

Udpegning af områder med indtrængning af perchlorethylen til indeluften: " Sniffermetoden"

Karsten Fuglsang
FORCE Technology

Miljøprojekt **Nr. 958** 2004
Teknologiudviklingsprogrammet for jord- og
grundvandsforurening

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

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

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

Indhold

<u>FORORD</u>	5
<u>SAMMENFATNING OG KONKLUSION</u>	7
<u>SUMMARY AND CONCLUSIONS</u>	9
<u>1 INDLEDNING</u>	11
<u>2 METODEBESKRIVELSE</u>	12
2.1 <u>"VAPORCOVER" MUNDSTYKKE TIL PRØVETAGNING</u>	12
2.2 <u>ANALYSATOR TIL GASDETEKTION</u>	13
<u>3 LABORATORIETEST</u>	15
3.1 <u>TEST AF VAPORCOVER MUNDSTYKKE</u>	15
3.1.1 <i>Forsøgsbetingelser</i>	15
3.1.2 <i>Resultater</i>	15
3.2 <u>TEST AF PI-DETEKTOR</u>	16
3.2.1 <i>Forsøgsbetingelser</i>	16
3.2.2 <i>Resultater</i>	16
<u>4 FELTTEST</u>	19
4.1 <u>CASE A: INDTRÆNGNING GENNEM KÆLDERGULV UNDER TIDLIGERE RENSERI</u>	19
4.2 <u>CASE B: INDTRÆNGNING GENNEM KÆLDERGULV UNDER TIDLIGERE RENSERI</u>	22
4.3 <u>CASE C: INDTRÆNGNING GENNEM KÆLDERGULV UNDER TIDLIGERE RENSERI</u>	27
4.4 <u>CASE D: INDTRÆNGNING I LEJLIGHED OVER EKSISTERENDE RENSERI</u>	31
<u>5 DISKUSSION</u>	35
<u>6 KONKLUSION</u>	37
<u>7 REFERENCER</u>	39

Forord

Miljøstyrelsen iværksatte i 2003 dette projekt med det formål at afprøve en ny metode til at lokalisere områder med høj indtrængning af perchlorethylen til indeluften i boliger, der er beliggende på grunde, hvor der tidligere har været renserier. Metoden betegnes "VaporCover" og består af en "afdækningsmaske", der kan bruges sammen med en gasdetektor med det formål at finde kraftige indtrængninger, der typisk kan forekomme omkring rørgennemføringer, revner i gulve mv. "VaporCover" er udviklet af FORCE Technology.

Projektet er iværksat og finansieret af Miljøstyrelsens Teknologiprogram for Jord- og Grundvandsforurening.

Projektet er blevet gennemført af FORCE Technology v/Karsten Fuglsang, Tommy Hansen og Ole Pedersen.

Der rettes en tak til Miljøstyrelsens Jordforureningskontor v/Preben Bruun, som har varetaget projektstyringen for Miljøstyrelsen. Tak rettes ligeledes til Københavns Amt v/Johanne Aaberg Andersen og Jesper Elkjær Christensen for venlig assistance i forbindelse med udpegning af lokaliteter til feltmåling.

Sammenfatning og konklusion

Denne rapport beskriver en ny metode til at bestemme indtrængningen af PCE fra gulvarealer i ejendomme, hvor nuværende eller tidligere renserier har været beliggende. Metoden, der kaldes sniffermetoden, har til formål hurtigt og billigt at udpege gulvarealer, hvor særlig kraftig indtrængning af gasser forekommer. Indtrængningen fra disse områder kan efterfølgende bestemmes kvantitativt ved hjælp af foliemetoden.

Målemetoden er udviklet og testet som et led i et projekt under Miljøstyrelsens Teknologiprogram for Jord- og Grundvandsforurening.

Sniffermetoden er i projektet yderligere blevet testet til brug ved kortlægning af indtrængningen af PCE fra eksisterende renserier til lejligheder over renseriet. I forbindelse med kortlægninger og afværgeforanstaltninger, der skal udføres i henhold til Miljøministeriets renseribekendtgørelse, vil sniffermetoden kunne benyttes til hurtigt og billigt at udpege områder, hvor særlig høj indtrængning forekommer, og hvor der derfor er grund til f.eks. at tætte etageadskillelsen mellem renseri og lejlighed.

Sniffermetoden består i princippet af et prøvetagningsmundstykke, der lægges ned over den overflade, man ønsker at undersøge. Prøvetagningsmundstykket lægges ned over området, sådan at det er mest muligt aflukket. Efter at mundstykket har ligget i få minutter, kan afdampningen til det aflukkede luftvolumen i mundstykket kontrolleres for indhold af gasser. Dette gøres med et direkte visende analyseinstrument, der kan benyttes til feltmåling.

Sniffermetoden blev indledningsvis testet i laboratoriet. Der blev foretaget test på forskellige udgaver af et prøvetagningsmundstykke til afdækning af det gulvareal, man ønsker at undersøge, og en optimering er foretaget med hensyn til udformning, fyldmateriale og valg af folie. Endvidere blev PI-detektoren, som er den valgte gasdetektor, afprøvet med hensyn til responstid og måleområde. Projektets laboratorieforsøg viste, at den valgte aluminiumsfolie til sniffermetodens "mundstykke" kan anvendes, uden at der er nogen risiko for adsorption af PCE til folien. Testen af PI-detektoren viste, at PI-detektoren er velegnet til måling af PCE i koncentrationsområdet $0,5 \text{ mg/m}^3$ - 10 mg/m^3 , og at responstiden er mindre end 60 sekunder. Samlet vurderes PI-detektoren at være særdeles velegnet til måling af PCE i forbindelse med sniffermetoden.

Den valgte udgave af prøvetagningsmundstykket, som blev kaldt "VaporCover", blev afprøvet på 3 forskellige lokaliteter, hvor en jordforurening med PCE vides at forekomme. Lokaliteterne var et nedlagt renseri i en etageejendom, et eksisterende renseri, hvor der nu bruges kulbrinte-blanding til tøjrens, og en privat bolig, der ligger på en grund forurennet med PCE fra et tidligere pelsrenseri.

I case A, hvor der blev målt på et kældergulv under et nedlagt renseri med en jordforurening under gulv, blev afdampningen målt i et netværk med en maskestørrelse på ca. 1 m x 1 m ved hjælp af sniffermetoden. Der blev målt en kraftig indtrængning omkring en faldstamme, hvilket stemmer overens med

tidligere målinger med foliemetoden. I case A blev der ikke fundet nogen væsentlig indtrængning fra andre dele af gulvet.

I case B og C blev en indledende kortlægning gennemført med sniffermetoden, og indtrængningen på udvalgte "hot spots" blev efterfølgende bestemt ved hjælp af foliemetoden. I forbindelse med case B blev der målt med foliemetoden på et område, hvor der med sniffermetoden var fundet den højeste indtrængning, og på et område med laveste indtrængning. Ud fra disse to punkter blev der opstillet en korrelation mellem niveauet af indtrængning målt med sniffermetoden, og indtrængningen kvantificeret ved hjælp af foliemetoden. Denne korrelation gjorde det muligt at estimere den samlede indtrængning fra hele gulvet ved omregning ud fra de enkelte punkter kortlagt med sniffermetoden. I case B blev det samlede bidrag fra jordforureningen beregnet til $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, hvilket er væsentligt under Miljøstyrelsens luftkvalitetskriterie for PCE på $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. I case C, hvor der blev målt i en krybekælder, var det beregnede bidrag fra gulvet til krybekælderen $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, og luftkvalitetskriteriet var dermed væsentligt overskredet.

I case D blev indtrængningen af PCE kortlagt i en lejlighed beliggende over et eksisterende renseri. Der blev ved hjælp af sniffermetoden lokaliseret en særlig kraftig indtrængning af PCE fra et gulvområde omkring et dørtrin. På denne måde blev påvist en særlig stor utæthed i den pågældende etageadskillelse. Resultatet har senere kunnet udnyttes til at forbedre tætningen mellem renseri og lejlighed.

Sniffermålingerne kunne i alle cases udføres på relativt kort tid og udgjorde derved et effektivt værktøj til udpegning af områder med kraftig indtrængning, og hvor indtrængningen efterfølgende kan bestemmes kvantitativt ved hjælp af foliemetoden.

Det kan sammenfattende konkluderes, at sniffermetoden er fundet meget velegnet til brug ved en indledende kortlægning af indtrængningen af PCE til indeluften i boliger, der er beliggende på lokaliteter med forurennet jord. Det har vist sig muligt at udpege "hot spots" med særlig stor indtrængning, og ved en efterfølgende måling med foliemetoden har det været muligt at beregne det samlede bidrag til indeluften fra jordforureningen.

Endvidere er det ved feltforsøg vist, at sniffermetoden også kan bruges til at lokalisere områder med særlig store utætheder i etageadskillelser mellem renserier og lejligheder. Dette kan benyttes med stor fordel i forbindelse med etablering og kontrol af foranstaltninger, der skal tætte etageadskillelser mellem renseri og lejligheder i henhold til Miljøministeriets bekendtgørelse om etablering og drift af renserier nr. 532 af 18/6 2003.

Afprøvningen af sniffermetoden fokuserede i projektet på brug i forbindelse med kortlægning af indtrængning af PCE. Afhængig af den valgte gasdetektors følsomhed og selektivitet vil metoden kunne bruges til bestemmelse af mange andre gasformige forbindelser, herunder andre VOC'er.

Prøvetagningsmundstykket VaporCover, som udvikledes i forbindelse med projektet, produceres nu kommercielt af fa. Instrumatic AS¹ og kan således rekvireres herfra.

¹ Instrumatic AS, Ellemosen 9, 8680 Ry. Tlf. 8689 0911.

Summary and conclusions

This report describes a new method for finding locations with a significant intrusion of perchloroethylene (PCE) from soil pollution into indoor air in buildings. The method has been developed and evaluated in this project, which was supported by the Danish Environmental Protection Agency.

The method is called the “sniffing method”, and its objective is to provide a rapid and cheap tool enabling identification of hot spots with high intrusion of VOCs such as PCE from e.g. concrete floors, or from leaks in building constructions situated at contaminated sites. At the identified locations, and from the survey performed in a grid of measuring points, a quantitative determination of the intrusion can be performed e.g. by means of the “film enclosure method” described in /2/ and /3/.

Furthermore, the sniffing method was tested for use in apartments situated above existing chemical laundries from where a high intrusion of PCE may occur, e.g. due to lack of impermeability of the storey partition between the laundry premises and the apartment.

The sniffing method is based on a device consisting of a flexible enclosure for coverage of the area of the floor, from which the intrusion is to be assessed. The flexible enclosure is placed over the area in question in such a way that minimum contact is possible between the air under the enclosure and the indoor air. After a few minutes, a gas detector can be used for rapid control of PCE present under the enclosure. The air under the enclosure is sucked to the detector via the enclosure’s sample point.

The sniffing method was tested in the laboratory. The flexible enclosure was optimised in terms of shape, filling material and type of film used. The photoionisation detector (PI-detector), which was chosen as a suitable gas detector, was tested with respect to response time and measurement range. It was found that a laminated aluminium/Mylar film could be used without any significant risk of adsorption of PCE to the film. Furthermore, the test of the gas detector showed that the PI-detector is suitable for measurement of PCE in a concentration range of 0.5 mg/m^3 - 10 mg/m^3 , and that the response time is less than 60 seconds. It was concluded that the PI-detector was suitable as a gas detector for measurement of the PCE in connection with the sniffing method.

The developed flexible enclosure - called “VaporCover” - was tested at three different locations, where intrusion to indoor air from PCE contaminated soil is known to be present. The locations were a former chemical laundry in a 5-storey building, an existing chemical laundry where PCE has been substituted with hydrocarbons as cleaning agent, and a private villa, situated at a site contaminated with PCE.

In case A, where measurements were performed in the basement under a former chemical laundry in a 5-storey building, the intrusion was measured by means of the sniffing method at a number of points across the basement floor. Measurement points were placed in a grid of about 1m x 1m. A strong

intrusion was found from the floor around the penetration of a sewage pipe, where cracks were found in the concrete floor. This confirms earlier findings from emission flux measurements at the same site /2/. No other areas of the floor were found to have any significant intrusion of PCE in case A.

The sniffing method was used as a rapid survey in order to identify “hot spots” with high intrusion in case B and C, and at the identified hot spots, the intrusion was quantified by means of emission flux measurements as described in /5/. In case B, emission flux measurements were performed at the areas with a high and a low intrusion as found in the survey with the sniffing method. From the results from these two measurement points, a correlation between the sniffing method results and the emission flux results was made. From the measurement results found across the floor by the sniffing method, this correlation made it possible to estimate the total intrusion from the floor. In case B, the total contribution to the indoor air from the soil contamination was found to be $0.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. This is significantly below the maximum acceptable contribution of $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as specified by the Danish EPA. In case C, where measurements were performed in a basement crawlspace, the total contribution was found to be $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, and the maximum acceptable contribution was thus exceeded.

In case D, the intrusion of PCE was measured in an apartment situated above an existing chemical laundry. By means of the sniffing method, a strong intrusion was found from an area on the floor around a doorstep. In this way, a significant leak was identified in the horizontal division between the chemical laundry and the apartment. The result has later been used to improve the horizontal division.

It was possible to use the sniffing method as a rapid and efficient tool to identify areas with a strong intrusion of PCE to indoor air. At areas selected from the survey performed with the sniffing method, the intrusion could be quantified by means of actual emission flux measurements.

In conclusion, the sniffing method was found to be very useful as a tool in a field survey, aiming at locating the intrusion of PCE to indoor air from contaminated soil. When used as a rapid method to locate hot spots, areas for quantitative measurement of the intrusion can be selected, and focus can be directed towards abatement measures. Furthermore, it has been shown through field measurements that the sniffing method can be used in apartments situated above chemical laundries, in order to locate areas with high intrusion of PCE. Thus, the method can be used in connection with the establishment and control of abatement measures, e.g. as described in the Danish EPA's regulations for establishment and operation of chemical laundries.

In this project, the test of the sniffing method focused on the intrusion of PCE. The method may be used for many other VOCs or other gaseous compounds. The possibility to measure other compounds depends on the selectivity of the gas detector used, as the developed flexible enclosure “VaporCover” may be used without modification.

The company Instrumatic AS² now produces VaporCover commercially.

² Instrumatic AS, Ellemosen 9, 8680 Ry. Phone +45 - 8689 0911, www.instrumatic.com.

1 Indledning

Forurening med perchlorethylen forekommer ofte under ejendomme med nuværende renserier, eller hvor tidligere renserier har været beliggende. Indtrængningen kortlægges typisk ved hjælp af en beregningsmodel. Beregningsmodellen er angivet i Miljøstyrelsens vejledning nr. 6 af 1998 /1/. Nyere undersøgelser har vist, at beregningsmodellen ikke altid kan bruges til at forudsige kraftige indtrængninger /2/. Dette gælder, hvis indtrængningen sker fra områder på gulvet, hvor det ikke er muligt at udføre måling af poreluftkoncentrationer, såsom områder omkring rørgennemføringer, faldstammer o.l., hvor der er synlige revner i gulvet og samtidig forekommer en forurennet zone under gulv. Indtrængningen fra sådanne hotspots kan være helt dominerende i forhold til den samlede indtrængning fra gulvet.

Indtrængningen fra sådanne "hot spots" kan kvantificeres ved hjælp af foliemetoden, som for nyligt er udviklet for Miljøstyrelsen /2/, /3/ af dk-TEKNIK ENERGI & MILJØ.

Miljøstyrelsen iværksatte nærværende projekt i 2003 med det formål at kunne udpege gulvarealer, hvor der bør udføres måling med foliemetoden, og hvor der i øvrigt måtte være behov for afværgetiltag. Idéen har været at udvikle og validere en hurtig og billig målemetode, som kan bruges til en orienterende kortlægning af indtrængningen af PCE fra et gulvareal. Metoden kaldes sniffermetoden. Ud fra en orienterende kortlægning med sniffermetoden kan kvantitative metoder benyttes på udpegede lokaliteter til at bestemme indtrængningen. Herved vil den samlede indtrængning kunne bestemmes mere præcist.

Miljøstyrelsen har med renseribekendtgørelsen /4/ i 2003 fastsat grænser for, hvor stor indtrængningen af PCE fra renserier til lejligheder må være. Såfremt bidraget fra renseriet er over de fastsatte grænser, skal der foretages afværgeforanstaltninger. Det har i denne forbindelse været et ønske at benytte sniffermetoden til hurtigt og billigt at udpege områder, hvor særlig høj indtrængning forekommer fra renserier til lejligheder, for dermed at kunne udpege områder, hvor etageadskillelsen mellem renseri og lejlighed bør tætnes. Sniffermetoden er derfor under felttesten også blevet afprøvet til udpegning af gulvarealer med særlig stor indtrængning til en lejlighed fra et eksisterende renseri.

2 Metodebeskrivelse

"Sniffermetoden" består i princippet af et prøvetagningsmundstykke, der lægges ned over den overflade, man ønsker at undersøge. Prøvetagningsmundstykket lægges ned over området, sådan at det er mest muligt aflukket. Efter at mundstykket har ligget i få minutter, kan afdampningen til det aflukkede luftvolumen i mundstykket kontrolleres for indhold af gasser. Dette gøres med et direkte visende analyseinstrument, der kan benyttes til feltmåling.

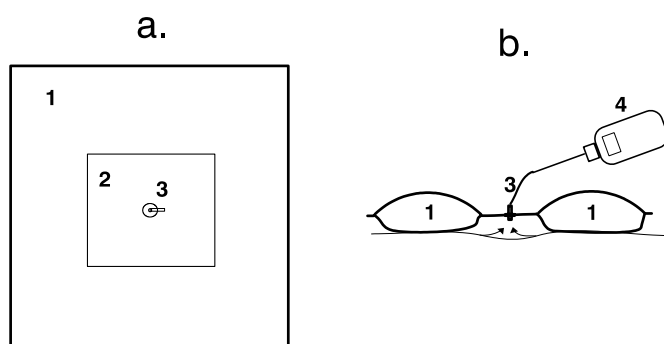
I det følgende beskrives prøvetagnings- og analysedelen.

2.1 "VaporCover" mundstykke til prøvetagning

Det skal understreges, at det ikke har været formålet at udvikle et prøvetagningsmundstykke, der er helt tætsluttende mod overflader i gulv. En helt effektiv tætning vurderes i praksis ikke at være mulig, når der er tale om revner i betonoverflader og revner mellem paneler og gulve osv. Det har derfor fra projektets start været hensigten af finde den mest effektive tætning på et mundstykke, som samtidig er flexibel og hurtig at flytte fra sted.

Til det formål blev Tedlar eller Nalophan poser i projektets indledende fase fyldt med et fint pulver, der tynger folien ned mod overfladerne og dermed sørger for en højere grad af tætning. Herved opnås den højest mulige koncentration under folien. For at opnå et passende "aflukke" over området, hvorfra afdampningen/indtrængningen skal lokaliseres, blev et mundstykke, som vist i figur 1, konstrueret.

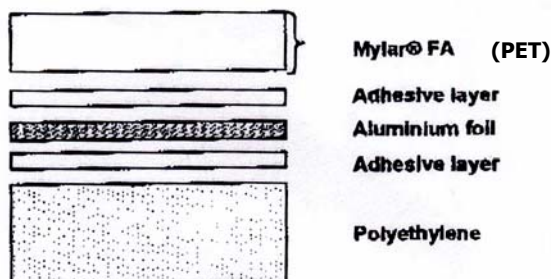
Figur 1. Opbygning af mundstykke "VaporCover": (a) set fra oven, (b) set fra siden med gasdetektor tilsluttet. (1): Gastæt folie, område indeholdende finkornet fyldningsmateriale (2) gastæt folie, område uden fyldning, (3) studs, gennemgående med f.eks. 6 mm OD teflonslange, (4) gasdetektor.



Det optimale materiale blev fundet at være en lamineret alufolie. Denne folie er vist på figur 2. Alufolien er gastæt, og da den på ydersiden er lamineret

med PET (polyethylen terephthalat), anses den for at have minimal adsorption af organiske gasser. Polyethylen terephthalat benyttes også til fremstilling af Nalophan, som finder udbredt anvendelse til f.eks. poser til opsamling af lugtprøver pga. materialets gode egenskaber i relation til minimal gasadsorption. Samtidigt er alufolien billigere end de øvrige testede folier.

Figur 2. Lamineret alufolie benyttet til "VaporCover" mundstykke i felttesten. Yderside: DuPont Mylar® folie (PET), inderside: Polyethylen (PE).



2.2 analysator til gasdetektion

Enhver gasdetektor, der opfylder nedenstående krav, kan i princippet anvendes til udpegning af overflader, hvorfra der kommer kraftig afdampning. Gasdetektoren skal have

- tilstrækkelig sensitivitet over for den givne gas
- tilstrækkelig selektivitet over for den givne gas
- lav responstid
- høj stabilitet/robusthed
- lav opvarmningstid
- transportabel

For renserigrunde, hvor der forekommer forurening under gulv med PCE, vil det være et krav, at der uden væsentligt krydsinterferens skal kunne måles ganske lave koncentrationer af PCE. Det er til dette formål valgt at benytte en fotoionisationsdetektor af mærket ppbRAE, som har en særlig høj følsomhed over for chlorerede opløsningsmidler, og som samtidig er en lille, håndbåren detektor med en meget lav responstid. Der er benyttet et ppbRAE instrument med en UV lampe på 10,6eV. Detektoren er vist på figur 3. Denne gasdetektor er ikke selektiv, men giver i princippet respons for alle gasser, der har et ionisationspotentiale på under 10,6eV. Det skal bemærkes, at instrumentets respons over for de enkelte gasser er stofafhængig og ikke en funktion af stoffets ionisationspotentiale. PCE har et ionisationspotentiale på 9,32eV, og ppbRAE detektoren vides samtidigt at have en høj respons over for PCE. Atmosfærisk luft vil i "ren" tilstand ikke give respons, idet såvel N₂, O₂, Ar, CO₂ og H₂O alle har et ionisationspotentiale over 10,6 eV. En lang række organiske gasser kan imidlertid i selv meget lave niveauer interferere, herunder en række andre chlorerede forbindelser såsom TCE. Det vurderes dog, at risikoen for positiv interferens kan accepteres, så længe de interfererende stoffer hidrører fra den pågældende forurening. Såfremt der opstår positiv interferens fra gasser, der ikke er relaterede til forureningen, vil det være nødvendigt at udføre en supplerende gasanalyse på stedet. Om en positiv

interferens fra andre kilder viser sig at forekomme hyppigt, vil blive vurderet under felttesten.

Med det formål at belyse risikoen for interferens fra andre gasser er der benyttet en supplerende gasanalytator af mærket Brüel & Kjær 1302. Denne analytator benytter fotoakustisk spektrometri (PAS). Denne analytator udnytter, at en lang række gasser absorberer lys i det infrarøde område, og ved en særlig teknik omsættes gassernes absorption til pulserende trykbølger, hvis styrke herefter kan måles med mikrofoner. Instrumentet er i langt højere grad end ppbRAE detektoren selektiv over for PCE, idet IR absorptionen måles ved en bølglængde på 10,6 μm , hvor chlorerede kulbrinter specifikt vil udvise absorption.

Figur 3. "VaporCover" prototype, benyttet sammen med ppb-RAE PI-detektor.



3 Laborrietest

Der er i forbindelse med den indledende laborrietest udført en undersøgelse af PI-detektorens respons og linearitet over for PCE.

3.1 Test af VaporCover mundstykke

VaporCover mundstykket består som beskrevet i afsnit 2.1 af en 3-lags lamineret folie. Folien er svejset sammen til en pose, der fyldes med et fint pulver. Det er foliens yderside, der er i kontakt med gassen, når VaporCover benyttes til afdækning af et givent område, og det er derfor fundet relevant at undersøge, om foliens yderside vil have nogen form for interaktion med gassen.

3.1.1 Forsøgsbetingelser

Foliens yderside består som nævnt af Mylar®, der er en PET plastfolie (polyethylen terephthalat), og som også kendes under produktnavnet Nalophan. Nalophan vides at have gode egenskaber i relation til minimal gasadsorption. For at kontrollere om Mylar folien kan antages at udvise de samme egenskaber som Nalophan, er der udført en tentativ undersøgelse af koncentrationsforløbet af PCE i Tedlar poser med og uden en Mylar® folie i kontakt med gassen, som vist i figur 4. Der er i hver af poserne på figur 4 fremstillet en statisk fortynding af PCE på 1,2 ppm. Som fortyndingsgas er benyttet N₂ tilsat H₂O i en koncentration på ca. 0,6% v/v – 0,8% v/v, svarende til en relativ fugtighed på ca. 30%.

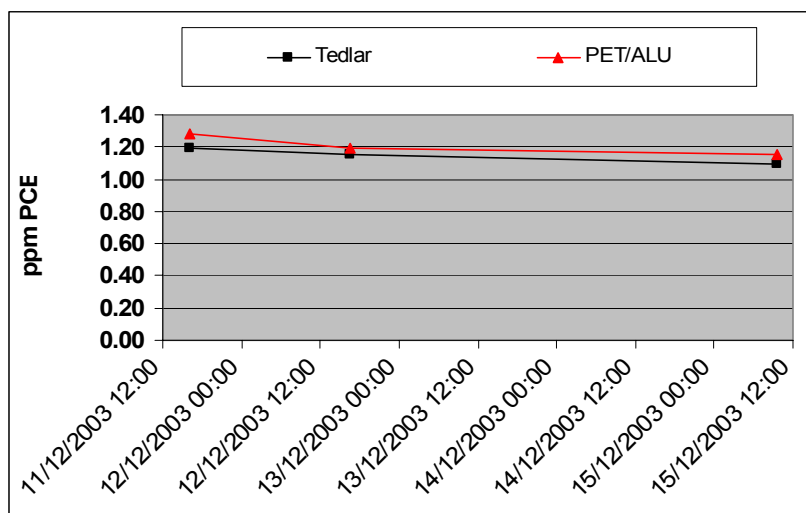
Figur 4. Tab/adsorption af PCE til PET-overfladen på den laminerede alufolie blev undersøgt ved sammenligning af stabiliteten af en gasblanding i en Tedlar pose uden alufolie (th.) med en identisk gasblanding i en Tedlar pose, hvori en 35 cm x 40 cm alufolie er vedhæftet indersiden, så PET-plastsiden vender ind mod gasblandingen (tv.).



3.1.2 Resultater

Resultatet af testen af tab af PCE til PET-folien fremgår af figur 5.

Figur 5. Resultatet af målinger på en PCE gas med doseret startkoncentration 1,2 ppm, fremstillet i N₂ med en relativ fugtighed på ca. 30%. Måling af gas i kontakt med en Mylar® PET-folie på indersiden af en Tedlar pose som vist på figur 4, sammenlignet med en Tedlar pose uden folie.



Resultaterne i figur 5 bekræfter formodningen om, at der ikke sker nogen signifikant adsorption til PET folien på den laminerede alufolies yderside. Der forventes dermed ikke at være nogen tab af PCE ved anvendelse af VaporCover til lokalisering af indtrængning af PCE.

3.2 Test af PI-detektor

Resultatet af en test af PI-detektorens linearitet og respons over for PCE beskrives i det følgende.

3.2.1 Forsøgsbetingelser

Den valgte PI-detektor af mærket "ppBRAE" er testet ved fremstilling af en række statiske fortyndinger af PCE. Koncentrationer af PCE er fremstillet i området 1 mg/m³ – 10 mg/m³. Som fortyndingsgas er benyttet N₂ tilsat H₂O i en koncentration på ca. 0,6% v/v – 0,8% v/v, svarende til en relativ fugtighed på ca. 30%. De fremstillede koncentrationer er kvantificeret ved hjælp af en kalibreret B&K 1302 PAS detektor, jf. afsnit 2.2. ppBRAE detektoren udlæser koncentrationer i ppm isobutylene-ækvivalenter, idet instrumentet som standard kalibreres over for isobutylene. Det er af praktiske grunde valgt ikke at ændre på denne enhed, idet formålet i dette projekt ikke er at udføre en egentlig kvantifikation af PCE-koncentrationen, men derimod at konstatere, om instrumentets udslag viser, om der er en risiko for indtrængning på det pågældende målested. ppBRAE kan automatisk korrigere den målte koncentration for "baggrund", og denne funktion kan være nyttig at anvende i felten, når koncentrationer over en given baggrundskoncentration i indeluften skal måles. Der er ved laboratorietesten ikke foretaget nulpunktskorrektion.

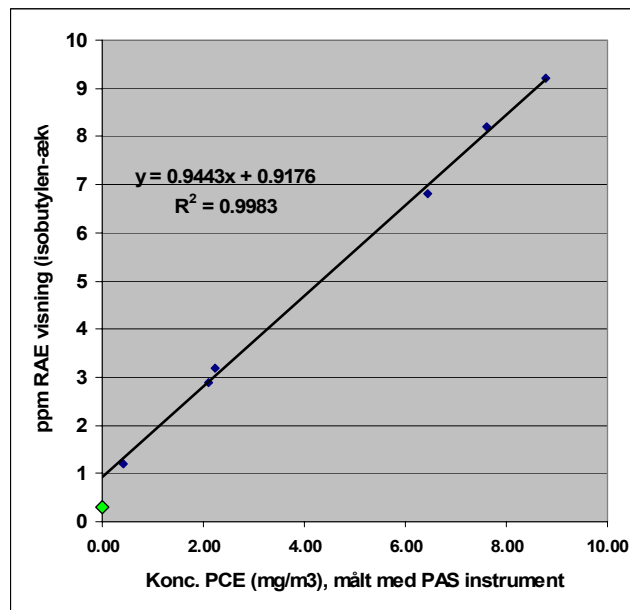
3.2.2 Resultater

Resultatet af linearitetstesten fremgår af figur 6.

Erfaringsmæssigt vil "baggrundskoncentrationen" i indeluften målt med ppBRAE variere i området 0,3 ppm - 0,5 ppm isobutylene ækvivalenter. Det

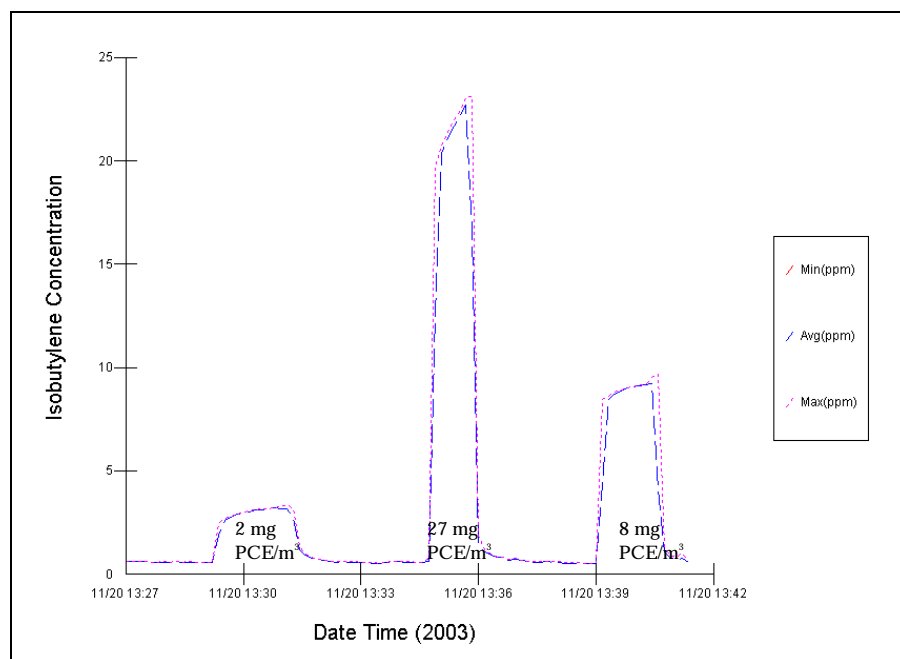
fremgår af figur 6, at ppbRAE detektoren under testen udviser et "nulpunkt" på ca. 0,3 ppm isobutylene-ækvivalenter. Detektoren ses at være lineær i koncentrationsområdet 1 ppm – 9 ppm isobutylene-ækvivalenter, svarende til 0,5 mg PCE/m³ - 9 mg PCE/m³. Der synes at være en ikke-lineær funktion mellem koncentration og målt koncentration med ppbRAE i området under 1 ppm isobutylene ækvivalenter, svarende til koncentrationer mellem 0 mg/m³ – 1,2 mg/m³ PCE. Dette er ikke undersøgt nærmere, idet den absolutte koncentration af PCE ikke ønskes beregnet ved feltmåling med sniffermetoden.

Figur 6. Målte koncentrationer med PI detektor mrk. ppbRAE ved PCE koncentrationer i området 1mg/m³ - 10mg/m³. PI detektoren viser ca. 0,3ppm på ren, N₂ indeholdende 30% H₂O.



Responstiden for ppbRAE ved måling af PCE er bestemt ved gentagne målinger på statiske fortyndinger i N₂. Responstiden defineres som den tid, det tager for instrumentet at opnå 90% af fuldt udslag. Figur 7 illustrerer resultatet. Det blev fundet, at responstiden over for PCE er mindre end 60 sekunder, hvilket vurderes at være fuldt tilfredsstillende til formålet.

Figur 7. Bestemmelse af responstid for ppbRAE detektoren under måling af PCE.



ppbRAE detektoren vurderes ud fra laborietesten at opfylde de krav til gasdetektoren, der blev opstillet i afsnit 2, da den samtidig har en kort opvarmningstid og er robust. ppbRAE forventes at kunne benyttes til at lokalisere indtrængninger fra overflader, hvis koncentrationen i luften over det afdækkede område er over 0,5 - 1 mg PCE/m³, afhængig af de aktuelle forhold.

4 Felttest

Metodens anvendelighed er testet ved 4 forskellige feltundersøgelser. Ved feltundersøgelserne er områder med særlig høj indtrængning af PCE søgt lokaliseret ved hjælp af sniffermetoden, dvs. ved brug af VaporCover mundstykket og en PI gasdetektor. Der, hvor der er fundet signifikant forhøjede værdier med PI detektoren, er resultatet kontrolleret ved hjælp af PAS instrument, jf. afsnit 2.2. Herved er det kontrolleret, om de målte koncentrationer er et udtryk for en indtrængning af PCE, eller om der måtte være tale om falsk positiv interferens pga. forekomst af andre gasformige stoffer.

Der er udført felttest på følgende lokaliteter i Københavnsområdet:

- Test af gulvarealer i kældre, hvorunder der vides at være en PCE forurening:
 - o Et nedlagt renseri (case A)
 - o Et eksisterende renseri, der i 2001 skiftede fra PCE til rensning med Rynex og senere kulbrinteblending (case B)
 - o Privat bolig, nær et tidligere pelsrenseri hvor en kraftig jordforurening med PCE er konstateret (case C).
- Test af gulvarealer i lejligheder over et eksisterende renseri: Case D.

På alle 4 lokaliteter har det overordnede formål været at undersøge, om metoden kan anvendes til at udpege gulvarealer med særlig høj indtrængning af PCE fra den underliggende forurening.

4.1 Case A: Indtrængning gennem kældergulv under tidligere renseri

Case A er udført i kælderen under en 125 år gammel ejendom, hvor der indtil for ca. 10 år siden har været et renseri i stueetagen. Renseriet har i over 30 år benyttet PCE som rensmiddel. Kælderen har tidligere været undersøgt for afdampning af PCE til indeluften, bl.a. i forbindelse med en test af foliemetoden /2/, og det vides derfor, at der er områder med en tydelig indtrængning af PCE. Fire lokaliteter på gulvet i cykelkælderen og værkstedet er i den forbindelse undersøgt, og det er fundet, at en stor del af koncentrationen i kælderlokalet skyldes en indtrængning omkring en faldstamme i cykelkælderen.

4.1.1 Felttestens udførelse

Det ønskedes i denne felttest undersøgt, om sniffermetoden på en hurtig måde ville kunne udpege alle områder på gulvet med særlig høj indtrængning. Dette blev gjort ved at gennemføre en test i et "gitter" på ca. 1m x 1m. Der blev lagt 4 VaporCover mundstykker ud ad gangen, og hvert mundstykke blev henlagt i 5 minutter, før måling med ppBRAE blev foretaget.

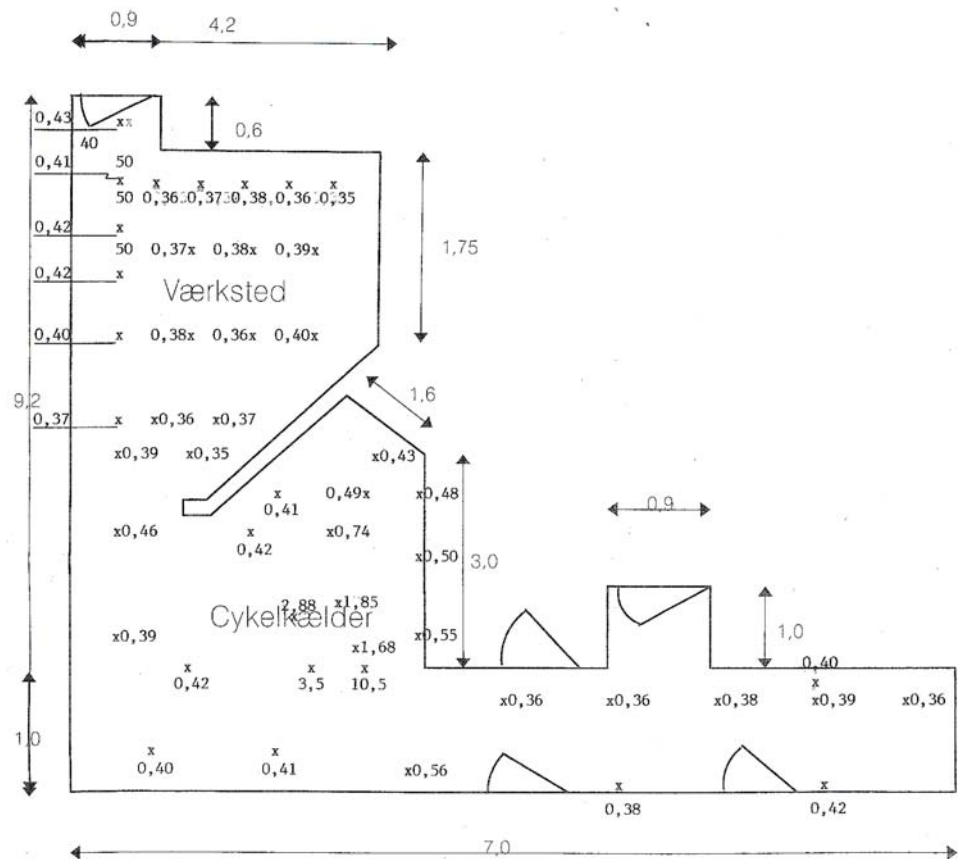
Målingerne blev udført den 01.12.2004. Barometerstanden var stigende i perioden fra den 30.11. til den 01.12 (30.11. kl. 16: 1010 mbar, stigende til 1017 mbar den 01.12. kl. 16). En stigende barometerstand antages at have en

dæmpende effekt på indtrængningen, da trykstigningen vil fremme en svag luftstrømning fra udeluften mod jordens poreluft. En kraftigere effekt på indtrængningen er formodentlig "skorstenseffekten" i etageejendommen, idet der med en væsentlig forskel i inde- og udeluft (udelufttemperaturen var 6-7 °C den 01.12.) vil være en opdrift af varm luft i ejendommen, og da der dermed skabes et undertryk i kælderen.

4.1.2 Resultater og vurdering

Resultatet fremgår af figur 8 og 9. Baggrundskoncentrationen i indeluften i kælderen var ca. 0,4 ppm iso-butylen ækvivalenter. Der blev lokaliseret et tydeligt udslag på PI-detektoren omkring to områder, nemlig faldstammen og et gulvareal med synlige brud i gulvet, begge lokaliteter i cykelkælderen. I værkstedet blev der ikke fundet områder med særlig høj indtrængning.

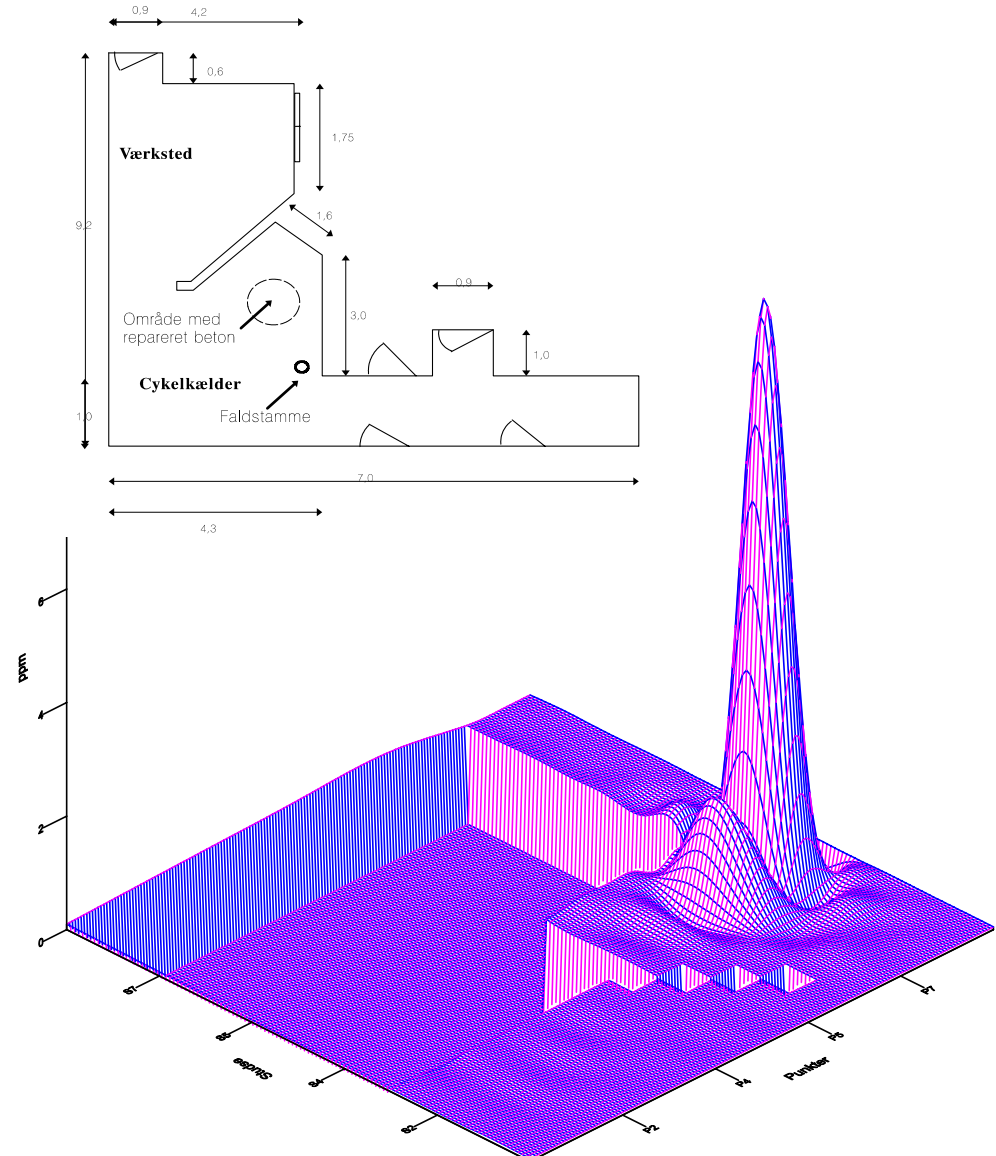
Figur 8. Resultater af målinger med VaporCover og ppbRAE gasdetektor i punkter på betongulv i kælder: Case A.



Resultaterne stemmer godt overens med resultatet af tidligere undersøgelser på lokaliteten, hvorved foliemetoden blev benyttet /2/. Det blev ved hjælp af foliemetoden fundet, at området omkring faldstammen – og i mindre grad også et åbent brud i gulvet ud for faldstammen - gav et bidrag af PCE, der var helt dominerende i forhold til bidraget i øvrigt fra poreluften under betongulvet i kælderen. Under det daværende projekt var det ikke muligt at undersøge, om der var andre områder på gulvet, der gav en særlig høj indtrængning.

Med "sniffermetoden" er der i dette projekt ikke fundet andre områder med høj indtrængning i hverken cykelkæderen eller værkstedet. Betongulvet, der har et samlet areal på ca. 40 m², blev med sniffermetoden på få timer kortlagt af én person ved måling i et netværk med en maskestørrelse på ca. 1 m x 1 m (ca. 50 målepunkter). Der blev anvendt flere VaporCover mundstykker for at forkorte ventetiden mellem målingerne. Det konkluderes ud fra felttesten, at sniffermetoden kunne udpege de to "hot spots" på en hurtig og enkel måde.

Figur 9. Grafisk illustration af måleresultater med VaporCover og ppbRAE gasdetektor i punkter på betongulv i kælder: Case A.



De fundne områder med høj indtrængning blev kontrolleret ved måling med PAS-detektor. Resultatet fremgår af tabel 1.

Tabel 1. Lokal iserede områder med forhøjede koncentrationer målt med sniffermetoden: Måling med PI-detektor sammenlignet med PAS-detektor.

Målepunkt	ppbRAE ppm isobutylene-ækvivalenter	BK1302 PAS ppm PCE
Gulv v/ faldstamme	10,5	1,85
Gulv 1 meter ud for faldstamme (revne i beton)	3,5	0,6
Gulv v/brud i gulv midt i cykelkælder	2,9	0,4
Gulv uden revner	0,4	0,3
Indeluft, kælder	0,4	0,3
Udeluft	0,2	0,2

4.2 Case B: Indtrængning gennem kældergulv under Eksisterende renseri

Case B er udført i kælderen under et eksisterende renseri, der er beliggende i en ca. 75 år gammel ejendom. Der har været renseri i ejendommen i ca. 30 år. Rensriet har ikke benyttet PCE siden 1999 og benytter nu kulbrinteblending som rensemiddel. Der er i forbindelse med en forureningsundersøgelse på lokaliteten konstateret en forurening med chlorerede opløsningsmidler i jord og terrænnært grundvand, samt et indhold af chlorerede opløsningsmidler under renseriets kældergulve.

Kældergulvets samlede areal er 27 m².

4.2.1 Felttestens udførelse

Der blev målt med sniffermetoden i et "gitter" på ca. 1m x 1m. Der blev lagt 4 VaporCover mundstykker ud ad gangen, og hvert mundstykke blev henlagt i 5 minutter, før måling med ppbRAE blev foretaget.

På det gulvareal, hvor sniffermetoden målte den højeste indtrængning, blev der foretaget egentlige fluxmålinger med det formål at undersøge omfanget af den faktiske indtrængning. Fluxmåling blev foretaget ved hjælp af foliemetoden. Der blev målt med foliemetoden i ét område med særlig høj indtrængning, og samtidigt i ét område af kælderen, hvor der med sniffermetoden ikke kunne konstateres nogen indtrængning. Fluxmålingerne blev udført den 17.-18. februar 2004 efter procedurebeskrivelsen beskrevet i /2/. Barometerstanden var svagt stigende i perioden (17.02. kl. 16: 1016 mbar; 01.12. kl. 16: 1020 mbar).

4.2.2 Resultater og vurdering

PI-detektoren giver som nævnt i afsnit 2.2 udslag for en række VOC'er og er ikke – som PAS-instrumentet - specifik over for PCE. Baggrundskoncentrationen i rumluften målt med PI-detektoren varierede i case B ganske meget på måletidspunktet, og dette skyldes, at der på måletidspunktet benyttedes kulbrinteblending i renseriet. Det blev besluttet at minimere baggrundskoncentrationens indflydelse på "sniffermålingen" med PI-detektoren ved at måle rumluftens koncentration umiddelbart før og efter målingen på luften under

VaporCover, og derefter korrigerer for rumluftens bidrag til den målte koncentrationen ved hjælp af (1):

$$C_{korr} = C_{VaporCover} - \frac{C_{rum, før} - C_{rum, efter}}{2} \quad (1)$$

- C_{korr} = Den målte, korrigerede koncentration
 $C_{VaporCover}$ = Den målte koncentration i luften under VaporCover
 $C_{rum, før}$ = Den målte koncentration i rumluften umiddelbart før måling på luften under VaporCover
 $C_{rum, efter}$ = Den målte koncentration i rumluften umiddelbart efter måling på luften under VaporCover

Alle resultater af sniffermålinger beskrevet i denne rapport er korrigeret for baggrundskoncentrationen i rumluften efter (1). Dette gælder for resultater af målinger med såvel PI-detektoren som PAS-instrumentet.

Målepunkterne, hvori der blev udført sniffermålinger, er vist i figur 10. Tabel 2 viser resultaterne for henholdsvis PI-detektoren og PAS-instrumentet, idet der for begge instrumenter blev korrigeret for rumluftens bidrag ved hjælp af (1).

Figur 10. Målepunkter på kældergulv under renseri, case B.



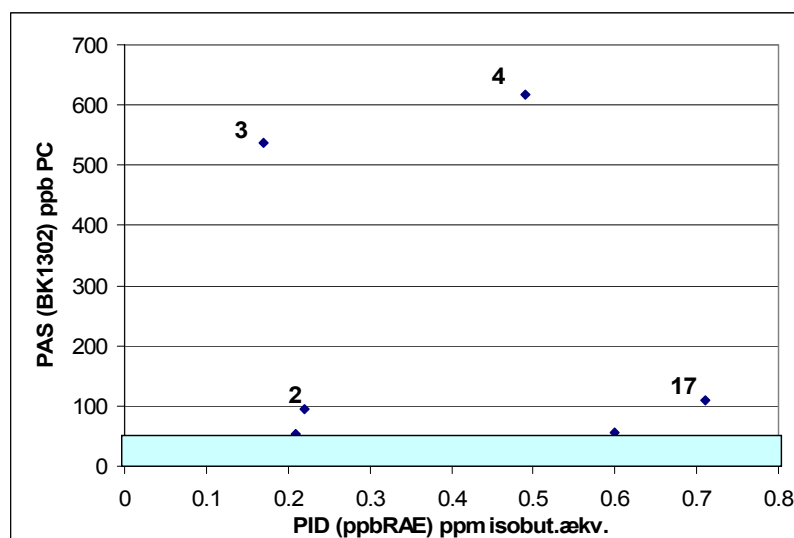
Resultaterne af sniffermålingerne er vist grafisk i figur 11. Det er tydeligt ud fra figur 11, at der er en dårlig korrelation mellem de to måleinstrumenter. PAS, der måler PCE specifikt, måler en kraftig indtrængning af PCE i punkt 3 og 4, og en mindre indtrængning i punkt 2 og 17. PI-detektoren måler også en indtrængning i disse punkter, men det er tydeligt, at der er interferens fra andre stoffer, som medfører, at PI-detektoren også giver udslag i andre punkter på kældergulvet. Årsagen til den dårlige korrelation mellem de to måleinstrumenter tillægges også interfererende stoffer, herunder formodentlig kulbrinter hidrørende fra den nuværende rensproces.

Det konkluderes, at det i tilfælde, hvor der anvendes kulbrinter eller forekommer andre VOC'er på målestedet, ikke er tilstrækkeligt at udføre sniffermålingen med en ikke-specifik gasdetektor såsom PI-detektoren. I sådanne tilfælde vil det være nødvendigt at udføre sniffermålingen med et instrument, der måler PCE specifikt, som f.eks. en fotoakustisk infrarød detektor (PAS).

Tabel 2. Case B. Målte koncentrationer med brug af VaporCover med måleinstrumenter af typen PID og PAS. Alle resultater er korrigeret for baggrundskoncentrationen i rumluften efter (1).

Målested nr.	PID (ppbRAE) ppm iso-but ækv.	PAS (BK1302) ppb PCE
1	0.38	< 50
2	0.22	96
3	0.17	537
4	0.49	617
5	0.21	52
6	0.6	56
7	0.3	< 50
8	0.15	< 50
9	< 0.1	< 50
10	0.1	< 50
11	0.2	< 50
12	0.1	< 50
13	< 0.1	< 50
14	< 0.1	< 50
15	< 0.1	< 50
16	< 0.1	< 50
17	0.71	110
18	< 0.1	< 50
19	< 0.1	< 50
20	< 0.1	< 50
21	< 0.1	< 50
22	< 0.1	< 50

Figur 11. Målinger med sniffermetoden, case B: Sammenlignende målinger på kældergulvet under et renseri, hvor der foregår "kulbrinterensning", men hvor der tidligere har været anvendt PCE. Resultater, hvor der er fundet PCE-koncentrationer over detektionsgrænsen (50 ppb PCE for PAS-instrumentet), er vist med målepunkt nr.



Ingen målelig PCE

Ud fra resultatet af PAS-målingerne blev der i målepunkt 4 udført en måling af fluxen ved hjælp af foliemetoden. Endvidere er der udført fluxmåling i punkt 21, hvor der hverken med PAS- eller PID-instrument kunne findes en målelig indtrængning ud fra sniffermetoden.

Resultatet af fluxmålingerne fremgår af tabel 3.

Bidraget til indeluftkoncentrationen i et lokale med et gulv, hvorfra der er en flux J , er beregnet ud fra (II), hvor L_h er loftshøjden, og L_s er luftskiftet i lokalet:

$$C_B = \frac{J}{L_h \cdot L_s} \quad (\text{II})$$

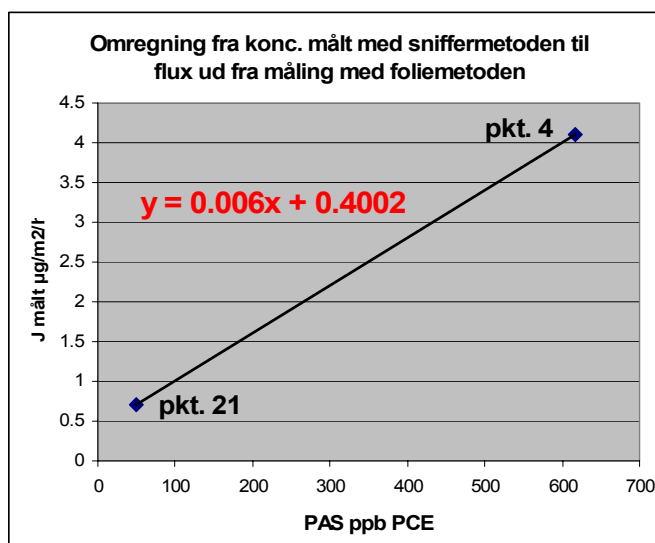
Tabel 3. Case B: Målt flux fra målepunkt 5 og 21 og estimeret bidrag til indeluftkoncentrationen fra et gulvareal med den aktuelle målte flux.

Målepunkt	Måleperiode	PCE	PCE
		Flux af PCE målt med foliemetoden (J) $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{time}$	Beregnet bidrag C_B til indeluftkoncentration ud fra fluxmåling* $\mu\text{g}/\text{m}^3$
4	18/02/2004 09:00-15:35	4.1	4.3
21	18/02/2004 09:15-15:40	0.7	0.8

*Beregnet ud fra (II).

Ud fra den målte flux i punkt 4 og 21, og ud fra de orienterende sniffermålinger, kan den samlede flux fra gulvet vurderes overslagsmæssigt. Dette kan gøres ud fra sniffermålingerne med PAS i punkt 4 og 21, der sammenholdt med fluxmålingerne giver en estimeret sammenhæng mellem den målte koncentration af PCE under VaporCover og den målte flux som vist i figur 12:

Figur 12. Case B: den målte koncentration af PCE under VaporCover ved sniffermålingerne og den målte flux med foliemetoden i målepunkt 4 og 21.



Med henvisning til figur 12 kan fluxen i målepunkt n herefter estimeres ud fra

$$J_n = 0,006 \cdot C_{m\ddot{a}lt, PAS} + 0,4002 \quad (\text{III})$$

Det samlede bidrag fra gulvet kan beregnes efter (IV):

$$C_B = \frac{E_{total}}{V_{rum} \cdot L_S} = \frac{J_1 \cdot A_1 + J_2 \cdot A_2 + \dots + J_n \cdot A_n}{V_{rum} \cdot L_S} \quad (\text{IV})$$

hvor C_B = Bidraget til koncentrationen i indeluften i kælderlokalet [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

E_{total} = Den samlede emission af PCE fra gulvet [$\mu\text{g}/\text{time}$]

L_S = Luftsiftet i lokalet [timer^{-1}]

V_{RUM} = Lokalets rumvolumen [m^3]

J_n = Fluxen fra arealområde repræsenteret af målepunkt n [$\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{time}$]

A_n = Arealet repræsenteret af målepunkt n [m^2]

Tabel 4 viser den beregnede flux i de enkelte målepunkter ud fra (III) og det deraf beregnede, samlede estimat for bidraget til indeluftkoncentrationen i kælderlokalet ud fra (IV).

Tabel 4. Case B: Beregnet emission i hvert enkelt målepunkt ud fra sniffermålinger og fluxmålinger, og deraf beregnet estimat for det samlede, maximale bidrag af PCE fra kældergulvet.

Målested nr.	Sniffermåling m. PAS (BK1302) ppb PCE*	Estimeret flux ud fra (III) J_n $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{time}$	Estimeret areal A_n m^2	Beregnet emission $E = J_n \cdot A_n$ $\mu\text{g}/\text{time}$
1	< 50	< 0.7	1	< 0.7
2	96	1.0	1	1.0
3	537	3.6	1	3.6
4	617	4.1	1	4.1
5	52	0.7	1	0.7
6	56	0.7	1	0.7
7	< 50	< 0.7	1	< 0.7
8	< 50	< 0.7	1	< 0.7
9	< 50	< 0.7	1	< 0.7
10	< 50	< 0.7	1	< 0.7
11	< 50	< 0.7	1	< 0.7
12	< 50	< 0.7	1	< 0.7
13	< 50	< 0.7	1	< 0.7
14	< 50	< 0.7	1	< 0.7
15	< 50	< 0.7	1	< 0.7
16	< 50	< 0.7	1	< 0.7
17	110	1.1	1	1.1
18	< 50	< 0.7	2	< 1.4
19	< 50	< 0.7	2	< 1.4
20	< 50	< 0.7	2	< 1.4
21	< 50	< 0.7	2	< 1.4
22	< 50	< 0.7	2	< 1.4
Sum			$A_{total} = 27$	$J_{total} = 25.9$
Målt loftshøjde L_h (m)				2.1
Rumvolumen V_{RUM} (m^3)				57
Estimeret luftsifte L_S (timer^{-1})				0.5
Estimeret maksimalt bidrag til indeluftkoncentrationen fra hele gulvet jf. (IV) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$):				0.9

Resultatet af sniffermålingerne giver ikke en kvantitativ bestemmelse af indtrængningen, og dette vil influere på usikkerheden på det beregnede estimat. Det vurderes dog, at, det her beregnede bidrag ud fra en kombination af sniffermålinger og fluxmålinger giver et væsentligt bedre estimat i forhold til den traditionelle feltmetode til bestemmelse af indtrængningen af VOC fra forurenede jord gennem betongulve. Her tænkes på anvendelsen af poreluftmålinger, der typisk udføres i få punkter, og efterfølgende beregning ud fra antagelser om betongulvets beskaffenhed, revnestørrelser og tykkelse, jf. anvisningerne for beregning af bidraget som beskrevet i Miljøstyrelsens vejledning 6 og 7/1998.

Det fremgår, at det beregnede estimat i case B på et bidrag af PCE på $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ er væsentligt under Miljøstyrelsens luftkvalitetskriterie på $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, gældende som det maksimale bidrag fra jordforureningen til indeluftkoncentrationen.

4.3 Case C: Indtrængning gennem kældergulv på forurenede grund

Case C blev udført i krybekælderen under et parcelhus, der blev opført for 35 år siden. Et nærliggende pelsrenseri har været årsag til en kraftig jordforurening med PCE i området. Det er ved nyere undersøgelser foranlediget af Københavns Amt fundet, at forureningen har spredt sig og giver anledning til en uacceptabelt høj afdampning af PCE til indeluften i parcelhuset.

Det samlede areal af betongulvet i krybekælderen er ca. 150 m^2 .

4.3.1 Feltestens udførelse

Der blev målt med sniffermetoden i 32 punkter i krybekælderen. Målingerne blev udført som beskrevet under case B, idet der her også blev målt for "baggrundskoncentrationen" før og efter. Punkterne blev spredt jævnt ud over krybekælderen, og måling blev udført med PI-detektor som vist i figur 13. På grund af vanskelige adgangsforhold blev der ikke udført målinger i krybekælderen med PAS-instrumentet. I forbindelse med case C vurderedes det, at indflydelsen fra andre gasformige forbindelser ville være minimal.

Figur 13. Udførelse af sniffermålinger med PI-detektor i krybekælder: Case C.



Ud fra sniffermålingerne blev der udpeget tre punkter, hvori der blev udført fluxmåling med foliemetoden. Der blev fundet en tydelig indtrængning ud fra sniffermålingen i de tre udpegede punkter.

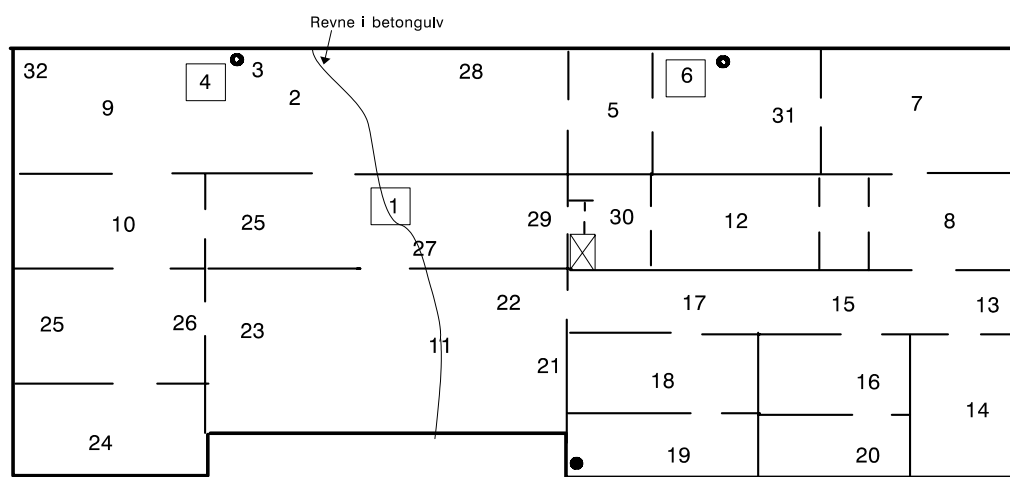
Sniffermålingerne blev udført den 23. februar 2004. Fluxmålinger blev udført den 24. februar 2004 efter procedurebeskrivelsen beskrevet i /2/. Der blev inden opstart af foliemålingen foretaget konditionering af luften under folien fra den 23.-24. februar.

Som det fremgår af figur 14 var der en kraftig revne i betongulvet i krybekælderens. Revnebredden var visse steder op til 4-5 mm ved betonoverfladen.

4.3.2 Resultater og vurdering

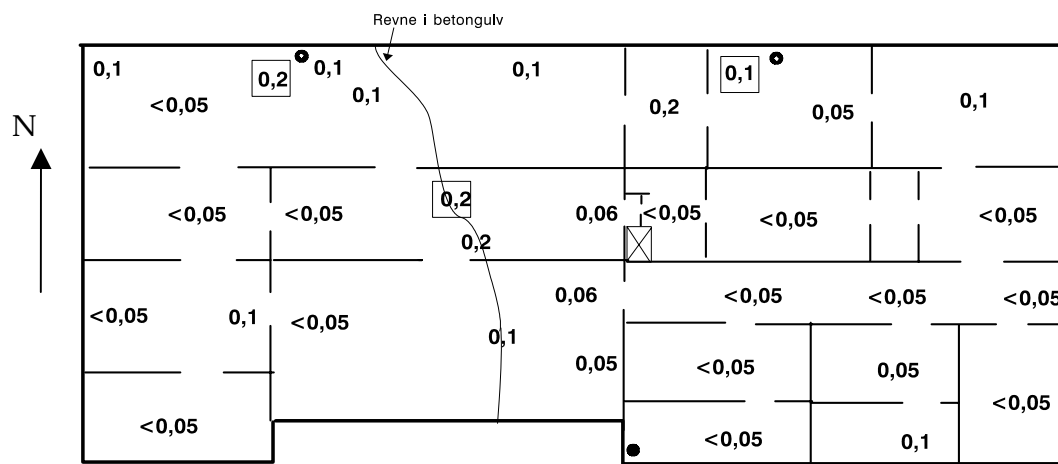
Målepunkterne er vist figur 14.

Figur 14. Målesteder, case C. Sniffermålinger er udført på alle markerede målesteder. Fluxmålinger er udført på målestederne 1, 4 og 6.



Resultaterne af sniffermålingerne er vist på figur 15.

Figur 15. Resultater af sniffermålinger udført med PI-detektor. Enhed: ppm iso-butylen ækvivalenter.



Det fremgår af figur 15, at forureningen er kraftigst op mod ydervæggen mod nord. Dette svarer ifølge de tidligere udførte forureningsundersøgelser godt til den konstaterede udbredelse af forureningen, som breder sig fra en nedrivning i et område nord for huset.

I punkterne 1, 4 og 6 blev der udført fluxmålinger med foliemetoden som vist i figur 16.

Figur 16. Case C: Måling af flux ved hjælp af foliemetoden i målepunkt 1.



Resultater af fluxmålingerne er vist i tabel 5 og 6.

Tabel 5. Case C: Målt flux (J) fra gulvareal, krybekælder på forurenede grund (Case C). Resultatet af sniffermålingen udført den 23.02.2004 er vist til sammenligning.

Målested	Måleperiode	fluxmåling	Resultat af sniffermåling med PI-detektor ppm iso-butylene ækv.	Målt flux J af PCE $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{time}$
1	24/02/2004 09:20–15:40		0,2	153
4	24/02/2004 09:35–16:20		0,2	18
6	24/02/2004 09:10–15:30		0,1	18

Det fremgår af tabel 5, at den målte flux til krybekælderen på 18 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{time}$ – 153 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{time}$ er betydeligt højere end den målte flux i kælderen under renseriet i case B, som jf. tabel 3 blev fundet at være i området 0,7 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{time}$ – 4,1 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{time}$. Det estimerede bidrag fra de enkelte punkter til koncentrationen i luften i krybekælderen i case C er vist i tabel 6. Bidraget er meget kraftigt i målepunkt nr. 1, hvilket skyldes revnen i betongulvet.

Tabel 6. Case C: Estimeret bidrag til indeklimatekoncentration i krybekælder fra flux via gulv. Bidraget er beregnet efter formel (IV), dvs. $C_b = J/L_h/L_s$. $L_h = 0,75\text{m}$, $L_s = 0,5$ (estimeret luftskifte, worst case).

Målested nr.	L_h m	L_s estimeret h-1	Estimeret bidrag til indeluftkoncentrationen i krybekælderen fra et gulv med den aktuelt målte flux ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) PCE
1			408
4	0,75	0,5	47
6			47

Ved at udføre målinger med PAS-instrumentet kan den samlede indtrængning af PCE til krybekælderen bestemmes efter samme metode som benyttet for case B. Det skal i den forbindelse bemærkes, at en korrelation mellem resultatet af sniffermålinger og fluxmålinger skal foretages med stor forsigtighed, når der er tale om indtrængning fra områder med revnedannelse, hvor en konvektiv transport vil være dominerende. Dette skyldes, at sniffermålingen bestemmer en koncentration i den luft, der er under VaporCover, og da der kan ske en væsentlig luftbevægelse gennem revnen, vil resultatet af sniffermålingen ikke nødvendigvis være proportional med fluxen.

Tabel 7 viser beregningen af et estimat for bidraget af PCE fra gulvet til koncentrationen i luften i krybekælderen. Ud fra resultatet af sniffermålingerne er det her skønnet, at

1. den meget høje flux fra betonrevnen (som målt i punkt 1) forekommer fra et gulvareal, der svarer til 5 m^2 ,
2. krybekælderens nordligste fjerdedel giver en høj flux (repræsenteret ved resultatet af foliemålingerne i punkt 4 og 6), og
3. krybekælderens sydligste tre fjerdedele giver en flux, der er det halve af fluxen målt i punkt 4 og 6.

Det fremgår, at der estimeres et samlet bidrag fra gulvet til luften i krybekælderen på $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Bidraget til luften over krybekælderen – dvs. i parcelhuset - er ikke vurderet i dette projekt.

Tabel 7. Beregnet worst case estimat for bidraget af PCE fra gulvet til luften i krybekælderen.

Gulvareal	Sniffermåling m. PID ppm iso-but. ækv.	Estimeret flux J_n $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{time}$	Estimeret areal A_n m^2	Beregnet emission $E = J_n \cdot A_n$ $\mu\text{g}/\text{time}$
Areal med revne i betongulvet	0,2	153	5	750
Areal med høj flux	0,1-0,2	18	36	650
Areal med lav flux	0,05	9	109	1000
Sum			$A_{\text{total}} = 150$	$J_{\text{total}} = 2.400$
Målt loftshøjde L_h (m)				0,75
Rumvolumen $V_{\text{krybekælder}}$ (m^3)				113
Estimeret luftskifte L_s (timer^{-1})				0,5
Samlet, estimeret bidrag fra gulvet til koncentrationen af PCE i luften i krybekælderen jf. (IV) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$):				40

4.4 Case D: Indtrængning i lejlighed over eksisterende renseri

Case D adskiller sig fra de øvrige cases, idet den ikke relateres til en jordforurening, men derimod til en indtrængning af PCE fra et eksisterende renseri til en lejlighed over renseriet.

Case D blev udført i en lejlighed over et renseri beliggende i en ca. 40 år gammel ejendom i 2 etager. Det er ved nyere undersøgelser fundet, at koncentrationen af PCE i lejlighedens indeluft overskrider den tilladelige koncentration af PCE på $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$. Denne grænseværdi er fastsat i Miljøministeriets renseribekendtgørelse /4/.

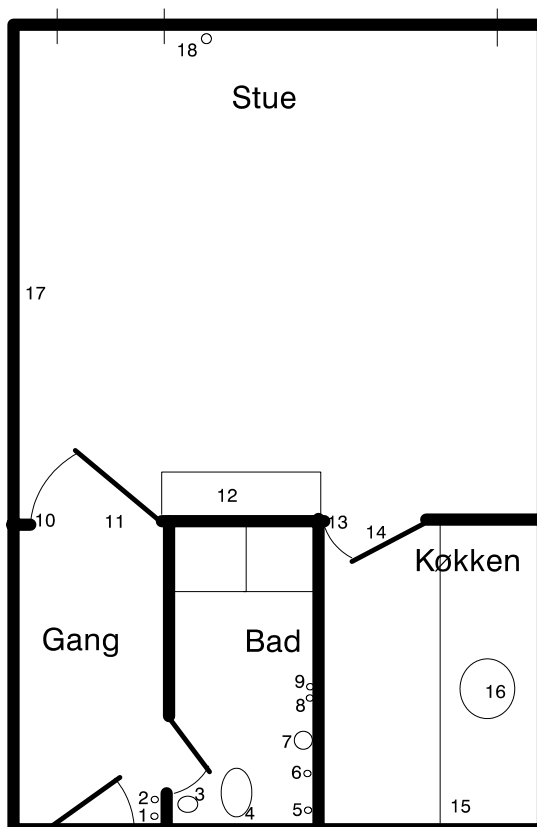
Case D har til formål at demonstrere, om sniffermålinger kan bruges til at lokalisere områder med særlig høj indtrængning til en lejlighed over et eksisterende renseri.

4.4.1 Feltestens udførelse

Der blev målt med sniffermetoden i 18 punkter i lejligheden. Samtidig blev indeluften målt i både lejlighed og renseri. Målinger blev i alle punkter udført med PI-detektor, og der blev i udvalgte punkter tillige målt med PAS-instrument.

Målingerne er udført den 25. november 2003. Målepunkterne i lejligheden er vist i figur 17. Sniffermålingerne er udført ved at lade VaporCover afdække det aktuelle område på gulvet i 5 minutter inden måling foretages. Figur 18 illustrerer målingen med PAS-instrument på indtrængningen fra et område omkring et dørrin.

Figur 17. CASE D: Sniffermålinger på gulvarealer i lejlighed over eksisterende renseri. Placering af målepunkter.



Figur 18. Case D: Sniffermåling på indtrængning fra dørtrin ved hjælp af afdækning med VaporCover og måling af PCE med PAS instrument.



4.4.2 Resultater og vurdering

Resultaterne af målingerne fremgår af tabel 8.

Tabel 8. CASE D: Måleresultater, Lejlighed over eksisterende renseri. De nummererede målesteder angiver resultatet af sniffermålinger på gulvarealet.

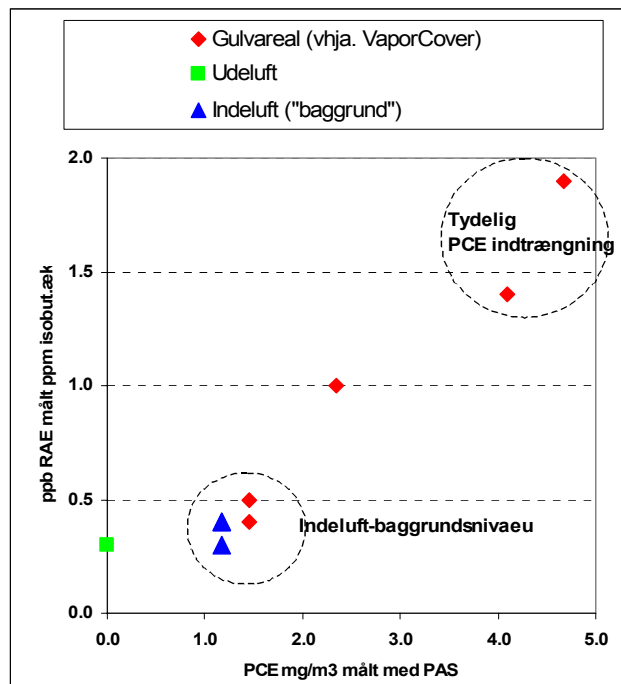
Målested nr. (jf. fig. 13)	Målested beskrivelse	ppbRAE visning ppm iso-butylene ækvivalenter	PAS målt konc. (10.6µm IR) mg/m ³ PCE
-	Renseri under lejligheder (min. Rumluft - max. over rensesmaskine)	8 - 18	29 - 63
-	Udeluft	0,3	< 0.5
-	Indeluft gang	0,4	1,2
-	Indeluft toilet	0,4	1,2
-	Indeluft stue	0,3	1,2
1	Radiatorrør gang	0,4	i.m.
2	Radiatorrør gang	0,4	i.m.
3	Faldstamme toilet	0,5	i.m.
4	Toilet-vandlås	0,4	i.m.
5	Radiatorrør toilet (mod vindue)	0,4	i.m.
6	Radiatorrør toilet	0,4	i.m.
7	Afløb fra håndvask (rist)	0,4	i.m.
8	Vandrør (koldtvars)	0,5	i.m.
9	Vandrør (varmtvars)	0,5	i.m.
10	Dørtrin gang/stue	1,9	4,7
11	Dørtrin gang/stue	1,4	4,1
12	Skab	1,0	2,3
13	Dørtrin køkken/stue	0,4	1,5
14	Dørtrin køkken/stue	0,5	1,5
15	Radiatorrør	0,5	i.m.
16	Afløb fra køkkenvask	0,4	i.m.
17	Fodpanel stue	0,3	i.m.
18	Radiatorrør stue	0,3	i.m.

Det fremgår, at der ved sniffermålingerne kunne konstateres en særlig kraftig indtrængning af PCE ved dørtrinet mellem gang og stue (målepunkt 10-11), i skabet op mod væggen mellem dør og stue (punkt 12).

Årsagen til indtrængningen skal søges i, at etageadskillelsen netop under væggen mellem stue og køkken/gang ændres fra at være en traditionel etageadskillelse med hulrum mellem trægulv/pudset loft til en adskillelse med betongulv under førstesalens køkken/bad. Dette har tilsyneladende ført til en særlig stor utæthed i overgangen mellem de to konstruktioner.

Figur 19 viser korrelationen mellem resultaterne opnået ved sniffermåling med PI-detektor henholdsvis med PAS-instrument. Det fremgår, at der i forbindelse med case D var en relativt god korrelation imellem de to instrumenters resultater.

Figur 19. CASE D: Lejlighed, beliggende over eksisterende renseri. Resultater af sniffermålinger PI-detektor (ppbRAE) sammenholdt med resultater af PAS instrument.



Det skal bemærkes, at der i et tilfælde ved måling på en anden lejlighed i samme ejendom blev fundet et "falsk positivt" respons med PI-detektoren over en kloakrist, idet der blev fundet et relativt kraftigt udslag med PI-detektoren, hvorimod en efterfølgende måling med PAS-detektoren på dette sted ikke viste nogen tegn på indtrængning af PCE til VaporCover mundstykket. Der blev dog ikke fundet falsk positive resultater med PI-detektoren i case D.

5 Diskussion

Projektets laboratorieforsøg har vist, at aluminiumsfolien, benyttet til sniffermetodens "mundstykke", kan anvendes, uden at der er nogen væsentlig risiko for adsorption af PCE til folien. Samlet vurderes PI-detektoren at være særdeles velegnet til måling af PCE i forbindelse med sniffermetoden.

Feltforsøgene viste, at det er muligt ved hjælp af sniffermetoden at kortlægge, hvordan PCE- indtrængning fordeles over et gulv. Dette blev vist på både lokaliteter, hvor indtrængningen sker som følge af en jordforurening under gulv, og på en lokalitet hvor indtrængningen sker til en lejlighed over et eksisterende renseri. Der blev ved sammenlignende målinger i felten generelt fundet god overensstemmelse mellem PI-detektoren og en PAS-detektor med mulighed for specifik bestemmelse af PCE. Der kan opstå "falsk positiv" respons med PI-detektoren i enkelte tilfælde, idet der blev fundet et relativt kraftigt udslag med PI-detektoren, hvorimod en efterfølgende måling med PAS-detektoren ikke viste nogen tegn på indtrængning af PCE til VaporCover mundstykket.

Sniffermålingerne kunne udføres på relativt kort tid (ca. ½ dag) og udgjorde derved et effektivt værktøj til en hurtig udpegnings af områder med kraftig indtrængning, og hvor indtrængningen efterfølgende kan bestemmes kvantitativt ved hjælp af foliemetoden.

I forbindelse med case B blev der målt med foliemetoden på et område, hvor der med sniffermetoden var fundet den højeste indtrængning, og på et område med laveste indtrængning. Ud fra disse to punkter blev der opstillet en korrelation mellem det målte niveau af indtrængning med sniffermetoden, og den målte faktiske indtrængning med foliemetoden. Denne korrelation er naturligvis behæftet med en vis usikkerhed, da der er tale om kun to punkter. Korrelationen gjorde det imidlertid muligt at estimere den samlede indtrængning fra hele gulvet ved omregning ud fra de enkelte punkter i det netværk på ca. 1m x 1m, der var kortlagt med sniffermetoden. Denne estimerede, samlede indtrængning kan direkte sammenlignes med det krav, Miljøstyrelsen stiller til det maksimale bidrag fra jordforureningen i form af luftkvalitetskriterierne i vejledning 6 og 7 fra 1998.

I case D blev indtrængningen af PCE kortlagt i en lejlighed beliggende over et eksisterende renseri. Der blev ved hjælp af sniffermetoden lokaliseret en særlig kraftig indtrængning af PCE fra et gulvområde omkring et dørtrin. På denne måde blev der påvist en særlig stor utæthed i den pågældende etageadskillelse. Resultatet har senere kunnet udnyttes til at forbedre tætningen mellem renseri og lejlighed.

6 Konklusion

Det kan sammenfattende konkluderes, at sniffermetoden er fundet meget velegnet til brug ved en indledende kortlægning af indtrængningen af PCE til indeluften i boliger, der er beliggende på lokaliteter med forurenede jord. Det har vist sig muligt hurtigt at udpege "hot spots" med særlig stor indtrængning, og ved en efterfølgende måling med foliemetoden har det været muligt at beregne det samlede bidrag til indeluften fra jordforureningen.

Endvidere er det ved feltforsøg vist, at sniffermetoden også kan bruges til at lokalisere områder med særlig store utætheder i etageadskillelser mellem renserier og lejligheder. Dette kan benyttes med stor fordel i forbindelse med etablering og kontrol af foranstaltninger, der skal tætte etageadskillelser mellem renseri og lejligheder i henhold til Miljøministeriets bekendtgørelse om etablering og drift af renserier nr. 532 af 18/6 2003.

7 Referencer

-
- 1 Miljøstyrelsen (1998). Oprydning på forurenede lokaliteter. Vejledning Nr. 6, 1998.
 - 2 Måling af indtrængningen af gasformige forbindelser fra forurenede jord til indeluften: Foliemetoden. Del 2 Felttest. Rapport fra Miljøstyrelsen 2001, Miljøprojekt nr. 647.
 - 3 Måling af indtrængningen af gasformige forbindelser fra forurenede jord til indeluften: Foliemetoden. Del 1 Laborietest. Rapport fra Miljøstyrelsen 2001, Miljøprojekt nr. 646.
 - 4 Miljøministeriets bekendtgørelse om etablering og drift af renserier nr. 532 af 18/6 2003.
 - 5 A New Method for Measurement of the Intrusion of VOCs to Indoor Air from Contaminated Soil. Proceedings of the Indoor Air 2002 Conference, June 30 – July 5 2002, Monterey, USA.