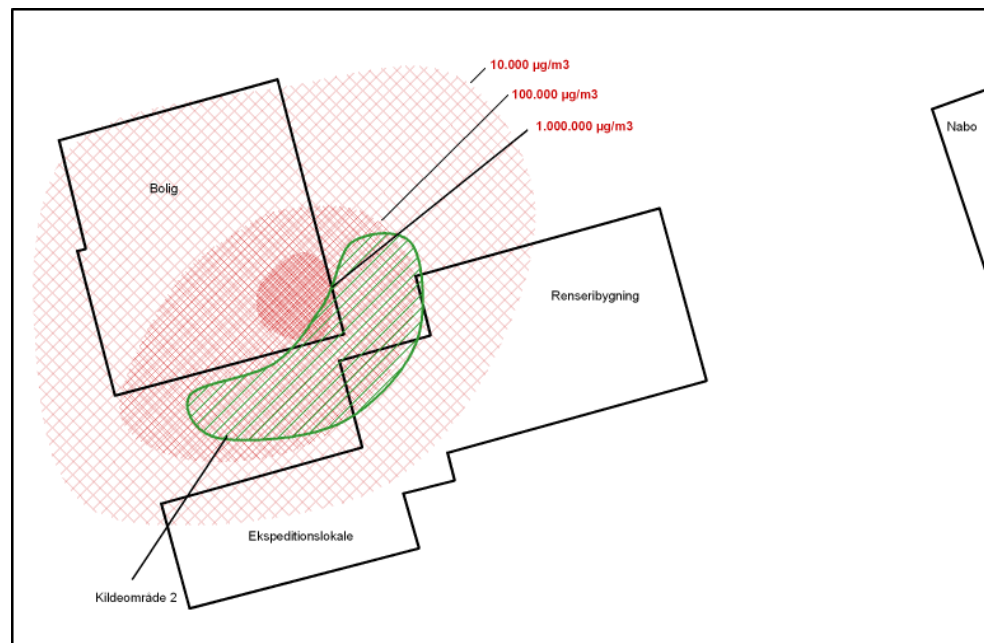
I kildeområderne er der sket en spredning til det terrænnære grundvand, knyttet til sandlirer og tynde sandstriber/sandlag i moræneler. I det terrænnære grundvand er der sket en spredning af forureningen mod nordøst i nedstrøms retning. Undersøgelserne har vist, at i den centrale del af forureningsfanen fra kildeområde 1 er der kraftigere forurenede få meter længere nede i det terrænnære grundvand end i toppen.

Afdampning kan foregå ved diffusiv og advektiv transport fra kilderne i umættet zone eller via afdampning fra den opløste fase i det terrænnære grundvand. Udbredelsen i poreluften viser, at påvirkning fortrinsvis stammer fra kilderne i umættet zone og kun i begrænset grad er påvirket af afdampning fra grundvand.

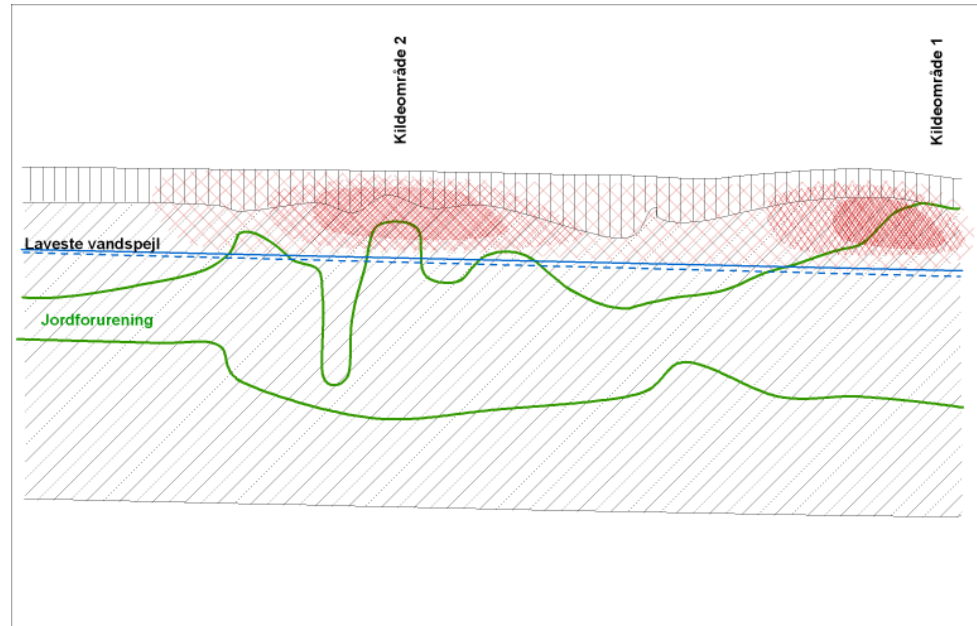
I figur 2.1 og 2.2 er den konceptuelle model, horisontal plan for hhv. kildeområde 1 og 2 vist. I figur 2.3 er den konceptuelle model, vertikal plan for forureningen med PCE vist.



Figur 2.1 Konceptuel model, horisontal plan for kildeområde 1. Poreluftforureningen stammende fra kildeområde 1 er vist for undersøgelser indtil 2001.



Figur 2.2 Konceptuel model horisontal plan for kildeområde 2. Poreluftforureningen fra kildeområde 2 er vist for undersøgelser fra 2003 efter afværgeforanstaltning ved kildeområde 1



Figur 2.2 Konceptuel model, vertikal plan.

Lokaliteten er delvis befæstet med bygninger, indkørsel m.m. En del af ejendommen anvendes til have. I nedstrøms retning over forureningsfanen er områder fortrinsvis ubefæstet.

2.2 Styrende parametre – rumlig variation

2.2.1 Kildeområde 1

Undersøgelser af poreluft på ejendommen i perioden 1994-2001 og inden udførelsen af afværgeforanstaltning har alle vist en rumlig fordeling med de højeste koncentrationer øst for renseribygningen. Undersøgelserne har ligeledes vist en faldende koncentration med afstanden fra dette område.

Indholdet i poreluften falder ensartet radialt fra området med de højeste koncentrationer, således at forstå, at den rumlige variation mellem de enkelte punkter i samme afstand fra dette område, rumligt varierer meget lidt, generelt under $\frac{1}{2}$ størrelsesorden over 2,5-5 m mellem målepunkter.

Fra området med de højeste koncentrationer falder indholdet 4 størrelsesordener mod øst og syd over ca. 10 m. Denne reduktion stemmer overens med forventningerne jf. bilag A. Øst og syd for kildeområde sker afdampningen alene fra kilden i umættet zone, idet der ikke er en grundvandstransporteret forurening i disse retninger.

Mod vest ind under bygningen ses et fald på 3 størrelsesordener over 25-30 m, dvs. 1 størrelsesorden over 10 m. Mod nord ses et fald på 3 størrelsesordener over 10-15 m. Den mindre rumlige variation nord for renseribygningen vurderes at skyldes bidrag fra forureningen i både kildeområde 1 og 2 samt afdampning fra forureningen i det terrænnære grundvand, som spredes mod nordøst.

Den overfladenære udbredelse af stofferne fra området med de højeste koncentrationer er irregulær, med en væsentlig større udbredelse mod vest ind under renseribygningen og ekspeditionslokalet. Årsagen til dette vurderes at være bidrag fra både forureningen i kildeområde 1 og kildeområde 2, samt evt. at overfladen er befæstet i forhold til nord for bygningen (have).

Forureningen i kildeområde 1 er som nævnt sket delvist fra spild, dvs. fra overfladen, hvor forureningen træffes i umættet zone. I kildeområde 2 er forureningen overvejende sket fra bund af kloak, dvs. under grundvands-spejlet. På trods af et højere forureningsniveau i jord og terrænnært grundvand i kildeområde 2 betinger beliggenheden af forureningen en mindre afdampning fra kildeområde 2 end fra kildeområde 1. Dette forklarer hvorfor der ses et fald i koncentrationerne fra kildeområde 1.

I forbindelse med de gennemførte undersøgelser indtil 2001 af kildeområde 1 er kildeområde 2 ikke lokaliseret, dette på trods af en historisk gennemgang og flere poreluftmålinger i kildeområde 2 i forbindelse med undersøgelse af kildeområde 1.

2.2.2 Kildeområde 2

Ved boligen er der lokaliseret et kildeområde ved kloakbrønd med tilledende kloakstreng fra renseriet. Endvidere er der fundet forhøjede poreluftkoncentrationer langs kloakstrengen fra kloakbrønden. Forureningen i poreluften er udbredt over et større areal og den rumlige variation er 1-2 størrelsesorden over 5-10 m. Variationen vurderes at udtrykke kildens udbredelse langs kloakken.

2.2.3 Fanen

Forureningen har som nævnt givet anledning til en forurening af det terrænnære grundvand mod nordøst. I kildeområde 1, øst for renseribygningen er truffet indhold af PCE i det terrænnære grundvand på 58.000 µg/l. Ca. 20 m nedstrøms kildeområde 2 er der påvist indhold af PCE på op til 87.000 µg/l. Umiddelbart nedstrøms ejendommen mod nordøst, dvs. nedstrøms både kildeområde 1 og 2 er der truffet indhold i det terrænnære grundvand omkring 2.000-4.000 µg/l.

Ca. 50-70 m nedstrøms bliver forureningsfanen sammenblandet med forureningsfanen med PCE fra Dalumvej 28.

Forureningen i poreluften er set at udbrede sig mod nordøst og følger således forureningsfanen i det terrænnære grundvand fra Dalumvej 34B. Indholdet reduceres med 4 størrelsesorden over ca. 60 m fra kildeområdet udenfor ejendommen. Dette betyder således, at i en afstand af ca. 60 m fra kildeområde 1 og 2 er indhold af PCE i poreluften generelt under 100 µg/m³. Højeste indhold i poreluften følger som forventeligt forureningsfanen fra kildeområde 2, hvor de højeste koncentrationer i jord og terrænnært grundvand er truffet.

Længere nedstrøms stiger indholdet i poreluften igen, hvilket skyldes afdampning fra forureningsfanen stammende fra Dalumvej 28.

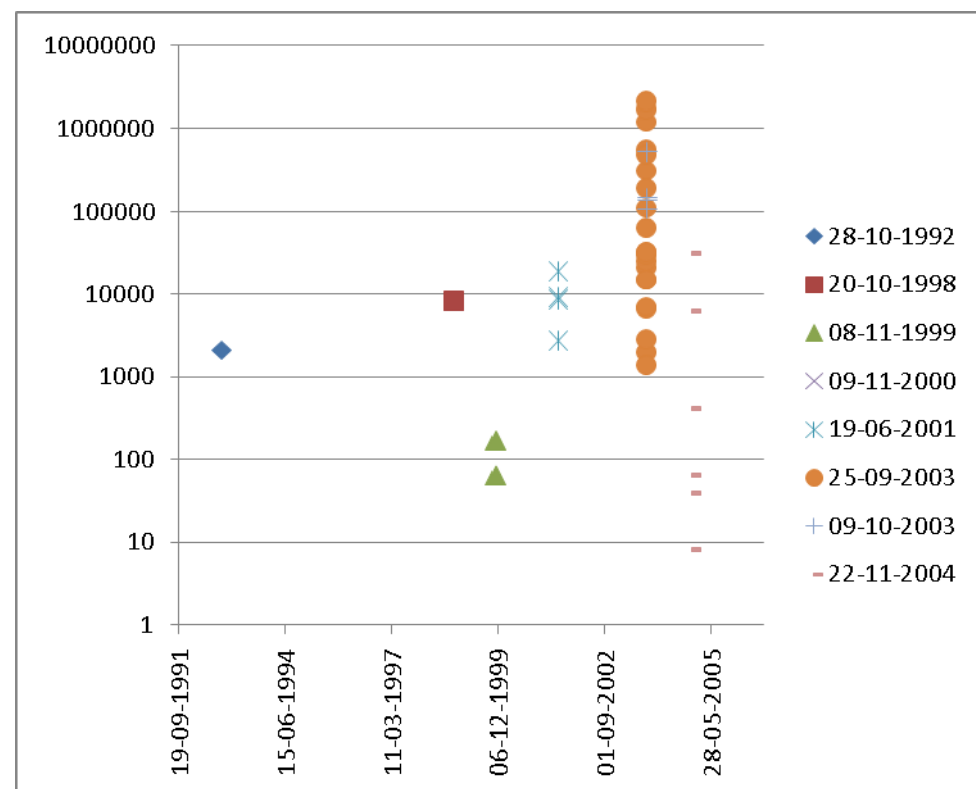
Udbredelsen i poreluften som følge af forureningen i det terrænnære grundvand er begrænset. Dette skyldes, at der er tale om en opløst forurening i fanen, der med større afstand dykker bl.a. pga. af nedsivende regnvand. Diffusionen sker fra koncentrationen i toppen af magasinet, hvilket betinger at afdampningen fra forureningsfanen er meget begrænset.

Ligeledes er det målte indhold i poreluften størrelsesordener lavere end der kan estimeres ud fra det målte indhold i grundvandet, hvilket skyldes, at diffusionen er lavere i vand og at koncentration i toppen af magasinet er mindre pga. nedsivende regnvand.

Både rumligt og tidsligt ses en lille variation i poreluften over forureningsfanen, under 1 størrelsesorden. Største variation ses rumligt som følge af afstand bort fra den centrale del af forureningsfanen i det terrænnære magasin

2.3 Styrende parametre – tidslig variation

Der er ikke foretaget gentagen måling i samme punkt. Tidslige variationer er derfor vurderet på baggrund af målinger udført med en lille afstand. De målte indhold i kildeområde 2 er vist i figur 2.4.



Figur 2.4 Indhold i poreluften ved kildeområde 2

Umiddelbart øst for renseribygningen er der observeret en tidslig variation på 1 størrelsesorden mellem måling i oktober 1992 og juni 2000. Ved måling i november 1999 og juni 2000 er observeret samme indhold.

Øst og vest for, samt under gulv af boligen, er der observeret en tidslig variation på 1-2 størrelsesorden mellem det målte indhold i perioden 1992 til

2001 og måling i 2003. Størst forskel i indhold observeres mellem 1992 og 2003. Højeste indhold er truffet i 2003. Indhold af PCE under gulv af boligen er væsentlig lavere i november 2004 end målinger udført i 2003. Indholdet i 2004 er på niveau med indholdet i 1999.

Meteorologiske data for prøvetagningerne i kildeområde 2 er vist i tabel 2.1.

Tabel 2.1 Meteorologiske data ved poreluftmålinger ved kildeområde 2

	Nedbør, 5 sidste døgn mm	DMI beskrivelse	Tryk hPa	Trykpassage
28/10 1992	?		?	?
20/10 1998	20		Lavtryk, 1010	Mindre lavtryk efter højtrykspassage
8-9/11 1999	<5	Forholdsvis varm og tør november	Højtryk, 1020	Højtrykspassage
9/11 2000	15	Meget varm november	Lavtryk, 992	Højtrykspassage
19/6 2001	10	Temmelig kold juni	Højtryk, 1020	Højtrykspassage
25/9 2003	<5	Temmelig varm, solrig og tør september	Højtryk, 1029	Højtrykspassage
9/10 2003	15	Solrig og kølig oktober	Lavtryk, 998	Mindre højtrykspassage
22/11 2004	15	Forholdsvis varm november med underskud af nedbør og overskud af sol	?, 1014	Mindre højtrykspassage

Der er ingen umiddelbar sammenhæng mellem de meteorologiske data i form af nedbør, høj- eller lavtryk og høj- eller lavtrykspassager og tidlige variationer.

Der foreligger ikke sammenhørende pejlinger af det terrænnære grundvand med de udførte poreluftmålinger. Ved måling i 1999 og 2001 stod det terrænnære grundvand i hhv. kote ca. 12,7 og 12,8 m DNN. Ved de to målerunder i marts og september 2003 stod vandspejlet ca. i kote hhv. 12,6 og 12,3 m DNN, dvs. 0,1-0,5 m lavere. I maj 2004 stod vandspejlet mellem kote 12,7 og 13 m DNN, dvs. højere end i 1999 og 2001. Der foreligger ikke pejlinger omkring november 2004. Det vurderes sandsynligt at et lavere vandspejl medfører blotlægning af residual fri fase af PCE i kildeområde 2, hvilket medfører en større afdampning til poreluften, hvilket forklarer de højere koncentrationer i september 2003.

2.4 Opsamling

Indhold i poreluften over en opløst forureningsfane er meget begrænset i forhold til det estimerede indhold ud fra indholdet i grundvand, hvilket skyldes rent grundvand i toppen af grundvandet bl.a. fra nedsivende regnvand. Dette betyder at udbredelsen i poreluften er mindre end udbredelsen i det terrænnære grundvand.

Et lavere vandspejl betyder en øget afdampning til umættet zone, når residual fase eller kraftig forurenede ler blotlægges. Der er observeret 1-2 størrelsesorden stigning i koncentration ved 0,1-0,6 m lavere vandspejl.

Historik og gentagne poreluftundersøgelser omkring kildeområde 2 lokaliserede ikke dette kildeområde på trods af en vurderet rimelig god historik og flere supplerende poreluftundersøgelser. Generelt forventes dette ikke at være tilfældet på de fleste grunde.

3 Analyse af poreluftvariation, Fynsgade

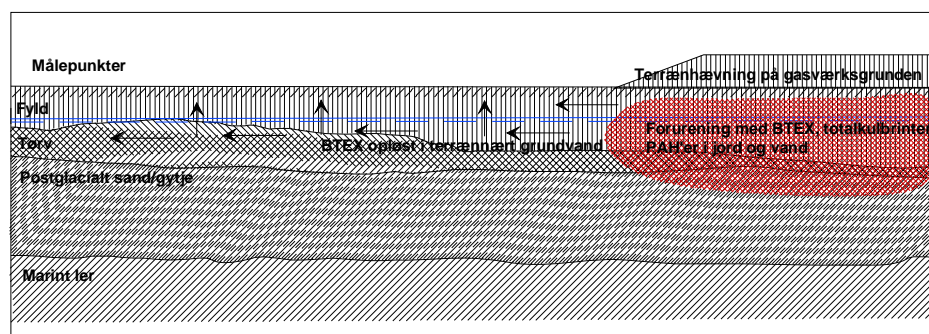
Lokaliteten er en tidligere gasværksgrund, der er forurenet med BTEX, kulbrinter og PAH'er. Forureningen er beskrevet ud fra 11 jordprøver på grunden, i alt 17 vandprøver på og nedstrøms grunden i 6 borer, 15 og 6 poreluftprøver i 1994 hhv. på og nedstrøms grunden, samt 5 permanente målepunkter nedstrøms lokaliteten mod syd og vest på naboarealer i en afstand på 10-40 m fra skelgrænsen. Der er udført 3 målerunder, 2 i november 2007 og 1 i februar 2008.

Måleresultater fra 1994 udelades af sammenligningen da datagrundlaget, herunder undersøgte parametre og undersøgelseskvalitet, ikke er tilstrækkeligt til, at det vurderes rimeligt at foretage en sammenligning.

3.1 Konceptuel model

Hele den centrale del af gasværksgrunden er forurenet og udgør kildeområdet. Gasværksgrunden er i dag kunstgræsbane uden infiltration etableret ovenpå tidligere asfalt og ca. 70 cm jord. Poreluftmålinger er foretaget under fortrinsvis befæstet areal.

I figur 3.1 er den konceptuelle model for forureningen med BTEX vist.



Figur 3.1 Konceptuel model for Fynsgade

Afdampning kan foregå fra den opløste fase i det terrænnære grundvand eller ved diffusiv og advektiv transport fra kilden i umættet zone.

Da afstanden mellem kildeområde og målepunkter er 100-500 gange større end afstand mellem terrænnært grundvand og målepunkter vurderes terrænnært forurenet grundvand at være den primære kilde til forekomst af BTEX i poreluften i de 5 målepunkter nedstrøms lokaliteten.

Forureningen i det terrænnære grundvand strømmer fra gasværksgrunden mod syd til sydvest til naboarealerne. Forureningsfanen er alene på opløst form i grundvandet. Fra grundvandet afdamper forurening med BTEX til poreluften i overliggende fyld og postglaciale aflejringer i tørv.

Forureningsfanen forventes at være meget bred, da store dele af den tidligere gasværksgrund er forurenede.

Resultaterne fra undersøgelsen belyser dermed en opløst BTEX forurening, der afdamper fra terrænnært grundvand til fyld under et befæstet område.

3.2 Styrende faktorer – rumlig variation

De højeste koncentrationer på den tidligere gasværksgrund af både BTEX og totalkulbrinter er truffet på den centrale del. De laveste indhold er truffet på den nordlige del af gasværksgrunden. Højeste koncentrationer er påvist i tilknytning til forureningskilderne. På store dele af den tidligere gasværksgrund ses en rumlig variation op til 1 størrelsesorden over 50 m, svarende til en forurening over hele grunden. Den rumlige variation skal ses i forhold til at afstanden mellem målepunkterne er mindst 7 m, og i de fleste tilfælde over 15 m.

Den opløste fane i det terrænnære grundvand og dermed kilden til BTEX i poreluften nedstrøms er beskrevet ud fra 3 boringer ved skel, en nordvestlig drænbrønd og 2 boringer hhv. syd og sydvest for lokaliteten. Højeste indhold af BTEX i de 5 målesonder er påvist sydvest for den tidligere gasværksgrund, med faldende indhold i sonder mod øst. I boring sydvest for den tidligere gasværksgrund er påvist højeste indhold af BTEX i det terrænnære grundvand. Umiddelbart er der sammenhæng mellem indhold i det terrænnære grundvand og indhold i poreluften.

Kildestyrke i fanen, såvel som udbredelse er utilstrækkelig undersøgt med baggrund i de lave antal boringer og den rumlige variation i poreluften kan derfor ikke relateres til det målte indhold af BTEX i den terrænnære forureningsfane i to boringer. Vandprøverne er endvidere udtaget fra 2 meter filtre, hvor vandspejlet i de fleste tilfælde står over top af filter. Afdampning sker fra toppen af grundvandet således at indhold i poreluften kun afspejler indhold i toppen af det terrænnære grundvand. Koncentrationen i større dybde i grundvandet afspejles ikke pga. lav diffusionshastighed i vandfasen.

3.2.1 Gentagne målerunder

Generelt kan den samme rumlige fordeling observeres i de tre målerunder. De gentagne målinger i samme målepunkter har dermed givet en øget sikkerhed på forureningens rumlige fordeling.

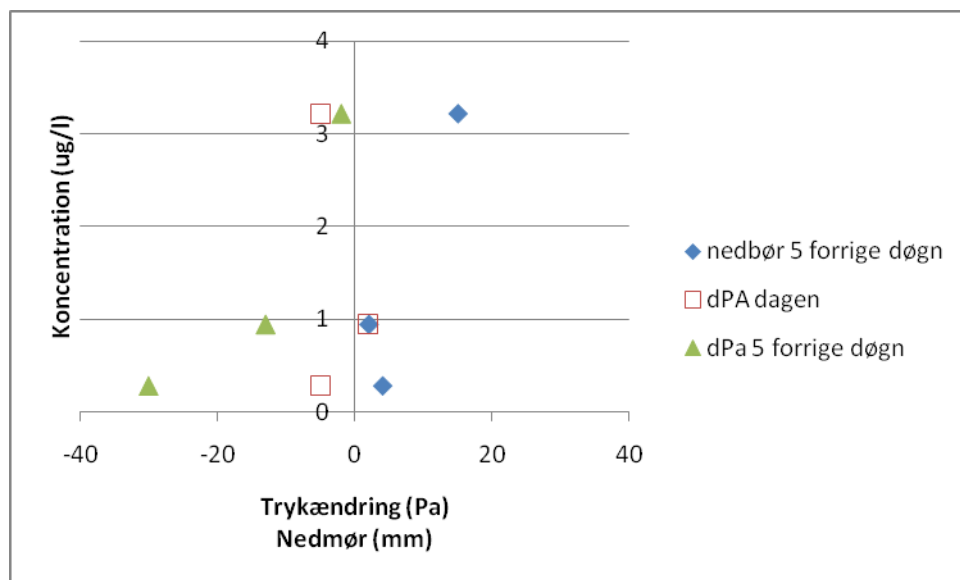
Der er en afstand mellem målepunkterne på 20-50 m, hvilket betyder, at ændringer i koncentrationsindhold i det terrænnære grundvand ikke kendes som følge af årstidsvariationer og/eller ændring i strømningsretning, og dermed fanens beliggenhed mellem målepunkterne.

3.3 Styrende faktorer – tidslig variation

I dette afsnit gennemgås de faktorer, der kan have betydning for poreluftvariationen på Fynsgade i det omfang, det er muligt, på det eksisterende datagrundlag.

3.3.1 Nedbør, infiltration, vandindhold og trykændringer

Arealet er befæstet, hvorfor der ikke forventes større udsving i vandindhold i jorden. Nedbør forventes ligeledes ikke at infiltrere i større mængde. Nedbør og vandindhold har derfor ingen betydning for de tidlige variationer i poreluften, hvilket fremgår af figur 3.2. Ændringer af trykket i atmosfæren forventes ligeledes ikke at have betydning for koncentrationen i poreluften, da arealet er befæstet, jf. figur 3.2.

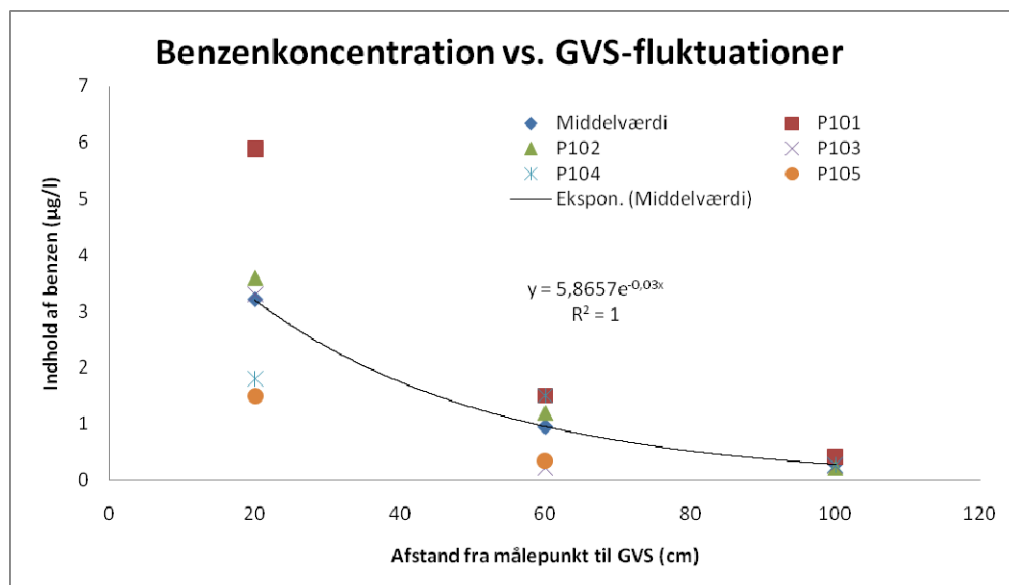


Figur 3.2 Indhold i poreluften som funktion af trykændring og nedbør

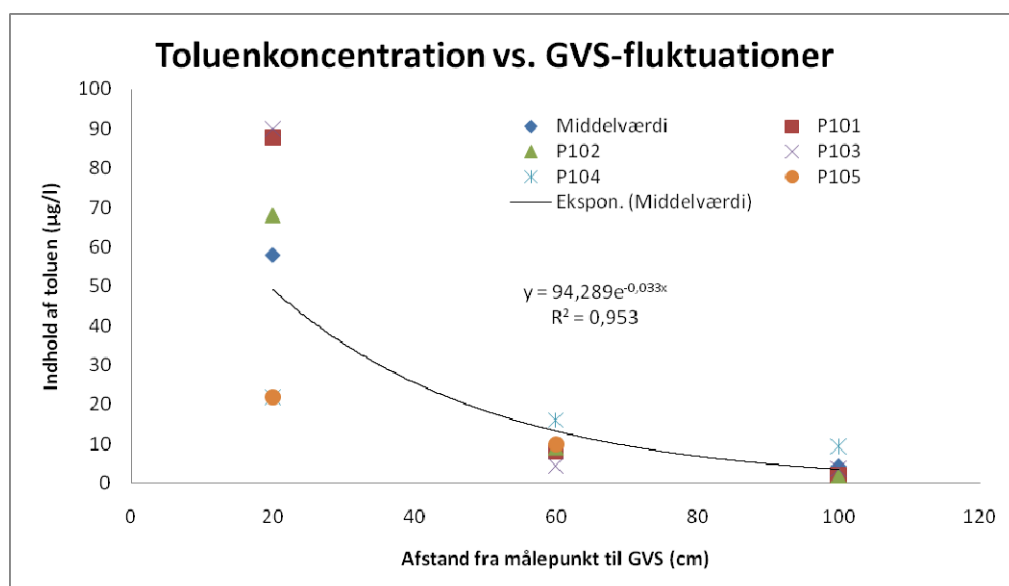
Kilden til forureningen er grundvandsbåren, hvorfor temperaturen er ensartet over året, således at temperaturvariationen over året ikke har betydning for afdampningen fra det terrænnære grundvand.

3.3.2 Vandspejlsfluktuationer

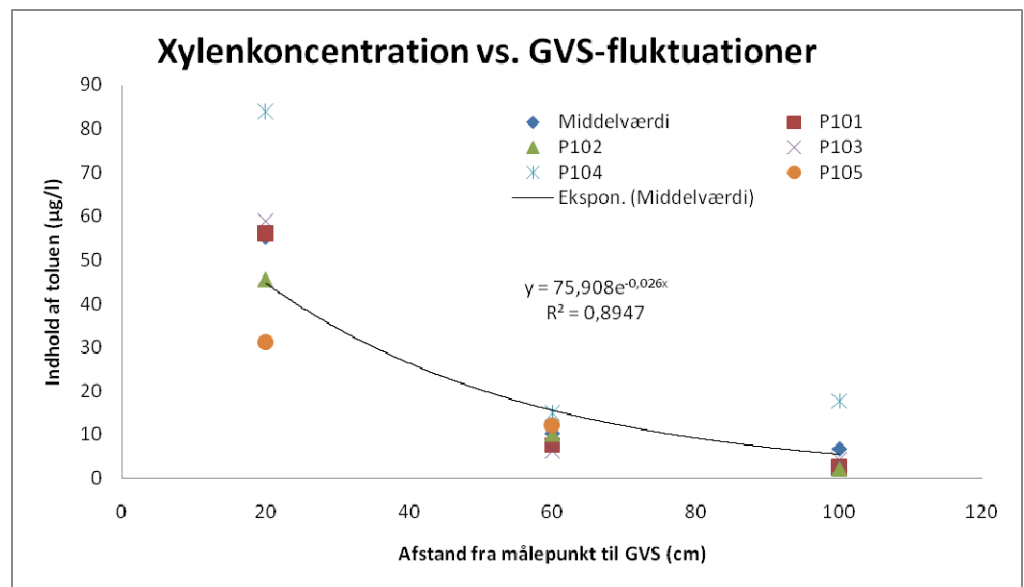
I forbindelse med de 3 målerunder er vandspejl af det terrænnære grundvand målt. Sammenhængen mellem afstand fra vandspejlet og indhold i målepunkterne samt det gennemsnitlige indhold i poreluften er vist i nedenstående figur 3.3.



Figur 3.3 Benzen som funktion af afstand fra målepunkt til vandspejl



Figur 3.4 Toluen som funktion af afstand fra målepunkt til vandspejl



Figur 3.5 Xylener som funktion af afstand fra målepunkt til vandspejl

Med R-værdier på 0,89-1 ses en klar eksponentiel sammenhæng mellem mindsket indhold og øget afstand mellem målepunkt og grundvandsspejl. Det er forventeligt, da den umættede zone forurening skyldes afdampning fra grundvandsspejlet.

Under ubefæstede overflader aftager poreluftindholdet eksponentielt fra overfalden af vandspejlet til 0 i terræn. Under befæstede overflader vil koncentrationsprofilen fra overfalden af vandspejlet til terræn blive udlignet, således at koncentrationen er tilnærmelsesvis ens over dybden, med mindre stofferne nedbrydes.

Sammenhængen mellem afstanden til vandspejl og koncentrationen af BTEX i målepunkterne viser, at koncentrationsprofilen opfører sig som for et ubefæstet areal. Det kan enten skyldes, at det befæstede areal er luftgennemtrængeligt eller at der ikke er opnået stationære forhold med et konstant poreluftindhold over hele dybden, eller at stofferne nedbrydes i den umættede zone.

Størrelsen af de tidlige variationer som følge af vandspejlsfluktuationer afhænger af koncentrationen i kilden (toppen af grundvandet) og dermed indhold i poreluften umiddelbart over vandspejlet og koncentrationsgradienten over afstanden til vandspejlet. Jo større indholdet i poreluften er umiddelbart over vandspejlet, jo større koncentrationsgradient og dermed større variation i koncentrationen som følge af vandspejlsfluktuationer, hvilket ses i ovenstående figurer.

Når korteste afstand mellem målepunkt og grundvandsspejl er over en meter er vandspejlsfluktuationer ikke længere betydende for poreluftvariationer, jf. den eksponentielle tendens på Fynsgade.

3.3.3 Variationer i grundvandskoncentrationer

Der er påvist koncentrationsforskelle på en faktor 2-3 i grundvandet under gasværksgrunden og nedstrøms over periode på 2-3 måneder. Denne koncentrationsforskel forventes at blive afspejlet af en tilsvarende koncentrationsforskel i poreluften. Grundvandskoncentrationen er ikke målt

på samme tid og sted som poreluftmålingerne og faktorens betydning kan derfor ikke undersøges. Erfaringsmæssigt forventes ikke størrelsesordners koncentrationsforskelle i grundvandet. Derfor kan poreluftvariationen ikke alene tilskrives denne faktor.

3.4 Opsamling

Kildekarakterisering og gentagne målerunder

De 3 målerunder viser samme rumlige fordeling. Det viser at forureningsfanen i det terrænnære grundvand ikke flytter sig i et omfang, der registreres i de 5 målepunkter. Derved er usikkerheden på den rumlige fordeling mindsket i forbindelse med de gentagne målerunder. Dette kan generaliseres til øvrige poreluftundersøgelser:

- Flere målerunder i samme punkter mindsker usikkerheden på forureningens rumlige fordeling. Dette gælder vel at mærke, hvis antallet af målepunkter er tilstrækkeligt til at karakterisere fanen og vurderer evt. ændringer i faneretning (især vigtigt med de smalle chlorerede faner).

Kildekarakterisering

Forureningsfanen i grundvandet er ikke karakteriseret, hvilket øger usikkerheden på at observere den rumlige variation i poreluften. Derved er det ikke muligt at vurdere udstrækningen af poreluftvariationen og i hvilken grad det aftager fra kildeområdet (her den grundvandsbårne forureningsfane). Dette kan generaliseres til øvrige poreluftundersøgelser:

- Hvis kildeområdet ikke er karakteriseret, her den grundvandsbårne fanes rumlige variation, øges usikkerheden på poreluftens rumlige variation betydeligt.

På det eksisterende datagrundlag er det ikke muligt, at vurdere hvilken størrelsesorden sikkerheden på den rumlige variation mindskes med ved kendskab til en fanes rumlige variation (gentagne poreluftmålinger og/eller kendskab til strømningforhold og variationer heri).

Vandspejlsfluktuationer

På Fynsgade viser de 3 målerunder for benzen, toluen og xylener, at vandspejlsfluktuationers indvirken på stofindholdet bliver ubetydeligt (mindre end en faktor) ved afstande over ca. 1 m mellem målepunkt og højeste grundvandsspejl.

Omvendt kan fluktuationer i grundvandsspejlet føre til poreluftvariation på op til 1-2 størrelsesordener, når afstand mellem målepunkt og grundvandsspejl er mindre end 1 m. På baggrund af den gode datasammenhæng vurderes det, at resultaterne fra Fynsgade kan generaliseres som følger:

- Ved afstande under ca. 1 m fra vandspejl til målepunkt kan vandspejlsfluktuationer føre til poreluftvariationer på op til 1-2 størrelsesordener. Poreluftvariationens størrelse vil også afhænge af koncentrationsniveauet i grundvandet, og dermed koncentrationsgradienten i umættet zone, således at størst variation vil observeres ved høje koncentrationer øverst i grundvandet og i kapillærzonen.

- Hvis prøver tages mere end 1 m fra vandspejl og der er tale om en minimumsafstand (normalt ses vandspejlsfluktuationer op til 1-2 m), kan en sikkerhedsfaktor på vandspejlsfluktuationer udelades.
- Med en viden om afstand mellem målepunkt og grundvandspejl (i forhold til normal-vandspejlet), kan man vurdere hvorvidt en måling ligger over eller under den sande gennemsnitskoncentration.

4 Analyse af poreluftvariationer på Slotsherrensvej

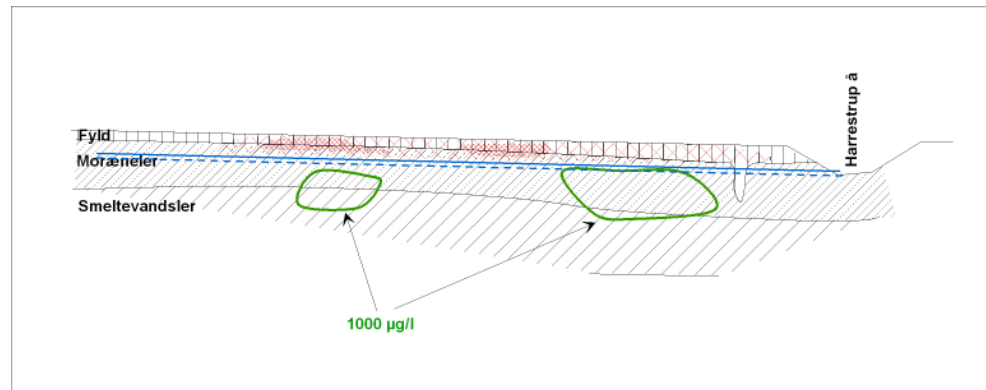
På grunden har der været metalforarbejdende virksomheder i perioden 1961 til omkring 2002. Der er udført 5 undersøgelser af indhold af chlorerede opløsningsmidler i poreluften med mellem 5 og 22 punkter i år 2005 og 2006. Der er ikke foretaget gentagne målinger i samme punkt.

4.1 Konceptuel model

Der er ikke fundet et klart afgrænset kildeområde, men et større diffust kildeområde, sandsynligvis stammende fra flere spild. Det er ikke muligt at udpege de enkelte kildeområder på baggrund af det foreliggende materiale. Højeste koncentrationer er påvist under den sydlige del af den tidligere bygning samt umiddelbart syd og øst herfor, herunder ved udendørs oplag sydøst for den tidligere bygning. Konceptuel model er vist i figur 4.1 og 4.2.



Figur 4.1 Konceptuel model, horisontal t plan. Forureningsudbredelse i hhv. grundvand og poreluft.



Figur 4.2 Konceptuel model, vertikal plan

Eventuel forurening, herunder eventuelle kildeområder nord og øst for den tidligere bygning er ikke kendt, da der ikke er foretaget målinger der. Det kan ikke afvises, at der findes kilder til forurening i disse områder.

Der er umiddelbart syd for den tidligere bygning påvist mobil og residual fri fase af chlorerede opløsningsmidler i grundvand, samt koncentrationsniveauer i poreluft, der indikerer fri fase. Der er en tendens til højeste koncentrationsniveau mest terrænnært i kildeområderne. Fra de forskellige kildeområder forventes at der er sket en nedsivning af fri fase til det terrænnære grundvand, som er beliggende ca. 2 m u.t. Forureningen i det terrænnære grundvand er spredt mod øst til sydøst, hvilket stemmer med en grundvandsstrømning mod åen. Forureningsfanen i det terrænnære grundvand er bred og viser en udbredelse fra nordøst til sydøst. Den brede fane vurderes at være udtryk for flere kilder med chlorerede opløsningsmidler.

Poreluftforureningen er knyttet til vekslende aflejringer af fyld, muld, organiskholdige postglaciale aflejringer samt morænesand og moræneler. Poreluftmålingerne er primært udført i morænesand/moræneler. Det er ikke oplyst i hvilke aflejringer, de enkelte målinger af poreluft er udført.

I kildeområdet, hvilket svarer til store dele af den syd- og østlige del af grunden, stammer poreluftforureningen formodentlig fra en afdampning fra forurening i umættet zone og til dels en afdampning fra det terrænnære grundvand. Længere mod øst og syd stammer afdampningen i højere grad fra det terrænnære grundvand og i mindre grad fra forureningen i umættet zone.

Området er overvejende befæstet, med bevoksning langs skel.

4.2 Styrende faktorer - rumlig variation

Poreluftforureningen er ikke undersøgt i umættet zone mod nord, nordvest, vest og sydvest for den tidligere bygning. Forureningsens udbredelse er belyst mod øst, sydøst og syd. Udbredelsen i poreluften er således undersøgt svarende til udbredelsen i det terrænnære grundvand.

Der er rimelig overensstemmelse mellem udbredelsen i poreluften og i det terrænnære grundvand mod øst og syd. I borer, som er filtersat over flere niveauer, observeres uden undtagelse højeste koncentrationer i øverste filter.

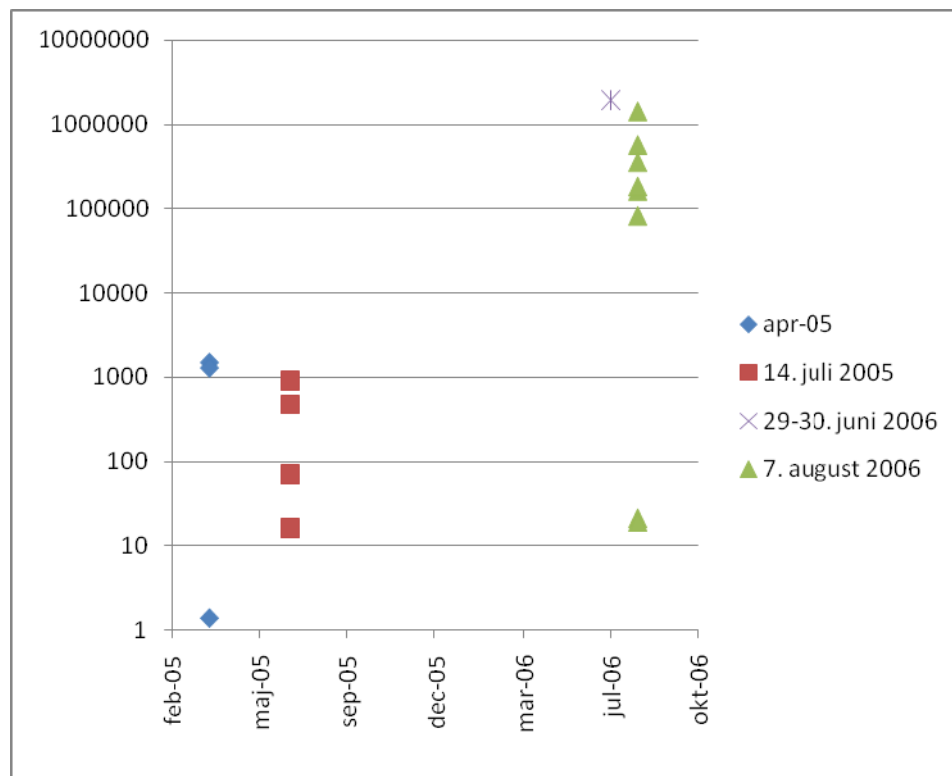
Der er stor rumlig variation i poreluftkoncentrationer for målinger foretaget i samme målerunde. Der ses op til 2-3 størrelsesordeners forskel over 6-10 m. De store variationer vurderes at udtrykke faldende koncentration fra enkelte kildeområder i umættet zone.

Under gulv ses en rumlig variation på 2-3 størrelsesordener i de enkelte undersøgelsesrunder over et areal på ca. 25•30 m. Variationen vurderes primært at skyldes de forskellige kildeområder samt geologiske heterogeniteter og variationer i kapillarbrydende lag. Historik og evt. supplerende undersøgelser til udpegning af kildeområder er således essentielt for at vurdere kilderne og den rumlige variation i relation hertil.

Forurening fra flere kilder ses at give et meget broget koncentrationsbillede. Dette betyder, at der skal flere målepunkter til, for at belyse den rumlige variation end ved ét kildeområde. For eksempel vil det være nødvendigt også at undersøge vest for den tidligere bygning for at klarlægge, hvorvidt der findes kildeområder her eller ej.

4.3 Styrende faktorer – tidslig variation

Indhold af PCE under gulv er målt i 4 omgange, hvoraf en undersøgelse kun omfatter et enkelt punkt. Der er ikke foretaget gentagne målinger i samme punkt. Måleresultaterne i de 4 undersøgelser er vist i figur 4.3.



Figur 4.3 Koncentrationen af PCE i poreluft under gulv af den sydlige del af den tidligere bygning i 4 undersøgelsesrunder.

De målte niveauer i 2006 (2 undersøgelser) under gulv ligger generelt 2-3 størrelsesordener over indholdet under gulv i 2005 (2 undersøgelser). Forskellen kan ikke alene tilskrives rumlig variation grundet forskellig

placering af målepunkter. Over kort tid, op til 3 måneder, ses umiddelbart en lille tidslig variation, mens den tidslige variation er større over et år.

Poreluftmålingerne i de forskellige undersøgelser er foretaget i sommerhalvåret i både 2005 og 2006, og variationerne kan derfor ikke umiddelbart tilskrives årstidsvariation. I tabel 4.1 er nedbør, tryk og vandspejl i de forskellige måleperioder angivet. Herudfra vurderes, at nedbør og ændring i tryk i perioden op til og under målingerne ikke kan forklare variationerne. Dog kan den tørre sommer i 2006 (juni og juli) have betydet en større spredning af stof i poreluften som følge af mere sammenhængende luftfyldte porer og dermed et lavere vandindhold i umættet zone. Den tørre sommer kan endvidere have resulteret i et lavere vandspejl end i juli 2005. Vandspejlet er ikke angivet i 2005, og det er derfor ikke muligt at undersøge denne faktors betydning.

Der er observeret fri fase af chlorerede opløsningsmidler umiddelbart syd for den tidligere bygning. I august/september 2005 (efter måling i 2005) er der foretaget afværgepumpning med oppumpning af fri fase. Det tyder på, at der er sket en afsænkning af grundvandsspejlet med evt. blotlægning af residual fri fase. Dette kan have givet anledning til en væsentlig større afdampning til umættet zone og deraf følgende højere koncentrationer i 2006 end 2005. Jf. Rivett, 1995 kan aftryk fra en fjernet kilde (her residual fri fase overdækket af vandspejl efter endt pumpning) ses mere end et år efter kildefjernelsen. En forudsætning for at dette ses er, at der ikke er residual fri fase af væsentlig omfang i umættet zone i samme område.

Tabel 4.1 Meteorologiske data ved 5 undersøgelsesrunder

	Nedbør, 5 sidste døgn mm	DMI beskrivelse	Tryk hPa	Trykpassage hPa/døgn	Vandspejl m DVR90
April 2005	?	Varm og solrig og underskud af nedbør	?	?	?
12. juli 2005	0	Temmelig varm og våd juli 2005	Højtryk, 1030	Stigende tryk, 4	?
14. juli 2005	0	Temmelig varm og våd juli 2005	Højtryk, 1020	Faldende tryk, -5	?
29-30. juni 2006	15	Tør og forholdsvis varm juni. Overskud af sol	Højtryk 1025	Stigende tryk, 5	7,44
7. august 2006	3	Rekordvarm, rekordsolrig og tør juli. Meget våd, solfattig men lun august	Normalt tryk, 1015	Faldende tryk, -2	7,23

4.4 Opsamling

Hvis ikke kilden til forurening er kendt fra historikken skal der udføres poreluftmålinger med stor tæthed for at belyse den rumlige variation. Dette gælder både i kildeområdet og i forureningsfanen. Der er tale om en rumlig variation i koncentrationsforskelle på 2-3 størrelsesordener over 6-10 m. Det betyder, at der bør benyttes en sikkerhedsfaktor på 3 størrelsesordener pr. 10•10 m, hvor der ikke er udtaget flere prøver og historikken/forundersøgelser ikke afviser området som kildeområde.

Største tidslige variationer er her observeret fra år til år med 2-3 størrelsesordener. Der er ikke observeret en tidslig variation over 3 måneder. Den tidslige variation over år skyldes sandsynligvis en kombination af afsenkning af vandspejl med blotlægning af residual fri fase samt varierende vandindhold i umættet zone og dermed forskel i mængden af sammenhængende luftfyldte porer.

Der er ikke observeret sammenhæng mellem nedbør, høj- og lavtryk samt trykændringer. Højeste indhold i poreluften er i en enkelt måling målt under højtryk og stigende tryk.

5 Analyse af poreluftvariationer på Frydensbergvej 29-31

Lokaliteten har været benyttet til metalsliberi og er forurenet med PCE.

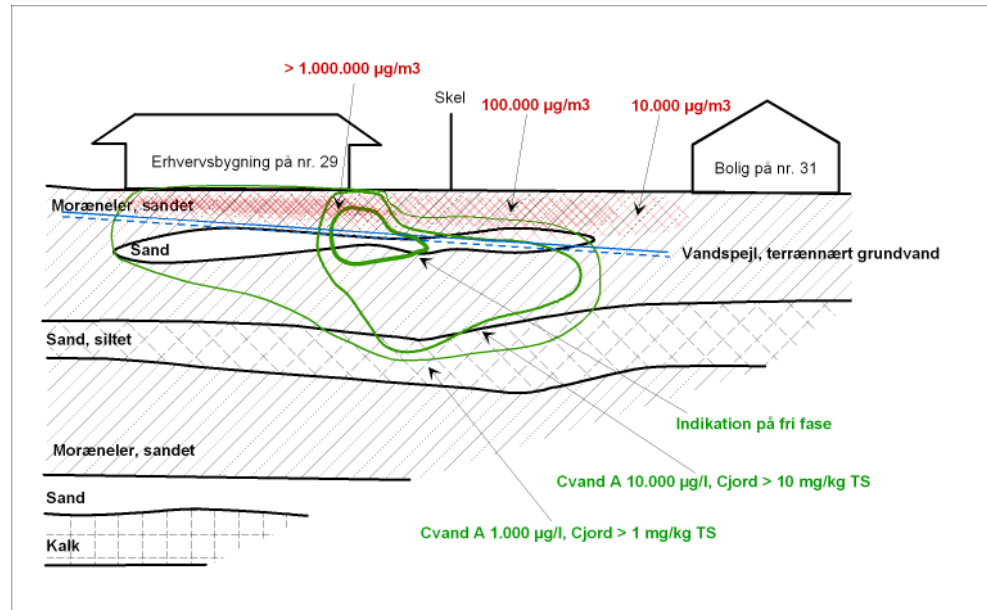
Der er udført poreluftsundersøgelser i 5 omgange med mellem 4 og 16 målepunkter. Måling er udført i sommerhalvåret i perioden 2004-2007. Der er ikke foretaget gentagne målinger i samme punkt.

5.1 Konceptuel model

Den konceptuelle model for forureningen med PCE er vist i nedenstående figur 5.1 og 5.2.



Figur 5.1 Konceptuel model, horisontal plan.



Figur 5.2 Konceptuel model, vertikal plan.

Kildeområdet til forureningen med PCE er lokaliseret umiddelbart øst for den sydlige del af bygningen. Der er i kildeområdet fundet residual fri fase i jord og terrænnært grundvand. I kildeområdet er forureningen sivet ned i det terrænnære grundvand. Vandspejl af det terrænnære grundvand er beliggende ca. 2 m u.t. i kildeområdet, og er pejlet til 1,5 m u.t. vest for bygning og kildeområde og ca. 3,5 m u.t. øst for matrikelskellet. Strømningsretningen er dermed mod øst, i den sammenhængende del af det terrænnære grundvand, knyttet til en sandlomme.

Det kraftigst forurenede område i det terrænnære grundvand strækker sig fra den østlige side af bygningen og ind under naboejendommen mod øst. Fra det terrænnære grundvand er det sket en vertikal spredning til et dybere-liggende sekundært grundvandsmagasin.

Fra forureningen i jorden og det terrænnære grundvand afdamper forureningen til poreluften i overliggende fyld, moræneler og eventuel umættet del af ovennævnte sandlomme.

5.2 Styrende faktorer – rumlig variation

5.2.1 Forureningsfordeling

I første målerunde er lokaliseret et kildeområde under gulv af den sydlige del af bygningen. Der er en faktor 2-3 mellem de målte indhold. Der ses med baggrund i de få målinger ingen afgrænsning af kildeområdet. I anden målerunde er kildeområde under gulv samt umiddelbart øst for bygningen lokaliseret. Indholdet under gulv er indenfor en faktor 4 i forhold til første målerunde.

I anden målerunde ses et klart fald i koncentration med afstanden fra kildeområdet. Kildeområdet har en størrelse på ca. 10•15 m. Koncentrationen

mod vest reduceres 3 størrelsesordener over 6 m, mod øst reduceres koncentrationen 2 størrelsesordener over 3 m og mod nord $\frac{1}{2}$ -1 størrelsesorden over 6 m.

Tredje målerunde er udført øst for kildeområdet. Der ses faldende koncentration mod øst og øst-nordøst i målerunden. Indholdet ligger generelt ca. 2-3 størrelsesordner højere end forventet i forhold til det observerede fald i indholdet i anden målerunde fra kildeområdet og mod øst. Indholdet i tredje målerunde reduceres med 1 størrelsesorden over 10 m, hvilket er en væsentlig lavere reduktion, end der er observeret i anden målerunde.

Udbredelsen mod øst er sammenfaldende med sandlommens udbredelse. Årsagen til den mindre reduktion i indholdet mod øst vurderes derfor primært at skyldes at poreluftforureningen udbredes i sandlommen. I 2. målerunde vurderes sandlommen at være mere eller mindre vandfyldt, hvilket hindrer udbredelsen af stofferne i poreluften fra kildeområdet i sandlommen.

I 3. målerunde er det muligt at vandspejlet er lavere, således at sandlommen ikke er vandmættet, og at der derfor er kontakt mellem poreluften i sandlommen og forureningen i jorden i umættet zone og det terrænnære grundvand i kildeområdet. Dette vil betinge at forureningen afdamper fra jord og terrænnært grundvand i kildeområdet og udbredes i poreluften i sandlommen og giver anledning til afdampning til overliggende fyld og moræner over sandlommen. Dette kræver dog, at bunden af det overliggende moræner ikke er vandmættet, da dette vil hindre afdampningen fra sandlommen til overliggende moræner og fyld, hvor poreluftmålingerne er udført. Det er også muligt, at der blot er mere sammenhæng mellem de luftfyldte porer i 3. Målerunde. Det har ikke været muligt at verificere eller afvise de to teoretiske muligheder, da der ikke foreligger pejle- eller vandindholdsdata fra 3. målerunde.

5.2.2 Gentagne målerunder

Der er i alt udført 5 undersøgelser af poreluft. Der er ikke udført undersøgelser i samme punkt/område i de 5 undersøgelser undtagen i 1. og 2., hvor der i begge tilfælde er foretaget måling under den sydlige del af bygningen. De enkelte målerunder viser samme forureningsbillede. De 5 målerunder har dermed givet en øget sikkerhed på forureningens rumlige fordeling.

5.2.3 Supplerende målerunder

Der er under gulv udført enkelte målinger i forskellig målerunder. Afstanden mellem punkterne betinger dog, at det ikke er muligt at vurdere, om der er tale om en tidslig eller rumlig variation.

Da den tidslige variation ikke er mulig at vurdere betyder udførelsen af i alt 5 målerunder ikke, at usikkerheden på målingerne/sikkerhedsfaktoren mindskes ved hver målerunde.

5.3 Styrende faktorer – tidslig variation

Det er ikke muligt at vurdere den tidslige variation, da der ikke er foretaget gentagne målinger i samme punkt eller målinger i punkter i umiddelbar nærhed af hinanden til et forskelligt tidspunkt.

Da netop de 5 målerunder supplerer hinanden er det ikke muligt at vurdere den tidslige variation. Det er derfor ikke muligt at vurdere hvorvidt et resultat i en målerunde ligger under, over eller på niveau med gennemsnitsværdien. Der er derfor ligeledes ikke muligt at vurdere, om meteorologiske forhold har betydning for den tidlige variation.

Der er under gulv udført enkelte målinger i forskellig målerunder. Afstanden mellem punkterne betinger dog, at det ikke er muligt at vurdere, om der er tale om en tidslig eller rumlig variation.

5.4 Opsamling

Supplerende målerunder uden gentagne målinger i samme punkt/umiddelbart nærhed af tidligere punkter øger kun sikkerheden på den rumlige variation og ikke den tidslige variation.

Selv små sandlommer kan have afgørende betydning for forureningens rumlige fordeling og derfor for forureningens udbredelse i forhold til kildeområdet. Usikkerhed om en lokalitets geologi øger derfor usikkerhed på især den rumlige variation betydeligt.