

Feltafprøvning af sporgasmetode til
brug for måling af transport af
forureninger mellem renserier og
tilstødende lejligheder

Peter Mortensen
Eurofins Danmark A/S

Dorte Glensvig
COWI A/S

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

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

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

Indhold

FORORD	5
RESUMÉ OG KONKLUSION	6
ENGLISH SUMMARY	9
1 PROJEKTETS BAGGRUND OG FORMÅL	9
1.1 BAGGRUND	12
1.2 FORMÅL	13
2 KORT PRÆSENTATION AF METODEN	14
2.1 KORT INTRODUKTION TIL DEN UDVIKLEDE METODE	14
3 FORSØGSDESIGN	17
3.1 LABORATORIEFORSØG	17
3.1.1 <i>Baggrund</i>	17
3.1.2 <i>Forsøgsopsætning</i>	17
3.2 FELTFORSØG	18
4 FORSØGSOMSTÆNDIGHEDER OG METODER	22
4.1 LABORATORIEFORSØG	22
4.1.1 <i>Beskrivelse af forsøgsopstillingen</i>	22
4.2 FELTFORSØG	23
4.2.1 <i>Beskrivelse af renserier, lejligheder samt aktivitet</i>	23
4.2.2 <i>Langtidsmålinger</i>	24
4.2.3 <i>Korttidsmålinger</i>	27
5 RESULTATER	28
5.1 LABORATORIEFORSØG	28
5.1.1 <i>Tidsligt forløb af diffusion gennem betonflade</i>	28
5.1.2 <i>Flux af sporgasser og rene væsker gennem intakt betonflade</i>	29
5.2 FELTFORSØG	30
5.2.1 <i>Flux mellem renseri og lejlighed</i>	30
5.2.2 <i>Resultater af gentagne målinger samme sted</i>	31
5.2.3 <i>Repetérbarhed (prøvetagning og analyse)</i>	32
5.2.4 <i>Horisontal og vertikal fordeling af sporgasser i renserier og i lejligheder</i>	33
5.2.5 <i>Sinks</i>	35
5.2.6 <i>Korttidsmålinger af diffusion gennem etageadskillelse mellem renseri og lejlighed</i>	35
5.2.7 <i>Luftskiftemålinger</i>	36
6 DISKUSSION	38
6.1 METODENS ANVENDELIGHED	38
6.2 MÅLESTRATEGI	39
6.3 ANTAL OG PLACERING AF SPORGASKILDER OG SAMPLERE	39
6.4 METODEUSIKKERHED	40
6.5 DIFFUSIONSHASTIGHEDER	40
6.6 LUFTSKIFTEMÅLINGER	40
6.7 BRUG AF METODEN TIL VURDERING AF ET RENSERI'S PÅVIRKNING AF TILSTØDENDE LEJLIGHEDER	40

7 REFERENCER

Bilag I:	Detaljeret beskrivelse af renserier og lejligheder
Bilag II:	Beskrivelse af registrerende aktiviteter
Bilag III:	Resultater - laboratorieforsøg
Bilag IV:	Resultater - feltforsøg med sporgasser
Bilag V:	Resultater - korttidsmålinger af luftskiftet i lejligheder
Bilag VI:	Temperatur og luftfugtighed under feltforsøg
Bilag VII:	Metodebeskrivelse - sporgasmetoden
Bilag IIX:	Forsøgsbetingelser, laboratorieforsøg
Bilag IX:	Dobbeltbestemmelser
Bilag X:	Estimat af usikkerheden på flux'en (beregnet værdi)
Bilag XI:	Vind- og temperaturforhold i måleperioderne

Forord

Dette miljøprojekt er udarbejdet for Miljøstyrelsen som et af flere projekter om renseribranchen i Danmark.

Projektarbejdet er gennemført af et tværfagligt team bestående af medarbejdere fra Eurofins Danmark A/S og COWI A/S. Disse er:

Eurofins Danmark A/S: Peter Mortensen og Søren L. Brødsgaard.

COWI A/S: Dorte Glensvig og Christian Buch

Feltundersøgelserne i projektet er primært forestået af COWI A/S med støtte fra Eurofins Danmark A/S. Alle laboratorieanalyser er foretaget ved Eurofins Danmark A/S. dk-Teknik Energi & Miljø har medvirket som underleverandør af de gennemførte laboratorieundersøgelser af diffusion gennem beton.

Nærværende projekt har været fulgt af en følgegruppe bestående af

- Lisbet Heerfordt, Miljøstyrelsen og formand for følgegruppen
- Preben Bruun, Miljøstyrelsen
- Erik Thomsen, Miljøstyrelsen
- Karsten Fuglsang, dk-Teknik Energi & Miljø
- Ole Mygin, Sundhedsstyrelsen (indtil 31.12.2002)
- Ove Nielsen, Erhvervs- og Boligstyrelsen
- Arne Scheel Thomsen, Embedslægeinstitutionen for Københavns Amt
- Dorte Glensvig, COWI A/S
- Søren Brødsgaard, Eurofins Danmark A/S
- Peter Mortensen, Eurofins Danmark A/S

Dette projekts primære målgruppe er Miljøstyrelsen. Den færdigudviklede sporgasmetode vil have interesse for danske amter, rådgivningsfirmaer, embedslægeinstitutionerne, Sundhedsstyrelsen, Erhvervs- og Boligstyrelsen samt andre, der varetager forvaltning eller rådgivning i relation til forureninger i indeklimaet.

Projektet havde ikke kunnet gennemføres uden velvilje fra renseriejere og beboere på de udvalgte testlokaliteter. Der rettes derfor en stor tak til alle implicerede, som har muliggjort, at målingerne kunne gennemføres.

Resumé og konklusion

Dette projekt er fase 2 i udviklingen af en diffusiv sporgasmetode til brug for måling af stoftransport og luftbevægelser mellem tilstødende rum i en bygning. Det primære formål med metoden er anvendelse til vurdering af påvirkning fra renseriers drift af en overliggende lejlighed, men metoden vil også kunne anvendes i andre sammenhænge.

I projektets første fase (Miljøstyrelsen 2002a) blev opsamlings- og analysemetoder udviklet ligesom metodens performance under laboratorieforhold blev undersøgt.

Formålet med fase 2 er at afprøve metoden under realistiske forhold i felten samt at indsamle de første informationer om størrelsen af stoftransporten mellem et renseri og en overliggende lejlighed.

Som et led i afprøvningen af metoden blev der foretaget en bestemmelse af sporgasser og renservæskers diffusionshastighed gennem en intakt betonflise. Der viste sig at være en forskel på ca. 50%, når sporgasserne PP2 og PP3 sammenlignes med tetrachlorethylen og 30%, når sammenligningen foretages i forhold til kulbrinte (decan). Laboratorieforsøgene viste også, at der afsættes op til 30% af såvel sporgasser som tetrachlorethylen i betonflisen. Afsættelse af decan (kulbrinte) var op mod 60%. De gennemførte feltforsøg viste imidlertid samtidigt, at den diffusive transport udgjorde et ubetydeligt bidrag til den samlede stoftransport mellem renseri og lejlighed og det foreslås derfor, at der ikke skal foretages kompensation for forskelle i diffusionshastighed eller adsorption, når transporten af forureninger mellem renseri og lejlighed beregnes på baggrund af sporgaskoncentrationerne. Hvis det diffusive bidrag på et senere tidspunkt får større betydning som følge af indretningsmæssige krav til renserierne, bør dette punkt revurderes.

Tetrachlorethylen diffunderer gennem den anvendte betonflise med en hastighed som var ca. 50% større end sporgasserne. Tilsvarende var diffusionshastigheden for den anvendte kulbrinte (decan) ca. 30% mindre end tilsvarende for sporgasserne.

Laboratorieforsøgene viste videre, at transporten gennem betonflisen var meget hurtig og indikerede dermed, at en situation med stationær transport gennem en etageadskillelse vil indstille sig hurtigt. Det gav anledning til at vurdere, at man ved målinger i felten kan opsætte samplere få dage efter opsætning af sporgaskilder.

Feltforsøgene er foregået på tre lokaliteter i Københavnsområdet. Forsøgsstederne er valgt således, at spredning via andet end etageadskillelsen så vidt muligt er undgået. Dette er f.eks. gjort ved at sikre, at der ikke er færdsel mellem renseri og lejlighed via indvendige trapper. Forsøgslokaliteterne er tillige udvalgt som steder, hvor der på forsøgstidspunktet kun var foretaget ingen eller begrænsede tiltag (f.eks. tætning af synlige åbninger ved rørgennemføringer) for at undgå spredning til overliggende lejlighed. Der er således ikke opsat diffusionstætte membraner eller undertryksventilerede lofter på nogen af de anvendte lokaliteter.

I forsøgene blev anvendt 2 sporgasser benævnt PP2 og PP3. Sporgaskilder blev opsat 3 steder i hhv. renseri og overliggende lejlighed. I såvel renseri som lejlighed blev der 2 dage efter opsætning af sporgaskilder placeret et antal samplere. Der blev opsat samplere på 6 og 12 positioner i hhv. lejlighed og renseri med henblik på at vurdere vertikale og horisontale variationer i sporgaskoncentrationen.

Måleresultaterne viser, at sporgassen spredes jævnt i lokalerne, og at omfanget af målepositioner kan reduceres ved fremtidig brug af metoden.

Der blev gennemført i alt 55 dobbeltbestemmelser gennem forsøgsforløbet. Analyse af resultaterne viser en særdeles god repeterbarhed af metoden (prøvetagning og analyse) svarende til en relativ standardafvigelse på dobbeltbestemmelserne på 8%. Usikkerheden på den beregnede flux er estimeret til 25%.

De første måleresultater af stoftransporten mellem renserier og lejligheder viste, at der kunne være betydelige variationer mellem målinger inden for kort tid. Der blev således fundet variationer på 3-5 gange, når målinger over 14 dage blev foretaget med 14 dages mellemrum på den samme lokalitet. Årsagen formodes at være udefrakommende klimatiske forhold, som påvirker luftbevægelserne i bygningen. Det har ikke været muligt at finde undersøgelser af variationen i luftbevægelserne mellem etager, men erfaringer ved Statens Byggeforskningsinstitut, By og Byg samt Risø indikerer, at der er tale om ikke urealistiske variationer.

Det er sandsynligt, at kommende indretningsmæssige krav til renserierne såsom opsætning af diffusionstætte membraner eller undertryksventilerede nedhængte lofter vil reducere den tidlige variation.

Metoden tillader direkte måling og beregning af den aktuelle transport af forureninger mellem renseri og lejlighed. Størrelsen af dette bidrag til lejlighedens rumkoncentration af rene væskedampe er omvendt proportional med det aktuelle luftskifte i lejligheden over renseriet. Det foreslås, at man ved fremtidige målinger, hvor metoden anvendes, bruger bygningsreglementets krav om et luftskifte på 0,5 gang pr. time i lejligheder i etageejendomme som fælles beregnings- og vurderingsgrundlag.

Det vurderes derfor, at den udviklede målemetode lader sig anvende med succes under realistiske forhold til vurdering af spredning af forureninger fra et renseri til en overliggende lejlighed. Ved vurderingen af resultaterne skal man være opmærksom på at der er tale om "øjebliksmålinger" (over 14 dage) og at der kan være væsentlige tidlige variationer.

Forsøgsresultaterne blev anvendt til at fastsætte forsøgsomstændighederne ved fremtidig anvendelse af metoden: Samplere kan opsættes 2 døgn efter sporgaskilderne er placeret i renseri og lejlighed. I forsøgene er der anvendt 3 sporgaskilder i såvel renseri som lejlighed. Dette antal bør bibeholdes ved fremtidige anvendelser af metoden. Ydermere anbefales det ved fremtidige anvendelser af metoden, at samplerne placeres jævnt fordelt med 4 stk. i renseriet og 3 stk. i hvert rum i lejligheden, alle 1,7 m over gulv. Sampler og sporgaskilder skal placeres så der er fri luftbevægelse omkring samplere. Placering i hjørner skal således undgås.

I forbindelse med en kommende tredje fase i projektet bør det overvejes at supplere sporgasmålingerne med samtidige målinger for renevæskedampe i rensrier og lejligheder for dels at styrke metodens erfaringsgrundlag, dels at belyse variationen over tid.

English summary

This project is the second phase in the development of a diffusive tracer gas method for measurement of compound transfer and air movement between adjacent rooms in a building. The method's primary objective is application for assessment of the impacts from a dry-cleaning establishments' operation to a superjacent apartment; however, the method will also be usable in other contexts.

Collection and analytical methods were developed and the method's performance was tested under laboratory conditions during the initial phase of the project (The Danish Environmental Protection Agency 2002a).

The aim with the second phase is to test the method under realistic conditions in the field and to collect the first information on the extent of air transfer between a dry cleaning establishment and a superjacent apartment.

Determination of tracer gasses and cleaning fluids' diffusion velocity through an intact concrete slab was conducted as part of the method testing. A difference of approximately 50% was noted when the tracer gasses PP2 and PP3 were compared with tetrachloroethylene and 30% when the comparison was made in relation to a hydrocarbon (decane). The laboratory tests also indicate that up to 30% of tracer gas as well tetrachloroethylene are deposited in the concrete slab. The liberation of decane (hydrocarbon) was up to 60%. However, the field tests indicated that the diffusive transport composed an insignificant contribution to the total compound transfer between the dry-cleaning establishment and the apartment. Therefore suggested that there no compensation is necessary for differences in the diffusion velocity or adsorption when calculating the transfer of contaminations between the dry cleaning establishment and the apartment on the basis of tracer gas concentrations. If the diffusive contribution at any given time is more significant as regards interior requirements for the dry-cleaning establishment, this item should be reassessed.

Tetrachloroethylene diffused through the concrete slab with a velocity more than 50% greater than the tracer gasses. Correspondingly the diffusion velocity for the applied hydrocarbon (decane) was approximately 30% less than the corresponding tracer gasses.

Furthermore, the laboratory tests indicated that the transfer through the concrete slab was very speedy and gave rise to a situation where stationary transfer through a floor would adjust quickly. This caused an assessment that one could set up samplers a few days after setting-up tracer gas sources at field measurements.

The field tests were carried out at three locations in the Copenhagen area. The testing stations were selected where, as far as possible there was no diffusion through any media other than the floor. This was done e.g. to ensure that there was no traffic between the dry cleaning establishment and the apartment through internal stairs. The test locations were also selected because no or limited preventive measures were taken at the time of the test, such as sealing visible open lead pipes to avoid diffusion to the superjacent apartment. Thus

diffusion-tight membranes or low-pressure ventilated ceilings were not mounted in any of the locations.

Two tracer gasses designated PP2 and PP3I were used in the tests. Tracer gas sources were mounted at three places in the dry-cleaning establishment and the superjacent apartment respectively. A number of samplers were placed two days after mounting the tracer gas sources in the dry-cleaning establishment, as well as the apartment. Samplers were mounted in six and twelve positions in the dry cleaning establishment and the apartment respectively in order to assess the vertical and horizontal variations in the tracer gas concentration.

Measurement results indicated that the tracer gas diffused evenly in the locations and that the extent of the measurement positions could be reduced in future.

A total of 55 double determinations were carried out during the test period. Analysis of the results shows an excellent method repeatability (sampling and analysis) corresponding to a relative standard deviation of 8% on the double determinations. Uncertainty of the calculated flux is estimated at 25%.

The initial measurement results of the compound transfer between the dry cleaning establishment and the apartment showed that there might be considerable variations between measurements within short time. Thus variations of 3-5 times were found when the measurements over 14 days were carried out at 14-day intervals in the same location. The cause is presumably due to outside climatic conditions that influence the air movements in the building. It has proved impossible to obtain tests of the variation in air movements between storeys; however, experience from the Danish Building Research Institute ("By og Byg") and Risø research facility indicates that these are not unrealistic variations.

It is most likely that future interior requirements at the cleaning establishments, such as mounting of diffusive tight membranes or low-pressure ventilated ceilings, will reduce the time-related variation.

The method allows direct measurement and calculation of the actual transfer of contamination between a dry-cleaning establishment and an apartment. The extent of this contribution to the apartment's space concentration of cleaning fluid vapours is inversely proportional with the actual air change in the apartment above the dry-cleaning establishment. The following is suggested: When applying the method at future measurements, building code requirements of an air change of 0.5 times per hour should be used as a common calculation and assessment basis for apartments in multi-storey buildings.

Thus the measurement method developed seems to be successfully applicable under realistic conditions for assessing the dispersion of contamination from a dry-cleaning establishment to a superjacent apartment. When assessing the results note that the measurements are for single points in time (over a period of 14 days) and that there may be significant time-related variations.

The test results were used to determine the test circumstances for future application of the method: Samplers could be mounted 48 hours after placing the tracer gas sources in the dry-cleaning establishment and the apartment.

Three tracer gas sources were used for the tests in the dry cleaning establishment and the apartment. This number should be maintained in future use of the method. Furthermore, in future use it is recommended that the samplers be placed evenly dispersed with four in the dry-cleaning establishment and three in the apartment – all 1.7 m over the floor. Sampler and tracer gas sources must be placed allowing free air movement to pass. Placement in corners should therefore be avoided.

■ In connection with the project's forthcoming third phase, supplementing the tracer gas measurements with simultaneous measurements for cleaning fluid vapours in dry-cleaning establishments and apartments should be considered, partly to enhance the results of the method, and partly to gather more information as the extent of internal contribution in apartments.

1 Projektets baggrund og formål

1.1 Baggrund

En række undersøgelser (bl.a. Miljøstyrelsen 2001b) har vist, at interne kilder til renevæskedampe i lejlighederne - deriblandt rensede tekstiler - kan give anledning til koncentrationer af f.eks. tetrachlorethylen i lejligheden, som overstiger Miljøstyrelsens luftkvalitetskriterie. Dette forhold kan give problemer ved måling og vurdering af bidraget fra driften af et renseri til en tilstødende bolig. Ved indeklimatemålinger i boligen kan de interne kilder f.eks. "maskere" bidraget fra renseriet.

På tilsvarende vis kan det ved indeklimatemålinger i boliger tæt på igangværende renserier være kompliceret at skille bidraget fra renseriets drift fra en jord- og grundvandsforurening. Ydermere viser erfaringerne fra bl.a. Miljøstyrelsen (2002b), at der kan være betydelige absorberede mængder af renevæskerne i byggematerialer og inventar. Disse interne kilder udgør et væsentligt problem, når effekten af gennemførte tiltag i renseriet skal eftervises. Metoden gør det ikke muligt at adskille bidrag fra en jordforurening, som via renseriet påvirker en tilstødende lejlighed og bidraget fra selve renseriets drift. Det bemærkes, at bidrag fra en jordforurening normalt vil være størrelsesordenen mindre end bidrag fra kilderne i selve renseriet.

Da det er ønskeligt at kunne skille bidraget fra driften fra f.eks. jord- og grundvandsbidrag eller interne bidrag, har der fra Miljøstyrelsens side været efterlyst en målemetode, som kan skille driftsbidraget fra de øvrige bidrag. Som et yderligere krav til metode, skal målingen kunne gennemføres over en periode af en vis længde, f.eks. fra nogle dage op til få uger, for dermed at undgå de kortvarige fluktuationer, som altid opstår i en bygning.

Statens Byggeforskningsinstitut, By og Byg har tidligere introduceret en passiv sporgasmetode, som tilfredsstiller disse forudsætninger (PFT-metoden). Metoden er baseret på opsætning af perfluorcarbonkilder med kendt kildestyrke og samtidig måling med passive prøvetagningsteknikker (rørmonitorer).

PFT-metoden har været forsøgt brugt i forbindelse med renserier (Miljøstyrelsen 2001c). Det viste sig, at der var metodiske problemer. Miljøstyrelsen har derfor igangsat et udviklingsarbejde med henblik på modifikation af PFT-metoden. Projektet er opdelt i 3 faser:

- Fase 1: Afprøvning af opsamlings- og analysemetoder under laboratorieforhold.
- Fase 2: Feltafprøvning af metoder udviklet i fase 1
- Fase 3: Feltnmålinger på et større antal lokaliteter for at indsamle viden om typiske bidragsstørrelser og for at belyse den tidslige variation.

Fase 1 er gennemført med succes og publiceret i Miljøprojekt nr. 698 (Miljøstyrelsen 2002a). De gennemførte laboratorieforsøg har vist, at der ikke er metodiske problemer prøvetagningsmæssigt eller analytisk i forhold til anvendelse i renserier.

Denne rapport beskriver resultaterne af fase 2. Fase 2 gennemføres af samme projektteam, som stod bag fase 1, idet dk-Teknik A/S er blevet inddraget som underleverandør i en del af projektfasen.

1.2 Formål

Dette projekts formål er:

- feltafprøvning af en sporgasmetode, som kan anvendes til måling af transporten af forureninger mellem renseri og tilstødende boliger.

Formålet med feltafprøvningen er at afprøve og tilrette metoden efter forholdene i renserierne og i den forbindelse at undersøge metodekritiske parametre som gennembrudstid gennem etageadskillelser og eventuelle sinkeffekter i bygningsmaterialer.

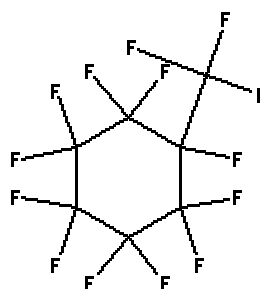
Output fra undersøgelsen vil dels være en tilrettet metodebeskrivelse, dels de første estimater for størrelsen af transporten af forureninger (flux) over etageadskillelser som funktion af bygningstype.

2 Kort præsentation af metoden

2.1 Kort introduktion til den udviklede metode

Den udviklede metode er baseret på brug af såkaldte perfluorcarboner som sporgasser.

Figur 2.1: Perfluorcarbon (Perfluoromethylcyclohexan, C_7F_{14})



Metoden er en diffusiv multi-sporgasteknik efter konstantdoseringsprincippet. Sporgas udsendes diffusivt fra et diffusionsrør.

Sporgaskoncentrationen i et rum afhænger af kildestyrken og luftudskiftningen i rummet efter følgende udtryk (stofbalanceligningen):

$$(1) \quad C = Q/(n \cdot V)$$

hvor

C	Rumkoncentration, $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Q	Kildestyrke, $\mu\text{g}/\text{time}$
n	Luftskiftet, h^{-1}
V	Rumvolumen, m^3

Ved den anvendte sporgasmetode bestemmes koncentrationen som en gennemsnitsværdi over 14 dage. Ud fra kendskabet til kildestyrke, rumvolumen og den målte rumkoncentration af sporgasser beregnes flux og luftskifte. For definition af flux - se side 13 ligning 4.

Som adsorbent anvendes en passiv kulbaseret monitor. Blandt de i Miljøprojekt nr. 698 (Miljøstyrelsen, 2002) testede samplere viste Radiello-sampleren sig mest velegnet til formålet. Analyse foretages ved gaskromatografi med masse-specifik detektor (GC/MS).

Som sporgasser anvendes

- Perfluoromethylcyclohexan (CAS nr. 355-02-2)
- Perfluoro-1,3-dimethylcyclohexan (CAS nr. 335-27-3)

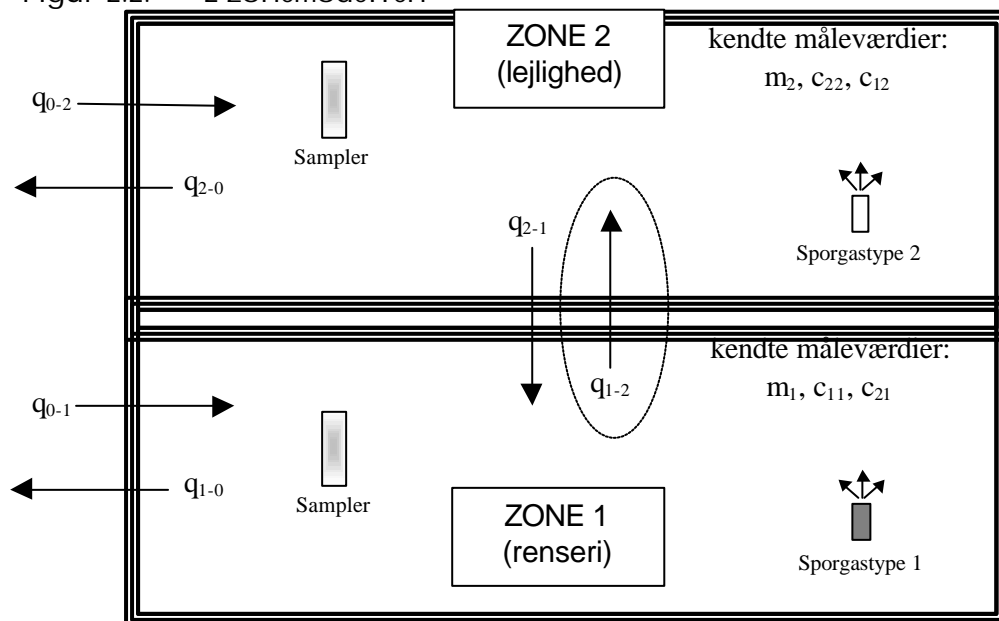
Perfluoromethylcyclohexan benævnes ofte PP2, mens perfluoro-1,3-dimethylcyclohexan benævnes PP3.

Perflourcarbonerne er tidligere af Miljøstyrelsen blevet vurderet som uden sundhedsmæssige negative effekter i de koncentrationer, som anvendes ved sporgasmålingerne (Miljøstyrelsen, 2002a).

For at kunne bestemme størrelsen af transporten mellem renseri og lejlighed er det nødvendigt at anvende 2 sporgasser. Da rumkoncentrationen af sporgassen i lejligheden er afhængig af luftskiftet samme sted, er det nødvendigt at kende dette luftskifte for at kunne bestemme fluxen af sporgas fra renseri til lejlighed. Luftskiftet i lejligheden bestemmes vha. sporgas 2.

Modellen er illustreret på figur 2.2. På figuren er der sat ring om den lufttransport, der repræsenterer transporten af rensvæskedampe fra renseri til overliggende lejlighed.

Figur 2.2: 2-zonemodellen



Symbolforklaring:

- c_{11} : koncentration af sporgastype 1 i zone 1
- c_{12} : koncentration af sporgastype 1 i zone 2
- c_{21} : koncentration af sporgastype 2 i zone 1
- c_{22} : koncentration af sporgastype 2 i zone 2
- m_1 : tilført sporgasmængde i zone 1
- m_2 : tilført sporgasmængde i zone 2
- q_{1-2} : luftoverføring fra zone 1 til zone 2
- q_{2-1} : luftoverføring fra zone 2 til zone 1
- q_{1-0} : luftoverføring fra zone 1 til ude, exfiltration
- q_{2-0} : luftoverføring fra zone 2 til ude, exfiltration
- q_{0-1} : luftoverføring fra ude til zone 1, infiltration
- q_{0-2} : luftoverføring fra ude til zone 2, infiltration

I hver zone kan der opstilles to ligninger, der hver udtrykker sporstofbalancen for én af de to sporgasser. Der kan endvidere opstilles en massebalanceligning for hver zone, der udtrykker tilførslen af udeluft til zonen.

Samlet fremkommer et ligningssystem, der giver mulighed for at beregne alle de luftoverførsler, der er angivet på figur 2.2.

Luftskiftet (n) i lejligheden over renseriet beregnes ved hjælp af følgende ligning:

$$(3) \quad n = \frac{m_2}{V \cdot c_{22}}$$

hvor V er den undersøgte lejligheds rumvolumen

Flux'en fra renseri til lejlighed bestemmes ved følgende ligning:

$$(4) \quad q_{1-2} = \frac{m_2 \cdot c_{12}}{(c_{11} \cdot c_{22}) - (c_{12} \cdot c_{21})}$$

Den arealspecifikke flux q'_{1-2} opnås ved at dividere den samlede flux (q_{1-2}) med lejlighedens grundareal.

Ligningen er udledt på baggrund af de ovennævnte massebalancebetragtninger på de 2 sporgasser samt på udeluften. En uddybende gennemgang af ligningssystemerne findes i Bergsøe (1992) og Miljøprojekt nr. 698 (Miljøstyrelsen, 2002a).

I praksis udføres forsøgene som følger: Sporgaskilder opsættes i såvel lejlighed som renseri, idet der anvendes forskellig sporgasser hvert sted. Sporgaskilderne afgiver sporgas fra de opsættes. Opsamlingsmedierne (samplerne) opsættes, når det kan antages, at der er opstået en situation med stationær transport af sporgasser mellem renseri og lejlighed

På baggrund af kendskab til flux'ens størrelse, den gennemsnitlige koncentration af renevæske dampe i renseriet samt oplysninger om lejligheden (grundplan og luftskifte) kan renseriets bidrag til koncentrationen af renevæskedampe i lejligheden ($C_{lejlighed}$) beregnes ud fra følgende udtryk:

(5)

$$C_{lejlighed} = \frac{q'_{1-2} \cdot C_{renseri} \cdot A}{n \cdot V}$$

hvor

q'_{1-2} : arealspecifik flux ($m^3/t/m^2$)

A : grundplan lejlighed (m^2)

$C_{renseri}$: koncentration af renevæske i renseri (mg/m^3)

Clejlighed : bidrag fra renseri til lejlighedens koncentration af renevæskedampe (mg/m^3)

n : luftskifte i lejlighed (t^{-1})

V : rumvolumen af lejlighed (m^3)

Note: Betegnelsen flux anvendes i denne rapport om den ækvivalente overførte luftmængde mellem to zoner (her renseri og lejlighed) som funktion af tiden. Enheden er således m^3 pr. time. For den enkelte zone (lejlighed) beregnes den arealspecifikke flux ved division med lejlighedens grundareal (m^2).

Hvis man måler den aktuelle koncentration af renevæske i lejligheden (hvilket ikke er gjort i dette projekt) kan man ved at sammenligne resultatet med den beregnede bidragsværdi på grundlag af sporgasmålingerne (flux'en) vurdere størrelsen af de interne kilder i lejligheden (rensede tekstiler, sinks etc).

3 Forsøgsdesign

Der er en række faktorer, som er afgørende for, hvordan metoden bør anvendes i praksis.

Det drejer sig om bl.a.:

1. Viden om længden af perioden før en situation med stationær transport mellem renseri og lejlighed har indstillet sig
2. Det nødvendige antal målepositioner som bestemmes af hvorledes sporgassen fordeler sig i renseri og lejlighed
3. Sporgassernes mobilitet gennem etageadskillelser sammenlignet med renevæsker
4. Metodens reproducerbarhed ved gentagne målinger samme sted
5. Kendskab til eventuelle sinkeffekter for sporgasserne (adsorption til materialer i bygningen)

Der er anvendt en kombination af laboratorieforsøg og feltforsøg til at vurdere disse faktorer. Dette afsnit beskriver design og fremgangsmåde i de enkelte forsøg. I afsnit 4 er forsøgsomstændigheder og metoder beskrevet i detaljer.

3.1 Laboratorieforsøg

3.1.1 Baggrund

Kendskab til forløbet af diffusionen af sporgasserne, f.eks. gennem en betonetageadskillelse er nødvendig: Hvis samplere opsættes i den tilstødende lejlighed før stationær transport mellem renseri og lejlighed har indstillet sig (dvs. for tidligt), vil det bevirke et for lavt estimat af stoftransporten via etageadskillelsen.

Tidligere laboratorieforsøg (Miljøstyrelsen 2001a) til bestemmelse af diffusionshastigheden af trichlorethylen igennem en betonflise har vist, at diffusionen går meget hurtigt. Det kunne ved forsøget konstateres, at der indtrådte stationære tilstande efter nogle få timer. Ydermere kan bestemmelse af fluxen gennem en betonflise anvendes til at undersøge sink-effekter i betonen, dvs. afsætninger af sporgas i betonen, se også erfaringerne fra Miljøstyrelsen (2002b).

3.1.2 Forsøgsopsætning

I nærværende projekt blev diffusionen gennem en betonflade uden synlige sprækker og revner og afgivelsen af sporstoffer fra betonen, som følge af sinks, undersøgt i en laboratorieopstilling ved dk-Teknik Energi & Miljø. Der er anvendt en forsøgsopstilling, som tidligere har været anvendt til lignende forsøg (Miljøstyrelsen 2001b).

Opstillingen bestod af en betonflise, som var placeret i et stålkammer således, at flisen delte kammeret i to lige store dele over og under flisen. Ved at tilføje luft med kendte koncentrationer af forureninger under flisen og samtidig måle

koncentrationen af forureningerne over flisen, opnås et mål for diffusionen gennem flisen. Opstillingen er nærmere beskrevet i kapitel 4.

Forsøget blev gennemført i to omgange. Årsagen hertil er, at resultaterne i den første forsøgsrunde blev vurderet at være forbundet med for store usikkerheder som følge af, at måleresultaterne lå for tæt på detektionsgrænsen for analysemetoden. Ved den anden forsøgsrunde blev måleprogrammet justeret i forhold hertil, samtidig med at sporstofferne blev suppleret med tetrachlorethylen, n-decan samt trichlorethylen i diffusionsforsøgene. Tilsætningen af tetrachlorethylen og n-decan, som repræsentanter for renevæsker anvendt i danske renseserier, blev foretaget med henblik på at vurdere forskelle i diffusionshastigheder mellem sporgas og renevæskedampe.

Forsøgsforløbet fremgår af tabel 3.1:

Tabel 3.1: Forsøgsforløb - diffusion af sporstoffer og renevæsker gennem betonflise
Tal angiver dage efter forsøgsstart (dag 0).

Forsøgsrunde	Forsøgsforløb		Forureningskomponenter	Måledatoer (dag fra forsøgsstart)
	+ forurening i tilført luft	- forurening i tilført luft		
Første runde	Dag 1-15	Dag 15-30	PP2 PP3	Dag 2, 3, 4, 7, 9, 15, 22, 30
Anden runde	Dag 1-15	Dag 15-30	PP2 PP3 tetrachlorethylen trichlorethylen n-decan	Dag 2, 3, 4, 7, 9, 11, 14, 16, 18, 21, 23, 25, 28, 30

Resultaterne fra første runde er ikke medtaget i denne rapport, idet usikkerheden som nævnt blev vurderet at være for stor som følge af måleresultater tæt på metodens detektionsgrænse.

3.2 Feltforsøg

Den udviklede målemetode er blevet afprøvet i tre renseserier med overliggende lejligheder. Renseserierne er udvalgt således, at de dels dækker forskellige typer renevæsker (tetrachlorethylen og kulbrinter), dels dækker forskellige typer ejendomme (primært forskelle i etageadskillelserne). Det oprindelige projekt inkluderede tillige måling i et renseri med glycolether-baseret renevæske (Rynex). Da denne type renevæske pt. udfases i Danmark, er det efter samråd med Miljøstyrelsen valgt at udelade måling i Rynex-renseriet.

Lokaliteterne er udvalgt ud fra følgende kriterier og betragtninger:

- Lokaliteterne skal være beliggende i etagebyggeri med boliger.
- Et af tetrachlorethylen-renserierne skal være beliggende i bebyggelse med etageadskillelse af træ og indskud.
- Det andet tetrachlorethylen-renseri skal ligge i en ejendom med etageadskillelse af beton.
- Kulbrinte-renseriet skal være beliggende i bebyggelse med etageadskillelse af beton.
- Renseserierne skal have en stabil drift.

- Der må ikke være foretaget særlige tekniske foranstaltninger til minimering af spredning af dampene fra renseriet til omgivelserne (bortset fra tætning af rørgennemføringer). Herved forstås opsætning af ventilerede dobbeltlofter, diffusionstætte materialer på vægge og lofter mv.
- Renseriet og lejligheden må ikke være forbundet af eller bruge en fælles trappeopgang
- Der må ikke være andre væsentlige kortslutningsmuligheder for stoftransporten mellem renseriet og lejligheden end almindelige rørgennemføringer (dvs. vand, afløb, varme, el mv.), hulmure, utætte etageadskillelser og bidrag via udeluft.
- Under forsøgene må der i lejlighederne kun foretages normal udluftning, dvs. maksimalt 1-2 timer dagligt.

Feltforsøgene blev gennemført i oktober-december 2002, for at finde et tidspunkt hvor vinduer og døre i renseriet og lejlighed er åbne i kortest tid om dagen.

En lang række renserier og beboere blev anmodet om at deltage i projektet, men mange takkede nej af såvel praktiske som politiske årsager. Der blev identificeret 3 lokaliteter bestående af renseri og overliggende lejlighed, som opfyldte ovenstående kriterier.

Et resume over de valgte renserier og lejligheder er samlet i tabel 3.2 og 3.3.

Tabel 3.2. Beskrivelse af renserier

Renseri	Renseri A	Renseri B	Renseri C
Rensevæsker	Tetrachlorethylen	Kulbrinter	Tetrachlorethylen
Bygningens opførelsesår	1880-1890	1959	1966
Etageadskillelse	Træ med indskud	15 cm fuldstøbt jernbeton	Beton - tykkelse og type er ikke oplyst
Loftsmembran	Nej	Nej	Nej
Renserimaskine			
Type	AMA Universal Mito 22	HCS Satec B440	AMA Universal M35E
Alder	8 år	8 måneder	7 år
Udsugning	Over maskine og låge	Koblet til maskine + over låge	Over maskine + låge
Ventilation			
Punktudsugninger	Ja	Nej	Ja
Rumventilation	Nej	Ja	nej

Tabel 3.3. Beskrivelse af lejligheder

Lejlighed	Lejlighed A	Lejlighed B	Lejlighed C
Placering	Over renseri A	Over renseri B	Over renseri C
Areal	62 m ²	28 m ²	90 m ²
Volumen	169 m ³	79 m ³	201 m ³
Antal rum	5	4	5
Mekanisk ventilation (em-hætte)	nej	Ja - ikke i brug	Ja - ikke i brug

Af bilag I fremgår byggetekniske oplysninger, oplysninger om ventilationsforhold samt en skitse af de anvendte rum til målingerne i hhv. renseri og lejlighed.

På hver lokalitet blev der fordelt tre sporgaskilder i renseri og lejlighed. Type af sporgas, placering etc. fremgår af tabel 3.4.

Tabel 3.4: Placering og type af sporgaskilder i renseri og lejlighed

	Renseri	Lejlighed
Sporgastype	PP2	PP3
Antal positioner	3	3
Placering	1,5 - 1,8 m over gulv	ca. 1,8 m over gulv

Sporgaskilderne blev opsat 2 dage før samplerne. Den nødvendige periode mellem opsætning af kilder og samplere er vurderet ud fra resultaterne af laboratorieforsøgene med diffusion af sporgas gennem en betonflise, se afsnit 5.1.1.

Samplerne blev fordelt på et antal positioner (horisontalt) og i et antal højder (vertikalt) på lokaliteterne for at få informationer om de rumlige variationer. Tabel 3.5 viser en oversigt over antal og placering af samplere. Figur 4.5 viser et eksempel på placering af samplere i to højder i en lejlighed.

Tabel 3.5: Placering og antal af samplere i renseri og lejlighed

	Renseri	Lejlighed
Antal samplerpositioner	12	6
Placering	3 vertikale niveauer 4 horisontale positioner	2 vertikale niveauer 3 horisontale positioner

For at kunne vurdere en eventuel spredning via udeluften, blev der på hver lokalitet desuden opsat en sampler udenfor i umiddelbar nærhed af rensriet.

Efter hhv. én og to ugers opsætning blev samplerne nedtaget med henblik på analyse for indhold af sporgasserne. Målingen over én hhv. to uger blev foretaget for at få et indtryk af eventuelle adsorptionsfænomener (sinks) af sporgassen til bygningsmaterialerne.

For at få indtryk af repetérbarheden fra måleserie til måleserie blev forsøget gentaget i renseri A og C 14 dage efter, at første forsøgsrunde var afsluttet. Bygningerne havde med andre ord haft 14 dage til "udluftning" af sporgasser, inden der atter blev opsat kilder.

Figur 3.1 viser forsøgsforløbet

Figur 3.1: Forsøgsforløbet . Tallene angiver antal dage efter forsøgsstart (dag 0)

Renseri/lejlighed	Sporgaskilder opsat (runde 1)	Samplere opsat	Samplere nedtaget	Sporgaskilder nedtaget (runde 1)	Sporgaskilder opsat (runde 2)	Samplere opsat	Samplere nedtaget	Sporgaskilder nedtaget (runde 2)
A	0	2	9 16	16	30	32	46	46
B	0	2	9 16	16	30	32	46	46
C	0	2	9 16	16	30	32	46	46

På et antal positioner blev der opsat dobbelt sæt samplere for at have mulighed for at vurdere repetérbarheden (prøvetagnings- og analyse) ved analyse af dobbeltbestemmelser.

Sporgaskilderne blev vejet før og efter opsætning. Udfra differensen blev kildestyrken i perioden beregnet som μg frigivet sporgas pr. time . På baggrund af opsamlet mængde sporgas på samplerne og kildestyrken blev hhv. flux og luftskifte efter formler beskrevet i afsnit 2 beregnet.

I lejlighed B blev der foretaget en korttidsmåling af diffusionen af svovlhexafluorid gennem etageadskillelsen. Ved den samme lejlighed blev det aktuelle luftskifte i lejligheden beregnet. Målingerne blev foretaget med brug af direkte visende måleteknikker.

Under alle forsøg samt i den mellemliggende periode har beboere og renseriejerere registreret forhold omkring udluftning og driftsforhold. Det blev henstillet til beboerne og renseriejerne, at boliger og renseri skulle anvendes så normalt som muligt i forsøgsperioden. Beboeres og renseriejereres registreringer er samlet i bilag II. Det fremgår, at der ikke har været unormale forhold mht. udluftning eller drift.

4 Forsøgsomstændigheder og metoder

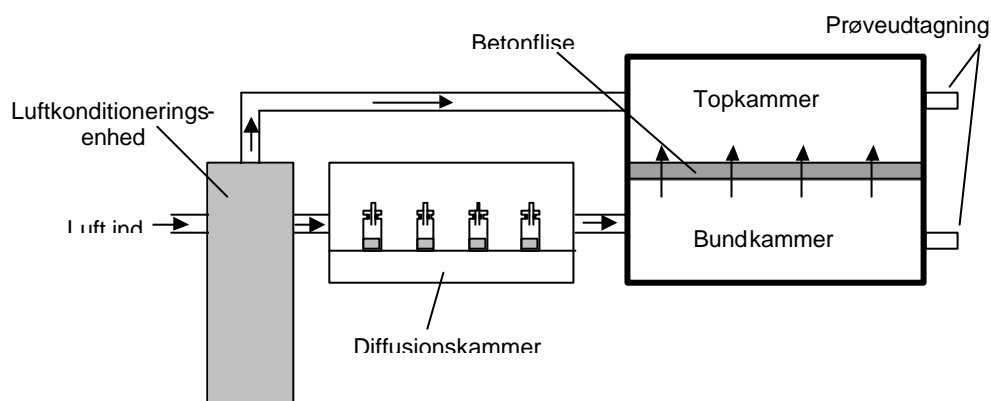
4.1 Laboratorieforsøg

4.1.1 Beskrivelse af forsøgsopstillingen

Forsøgene blev foretaget i en forsøgsopstilling, hvor en betonflise var placeret i et stålrum, således at flisen delte rummet i to lige store rum over hhv. under flisen.

Til- og fraførsel af luft samt udtagning af prøver fra rummet skete gennem udtag i rummene over og under flisen. Forsøgsopstillingen er den samme som tidligere har været anvendt til belysning af diffusionen af trichlorethylen gennem beton (Miljøstyrelsen, 2001b). Figur 4.1 viser en skitse af forsøgsopstillingen.

Figur 4.1: Skitse af forsøgsopstilling for laboratorieforsøg



Betonflisen har følgende specifikationer:

Størrelse: 1000 x 1000 mm
Tykkelse: 50 mm
Type: passiv miljøklasse (styrke 15 Mpa)
Alder: 3 år
Topkammer: 212 liter
Bundkammer: 212 liter
Lufttilførsel: 5 l/min
Luftskifte: 1,4 gang pr. time

Selve flisen er produceret for 3 år siden ved Teknologisk Institut, Betoncentret på en måde, som skal efterligne en 20-30 år gammel beton, som typisk ses i etageejendomme. Flisen har været opbevaret under indeklimaforhold i et laboratorium siden produktion.

Ved forsøget blev der tilledt atmosfærisk luft med kendte koncentrationer af forureninger (sporgasser, rensesvæsker etc.) til bundkammeret. Over en periode på 15 dage blev koncentrationen af forureningerne fulgt i såvel top- som bundkammer. Forløbet af forureningskoncentrationen i topkammeret anvendes til at beskrive forløbet af diffusionen gennem betonflisen.

Efter den første periode på 15 dage blev tilførslen af forureninger til bundkammeret afbrudt. Ved fortsat at følge koncentrationen af forureninger i såvel top- som bundkammer blev frigivelsen af adsorberede forureninger fra betonen undersøgt. Materialer, som er i stand til at optage og senere frigive forureninger fra rumluften igen, benævnes traditionelt "sinks".

Forud for hver forsøgsserie blev der udtaget blindprøver af luften i top- og bundkammer.

Måling af forureningskoncentrationer i top- og bundkammer blev foretaget ved aktiv opsamling på kulrør. Den efterfølgende analyse blev foretaget ved ekstraktion med iso-oktan/dimethylformamid og gaskromatografi med masse-selektiv detektion (GC/MS).

4.2 Feltforsøg

4.2.1 Beskrivelse af renserier, lejligheder samt aktivitet

Renseriejerne og beboerne i lejlighederne blev anmodet om at registrere deres aktiviteter i perioden, hvor undersøgelserne stod på. I bilag II er de indsamlede oplysninger samlet.

I nedenstående skemaer (tabel 4.1 og 4.2) er de vigtigste informationer opsummeret.

Tabel 4.1: Registrerede aktiviteter i renserierne i undersøgelsesperioden.

-. Ikke oplyst
charge: rensninger

Renseri	Renseri A		Renseri B	Renseri C	
	1	2	1	1	2
Forsøgsrunde	0-4 (1,5)	1-4 (1,4)	2-7 (4,4)	2-6 (4,6)	2-8 (4,1)
Antal rensede charge pr. dag i perioden (gennemsnit pr. dag)					
Ventilation i drift (timer pr. dag)	24	24	2-9	24	-
Antal timer pr. dag med døre eller vinduer åbne	-	-	1-7	-	-
Antal timer med dør til bagtrappe åben	0	-	0	-	-

Tabel 4.2: Registrerede aktiviteter i lejligheder i undersøgelsesperioden

–: Ikke oplyst

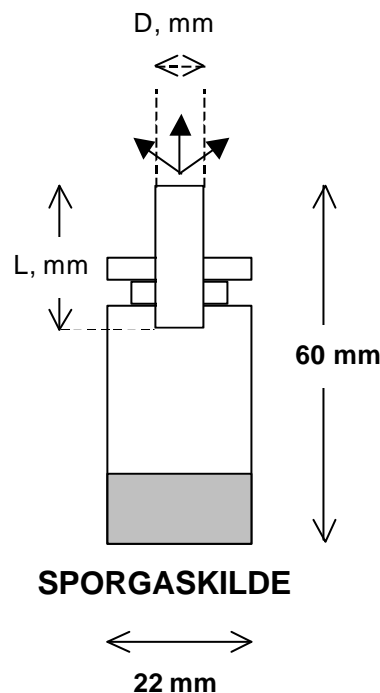
^A: Udfyldte skemaer er efterlyst flere gange hos beboer, men ikke modtaget.

Renseri	Renseri A		Renseri B	Renseri C	
	1	2	1	1	2
Forsøgsrunde	1	2	1	1	2
Emhætte i drift (timer pr. dag)	0	0	0	-	- ^A
Antal timer pr. dag med døre eller vinduer åbne	0-1,5	0-1	0,25	1-3	- ^A
Antal timer med dør til bagtrappe åben	-	-	0	-	- ^A

4.2.2 Langtidsmålinger

Dosering af sporgasser i lejligheder og renserier blev foretaget ved fordampning af sporgasserne fra såkaldte diffusionsrør. En skitse af et sådant rør er vist i figur 4.2. Kildestyrken af et diffusionsrør bestemmes af det pågældende stofs damptryk, beholderens fysiske dimensioner og omgivelsernes temperatur. Kildestyrken kan beregnes efter ISO/CD 6145-8 (2001).

Figur 4.2 : Skitse af diffusionsbeholder



Der blev indledningsvis foretaget en række kontrolforsøg, hvor kildestyrken fra rør med forskellige dimensioner (D, L) blev fastlagt. Ud fra forventninger til luftskiftet i renseri og lejligheder blev der på baggrund af forsøgene udvalgt et design, som tilgodeser krav til koncentration af sporgas de pågældende steder.

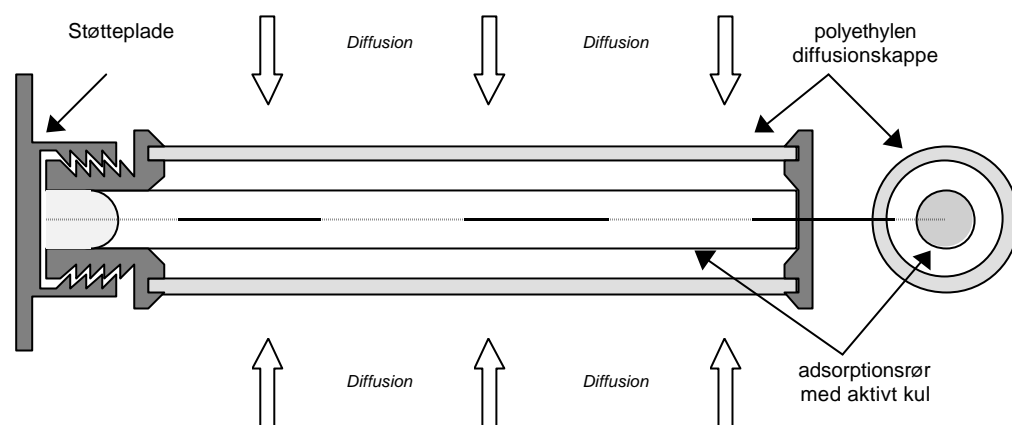
Sporgaskilder samt temperatur- og fugtighedsfølere blev placeret på eksempelvis vindues- eller dørkarme med tape, se også figur 4.3.

Figur 4.3: Eksempel på placering af sporgaskilder og temperatur- og fugtighedsloggere.



Måling af sporgaskoncentrationen foregik med diffusive monitorer af Radiello-typen. Radiello-sampleren er 7 cm lang og har en diameter på 1,5 cm. Sampleren er veldokumenteret og finder anvendelse i en lang række monitoringsapplikationer.

Figur 4.4: Illustration af Radial I o-sampleren



Opsamling af sporgasserne sker som følge af diffusiv transport fra omgivelserne mod adsorbentmaterialet, som i dette tilfælde er aktivt kul.

Samplerne blev hængt på en snor, der var placeret på væggen med tape. Figur 4.5 viser et eksempel på en position i en af lejlighederne: 2 niveauer med henholdsvis 2 og 3 samplere i hvert niveau.

Figur 4.5: Eksempel på sampleropsætning på én position (2 niveauer):



I laboratoriet blev samplerne analyseret for indhold af PP2 og PP3 ved gas-kromatografi med masseselektiv detektion (GC/MS).

4.2.3 Korttidsmålinger

Den 07.01.2003 blev der foretaget korttidsmålinger af luftbevægelserne mellem renseri og lejlighed og af det aktuelle luftskifte i lejligheden.

Korttidsmålinger af spredningen af luft fra renseri til lejlighed blev foretaget ved, at svovlhexaflourid blev spredt i renseriet i en kendt koncentration. Koncentrationen blev løbende fulgt med direkte visende infrarød gasanalysator af typen Miran 1A.

Koncentration af svovlhexaflourid blev samtidigt målt i lejligheden. Til måling anvendtes infrarød gasanalysator af type Miran SapphIRe.

Begge gasanalyser var kalibreret overfor kendte koncentrationer af svovlhexaflourid forud for måling.

Renseriets var i normal drift i måleperioden på 4 timer. Renseriets mekaniske ventilationssystemer var aktive i 2-3 timer i perioden.

Yderdøre og vinduer i lejligheden blev holdt lukkede i hele måleperioden. Lejlighedens mekaniske ventilation (em-hætte) var ikke i drift på noget tidspunkt.

Ved afslutningen af måleperioden blev det aktuelle luftskifte på måletidspunktet målt i dagligstuen i lejligheden. Målinger foregik ved ovennævnte udstyr og sporgas, idet en kendt koncentration af sporgas blev spredt i rummet. Koncentrationen af svovlhexaflourid blev øget til 100 gange slutkoncentrationen i rummet under diffusionsforsøget for at reducere betydningen af indtrængende svovlhexaflourid til dagligstuen fra renseriet. Udfra sporgassens henfaldscurve blev luftskiftet beregnet.

Det anvendte måleudstyr har en måleusikkerhed på anslået 10% i den anvendte koncentrationsområde.

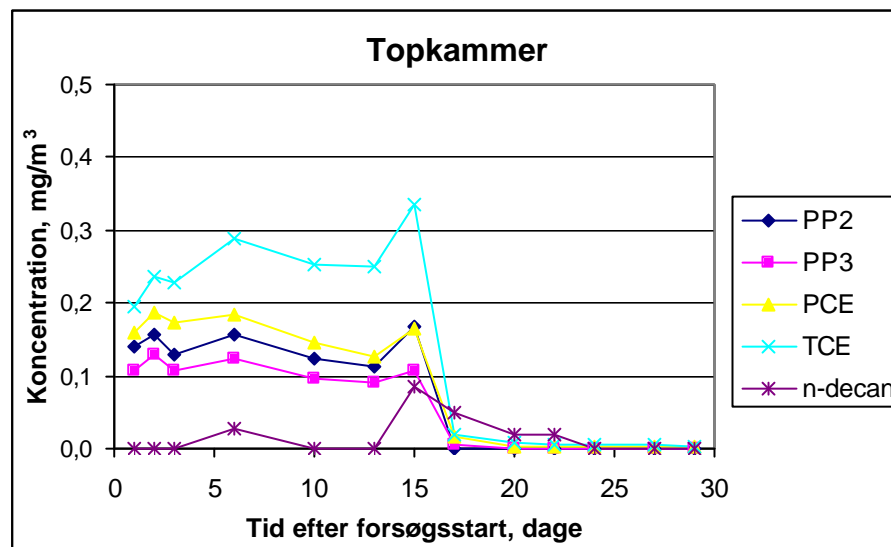
5 Resultater

5.1 Laboratorieforsøg

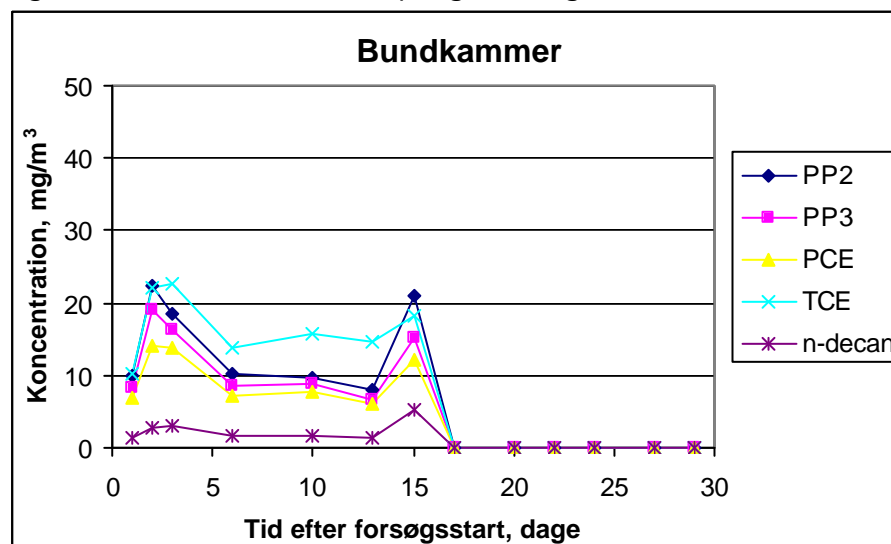
5.1.1 Tidsligt forløb af diffusion gennem betonflade

Resultatet af de gennemførte diffusionsforsøg gennem en betonflade er vist i figur 5.1 og 5.2 for hhv. topkammeret og bundkammeret.

Figur 5.1: Koncentration af sporgasser og rensesubstanser i topkammeret



Figur 5.2: Koncentration af sporgasser og rensesubstanser i bundkammeret



Forsøgene viser for det første, at sporgasserne påvises i topkammeret inden for et døgn efter forsøgets start. Kurverne viser også, at koncentrationen ligger på et konstant niveau allerede efter dag 2. Der ses en svag stigning frem mod

dag 5. Dette hænger sandsynligvis sammen med den top, som ses i bundkammeret frem mod dag 3. Årsagen til denne top i bundkammeret vurderes at være, at kildestyrken fra diffusionsrørene er forøget i starten på grund af øget fordampning som følge af væske på indersiden af beholderne efter flytningen af beholderne.

Ydermere kan det konstateres, at koncentrationerne af såvel sporgasser som rensesvæsker udviser samme tendenser - dvs. koncentrationerne "følges ad", idet ved eksempelvis stigning i sporgaskoncentrationen konstateres en lignende stigning for rensesvæskerne.

De målinger, som blev foretaget efter doseringen var stoppet (dag 15-30) viste, at der hverken i topkammeret eller i bundkammeret var målbare koncentrationer af sporgasserne allerede to døgn efter, at kilderne var fjernet. Det viser, at frigivelsen af stoffer, som er blevet adsorberet i betonen, er begrænset og under alle omstændigheder ubetydelig i forhold til brugen af de valgte sporgasser.

Resultaterne stemmer i øvrigt overens med de indledende resultater, som blev fundet ved første forsøgsrunde ved dk-Teknik Energi & Miljø

5.1.2 Flux af sporgasser og rensesvæsker gennem intakt betonflade

Den gennemsnitlige koncentration af de fem stoffer under forsøgets første del (dag 1-15) fremgår af tabel 5.1.

Tabel 5.1: Gennemsnitlige koncentrationer og flux af sporgasser og rensesvæsker mellem bund- og topkammer.

Komponent	Topkammer	Bundkammer	Arealspecifik flux (m ³ /t/m ²)
PP2	0,14 mg/m ³	13 mg/m ³	0,0028
PP3	0,11 mg/m ³	11 mg/m ³	0,0029
Tetrachlorethylen	0,16 mg/m ³	9,3 mg/m ³	0,0050
Trichlorethylen	0,24 mg/m ³	17 mg/m ³	0,0046
n-Decan	0,016 mg/m ³	2,4 mg/m ³	0,0020

På baggrund af koncentrationsforskellen mellem top- og bundkammer samt lufttilførslen til kamrene (luftskiftet) kan flux'en gennem betonfladen beregnes. Tabellens højre kolonne viser flux'en. Da der er tale om en betonflade uden s

ynlige sprækker og revner, hvor der er sikret samme tryk over og under flisen, må den målte flux tilskrives diffusion af stofferne gennem flisen.

Beregningen af massebalancen i forsøget viste et tab på ca. 30% for såvel tetrachlorethylen som PP2 og PP3. Stofferne afsættes med andre ord i betonen i forbindelse med diffusionen. Dette svarer til erfaringer gjort af dk-Teknik Energi og Miljø ved et tidligere Miljøprojekt (Miljøstyrelsen 2001). Den betydelige afsættelse af stofferne i byggematerialer (beton) bekræfter også tidligere erfaringer med sinkeffekter i renseserier (Miljøstyrelsen 2002b).

Tabel 5.1 viser således, at betonfladen udgør en større barriere overfor sporgasserne end overfor f.eks. tetrachlorethylen. Forskellen svarer til en faktor 1,5 eller med andre ord, at tetrachlorethylen diffunderer igennem betonfladen med en hastighed, som er ca. 50% større end tilsvarende for sporgasserne. Forsøgene viser også at en kulbrinte som n-decan diffunderer gennem betonen med en hastighed som er 30% lavere end tilsvarende for sporgasserne.

5.2 Feltforsøg

5.2.1 Flux mellem renseri og lejlighed

Alle enkeltresultater af de gennemførte målinger i renserier og lejligheder er samlet i bilag IV.

I tabel 5.2 er resultaterne omregnet til flux mellem lejlighed og renseri over tidsperioderne på 7 hhv. 14 dage. Flux'en er angivet som den udvekslede luftmængde mellem renseri og lejlighed som gennemsnit pr. time pr. m² gulvflade.

I samme tabel er de basale bygningsbeskrivelser medtaget.

Tabel 5.2 : Den areal specifikke flux (sporgasser) mellem renseri og overliggende lejlighed i 1. og 2. målerunde. Enhed: (m³/time/m²)

∴ ikke målt
<: betyder "mindre end"

Renseri	Renseri A		Renseri B		Renseri C	
	7 dage	14 dage	7 dage	14 dage	7 dage	14 dage
1. målerunde (dag 1-17)	< 0,050	0,052	0,18	0,10	0,11	0,063
2. målerunde (dag 31-47)	0,29	0,26	-	-	0,22	0,19
Rensevæsker	Tetrachlorethylen		Kulbrinter		Tetrachlorethylen	
Etageadskillelse	Træ med indskud		Beton		Beton	
Loftsmembran	Nej		Nej		Nej	

Størrelsen af den målte flux mellem renserier og lejligheder er i størrelsesordenen 20-100 gange større end fluxen gennem den intakte betonflade (tabel 5.1). Dette viser, at transporten af stof mellem etagerne i væsentlig omfang styres og udgøres af andre stoftransportveje end ren diffusiv transport gennem materialerne i etageadskillelsen. Den målte flux mellem renseri og lejlighed er kan være sammensat af bidrag, som skyldes

- luftoverførsel via åbninger af enhver art (rørgennemføringer, revner og sprækker etc.),
- spredning via udeluft,
- spredning via hulmure,
- spredning via gange og trapper etc

- utætte indvendige kanalsystemer (f.eks. indvendige afkast).
- diffusion gennem materialer i etageadskillelsen

Antallet af bidrag, jf. ovenævnte liste kan yderligere reduceres ved nærværende forsøg: I forbindelse med målinger blev der alle steder foretaget samtidige udeluftmålinger over 14 dage. Ingen af stederne blev der påvist målbare koncentrationer udendørs (detektionsgrænse $0,01 \text{ mg/m}^3$). Indtrængning via udeluft kan derfor udelukkes i dette forsøg.

Målestederne er valgt således, at der ikke er forbindelse mellem renseriet og lejligheden ved fælles trappeopgange. Denne spredningsvej kan derfor også udelukkes.

Den store forskel mellem de værdier, som er målt i renseri og i lejligheder og de rene diffusive bidrag, som blev fundet ved laboratorieforsøgene, må således tilskrives luftoverførsel via utætheder.

Det var forventet, at der ville være forskelle mellem fluxen ved etageadskillelser af træ sammenlignet med beton. Årsagen til, at denne forskel ikke viser sig her vurderes at være, at transporten af sporgasser og dermed luft fra renseri til lejligheder sker via åbninger og ikke alene som diffusion.

5.2.2 Resultater af gentagne målinger samme sted

På lokalitet A og C blev målingerne gentaget to uger efter den første måleserie. Resultaterne af 2. runde i form af beregnet flux mellem renseri og lejlighed fremgår af tabel 5.2.

Som det fremgår, blev der begge steder fundet højere flux i anden målerunde.

Årsagen hertil kunne være, at materialerne i lejlighederne havde optaget sporgasser i første målerunde for efterfølgende at afgive dem igen under 2. målerunde (sinkeffekt). Laboratorieforsøgene viste, at der optages betydelige mængder sporgas i forbindelse med diffusion gennem beton. Forsøgene viste imidlertid også, at den efterfølgende afgivelse sker så langsomt, at afgivelsen ikke vil give signifikante bidrag til de koncentrationer af sporgasser, som anvendes ved målingerne i felt-forsøgene.

Den højere flux må derfor tilskrives forskelle i måleomstændighederne i de to perioder.

Da transporten mellem renseri og lejlighed i overvejede grad sker som luftbevægelser gennem åbninger, vil enhver ændring af trykforholdene mellem renseri og lejlighed påvirke flux'en markant. Hvis det kan antages, at der ikke er sket drifts- eller ventilationsmæssige ændringer i renserier og lejligheder mellem de to måleperioder, må en forklaring være udefrakommende påvirkninger, som betyder en ændring af trykforhold i bygningen.

Ændrede temperaturforhold ude og inde vil påvirke det termiske drivtryk i ejendommen ("skorstenseffekten") ligesom vindpresset på bygningen påvirker trykforholdene i bygningen (Danvak, 1987).

I en etageejendom vil der typisk være et termisk drivtryk, som skabes af temperaturforskellen mellem udemiljøet og indeklimaet. Der er indhentet oplysninger fra Danmarks Meteorologisk Institut, som viser, at den gennemsnitlige udetemperatur i de to måleperioder var hhv. 5,7 og 2,1 °C. Der har således været en lavere gennemsnitlig udetemperatur under 2. måleserie. Denne temperaturforskel vil – alt andet lige – skabe en større luftbevægelse op gennem bygningen (fra renseri mod lejlighed). Det kan ikke afgøres, om dette er forklaringen, men det udgør en plausibel mulighed, som kun fremtidige resultater og et større datamateriale kan afklare.

En anden mulig forklaring på de målte forskelle i flux er forskelle i vindpåvirkningen på bygningerne. Effekten af vinden afhænger foruden af vindstyrke og vindretning også af bygningens størrelse og orientering samt af omgivelserne. Det er ikke muligt at foretage en præcis beregning af effekten af vinden i måleperioderne på de aktuelle bygninger. Danvak (1987) angiver, at gennemsnitlige vindforhold kan udløse trykforskelle i samme størrelsesorden som det termiske drivtryk.

I forbindelse med målingerne blev det aktuelle luftskifte i lejlighed A og C bestemt som gennemsnit over 14 dage. I tabel 5.3 er lejlighedernes luftskifter (14 dages gennemsnit) anført. Som det fremgår, er der stort set identiske luftskifter i de to perioder i hver lejlighed. Det skal bemærkes, at ændringer i luftskifter ikke kan forklare forskellene i flux, idet beregningerne kompenserer for netop luftskiftet i lejlighederne.

Tabel 5.3: Luftskifter i lejlighed A og C i de to 14-dages perioder. Enhed: gange pr. time

	1. runde	2. runde
Lejlighed A	0,58	0,59
Lejlighed C	0,19	0,19

Det har ikke været muligt at finde publicerede undersøgelser af variationen i luftbevægelser gennem etageadskillelsen i en etageejendom. Der er taget kontakt til By og Byg og til Forskningscenter Risø for at afklare om disse institutioner har erfaringer, som kan bekræfte de fundne variationer. Niels Bergsøe (By og Byg, personlig kommunikation) og Claus E. Andersen (Forskningscenter Risø, personlig kommunikation) har gennemført beslægtede undersøgelser i énfamilie-huse. Begge vurderer, at størrelsesordenen af de fundne variationer ikke er urealistisk*.

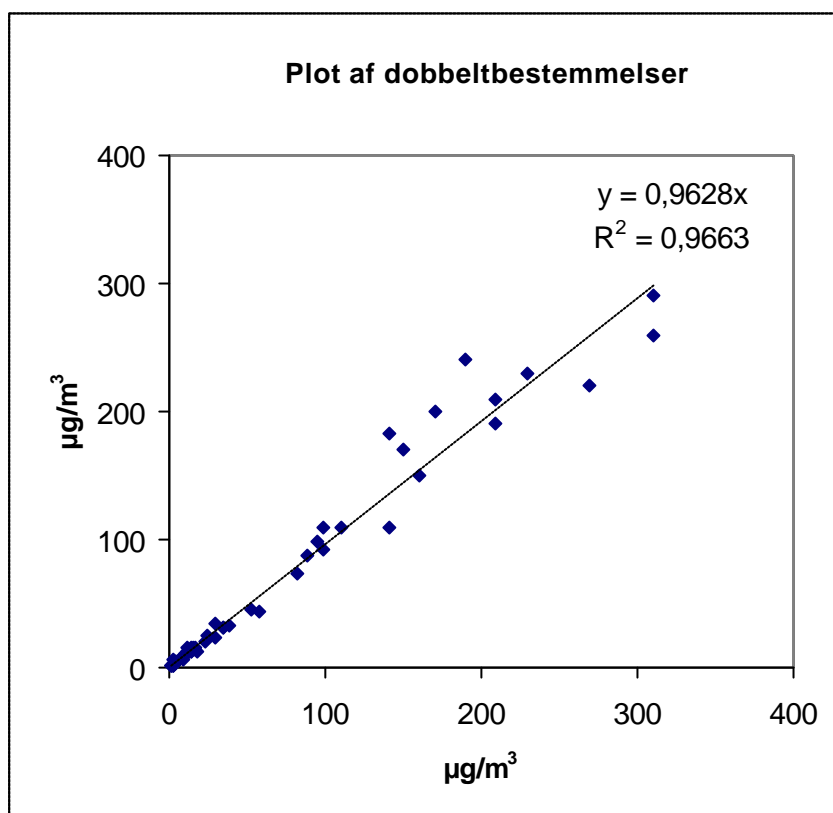
5.2.3 Repetérbarhed (prøvetagning og analyse)

For at vurdere målemetodens repetérbarhed under feltforhold er der foretaget i en række dobbeltbestemmelser. Dobbeltbestemmelserne blev foretaget ved, at der på målestederne blev anbragt dobbeltsæt samplere og at disse samplere blev behandlet ens såvel under opsætning, nedtagning, transport og analyse. I alt indeholder forsøget 55 dobbeltbestemmelser af denne type.

Enkeltresultatet fremgår af bilag IV og bilag IX. I bilag IX er samtlige dobbeltbestemmelser anført som absolutte værdier og normaliseret i forhold til gennemsnittet af det enkelte datasæt.

En grafisk præsentation af dobbeltbestemmelserne fremgår af følgende figur 5.3.

Figur 5.3 : Grafisk præsentation af samtlige dobbeltbestemmelser



*: Note: Vurderingen er bl.a. baseret på Radon-95 undersøgelsen (Andersen et al, 1997), som viste betydelige tidsmæssige variationer på døgn-, uge- og sæsonbasis af indtrængningen af radon.

Som det fremgår, grupperer datasættene sig tæt omkring en ret linje gennem 0,0 og med hældningen 1, svarende til en repeterbarhed på 100%. Variationen omkring linjen er ringe, idet der er bestemt en korrelationskoefficienten på 0,97.

Den relative standardafvigelse for alle 55 datasæt udgør 8%.

Flux'en gennem etageadskillelsen beregnes ud fra udtrykket i ligning 4, side 13. Den samlede usikkerhed på den beregnede flux er estimeret til 25% (se eventuelt bilag X).

5.2.4 Horisontal og vertikal fordeling af sporgasser i renserier og i lejligheder

I renserierne blev der foretaget måling 4 steder og hvert sted i 3 højder (i alt 12 enkelte positioner). Enkeltresultater og spredning fremgår af bilag IV.

Det store antal målinger er væsentligt fordyrende for fremtidige anvendelser af metoden. Det er derfor ønskeligt at reducere omfanget, hvis det kan ske, uden at det går ud over præcisionen.

I tabel 5.4 er måleresultaterne for den mellemste målehøjde (1,7 m over gulv) i renserierne sammenlignet med det gennemsnitlige måleresultat for alle målinger i det pågældende renseri i den samme periode.

Tabel 5.4: Koncentrationer af PP2 i renserierne. Gennemsnit af resultater for positioner 1,7 m over gulv sammenholdt med gennemsnit af samtlige målinger i det pågældende renseri. Enhed: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	Gennemsnit af pos. 1-4 (1,7 m)	Gennemsnit af alle målinger
Renseri A 1. runde	13	14
Renseri A 2. runde	27	18
Renseri B	34	33
Renseri C 1. runde	14	14
Renseri C 2. runde	14	13

Som det fremgår, er der ved 4 af 5 måleserier i renserierne tale om stort set identiske resultater, når resultaterne fra 1,7 m over gulv sammenlignes med det samlede antal målinger på den pågældende lokalitet. Set i forhold til den fremtidige brug af metoden betyder det, at antallet af målepositioner i renserierne kan reduceres fra de 12 (4 positioner, 3 højder), som har været benyttet i dette projekt til 4 positioner i 1,7 meters højde over gulv, uden at det påvirker resultatet negativt.

I lejlighederne blev der tilsvarende foretaget måling på 3 steder i 2 højder (6 positioner). Enkeltresultater og spredning fremgår af bilag IV.

I tabel 5.5 er måleresultaterne for den højeste målehøjde (1,8-2 m over gulv) sammenlignet med det gennemsnitlige måleresultat for alle målinger i den pågældende lejlighed. Den maksimale variation andrager 33% ved én af 5 målerunder i de 3 renserier.

Tabel 5.5: Koncentrationer af PP3 i lejlighederne. Gennemsnit af resultater for højeste position over gulv sammenholdt med gennemsnit af samtlige målinger i den pågældende lejlighed. Enhed: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	Gennemsnit position 1-3	Gennemsnit af alle målinger
Renseri A 1. runde	103	102
Renseri A 2. runde	100	101
Renseri B	308	272
Renseri C 1. runde	191	178
Renseri C 2. runde	183	178

Som for renseriernes vedkommende viser det sig, at omfanget kan reduceres uden at det påvirker præcisionen i betydeligt omfang. Den maksimale variation andrager 11% ved én af fem forsøgsrunder i de 3 lejligheder. Øvrige fire forsøgsrunder i lejlighederne giver stort set identiske resultater, når højeste position sammenlignes med alle målepositioner.

Det vurderes på denne baggrund, at måleprogrammet kan reduceres til 3 positioner i 1,7 m's højde. Anvendelse af 1,7 m's højde som målehøjden er ydermere velegnet ved brug af resultaterne til vurdering af risiko for indånding af driftsbidrag i boligen.

5.2.5 Sinks

Ved alle feltmålinger blev der foretaget målinger af flux'en over perioder på 7 og 14 dage. Hvis adsorptionen af sporgasser til bygningsmaterialer er af en væsentlig størrelse, kan man forvente, at koncentrationen af sporgasserne i den første uge vil være lavere end ved måling over 14 dage ud fra den antagelse, at adsorptionen vil være størst i starten af forsøget, hvor sporgassen lige er introduceret. Det vil betyde lavere flux i den første 7 dages periode sammenlignet med den samlede periode på 14 dage.

Laboratorieforsøgene viste en betydelig adsorption til beton i forbindelse med diffusion gennem betonen. Tabel 5.2 viser resultatet af fluxmålingerne i de to tidsperioder. Som det fremgår, er der ingen tegn på en systematisk lavere flux umiddelbart efter introduktion af sporgaskilderne (7 dages perioden) sammenlignet med den samlede periode på 14 dage. Adsorption af sporgasser til byggematerialerne synes således ikke at udvise mætningsfænomener, som kan udgøre et problem for metodens anvendelighed inden for de anvendte perioder på op til 14 dage.

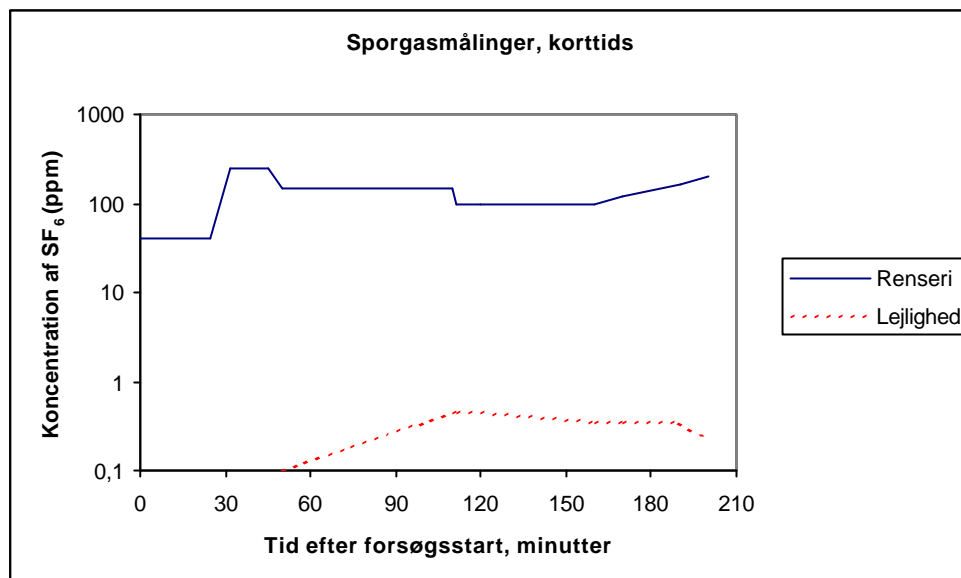
5.2.6 Korttidsmålinger af diffusion gennem etageadskillelse mellem renseri og lejlighed

Den 7. januar 2003 blev der foretaget korttidsmålinger af flux'en mellem renseri og lejlighed. Målingerne blev foretaget ved renseri og lejlighed B

Målingerne blev foretaget ved at en sporgas (svovlhexaflourid) blev spredt i renseriet fra en trykflaske. Herefter blev der foretaget samtidige målinger for gassen i renseri og lejlighed.

Det viste sig, at sporgassen kunne påvises i lejligheden over renseriet én time efter doseringen var startet i renseriet. Forløbet af sporgaskoncentrationen i renseri og lejlighed fremgår af nedenstående figur 5.2. Bemærk at den lodrette akse er logaritmisk inddelt.

Figur 5.4 Korttidssporgasmålinger mellem renseri og lejlighed på lokalitet B.



Den meget korte periode (1 time) fra doseringen til sporgassen påvises i lejligheden indikerer, at transporten sker ved direkte overførsel via utætheder. Det skal dog bemærkes, at dk-teknik, Energi og Miljø ved tidligere undersøgelse har set meget hurtige diffusion af denne type sporgas gennem beton (Miljøstyrelsen 2001b).

Kontrolmålinger viste, at der ikke skete indtrængning via udeluften under forsøget.

5.2.7 Luftskiftemålinger

Samtidigt med korttidsmålingerne af spredningen fra renseri til lejlighed blev der foretaget en luftskiftemåling i lejligheden. Målingen blev foretaget som en korttidsmåling over 2 timer.

Resultatet er anført i tabel 5.5.

De gennemførte sporgasmålinger over 14 dage giver mulighed for at beregne det gennemsnitlige luftskifte i lejligheden i denne periode, når kildestyrken af sporgaskilderne er kendt. I samme tabel er dette gennemsnitlige luftskifte over 14 dage anført til sammenligning.

Tabel 5.6: Resultat af luftskiftemålinger i Lejlighed B. Sammenlignende resultater for korttidsmålinger over 2 timer og langtidsmålinger over 14 dage.

	Korttids-luftskifte 07.01.2003 - 2 timer (svovlhexafluorid)	Langtids-luftskifte 25.10.2002-09.11.2002 (perfluorcarboner)
Lejlighed B	0,3 gange pr. time	0,3 gange pr. time

Det fremgår af tabel 5.6., at det målte luftskifte er det samme, uanset om bestemmelsen blev foretaget som en korttidsmåling eller som en langtidsmåling. Resultatet er selvsagt afhængig af forholdene på det tidspunkt, hvor målingerne er foretaget, men resultaterne viser dog, at den udviklede målemetode for langtidsmåling af luftskiftet giver sammenlignelige resultater med teknikker, som anvendes ved traditionelle luftskiftemålinger over kort tid.

6 Diskussion

Dette projekt er fase 2 i udviklingen af en diffusiv sporgasmetode til brug for måling af stoftransport og luftbevægelser mellem tilstødende rum i en bygning. Det primære formål er anvendelse til måling af bidraget af renseskedampe fra renseriers drift til en tilstødende lejlighed, men metoden vil også kunne anvendes i andre sammenhænge.

I projektets første fase (Miljøstyrelsen 2002a) blev opsamlings- og analysemetoder udviklet ligesom metodens performance under laboratorieforhold blev undersøgt.

Formålet med fase 2 er at afprøve metoden under realistiske forhold i felten samt at indsamle de første informationer om størrelsen af stoftransporten mellem et renseri og en tilstødende lejlighed.

Forsøgsstederne er valgt således, at spredning via andet end etageadskillelsen så vidt muligt er undgået. Dette er f.eks. gjort ved at sikre, at der ikke er færdsel mellem renseri og lejlighed via indvendige trapper.

Forsøgslokaliteterne er tillige udvalgt som steder, hvor der på forsøgstidspunktet kun var foretaget ingen eller begrænsede tiltag for at undgå spredning til overliggende lejlighed. Der er således ikke opsat diffusionstætte membraner eller undertryksventilerede lofter på nogen af de anvendte lokaliteter. Alle tre steder er der foretaget tætning af synlige åbninger ved rørgennemføringer.

Hvis fase 2 bekræfter metodens anvendelighed, er det hensigten at igangsætte et måleprogram, som omfatter et større antal renserier i Danmark.

6.1 Metodens anvendelighed

Projektets første fase viste, at det under laboratorieforhold var muligt at måle sporgasser uden interferens fra de meget højere koncentrationer af renseskedampe, som normalt vil være tilstede i et renseri. Laboratorieforsøgene viste også, at metodens detektionsgrænse var tilstrækkelig lav til, at metoden kunne påvise og kvantificere indtrængende forurening i boliger fra igangværende renserier.

Feltforsøgene i nærværende fase 2 har bekræftet disse resultater, idet målingerne har vist, at det er muligt at sprede sporgas i renseri og bolig og herefter foretage måling for de valgte sporgasser uden interferens af hverken tetrachlorethylen eller kulbrinter og med tilstrækkelig analytisk sikkerhed.

Metoden lader sig således anvende under realistiske forhold til måling af spredningen af luft og dermed gasformige forureninger fra et renseri til en lejlighed.

6.2 Målestrategi

De gennemførte forsøg ved dk-Teknik Energi & Miljø viste, at diffusionen af sporstoffer og rensesvæsker gennem beton forløber hurtigt. Allerede et døgn efter dosering af sporgasser og rensesvæsker er de diffunderet gennem en 5 cm tyk betonflade, og to døgn efter er der opstået en situation med stationær transport over betonfladen.

Mellem et renseri og en tilstødende lejlighed sker spredningen af forureninger også ved andre mekanismer end diffusion - f.eks. via utætheder, hulmure og lignende. Feltnålinger med kontinuert registrerende udstyr under realistiske forhold i et renseri og overliggende lejlighed viste, at også under disse forhold sker spredningen til overliggende lejlighed hurtigt - i det aktuelle tilfælde inden for timer.

For den udviklede målemetoder betyder det, at man allerede to døgn efter opsætning af sporgaskilder kan forvente, at der er indstillet en situation med stationær transport mellem i renseri og lejlighed. Perioden mellem opsætning af sporgaskilder og samplere behøver således ikke være længere end to døgn.

6.3 Antal og placering af sporgaskilder og samplere

Forsøgene omfattede et større antal positioner i såvel rensier som lejligheder. Det store antal positioner blev valgt for at få indtryk af den vertikale og horisontale fordeling af sporgasserne.

Forsøgene har vist, at et gennemsnit af resultater fra ét vertikalt niveau (en højde) giver samme resultat som gennemsnittet af alle positioner på den pågældende lokalitet.

For den fremtidige brug af metoden betyder det, at antallet af samplere kan reduceres til i alt 4 målepositioner i rensierne og 3 positioner i lejlighederne. Samplerne fordeles jævnt i lokalerne 1,7 meter over gulv.

Antallet af sporgaskilder har ikke været varieret i forsøget, og det kan derfor ikke afgøres, om antallet kan reduceres. Indtil der eventuelt foreligger flere informationer herom, bør det i disse forsøg anvendte antal bruges. Færre sporgaskilder indebærer en risiko for mindre homogene sporgaskoncentrationer på målestederne.

Det store antal måleresultater indeholdt ét resultat, som afveg markant fra de øvrige målinger på samme lokalitet. Det drejer sig om position 2, øverste højde i renseri A. I såvel 1. som 2. målerunde blev der på denne position fundet resultater, som var mere end 2-3 gange så høje som de øvrige resultater i rensriet. Besøg i rensriet og forsøg med røg viste, at årsagen til de forhøjede værdier var en udsugning over rensrimaskinen, som skabte en luftstrøm fra en opsat sporgaskilde direkte forbi sampleren. Resultatet var fejlagtigt høje koncentrationer. Der er i de forrige afsnits resultatgennemgang og beregninger set bort fra denne værdi, men forholdet viser, at det er afgørende, at man ved opsætning af sporgaskilder og samplere er opmærksom på, om mekaniske ventilationssystemer eller andet kan påvirke resultatet. I praksis kan det gøres ved, at luftstrømningerne på målestedet undersøges v.h.a. røg inden opsætningen af kilder og samplere.

6.4 Metodeusikkerhed

Der blev foretaget i alt 55 dobbeltbestemmelser i projektet. Måling af sporgaskoncentrationen viser en relativ standardafvigelse på 8% for hele datasættet. Dette svarer til det niveau, som blev fundet under laboratorieforsøgene (Miljøstyrelsen, 2002a) og støtter således konklusionen om metodens anvendelighed til brug under realistiske forhold i felten.

Metodens variation (prøvetagning og analyse) er så ringe, at der ikke er behov for at foretage dobbeltbestemmelser på målepositionerne.

Flux'en gennem etageadskillelsen beregnes ud fra udtrykket i ligning 4, side 13. Den samlede usikkerhed på den beregnede flux er estimeret til 25% (se eventuelt bilag X).

6.5 Diffusionshastigheder

Det viste sig under laboratorieforsøgene, at diffusionshastigheden gennem beton varierer med op til 50%, når sporgasserne (PP2 og PP3) sammenlignes med hhv. tetrachlorethylen og decan. Denne variation kunne indregnes ved resultatvurderingen i form af en korrektionsfaktor, som udtrykker forskellen i diffusionshastigheder.

Da en væsentlig del af transporten mellem renseri og lejlighed imidlertid sker ved andet en diffusion (f.eks. gennem åbninger af enhver art) anbefaler projektgruppen, at der ses bort fra forskellen i diffusionshastighed, når sporgasmålingerne skal omsættes til et mål for spredningen af rensesvæskedampe fra renseri til lejlighed.

Hvis fremtidige reguleringer på renseriområdet gør, at diffusive bidrag får betydende vægt, bør man imidlertid ved fastsættelse af kravværdier være opmærksom på dette forhold.

6.6 Luftsiftemålinger

Målingerne af luftsiftet i lejlighed B viste identiske værdier for en langtidsmåling gennemført i efteråret 2003 og en korttidsmåling i januar 2003. Det er naturligvis tilfældigt, at der er tale om fuldstændigt identiske værdier, men resultatet viser, at den passive sporgasmetode giver sammenlignelige værdier med traditionelle teknikker som f.eks. korttidsmålinger med direkte visende måleudstyr til luftsiftemålinger.

Den udviklede metode kan derfor foruden anvendelse til måling af spredningen mellem tilstødende lokaler ved et renseri også bruges til langtidsmålinger af luftsiftet i et lokale eller en lejlighed. Denne applikation er særdeles anvendelig i forbindelse med undersøgelse og vurdering af effekten af jordforurenninger på indeklimaet i en overliggende bygning.

6.7 Brug af metoden til vurdering af et renseri's påvirkning af tilstødende lejligheder

I de gennemførte forsøg er der fundet en variation i flux'en på en faktor 3-5 på samme lokalitet i to 14 dages perioder på samme årstid. Årsagen er ikke afklaret med sikkerhed, men formodes at være ændringer i de udeklimatiske

forhold. Kontakter til bl.a. Statens Byggeforskningsinstitut, By og Byg samt Forskningscenter Risø indikerer, at det ikke er urealistiske variationer. Variationerne har betydning for anbefalinger om måletidspunkt på året og måleperiodernes længde. En kommende fase 3 bør derfor udvides med nogle supplerende undersøgelser af den tidlige variation af flux'en.

Kommende tiltag på renseriområdet sigter mod at reducere luftbevægelsen mellem renseri og tilstødende lejligheder. Disse tiltag må formodes at reducere effekten af udefrakommende klimatiske ændringer på udvekslingen af luft mellem renseri og lejlighed og vurderes således at ville reducere variationerne.

På baggrund af den målte flux, koncentrationen af renseskedampe i renseriet samt den overliggende lejligheds areal, luftskifte og volumen kan bidraget af renseskedampe til rumkoncentrationen i lejligheden beregnes i henhold til ligning 5, side 12.

Hvis ligningen anvendes for lokalitet C (1. målerunde) og det samtidigt antages, at den gennemsnitlige koncentration af tetrachlorethylen i renseriet er 5 mg/m^3 , giver det et bidrag af tetrachlorethylen til lejligheden svarende til en rumkoncentration på $0,61 \text{ mg/m}^3$. Under de givne forsøgsbetingelser svarer dette således til en reduktionsfaktor fra renseri til overliggende lejlighed på ca. 8.

På tilsvarende vis kan bidraget af renseskedampe fra renseri A og B (1. målerunde) beregnes til $0,16$ og $0,55 \text{ mg/m}^3$ under antagelse af en gennemsnitlig koncentration af renseskedampe i renseriet på 5 mg/m^3 . Dette svarer til en reduktionsfaktor på hhv. 30 og 8. Det er indregnet, at der på lokalitet B og C er etageadskillelse af beton, mens der på lokalitet A er etageadskillelse af træ/indskud.

Som det fremgår, ligger det beregnede bidrag tæt på den maksimale bidragsværdi for kulbrinter ($0,6 \text{ mg/m}^3$) på to lokaliteter. På den tredje lokalitet udgør den beregnede værdi ca. 30% af denne værdi.

Det vil give anledning til forskelsbehandling, hvis alene bidraget til rumkoncentrationen i lejligheden anvendes til at afgøre, om en påvirkning er over eller under en given grænse. Det skyldes, at bidragets størrelse er omvendt proportional med luftskiftet i lejligheden over renseriet. Et højt luftskifte i lejligheden vil således stille mindre krav til renseriet sammenlignet med en situation med en lejlighed med et meget ringe luftskifte som f.eks. lejlighed C i dette forsøg.

Projektgruppen foreslår, at resultaterne normaliseres i forhold til et luftskifte på 0,5 gang i timen svarende til kravene i bygningsreglementet til etageboliger (BR 95).

6.8 Afsluttende kommentarer

På alle tre lokaliteter var der foretaget tætning af synlige åbninger ved rørgennemføringer med silkone-tætningsmasse.

En afledt konklusion af de gennemførte laboratorie- og feltforsøg er, at tætning af synlige åbninger i etageadskillelsen, f.eks. ved rørgennemføringer, ikke reducerer transporten mellem renseri og lejlighed tilstrækkeligt til, at en bidragsværdi for tetrachlorethylen på $0,1 \text{ mg/m}^3$ kan overholdes.

Denne vurdering begrundes med, at en sådan tætning var foretaget på alle lokaliteter, og som resultaterne viser, er flux'en alle steder så høj, at selv forholdsvis lave koncentrationer af tetrachlorethylen i renseriet (som f.eks. 5 mg/m³) er tilstrækkeligt til, at bidraget til koncentrationen i lejligheden over renseriet er større end 0,1 mg/m³.

7 Referencer

Andersen, Bergsoe, Brendstrup, Damkjar, Gravesen og Ulbak: Radon-95: En undersøgelse af metoder til reduktion af radonkoncentrationen i danske enfamiliehuse, Riso-R-979(DA)

Bergsøe, 1992: Bergsøe, Niels C., "Passiv sporgasmetode til ventilationssundersøgelser, Beskrivelse og analyse af PFT-metoden", SBI-Rapport 227, Statens Byggeforskningsinstitut, 1992.

BR 95: By- og Boligministeriet, Bygningsreglement

Danvak 1987: Varme og klimateknik, Grundbog

ISO/CD 6145-8: Preparation of calibration gas mixtures using dynamic volumetric methods. Part 8: Diffusion (2001)

Miljøstyrelsen, 2001a: Dokumentation af interne og eksterne kilder til tetrachlorethylen i boliger. Miljøprojekt nr. 651, 2001.

Miljøstyrelsen 2001b: Måling af indtrængning af gasformige forbindelser fra forurenede jord til indeluften. Miljøprojekt nr. 646, 2001.

Miljøstyrelsen, 2002a: Udvikling af sporgasmetode til brug for måling af transport af forurening mellem renserier og tilstødende lejligheder. Miljøprojekt nr. 698, 2002

Miljøstyrelsen 2002b: Dokumentation af sinkeeffekter for tetrachlorethylen. Miljøprojekt nr. 673, 2002

Miljøstyrelsen 2001c: "Begrænsning af luftformig emission af tetrachlorethylen fra renserier". Miljøprojekt 652, 2001

Bygningsbeskrivelse

Lokalitet A:

Forsøgslokaliteten er en murstensejendom fra omkring år 1880-1890.

Renseriet:

Renseriet, der samtidigt er indrettet som møntvaskeri, ligger i en høj kælder. Renseriet har 3 indgange fra gaden, som hver især fører til et af de 3 største lokaler i forretningen. Rensermaskinen er placeret i det midterste lokale sammen med 4 møntvaskemaskiner. Dette lokale står via en mellemgang i forbindelse med et af de tilstødende lokaler, der også anvendes til møntvask. Der er adgang til møntvaskeriet mellem kl. 7.00 og 22.00 alle ugens dage. Det sidste lokale anvendes til kundebetjening og arbejdsrum (butikslokale) i forbindelse med renserifunktionen. Renseriet har åbent daglig i normal åbningstid.

Sporgasforsøget er udført i det midterste lokale, hvor rensemaskinen og de fire møntvaskemaskiner er placeret. Lokalet er i det følgende benævnt forsøgslokalet. En skitse af forsøgslokalet er vedlagt dette notat.

Der er mekanisk ventilation af renseriet. Ventilationen af renseriet sker døgnet rundt. Der er placeret punktudsugninger bag rensemaskinen samt rundt omkring i renseriets lokaler, dog primært der, hvor det rensede tøj efterbehandles, dvs. i lokalet ved siden af forsøgslokalet. I forsøgslokalet er der placeret ét punktudsug lige over lågen til rensemaskinen. Dette punktudsug anvendes dog kun når maskinen tømmes.

Ventilationsanlægget flytter 2-3000 m³ luft/time i dagtimerne og 1000 m³ luft/time i nattetimerne. Omstillingen mellem højt og lavt flow sker manuelt. Luften ledes ud over taget på ejendommen gennem en nyetableret kanal.

I yderdøren i renseriet er der etableret et passivt luftindtag, hvorigennem der suges luft ind på grund af undertrykket i lokalet. I renseriets åbningstid står renseriet og i møntvaskeriet i forbindelse med hinanden via en luge i væggen på ca. 1 m².

Lejligheden:

Der findes 2 adgangsveje til den lejlighed, der ligger over renseriet. Adgangsveje via en hoved- og en bagtrappe. Via bagtrappen er der også adgang til renseriet. Det oplyses af renseriejeren, at renseriets bagtrappe aldrig anvendes.

Lejligheden over renseriet har et samlet gulvareal på ca. 62 m² fordelt på 3-værelser, køkken og bad. Vægge består af pudsede mursten og etageadskillelsen af træ med indskud. Der er ikke anden ventilation af lejligheden end åbenstående døre og vinduer.

Der er i alt 10 rørgennemføringer mellem renseri-/møntvaskerilokalerne og lejligheden. 2 af disse rørgennemføringer er placeret i forsøgslokalerne i renseriet. Renseriejeren oplyser, at alle rørgennemføringer og eventuelle synlige sprækker i loftet for nylig tætnet med silikone.

Forsøgslokaler i lejligheden ligger lige over forsøgslokalet i møntvaskeriet og består af en dobbelt stue. En skitse af stuerne er vedlagt dette notat.

Lokalitet B:

Forsøgslokaliteten er en ejendom udført i beton fra omkring år 1959.

Renseriet:

Renseriet ligger i gadeplan med en hoveddør som eneste adgangsvej. Renseriet er opdelt i et kundebetjenings område, et aflukket rum, hvor rensemaskinen er placeret og et baglokale til efterbehandling af tøj samt et lille rum til ophold for personalet.

Sporgasforsøgene er foretaget i og omkring lokalet med rensemaskinen, se skitsen af forsøgslokalerne, der er vedlagt dette bilag.

Der er påmonteret udsugninger på rensemaskiner og punktudsug over efterbehandlingsmaskiner., Afkastet fra punktudsugningerne ledes ud over taget på ejendommen gennem den oprindelige skorsten i ejendommen.

Udsugningen fra renseriets lokaler sker via et rum i forbindelse med baglokalerne, hvor der er placeret en ventilator i ydermuren. Erstatningsluften tages primært via indgangsdøren i den anden ende af renseriet. Det har ikke været muligt at få oplyst, hvor mange kubikmeter luft ventilatoren flytter.

Lejligheden:

Der er kun en adgangsvej til lejligheden beliggende over renseriet . Adgang sker via en hovedtrappe, der ikke har forbindelse til renseriet.

Lejligheden har et samlet gulvareal på ca. 28 m² fordelt på 1værelse, køkken og bad. Væggene og gulvene i lejligheden er af beton. Gulvene består af 15 cm fuldstøbt jernbeton. Der findes en emhætte i køkkenet. Der er ingen synlige rørgennemføringer imellem lejligheden og renseriet. Renseriejeren oplyser desuden at der ikke er foretaget gennemgang og tætninger af eventuelle sprækker og skjulte rørgennemføringer.

Lejligheden ligger umiddelbart over forsøgslokalerne i renseriet. En skitse af lejligheden er vedlagt dette notat.

Lokalitet C

Forsøgslokaliteten er en ejendom udført i beton fra omkring 1966.

Renseriet:

Renseriet ligger i gadeplan med hoveddør som eneste adgangsvej. Renseriet er opdelt i et kundebetjenings- og tøjbehandlingsområde, et aflukket rum, hvor rensemaskinen er placeret og et baglokale til ophold for personalet.

Sporgasforsøgene er foretaget i og omkring lokalet med rensemaskinen, se skitsen i dette bilag.

Ventilationen af renseriet foregår døgnet rundt. Der er placeret punktudsugninger, bag rensemaskinen samt rundt omkring i tøjbehandlingsområdet, herunder primært der, hvor det rensede tøj efterbehandles.

Ventilationsanlægget flytter døgnet rundt ca. 1.650 m³ luft/time. Luften ledes ud over taget på ejendommen gennem en ny etableret kanal.

I vinduerne mod gården er der placeret 1 passivt luftindtag samt 1 ventilator. Ventilatoren anvendes kun om sommeren og fungerer ellers som passivt luftindtag på grund af undertrykket i lokalet som følge af den mekaniske ventilation.

Lejligheden:

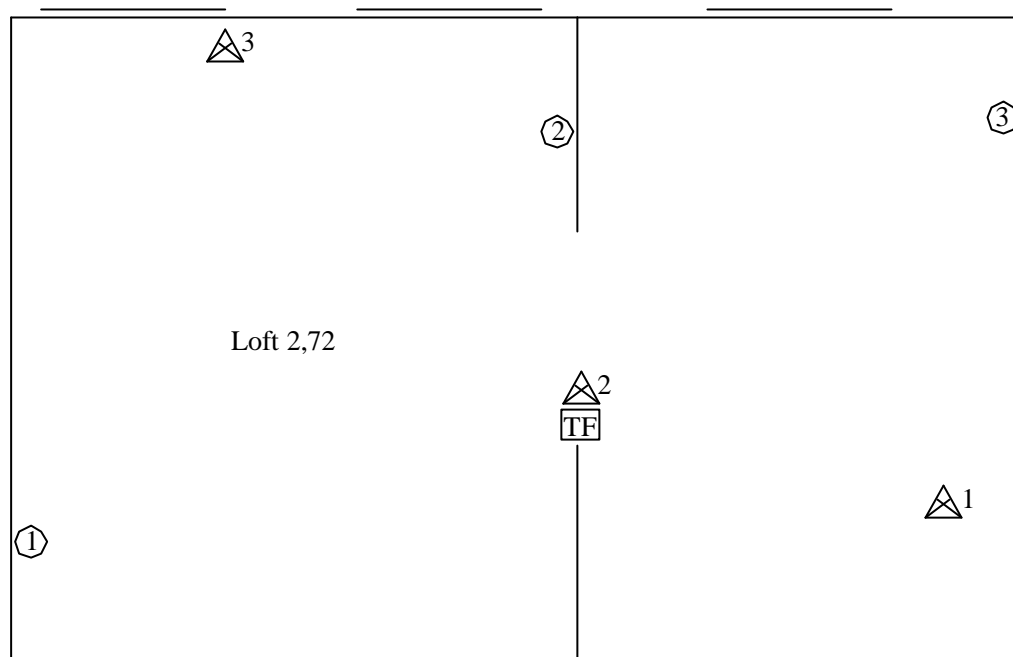
Der er kun én adgangsvej til den lejlighed, som ligger over renseriet. Adgang sker via hovedtrappe, der ikke har forbindelse til renseriet.

Lejligheden har et samlet gulvareal på ca. 90 m² fordelt på 3-værelser, køkken og bad.

Væggene og gulvene i lejligheden er af beton. Det har ikke været muligt at finde specifikke oplysninger om gulvenes tykkelse og støbning. Der er en emhætte i køkkenet. Der er i alt 10 synlige rørgennemføringer fra renserilokalerne til lejligheden. 2 af disse rørgennemføringer er placeret i forsøgslokalerne i renseriet. De øvrige rørgennemføringer er delvist skjult. Det oplyses af renseriejeren, at alle rørgennemføringer er tætnet med silikone fornylig og at der ikke er foretaget andre tætningsforanstaltninger.

Lejlighedens forsøgslokaler ligger umiddelbart over forsøgslokalerne i den bagerste del af renseriet. En skitse af forsøgslokalerne er vedlagt dette notat.

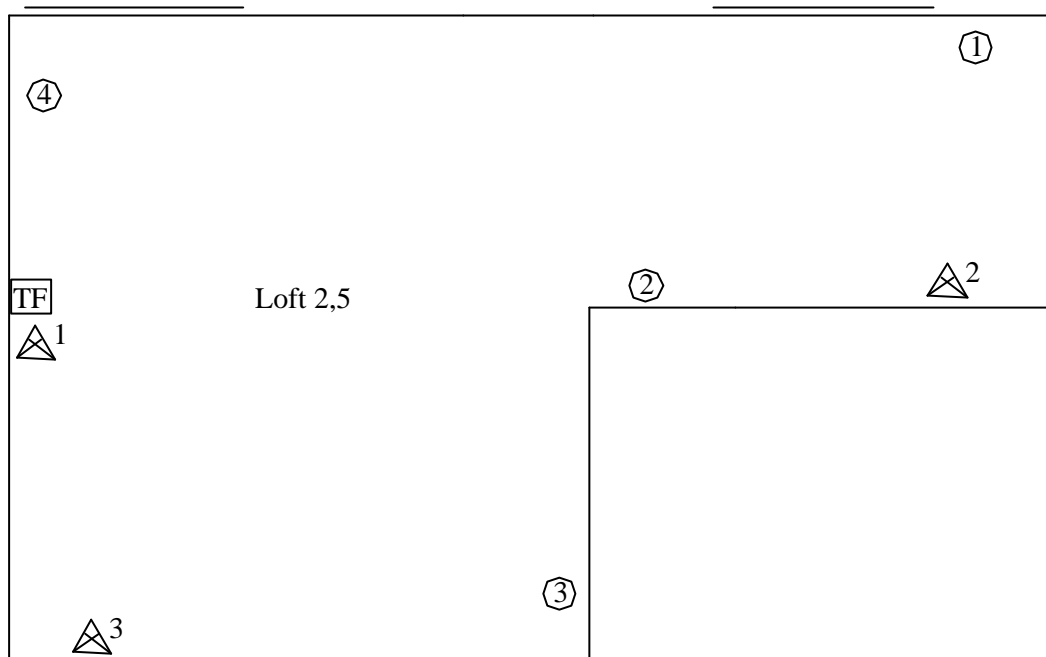
Lokalitet A, forsøgslokaler i lejlighed



- ② Placering af sampler
- △ Sporgaskilde
- TF Temperatur- og luftmåler

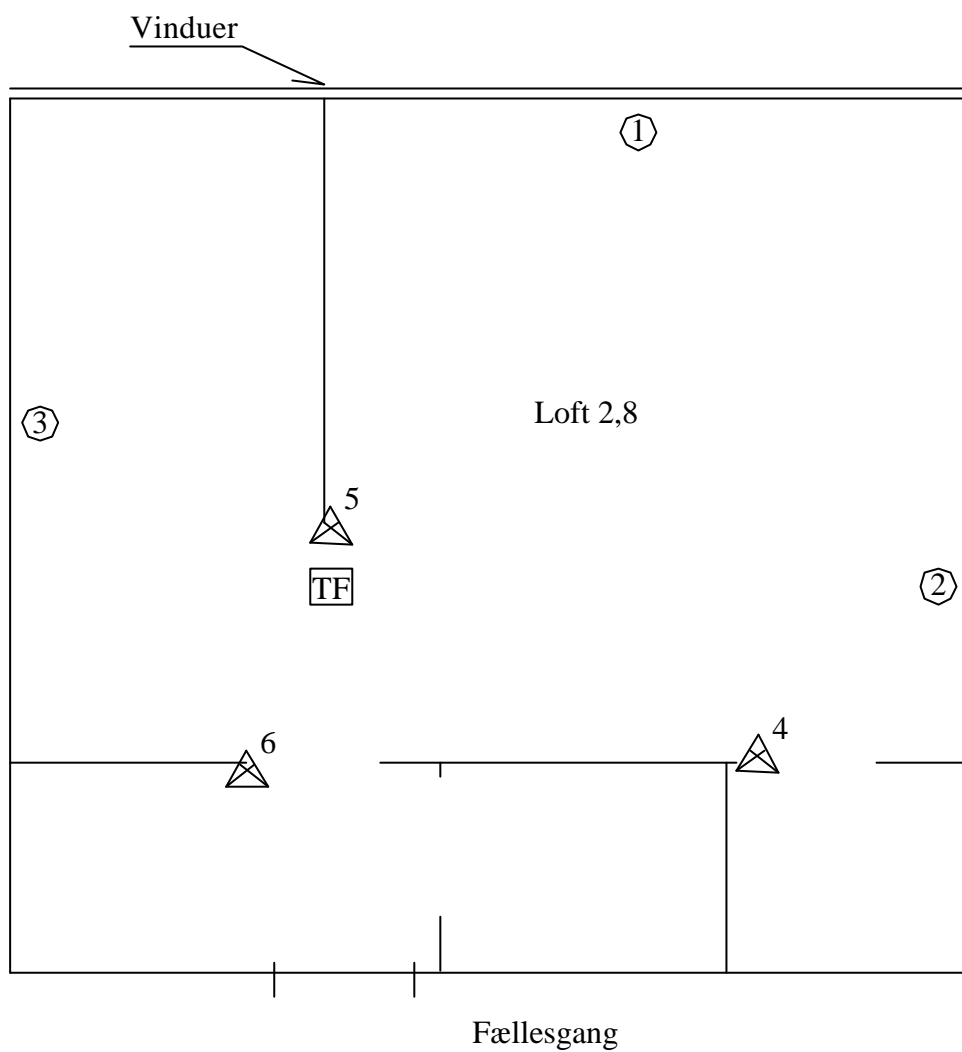
Lokalitet A, forsøgslokaler i renseri

Kjeld Langesgade

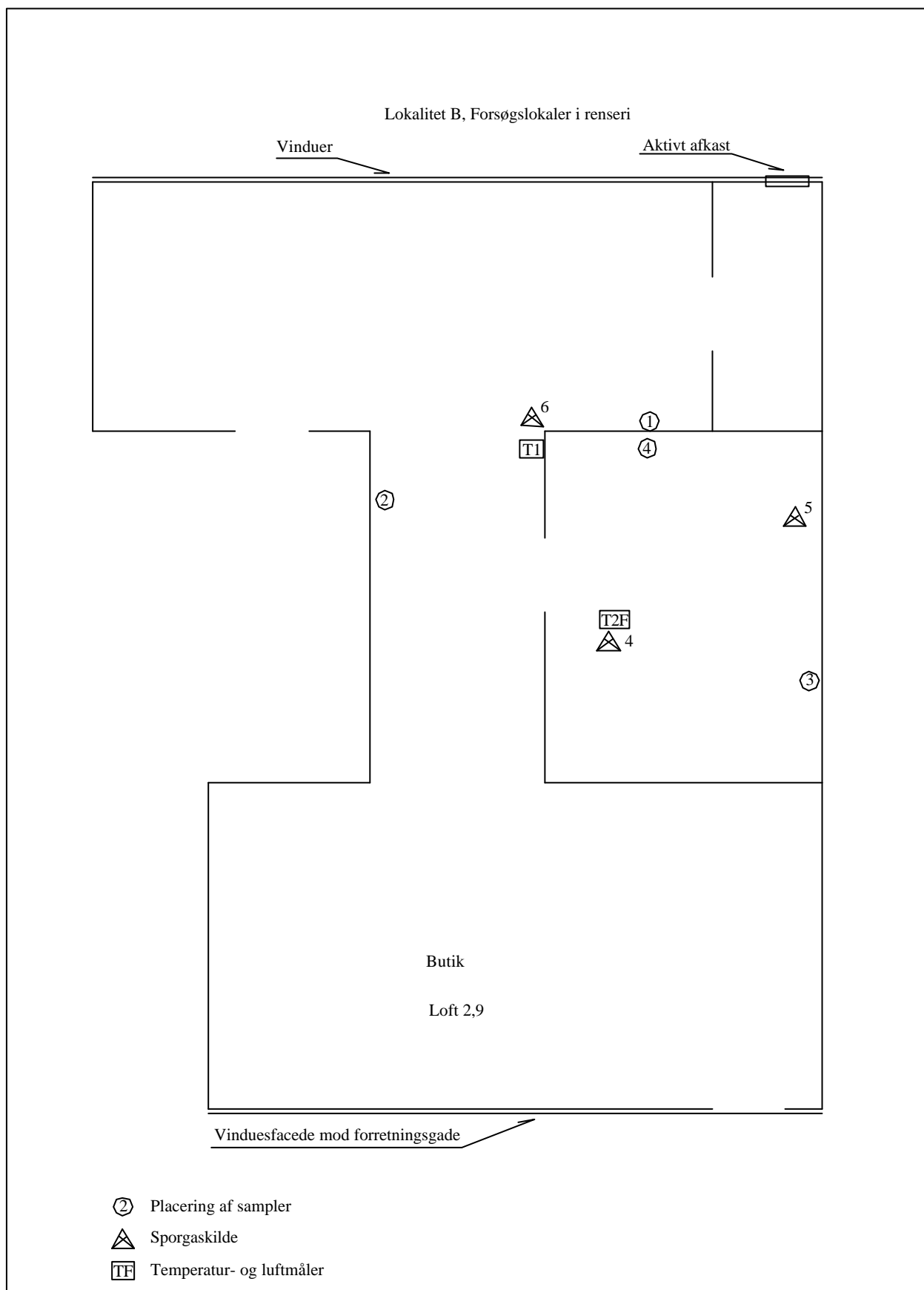


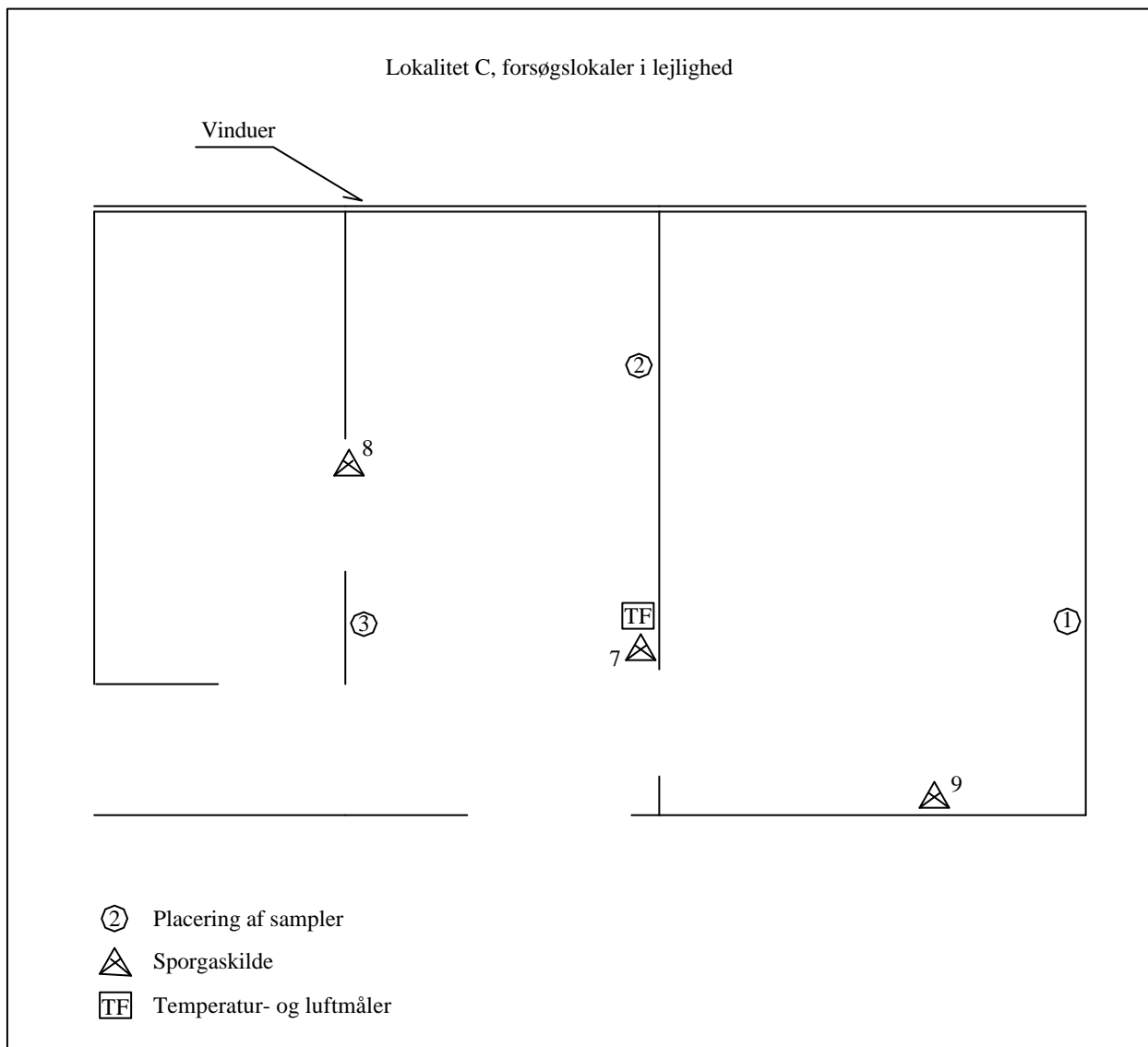
- ② Placering af sampler
- △ Sporgaskilde
- TF Temperatur- og luftmåler

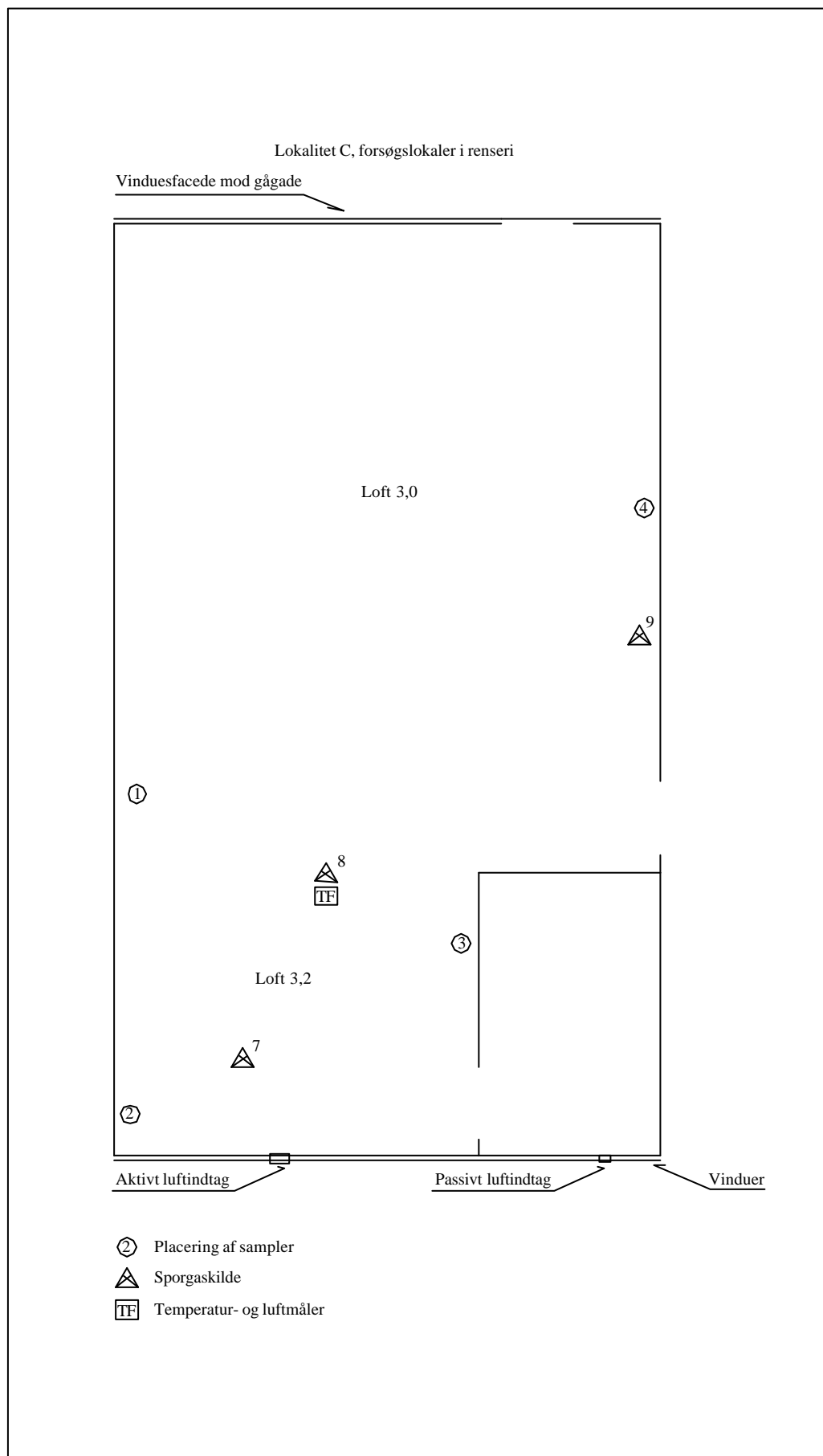
Lokalitet B, forsøgslejlighed



- ② Placering af sampler
- △ Sporgaskilde
- TF Temperatur- og luftmåler







3Sporgasmåling i lejlighed - registreringsskema til oplysninger om udluftning mm.

Boligens adresse: Lokaltet A. Forsøgsrunde 1
Udfyldt af: Beboerne

Beskrivelse af ventilationsforhold i boligen

Er der emhætte i boligen (Ja/Nej)? NEj

Er der passive udluftningskanaler (Ja/Nej)? : _____
Hvis Ja - angiv antal

Er der mekanisk udluftning på badeværelset (Ja/Nej)? : Nej
Hvis ja - beskriv da kort, hvorledes driftstiden for ventilationen styres

Er der anden mekanisk udluftning i lejligheden (Ja/Nej) ? : Nej
Hvis ja - beskriv venligst, hvorledes driftstiden for ventilationen styres.

Daglige registreringer

Dato	23-10	24-10	25-10	26-10	27-10	28-10	29-10	30-10	31-10	1-11	2-11	3-11	4-11	5-11	6-11	7-11	8-11	9-11	10-11	11-11
Antal timer i døgnet, hvor ventilationen som f.eks. emhætte har været i drift	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Antal timer, hvor døre eller vinduer har stået åben (udluftning)				1,5	0,5			1			0,5	0,5		0,5		0,5				
Antal timer, hvor der har været åbent til bagtrappe																				

Såfremt der måtte være spørgsmål til spørgeskemaet eller til målingerne, kan Christian Buch, COWI A/S kontaktes på tlf. 4597 2211

Sporgasmåling i lejlighed - registreringsskema til oplysninger om udluftning mm.

Boligens adresse: Lokaltet A. Forsøgsrunde 2

Udfyldt af: Beboerne

Daglige registreringer

Dato	9-11	10-110	11-11	12-11	13-11	14-11	15-11	16-11	17-11	18-11	19-11	20-11	21-11	22-11	23-11	24-11	25-11	26-11	27-11	28-11	29-11
Antal timer i døgnet, hvor ventilationen som f.eks. emhætte har været i drift																					
Antal timer, hvor døre eller vinduer har stået åben (udluftning)	1	1		0,5		1		1	1		0,5		1		1	1		0,5		1	
Antal timer, hvor der har været åbent til bagtrappe																					

Daglige registreringer

Dato	30-11	1-120	2-12	3-12	4-12	5-12	6-12	7-12	8-12	9-12	10-12	11-12									
Antal timer i døgnet, hvor ventilationen som f.eks. emhætte har været i drift																					
Antal timer, hvor døre eller vinduer har stået åben (udluftning)	1	1		0,5		1		1	1		0,5										
Antal timer, hvor der har været åbent til bagtrappe																					

Såfremt der måtte være spørgsmål til spørgeskemaet eller til målingerne, kan Christian Buch, COWI A/S kontaktes på tlf. 4597 2211

Sporgasmåling i renseri - registreringskema til oplysninger om daglig drift under målingerne.

Renseriets navn og adresse: Lokaltet A. Forsøgsrunde 1
Udfyldt af: Ejeren af renseriet

Daglige registreringer

Dato	23-10	24-10	25-10	26-10	27-10	28-10	29-10	30-10	31-10	1-11	2-11	3-11	4-11	5-11	6-11	7-11	8-11	9-11	10-11	11-11
Antal charges i dag	2	3	3	0	0	0	2	2	2	2	0	0	4	2	2	2	1	0	0	3
Antal timer i døgnet, hvor ventilationen har været i drift	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Antal timer, hvor døre eller vinduer har stået åben (udluftning)																				
Antal timer, hvor der har været åbent til bagtrappe																				

Særlige driftsforhold

Dato	Beskrivelse

Beskrivelse af ventilationsforhold i renseriet

Giv på bagsiden en beskrivelse af ventilationsforholdene i renseriet - f.eks. en skitse over placering af luft ind- og udtag, passive udluftningskanaler, angivelse af flow, tidsstyring (dvs. automatisk slukning mm.)

Såfremt der måtte være spørgsmål til spørgeskemaet eller til målingerne, kan Christian Buch, COWI A/S kontaktes på tlf. 4597 2211

Sporgasmåling i renseri - registreringsskema til oplysninger om daglig drift under målingerne.

Renseriets navn og adresse: Lokaltet A. Forsøgsrunde 2

Udfyldt af: Ejeren af rensriet

Daglige registreringer

Dato	9-11	10-11	11-11	12-11	13-11	14-11	15-11	16-11	17-11	18-11	19-11	20-11	21-11	22-11	23-11	24-11	25-11	26-11	27-11	28-11	29-11
Antal charges i dag	0	0	3	2	1	2	1	0	0	2	1	3	1	1	0	0	3	4	2	2	1
Antal timer i døgnet, hvor ventilationen har været i drift	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Antal timer, hvor døre eller vinduer har stået åben (udluftning)																					
Antal timer, hvor der har været åbent til bagtrappe																					

Daglige registreringer

Dato	30-11	1-12	2-11	3-12	4-12	5-12	6-12	7-12	8-12	9-12	10-12	11-12									
Antal charges i dag	0	0	2	3	2	2	1	0	0	2	3										
Antal timer i døgnet, hvor ventilationen har været i drift	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24										
Antal timer, hvor døre eller vinduer har stået åben (udluftning)																					
Antal timer, hvor der har været åbent til bagtrappe																					

Særlige driftsforhold

Dato	Beskrivelse

Beskrivelse af ventilationsforhold i rensriet

Giv på bagsiden en beskrivelse af ventilationsforholdene i rensriet - f.eks. en skitse over placering af luft ind- og udtag, passive udluftningskanaler, angivelse af flow, tidsstyring (dvs. automatisk slukning mm.)

Såfremt der måtte være spørgsmål til spørgeskemaet eller til målingerne, kan Christian Buch, COWI A/S kontaktes på tlf. 4597 2211

Sporgasmåling i lejlighed - registreringsskema til oplysninger om udluftning mm.

Boligens adresse: Lokaltet B. Forsøgsrunde 1

Udfyldt af: Beboeren

Beskrivelse af ventilationsforhold i boligen

Er der emhætte i boligen (Ja/Nej)? _____ Ja _____

Er der passive udluftningskanaler (Ja/Nej)? : _____ Nej _____
Hvis Ja - angiv antal

Er der mekanisk udluftning på badeværelset (Ja/Nej)? : _____ Nej _____
Hvis ja - beskriv da kort, hvorledes driftstiden for ventilationen styres

Er der anden mekanisk udluftning i lejligheden (Ja/Nej) ? : _____ Nej _____
Hvis ja - beskriv venligst, hvorledes driftstiden for ventilationen styres.

Daglige registreringer

Dato	23-10	24-10	25-10	26-10	27-10	28-10	29-10	30-10	31-10	1-11	2-11	3-11	4-11	5-11	6-11	7-11	8-11	9-11	10-11	11-11
Antal timer i døgnet, hvor ventilationen som f.eks. emhætte har været i drift	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Antal timer, hvor døre eller vinduer har stået åben (udluftning)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25				
Antal timer, hvor der har været åbent til bagtrappe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				

Såfremt der måtte være spørgsmål til spørgeskemaet eller til målingerne, kan Christian Buch, COWI A/S kontaktes på tlf. 4597 2211

Sporgasmåling i renseri - registreringsskema til oplysninger om daglig drift under målingerne.

Renseriets navn og adresse: Lokaltet B. Forsøgsrunde 1
Udfyldt af: Personalet

Daglige registreringer

Dato	23-10	24-10	25-10	26-10	27-10	28-10	29-10	30-10	31-10	1-11	2-11	3-11	4-11	5-11	6-11	7-11	8-11	9-11	10-11	11-11
Antal charges i dag	5	4	4	3		5	6	5	6	6	2		6	6	6	7				
Antal timer i døgnet, hvor ventilationen har været i drift	4	5	5,5	2		8	5	5	6	3	5		6	4	5	9				
Antal timer, hvor døre eller vinduer har stået åben (udluftning)	3	2	3	2		1	2	4	7	2	1		2	1	1	1				
Antal timer, hvor der har været åbent til bagtrappe	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0		0	0	0	0				

Særlige driftsforhold

Dato	Beskrivelse

Beskrivelse af ventilationsforhold i renseriet

Giv på bagsiden en beskrivelse af ventilationsforholdene i renseriet - f.eks. en skitse over placering af luft ind- og udtag, passive udluftningskanaler, angivelse af flow, tidsstyring (dvs. automatisk slukning mm.)

Såfremt der måtte være spørgsmål til spørgeskemaet eller til målingerne, kan Christian Buch, COWI A/S kontaktes på tlf. 4597 2211

Sporgasmåling i lejlighed - registreringsskema til oplysninger om udluftning mm.

Boligens adresse: Lokaltet C. Forsøgsrunde 1

Udfyldt af: Beboeren

Beskrivelse af ventilationsforhold i boligen

Er der emhætte i boligen (Ja/Nej)? _____ Ja _____

Er der passive udluftningskanaler (Ja/Nej)? : _____ Nej _____
Hvis Ja - angiv antal

Er der mekanisk udluftning på badeværelset (Ja/Nej)? : _____ Nej _____
Hvis ja - beskriv da kort, hvorledes driftstiden for ventilationen styres

Er der anden mekanisk udluftning i lejligheden (Ja/Nej) ? : _____ Nej _____
Hvis ja - beskriv venligst, hvorledes driftstiden for ventilationen styres.

Daglige registreringer

Dato	23-10	24-10	25-10	26-10	27-10	28-10	29-10	30-10	31-10	1-11	2-11	3-11	4-11	5-11	6-11	7-11	8-11	9-11	10-11	11-11
Antal timer i døgnet, hvor ventilationen som f.eks. emhætte har været i drift																				
Antal timer, hvor døre eller vinduer har stået åben (udluftning)				1	1	1	3	1	1	2	1	1	1	1	1	1				
Antal timer, hvor der har været åbent til bagtrappe																				

Såfremt der måtte være spørgsmål til spørgeskemaet eller til målingerne, kan Christian Buch, COWI A/S kontaktes på tlf. 4597 2211

Sporgasmåling i renseri - registreringskema til oplysninger om daglig drift under målingerne.

Renseriets navn og adresse: Lokaltet C. Forsøgsrunde 1
Udfyldt af: Personalet

Daglige registreringer

Dato	23-10	24-10	25-10	26-10	27-10	28-10	29-10	30-10	31-10	1-11	2-11	3-11	4-11	5-11	6-11	7-11	8-11	9-11	10-11	11-11
Antal charges i dag	6	5	5	3		5	7	7	6	6	2		6	6	5	5				
Antal timer i døgnet, hvor ventilationen har været i drift	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24				
Antal timer, hvor døre eller vinduer har stået åben (udluftning)																				
Antal timer, hvor der har været åbent til bagtrappe																				

Særlige driftsforhold

Dato	Beskrivelse

Beskrivelse af ventilationsforhold i renseriet

Giv på bagsiden en beskrivelse af ventilationsforholdene i renseriet - f.eks. en skitse over placering af luft ind- og udtag, passive udluftningskanaler, angivelse af flow, tidsstyring (dvs. automatisk slukning mm.)

Såfremt der måtte være spørgsmål til spørgeskemaet eller til målingerne, kan Christian Buch, COWI A/S kontaktes på tlf. 4597 2211

Sporgasmåling i renseri - registreringsskema til oplysninger om daglig drift under målingerne.

Renseriets navn og adresse: Lokaltet C. Forsøgsrunde 2

Udfyldt af: Ejeren af renseriet

Daglige registreringer

Dato	9-11	10-11	11-11	12-11	13-11	14-11	15-11	16-11	17-11	18-11	19-11	20-11	21-11	22-11	23-11	24-11	25-11	26-11	27-11	28-11	29-11
Antal charges i dag	2		7	5	5	4	5	2		5	6	5	4	4	4		8	5	7	4	3
Antal timer i døgnet, hvor ventilationen har været i drift																					
Antal timer, hvor døre eller vinduer har stået åben (udluftning)																					
Antal timer, hvor der har været åbent til bagtrappe																					

Daglige registreringer

Dato	30-11	1-12	2-11	3-12	4-12	5-12	6-12	7-12	8-12	9-12	10-12	11-12									
Antal charges i dag	3		6	5	6	6	5	2		8	6										
Antal timer i døgnet, hvor ventilationen har været i drift																					
Antal timer, hvor døre eller vinduer har stået åben (udluftning)																					
Antal timer, hvor der har været åbent til bagtrappe																					

Særlige driftsforhold

Dato	Beskrivelse

Beskrivelse af ventilationsforhold i rensriet

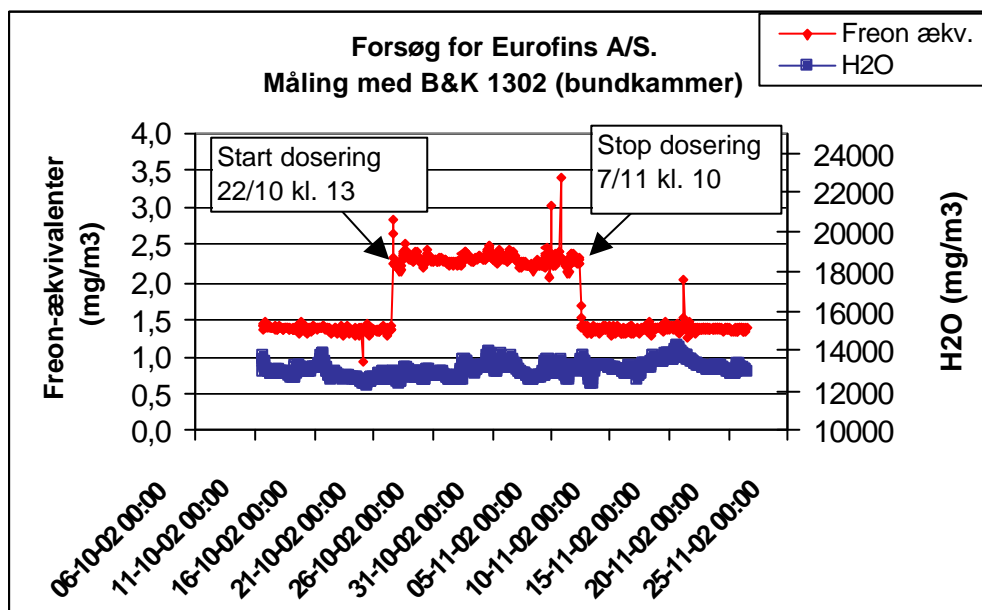
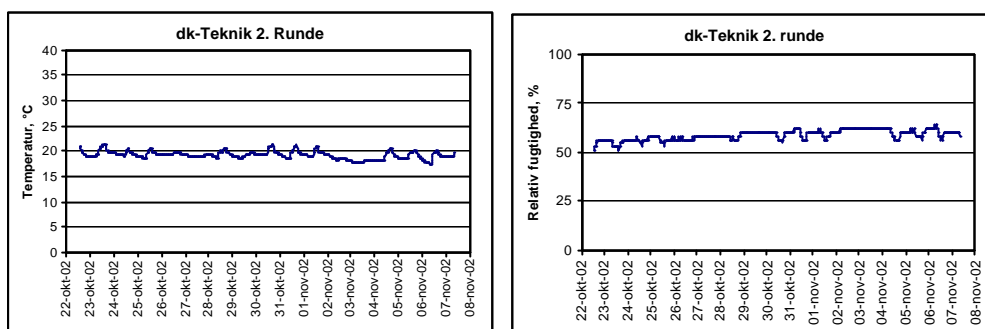
Giv på bagsiden en beskrivelse af ventilationsforholdene i rensriet - f.eks. en skitse over placering af luft ind- og udtag, passive udluftningskanaler, angivelse af flow, tidsstyring (dvs. automatisk slukning mm.)

Såfremt der måtte være spørgsmål til spørgeskemaet eller til målingerne, kan Christian Buch, COWI A/S kontaktes på tlf. 4597 2211

Resultater, laboratorieforsøg

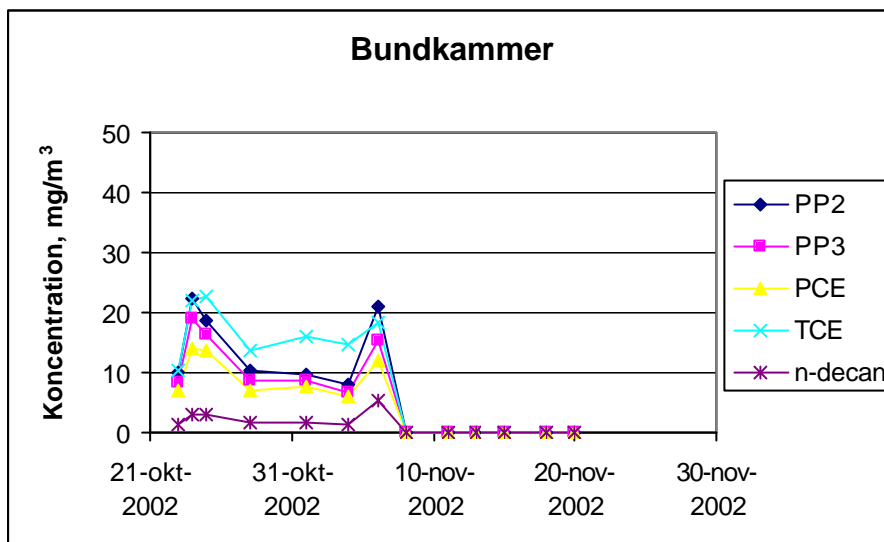
Af dette bilag fremgår de registrerede temperatur- og fugtighedsforløb i forbindelse med laboratorieforsøgene gennemført på dk-Teknik. Temperatur- og fugtighedsloggerne var placeret i diffusionskammeret for de genererede gasser.

Endvidere er der foretaget dosering af freon i forbindelse med doseringen. Koncentrationen af freon er målt med B&K 1302 én gang i timen under forsøgene, som en orienterende overvågning af stabiliteten af doseringen.

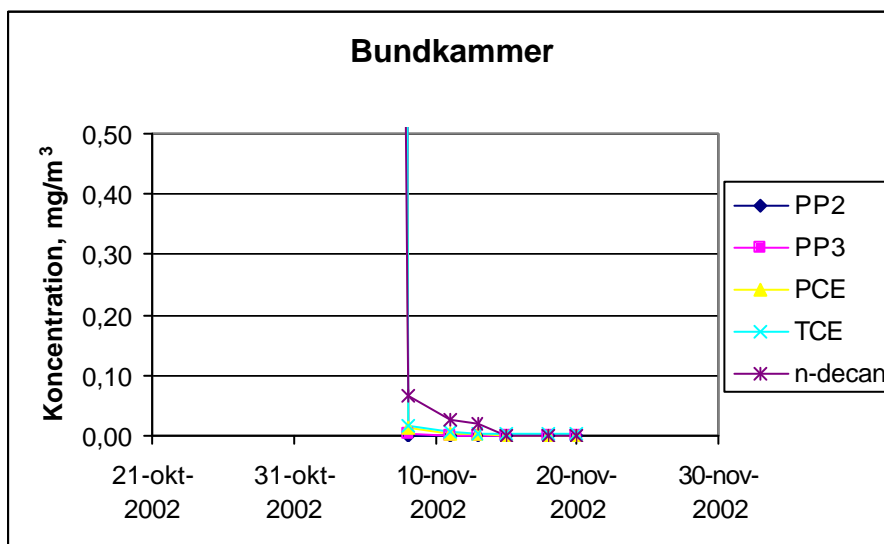


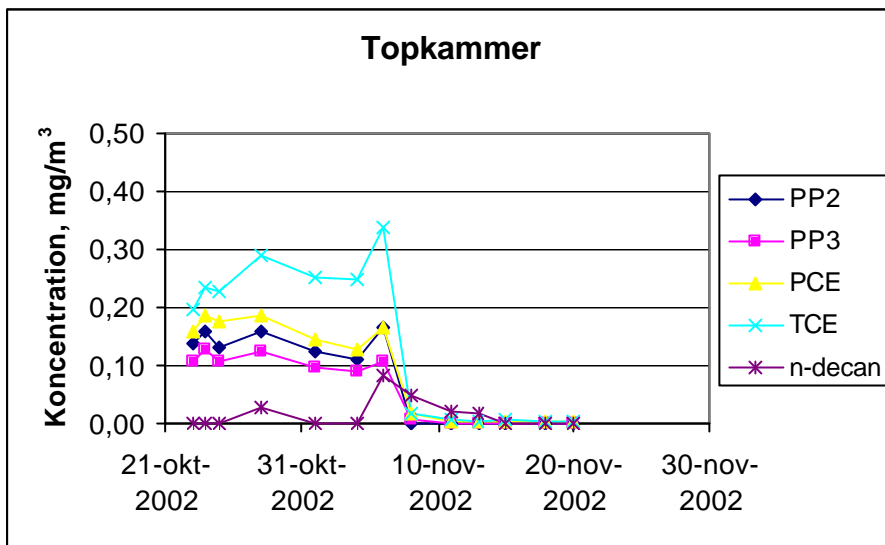
Nedenfor følger resultatet af de gennemførte difussionsforsøg for PP2, PP3, tetrachlorethylen, trichlorethylen samt decan.

Resultaterne er angivet for bundkammer (doseringskammeret), samme med forstørret lodret akse



samt for topkammeret.





Resultater Feltforsøg med sporgasser

Af dette bilag fremgår beregningerne af resultaterne opnået ved sporgasforsøgene i de to forsøgsrunder.

Forsøgsrunde 1

Loft											
Lejlighed	0,4	0,4		0,4	0,4		2,1	1,7			
	88	XX 87		95	XX 98		140	XX 110			
Kilde: PP3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
	93	XX 99	110	91	XX 99	92	100	XX 110	110		
Etageadskillelse											
Renseri	23	20		82	74		10	11		9,3	9,3
		XX			XX			XX			XX
Kilde: PP2	12	14	13	17	18	12	17	14	12	15	8,9
		XX 0			XX 13			XX 14			XX 15
		0			X			X			X
Gulv											

SYMBOLFORKLARING			
PP2, µg/m ³	1,2	2,2	2,3
X: 14 dage		XX	O: 7 dage
PP3, µg/m ³	150	170	200

	Enhed	7 DAGE	14 DAGE
Gulvareal, lejlighed	A	m ²	62
Loftshøjde, lejlighed	h	m	2,7
Volumen, lejlighed	V	m ³	167
Kildestyrke, PP3	M2	µg/time	9800
PP2 i lejlighed	C12	µg/m ³	0,4
PP2 i renseri	C11	µg/m ³	12,325
PP3 i lejlighed	C22	µg/m ³	103
PP3 i renseri	C21	µg/m ³	0
Flux	(M2*C12)/((C11*C22)-(C12*C21))/A	m ³ /time/m ²	0,050
Luftskifte	M2/(V*C22)	/time	0,57

RUMMELIG VARIATION

PP3				Middel	Stdev	RSD, %
Lejlighed	88	97	125	103	19,6	19,0
	101	94	107	100	6,3	6,3
Middel	94	95	116	102		
Stdev	9,3	1,8	13,0		13,1	
RSD, %	9,9	1,9	11,2			12,9

PP2				Middel	Stdev	RSD, %
Lejlighed	0	0	2	1	0,9	96,2
	0	0	0	0	0,0	0,0
Middel	0	0	1	1		
Stdev	0,0	0,0	1,1		0,6	
RSD, %	0,0	0,0	92,2			94,2

PP2				Middel	Stdev	RSD, %
Renseri	22	78	11	30	32,6	109,2
	13	16	14	13	2,3	17,6
	16	13	14	15	1,3	8,9
Middel	17	36	13	19		
Stdev	4,3	36,8	2,1		18,8	
RSD, %	25,6	103,4	16,4			97,8

Lokalitet A

Lokalitet B

Loft													
Lejlighed Kilde: PP3	3,7	4,2			4,1	2,9			2,9	6,6			
	310	XX 260			310	XX 290			220	XX 460			
Etageadskillelse	3,2	5,1	5		3,7	4,1	4,3		3,9	5,5	4,2		
	230	XXO 230	230		240	XXO 210	210		280	XXO 270	220		
Renseri													
Kilde: PP2	29	35		34	32			52	46		58	43	
		XX			XX				XX			XX	
	28	24	25	33	30	24		52	35	32	47	38	33
		XXO			XXO				XXO			XXO	
		0			17				33			24	
		18			X				X			X	
		X											
		0											
Gulv													

SYMBOLFORKLARING			
PP2, µg/m ³ :	1,2	2,2	2,3
X: 14 dage		XXO	O: 7 dage
PP3, µg/m ³ :	150	170	200

	Enhed	7 DAGE	14 DAGE
Gulvareal, lejlighed	A	m ²	28
Loftshøjde, lejlighed	h	m	2,8
Volumen, lejlighed	V	m ³	78,4
Kildestyrke, PP3	M2	µg/time	7200
PP2 i lejlighed	C12	µg/m ³	4,7
PP2 i renseri	C11	µg/m ³	30,125
PP3 i lejlighed	C22	µg/m ³	228
PP3 i renseri	C21	µg/m ³	0
Flux	(M2*C12)/((C11*C22)-(C12*C21))/A	m ³ /time/m ²	0,176
Luftskifte	M2/(V*C22)	/time	0,40

RUMMELIG VARIATION

PP3				Middel	Stdev	RSD, %
Lejlighed	285	300	340	308	28,4	9,2
	230	220	257	236	19,0	8,0
Middel	258	260	298			
Stdev	38,9	56,6	58,9		45,3	
RSD, %	15,1	21,8	19,8			16,7
PP2				Middel	Stdev	RSD, %
Lejlighed	4	4	5	4	0,6	15,6
	4	4	5	4	0,4	9,6
Middel	4	4	5			
Stdev	0,1	0,3	0,0		0,5	
RSD, %	3,5	7,6	0,7			11,7
PP2				Middel	Stdev	RSD, %
Renseri	32	33	49	41	10,0	24,3
	26	29	40	33	7,2	21,4
	18	17	33	23	7,3	31,9
	24			23		
Middel	25	26	41	33		
Stdev	7,0	8,3	8,0	13,3	10,8	
RSD, %	27,8	31,6	19,8	35,1		33,1

Lokalitet C

Loft													
Lejlighed Kilde: PP3		1,7	2,3				1,6	1,7			1,2	1,4	
		190	XX 240				210	XX 190			150	XX 170	
		1,2	2,2	2,3			1,4	2,2	2,1		1,5	2,1	2,8
		150	XXO 170	200			150	XXO 160	150		176	XXO 140	183
Etageskillelse													
Renseri Kilde: PP2	12	16			12	12			16	14		14	15
		XX				XX				XX			XX
	15	15	15		16	17	16		18	9,4	7,5	12	11
		XXO 0				XXO				XXO			XXO
		13			14				12			15	
		X			X				X			X	
		0											
Gulv													

SYMBOLFORKLARING			
PP2, µg/m ³ :	1,2	2,2	2,3
X: 14 dage		XXO	O: 7 dage
PP3, µg/m ³ :	150	170	200

	Enhed	7 DAGE	14 DAGE
Gulvareal, lejlighed	A	m ²	90
Loftshøjde, lejlighed	h	m	3
Volumen, lejlighed	V	m ³	270
Kildestyrke, PP3	M2	µg/time	9300
PP2 i lejlighed	C12	µg/m ³	2,3
PP2 i renseri	C11	µg/m ³	12,9875
PP3 i lejlighed	C22	µg/m ³	167
PP3 i renseri	C21	µg/m ³	0
Flux	(M2*C12)/((C11*C22)-(C12*C21))/A	m ³ /time/m ²	0,109
Luftskifte	M2/(V*C22)	/time	0,21

RUMMELIG VARIATION

PP3				Middel	Stdev	RSD, %
Lejlighed	215	200	160	192	28,4	14,8
	173	153	166	164	10,1	6,2
Middel	194	177	163			
Stdev	29,5	33,0	4,5	24,3		
RSD, %	15,2	18,7	2,7			13,6

PP2				Middel	Stdev	RSD, %
Lejlighed	2,0	1,7	1,3	1,7	0,4	21,2
	1,7	1,8	1,8	1,8	0,1	3,3
Middel	1,9	1,7	1,6			
Stdev	0,2	0,1	0,4	0,2		
RSD, %	11,5	6,1	22,8			13,7

PP2				Middel	Stdev	RSD, %
Renseri	14	12	15	14	1,3	9,5
	15	16	12	14	2,3	16,7
	13	14	12	14	1,3	9,6
Middel	14	14	13	14		
Stdev	1,0	2,2	1,8	1,6		
RSD, %	7,1	15,4	14,3	11,6	1,5	11,3

Forsøgsrunde 2

Lokalitet A

Loft											
			4,2 X			3,9 X			3,8 X		
Lejlighed			100			96			94		
Kilde: PP3		4,2	5,6 X O		3,7	5,6 X O		4,2	5,6 X O		
		110	110		91	110		100	110		
Etageadskillelse											
		25 X			73 X			15 X		16 X	
Renseri	21	18 X O		41	38 X O		16	16 X O		27	37 X O
Kilde: PP2		0			14 X			14 X		18 X	
		15 X									
		0									
Gulv											

SYMBOLFORKLARING				
PP2, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1,2	2,2	2,3	
X: 14 dage		X O O		O: 7 dage
PP3, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	150	170	200	

		Enhed	7 DAGE	14 DAGE
Gulvareal, lejlighed	A	m ²	62	62
Loftshøjde, lejlighed	h	m	2,7	2,7
Volumen, lejlighed	V	m ³	167	167
Kildestyrke, PP3	M2	$\mu\text{g}/\text{time}$	9700	9700
PP2 i lejlighed	C12	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	5,6	4,0
PP2 i renseri	C11	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	27,25	25
PP3 i lejlighed	C22	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	110	99
PP3 i renseri	C21	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0	0
Flux	$(M2 \cdot C12) / ((C11 \cdot C22) - (C12 \cdot C21)) / A$	$\text{m}^3/\text{time}/\text{m}^2$	0,292	0,258
Luftskifte	$M2 / (V \cdot C22)$	$1/\text{time}$	0,53	0,59

RUMMELIG VARIATION

PP3				Middel	Stdev	RSD, %
Lejlighed	100	96	94	97	3,1	3,2
	110	101	105	105	4,8	4,5
Middel	105	98	100	101		
Stdev	7,1	3,2	7,8		5,9	
RSD, %	6,7	3,2	7,8			5,8

PP2				Middel	Stdev	RSD, %
Lejlighed	4	4	4	4	0,2	5,2
	5	5	5	5	0,1	3,0
Middel	5	4	4	4		
Stdev	0,5	0,5	0,8		0,5	
RSD, %	10,9	12,4	17,9			11,2

PP2				Middel	Stdev	RSD, %
Renseri	25	73	15	16	32	27,5
	20	40	16	32	27	10,9
	15	14	14	18	15	1,9
Middel	20	42	15	22	25	
Stdev	5,0	29,6	1,0	8,7		17,2
RSD, %	25,3	70,2	6,7	39,6		69,4

Lokalitet C

Loft										
			4,8 X 190			4,5 X 180			4,5 X 180	
Lejlighed Kilde: PP3		4,6	6 X O 200		3,4	4,5 X O 170		4,4	5,3 X O 180	
Etageadskillelse										
			13 X			14 X			14 X	
Renseri Kilde: PP2	14	14 X O 0		15	15 X O		11	9 X O		13
		13 X 0			14 X			10 X		13 X
Gulv										

SYMBOLFORKLARING				
PP2, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1,2	2,2	2,3	
X: 14 dage		X O O		O: 7 dage
PP3, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	150	170	200	

		Enhed	7 DAGE	14 DAGE
Gulvareal, lejlighed	A	m ²	90	90
Loftshøjde, lejlighed	h	m	3	3
Volumen, lejlighed	V	m ³	270	270
Kildestyrke, PP3	M2	$\mu\text{g}/\text{time}$	9100	9100
PP2 i lejlighed	C12	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	5,3	4,4
PP2 i renseri	C11	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	13	13
PP3 i lejlighed	C22	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	183	173
PP3 i renseri	C21	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0	0
Flux	$(M2 \cdot C12) / ((C11 \cdot C22) - (C12 \cdot C21)) / A$	$\text{m}^3 / \text{time} / \text{m}^2$	0,223	0,192
Luftskifte	$M2 / (V \cdot C22)$	/time	0,18	0,19

RUMMELIG VARIATION

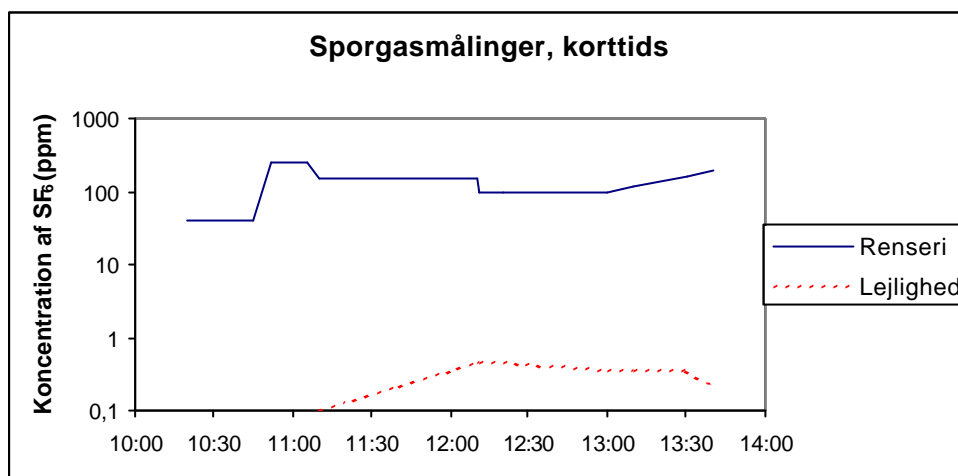
	PP3			Middel	Stdev	RSD, %
Lejlighed	190	180	180	183	5,8	3,1
	195	155	170	173	20,2	11,7
Middel	193	168	175			
Stdev	3,5	17,7	7,1		14,4	
RSD, %	1,8	10,6	4,0			8,1

	PP2			Middel	Stdev	RSD, %
Lejlighed	5	5	5	5	0,2	3,8
	5	4	5	5	0,7	14,6
Middel	5	4	5			
Stdev	0,4	0,4	0,2		0,5	
RSD, %	7,0	9,2	5,3			9,7

	PP2				Middel	Stdev	RSD, %
Renseri	13	14	14	15	14	0,8	5,8
	14	15	10	14	13	2,2	16,6
	13	14	10	13	13	1,7	13,9
Middel	13	14	11	14			
Stdev	0,6	0,6	2,3	1,0		1,6	
RSD, %	4,3	4,0	20,4	7,5			12,4

Resultater- korttidssporgasmålinger på lokalitet B

Af dette bilag fremgår resultaterne af de korttidssporgasmålinger, der er blevet foretaget i renseri og lejlighed på lokalitet B den 7. januar 2003.



Bestemmelse af luftskifte i lejlighed:

C_{baggrund}	220 ppb
C_1	3600 ppb
C_2	3100 ppb
t_1	14:30
t_2	15:00

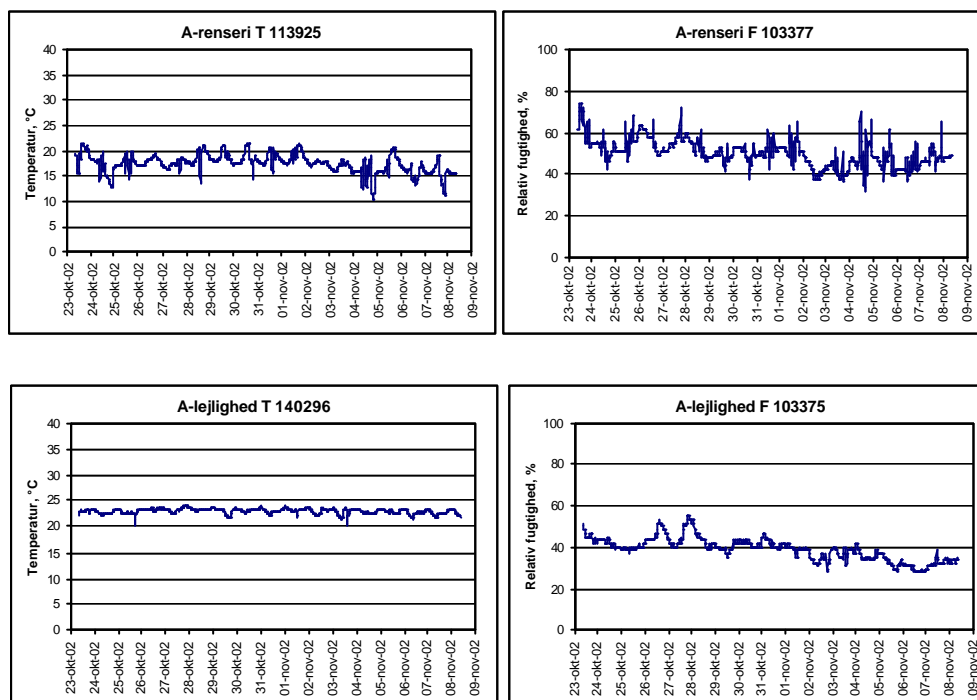
$$n = \frac{\ln\left(\frac{C_1 - C_{\text{baggrund}}}{C_2 - C_{\text{baggrund}}}\right)}{t_2 - t_1} = \frac{\ln\left(\frac{3600 - 220}{3100 - 220}\right)}{15:00 - 14:30} = 0,3 \text{ pr. time}$$

Temperatur og luftfugtighed under feltforsøg

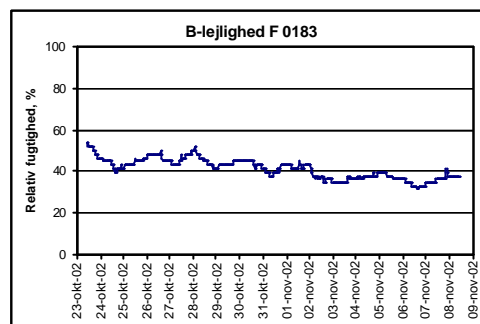
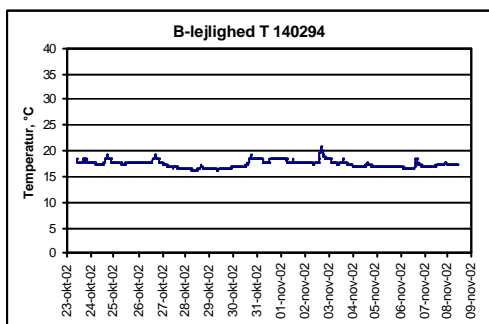
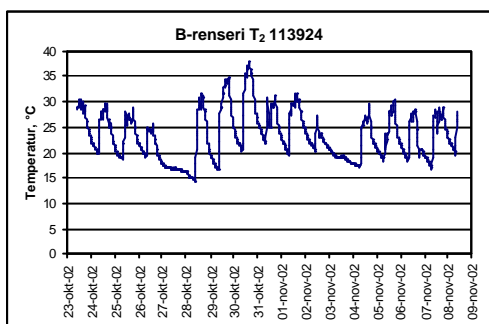
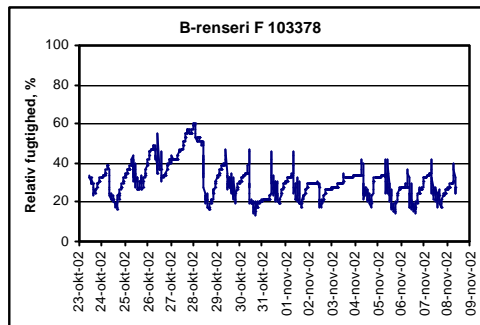
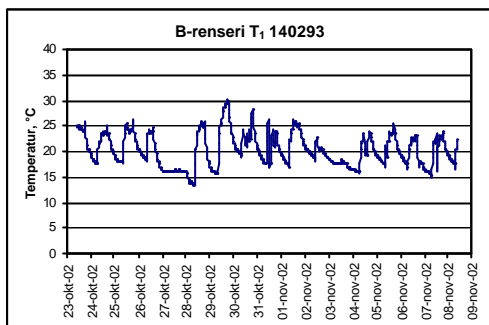
Af dette bilag fremgår de registrerede temperatur og fugtighedsforløb i renseriene og lejlighederne gennem de to forsøgsrunder.

Forsøgsrunde 1

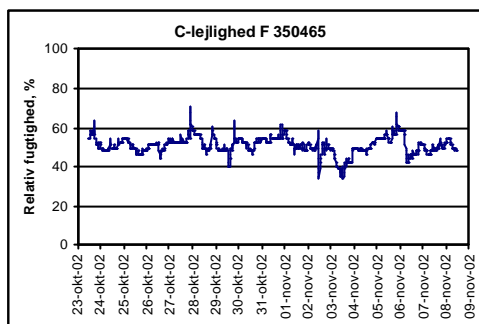
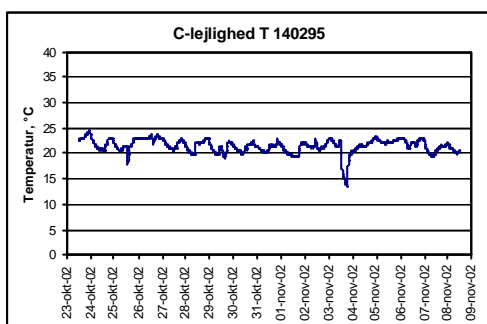
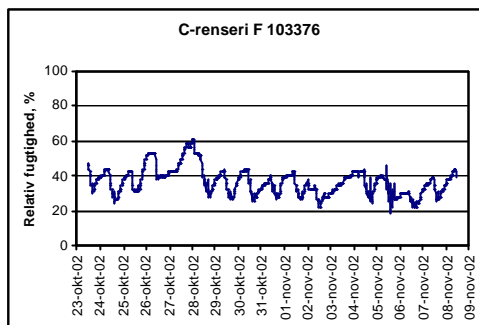
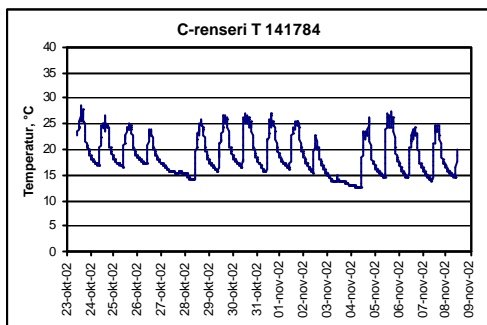
Lokalitet A



Lokalitet B

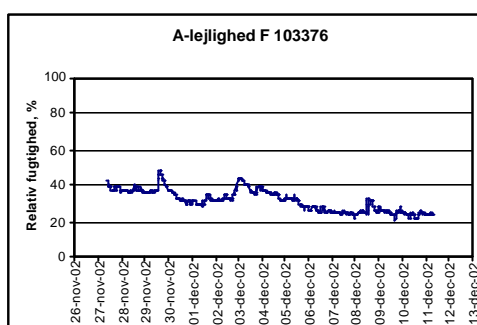
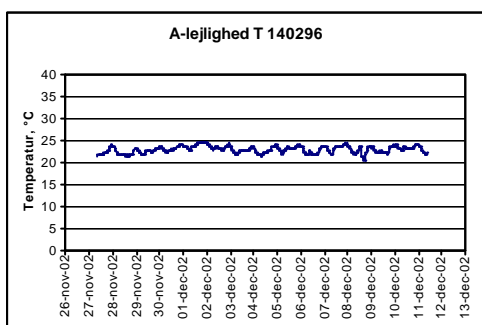
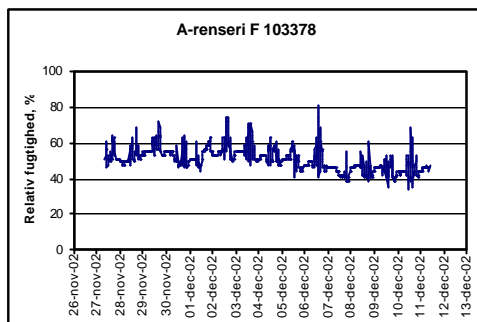
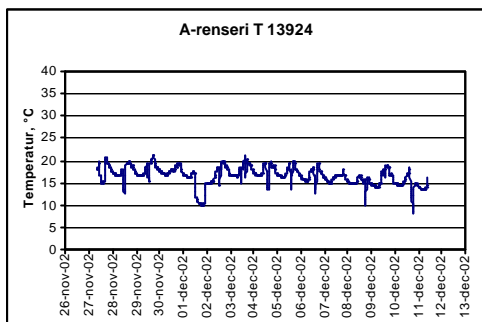


Lokalitet C

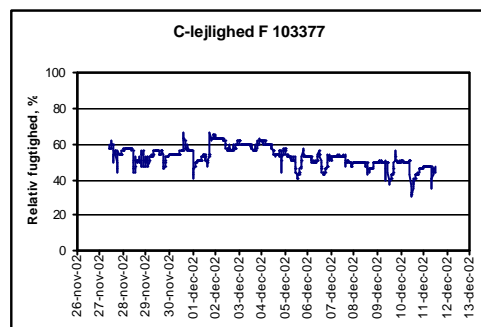
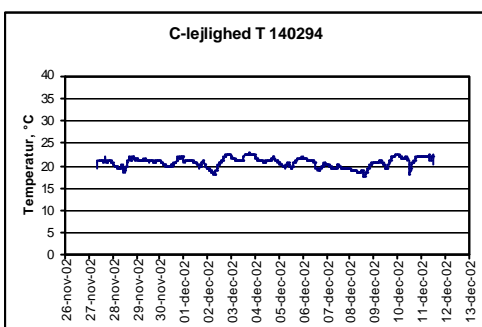
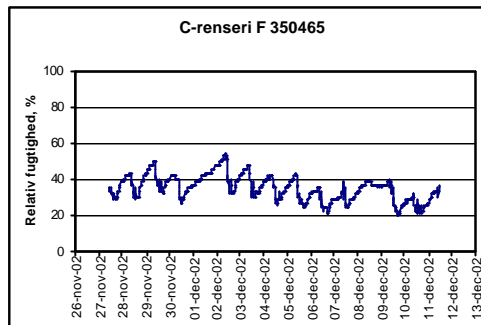
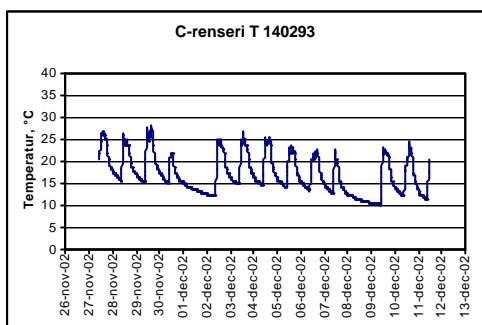


Forsøgsrunde 2

Lokalitet A



Lokalitet C



Metodebeskrivelse

Titel

Diffusiv sporgasmetode til måling af transport af forureninger mellem renseri og tilstødende lejligheder

Anvendelsesområde

Metoden anvendes til beregning af transporten af renevæsker mellem et renseri og en tilstødende lejlighed.

Metoden kan også anvendes til langtidsmåling af det gennemsnitlige luftskifte i et eller flere lokaler.

Måleområde

Metodens performance er undersøgt for måleperioder op til 14 dage. Ved hjælp af metoden beregnes en flux (m^3/t) fra renseri til lejlighed.

Metodens nedre detektionsgrænse vil afhænge af måleperiodens længde og kildestyrken af de anvendte sporgaskilder. Med en måleperiode på 14 dage og en kildestyrke på 10 mg/time muliggør metoden påvisning af flux ned til $0,05 \text{ m}^3/\text{t}/\text{m}^2$ eller lavere.

Øvre måleområde afgøres af de anvendte samplers kapacitet og koncentrationen af sporgas på målestedet. Forud for måling skal der foretages en vurdering af risiko for overbelastning af samplere på baggrund af kendskab til kildestyrke, rumstørrelser og forventede luftskifte på målestedet.

Princip

Metoden er baseret på kontinuert dosering af kendte sporgasser og samtidig måling for samme sporgasser i renseri og lejlighed. Langtidsmåling muliggøres ved anvendelse af diffusiv prøvetagningsmetodik.

Ud fra kendskab til kildestyrke og målte koncentrationer i renseri og lejlighed beregnes transporten (flux'en) af sporgasser mellem renseri og lejlighed. På baggrund målte koncentrationer af sporgasserne i renseri og lejlighed kan renseriets bidrag af renevæskedampe til lejligheden beregnes ud fra renseriets gennemsnitlige rumkoncentration af renevæskedampe.

Litteraturreferencer

Bergsøe, Niels C., "Diffusiv sporgasmetode til ventilationssundersøgelser, Beskrivelse og analyse af PFT-metoden", SBI-Rapport 227, Statens Byggeforskningsinstitut, 1992.

Miljøstyrelsen, 2002a: Udvikling af sporgasmetode til brug for måling af transport af forurening mellem renserier og tilstødende lejligheder. Miljøprojekt nr. 698, 2002

Miljøstyrelsen (2003): Feltafprøvning af sporgasmetode til brug for måling af transport af forureninger mellem renserier og tilstødende lejligheder (in press).

Emballage, transport og lagring

De anvendte sporgasser og samplere skal på ethvert trin i forløbet opbevares og transporteres så kontaminering undgås. I praksis kan det f.eks. ske ved at opbevare og transportere materialerne tæt tillukket i tætsluttende emballager som er adskilt.

På analyselaboratoriet må samplere (eksponerede og ueksponerede) ikke opbevares sammen med sporgasserne.

Opsamlingsmedier og kemikalier

Som sporgasser anvendes følgende perflourcarboner:

- Perfluoromethylcyclohexan (CAS nr. 355-02-2)
- Perfluoro-1,3-dimethylcyclohexan (CAS nr. 335-27-3)

Perfluoromethylcyclohexan benævnes PP2, mens perfluoro-1,3-dimethylcyclohexan benævnes PP3.

Dosering sker fra diffusionsrør. Forud for måling bestemmes kildestyrken af kombinationen sporgas/diffusionsrør.

Som sampler anvendes diffusiv kulbaseret dosimeter af typen Radiello.

Fremgangsmåde

1. Dag 1 opsættes sporgaskilder i renseri og lejlighed.

I renseriet opsættes 3 sporgaskilder med PP2 jævnt fordelt i renseriet i en højde på ca. 1,7 m over gulv.

I lejligheden opsættes kilder og samplere i 2 rum. I hvert rum placeres 3 kilder med PP3 jævnt fordelt i en højde på 1,7 meter over gulv.

2. Dag 3 opsættes samplerne. I renseriet placeres i alt 4 samplere jævnt fordelt i en højde på 1,7 meter over gulv, mens lejligheden forsynes med 3 samplere i samme højde i hvert rum.

Det er vigtigt, at samplerne placeres et stykke fra sporgaskilderne og således at luftstrømme på målestedet ikke påvirker målingen. Det sidste kan undersøges v.h.a. røg.

3. Efter 14 dages indsamles sporgaskilder og samplere. Samplerne analyseres efterfølgende på et kvalificeret analyselaboratorium for PP2 og PP3 ved gaskromatografi med masse selektiv detektion i henhold til analysemetoden beskrevet i *Udvikling af sporgasmetode til brug for måling af transport af forurening mellem renserier og tilstødende lejligheder. Miljøprojekt nr. 698, 2002*
4. Til beregning af rumkoncentrationer anvendes følgende up-take rates for PP2 og PP3 på Radiello sampler:

PP2: 38 ml/min
PP3: 34 ml/min

5. De fundne koncentrationer af sporgasserne i hhv. lejlighed og renseri anvendes til beregning af transporten af sporgasser mellem renseri og lejlighed ud fra nedenstående udtryk. Til beregning anvendes gennemsnittet af de fundne rumkoncentrationer i hhv. renseri og lejlighed.

$$q_{1-2} = \frac{m_2 \cdot c_{12}}{(c_{11} \cdot c_{22}) - (c_{12} \cdot c_{21})}$$

hvor

- q_{1-2} : luftoverføring fra renseri til lejlighed (m^3/t)
 c_{11} : koncentration af PP2 i renseri (mg/m^3)
 c_{12} : koncentration af PP2 i lejlighed (mg/m^3)
 c_{21} : koncentration af PP3 i renseri (mg/m^3)
 c_{22} : koncentration af PP3 i lejlighed (mg/m^3)
 m_2 : tilført sporgasmængde i lejlighed (mg/t)

På baggrund af kendskab til flux'ens størrelse, den gennemsnitlige koncentration af renseskedampe i renseriet samt oplysninger om lejligheden (grundplan og luftskifte) kan renseriets bidrag til koncentrationen af renseskedampe i lejligheden ($C_{lejlighed}$) beregnes ud fra følgende udtryk:

$$C_{lejlighed} = \frac{q_{1-2} \cdot C_{renseri} \cdot A}{n \cdot V}$$

Lejlighedens luftskifte kan beregnes ud fra følgende udtryk:

$$n = \frac{m_2}{V \cdot c_{22}}$$

hvor

- n : luftskiftet i lejlighed (t^{-1})
 m_2 : tilført sporgasmængde i lejlighed (mg/t)
 V_1 : rumvolumen lejlighed (m^3)
 c_{22} : koncentration af PP3 i lejlighed (mg/m^3)

Usikkerhed

Analyse af dobbeltbestemmelser har givet en relativ standardafvigelse på 8% for repeterbarheden på bestemmelse af koncentrationen af sporgas (c..).

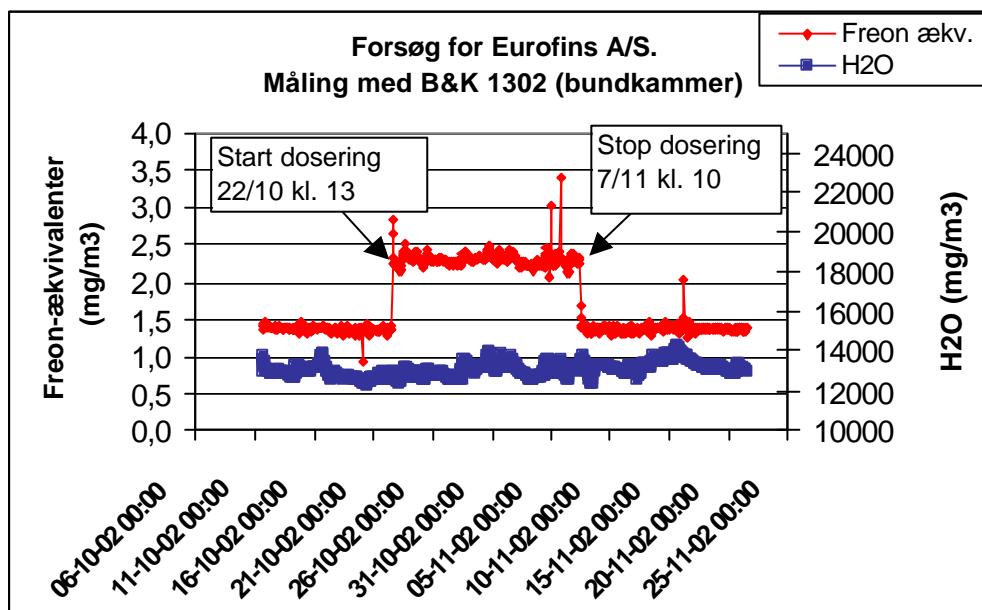
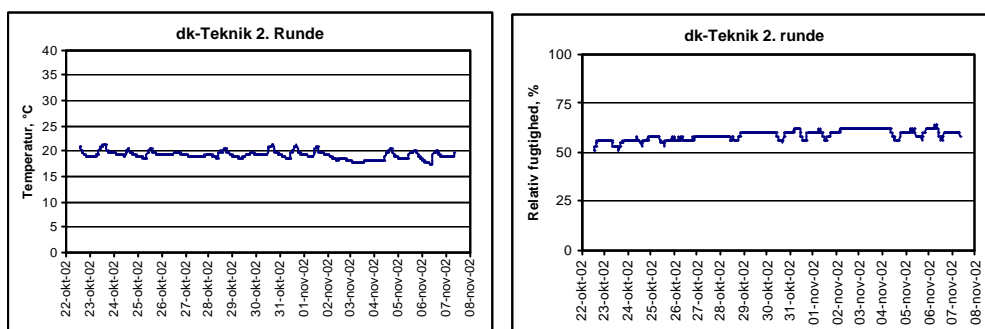
Metodens præcision angivet som spredningen på eksperimentelt bestemte up-take rates for Radiello samplern har vist en relativ standardafvigelse på 9 og 13 % for hhv. PP2 og PP3.

Den samlede usikkerhed på bestemmelse af luftoverføring fra renseri til lejlighed (q_{1-2}) estimeres til 18%

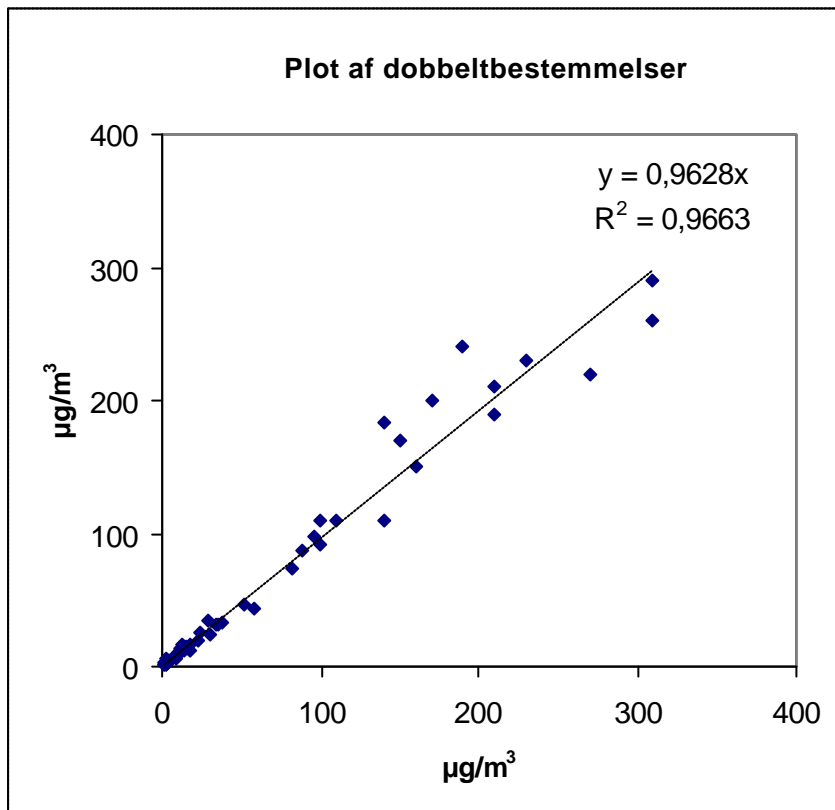
Klimatiske forhold, laboratorieforsøg

Af dette bilag fremgår de registrerede temperatur- og fugtighedsforløb i forbindelse med laboratorieforsøgene gennemført på dk-Teknik. Temperatur- og fugtighedsloggerne var placeret i diffusionskammeret for de genererede gasser.

Endvidere er der foretaget dosering af reon i forbindelse med doseringen. Koncentrationen af reon er målt med B&K 1302 én gang i timen under forsøgene, som en orienterende overvågning af stabiliteten af doseringen.



Dobbeltbestemmelser



Resultater af dobbeltbestemmelserne

	PP2								PP3			
	lejlighed				renseri				lejlighed			
	7 dage		14 dage		7 dage		14 dage		7 dage		14 dage	
1. Runde A					14,00	13,00	23,00	20,00	99,00	110,00	88,00	87,00
					18,00	12,00	82,00	74,00	99,00	92,00	95,00	98,00
			2,10	1,70	14,00	12,00	10,00	11,00	110,00	110,00	140,00	110,00
					8,90	6,70	9,30	9,30				
1. Runde B	5,10	5,00	3,70	4,20	24,00	25,00	29,00	35,00	230,00	230,00	310,00	260,00
	4,10	4,30	4,10	2,90	30,00	24,00	34,00	32,00	210,00	210,00	310,00	290,00
	5,50	4,20	2,90	6,60	35,00	32,00	52,00	46,00	270,00	220,00	220,00	460,00
					38,00	33,00	58,00	43,00				
1. Runde C	2,20	2,30	1,70	2,30	15,00	15,00	12,00	16,00	170,00	200,00	190,00	240,00
	2,20	2,10	1,60	1,70	17,00	16,00	12,00	12,00	160,00	150,00	210,00	190,00
	2,10	2,80	1,20	1,40	9,40	7,50	16,00	14,00	140,00	183,00	150,00	170,00
					11,00	13,00	14,00	15,00				

Normaliseret variation på dobbeltbestemmelserne i forhold til middelværdierne

	PP2								PP3			
	lejlighed				renseri				lejlighed			
	7 dage		14 dage		7 dage		14 dage		7 dage		14 dage	
1. Runde A												
					0,04		0,07		0,05		0,01	
					0,20		0,05		0,04		0,02	
			0,11		0,08		0,05		0,00		0,12	
1. Runde B					0,14		0,00					
	0,01		0,06		0,02		0,09		0,00		0,09	
	0,02		0,17		0,11		0,03		0,00		0,03	
	0,13		0,39		0,04		0,06		0,10		0,35	
1. Runde C					0,07		0,15					
	0,02		0,15		0,00		0,14		0,08		0,12	
	0,02		0,03		0,03		0,00		0,03		0,05	
	0,14		0,08		0,11		0,07		0,13		0,06	
				0,08		0,03						

spredning	0.062	0.120	0.057	0.048	0.048	0.105	0.077
-----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Beregning af usikkerhed for luftoverføring (flux)

Luftoverføringen fra renseri til lejlighed beregnes af udtrykket:

$$(1) \quad q_{1-2} = \frac{m_2 \cdot c_{12}}{(c_{11} \cdot c_{22}) - (c_{12} \cdot c_{21})}$$

Metoden er baseret på bestemmelse af en luftkoncentration på baggrund af analyse af passive samplere. Koncentrationen fremkommer som mængde analyt påvist ved analysen divideret med den opsamlede luftmængde:

$$(2) \quad c = A/V$$

c: koncentration

A: mængde analyt

v: opsamlet luftmængde

Den opsamlede luftmængde bestemmes som produktet af måleperiode og en eksperimentelt bestemt uptake rate

$$(3) \quad v = t \cdot U$$

t: måleperiode

U: Uptake-rate

Usikkerheden på bestemmelsen af mængden af analyt i forbindelse med feltmålinger udgøres af en sum af en lang række bidrag knyttet til såvel prøvetagning som analyse. De gennemførte forsøg (dobbelbestemmelser) har påvist en repeterbarhed svarende til RSD = 8% for prøvetagning og analyse for PP2 og PP3. Denne størrelse anvendes fremover som mål for usikkerheden på koncentrationsbestemmelsen (u_c)

Usikkerheden på tidsbestemmelsen vurderes at være ubetydelig, da der er tale om måling i minutter i forhold til en samlet måleperiode på 14 dage.

Uptake-rate er en konstant som anvendes ved alle udregninger og bidrager således ikke til usikkerheden på koncentrationen.

Kildestyrken m i ligning (1) bestemmes ved differensvejning af sporgaskilde før og efter måling divideret med tiden.

$$(5) \quad m = (m_{\text{før}} - m_{\text{efter}})/\text{tid}$$

Usikkerheden for vejning angives som $\pm 2\%$ af producenten. Standardusikkerheden for massebestemmelse beregnes som $2\%/\sqrt{3} = 1,2\%$

Typiske vægttab i forbindelse med doseringen af sporgasserne har været $m_{\text{før}} = 16$ gram, $m_{\text{efter}} = 14,5$ gram. Med en standardusikkerhed på 1,2% kan der beregnes en samlet usikkerhed på differensen (mængden af doseret sporgas) på 17%.

Det antages som tidligere, at der kan ses bort fra usikkerhed på periodens længde.

Usikkerheden for bestemmelse af luftoverføringen bestemmes ud fra følgende:

$$(6) \quad u_{q1-2}^2 = u_m^2 + u_{c21}^2 + u_{c11}^2 + u_{c22}^2 + u_{c21}^2 + u_{c12}^2$$

eller $u_{q1-2} = 25 \%$

Klimatiske data målt ved Københavns Lufthavn i Kastrup i de to forsøgsrunder med sporgas i rensierier.

Kilde: Danmarks Meteorologisk Institut.

1. Runde			
	Temp, °C	Vindretning	Styrke
23-10-2002	9,8	S	JÆVN
24-10-2002	6,6	V	JÆVN
25-10-2002	8,5	S	FRISK
26-10-2002	8,8	V	FRISK
27-10-2002	7,8	SV	FRISK
28-10-2002	7,5	NV	HÅRD
29-10-2002	6,4	V	JÆVN
30-10-2002	9,7	V	LET
31-10-2002	3,7	V	LET
01-11-2002	5,9	V	LET
02-11-2002	2,4	Ø	JÆVN
03-11-2002	3,6	Ø	JÆVN
04-11-2002	4,9	Ø	LET
05-11-2002	3,2	V	LET
06-11-2002	1,7	S	FRISK
07-11-2002	6,6	S	JÆVN
08-11-2002	4,9	V	LET
09-11-2002	5	NØ	FRISK

2. Runde			
	Temp, °C	Vindretning	Styrke
25-11-2002	6,6	Ø	LET
26-11-2002	6,1	SV	JÆVN
27-11-2002	4,6	V	LET
28-11-2002	5,3	SØ	JÆVN
29-11-2002	5,4	Ø	FRISK
30-11-2002	3,1	NØ	JÆVN
01-12-2002	1,8	Ø	JÆVN
02-12-2002	5,1	SØ	JÆVN
03-12-2002	4,7	Ø	FRISK
04-12-2002	2,5	Ø	JÆVN
05-12-2002	1,5	Ø	FRISK
06-12-2002	0,8	NØ	FRISK
07-12-2002	1,1	Ø	HÅRD
08-12-2002	0,7	Ø	FRISK
09-12-2002	-0,3	Ø	JÆVN
10-12-2002	-1,1	Ø	LET
11-12-2002	-1,8	NØ	LET
12-12-2002	-2,3	NØ	LET