

Laboratorieundersøgelser af luftrenseres effekt over for tetrachlorethylen

Niels C. Bergsøe
Statens Byggeforskningsinstitut

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

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

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

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	11
1 BAGGRUND OG FORMÅL	15
2 METODER OG Udstyr	17
2.1 LUFTRENSEREN	17
2.2 FØRSØGSRUMMET	19
2.3 TETRACHLORETHYLENKILDE	20
2.4 PROCEDURER OG MÅLEUDSTYR	20
3 RESULTATER	23
3.1 LUFTSKIFTET I FØRSØGSRUMMET	23
3.2 VENTILATORENS EFFEKTFORBRUG	24
3.3 VOLUMENSTRØM GENNEM LUFTRENSERENS VENTILATOR	24
3.4 UNDERSØGELSER VED HØJE KONCENTRATIONSNIVEAUER	24
3.5 UNDERSØGELSER VED LAVE KONCENTRATIONSNIVEAUER	26
3.6 EKSTRAORDINÆR BELASTNING AF KULFILTRET	28
3.7 FØRURENINGSAFGIVELSE FRA STÆRKT FØRURENET KULFILTER	30
4 DISKUSSION	31
4.1 VENTILATION OG LUFTSKIFTE	31
4.2 LUFTRENSERENS INDVIRKNING PÅ VENTILATIONEN	31
4.3 LUFTRENSERENS INDVIRKNING PÅ KONCENTRATIONEN	32
4.4 UNDERSØGELSESRESULTATER	33
4.5 LUFTRENSERENS EFFEKT	34
4.6 ADSORPTIONSKAPACITET	35
BILAG A Feltmålinger i 6 boliger	37

Forord

Dette Miljøprojekt vedrører en undersøgelse af luftrenseres effektivitet over for tetrachlorethylen i rumluften. Projektet er udarbejdet for Storstrøms Amt med tilskud fra Miljøstyrelsens Teknologiprogram for jord- og grundvandsforurening. Projektets j. nr. er 3252-0156.

Projektet er udført af Statens Byggeforskningsinstitut, og undersøgelserne er gennemført i instituttets luftkvalitetslaboratorium. Seniorforsker Niels C. Bergsøe har fungeret som projektleder, mens Ingeniørassistent Gunnar Holm har stået for gennemførelsen af undersøgelserne i laboratoriet.

Der rettes en tak til Cand.scient. Jon Rose, Teknologisk Institut, Kemiteknik, som har været ansvarlig for levering og opstilling af mobilt udstyr til membran inlet massespektrometri, MIMS.

I tilknytning til projektets gennemførelse har der været nedsat en styregruppe bestående af:

Per Vagn Hansen, Embedslæge
Irene Edelgaard, Miljøstyrelsen
Hans Skou, Fyns Amt
Jesper Steen Christensen, NIRAS
Brian Tang Vestergaard, Storstrøms Amt

Sammenfatning og konklusioner

Resumé

Projektet har haft til formål at undersøge, hvilken effekt en luftrensner har over for tetrachlorethylen i rumluften. Der er gennemført undersøgelser af en luftrensner, som i hovedtræk består af et støvfilter, en ventilator og et aktiv kulfilter monteret i et lydisoleret kabinet. Luftrenserens funktion bygger på, at ventilatoren kontinuert recirkulerer rumluft gennem kulfiltret, som adsorberer tetrachlorethylen, hvorved koncentrationen af tetrachlorethylen i rumluften reduceres. Luftrenseren er tænkt anvendt som en midlertidig, akut afværgeforanstaltning i beboelsesrum i bygninger, navnlig boliger, hvor der er konstateret en uacceptabel påvirkning af indeklimaet fra en nærliggende jord- og grundvandsforurening.

Undersøgelserne er gennemført som laboratorieundersøgelser i et 32 m³ forsøgsrum i luftkvalitetslaboratoriet ved Statens Byggeforskningsinstitut.

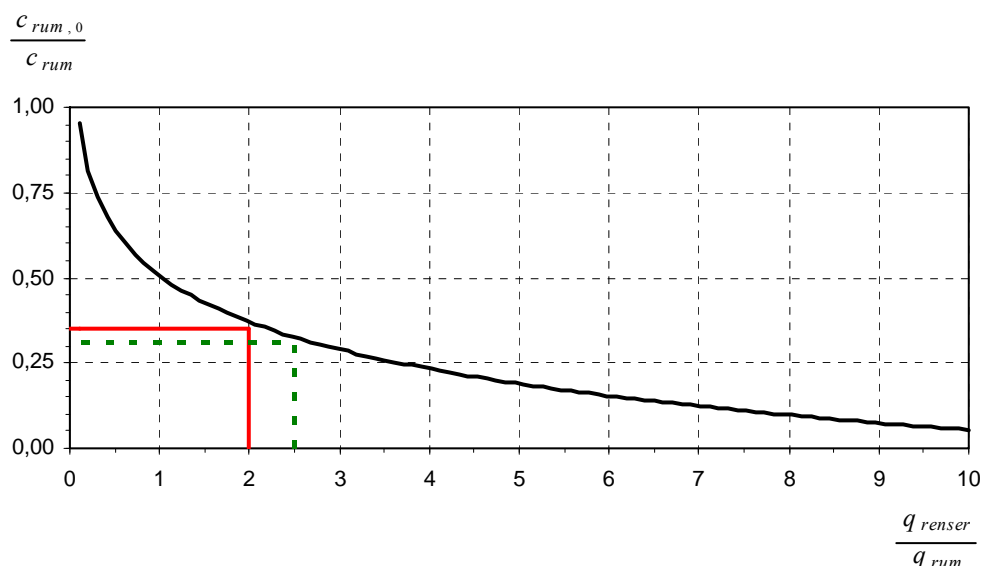
Den undersøgte luftrensner, som er udviklet af NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S i samarbejde med Østergaard Filter ApS og Fyns Amt, er en videreudvikling af to tidligere modeller, henholdsvis en luftydelsesmæssigt mindre model beregnet til opstilling i opholdsrum og en større model beregnet til opstilling i fx kælderrum. De ydre mål af den undersøgte luftrensner er ca. 60 x 40 x 30 cm og vægten er ca. 29 kg. Luftrenseren indeholder et aktiv kulfilter, som vejer ca. 4 kg.

Undersøgelserne har omfattet målinger af volumenstrømmen gennem luftrenserens ventilator samt undersøgelser af luftrenserens effektivitet ved henholdsvis høje og lave koncentrationer i forsøgsrummet (initialkoncentration ca. 20 mg/m³ og ca. 200 µg/m³). Desuden har kulfiltret været udsat for en ekstraordinær høj tetrachlorethylenkoncentration med henblik på at undersøge afgivelsen af tetrachlorethylen fra det stærkt forurenede filter.

Tetrachlorethylenkoncentrationer er målt dels ved anvendelse af en photoakustisk gasanalysator (fabrikat Innova type 1312 med tilhørende multiplekser type 1303) og dels ved anvendelse af membran inlet massespektrometri, MIMS. Innova type 1312 har en detektionsgrænse for tetrachlorethylen på ca. 0,03 ppm svarende til ca. 200 µg/m³. MIMS'en har en detektionsgrænse på 0,5 µg/m³, hvorfor denne har været anvendt under forsøgene ved lave koncentrationer.

Luftrenserens effektivitet

Undersøgelserne har vist, at luftrenserens evne til at nedbringe tetrachlorethylenkoncentrationen i forsøgsrummet på det nærmeste svarer til det, som kan udledes teoretisk af fortyndingsligningen. Til praktisk brug kan nedenstående kurve anvendes til at vurdere reduktionen i rumluftens indhold af tetrachlorethylen.



Luftrensens effektivitet. Kurven viser forholdet mellem koncentrationen i rummet henholdsvis med luftrensere i drift ($c_{rum,0}$) og uden luftrensere i drift (c_{rum}) som funktion af forholdet mellem volumenstrømmen gennem luftrenseren ($q_{reenser}$) og rummets udelufttilførsel (q_{rum}).

Kurven viser forholdet mellem ligevægtskoncentrationen i rummet henholdsvis med ($c_{rum,0}$) og uden (c_{rum}) luftrensere i drift som funktion af forholdet mellem volumenstrømmen gennem luftrenseren ($q_{reenser}$) og udelufttilførslen til rummet (q_{rum}). Den røde linje i figuren illustrerer som eksempel, at hvis luftrenseren anbringes i et rum, hvor udelufttilførslen til rummet (q_{rum}) er det halve af volumenstrømmen gennem luftrenseren ($q_{reenser}$), dvs. $q_{reenser}/q_{rum} = 2$, kan det forventes, at koncentrationen i rummet ($c_{rum,0}$) vil blive reduceret til ca. 35 procent af udgangskoncentrationen (c_{rum}). Det forudsættes, at tetrachlorethylenkoncentrationen er 0 ved luftrensersens afkast.

Forventninger til luftrensers effektivitet i praksis

De gældende bygningsreglementsregler foreskriver, at luftskiftet i boliger skal være $0,5 \text{ h}^{-1}$ (h^{-1} = gange pr. time) i brugstiden og boliger anses for at være i brug døgnet rundt. Luftskiftet på $0,5 \text{ h}^{-1}$ skal altså altid være til stede. I nye etageboliger skal ventilationen ske ved mekanisk ventilation, mens nye enfamiliehuse kan ventileres ved naturlig ventilation eller mekanisk ventilation. I en ny bolig på 100 m^2 med en rumhøjde på $2,4 \text{ m}$, skal der således efter de gældende regler tilføres $120 \text{ m}^3/\text{h}$.

Mange boliger er dog opført efter tidligere bygningsreglementer, hvor der fx i etageboliger ikke var krav om permanent mekanisk udsugning. I SBI-rapport 241 (SBI-rapport 241: Ventilationsforhold i renoverede og ikke-renoverede etageboliger. 1994) er vist resultater af en tværsnitsundersøgelse af blandt andet luftskiftet i 177 naturligt ventilerede etageboliger opført mellem ca. 1930 og 1960. I gennemsnit for både renoverede og ikke-renoverede etageboliger er luftskiftet målt til ca. $0,47 \text{ h}^{-1}$. I SBI-rapport 236 (SBI-rapport 236: Ventilationsforhold i nyere, naturligt ventilerede enfamiliehuse. 1994) er vist resultater af målinger af blandt andet luftskiftet i ca. 150 nyere, naturligt ventilerede, fritliggende enfamiliehuse opført efter 1982. Luftskiftet er i gennemsnit målt til $0,35 \text{ h}^{-1}$.

Sættes luftskiftet i en bolig på 100 m^2 til lidt mindre end $0,4 \text{ h}^{-1}$, tilføres boligen omkring $90 \text{ m}^3/\text{h}$. Antages det, at der anbringes 3 luftrensere i boligen,

og antages det, at hver af luftrensere indstilles til at yde $75 \text{ m}^3/\text{h}$ svarende til ca. $2/3$ af maksimal ydelse, vil forholdet mellem volumenstrømmen gennem luftrensere og udelufttilførslen til boligen være ca. 2,5. Af den grønne, stiplede linje i figuren ses, at den resulterende ligevægtskoncentration i rummet kan forventes at blive ca. 30 pct. af udgangskoncentrationen.

Undersøgelserne af luftrenseren er gennemført i et rum med et gulvareal på ca. 11 m^2 og et volumen på ca. 32 m^3 , og der har ved undersøgelserne været anvendt en omrøringsventilator i rummet. Luftrenseren er ikke afprøvet i større rumvolumener, og det må konkluderes, at hvad angår rensning af luften, fungerer luftrenseren efter hensigten. Effektiviteten med hensyn til reduktion af tetrachlorethylenkoncentration i rumluften i praksis vil afhænge af de aktuelle ventilationsforhold.

Adsorptionskapacitet – levetid for kulfilter

En bestemmelse af det aktuelt anvendte kulfilters adsorptionskapacitet over for tetrachlorethylen som funktion af koncentrationen i rumluften forudsætter særlige undersøgelser, som ikke er gennemført i dette projekt.

Generelt for kulfiltre, og ved koncentrationer lavere end 1 ppm kan adsorptionskapaciteten anslås til typisk at være i størrelsesordenen under 10 procent af kulfiltrets vægt. Det undersøgte kulfilter er oplyst til at indeholde ca. 4 kg kul. Antages det, at kulfiltret i praksis vil blive udsat for koncentrationer omkring $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ (0,15 ppm), og antages forsigtigvis en adsorptionskapacitet på 5 procent af filtrets vægt, kan kulfiltrets levetid anslås til ca. 2700 timer (~4 mdr.) ved kontinuerlig drift og ved en volumenstrøm gennem luftrenseren på $75 \text{ m}^3/\text{h}$ ($(4000 \text{ g} \cdot 5\%)/(0,001 \text{ g}/\text{m}^3 \cdot 75 \text{ m}^3/\text{h})$).

Erfaringer fra afprøvninger i praksis

I bilag A er der redegjort for erfaringer og resultater af før- og eftermålinger i 6 boliger, hvor luftrensere har været anvendt. Bilaget er en gengivelse af et notat udarbejdet af Jacob Jensen, Skude & Jacobsen Rådgivende Ingeniører A/S, som har stået for målingerne. Målingerne i boligerne er gennemført før og uafhængig af hovedrapportens laboratorieundersøgelser, og målingerne er gennemført uden deltagelse af Statens Byggeforskningsinstitut.

Af målingerne kan der påvises en effekt af opsætning af luftrensere i beboelsesenheder udsat for en uacceptabel påvirkning med tetrachlorethylen. Dog er det for ingen af de undersøgte lokaliteter lykkedes at nedbringe koncentrationen til under afdampningskriteriet på $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En vurdering af sammenhænge mellem luftrensernes effekt og de ydre omstændigheder har på det foreliggende grundlag ikke kunnet foretages.

En sådan vurdering ville bl.a. kunne inddrage:

- Viden om forureningens kildestyrke og emissionsrate
- Viden om spredningsveje i bygninger
- Luftskiftmålinger før og efter installering af luftrensere
- Måling af bidrag fra en eventuel sinkeffekt.

Summary and conclusions

The purpose of the project was to investigate the effect of an air cleaner on the concentration of tetrachloroethylene in room air. Investigations were conducted on a mechanical air cleaner consisting primarily of a dust filter, an electrical fan and an activated charcoal filter mounted in a sound-absorbing cabinet. The cleaner is intended for use as a provisional, acute preventive measure in dwellings where the indoor climate is unacceptably influenced from a nearby soil and groundwater contamination.

The investigations were performed in a 32 m² test-room in the laboratory at the Danish Building Research Institute.

The cleaner investigated was developed by NIRAS - Consulting Engineers and Planners A/S in co-operation with Østergaard Filter ApS and Fyns Amt. The outer dimensions of the unit are approximately 60 x 40 x 30 cm and it weighs approx. 29 kg. The activated charcoal filter weighs approx. 4 kg.

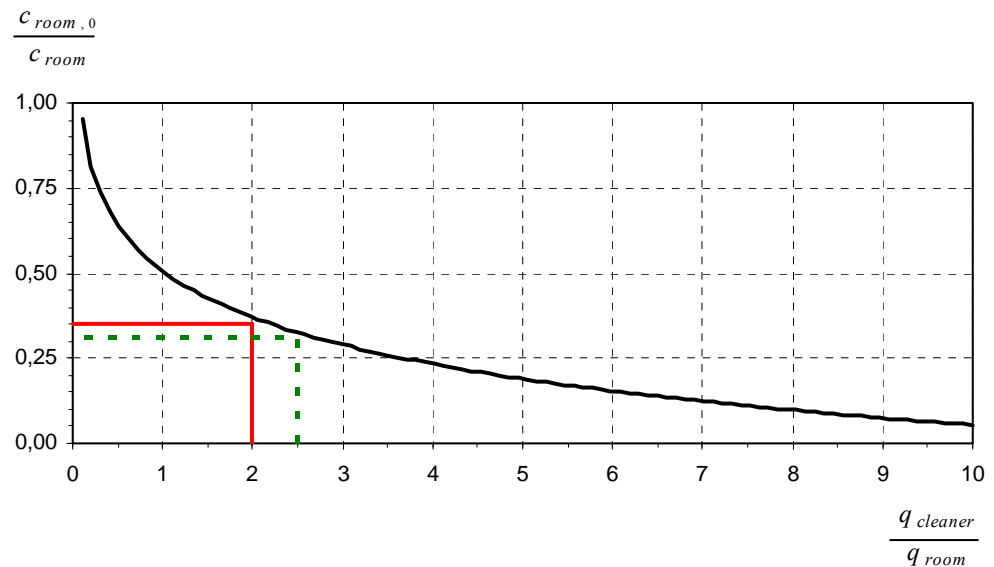
The investigations included measurements of the mechanically induced airflow through the cleaner and analyses of the efficiency of the cleaner at high as well as low room air concentrations of tetrachloroethylene (initial concentration approx. 20 mg/m³ and approx. 200 µg/m³). In addition, the charcoal filter was exposed to very high concentrations in order to investigate the liberation of tetrachloroethylene from the highly contaminated filter.

The concentration of tetrachloroethylene in the room air was measured using a photo-acoustic gas analyser (make Innova type 1312) as well as membrane inlet mass spectrometry, MIMS. The detection limit for tetrachloroethylene is about 200 µg/m³ for the Innova and about 0,5 µg/m³ for MIMS.

Efficiency of the air cleaner

The investigations showed that the performance of the air cleaner, with respect to reducing the concentration of tetrachloroethylene in the room air, matches what can be deduced theoretically. For practical purposes the figure below can be used for assessing the reduction in the room air concentration of tetrachloroethylene.

The figure shows the ratio of the equilibrium room air concentration with the cleaner in operation ($c_{room,0}$) and without the cleaner in operation (c_{room}) as a function of the ratio of the airflow through the cleaner ($q_{cleaner}$) and the outdoor air supply to the room (q_{room}). The red line in the figure illustrates as an example, that if the cleaner is placed in a room where the outdoor air supply to the room (q_{room}) is half the airflow through the cleaner ($q_{cleaner}$), i.e. $q_{room} = 2$, the concentration in the room air ($c_{room,0}$) can be expected to be reduced to about 35 percent of the initial concentration (c_{room}). It is assumed that the concentration of tetrachloroethylene at the exhaust of the air cleaner is zero.



Efficiency of the air cleaner. The curve shows the relation between the equilibrium concentration in the room air with the cleaner in operation ($c_{room,0}$) and without the cleaner in operation (c_{room}) as a function of the ratio of the air flow through the cleaner ($q_{cleaner}$) and the outdoor air supply to the room (q_{room}).

Efficiency of the air cleaner in practice

With regard to ventilation in dwellings, the current building regulations dictate a ventilation rate of 0.5 air changes per hour. In multi-storey buildings the ventilation must be provided mechanically whereas in detached single family houses the ventilation may be either mechanical or natural.

However, a large number of dwellings have been built according to earlier building regulations where for example the requirement for mechanical ventilation in multi-storey buildings did not exist. Field investigations have shown that on average the air change rate in existing dwellings is somewhat lower than 0,5 air changes per hour. Measurements in flats in renovated and non-renovated multi-storey buildings built between 1930 and 1960 showed an average ventilation rate of about 0.47 air changes per hour. In naturally ventilated detached single family houses built during the eighties the average ventilation rate was measured at around 0.35 air changes per hour.

Assuming a ventilation rate of about 0.4 air changes per hour in a dwelling of 100 m², the outdoor air supply to the dwelling is about 90 m³/h. Assuming three air cleaners are placed in the dwelling and the fans in the cleaners are adjusted to 75 m³/h equalling about 2/3 of maximum performance, the ratio of the air flows mentioned will be 2.5 ($q_{room} = 90$ m³/h, $q_{cleaner} = 225$ m³/h, $q_{cleaner}/q_{room} = 225/90 = 2.5$). From the green dashed line in the above figure it appears that the resulting equilibrium concentration can be expected to be about 30 percent of the initial concentration.

The investigations of the air cleaner were performed in the laboratory in a room of 11 m² and a volume of 32 m³ and a mixing fan was in operation in the room. The air cleaner was not tested in large rooms and it must be concluded that with respect to reducing the room air concentration of tetrachloroethylene the cleaner is performing according to expectations. In practice, the efficiency of the air cleaner will depend on the individual ventilation conditions.

Adsorption capacity

Determination of the adsorption capacity of this particular charcoal filter and specifically regarding tetrachloroethylene as a function of the concentration in the room air requires certain specific investigations, which have not been performed within this project.

For activated charcoal filters in general and at room air concentrations lower than 1 ppm the adsorption capacity can typically be estimated to be about 10 percent of the weight of the filter. The weight of the filter investigated is 4 kg. Assuming the filter will in practice be exposed to concentrations of about 1 mg/m^3 (0,15 ppm) and conservatively assuming an adsorption capacity of 5 percent of the weight of the filter, the lifetime of the filter can be estimated at about 2700 hours (~4 months) of continuous operation with an airflow through the cleaner of $75 \text{ m}^3/\text{h}$ ($(4000 \text{ g} \cdot 5\%)/(0,001 \text{ g/m}^3 \cdot 75 \text{ m}^3/\text{h})$).

Outcomes of field investigations

Appendix A details the outcomes and findings of field investigations in 6 dwellings. The appendix is a reproduction of a document prepared by Jacob Jensen, Skude & Jacobsen Consulting Engineers A/S who were responsible for the investigations. The measurements were performed prior to and independently of the investigations documented in the main report, and the measurements have been conducted without the participation of the Danish Building Research Institute.

The results of the measurements establish an effect from placing air cleaners in dwellings exposed to an unacceptable influence of tetrachloroethylene. However, it was not possible to reduce the concentration in any of the dwellings below the emission criteria of $6 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Assessment of the correlation between the effect of the cleaner and external conditions has not been possible under existing circumstances.

That kind of assessment would include among other things:

- Knowledge of source strength and emission rate of the contaminants
- Knowledge of pathways in buildings
- Air change rate measurements before and after installing air cleaners
- Measurements of contribution from possible sink effects.

1 Baggrund og formål

Tetrachlorethylen er et kloreret opløsningsmiddel, som blandt andet anvendes som tøjrenssevæske i renseserier. Stoffet er opført på Miljøstyrelsens liste over farlige stoffer, idet det mistænkes for at være kræftfremkaldende. Miljøstyrelsen har fastsat sundhedsbaserede grænseværdier, betegnet luftkvalitetskriterier, for en række kemiske stoffer. Luftkvalitetskriteriet angiver den gennemsnitskoncentration, der ved livstidsudsættelse ikke forventes at give anledning til effekter i befolkningen. Luftkvalitetskriteriet for tetrachlorethylen er fastsat til 0,006 mg/m³.

NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S har i samarbejde med Østergaard Filter ApS og Fyns Amt udviklet en mekanisk luftrensere, hvis funktion er at reducere forureningskoncentrationen i et påvirket indeklima. Miljøstyrelsen har ydet økonomisk støtte til udviklingen. Luftrenseren er tænkt anvendt som en midlertidig, akut afværgeforanstaltning i beboelsesrum i bygninger, navnlig boliger, hvor der er konstateret uacceptabel påvirkning af indeklimaet fra en nærliggende jord- og grundvandsforurening. Luftrenseren består i hovedtræk af et støvfilter, en ventilator og et aktiv kulfilter, monteret i et lydisoleret metalkabinet. Ventilatoren recirkulerer kontinuert rumluft gennem kulfiltret, og luftrenserens funktion er baseret på, at gasformige forureninger herunder tetrachlorethylen adsorberes på kullet, således at koncentrationen i rumluften reduceres.

Formålet med dette projekt har været at undersøge luftrenserens evne til at reducere koncentrationen af tetrachlorethylen i rumluften.

Ved projektets start eksisterede der to forskellige luftrensermodeller; en lille model og en stor model. Forskellen på de to modeller var i det væsentlige den indbyggede ventilator. Den lille model havde en mindre og dermed mere støjsvag ventilator i forhold til den store model, hvor ventilatoren havde en større ydelse og samtidig et højere støjniveau. Modellerne blev betegnet henholdsvis "stuemodellen" og "kældermodellen" efter det tiltænkte opstillingssted i en bolig. På grund af støjniveauet ville den store model næppe blive accepteret opstillet i beboelsesrum af beboerne. Umiddelbart inden undersøgelserne skulle sættes i gang, meddelte Østergaard Filter ApS, at der var foretaget en videreudvikling af luftrenserne. En modificeret model med såvel støjsvag ventilator som stor luftydelse ville inden for kort tid afløse de to hidtidige modeller, som derfor ville udgå. Det vurderedes, at det ville være irrelevant at undersøge luftrensermodeller, som fremover ikke ville være tilgængelige på markedet, og det blev derfor besluttet at udskyde undersøgelserne og afvente, at den nye model blev klar. Den nye model blev leveret den 23. juni 2003.

Undersøgelserne af luftrenseren er gennemført som laboratorieundersøgelser, og de er gennemført i luftkvalitetslaboratoriet ved Statens Byggeforskningsinstitut. Undersøgelserne er gennemført i efteråret 2003. Rapporten beskriver forsøgsbetingelserne, gennemførelsen af forsøgene og de fundne resultater.

Storstrøms Amt har i perioden december 2001 til marts 2003 gennemført en afprøvning af luftrensersens effekt til at reducere en indeklimapåvirkning med tetrachlorethylen. Indledende undersøgelser på 50 lokaliteter med tidligere eller nuværende renservirksomhed viste, at koncentrationen af tetrachlorethylen på 6 lokaliteter var så høj, at der blev opsat én eller flere luftrensere i beboelseslejlighederne på lokaliteterne. Et notat, som redegør for erfaringer og resultater fra før- og eftermålinger på disse 6 lokaliteter er inkluderet i denne rapport som bilag A.

2 Metoder og udstyr

Den undersøgte luftrensere består i hovedtræk af et støvfilter, en ventilator og et aktiv kulfilter, monteret i et aflåseligt, lydisolert metalkabinet.

Luftrensens funktion er baseret på, at ventilatoren kontinuert recirkulerer rumluft gennem kulfiltret, hvorved de gasformige forureninger i rumluften adsorberes på filtret.

Det kan være vanskeligt at forudsige, hvor effektivt kullet vil adsorbere og fastholde en given forurening. En indikation af effektiviteten kan opnås ved at bestemme kullets adsorptionskapacitet, og der findes en række standardiserede metoder til at bestemme et materiales adsorptionskapacitet. Imidlertid kan sådanne undersøgelser være komplicerede at udføre, og de vil ikke indbefatte samspillet mellem hovedkomponenterne i luftrenseren, indflydelse af en eventuel lækage og luftens strømning i apparatet herunder kontakt med kulfiltret etc., som kan være af afgørende betydning for den samlede effektivitet af luftrenseren i praksis.

Eksperimentel bestemmelse i felten af en luftrenseres effektivitet over for en given forurening forudsætter, at såvel baggrundskoncentrationen¹ som styrken af den pågældende forureningskilde er kendt. Samtidig vil det af praktiske årsager være hensigtsmæssigt, at forureningskildens emissionsrate er konstant, og at tilstanden af det omgivende indeklima (relativ fugtighed, temperatur, ventilation) er kendt, kontrollerbar og helst konstant.

Effektivitetsundersøgelser i felten, fx i en bolig, kan således være vanskelige at gennemføre, og der er risiko for, at der ikke opnås pålidelige og generaliserbare resultater.

Undersøgelserne af luftrenserens effektivitet over for tetrachlorethylen i rumluften er derfor gennemført som laboratorieundersøgelser.

2.1 Luftrenseren

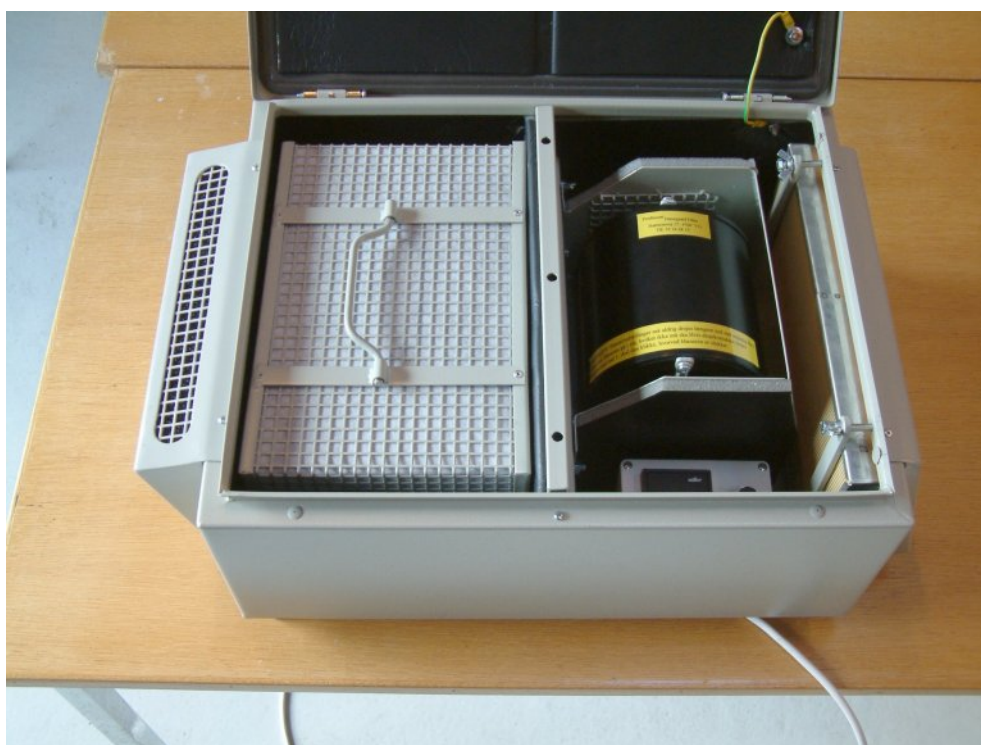
Den undersøgte luftrensere, se Figur 2.1, som er udviklet af NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S i samarbejde med Østergaard Filter ApS og Fyns Amt, er en videreudvikling af to tidligere modeller, henholdsvis en luftfyldelsesmæssigt mindre model beregnet til opstilling i opholdsrum og en større model beregnet til opstilling i fx kælderrum.

¹ Generelt tolkes baggrundskoncentrationen som det upåvirkede koncentrationsniveau af en forurening. I ventilationsammenhæng er det ofte udeluftens indhold af den pågældende forurening, der er tale om, idet bygningsventilation typisk er baseret på fortyndingsprincippet – koncentrationen af en forurening i luften i et rum nedbringes ved at tilføre luft (udeluft), som har et lavere indhold af den pågældende forurening. Selvom der ikke er naturlige kilder til tetrachlorethylen, er udeluftens indhold af tetrachlorethylen ikke nul. Udeluftmålinger foretaget i blandt andet Tyskland og USA har vist, at tetrachlorethylen findes i lave koncentrationer selv i områder med forholdsvis lav urbaniseringsgrad. I Miljøprojekt nr. 651, Dokumentation af interne og eksterne kilder til tetrachlorethylen i boliger (2001) er det fundet, at i boliger afhænger det upåvirkede baggrundsniveau af boligens beliggenhed henholdsvis i åbent boligområde (parcelhuskvarter) eller i tæt byområde.

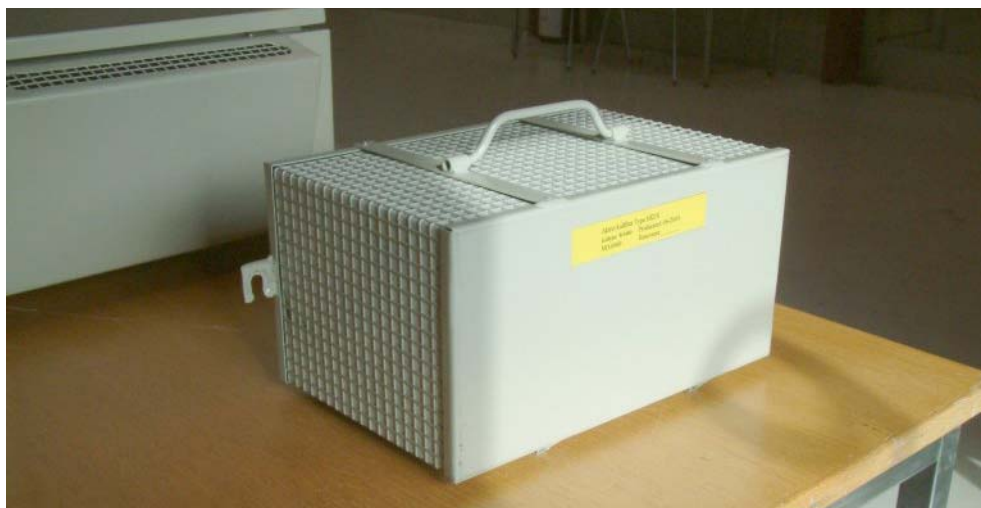


Figur 2.1 Luftrensere. De ydre mål er ca. 60 x 40 x 30 cm og vægten er ca. 29 kg

Luftrensere indeholder et støvfilter, en ventilator og et aktiv kulfilter, se Figur 2.2. Kulfiltret er ca. 30 x 20 x 16 cm, og det vejer ca. 4 kg, se Figur 2.3. Ventilatoren har regulerbart omløbstal og en ydelse på 70-100 m³/h. Der er indbygget en timetæller, hvormed det er muligt at registrere den samlede driftstid. Yderligere oplysninger om luftrensere kan findes i Miljøprojekt nr. 750, Afværgekatalog – tidlig indsats over for indeklimapåvirkninger (2003).



Figur 2.2 Luftrensere med åben låge. Venstre halvdel af kabinettet rummer aktiv kulfilter, mens højre halvdel rummer ventilatoren. Til højre for ventilatoren ses støvfilteret.



Figur 2.3. Aktiv kulfil tret. Fil tret er ca. 30 x 20 x 16 cm, og det vejer ca. 4 kg.

2.2 Forsøgsrummet

Undersøgelserne er gennemført i luftkvalitetslaboratoriet ved Statens Byggeforskningsinstitut. Luftkvalitetslaboratoriet er beliggende som et selvstændigt laboratorium inde i en større laboratoriehal. Det består af et hovedrum på ca. 34 m² og et mindre forrum på ca. 11 m². Rumhøjden er i begge rum knap 3 m. Typisk anvendes hovedrummet ved sensoriske undersøgelser, dvs. undersøgelser hvor et antal personer (paneldeltagere) ved hjælp af lugtesansen skal vurdere lugtafgivelsen fra forskellige materialer fx fugemasser, malinger, lime, gulvbelægninger, etc. Materialerne, som skal vurderes, findes i særlige forsøgskamre, såkaldte Climpaq'er, som er opstillet i hovedrummet. Under sådanne undersøgelser fungerer forrummet som sluse for paneldeltagerne, så luften i hovedrummet ikke forurenes af luft udefra.



Figur 2.4. Forsøgsrummet. Inde i forsøgsrummet ses til venstre glasskillevæg og dør mod hovedrummet.

Et avanceret indblæsnings- og udsugningsanlæg sørger for ventilationen både i de to rum og i forsøgskamrene. Hovedrummet og forrummet er ventileret efter fortrængningsprincippet. Begge rum er opbygget af lavemitterende materialer; loft og vægge består hovedsagelig af termoglas indfattet i aluminiumprofiler, mens gulvet er højtrykslaminat. Der er valgt lavemitterende materialer for at undgå, at emissioner herfra kan få indflydelse på de sensoriske undersøgelser, men materialevalget reducerer desuden risikoen for, at der optræder sinkeffekter i rummene. Ved undersøgelserne af luftrensens effektivitet har luftkvalitetslaboratoriets forrum fungeret som forsøgsrum.

2.3 Tetrachlorethylenkilde

I hovedsagen har tetrachlorethylen været anvendt som forsøgsgas. Andre gasser har været anvendt fx under indregulering af ventilationen i forsøgsrummet og under afprøvning af måleudstyr, men under de egentlige undersøgelser af luftrenseren, har alene tetrachlorethylen været anvendt.

Tetrachlorethylenkilden har været udformet som en lille glasflaske indeholdende tetrachlorethylen og lukket med en prop. Igennem proppen har der været anbragt én eller flere små teflonslanger med en indvendig diameter på 2,5 mm og en længde på ca. 100 mm. Emissionsraten er afpasset ved hjælp af antallet af slanger gennem proppen.

Impulsdosering, en kortvarig, kraftig dosering, til bestemmelse af ventilationen i forsøgsrummet er sket ved at sætte en lille flad glasskål med nogle få dråber tetrachlorethylen ind i rummet. Doseringens varighed var mindre end 60 sekunder.

Tetrachlorethylenkilden er forberedt i stinkskab. Uden for målingerne har glasflasken været lukket og opbevaret i stinkskab.

2.4 Procedurer og måleudstyr

Tetrachlorethylenkilden har ved alle undersøgelserne været anbragt omtrent midt i forsøgsrummet. En omrøringsventilator, som ikke har indflydelse på ventilationen i forsøgsrummet, har sikret god opblanding i rumluften af den afgivne tetrachlorethylen.

Luftrensens størrelse og vægt gør, at den ved praktisk anvendelse vil blive anbragt på gulvet i et opholdsrum. Ved undersøgelserne har luftrenseren derfor været anbragt på gulvet i passende afstand fra både tetrachlorethylenkilde og omrøringsventilator.

For ikke at påvirke forsøgsbetingelserne i forsøgsrummet og af hensyn til sundhedsrisikoen ved håndteringen af tetrachlorethylen har alt måleudstyr overalt ved undersøgelserne været anbragt uden for forsøgsrummet. Herfra er der trukket slanger ind i rummet. Det har i det væsentlige været muligt at undgå ophold i forsøgsrummet.

Ventilationen i forsøgsrummet har været indrettet på en sådan måde, at der permanent har været opretholdt et svagt undertryk i forhold til såvel luftkvalitetslaboratoriets hovedrum som laboratoriehallen uden for forsøgsrummet. Ventilationsanlæggets afkast er til det fri.

Ydelsen af ventilatoren i luftrenseren er målt ved hjælp af Dantec Flowmaster type 54 N 60. Ventilatorens strømforbrug er målt ved hjælp af effektmeter fabrikat WSE, Waldsee Electronic, type LVM 210.

Koncentrationen af tetrachlorethylen i forsøgsrummet er målt dels ved anvendelse af en photoakustisk gasanalysator (fabrikat Innova type 1312 med tilhørende multiplekser type 1303) og dels ved anvendelse af membran inlet massespektrometri, MIMS.

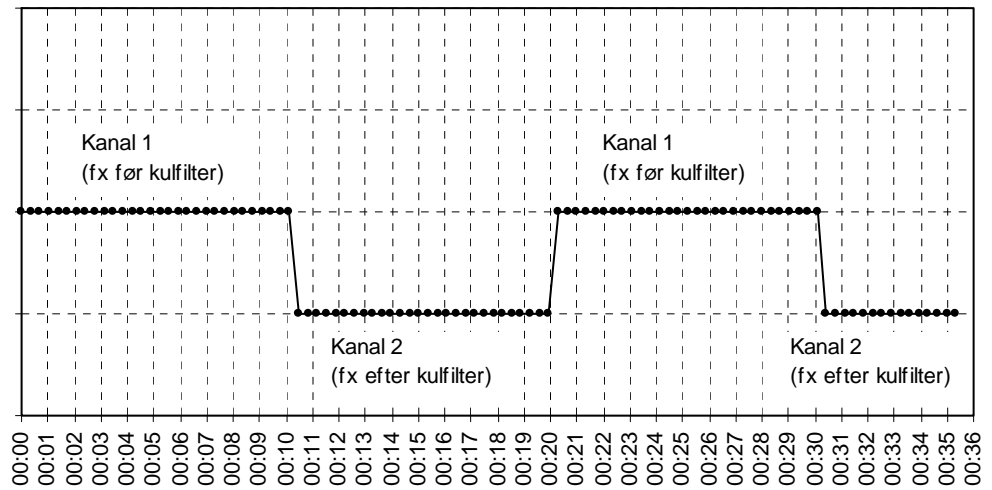
Innova gasanalysator type 1312 har været anvendt ved de indledende undersøgelser med højere tetrachlorethylenkoncentrationer i forsøgsrummet. Analysatoren har en detektionsgrænse for tetrachlorethylen på ca. 0,03 ppm svarende til ca. 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Massespektrometret har en detektionsgrænse på 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, og har derfor været anvendt under forsøgene ved lave koncentrationer.

Teknologisk Institut, Århus, Kemiteknik, som er specialist i anvendelse af MIMS ved feltundersøgelser, har været rekvireret til at levere og opstille et massespektrometer ved luftkvalitetslaboratoriet ved Statens Byggeforskningsinstitut. Instrumentet har været til rådighed for undersøgelser i perioden 11. november til 10. december 2003. I forbindelse med levering og opstilling af instrumentet har Teknologisk Institut givet instruktion i anvendelsen, herunder overvågnings- og kalibreringsprocedurer.

Der har ved alle de gennemførte undersøgelser været foretaget målinger af tetrachlorethylenkoncentrationen i mindst to punkter; før aktiv kulfiltret og ved luftrenserens afkast, dvs. umiddelbart efter kulfiltret. Målepunktet før kulfiltret er repræsentativt for luften i forsøgsrummet. Ved nogle af undersøgelserne har der desuden været foretaget måling af koncentrationen af tetrachlorethylen i laboratoriehallen uden for forsøgsrummet og i udeluften.

Massespektrometret er ved indgangen til analysecellen forsynet med en ventil, som automatisk og hvert 10. minut skifter mellem de to målepunkter, henholdsvis før og efter kulfiltret. Ved undersøgelserne har massespektrometret været indstillet således, at der opnås et datapunkt hvert 21. sekund. For hver 10 minutters periode er der således ca. 28 datapunkter for en kanal. En principiel kurve for resultatet af en måling med membran inlet massespektrometri er vist på Figur 2.5. Efterfølgende Figur 2.6 viser det principielle billede af en længere måleperiode.

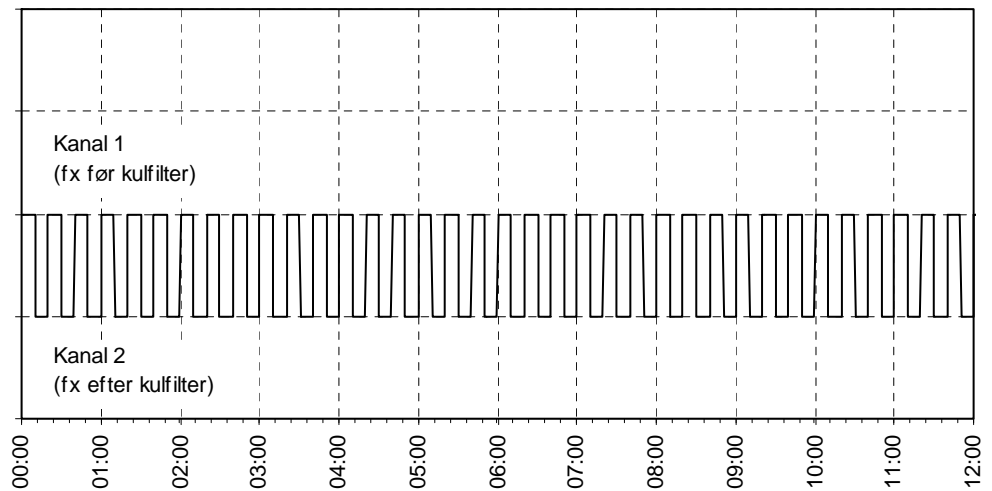
Koncentration



Tid

Figur 2.5 Principliel kurve for resultatet af en måling med membran inlet massespektrometri, MIMS.

Koncentration



Tid

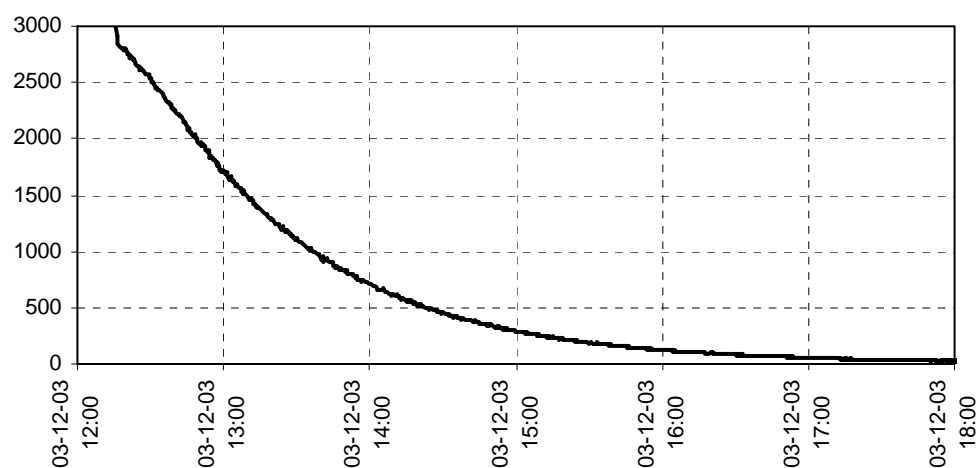
Figur 2.6 Principliel kurve for resultatet af en længere mælperiode med membran inlet massespektrometri, MIMS.

3 Resultater

3.1 Luftsiftet i forsøgsrummet

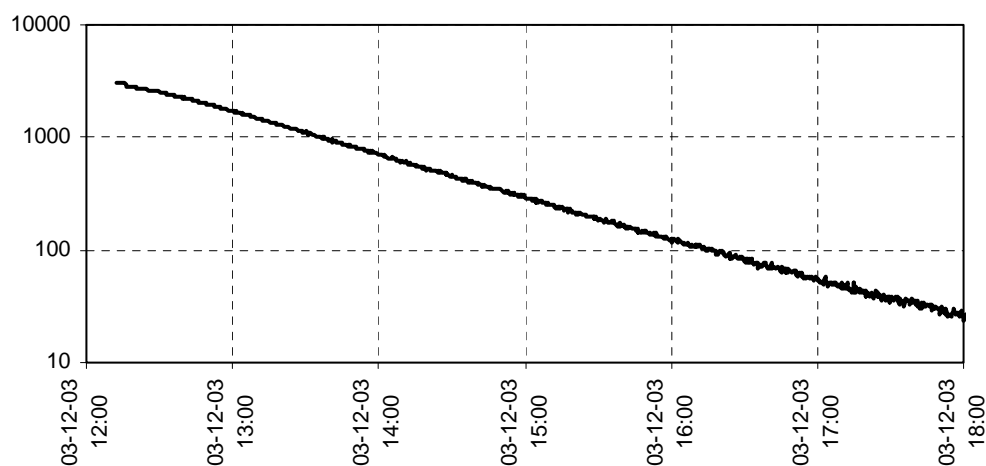
Figur 3.1 og Figur 3.2 viser et eksempel på bestemmelse af luftsiftet i forsøgsrummet. Figurerne viser, afbildet med henholdsvis lineær og logaritmisk ordinatakse, henfaldet af koncentrationen af tetrachlorethylen efter en impulsdosering. Af Figur 3.2 ses, at ventilationen i forsøgsrummet har været konstant i perioden, og luftsiftet kan beregnes til $0,8 \text{ h}^{-1}$ svarende til en tilført volumenstrøm til rummet på $25 \text{ m}^3/\text{h}$.

Konc. af C_2Cl_4 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]



Figur 3.1 Henfald af impulsdosering af tetrachlorethylen, lineær ordinatakse.

Konc. af C_2Cl_4 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]



Figur 3.2 Henfald af impulsdosering af tetrachlorethylen, logaritmisk ordinatakse.

3.2 Ventilatorens effektforbrug

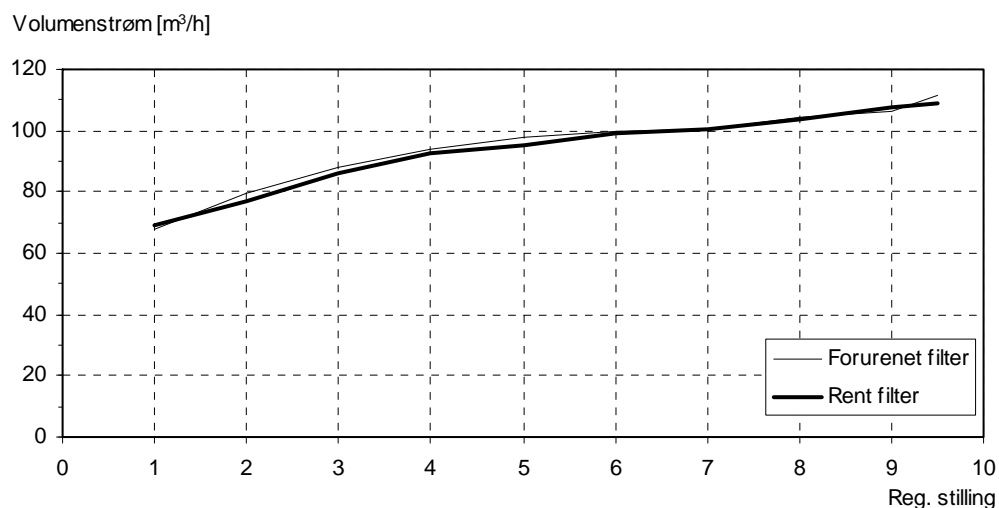
Ventilatoren i luftrenseren har regulerbart omløbstal. Regulatoren har markeringer 1-10, hvor trin 1 er lavest muligt omløbstal. Maksimalt omløbstal er ved 9,5, hvor regulatoren ikke kan drejes længere. Ventilatorens strømforbrug er ca. 51 W ved trin 1, ca. 84 W med omdrejningsregulatoren på trin 5 og ca. 94 W ved maksimalt omløbstal.

3.3 Volumenstrøm gennem Luftrenserens ventilator

Figur 3.3 viser volumenstrømmen gennem luftrenserens ventilator som funktion af omdrejningsregulatorens stilling mellem 1 og 9,5. Undersøgelsen er gennemført med to forskellige filtre; henholdsvis et rent filter (fed kurve) og et filter stærkt forurenet med tetrachlorethylen (tynd kurve).

Det fremgår af figuren, at volumenstrømmen gennem ventilatoren er uafhængig af kulfiltrets tilstand. Det fremgår desuden, at der ikke er en lineær proportionalitet mellem indstillingen på omdrejningsregulatoren og den opnåede volumenstrøm.

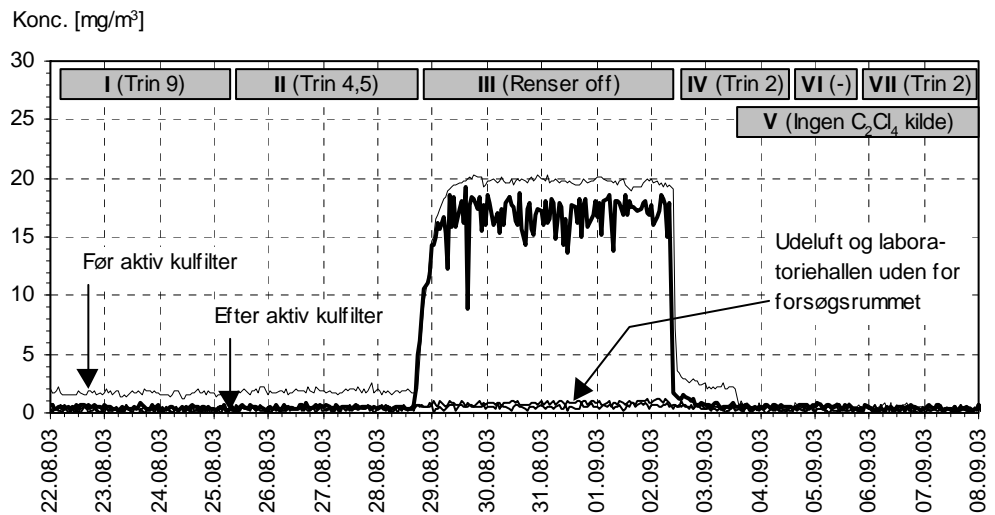
Det gennemførte forsøg viser, at volumenstrømmen gennem luftrenseren kan varieres mellem ca. 70 m³/h og ca. 110 m³/h.



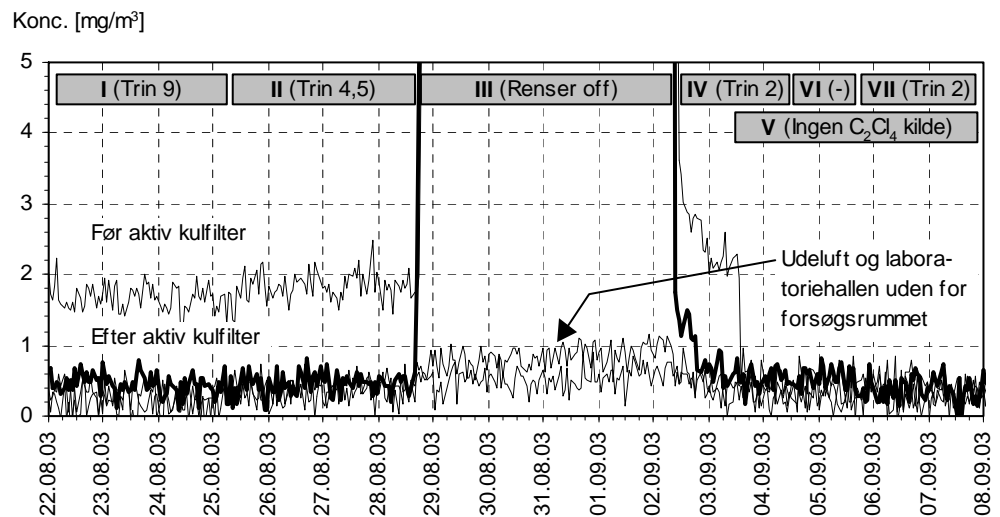
Figur 3.3 Ydelse af ventilatoren i luftrenseren i afhængighed af omdrejningsregulatorens stilling.

3.4 Undersøgelser ved høje koncentrationsniveauer

Figur 3.4 viser resultatet af en undersøgelse hvor initialkoncentrationen af tetrachlorethylen i forsøgsrummet er høj, ca. 20 mg/m³. Undersøglesperioden er 17 døgn.



Figur 3.4 Koncentrationsforløb i en 17 døgns periode hvor der er ændret på både ventilatorydelse og sporgaskildens tilstedeværelse i forsøgsrummet. Handlingerne i perioderne I-VII er beskrevet i teksten.



Figur 3.5 Figuren viser samme undersøgelse som i Figur 3.4 men med ændret ordinatakseskalering. Handlingerne i perioderne I-VII er beskrevet i teksten.

Undersøgelserforløbet har været følgende:

- I: Fra den 22. til den 25. august om formiddagen er luftrenseren i drift på trin 9 - omtrent maksimal ydelse (ca. $110 \text{ m}^3/\text{h}$). Tetrachlorethylenkoncentrationen før kulfiltret, dvs. koncentrationen i forsøgsrummet, er ca $1,8 \text{ mg}/\text{m}^3$. Koncentrationen efter kulfiltret er lav. Detektionsgrænsen for Innova gasanalysator type 1312, som er anvendt ved undersøgelsen, er ca. $200 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$. Kvantificering af koncentrationen ved luftrenserens afkast er derfor usikker. Koncentrationen efter kulfiltret er på niveau med såvel koncentrationen i rumluften i laboratoriehallen uden for forsøgsrummet som udeluften.
- II: Om formiddagen den 25. august nedreguleres luftrenserens ventilator til trin 4,5 (ca. $90 \text{ m}^3/\text{h}$). Ventilatoren kører på trin 4,5 indtil den 28 august om eftermiddagen. Der registreres kun en beskedent stigning i koncentrationen i forsøgsrummet.
- III: Fra den 28. august om eftermiddagen til den 2. september om formiddagen er luftrenseren ikke i drift, men den befinder sig fortsat i

forsøgsrummet. Koncentrationen i rumluften stiger til ca. 20 mg/m³. Koncentrationen efter kulfiltret er lidt lavere. Målepunktet kan være influeret af, at kulfiltret er tæt ved. Koncentrationen i luften i laboratoriehallen uden for forsøgsrummet og i udeluften er fortsat lav.

IV: Den 2. september om formiddagen sættes luftrensere atter i drift, nu på trin 2 (ca. 75 m³/h). Der registreres et hurtigt fald i koncentrationen ved luftrensersens afkast, og efter nogen tid falder også koncentrationen i forsøgsrummet. Niveaulet er over 2 mg/m³, mens det tidligere i undersøgelsen ved trin 9 og 4,5 var under 2 mg/m³.

V: Den 3. september ved middagstid fjernes tetrachlorethylenkilden fra forsøgsrummet. Luftrenseren er fortsat i drift på trin 2.

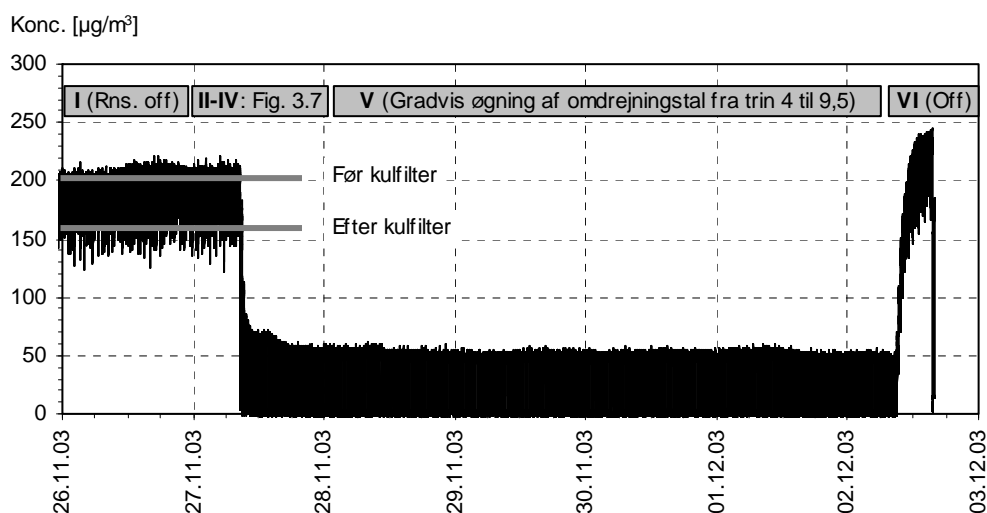
VI: Fra den 4. september ved middagstid til den 5. september om eftermiddagen er luftrenseren ikke i drift.

VII: Den 5. september om eftermiddagen sættes luftrenseren atter i drift med ventilatorens omløbstal på trin 2.

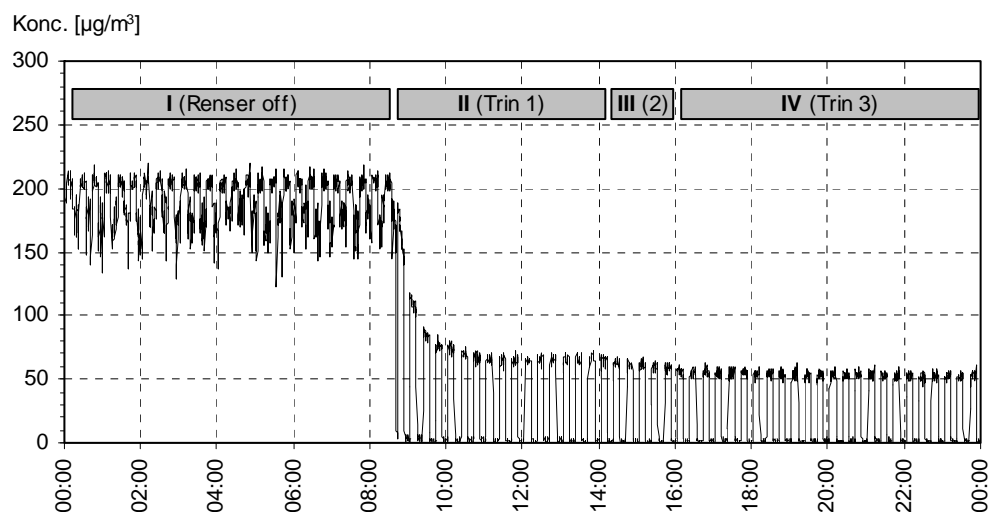
Fra tetrachlorethylenkilden er fjernet den 3. september ved middagstid til den 9. september, hvor undersøgelsen afsluttes, er det ikke muligt med sikkerhed at registrere koncentrationsændringer.

3.5 Undersøgelser ved lave koncentrationsniveauer

Som nævnt i afsnit 3.3 viser målinger af ventilatorens ydelse en meget flad kurve; ændringer i ventilatorens omløbstal medfører kun mindre ændringer i volumenstrømmen. Det samme ses ved undersøgelser med tetrachlorethylenkilden i forsøgsrummet, hvor omløbstalet gradvist er øget fra trin 1 til trin 9,5. Figur 3.6 viser hele undersøgelsesperioden, og Figur 3.7 viser et udsnit på et enkelt døgn; den 27. november.



Figur 3.6 Tetrachlorethylenkoncentration før og efter kulfilter ved gradvis øgning af ventilatorens omløbstal. Hele undersøgelsesperioden. Handlingerne i perioderne I-VI er beskrevet i teksten.

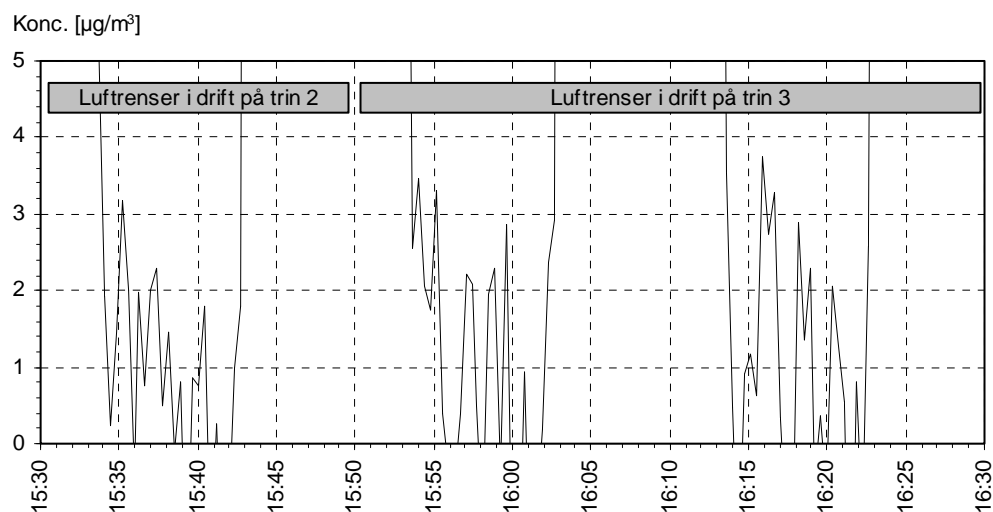


Figur 3.7 Tetrachlorethylenkoncentration før og efter kulfiltret ved gradvis øgning af ventilatorens omløbstal. Udsnit af undersøgelsesperioden, se Figur 3.6. Handlingerne i perioderne I-VI er beskrevet i teksten.

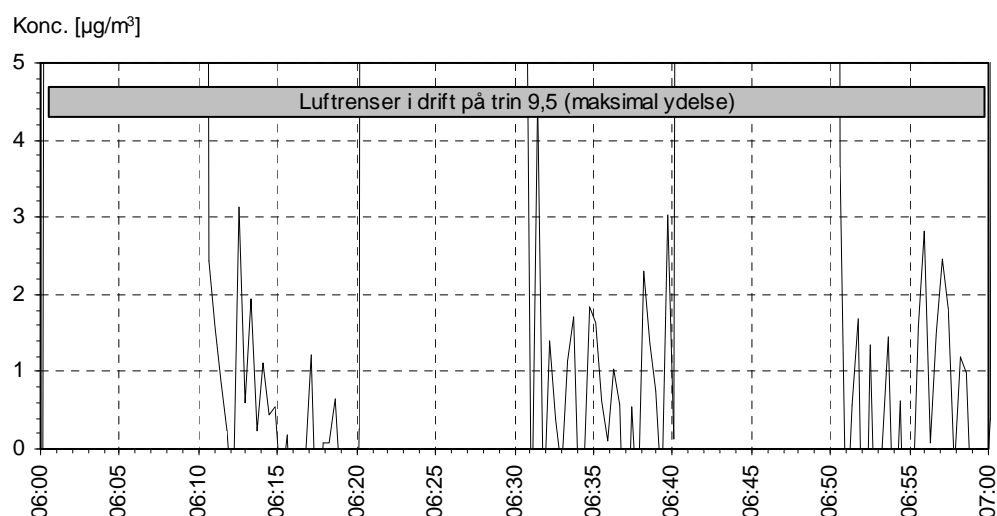
Af Figur 2.5 og Figur 2.6 på side 22, der viser principielle kurver for resultatet af måling med MIMS, fremgår det, at resultatkurven veksler mellem de to målepunkter ca. hvert 10. minut. Til støtte for læsning af Figur 3.6 og Figur 3.7 er i Figur 3.6 for det første døgn antydningssvis markeret niveauerne for målepunkterne henholdsvis før og efter kulfiltret.

- I: Forsøget indledes med en periode, hvor luftrenseren er slukket men til stede i rummet. I denne periode stiger tetrachlorethylenkoncentrationen i rummet til 200-220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mens der efter filtret måles 160-180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Målestedet kan være influeret af tilstedeværelsen af kulfiltret tæt ved.
- II: Den 27. november klokken 8.45 sættes luftrenseren i drift på lavest mulig ydelse, trin 1. Koncentrationen før kulfiltret falder til ca. 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- III: Klokken 14.30 øges ventilatorens omdrejninger til trin 2, og der ses et yderligere fald. Den nye tilstand når dog ikke at stabilisere sig, før ventilatoren klokken 15.50 indstilles til trin 3. Det vurderes, at tilstanden ved trin 2 ville have stabiliseret sig lidt over 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- IV: Klokken 15.50 øges ventilatorens omdrejninger yderligere, til trin 3. Koncentrationen falder ubetydeligt til lidt under 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- V: I de følgende døgn (se Figur 3.6) øges ventilatorens omdrejningstal gradvist til maksimal ydelse, men der sker ikke et målbart fald i koncentrationen efter kulfiltret.
- VI: Luftrenseren slukkes.

I Figur 3.8 og Figur 3.9 er der zoomet ind på målingen efter kulfiltret. Kurven for måleresultater før kulfiltret ligger uden for diagrammerne. Figur 3.8 viser perioden 15.30 til 16.30 den 27. november. Klokken 15.50 øges ventilatorens omdrejninger fra trin 2 til trin 3. Det er ikke muligt at registrere ændring i koncentrationen efter kulfiltret; koncentrationen er 1-2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figur 3.8 Tetrachlorethylenkoncentrationen efter kulfil tret, 27.11.2003.



Figur 3.9 Tetrachlorethylenkoncentrationen efter kulfil tret, 02.12.2003.

Den 1. december klokken 17.00 er ventilatorens omdrejningsregulering sat på 9,5 svarende til maksimal ydelse. Figur 3.9 viser perioden 06.00 til 07.00 den 2. december, altså 13 timer senere. Koncentrationen er ca. $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Membran inlet massespektrometers detektionsgrænse er $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

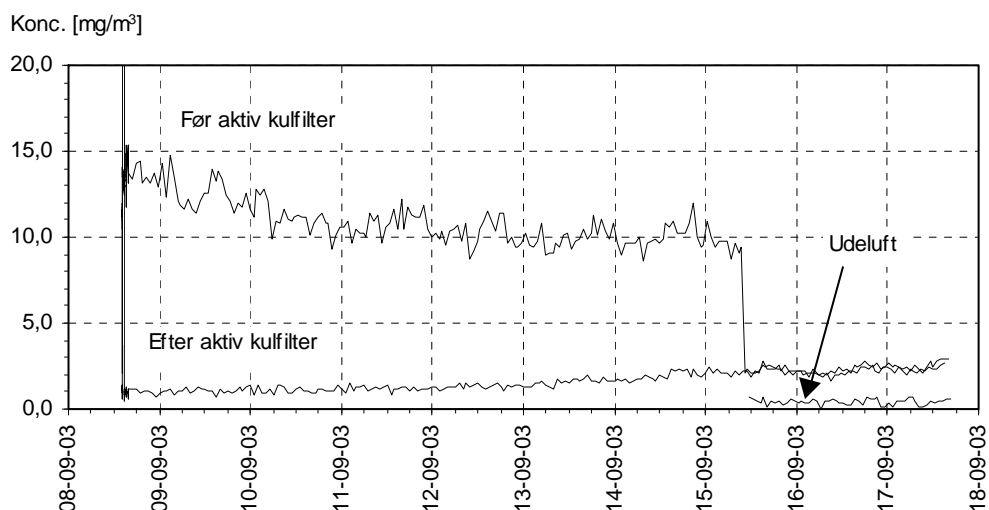
3.6 Ekstraordinær belastning af kulfil tret

Der er foretaget en undersøgelse af, hvordan aktiv kulfiltret reagerer, når det udsættes for meget høje tetrachlorethylenkoncentrationer. Ved disse undersøgelser var luftrenseren anbragt i en stålkasse med indvendige mål ca. $70 \times 70 \times 50$ cm. Luftrenseren blev anbragt i stålkassen, for at undgå at forsøgsrummet blev udsat for meget høje tetrachlorethylenkoncentrationer. På trods af at forsøgsrummet er opbygget af materialer, som begrænser risikoen for at der kan optræde sinkeffekter, ville det ikke med sikkerhed kunne udelukkes, at en høj koncentration af tetrachlorethylen i rummet ville kunne have en effekt på de efterfølgende forsøg ved lave koncentrationer. Placeringen af luftrenseren i stålkassen gjorde det samtidig muligt at have nøje kontrol over både ventilationen og afkastet af tetrachlorethylen.

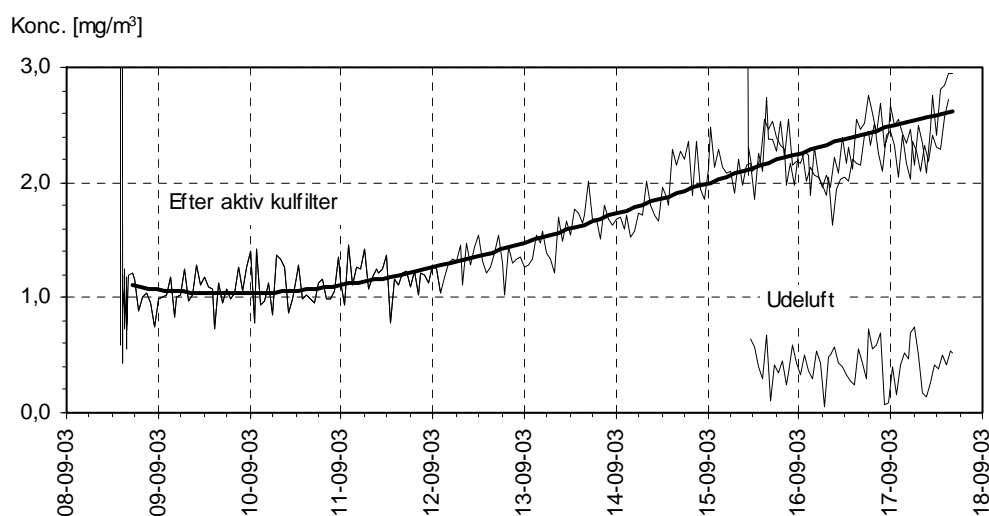
Med luftrensere anbragt i drift på trin 9 i stålaksen, men uden kulfilter monteret, er luftskiftet bestemt ved henfaldsmåling med en anden sporgas end tetrachlorethylen. Luftskiftet er bestemt til ca. $0,5 \text{ h}^{-1}$.

Figur 3.10 og Figur 3.11 viser forløbet i en 10 dages periode. Undersøgelsen begynder den 8. september klokken 14.00, hvor der indsættes en kraftig tetrachlorethylenkilde i stålaksen. Klokken 14.10 sættes luftrensere i drift på maksimal ydelse og med kulfilter monteret. I løbet af kort tid nedbringes koncentrationen i stålaksen (før kulfiltret) til $12\text{-}14 \text{ mg/m}^3$, mens koncentrationen ved luftrensers afkast er lav. Som før nævnt er muligheden for vurdering af lave koncentrationer begrænset af detektionsgrænsen for Innova gasanalysator type 1312.

I de første døgn efter undersøgelsens begyndelse registreres en svag stigning i koncentrationen ved luftrensers afkast. Fra omkring den 11.-12. september begynder stigningen i koncentrationen ved afkastet at tiltage, hvilket indikerer, at kulfiltrets effektivitet er faldende. I Figur 3.11 er indlagt en trendlinje.



Figur 3.10 Luftrensere anbragt i stålaksen.



Figur 3.11 Luftrensere anbragt i stålaksen - Figur 3.10 med ændret ordinatakseskalering.

Den 15. september klokken 10.30 fjernes tetrachlorethylenkilden fra stalkassen, mens luftrenseren fortsat er i drift på maksimal ydelse. På samme tidspunkt aktiveres en ekstra kanal i gasanalysatoren til måling af tetrachlorethylenkoncentrationen i udeluften. Det er ikke muligt ved denne måleteknik, at kvantificere udeluftens indhold af tetrachlorethylen, men det indikeres, at kulfiltret allerede ved undersøgelsens begyndelse kan have haft vanskeligt ved at tilbageholde tetrachlorethylen. Det er dog også tænkeligt, at målingen ved luftrenserens afkast er influeret af den i øvrigt høje koncentration i det relativt lille volumen.

Vejninger af tetrachlorethylenkilden viser, at fra den 8. september klokken 14.00, hvor den blev sat ind i kassen, til den 15. september klokken 10.30, hvor den blev taget ud, at der i alt afgivet 195 g tetrachlorethylen.

3.7 Forureningsafgivelse fra stærkt forurenet kulfilter

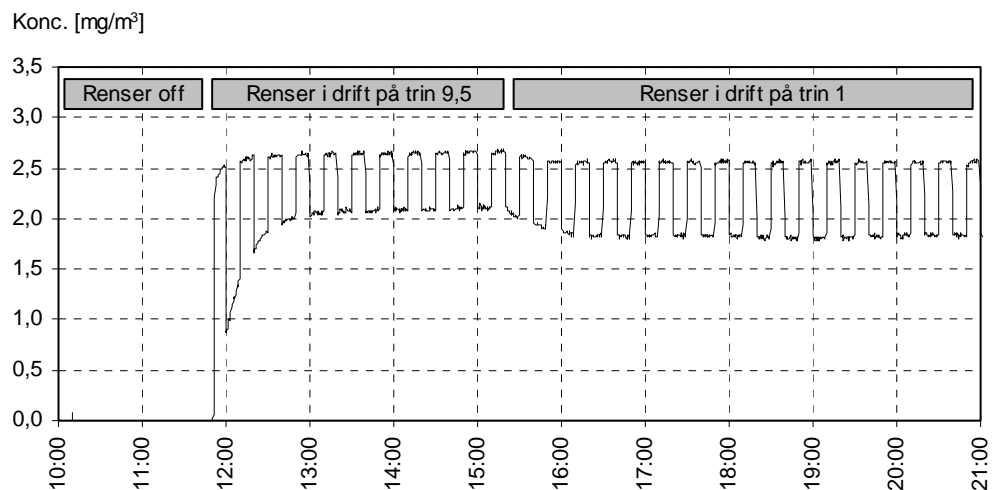
Figur 3.12 viser en undersøgelse, hvor der er monteret et stærkt forurenet kulfilter i luftrenseren.

Undersøgelsen indledes med en måling af koncentrationen før og efter kulfiltret i det rene rum. På dette tidspunkt er koncentrationen både før og efter filtret lav ($< 0,1 \text{ mg/m}^3$)

Klokken 11.50 sættes luftrenseren i drift på trin 9,5, maksimal ydelse. Der indstiller sig en ligevægt i rummet, hvor koncentrationen efter kulfiltret er ca. $2,7 \text{ mg/m}^3$, og koncentrationen i rumluften ca. $2,1 \text{ mg/m}^3$.

Klokken 15.20 nedreguleres ventilatoren til trin 1, hvorved koncentrationen efter kulfiltret falder til ca. $2,6 \text{ mg/m}^3$. Koncentrationen før filtret falder til ca. $1,8 \text{ mg/m}^3$.

Undersøgelsen viser, at volumenstrømmen gennem kulfiltret har betydning for mængden af forurening, som afgives fra filtret.



Figur 3.12 Stærkt forurenet aktiv kulfilter.

4 Diskussion

4.1 Ventilation og luftskifte

Med ventilation menes almindeligvis luftfornyelse i rum, og det forudsættes normalt, at luften, som tilføres rummet, er udeluft. Ventilationen kan kvantificeres ved begrebet luftskifte.

Luftskiftet i et rum, i nogle sammenhænge præciseret ved betegnelsen udeluftskiftet i rummet, er defineret som forholdet mellem udelufttilførslen [l/s] og rummets volumen [m^3]. Enheden for luftskiftet er normalt [h^{-1}], dvs. gange pr. time. Enheden passer ikke til SI-systemet, men begrebet er almindeligt anvendt. Et rum, som har et volumen på 50 m^3 , og som tilføres 7 l/s ($25 \text{ m}^3/\text{h}$), har et luftskifte på $0,5 \text{ h}^{-1}$. Luftskiftebegrebet er uafhængigt af, om lufttilførslen sker ved mekanisk ventilation, dvs. ved hjælp af ventilatorer og kanaler, ved naturlig ventilation, dvs. ved hjælp af aftrækskanaler og udeluftventiler eller ved en kombination, fx såkaldt hybrid ventilation. Overføringsluft er udeluft, som ikke er tilført rummet direkte, men som har passeret et andet rum på vejen. Overføringsluft indregnes normalt ikke i rummets luftskifte, selv om den overførte luft i visse perioder eller på visse tidspunkter kan medvirke til forbedring af luftkvaliteten i rummet. Interne luftbevægelser i et rum kan have en indvirkning på fordeling og opblanding af luften, men indregnes heller ikke i luftskiftet. Det skal understreges, at luftskiftet i sig selv ikke er et udtryk for, hvor effektivt rummet er ventileret, og at et luftskifte på fx $0,5 \text{ h}^{-1}$ ikke betyder, at al luften i rummet er udskiftet i løbet af 2 timer.

I boliger er ventilationen typisk baseret på fortyndingsprincippet, som går ud på, at koncentrationen af en forurening i rumluften nedbringes ved at tilføre og opblande udeluft, som har et lavere - eventuelt intet - indhold af den pågældende forurening. Såfremt en forureningskildes emissionsrate er konstante, vil den resulterende koncentration af forureningen i rumluften i hovedsagen afhænge af udelufttilførslen.

4.2 Luftrensersens indvirkning på ventilationen

Sættes en luftrenser i drift i et rum, hvor luften indeholder en forurening, som luftrenseren er i stand til at optage, vil det svare til, at luftskiftet i rummet forøges. Hvis koncentrationen af den pågældende forurening ved luftrensersens afkast er på niveau med forureningskoncentrationen i udeluften, vil den resulterende koncentration i rumluften være, som hvis luftskiftet var blevet forøget med volumenstrømmen gennem luftrenseren. Et rum med et volumen på 50 m^3 , som tilføres en volumenstrøm på $25 \text{ m}^3/\text{h}$ udefra, og hvor volumenstrømmen gennem luftrenseren er $25 \text{ m}^3/\text{h}$, vil have et tilsyneladende luftskifte på 1 h^{-1} . Rummets luftskifte er fortsat $0,5 \text{ h}^{-1}$, men hvad angår den resulterende koncentration i rumluften af den pågældende forurening, kan ventilationen i rummet sammenlignes med et luftskifte på 1 h^{-1} .

4.3 Luftrenserens indvirkning på koncentrationen

Sættes volumenstrømmen gennem luftrenseren i forhold til forsøgsrummets volumen opnås et udtryk for det tilsyneladende luftskifte, som luftrenseren i sig selv er årsag til. Sammenhørende værdier af dette tilsyneladende luftskifte og den målte relative reduktion af tetrachlorethylenkoncentrationen viser luftrenserens effektivitet i forsøgsrummet. Disse resultater vil alene gælde forsøgsrummet og vil ikke kunne generaliseres til anvendelse på forurenede lokaliteter.

Derimod kan luftrenserens effektivitet vurderes ud fra den tilsyneladende forøgelse af luftskiftet, som luftrenseren vil være årsag til.

Koncentrationen af en forurening i luften i et rum er givet ved et reduceret udtryk af fortyndingsligningen:

$$c_{rum} = \frac{m}{n \cdot V_{rum}} (1 - e^{-n\tau})$$

hvor

c_{rum} er forureningskoncentrationen i rumluften

m er tilførslen af forurening til rummet

n er rummets luftskifte

V_{rum} er rummets volumen

τ er tiden

Det er her forudsat, at koncentrationen i udeluften er 0. Efter lang tid ($\tau \rightarrow \infty$) ved konstant forureningsemission og konstant udelufttilførsel vil den stationære tilstand, ligevægtstilstanden, være givet ved:

$$c_{rum} = \frac{m}{n \cdot V_{rum}} = \frac{m}{q_{rum}}$$

hvor

q_{rum} er volumenstrømmen af udeluft, som tilføres rummet

Sættes en luftrenser ind i rummet, og antages det, at koncentrationen ved luftrenserens afkast er 0, vil koncentrationen i rumluften ved ligevægtstilstanden være givet ved:

$$c_{rum,0} = \frac{m}{q_{rum} + q_{renser}}$$

hvor

$c_{rum,0}$ er forureningskoncentrationen i rummet med luftrenser

q_{renser} er volumenstrømmen gennem luftrenseren.

Udtrykket kan omformes til:

$$c_{rum,0} = \frac{m}{\left(1 + \frac{q_{renser}}{q_{rum}}\right) \cdot q_{rum}} = \frac{1}{\left(1 + \frac{q_{renser}}{q_{rum}}\right)} \cdot \frac{m}{q_{rum}} = k \cdot \frac{m}{q_{rum}} = k \cdot c_{rum}$$

hvor

$$k = \frac{1}{\left(1 + \frac{q_{renser}}{q_{rum}}\right)}$$

Faktoren k udtrykker forholdet mellem forureningskoncentrationen i rummet henholdsvis med og uden luftrenser. Faktoren k er således et udtryk, for den indvirkning luftrenseren har på den resulterende forureningskoncentration i rummet. Eksempelvis, hvis volumenstrømmen gennem luftrenseren har samme størrelse som udelufttilførslen til rummet ($q_{renser} = q_{rum}$) vil faktoren k være 0,5, dvs. forholdet mellem forureningskoncentrationen i rummet med og uden luftrenser er 0,5. Koncentrationen vil således falde til det halve, ved at luftrenseren sættes i drift i rummet. På samme måde ses, at hvis volumenstrømmen gennem luftrenseren (q_{renser}) er væsentlig større end udelufttilførslen til rummet (q_{rum}), er faktoren k et lille tal, hvilket betyder, at der vil være stor forskel på forureningskoncentrationen med og uden luftrenser i rummet; dvs. luftrenseren vil have en stor indvirkning.

4.4 Undersøgelsesresultater

Ved undersøgelserne, som er gennemført i dette projekt, er volumenstrømmen gennem luftrenseren (q_{renser}) målt ved forskellige trin, og udelufttilførslen til forsøgsrummet (q_{rum}) er kendt. Det er hermed muligt at beregne faktoren k for de gennemførte forsøg, samt den teoretiske ligevægtskoncentration i forsøgsrummet og den teoretiske relative reduktion i tetrachlorethylenkoncentrationen afhængig af volumenstrømmen gennem luftrenseren. Beregningsresultaterne er vist i Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Teoretisk ligevægtskoncentration og relativ reduktion af tetrachlorethylenkoncentrationen i forsøgsrummet

Trin	Volumenstrøm gennem luftrenseren, q_{renser} [m ³ /h]	Udelufttilførsel til forsøgsrummet, q_{rum} [m ³ /h]	Faktor, k [-]	Teoretisk ligevægtskoncentration, $c_{rum,0}$ ($c_{rum} = 230 \mu\text{g}/\text{m}^3$) [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Teoretisk relativ reduktion [pct]
1	69	25	0,27	61,2	73,4
2	77	25	0,25	56,4	75,5
3	86	25	0,23	51,8	77,5
4	92	25	0,21	49,2	78,6
5	95	25	0,21	47,9	79,2
6	98	25	0,20	46,8	79,7
7	101	25	0,20	45,6	80,2
8	104	25	0,19	44,6	80,6
9	108	25	0,19	43,2	81,2
9,5	109	25	0,19	42,9	81,3

Målingerne af volumenstrømmen gennem luftrenseren afhængig af omdrejningsregulatorens indstilling viser en meget flad kurve (se Figur 3.3, side 24), hvilket betyder, at regulering af omløbstallet kun medfører mindre ændringer i volumenstrømmen. Ved undersøgelsen med lave koncentrationer i forsøgsrummet (jf. afsnit 3.5, side 26) har det været muligt at registrere ændringer i den resulterende ligevægtskoncentration med ventilatoren på trin 1, 2 og 3. Med regulatoren på trin 4 - 9,5 registreredes ikke med sikkerhed yderligere fald i ligevægtskoncentrationen. Måleresultaterne for trin 1, 2 og 3 er vist i Tabel 4.2. I tabellen er målt relativ reduktion sammenlignet med de førnævnte teoretiske relative reduktioner, og det ses, at i gennemsnit er den målte relative reduktion i størrelsesordenen 4 pct. lavere end den teoretiske.

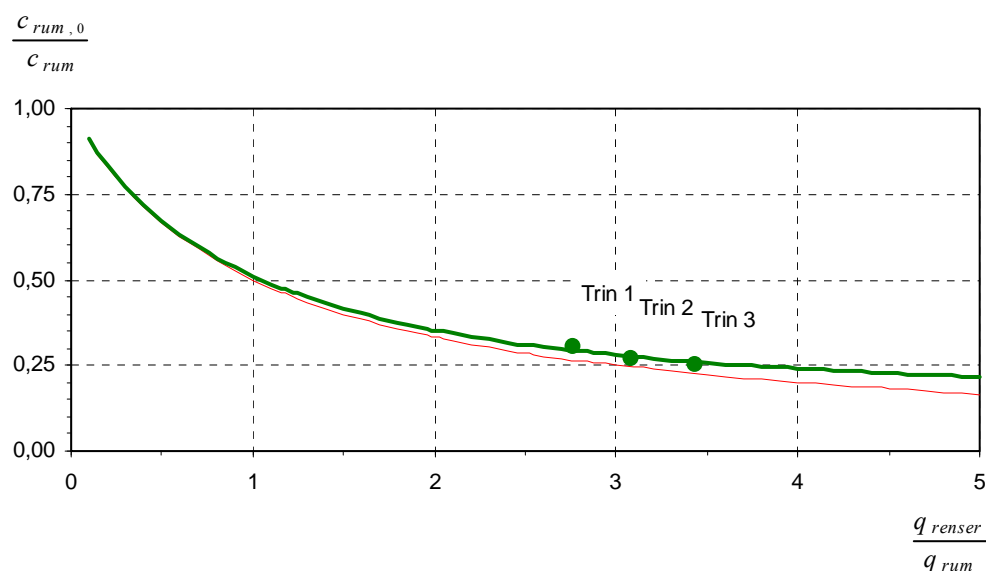
Den konstaterede forskel mellem teoretisk og målt relativ reduktion er så lille, at det ikke kan afvises, at forskellen skyldes almindelig måleusikkerhed.

Tabel 4.2 Målt og teoretisk relativ reduktion af koncentrationen i forsøgsrummet

Trin	Volumenstrøm gennem luftrensere, $q_{rensere}$ [m ³ /h]	Målt relativ reduktion [pct.]	$q_{rensere}/q_{rum}$ ($q_{rum} = 25 \text{ m}^3/\text{h}$) [-]	Teoretisk relativ reduktion [pct.]	Forskel teoretisk/målt relativ reduktion [pct.]
1	69	69,6	2,8	73,4	5,2
2	77	73,0	3,1	75,5	3,2
3	86	74,8	3,4	77,5	3,5

4.5 Luftrensersens effekt

Faktoren k udtrykker luftrensersens indflydelse på det tilsyneladende luftskifte og dermed på den resulterende forureningskoncentration i rummet. I Figur 4.1 er vist to kurver, hvor forholdet mellem koncentrationen i rummet med og uden luftrensere er afbildet som funktion af forholdet mellem luftstrømmen gennem luftrenseren og udelufttilførslen til rummet. Den tynde, røde kurve viser den teoretiske sammenhæng, mens den kraftige, grønne kurve er semiempirisk estimeret på grundlag af måleresultaterne.



Figur 4.1 Forholdet mellem koncentrationen i rummet henholdsvis med luftrensere i drift ($c_{rum,0}$) og uden luftrensere i drift (c_{rum}) som funktion af forholdet mellem volumenstrømmen gennem luftrenseren ($q_{rensere}$) og udelufttilførslen til rummet (q_{rum}). Den tynde, røde kurve er teoretisk sammenhæng, mens den kraftige, grønne kurve er semiempirisk estimeret på grundlag af de viste måleresultater (punkter).

Af figuren ses fx, at hvis volumenstrømmen gennem luftrenseren ($q_{rensere}$) er 3 gange så stor som udelufttilførslen til rummet (q_{rum}), vil forholdet mellem $c_{rum,0}$ og c_{rum} teoretisk være 0,25, svarende til at ligevægtskoncentrationen i rummet bliver ca. 25 pct. af initialkoncentrationen, dvs. koncentrationen i rumluften før luftrenseren sættes i drift. Resultatet af målingen med omdrejningsregulatoren på luftrenseren på trin 2, hvor forholdet mellem volumenstrømmen gennem luftrenseren og udelufttilførslen til rummet er 3,1, viser en ligevægtskoncentration på $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ svarende til 27 pct. af $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$, som var initialkoncentrationen. Principielt bør den kraftige, grønne kurve i Figur 4.1 anvendes, men ved praktisk brug af figuren er der ingen forskel på de to kurver.

Af Figur 4.1 ses desuden, at jo større forholdet er mellem volumenstrømmen gennem luftrenseren og udelufttilførslen til rummet (q_{renser}/q_{rum}), desto større vil reduktionen være. Forholdet q_{renser}/q_{rum} kan forøges ved at (1) øge q_{renser} og/eller (2) sænke q_{rum} .

- ad 1 I sin nuværende udformning kan ventilatoren i luftrenseren højst yde ca. $110 \text{ m}^3/\text{h}$, som derfor er grænsen for forøgelse af q_{renser} .
- ad 2 En forøgelse af forholdet q_{renser}/q_{rum} gennem en sænkning af q_{rum} vil ikke medføre en lavere resulterende forureningskoncentration i rummet. Som det fremgår af det reducerede udtryk af fortyndingsligningen side 32, vil en sænkning af udelufttilførslen til rummet (q_{rum}) medføre en tilsvarende stigning i forureningskoncentrationen i rummet (c_{rum}). Når luftrenseren sættes i drift, vil resultatet være en større relativ reduktion, men der opnås ikke en sænkning af den resulterende forureningskoncentration i rummet ($c_{rum,0}$). I praksis vil det derfor ikke være ønskeligt at øge forholdet q_{renser}/q_{rum} gennem en sænkning af q_{rum} .

Ovennævnte model er efterprøvet med udgangspunkt i resultaterne af undersøgelserne ved lave koncentrationsniveauer, se afsnit 3.5, side 26. Udgangspunktet er valgt, fordi koncentrationerne i forsøgsrummet ved undersøgelserne har været på et realistisk niveau, og fordi målingerne af koncentrationer er gennemført ved anvendelse af MIMS, membran inlet massespektrometri. Instrumentet har en lav detektionsgrænse, $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, og er samtidig i stand til specifikt at detektere tetrachlorethylen. Koncentrationsmålingerne ved undersøgelserne ved høje koncentrationsniveauer, se afsnit 3.4, side 24, er gennemført ved anvendelse af Innova gasanalysator type 1312, som både har en højere detektionsgrænse end MIMS og er mindre selektiv. Instrumentet er blandt andet følsomt overfor gasser som metan, der findes i udeluften, og som ikke adsorberes i kulfiltret. Den lavere følsomhed viser sig også ved, at det ved undersøgelserne ikke har været muligt med sikkerhed at konstatere ændringer i rensningseffekten afhængig af volumenstrømmen gennem luftrenserens kulfilter.

4.6 Adsorptionskapacitet

Generelt afhænger et kulfilters adsorptionskapacitet foruden tryk og temperatur af den koncentration, som filtret udsættes for. Ved en given forureningskoncentration i rummet opstår der en ligevægtstilstand i kulfiltret, hvor filtret både optager og afgiver forurening i lige store mængder. Ved en ligevægtstilstand har kulfiltret ingen indflydelse på forureningskoncentrationen i rummet. Mængden af adsorberet forurening ved en ligevægtstilstand kan udtrykkes som en procentdel af kulfiltrets vægt. Procentdelen stiger ved stigende koncentration i rummet.

Ved forsøget, hvor kulfiltret blev udsat for en ekstraordinær høj koncentration, blev luftrenseren anbragt i en stålkasse sammen med en tetrachlorethylenkilde. Af Figur 3.10 og Figur 3.11, side 29 ses, at kulfiltret adsorberer tetrachlorethylen i de første døgn af forsøget, hvorefter koncentrationen i stålkassen begynder at tiltage kraftigere, dvs. kulfiltrets evne til at adsorbere forurening aftager. Antages det, at der er nået en ligevægtstilstand i kulfiltret omkring den 11.-12. september, hvor koncentrationen begynder at stige, vil kulfiltret på dette tidspunkt optage og afgive tetrachlorethylen med samme

rate. Kulfiltret har derfor ingen indflydelse på koncentrationen i kassen. Der afgives fortsat tetrachlorethylen fra kilden, og koncentrationen i stålkassen vil derfor begynde at stige. Da kulfiltrets evne til at adsorbere stiger med stigende koncentration i stålkassen, bevirker koncentrationsstigningen, at kulfiltret på ny adsorberer tetrachlorethylen. Kort efter indtræder en ny ligevægtstilstand i kulfiltret (kulfiltret optager og afgiver tetrachlorethylen med samme rate) og koncentrationen i stålkassen begynder igen at stige. Principielt vil dette forløb fortsætte, indtil tetrachlorethylenkoncentrationen i stålkassen er i ligevægt med ventilationen i stålkassen, dvs. den koncentration som ville være opnået, hvis kulfiltret ikke befandt sig i stålkassen.

Udsættes det nu stærkt forurenede kulfilter for en lavere tetrachlorethylenkoncentration, vil filtret afgive tetrachlorethylen til rumluften. Dette ses af det efterfølgende forsøg, se Figur 3.12, side 30.

En bestemmelse af det aktuelt anvendte kulfilters adsorptionskapacitet over for tetrachlorethylen som funktion af koncentrationen i rumluften forudsætter særlige undersøgelser, som ikke er gennemført i dette projekt. Generelt for kulfiltre, og ved koncentrationer lavere end 1 ppm kan adsorptionskapaciteten anslås til typisk at være i størrelsesordenen under 10 procent af kulfiltrets vægt. Det undersøgte kulfilter er oplyst til at indeholde ca. 4 kg kul. Antages det, at kulfiltret i praksis vil blive udsat for koncentrationer omkring 1 mg/m^3 (0,15 ppm), og antages forsigtigvis en adsorptionskapacitet på 5 procent af filtrets vægt, kan kulfiltrets levetid anslås til ca. 2700 timer (~4 mdr.) ved kontinuerlig drift og ved en volumenstrøm gennem luftrenseren på $75 \text{ m}^3/\text{h}$ ($(4000 \text{ g} \cdot 5\%)/(0,001 \text{ g/m}^3 \cdot 75 \text{ m}^3/\text{h})$).

1 Feltmålinger i 6 boliger

Dette bilag redegør for erfaringer og resultater af før- og eftermålinger i 6 boliger, hvor luftrensere har været anvendt. Bilaget er en gengivelse af et notat udarbejdet af Jacob Jensen, Skude & Jacobsen Rådgivende Ingeniører A/S, som har stået for målingerne. Målingerne i boligerne er gennemført forud for og uafhængig af hovedrapportens laboratorieundersøgelser, og målingerne er gennemført uden deltagelse af Statens Byggeforskningsinstitut.

1.1 Evaluering af luftrensere

Med fokus på tetrachlorethylen skal der i dette afsnit redegøres for erfaringer og resultater fra udførte før- og eftermålinger i boliger, hvor der, som følge af en konstateret uacceptabel påvirkning af indeklimaet fra en nærtliggende forurening med chlorerede opløsningsmidler, er opsat luftrensere indendørs, som en midlertidig, akut afværgeforanstaltning.

Storstrøms Amt har i perioden 2001-2003 udført indledende undersøgelser på 50 lokaliteter med tidligere eller nuværende renserivirksomhed. Af disse blev der på 6 lokaliteter registreret så høje koncentrationer af tetrachlorethylen i indeluft, at der blev opsat en eller flere luftrensere i beboelseslejligheder på adresserne.

Adresserne på de 6 lokaliteter med tidligere eller nuværende renserivirksomhed fremgår af Tabel A 1 nedenfor, hvoraf endvidere fremgår de 17 beboelseslejligheder, hvor der er konstateret så høje indhold i indeluften, at der er opsat luftrensere.

Tabel A 1. Adresser med opsatte luftrensere. Storstrøms Amt 2001-2003.

Adresse med Renserivirksomhed	Berørte adresser	Luftrensere opsat	
Østergade 12, Næstved	Østergade 12 B, kld., th.	21. december 2001	
	Østergade 12 B, st. th.	21. december 2001	
	Østergade 12 B, st. tv.	21. marts 2002	
	Østergade 12 B, 1. th.	31. januar 2002	
	Østergade 12 B, 1. mf.	31. januar 2002	
	Østergade 12 B, 1. tv.	31. januar 2002	
	Østergade 12 B, 2. th.	21. marts 2002	
	Østergade 12 B, 2. mf.	21. marts 2002	
	Østergade 12 B, 2. tv.	21. marts 2002	
	Østergade 12 B, 3. th.	21. marts 2002	
	Østergade 12 B, 3. tv.	21. marts 2002	
	Algade 28, Vordingborg	Algade 26 B, 1. sal	27. juni 2002
	Algade 66, Vordingborg	Algade 66, 1. sal	27. juni 2002
Storegade 71, Stege	Storegade 71 A, st. tv.	Marts 2003	
	Storegade 71 B, tv. (1. sal)	Marts 2003	
Nygade 14, Nakskov	Nygade 14, 1. sal	20. november 2002	
Vejlegade 52, Nakskov	Vejlegade 52, 1. sal	11. oktober 2002	

For Østergade 12 B, Næstved, gælder det, at der fortsat er renserivirksomhed i forhuset Østergade 12 A. Tilsvarende er der renserivirksomhed på Algade 28, Vordingborg, nabo til Algade 26. Det kan på baggrund af videregående undersøgelser på Algade 26-28 ikke afvises, at koncentrationen i indeluft på Algade 26 i måleperioden har været påvirket af luftafkastet fra det igangværende renseri på naboejendommen.

Storstrøms Amts skema over drift af luftrensere Østergade 12 B er vist i Tabel A 2.

Tabel A 2. Luftrensere Østergade 12B, Næstved

Placering	Dato: 21. December 2001		Dato: 31. Januar 2002		Dato: 8. Februar 2002		Dato: 8. Februar 2002	
	Timetæller (h)	Luftskifte (m ³ /h)	Timetæller (h)	Luftskifte (m ³ /h)	Timetæller (h)	Luftskifte (m ³ /h)	Timetæller (h)	Luftskifte (m ³ /h)
Kælderrum	1706,19	200	2693,79	200				
th Køkken	1715,21	114			2888,53	114	3,03	162
th Stue/soveværelse	1704,77	114			2878,21	114	2,93	150
tv Soveværelse								
Stuen th. Soveværelse (6)	1695,89	50	2684,24	60		30		
Stuen (4)	1681,25	60	2669,16	60				
Spisestuen lille værelse* (5)	1534,59	60	2422,47	60				
Stuen tv. Stuen (17)								
Spisestuen (18)								
1. th. Spisestuen (1)			3,91	60				
Stuen (2)			0,7	60				
1. mf. Stuen (7)			1,32	60				
1.tv. Stuen (3)			1,33	60				
2. th Spisestue (8)								
Stue (9)								
2. mf. Stue								
2. tv. Stue (15)								
Spisestue (16)								
3. th. Stue (10)								
Spisestue (11)								
Mindre opholdsstue (12)								
3. tv. Stuen (13)								
Værelse (14)								

* Fra den 21. dec. 2001 til den 31. jan. 2002 har der været placeret en luftrenser i det lille værelse. Den 31. jan. 2002 er luftrenseren flyttet til spisestuen.

Den 31. januar 2002 er luftrensere i stuen th. udskiftet. Kulfilter skiftet i luftrenseren i kælderrummet.

Den 8. februar 2002 er luftrensere i kælderlejligheden udskiftet.

Den 18. april 2002 er luftrenseren i den mindre opholdsstue 3 th. fjernet.

Tabel A 2 fortsættes på næste side.

Tabel A 2 fortsat

Placering		Dato: 21. Marts 2002		Dato: 18. April 2002		Dato: 7. maj 2002		Dato: 4. Juni 2002	
		Timetæller (h)	Luftskifte (m ³ /h)	Timetæller (h)	Luftskifte (m ³ /h)	Timetæller (h)	Luftskifte (m ³ /h)	Timetæller (h)	Luftskifte (m ³ /h)
Kælder	Kælderrum	3869,66							
th	Køkken	990,32	65					2710,26	
th	Stue/soveværelse	990,1	60					2712,26	
tv	Soveværelse							667,68	60
Stuen th.	Soveværelse (6)	1170,14	40	1835,36		2289,74	100		
	Stuen (4)	1173,66	60	1838,24		2292,76	100		
	Spisestuen lille værelse* (5)	25,02	60	690,22		1144,62	94		
Stuen tv.	Stuen (17)	1,59	60						
	Spisestuen (18)	2,51	60						
1. th.	Spisetuen (1)	1180,41	60						
	Stuen (2)	1176,38	60						
1. mf.	Stuen (7)	1177,23	60						
1.tv.	Stuen (3)	1177,46	60						
2. th	Spisestue (8)	0,76	60						
	Stue (9)	0,73	60						
2. mf.	Stue	1,53	60						
2. tv.	Stue (15)	1,15	60						
	Spisestue (16)	1,03	50						
3. th.	Stue (10)	2,3	60	669,62	60	669,62	60		
	Spisestue (11)	1,45	60	664,12	60	664,12	60		
	Mindre opholdsstue (12)	0,98	50	667,58		667,58	Fjernet		
3. tv.	Stuen (13)	0,73	60						
	Værelse (14)	0,78	60						

* Fra den 21. dec. 2001 til den 31. jan. 2002 har der været placeret en luftrenser i det lille værelse. Den 31. jan. 2002 er luftrenseren flyttet til spisestuen.

Den 31. januar 2002 er luftrensere i stuen th. udskiftet. Kulfilter skiftet i luftrenseren i kælderrummet.

Den 8. februar 2002 er luftrensere i kælderlejligheden udskiftet.

Den 18. april 2002 er luftrenseren i den mindre opholdsstue 3 th. fjernet.

Tabel A 3 på næste side angiver, for hver enkelt adresse, oplysninger om lokalet, hvor målingen er foretaget, målt udeluftreferencen samt måleperioder med tilhørende koncentrationer af tetrachlorethylen og trichlorethylen. Desuden fremgår dato for, hvornår og hvor mange luftrensere der er opsat. Hvor ikke andet er angivet, er opsamling af indeluft sket ved passiv opsamling over en periode på 1-2 uger på ATD-rør, som efterfølgende er analyseret ved akkrediteret laboratorium for indhold af tetrachlorethylen (PCE) og trichlorethylen (TCE).

Table A 3. Luftrensere Østergade 12B, Næstved.

Adresse	Lejlighed	Rum-funktion	Rum-areal m ²	Rum-højde m	Rum-vol. m ³	Udeluftreference			Analyseresultater for luftrensere		
						Dato	PCE µg/m ³	TCE µg/m ³	Dato	PCE µg/m ³	TCE µg/m ³
Østergade 12 B	Kældert.	Køkken/alrum	16	2,4	38	10.01.02	9,00	<0,1	30.10.01	1600	0,1
						23.01.02			13.11.01 ⁴⁾		
Østergade 12 B	St. th.	Stue	30	2,7	81	10.01.02 23.01.02	9,00	<0,1	18.12.01 ¹⁾	660	0,4
Østergade 12 B	St. tv.	Soveværelse	16	2,5	40	10.01.02 23.01.02	9,00	<0,1	18.02.02 25.02.02	180	0,1
Østergade 12 B	1. th.	Stue	47,5	2,6	124	10.01.02 23.01.02	9,00	<0,1	28.12.01 10.01.02 ²⁾	1100	0,1
Østergade 12 B	1. mf.	Stue	20	2,6	52	10.01.02 23.01.02	9,00	<0,1	28.12.01 10.01.02 ²⁾	140	0,1
Østergade 12 B	1. tv.	Stue	17	2,6	43	10.01.02 23.01.02	9,00	<0,1	28.12.01 10.01.02 ²⁾	87	0,1
Østergade 12 B	2. th.	Stue	26	2,6	68	10.01.02 23.01.02	9,00	<0,1	11.02.02 18.02.02	150	0,1
Østergade 12 B	2. mf.	Stue	19	2,5	48	10.01.02 23.01.02	9,00	<0,1	11.02.02 18.02.02	110	0,1
Østergade 12 B	2. tv.	Stue	25	2,5	63	10.01.02 23.01.02	9,00	<0,1	11.02.02 18.02.02	130	0,1
Østergade 12 B	3. th.	Stue	24	2,5	60	10.01.02 23.01.02	9,00	<0,1	11.02.02 18.02.02	160	0,1
Østergade 12 B	3. tv.	Stue	23	2,5	58	10.01.02 23.01.02	9,00	<0,1	11.02.02 18.02.02	260	0,1
Vejlegade 52	1. sal	Stue	48	2,9	140	11.09.02 25.09.02	12,00	0,10	11.09.02 25.09.02	5200	17
Nygade 14	1. sal	Stue	27	2,4	65	10.10.02 25.10.02	1,2	2,10	10.10.02 25.10.02	5,6	93
Algade 26 B	1. sal, vær. 3	(Sove-) værelse	14	2,5	35	05.04.02 19.04.02	0,19	0,16	05.04.02 19.04.02	200	5,5
Algade 66	1. sal	Stue	27	2,2	60	18.04.02 02.05.02	0,31	<0,1	18.04.02 02.05.02	92	7,7
Storegade 71A	st. tv.	Køkken/alrum	32	3,5	112	09.10.02 23.10.02	3,0	0,59	12.11.02 26.11.02	130	3,7
Storegade 71B	tv.	Stue (1. sal)	22	1,85-2,35	44	09.10.02 23.10.02	3,0	0,59	09.10.02 23.10.02	86	2,2

¹⁾ Opsamling på kulrør, 100 minutter.

²⁾ Rensetøj i måleperioden.

³⁾ Ej gennemført samme sted.

⁴⁾ Der er målt >1600 µg/m³.

⁵⁾ Værdierne er gennemsnit af analyseresultater mellem 950-1200 µg PCE/m³ og 1,5-1,7 µg TCE/m³.

Table A 3 fortsættes på næste side.

Table A 3 continued.

Adresse	Lejlighed	Luftrenser opsat	Antal luftrensere i lejligheden	Volumen-strøm m ³ /h	Kontrolmåling I			Kontrolmåling II		
					Dato	PCE µg/m ³	TCE µg/m ³	Dato	PCE µg/m ³	TCE µg/m ³
Østergade 12 B	Kælder th.	21.12.01	2	65-162	10.01.02 - 23.01.02	74	0,13	05.04.02 - 16.04.02	150	0,3
Østergade 12 B	St. th.	21.12.01	3	60-84	10.01.02 - 23.01.02	370	0,38	18.02.02 - 25.02.02	420	0,21
Østergade 12 B	St. tv.	21.03.02	2	60						
Østergade 12 B	1. th.	31.01.02	2	60	25.02.02 - 20.03.02	200	0,32			
Østergade 12 B	1. mf.	31.01.02	1	60	18.02.02 - 27.02.02	8,7	0,1			
Østergade 12 B	1. tv.	31.01.02	1	60						
Østergade 12 B	2. th.	21.03.02	2	60						
Østergade 12 B	2. mf.	21.03.02	1	60						
Østergade 12 B	2. tv.	21.03.02	2	60						
Østergade 12 B	3. th.	21.03.02	3	60						
Østergade 12 B	3. tv.	21.03.02	2	60						
Vejlegade 52	1. sal	11.10.02	2	60	13.02.03 - 27.02.03 ³⁾	1100	1,6			
Nygade 14	1. sal	20.11.02	2	60	13.02.03 - 27.02.03	3,7	24	1,2	17	
Algade 26 B	1. sal, vær. 3	27.06.02	1	60	09.12.02 - 19.12.02	160	0,12			
Algade 66	1. sal	27.06.02	2	60	10.01.03 - 28.01.03	53	3,4			
Storegade 71A	st. tv.	Formentlig marts 2003	1	-	³⁾	-	-			
Storegade 71B	tv.	Formentlig marts 2003	1	-	³⁾	-	-			

¹⁾ Opsamling på kulrør, 100 minutter.

²⁾ Rensetøj i måleperioden.

³⁾ Ej genmålt samme sted.

⁴⁾ Der er målt >1600 µg/m³.

⁵⁾ Værdierne er gennemsnit af analyseresultater mellem 950-1200 µg PCE/m³ og 1,5-1,7 µg TCE/m³.

Table A 4 summarizes the data sets from the addresses, where measurements of the concentration in indoor air before and after setting up air purifiers, and which constitute the actual basis for this section. As it goes, there are related data sets for a total of 8 addresses.

Tabel A 4. Sammenfatning af datasæt fra de adresser, hvor der er foretaget målinger i indeluften før og efter opsætning af luftrensere.

Adresse	Lejlighed	Udeluftreference		Analyseresultater før luftrensere			Luftrenser opsat	Kontrolmåling I			
		Dato	PCE µg/m ³	TCE µg/m ³	Dato	PCE µg/m ³		TCE µg/m ³	Dato	PCE µg/m ³	TCE µg/m ³
Østergade 12 B	Kælder th.	10.01.02 - 23.01.02	9,00	<0,1	30.10.01 - 13.11.01 ⁴⁾	1600	0,1	21.12.01	10.01.02 - 23.01.02	74	0,13
Østergade 12 B	St. th.	10.01.02 - 23.01.02	9,00	<0,1	18.12.01 ¹⁾	660	0,4	21.12.01	10.01.02 - 23.01.02	370	0,38
Østergade 12 B	1. th.	10.01.02 - 23.01.02	9,00	<0,1	28.12.01 - 10.01.02 ²⁾	1100	0,1	31.01.02	25.02.02 - 20.03.02	200	0,32
Østergade 12 B	1. mf.	10.01.02 - 23.01.02	9,00	<0,1	28.12.01 - 10.01.02 ²⁾	140	0,1	31.01.02	18.02.02 - 27.02.02	8,7	0,1
Vejlegade 52	1. sal	11.09.02 - 25.09.02	12,00	0,10	11.09.02 - 25.09.02	5200	17	11.10.02	13.02.03 - 27.02.03 ⁵⁾	1100	1,6
Nygade 14	1. sal	10.10.02 - 25.10.02	1,2	2,10	10.10.02 - 25.10.02	5,6	93	20.11.02	13.02.03 - 27.02.03	3,7	24
Algade 26 B	1. sal, vær. 3	05.04.02 - 19.04.02	0,19	0,16	05.04.02 - 19.04.02	200	5,5	27.06.02	09.12.02 - 19.12.02	160	0,12
Algade 66	1. sal	18.04.02 - 02.05.02	0,31	<0,1	18.04.02 - 02.05.02	92	7,7	27.06.02	10.01.03 - 28.01.03	53	3,4

¹⁾ Opsamling på kulrør, 100 minutter.

²⁾ Rensetøj i måleperioden.

³⁾ Ej genmålt samme sted.

⁴⁾ Der er målt >1600 µg/m³.

⁵⁾ Værdierne er gennemsnit af analyseresultater mellem 950-1200 µg PCE/m³ og 1,5-1,7 µg TCE/m³.

⁶⁾ 1. måling er højere end 2. måling

Tabel A 4 fortsat

Adresse	Lejlighed	Kontrolmåling II		Reduktion i % (mål. før/kontrol I)		Reduktion i % (mål. før/kontrol II)		Reduktion i % (kontrol I/kontrol II)		
		Dato	PCE µg/m ³	TCE µg/m ³	PCE- reduktion	TCE- reduktion	PCE- reduktion	TCE- reduktion	PCE- reduktion	TCE- reduktion
Østergade 12 B	Kælder th.	05.04.02 - 16.04.02	150	0,3	95	⁶⁾	91	⁶⁾	⁶⁾	⁶⁾
Østergade 12 B	St. th.	18.02.02 - 25.02.02	420	0,21	44	5	36	48	⁶⁾	45
Østergade 12 B	1. th.				82					
Østergade 12 B	1. mf.				94	0				
Vejlegade 52	1. sal				79	91				
Nygade 14	1. sal		1,2	17	34	74	79	82	68	29
Algade 26 B	1. sal, vær. 3				20	98				
Algade 66	1. sal				42	56				

¹⁾ Opsamling på kulrør, 100 minutter.

²⁾ Rensetøj i måleperioden.

³⁾ Ej genmålt samme sted.

⁴⁾ Der er målt >1600 µg/m³.

⁵⁾ Værdierne er gennemsnit af analyseresultater mellem 950-1200 µg PCE/m³ og 1,5-1,7 µg TCE/m³.

⁶⁾ 1. måling er højere end 2. måling

Da der ikke er foretaget kontrolmåling efter opsætning af luftrensere på adresserne på Storegade 71, Stege, samt på Østergade 12 B, 2. og 3. sal, er det ikke muligt at vurdere effekten af luftrensere på disse steder. Hovedtendenser for de enkelte adresser, hvor der er foretaget kontrolmåling(er) fremdrages i Tabel A 5 nedenfor.

Tabel A 5. Sammenfatning af datasæt fra 8 adresser hvor der er foretaget målinger af koncentrationen i indeluften før og efter opsætning af luftrensere.

Adresse	Resultater
Østergade 12 B, kld., th.	Ved den første måling konstateres et indhold af PCE på >1600 µg/m ³ . Under drift af luftrensere med en volumenstrøm gennem luftrenseren på 114 m ³ /h måles ved 1. kontrolmåling 74 µg PCE/m ³ . Efter neddrøsling til 65 m ³ /h måles et indhold på 150 µg/m ³ . TCE-indholdet er på konstant niveau (0,1-0,3 µg/m ³) i hele perioden.
Østergade 12 B, st. th.	Ved den første måling konstateres et indhold af PCE på 660 µg/m ³ . Under drift af luftrensere måles ved 1. kontrolmåling 370 µg PCE/m ³ og ved 2. kontrolmåling 420 µg PCE/m ³ . Volumenstrøm gennem luftrenseren har i perioden konstant været 60 m ³ /h, men er efterfølgende sat op til 84 m ³ /h. Der findes ikke kontrolmålinger med den øgede volumenstrøm. TCE-indholdet er på konstant niveau (0,2-0,4 µg/m ³) i hele perioden.
Østergade 12 B, 1. th.	Ved den første måling konstateres et indhold af PCE på 1100 µg/m ³ (muligvis påvirket af rensesøj i måleperioden). Under drift af luftrensere måles 200 µg PCE/m ³ . Volumenstrøm gennem luftrenseren har konstant været 60 m ³ /h. Der ses stort set ingen effekt på TCE-indholdet (0,1-0,3 µg/m ³).
Østergade 12 B, 1. mf.	Ved den første måling konstateres et indhold af PCE på 140 µg/m ³ . Under drift af luftrensere måles 8,7 µg PCE/m ³ . Volumenstrøm gennem luftrenseren har konstant været 60 m ³ /h. TCE-indholdet er på samme niveau (0,1 µg/m ³) i hele perioden.
Vejlegade 52, 1. sal	Ved den første måling konstateres et indhold af PCE på 5200 µg/m ³ og af TCE på 17 µg/m ³ . Under drift af luftrensere måles 1100 µg PCE/m ³ henholdsvis 1,6 µg TCE/m ³ . Volumenstrøm gennem luftrenseren har konstant været 60 m ³ /h.
Nygade 14, 1. sal	Ved første måling konstateres indhold af PCE på 5,6 µg/m ³ og af TCE på 93 µg/m ³ . Under drift af luftrensere måles ved 1. kontrolmåling 3,7 µg PCE/m ³ henholdsvis 24 µg TCE/m ³ . Ved 2. kontrolmåling er der sket en yderligere reduktion til henholdsvis 1,2 µg PCE/m ³ og 17 µg TCE/m ³ . Volumenstrøm gennem luftrenseren har konstant været 60 m ³ /h.
Algade 26 B, 1. sal	Ved den første måling konstateres et indhold af PCE på 200 µg/m ³ og af TCE på 5,5 µg/m ³ . Under drift af luftrensere måles 160 µg PCE/m ³ henholdsvis 0,12 µg TCE/m ³ . Volumenstrøm gennem luftrenseren har konstant været 60 m ³ /h.
Algade 66, 1. sal	Ved den første måling konstateres et indhold af PCE på 92 µg/m ³ og af TCE på 7,7 µg/m ³ . Under drift af luftrensere måles 53 µg PCE/m ³ henholdsvis 3,4 µg TCE/m ³ . Volumenstrøm gennem luftrenseren har konstant været 60 m ³ /h.

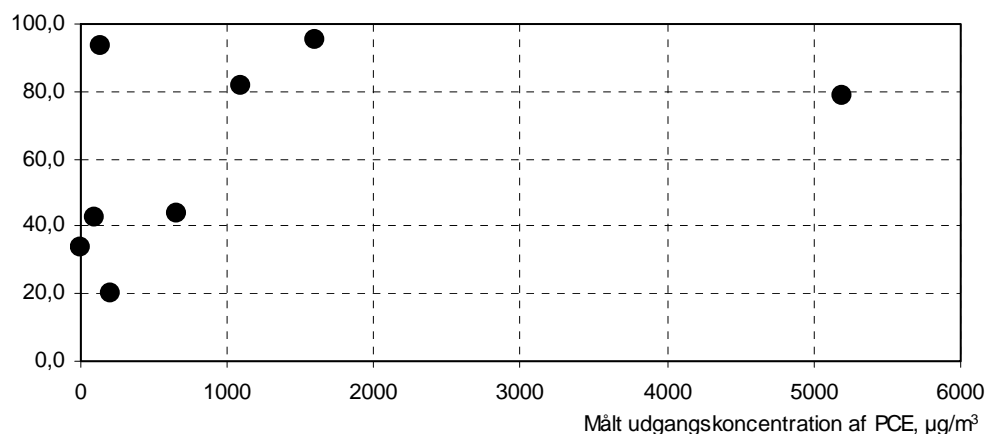
Den generelle tendens er et fald i såvel PCE- som TCE-koncentration gældende for målingen før opsætning af luftrensere i forhold til både kontrolmåling I og II. Der kan således påvises en effekt, som må tilskrives de opsatte luftrensere. Eneste undtagelse herfor er TCE-indholdet på Østergade 12 B, hvor de påviste indhold af TCE dog er meget små (lige over detektionsgrænsen) og derfor kan siges at være konstant i perioden og altså uden effekt af luftrenseren.

Der ses ingen generelle tendenser med hensyn til effekt afhængigt af udgangskoncentration, hvilket er søgt anskueliggjort på Figur A 1 og Figur A 2 nedenfor. Der er for hver adresse beregnet den %-vise reduktion i PCE-koncentration. Perioden mellem før-målingen og første kontrolmåling har varieret fra 1-7 måneder.

Figur A 1 viser plot af udgangskoncentration for PCE sammenholdt med den beregnede %-vise reduktion ved kontrolmåling I, mens det i Figur A 2 er valgt at indsætte den %-vise beregnede reduktion ved kontrolmåling II, hvor en sådan måling findes.

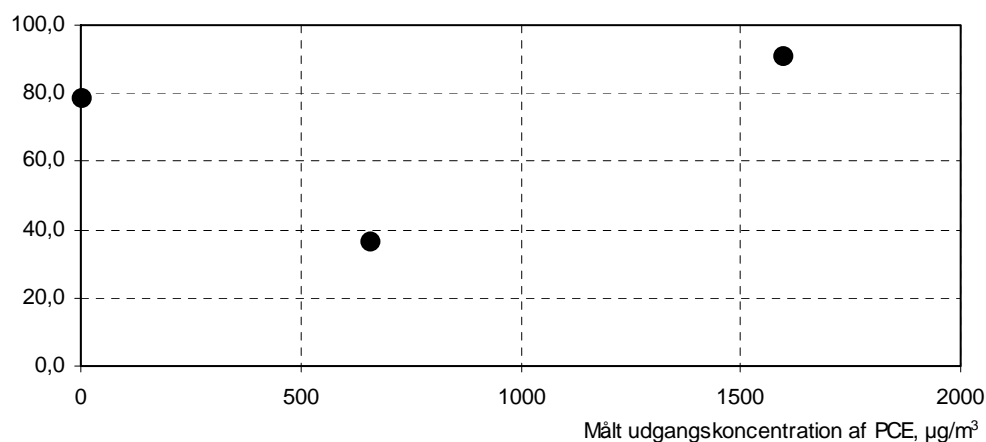
For Østergade 12 B, kælder th., foreligger der resultater af kontrolmålinger både før og efter en regulering af luftrensens ydelse. Der er fra den 21. december 2001 startet ud med en volumenstrøm på 114 m³/h, som er opreguleret den 8. februar 2002 og siden neddroset til 65 m³/h den 21. marts 2002. Målinger af PCE-koncentrationen i samme periode viser, at koncentrationen falder efter indsætning af luftrensere med høj volumenstrøm, og at koncentrationen stiger efter neddrogning af volumenstrømmen.

Beregnet reduktion i %
(udg. konc./konc. kontrolmåling I)



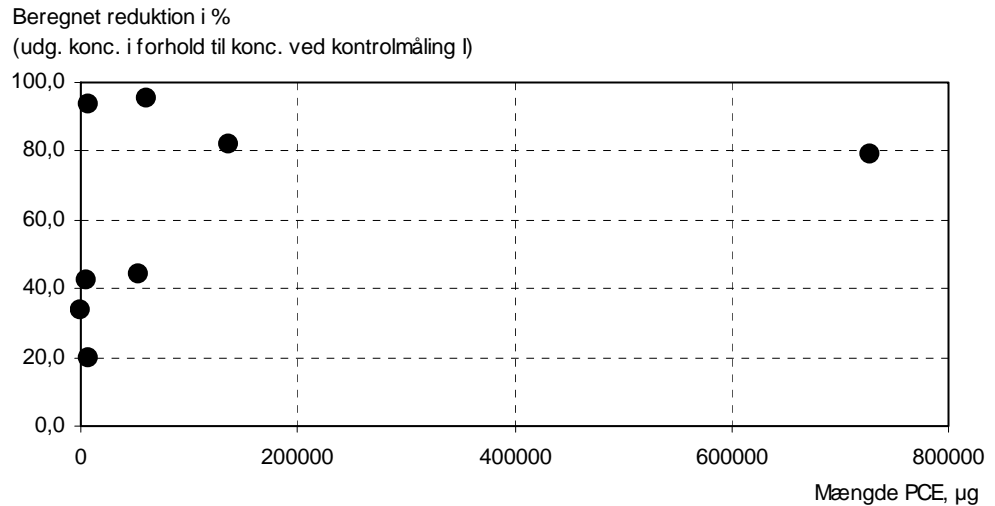
Figur A 1. Reduktion i procent, kontrolmåling I.

Beregnet reduktion i %
(udg. konc./konc. kontrolmåling II)



Figur A 2. Reduktion i procent, kontrolmåling II.

For at tilvejebringe et grundlag for en vurdering af effektens eventuelle sammenhæng med rumstørrelse/samlet forureningsmængde er der på Figur A 3 indtegnet samhörende værdier mellem mængden af PCE i rummet (beregnet som rumvolumen gange den målte koncentration) og den tidligere beregnede %-vise reduktion. Der fremstår ingen sammenhæng.



Figur A 3. Reduktion i procent i forhold til mængde PCE i udgangssituationen.

Da forureningsundersøgelserne er udført som indledende undersøgelser med det formål at påvise og lokalisere en eventuel forurening på de aktuelle lokaliteter, er forureningens kildestyrke og emissionsrate ikke bestemt, og det har ligget uden for rammerne for udarbejdelsen af dette afsnit at påvise disse. Der er derfor ikke foretaget vurdering af en eventuel effekt afhængigt af kildestyrke og emissionsrate.

Det er ikke forsøgt at vurdere effekten afhængigt af de klimatiske forhold, da datagrundlaget for denne vurdering ikke foreligger. Da opsamlingen af indeluft som nævnt er foretaget over en længevarende periode (fortrinsvis 2 uger) vurderes de klimatiske variationer dog ikke at have en væsentlig indflydelse på måleresultaterne.

Det kan sammenfattende siges, at der kan påvises en effekt af opsætning af luftrensere i beboelsesenheder udsat for en uacceptabel påvirkning med tetrachlorethylen. Dog er det for ingen af de undersøgte lokaliteter lykkedes at nedbringe koncentrationen til under afdampningskriteriet. En vurdering af sammenhængene mellem luftrensernes effekt og de ydre omstændigheder har på det foreliggende grundlag ikke kunnet foretages.

En sådan vurdering ville bl.a. kunne inddrage:

- Viden om forureningens kildestyrke og emissionsrate
- Viden om spredningsveje i bygninger
- Luftskeftemålinger før og efter installering af luftrensere
- Måling af bidrag fra en eventuel sinkeffekt.