

Miljøprojekt Nr. 673 2002

Dokumentation af sinkeffekter for tetrachlorethylen

Dorte Glensvig
Kampsax A/S

Peter Mortensen
MILJØ-KEMI Dansk Miljøcenter 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

INDHOLD	3
FORORD	5
RESUMÉ	7
ENGLISH SUMMARY	9
1 PROJEKTETS BAGGRUND OG FORMÅL	11
1.1 BAGGRUND	11
1.2 FORMÅL	11
2 BESKRIVELSE AF PROJEKTETS INDHOLD OG LÆSEVEJLEDNING	13
3 INTRODUKTION TIL SINK-BEGREBET	15
3.1 HVAD ER SINKEFFEKTER ?	15
3.2 HVORFOR ER DET NØDVENDIGT AT SE PÅ SINKEFFEKTEN ?	16
3.3 HVILKE STOFFER UDVISER SINKEFFEKTER ?	17
3.4 MASSEBALANCE FOR BYGNING MED SINKS	18
3.4.1 <i>Bestemmelse af størrelsen af sorptionsratekonstanter, k_a og k_d</i>	20
3.4.2 <i>Adsorption/desorption i et tidligt perspektiv</i>	23
3.4.3 <i>Betydningen af luftskifte, relativ fugtighed og luftkoncentrationer</i>	25
3.4.4 <i>Opsummering - sinkeffekter</i>	25
4 FASE 1: UDVÆLGELSE AF EGNEDE MÅLELOKALITETER	27
4.1 KRAV TIL EGNEDE LOKALITETER	27
4.2 METODIK FOR UDVÆLGELSE AF EGNEDE LOKALITETER	27
4.3 LOKALITET 1: BEBOELSESPAVILLON TIDLIGERE ANVENDT TIL IND- OG UDLEVERING AF RENSET TEKSTIL	28
4.3.1 <i>Kildestyrke under ind- og udlevering i pavillon</i>	28
4.3.2 <i>Pavillonens udformning</i>	28
4.3.3 <i>Eksterne bidrag under målingerne</i>	29
4.3.4 <i>Vurdering af mulighederne for at eliminere øvrige bidrag</i>	30
4.4 LOKALITET 2: NEDLAGT RENSERI I BEBOELSESETAGEEJENDOM	30
4.4.1 <i>Beboelsejendom med renseridrift fra 1968 til 2001</i>	30
4.4.2 <i>Kildestyrke under driften af renseriet</i>	32
4.4.3 <i>Interne kilder til forurening i lejligheden</i>	33
4.4.4 <i>Eksterne kilder til forurening i nærområdet af lokaliteten</i>	33
4.4.5 <i>Vurdering af mulighederne for at eliminere øvrige bidrag</i>	34
4.4.6 <i>Tekniske tiltag til afskæring af evt. bidrag fra jord- og grundvandsforurening</i>	34
5 FASE 2 – MÅLING AF SINKBIDRAG	37
5.1 BESKRIVELSE AF GENNEMFØRTE MÅLINGER	37
5.1.1 <i>Lokalitet 1</i>	37
5.1.2 <i>Lokalitet 2</i>	38
5.2 RESULTATER AF MÅLINGER	40
5.2.1 <i>Lokalitet 1</i>	40

5.2.2	Lokalitet 2	41
5.3	DISKUSSION AF RESULTATER	42
5.3.1	Lokalitet 1	42
5.3.2	Lokalitet 2	45
6	FASE 3 - MODELLERING AF MÅLTE INDEKLIMAKONCENTRATIONER	47
6.1	MODELLERING FOR PAVILLON – LOKALITET 1	47
6.1.1	Model - lokalitet 1	47
6.1.2	Beregninger	48
6.2	MODELLERING FOR LEJLIGHED – LOKALITET 2	50
6.2.1	Model	50
6.2.2	Beregninger	50
6.3	MODELLERING AF ANDRE SITUATIONER	53
6.3.1	Betydningen af større kildestyrke i adsorptionsfasen	53
6.3.2	Modellering af rumkoncentration for tidligere renserilokaler	54
7	DISKUSSION	57
7.1	SINKBIDRAG	57
7.2	MATEMATISK BESKRIVELSE AF SINKEFFEKTEN	57
7.3	HVOR OPKONCENTRERES TETRACHLORETHYLEN I BYGNINGEN ?	58
7.4	SINKEFFEKTENS BETYDNING I RELATION TIL KONTROL AF RENSERIER I DRIFT	58
7.5	SINKEFFEKTENS BETYDNING I RELATION TIL NEDLAGTE RENSERIER	59
7.6	SINKEFFEKTENS BETYDNING I RELATION TIL VURDERING AF JORD- OG GRUNDVANDSFORURENING	59
7.7	ANVENDELSE AF ADMINISTRATIVE GRÆNSEVÆRDIER FOR BIDRAGET FRA RENSERI TIL BOLIGER	60
7.8	HVORNÅR KAN DET ANTAGES, AT BOLIGEN ER UPÅVIRKET AF DRIFT AF RENSERI, SINKEFFEKT MM. VED FJERNELSE AF ALLE KILDER TIL FORURENING ?	60
7.9	SINKPROBLEMATIK FOR ANDRE BRANCHER OG STOFTYPER	61
7.10	BEHOV FOR YDERLIGERE VIDEN OM SINKEFFEKTEN	61
8	KONKLUSION	63
9	FORKORTELSER	65
10	REFERENCER	67

Bilag:

- Bilag 1: Spørgeskema Kommune (lokalitet 1)
- Bilag 2: Spørgeskema beboer (lokalitet 2)
- Bilag 3: Metodebeskrivelse ATD-rør
- Bilag 4: Metodebeskrivelse materialeprøver (gips, mursten og puds)
- Bilag 5: Metodebeskrivelse materialeprøver (smør og olie)
- Bilag 6: Metodebeskrivelse klimakammertest
- Bilag 7: Måleresultater pavillonmålinger
- Bilag 8: Metodebeskrivelse luftskiftmålinger
- Bilag 9: Resultater luftskiftmålinger
- Bilag 10: Registrerende temperaturmålinger i pavillon

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 MILJØ-KEMI, Dansk Miljøcenter A/S og Kampsax A/S. Disse er:

MILJØ-KEMI, Dansk Miljøcenter A/S: Peter Mortensen, Søren Brødsgaard, Niels Haunsø, Michael Petersen og Kim Skals

Kampsax A/S: Dorte Glensvig, Jesper A. Jacobsen, Gerald Hyde, Rudi Zeidler og Lars Bo Christensen, idet sidstnævnte har gennemført intern kvalitetskontrol på projektrapporten.

Projektet har været afhængig af at få adgang til egnede målelokaliteter. Der skal derfor rettes en særlig tak til de tre sjællandske renseriejere og beboere, som har stillet deres lokaler og bolig til rådighed for projektet og været behjælpelig med besvarelse af spørgsmål m.m. Endvidere skal der rettes en tak til Lyngby-Taarbæk Kommune, Søllerød Kommune, Glostrup Kommune og Brøndby Kommune samt til Dansk Maskinpark, som har stillet parkeringsareal til rådighed for den anvendte pavillon.

Nærværende projekt har været fulgt af en følgegruppe bestående af:

- Lisbet Heerfordt, Miljøstyrelsen og formand for følgegruppen
- Preben Bruun, Miljøstyrelsen
- Finn Juel Andersen, Miljøstyrelsen
- Erik Thomsen, Miljøstyrelsen
- Elle Laursen, Sundhedsstyrelsen
- Ove Nielsen, Erhvervs- og Boligstyrelsen
- Arne Scheel Thomsen, Embedslægeinstitutionen for Københavns Amt
- Peter Mortensen, MILJØ-KEMI, Dansk Miljøcenter A/S, og
- Dorte Glensvig, Kampsax A/S

Projektets primære målgruppe er Miljøstyrelsen og de kommuner, der forvalter kontrollen med renserier i drift. Projektets resultater vil endvidere have interesse for danske amter, rådgivningsfirmaer, embedslægeinstitutionerne, Sundhedsstyrelsen, Erhvervs- og Boligstyrelsen samt andre, der varetager forvaltning eller rådgivning i relation til forurening.

Resumé

Nærværende projekt har haft til mål at belyse sinkeeffekten¹ i forbindelse med renserier og omkringliggende boliger.

Udvælgelse af målelokalteter

Til formålet blev der identificeret 2 lokaliteter.

”Lokalitet 1” var en pavillon, der i 6 måneder havde været anvendt som ind- og udleveringssted for tetrachlorethylen-renset tekstil. Det rensede tekstil og øvrigt interiør blev fjernet umiddelbart før målingerne blev igangsat.

I en ældre beboelsesejendom i 3-etager blev ”Lokalitet 2” identificeret. Lokalitet 2 bestod af kælder, tidligere renserilokaler i stueetagen og en 1-sals beboelseslejlighed over renseriet.

Tilstedeværelse af sinkeeffekter

Målingerne viste tilstedeværelse af en sinkeeffekt på begge lokaliteter: Der kunne konstateres indeklimakoncentrationer af tetrachlorethylen, som overskred luftkvalitetskriteriet i lokalitet 1 og 2 hhv. ca. 40 dage og mere end 1 år efter at renseriaktiviteten var nedlagt. Der var således en langvarig og betydelig afgivelse af tetrachlorethylen fra byggematerialerne på begge lokaliteter.

Modelberegninger ved hjælp af IAQX 1.0 modellen indikerer, at når der gennem en periode har været en væsentlig påvirkning af en bygning med forureningskomponenter fra renseridrift, vil sinkeeffekter forekomme. Sinkeeffekten betyder, at selv måneder/år efter at driften af renseriet er afsluttet, kan der måles forurening i indeklimaet i koncentrationer over luftkvalitetskriteriet.

Opkoncentration af forurening på materialer

Ud fra de foretagne målinger og erfaringer fra litteraturen kan det konstateres, at det ikke alene er den forureningskoncentration, som lokalerne er blevet eksponeret med, der har betydning for desorptionens længde. Også sinkmaterialernes beskaffenhed har betydning for mængden af forureningskomponenter, der kan adsorberes. Eksempelvis kan bygningsdele som mursten og beton generelt adsorbere større mængder end gipspladser og træ. Indeholder materialerne en organisk eller fedtbaseret fase, vil det også øge adsorptionen. Det kan ud fra resultaterne konkluderes, at fedtrige fødevarer er gode sorbenter (sinks).

Problemstillinger

Sinkeeffekten implicerer en række problemstilling i relation til bl.a.

- planlægning af kontrolmålinger i renserier efter tekniske tiltag til begrænsning af emissionen af tetrachlorethylen

¹ Sinkeeffekt kommer af engelsk og oversættes bedst depoteffekt. Ordet sink-effekt er velkendt inden for bl.a. laboratorieverdenen og i rapporten er betegnelsen sinkeeffekt derfor benyttet. Sinkeeffekten er i denne sammenhæng materialers evne til at adsorbere kemiske stoffer. Sinkmaterialerne kommer ved denne proces til at virke som depoter for forurening.

- tolkning af indeklimalinger og målinger af poreluftskoncentrationer under forurenede bygningsdele

Sinkeffekter må også forventes for andre miljøfremmede stoffer. Det betyder, at lignende effekter kan forventes for en lang række af de miljøfremmede stoffer, der anvendes i såvel boliger som småindustrier, som er placeret i boligområder, fx benzin- og dieseludsalg, farvehandlere, autolakerier og -mekanikere.

Behov for yderligere viden om sinkeffekten

Tilstedeværelsen af sinkeffekter betyder, at man ved tolkning af måleresultater i boliger, herunder vurderinger af risici, skal udvise forsigtighed og i videst muligt omfang medtage sinkeffekten i vurderingen. En forsvarlig vurdering af sinkeffektens betydning vil dog kræve, at der gennemføres yderligere fuldskalaundersøgelser og at der fastlægges principper for undersøgelser og risikovurderinger med inddragelse af sinkeffekten.

English Summary

The purpose of the project has been to illustrate the sink effect² in connection with dry-cleaning establishments and surrounding habitations.

Selection of Localities for Measurements

For this purpose two localities were identified.

“Locality 1” was a pavilion, which for the past six months had been used as a place to hand in and pick-up tetrachloroethylene-cleaned textiles. The cleaned textiles and the remaining interior were removed immediately before the measurements were initiated.

“Locality 2” was found in an old three-storied apartment building. Locality 2 consisted of a basement, a ground floor with former dry-cleaning premises and an apartment flat on the first floor right above the dry-cleaning establishment.

Presence of Sink Effect

Measurements showed that there was a sink effect at both Localities. Concentrations of tetrachloroethylene in the indoor air exceeding criteria for air quality were found in Locality 1 and 2, respectively 40 days and more than one year after the cleaning activity had ceased. Thus, there was a long and significant desorption of tetrachloroethylene from the building materials on both premises.

Calculations made by means of the EAQX 1.0 model indicate that when a building has been affected by contaminants from dry-cleaning activities for a period of time, a sink effect will appear. This sink effect means that even months or years after the dry-cleaning activities have ceased, contamination of the indoor air exceeding the criteria for air quality can be measured.

Increase of Contamination on Sink Materials

From the measurements carried out and from the literature it can be established that the concentration of pollution that the building has been exposed to is not the only factor that is important for the length of the desorption. Also, the nature of the sink materials influences the amount of contaminants that can be absorbed. For example, building parts as bricks and concrete can generally absorb greater amounts of contaminants than plasterboard and wood. If the materials contain an organic or fat based phase this will also increase the absorption. From the results, it can be concluded that fatty food-stuffs are good sinks.

² The phrase sink effect is well-known within the laboratory world and is therefore used in this report. The phrase in this connection refers to the capability of the materials to adsorb and desorb chemical substances. Sink materials will act as reservoirs for contamination.

Problems

The sink effect implicates that several problems can occur in relation to among other things:

The planning of control measurements in dry-cleaning establishments after technical initiatives to reduce the emission of tetrachloroethylene
Interpretations of measurements of the indoor air quality and measurements of soil gas concentrations under sections of polluted building.

The sink effect can also be expected for other environmentally hazardous substances. Consequently, similar adsorption and desorption can be expected for many of the environmentally hazardous materials used in both housing and small industries in the housing areas e.g. gas stations, paint dealers, car painters and mechanics.

The Need for further Knowledge about the Sink Effect

The presence of sink effect means that caution must be exercised when the results of the measurements in housing including the assessments of risks are interpreted. Furthermore, the sink effect must be included in the estimate to the greatest possible extent.

A proper estimate of the influence of the sink effect will however require further full-scale investigations, and principles for investigations and risk assessments should include the sink effect.

1 Projektets baggrund og formål

1.1 Baggrund

I forbindelse med en lang række undersøgelser af renseriers påvirkning af tilstødende boliger, kom der forøget fokus på problematikkerne omkring utilsigtet spredning af tetrachlorethylen til boligmiljøet.

Miljøstyrelsen valgte derfor at igangsætte en række projekter til afdækning af disse problematikker og løsningsmuligheder. I miljøprojektet til dokumentation af interne og eksterne kilder til tetrachlorethylen (Miljøstyrelsen 2001a), blev opmærksomheden henledt på sinkeffekter. Sinkeffekter er i denne sammenhæng bygningens og interiørets evne til at adsorbere og desorbere tetrachlorethylen til indeklimaet.

Den 23. august 2001 afholdtes derfor et møde med deltagelse fra Miljøstyrelsen, Kampsax A/S og MILJØ-KEMI, Dansk Miljø Center A/S. På mødet blev den mulige problematik omkring sinkeffekten for tetrachlorethylen i nedlagte renserier og overliggende boliger diskuteret, og rammerne for nærværende projekt blev fastlagt.

Ved efterfølgende telefoniske drøftelser den 27. august 2001 med Lisbet Heerfordt, Miljøstyrelsen, er yderligere tilpasninger aftalt. Miljøstyrelsens ønske til projektet er således en hurtig og oversigtlig belysning af sinkeffektens betydning i nedlagte renserier og overliggende lejligheder. Undersøgelserne skal munde ud i en vurdering af, hvorvidt effekten giver anledning til et stort eller et lille bidrag af tetrachlorethylen i indeklimaet samt en vurdering af, hvor lang tid afdampningen fra sinks tager.

1.2 Formål

Formålet med nærværende projekt er

- hurtigt og oversigtligt at belyse sinkeffektens betydning i nedlagte renserier og overliggende lejligheder, herunder at foretage
 - en overordnet vurdering af, hvorvidt sinkeffekten giver anledning til et stort eller et lille bidrag af tetrachlorethylen til indeklimaet i det tidligere renserilokale og i de overliggende boliger, samt
 - en vurdering af tidsforløbet for sinkeffekten.

Såvel i ovenstående tekst, som i resten af rapporten, skal der med "renseri" forstås renseri, der anvender tetrachlorethylen i produktionen, hvad enten det er som rensevæske, tilsætnings- eller hjælpestof eller som pletrens.

2 Beskrivelse af projektets indhold og læsevejledning

Da sinkeffekter og disses betydning i relation til miljømæssige – herunder indeklimamæssige sammenhænge – er et forholdsvist nyt område, er der i afsnit 3 foretaget en introduktion til sink-begrebet med henvisninger til yderligere baggrundsmateriale, såvel for tetrachlorethylen som for andre udvalgte stoffer.

Dette projekt, består af følgende delprojekter:

- **Fase 1: Udvælgelse af egnede målelokalteter**
Til brug for projektet blev der identificeret en række egnede målesteder til bestemmelse af bidrag fra sinks. For at kunne adskille sinkbidrag fra eventuelle øvrige bidrag af tetrachlorethylen i indeklimaet, blev der opstillet en række betingelser til målestederne. Disse betingelser vedrørte bl.a. beboernes brug af tekstilrensning, tidspunktet hvor renseriet blev nedlagt samt boligens placering i forhold til andre forureningskilder.

Metodikken for udvælgelsen af egnede målesteder samt en beskrivelse af de udvalgte målesteder fremgår af afsnit 4.

- **Fase 2: Måling af bidrag fra sinks**
På de udvalgte målesteder blev der gennemført måling for tetrachlorethylen i rumluften som udtryk for bidraget fra sinks i bygningsdele eller interiør. Da måling af denne type sinks forudsætter, at øvrige bidrag f.eks. fra rensede tekstil og evt. jord- og grundvandsforurening er elimineret, blev der foretaget en række tekniske tiltag før og under målingerne. Med henblik på at belyse sinkeffekten i et tidsligt perspektiv, blev det foretaget målinger i såvel et nyligt nedlagt ind- og udleveringssted som i et renseri, der blev nedlagt flere måneder før målingerne blev iværksat.

Der henvises til afsnit 5.

- **Fase 3: Modellering af sinkbidrag**
Måledata fra de udvalgte lokaliteter anvendes i forskellige modelleringer med henblik på at belyse indeklimakoncentrationen af tetrachlorethylen i forskellige situationer.

Der henvises til afsnit 6.

I afsnit 7 er de samlede resultater diskuteret. De samlede konklusioner er opsummeret i afsnit 8.

3 Introduktion til sink-begrebet

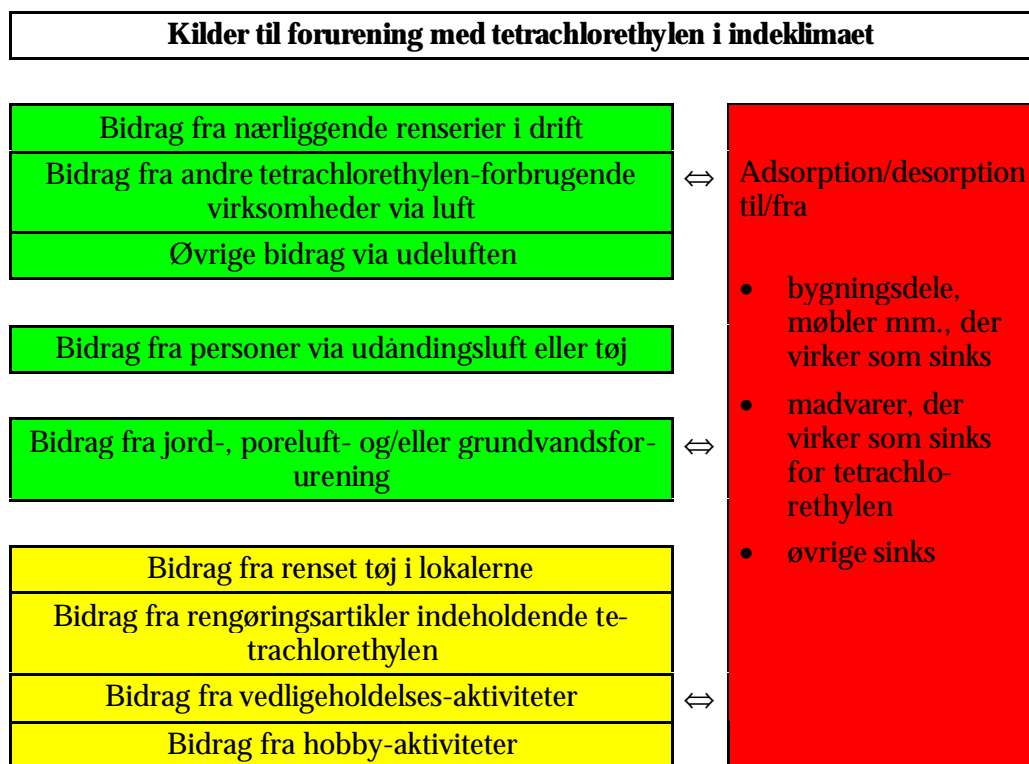
I det følgende introduceres teorien bag sinkeeffekten. Det skal bemærkes, at kun et begrænset antal af de gennemgæede undersøgelser omhandler tetrachlorethylen, og det er derfor valgt at medtage undersøgelser af sinkeeffekten for andre stoffer, som kan medvirke til at belyse sinkeeffektens karakter i almindelighed.

3.1 Hvad er sinkeeffekter ?

Via litteraturstudier bl.a. foretaget i Miljøstyrelsens projekt "Dokumentation af interne og eksterne kilder til tetrachlorethylen" (Miljøstyrelsen 2001a) kan det konstateres, at der er flere kilder, der kan bidrage til indeklimakoncentrationen af tetrachlorethylen i lejligheder beliggende i nærheden af renserier.

Disse kilder er opsummeret i nedenstående figur 3.1:

Figur 3.1: Kilder til forurening med tetrachlorethylen i indeklimaet i boliger. Bemærk: størrelsen af kassen er ikke et udtryk for størrelsen af forureningskil den.



Med hensyn til bidrag fra rengøringsartikler samt vedligeholdelses- og hobbyartikler, jf. figur 3.1 skal det bemærkes, at der iflg. Miljøstyrelsens oplysninger ikke er produkter, der indeholder tetrachlorethylen i handlen i Danmark.

Ved sinks forstås i denne sammenhæng materialer, der kan adsorbere tetrachlorethylen for senere at afgive stoffet igen til luften. Processen adsorption/desorption på sinks kaldes også sinkeffekten.

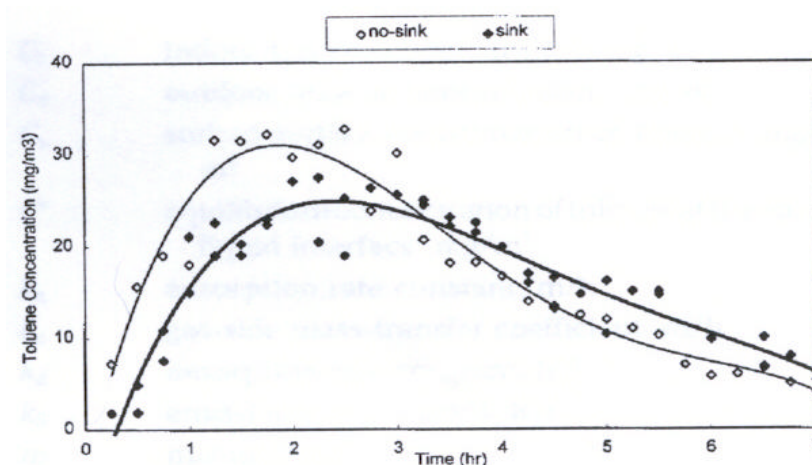
Betragter man koncentrationen af tetrachlorethylen i indeklimaet på et givet tidspunkt vil den afhænge af følgende 3 typer af kilder:

1. bidrag fra eksterne kilder (markeret med grøn i tabel 3.1)
2. bidrag som skyldes beboerens selvvalgte handlinger (markeret med gul i tabel 3.1)
3. og bidrag, der skyldes at de ovennævnte bidrag adsorberes på for senere at desorberes fra sinks til luften (markeret med rød i tabel 3.1)

Mængden af tetrachlorethylen, der samlet er tilført indeklimaet udgøres af ovenstående punkt 1 og 2, mens punkt 3 – sinkbidrag – i udgangspunktet hidrører fra punkterne 1 og 2, og alene giver anledning til en forsinket effekt af de i punkterne 1 og 2 nævnte bidrag.

Betydningen af tilstedeværelsen af sinks for luftkoncentrationen i et rum kan illustreres ved figur 3.2 herunder. Et lignende koncentrationsforløb er konstateret ved laboratorieundersøgelser af bl.a. Won et al. (2000), Meininghaus et al. (2000), Jørgensen et al. (1999) og Colombo et al. (1993).

Figur 3.2: Koncentrationen af toluen i forsøgskammer med og uden sinks. Punkterne angiver måleværdier, mens kurverne angiver modelerede værdier. Fra Bouhamra & Elkilani (1999a).



3.2 Hvorfor er det nødvendigt at se på sinkeffekten ?

Herunder er beskrevet en række problemstillinger som kompliceres af en eventuel sinkeffekt.

- Hvis man igangsætter driftsmæssige forbedringer i renseriet, og effekten af disse forbedringer overskygges af afgivelsen af tetrachlorethylen fra bygningsdele vil det kunne medføre forkerte beslutninger med risiko for unødige omkostninger for såvel renseriejer som for myndigheder, der skal forvalte området.

- Hvis man på en renserigrund konstaterer en jord- og grundvandsforurening med chlorerede opløsningsmidler, og fluxberegninger viser, at forureningen udgør en risiko for beboere i naboledigheder til renseriet, kan der på tilsvarende vis opstå en uklar situation. Sinkbidraget fra bygningen til boligen kan principielt være større end bidraget fra jord- og grundvandsforureningen og dermed kan der stilles spørgsmål til, hvilken af forureningerne, der først skal afværges af hensyn til arealanvendelsen.
- Det er ud fra historiske oplysninger skønnet, at der findes i størrelsesordenen 1000-2000 nedlagte renserier i Danmark. Er sinkeeffekten væsentlig og langvarig, kan dette betyde, at der er et overset sundhedsproblem for de beboere, som bor i ejendommene på nuværende tidspunkt.
- Undersøgelser af smør og fløde, der opbevares i køleskab i 5 boliger beliggende i nærheden af renserier, viser at tetrachlorethylen i løbet af få dage adsorberes i væsentligt omfang (i størrelsesordenen mg/kg fødevarer) (Reinhard et al., 1989). De samtidige målinger i indeluften i boligerne viste koncentrationer af tetrachlorethylen, der varierede mellem 3 og knap 2.300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Fødevarer kan således ud over at være en kilde til indtagelse af tetrachlorethylen, også udgøre en sinkfaktor i boligen.

Af hensyn til forvaltningen af renserier, herunder realistisk vurdering af måledata og fordeling af ansvar, er der således behov for at få klarlagt betydningen af sinkeeffekter. Det er med andre ord nødvendigt at kunne skelne tetrachlorethylenbidragene - jf. figur 3.1 - fra hinanden, alternativt have et kendskab til størrelsen og forløbet af de enkelte bidrag.

3.3 Hvilke stoffer udviser sinkeeffekter ?

Gulyas & Hemmerling (1990) foretog målinger af luftkvaliteten i kælder, trappegang og overliggende lejlighed før og efter, at renseriaktivitet blev afsluttet. Her fandt man, at koncentrationen af tetrachlorethylen i indeluften kun faldt langsomt. Forfatterne konkluderede, at man må forvente forhøjede indhold af tetrachlorethylen i indeluften som følge af forurenede bygningsmaterialer i lang tid efter, at renseriaktiviteten er stoppet.

I en undersøgelse af Bouhamra & Elkilani (1999b) blev forekomsten af benzen, toluen, xylener, styren, trimethylbenzen, butylbenzen, propylbenzen, dichlorethylen, trichlorethan, dichlorpropan, dibrommethan, chloroform, tetrachlorethan, tetrachlorethylen, chlortoluen, dichlorbenzen og fluorbenzen målt i indeklimaet i 20 kuwaitiske boliger. Ved at modellere på basis af forholdet mellem inde- og udeluftskoncentrationer af de pågældende stoffer blev det konkluderet, at alle de nævnte stoffer i varierende omfang udviste sinkeeffekter.

I en undersøgelse af Saarinen et al. (2000) konstaterede man, at stoffer som propandiol, dibutyl ether og glykolethere hydrerende fra maling adsorberes til porøse materialer som gips og spånplader, for først senere at desorberes til luften igen.

Der er således grund til at formode, at alle kemiske stoffer i den rette kombination med materialer udviser sinkeeffekter i et eller andet omfang. En model til beskrivelse af sinkeeffekten og dennes påvirkning af luftkvaliteten samt materiale- og stofspecifikke sorptionsdata fremgår af afsnit 3.4.

3.4 Massebalance for bygning med sinks

Forestiller man sig et rum med en række bygningsdele (loft, gulv, vægge mm.) og interiør (møbler, tæpper mm.), der kan virke som sinks, kan der opstilles en massebalance for hhv. rummet som helhed (ligning 1) og den enkelte sinkflade (ligning 2), under antagelse af en linieriseret Langmuir isoterm model. Langmuir modellen antager en homogen overflade med et monolag af molekyler, der udgør sorptionspladserne. Sorptionspladserne er hver især identiske og uafhængige. Modellen antager, at antallet af optagne sorptionspladser kun er en lille fraktion af de tilgængelige pladser og antager symmetri, således at adsorption og desorption efter modellen tager lige lang tid, se også Tichenor et al. (1991) og Kjær (1999):

Det antages i modellen

- at effekten af temperatur- og luftfugtighedsvariationer på ad- og desorptionen af tetrachlorethylen fra sinks er ubetydelige.
- at der ikke forekommer nedbrydning eller mekanisk fjernelse af tetrachlorethylen fra luft eller sinks.
- at luften i rummet og/eller boligen er totalopblandet.

(1) Massebalance for hele rummet med sinks

Ændring i masse = Masse tilført – masse fjernet

↓

Ændring i masse = Masse ind i rum – masse ud af rum – masse adsorberet på sink + masse desorberet fra sinks

↓

$$\frac{dC_i(t)}{dt} = \frac{Q}{V} C_o(t) - \frac{Q}{V} C_i(t) - \sum_1^n \frac{A_i}{V} k_{a,i} C_i(t) + \sum_1^n \frac{A_i}{V} k_{d,i} C_{s,i}(t)$$

(2) Massebalance over den i'te sinkflade

$$\frac{dC_{s,i}(t)}{dt} = k_{a,i} C_i(t) - k_{d,i} C_{s,i}(t) \quad i = 1, \dots, n$$

(3) En ligevægtskonstant k_e kan defineres som

$$k_e = \frac{k_{a,i}}{k_{d,i}}$$

hvor

A	er overfladearealet af sinkmaterialet, dvs. arealet af vægge, gulv og interiør, m ²
C _i (t)	er koncentrationen af stoffet i indeluften, mg/m ³
C _o (t)	er koncentrationen af stoffet i udeluften, mg/m ³
C _s (t)	er koncentrationen af stoffet på sinkmaterialet, mg/m ²
t	tiden, h
V	Volumen af rum eller bolig, m ³
Q	Luftflow gennem rum eller bolig, m ³ /h
N	Luftskiftet = Q/V, h ⁻¹
k _a	Adsorptionsratekonstant for sinkmaterialet m/h
k _s	Desorptionsratekonstant for sinkmaterialet, h ⁻¹
k _e	Ligevægtskonstant

Disse massebalancer er i struktur samstemmende med de anvendte massebalancer i bl.a. Tichenor et al. (1991), Won et al. (2000), Won et al. (2001), Guo (2000 og 2000a), Kjær (1999), Jørgensen et al. (1999) og Bouhamra & Elkilani (1999a).

Forestiller man sig, at der ud over sinks i boligen også findes andre kilder til forurening, f.eks. i rensede tekstiler, der emitterer tetrachlorethylen til luften, skal disse kilder også inddrages i massebalancen, ligning 1.

Det kan antages, at emissionen fra de rensede tekstiler kan beskrives som et første ordens henfald efter formlen:

(4)

$$R = \sum_1^n R_{0,i} e^{-k_i t}$$

hvor

R(t)	Emissionsraten for det i'te rensede tekstil til tiden t, µg/m ² h,
R _{0,i}	Initial emissionsrate for det i'te tekstil, µg/m ² h
k _i	Emissionsratekonstant for det i'te rensede tekstil, h ⁻¹

Dette led kan tilføjes til massebalancen ligning 1, idet ledet multipliceres med A_{tekstil,i}/V, hvor A_{tekstil,i} er arealet af det rensede tekstil.

Som det fremgår er der tale om sammenhørende differentiaalligninger og disse kan løses numerisk. Det har ikke været målet med nærværende projekt at gennemføre den numeriske løsning af ligningerne.

Der henvises til bl.a. Guo (2000a), der har udviklet et Windows-baseret program til simulering af indeklimakoncentrationer med inddragelse af bl.a. kildepåvirkninger, sinkeffekter, kemiske reaktioner samt fjernelse via filtrering af luft.

Der er lavet en række undersøgelser, som på forskellig vis sammenligner modelresultater med forsøgsresultater i laboratorium-skala eller fuld-skala (Bouhamra & Elkilani, 1999b; Won et al. 2001; Won et al. 2000).

Resultaterne viser typisk middel til god overensstemmelse mellem model og forsøg, idet det dog konstateres, at det kan være problematisk at overføre adsorptions- og desorptionsdata fra laboratorium-skala til fuld-skala (Won et al. 2001).

Der er undersøgelser, som anvender andre modeltyper. Bl.a. opstiller og tester Colombo et al. (1993) en model, der opdeler adsorptionsledet i en reversibel og irreversibel del.

3.4.1 Bestemmelse af størrelsen af sorptionsratekonstanter, k_a og k_d

Bouhamra & Elkilanis (1999b) førte en undersøgelse i 20 kuwaitiske boliger, som viste, at fjernelsesraten som følge af adsorption til sinks i boligerne varierede fra stofgruppe til stofgruppe, se også tabel 3.1. Bemærk, at der er tale om adsorptionsratekonstanter som et gennemsnit af alle sinks i boligerne, dvs. $k_{a, \text{hus}}$:

Tabel 3.1: Adsorptionsratekonstanter bestemt ved undersøgelser i 20 Kuwaitiske huse (Bouhamra & Elkilani, 1999b). R^2 er korrelationskoefficienten.

Komponentgruppe	Komponent	Adsorptionsratekonstant	
		$k_{a, \text{hus}}, \text{ m/h}$	R^2
Aromater	Benzen	0,45	0,78
	Toluen	0,73	0,74
	Xylener	0,77	0,66
	Styren	0,78	0,59
	Trimethylbenzen	0,80	0,76
	Butylbenzen	0,75	0,85
	Propylbenzen	0,71	0,68
Halogenerede alifater	Dichlorethylen	0,48	0,31
	Trichlorethan	0,96	0,62
	Dichlorpropan	0,42	0,74
	Dibrommethan	0,48	0,74
	Chloroform	0,87	0,88
	Tetrachlorethan	0,91	0,63
	Tetrachlorethylen	0,45	0,68
Halogenerede aromater	Chlortoluen	0,29	0,57
	Dichlorbenzen	0,32	0,72
	Fluorbenzen	0,20	0,52

Undersøgelsen omtalt i tabel 3.1 konkluderede, at adsorptionspotentialet var lavere for halogenerede alifater såsom tetrachlorethylen, end for aromater og halogenerede aromater, samt at en dobbeltbinding fører til lavere adsorptionsrate, selv for chlorerede kulbrinter såsom tetrachlorethylen og dichlorethylen.

Der blev i forsøget ikke foretaget bestemmelse af desorptionsratekonstanterne $k_{d, \text{hus}}$, idet desorptionsledet i ligning (1), dvs. ledet $\sum_1^n \frac{A}{V} k_{d,i} C_{s,i}^m(t)$, blev bestemt som én samlet værdi i forsøget.

Tichenor et al. (1991) foretog en række forsøg i laboratorium til bestemmelse af ratekonstanter for tetrachlorethylen og ethylbenzen (jf. ligning 1 og 2) for en række materialer. Resultaterne er gengivet i tabel 3.2.

Tabel 3.2: Adsorptions- og desorptionsratekonstanter for tetrachlorethylen og ethylbenzen på et udvalg af materialer bestemt i laboratorium ved 23° C. Efter Tichenor et al. (1991).

Materiale	Tetrachlorethylen		Ethylbenzen	
	k_s , m/h	k_d , h ⁻¹	k_s , m/h	k_d , h ⁻¹
Gulvtæppe	0,13	0,13	0,08	0,08
Vægplade	0,21	1,5	0,45	1,5
Loftsplade	0,10	0,61	0,24	0,59
Pude	0,03	0,1	0,004	0,016

Won et al. (2000) gennemførte en række laboratorieforsøg med adsorption af MTBE, cyclohexan, 2-propanol, toluen, tetrachlorethylen, ethylbenzen, o-dichlorbenzen og 1,2,4-trichlorbenzen på flere forskellige tæppetyper. Undersøgelsen viste god overensstemmelse mellem forsøg og en opstillet model, der har tilsvarende udseende som modellen i ligning 1 og 2. I forsøgene blev der konstateret stor variation i ad- og desorptionsratekonstanter for stofferne afhængig af tæppetype. Adsorptionsratekonstanter for toluen og tetrachlorethylen blev bestemt for i alt 6 forskellige tæppetyper og resultaterne er opsummeret af tabel 3.3.

Tabel 3.3: Adsorptions- og desorptionsratekonstanter for tetrachlorethylen og toluen bestemt ved laboratorieforsøg med i alt 6 forskellige tæppetyper. Efter Won et al. (2000).

Materiale	Tetrachlorethylen		Toluen	
	k_s , m/h	k_d , h ⁻¹	k_s , m/h	k_d , h ⁻¹
Gulvtæpper (6 forsøg)	0,16-0,45	0,17-0,47	0,11-0,49	0,16-0,65

Det er interessant at konstatere, at ad- og desorptionsratekonstanterne givet i tabel 3.1-3.3 er i samme størrelsesorden.

Won et al. (2001) gennemførte en række storskala laboratorieforsøg, hvor man bestemte sorptionsratekonstanter for toluen, ethylbenzen samt cyclohexan på tæpper (med og uden underliggende måtte), gipsplader (henholdsvis umalet og malet), trægulv samt vinylgulv. Resultaterne er opsummeret i tabel 3.4, idet gennemsnitsværdier af ratekonstanterne er angivet. Det skal bemærkes, at der for nogle af stof- og materialekombinationerne kunne konstateres standard afvigelser på mere end 30 gange gennemsnitsværdierne.

Tabel 3.4: Bestemmelse af gennemsnitlige sorptionsratekonstanter for cyclohexan (CH), toluen (TOL) og ethylbenzen (EB) for en række gulvbelægninger ved laboratorieforsøg (Won et al. 2001).

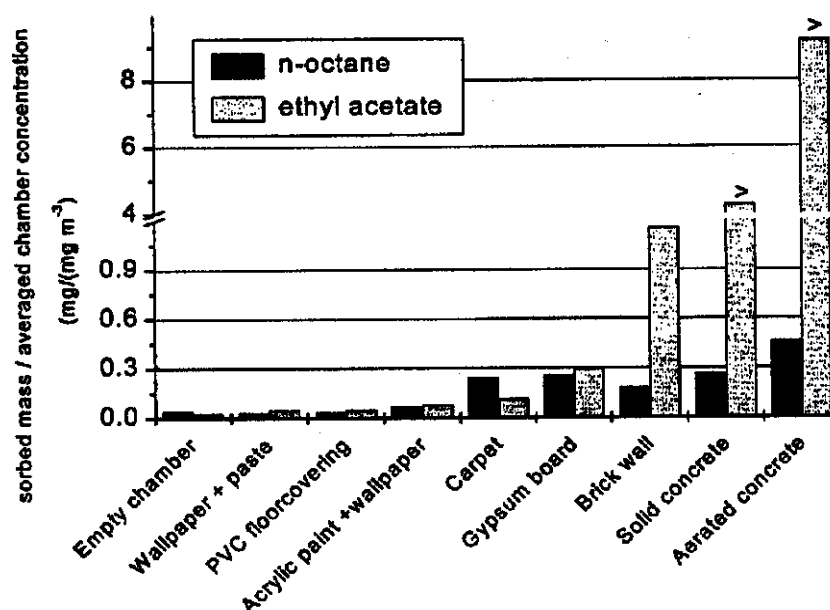
Materiale	Gennemsnitlig adsorptionsratekonstant, k_a , m/h			Gennemsnitlig desorptionsratekonstant k_d , h ⁻¹		
	CH	TOL	EB	CH	TOL	EB
Gulvtæppe med undermätte	1,6	1,6	1,5	0,89	0,89	0,39
Gulvtæppe uden undermätte	0,39	0,49	0,48	1,7	0,29	0,15
Gipsplade umalet	0	0,21	0,21	0	1,7	0,87
Gipsplade malet	0,009	0,1	0,073	0,18	0,6	0,27
Vinylgulv	0	0,090	0,062	0	0,66	0,22
Trægulv	0	0	0,005	0	0	0,008

Som det fremgår af tabel 3.4, viste forsøgene, at tæpper med undermätte er bedre adsorbenter end hhv. tæpper uden undermätte, gipsplader og de øvrige undersøgte gulvbelægninger i nævnte rækkefølge.

Meininghaus et al. (2000) gennemførte laboratorieforsøg, hvor adsorptionsratekonstanter for n-octan og ethylacetat blev bestemt for en række bygningsmaterialer. Resultaterne bekræftede i et vist omfang Won et al.'s (2000) rangering af materialerne, og yderligere kunne det konkluderes, at bygningsdele, såsom murstensvægge, beton og gasbeton, var bedre adsorbenter end de lettere bygningsdele, se også figur 3.3. Undersøgelsen viste, at materialerne havde en tilsvarende rangering hvad angår desorptionshastighed for de anførte stoffer.

Det skal bemærkes, at da der alene er tale om laboratorieforsøg, kan disse data kun med forsigtighed anvendes til vurdering af sinkeffekter i beboelsesejendomme.

Figur 3.3: Adsorberet masse på udvalgte materialer, normaliseret efter stofkoncentrationen i forsøgs-kammeret, hhv. n-octan og ethylacetat. Fra Meininghaus et al. (2000). (Bemærk knækket på x-aksen).



Forklaringen på forskellen mellem forskellige bygningsdeles adsorptionsevne hænger formodentlig sammen med, at porøse materialer som f.eks. gasbeton har et stort indre areal (indre porer), hvormed materialet reelt får et meget stort overfladeareal og dermed mange adsorptionspladser. Dette er samstemmende med konklusioner opnået af bl.a. Bouhamra & Elkilani (1999b). Andre undersøgelser viser, at organiske faser som f.eks. undermætter af gummi/plast eller fedt- og olieoverflader har et stort sorptionspotentiale, se også Won et al. (2001) og Reinhard et al. (1989).

3.4.2 Adsorption/desorption i et tidsligt perspektiv

En række undersøgelser har belyst den tidlige udvikling af hhv. adsorptionen og desorptionen. Tiden det tager, før adsorptionen har opnået ligevægt – dvs. at der ikke netto adsorberes mere stof på sinks, og tiden det tager før al adsorberet stof er netto-desorberet igen - afhænger bl.a. af sinkmaterialernes beskaffenhed og stoffernes egenskaber.

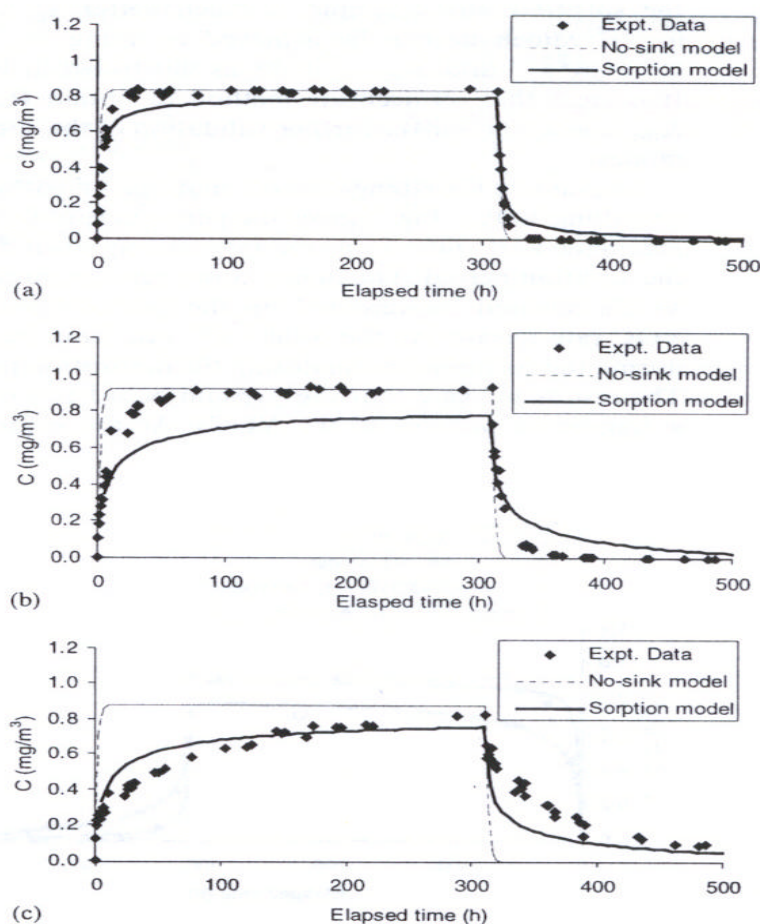
Meininghaus et al. (1999) konstaterede ved en række laboratorieforsøg, at ligevægt for adsorptionen af n-octan og ethylacetat indstiller sig i løbet af 25-60 timer ved koncentrationer omkring 15 mg/m³. Længst tid tog det for porøse materialer såsom mursten og gasbeton, mens ligevægt hurtigst blev opnået i

de tomme forsøgskamre, dvs. hvor eneste sinks er metalfladerne i kammeret. Desorptionen var fuldstændig efter typisk få timer, dog undtaget gasbeton, hvor kun skønnet 80-90% af desorptionen af ethylacetat var overstået efter ca. 60 timer.

Bouhamra & Elkilani (1999b) fandt, at adsorptionslignevægt havde indstillet sig efter 12 timers eksponering af et hus med toluen. Efter 30 timer var ca. 75 % af det adsorbere stof desorberet igen til luften.

Yang et al. (2001) undersøgte ad- og desorptionen af en række stoffer på umalede gipsplader. Adsorptionslignevægt indstillede sig efter 50-300 timer. Desorptionen skete over få timer til flere hundrede timer, se også figur 3.4, hvor resultaterne er gengivet.

Figur 3.4.: Illustration af koncentrationsforløbet såvel målt som simuleret ved laborieforsøg. Umalet gipsplade eksponeres med (a) ethylbenzen, (b) benzaldehyd og (c) dodecan i 300 timer, hvorefter eksponeringen stoppes og desorption fra sinks måles. Fra Yang et al. (2001).



Miljøstyrelsen (2001c) fandt ved eksponering af en betonplade med trichlorethylen og toluen i et forsøgskammer, at selv efter 6 måneders eksponering havde adsorptionslignevægten endnu ikke indstillet sig. Massebalancebetragtninger viste, at 20-30 % af den tilførte stofmængde var blevet adsorberet på betonpladen.

De gennemførte undersøgelser viser således en væsentlig variation i tiden det tager, inden adsorptionsligevægt har indstillet sig, og den tid det tager at få desorberet hele den adsorbereede stofmængde igen. Fuldstændig ligevægt opnås sandsynligvis aldrig i virkeligheden, idet variationer i temperatur, luftskifte m.m. løbende vil påvirke ligevægten.

Tichenor et al. (1991) samt Kjær & Nielsen (1993) konkluderede på basis af en række laboratorieforsøg, at modellen, ligning 1 og 2, har en tendens til at overestimere desorptionsraten (hastigheden) og at en nonliniær sorptionsmodel ville være mere velegnet for bestemmelse af sorptionsforløbet.

3.4.3 Betydningen af luftskifte, relativ fugtighed og luftkoncentrationer

Ved sammenligning af resultaterne fra et forsøg, hvor tæpper blev eksponeret med en stofblanding med forsøg, hvor samme tæpper blev eksponeret med enkeltstoffer, kunne der ikke konstateres forskel i adsorptionsomfanget (Won et al. 2000). I relation til tæpper - og dermed formodentlig også i relation til boliger - må der således forventes så mange sorptionspladser, at der ikke opstår "konkurrence" mellem stofferne om pladserne.

Det må formodes, at forhold som luftfugtighed, lufthastighed over sinks og luftkoncentrationer kan have betydning for såvel mængden af stof, der bliver adsorberet som mængden af stof, der bliver desorberet. Betydningen af disse forhold varierer med bl.a. stoftypen og dennes fysiske-kemiske egenskaber samt materialets fysiske egenskaber.

Der henvises bl.a. til Won et al. (2000), Kjær (1999), Meininghaus et al. (2000) og Won et al. (2001) for nærmere beskrivelse af de omtalte parametres indflydelse på sinkeeffekten.

Typisk har luftskiftet ingen betydning for den mængde stof, der afgives fra sink-fladerne (fluxen), idet desorptionen i alt væsentligt er begrænset af diffusionen i sinkmaterialet. Hvad angår koncentrationen af stof i luften er denne omvendt proportional med luftskiftet, således at en fordobling af luftskiftet vil føre til en halvering af luftkoncentrationen.

3.4.4 Opsummering - sinkeeffekter

Sinkeeffekt er materialers evne til at ad- og desorbere kemiske stoffer ved en gasformig eksponering.

Resultaterne af de gennemgåede undersøgelser viser, at der grund til at formode sinkeeffekter for alle kemiske stoffer i større eller mindre omfang.

Visse materialer er bedre sorbenter end andre, og undersøgelserne indikerer, at bygningsmaterialer såsom mursten og gasbeton, er bedre sorbenter end f.eks. gipspladser, træ og lignende.

Ad- og desorptionsforløbet kan beskrives matematisk, og der konstateres typisk middel til god overensstemmelse mellem modeller og målinger.

4 Fase 1: Udvalgelse af egnede målelokaliteter

Fase 1 omfatter udvælgelse af egnede målelokaliteter til brug for målingerne i fase 2.

4.1 Krav til egnede lokaliteter

Ved egnede målesteder forstås lokaliteter, der i videst muligt omfang opfylder følgende betingelser:

- Renseriene skal have anvendt tetrachlorethylen som renssevæske og skal være nedlagt inden for det sidste år.
- Renseriene skal have været beliggende i etageejendomme med beboelseslejligheder umiddelbart over renseriet.
- På lokaliteten må der ikke forekomme væsentlig jord-, poreluft- og/eller grundvandsforurening med tetrachlorethylen eller være andre væsentlige kilder til forurening med tetrachlorethylen.
- Lejlighedsbeboerne samt de nuværende brugere af det tidligere renserilokale må ikke have introduceret rensede tekstiler inden for de sidste 3-6 måneder.

4.2 Metodik for udvælgelse af egnede lokaliteter

Ved telefonisk og skriftlig kontakt til miljøforvaltningerne i danske amter og kommuner, blev der forespurgt efter lokaliteter, der i videst muligt omfang kunne opfylde betingelserne anført i afsnit 4.1.

Forespørgslerne blev kombineret med gennemgang af eventuelle foreliggende miljøtekniske undersøgelser på ejendommen, med henblik på at afklare, hvorvidt der var forurening i jord og/eller grundvand på ejendommen.

Beboerne på de egnede lokaliteter blev efterfølgende spurgt om deres rensvaner, erhverv m.m., for at afklare eventuelle interne og eksterne kilder til forurening i lokalområdet. På tilsvarende vis blev spørgeskemaer til bopælskommunerne udsendt til afklaring af eksterne forureningskilder i nærområdet af lokaliteten.

I afsnit 4.3 og 4.4 præsenteres de udvalgte lokaliteter, benævnt lokalitet 1 og 2.

4.3 Lokalitet 1: Beboelsespavillon tidligere anvendt til ind- og udlevering af rensset tekstil

I forbindelse med en ombygning har en ind- og udleveringsforretning for tetrachlorethylen-renset tekstil været flyttet ud i en beboelsespavillon. Pavillonen har været placeret på en parkeringsplads ud for renseriet og har været anvendt til ind- og udlevering i ca. 6 måneder, idet den blev taget ud af brug den 1. okt. 2001.

Pavillonen benævnes i det følgende lokalitet 1. I de følgende afsnit beskrives lokaliteten i relation til eksterne og interne kilder til tetrachlorethylenforurening, med henblik på at klarlægge behovet for at eliminere eventuelle andre bidrag end sinkbidraget.

Der henvises til afsnit 5.1 for beskrivelse af måleserierne.

4.3.1 Kildestyrke under ind- og udlevering i pavillon

For at verificere, at der var målbare koncentrationer af tetrachlorethylen i indeluften i pavillonen, mens den blev anvendt som ind- og udleveringssted, blev der den 29. sept. 2001 foretaget en korttidsmåling i indeluften i pavillonen. Ved forespørgsel oplyste renserimedarbejderen, at mængden af rensset tøj i pavillonen under målingen var normalt og typisk for den periode, hvor pavillonen havde været anvendt. Ved denne måling blev der konstateret $490 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tetrachlorethylen i indeluften i pavillonen, se også tabel 4.1 og bilag 7.

4.3.2 Pavillonens udformning

Pavillonen er konstrueret af træ og er isoleret med mineraluld. Indvendigt består pavillonen af gipsplader på vægge og loft, mens der er lagt linoleum på gulvet. Gipspladerne er behandlet med en vandbaseret maling. Ifølge oplysninger fra leverandøren af pavillonen, har der ikke været anvendt chlorerede opløsningsmidler ved indvendig eller udvendig vedligeholdelse af pavillonen. I pavillonen er placeret en dør samt et vindue. Pavillonen ventileres via 1 stk. passiv ventilationsrist i ydervæggene. Risten var lukket i hele perioden med henblik på at gøre ventilationen så lille som mulig.

Data for pavillonen er opsummeret i tabel 4.1

Tabel 4.1: Fysiske data for pavillonen

Parameter	Værdi
Størrelse, meter	
Længde	12
Bredde	4
Højde	2,3
Placering af bund af vogn, meter over jord	0,5 m
Vinduer, antal og størrelse	1 dør og 1 vindue
Døre, antal og størrelse	1 stk. , 1x2 meter
Udluftningsventiler	1 stk. (lukket)
Samlet indre fladeareal, m ²	170
Heraf	
Areal af vægge (malede gips-plader),	74
Areal af gulv (linoleum)	48
Areal af loft (malede gips-plader)	48
Indvendige overfladebehandlinger	Vandbaseret plastmaling

4.3.3 Eksterne bidrag under målingerne

Pavillonen blev umiddelbart efter driftsafslutningen d. 1. okt. 2001 flyttet få hundrede meter til et kommunalt parkeringsareal i Søllerød kommune. Under transporten blev det sikret, at der ikke var væsentlig udluftning af pavillonen, idet døre og vinduer var lukkede, og idet der blev kørt med lav hastighed.

Ved kontakt samt fremsendelse af spørgeskema til Søllerød Kommune, kunne det konstateres, at der ikke findes igangværende virksomheder, der anvender tetrachlorethylen inden for en radius af 2 km, ud over et ind- og udleveringssted beliggende ca. 225 m fra parkeringsarealet. Der findes iflg. kommunens oplysninger jord- og grundvandsforurening med tetrachlorethylen hhv. 100 og 175 m fra parkeringsarealet. Det ubesvarede spørgeskema fremgår af bilag 1, idet besvarede spørgeskemaer forefindes hos Miljøstyrelsen.

Udeluftskoncentrationen af tetrachlorethylen på parkeringsarealet i Søllerød Kommune blev kontrolleret ved en korttidsmåling d. 11. oktober 2001. Denne måling viste et indhold af tetrachlorethylen på mindre end detektionsgrænsen på 0,2 µg/m³.

Jf. ovenstående vurderes det derfor, at der ikke er væsentlige eksterne kilder til forurening med tetrachlorethylen i nærområdet af parkeringspladsen i Søllerød, hvor pavillonen var placeret.

Da der fortsat kunne konstateres sinkbidrag efter målinger i 1 måned, blev det valgt at fortsætte målingerne. Da parkeringsarealet i Søllerød ikke kunne anvendes længere, blev pavillonen flyttet til en virksomhed i udkanten af industriområdet i Brøndby Kommune på kanten af Glostrup Kommune. Virksomhedsejeren blev interviewet mht. brug af kemikalier, og der blev gennemført et tilsyn på ejendommen. Der blev endvidere fremsendt et spørgeskema til

Brøndby og Glostrup Kommuner med henblik på at afdække eventuelle kilder til forurening i nærområdet. Endelig blev der foretaget en korttids udeluftsmåling til bestemmelse af udeluftskoncentrationen af tetrachlorethylen. Denne måling viste et indhold af tetrachlorethylen på udeluften på mindre end detektionsgrænsen på $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Besvarede spørgeskemaer fra Brøndby og Glostrup Kommuner, tilsvarende bilag 1, forefindes hos Miljøstyrelsen. Af disse fremgår det, at der ikke er kendskab til væsentlige kilder til forurening på ejendommen eller i nærområdet af ejendommen. Disse oplysninger er samstemmende med resultatet af den foretagne udeluftsmåling.

4.3.4 Vurdering af mulighederne for at eliminere øvrige bidrag

Jf. figur 3.1 er det for at bestemme sinkbidraget nødvendigt at kunne eliminere eventuelle andre bidrag end sinkbidrag.

Endvidere kan det jf. afsnit 4.3.3 konstateres, at der ikke er væsentlige eksterne bidrag af tetrachlorethylen. Da pavillonen ikke benyttes til anden anvendelse end målestation, er eventuelle interne bidrag i form af rengøringsmidler, udåndingsluft fra personer, der arbejder med tetrachlorethylen m.m. ligeledes elimineret.

Pavillonen udmærker sig ved, at der har været en længerevarende og betydelig koncentration af tetrachlorethylen i luften i pavillonen og at den eneste forureningskilde (det rensede tekstil) blev afbrudt momentant d. 1. okt. 2001. Pavillonen er således ideel til belysning af størrelse og tidsforløb af sinkbidrag startende ved kildeafbrydelsen.

4.4 Lokalitet 2: Nedlagt renseri i beboelsesetageejendom

Via kontakten til de danske kommuner blev der identificeret et tidligere renseri med overliggende beboelseslejlighed i Lyngby-Taarbæk Kommune. Dette nedlagte renseri var samtidigt det renseri, hvor der var konstateret de laveste forureningsniveauer i poreluft, jord og/eller grundvand.

Lokaliteten benævnes i det følgende lokalitet 2. I følgende afsnit beskrives lokaliteten i relation til eksterne og interne kilder til tetrachlorethylenforurening, med henblik på at kortlægge behovet for eliminering af eventuelle andre bidrag end sinkbidraget.

Der henvises til afsnit 5.1 for beskrivelse og resultaterne af måleserierne.

4.4.1 Beboelsesejendom med renseridrift fra 1968 til 2001

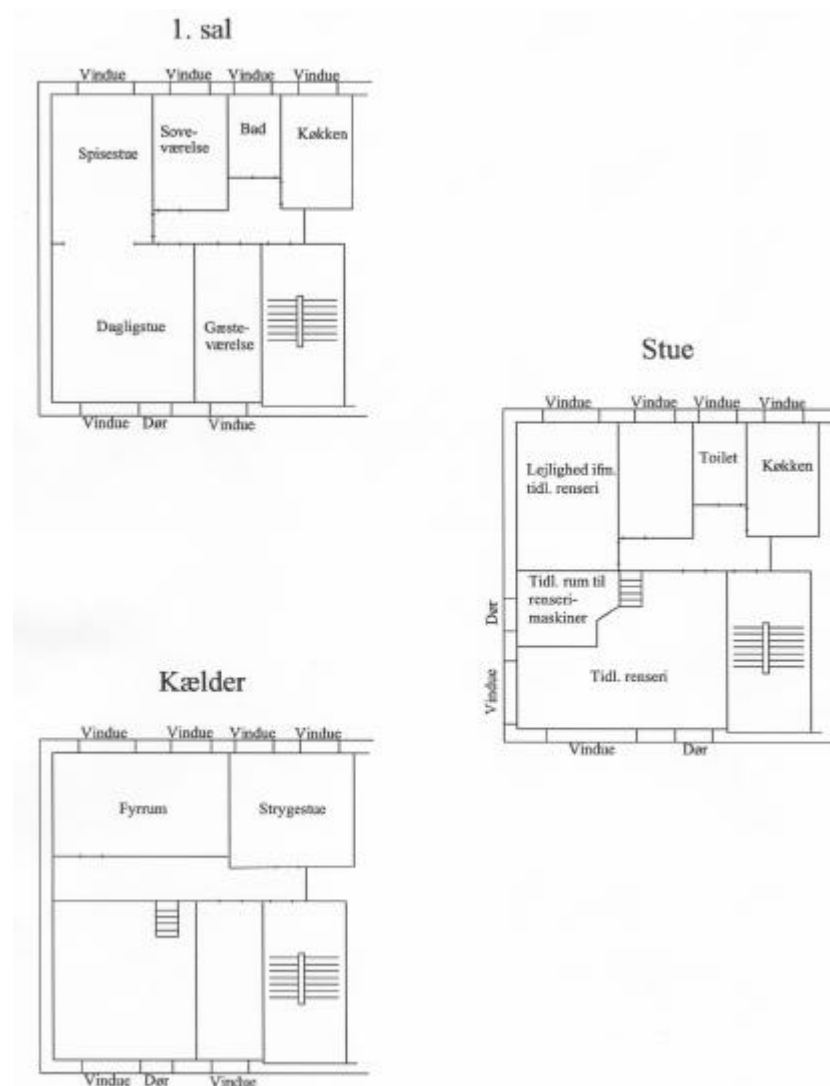
Lokalitet 2 er en 3-etages beboelsesejendom fra 1938/39. Bygningen er opført i mursten, og etageadskillelser består af bjælker med brædder og puds samt indskud af ler.

Det tidligere renseri lå i stueetagen i det ene hjørne af bygningen. Under renserilokalerne er der en kælder. Renseriet blev indrettet i 1968 og frem til lukningen i februar/marts 2001 blev der drevet renseridrift. Den sidste ejer havde renseriet fra 1973 til 2001, og anvendte i denne periode alene tetrachlorethylene som renevæske. Samtidig med lukningen blev rensesmaskiner, ventilationsanlæg, oplag af kemikalier mm. fjernet. Efterfølgende er en væsentlig del af træpaneler, nedsænket loft mm. fjernet og der pågik i måleperioden ombygninger i renseriet.

Lejligheden over renseriet bebos af én person, som har boet i lejligheden siden 1938. Lejlighedens gulv er belagt med tæpper og der er tapet på størstedelen af væggene. Der er omfattende møblement i hele lejligheden. Der er iflg. beboeren ikke foretaget bygge- eller vedligeholdelsesaktiviteter i boligen siden 1948. Eksempel på ubesvaret spørgeskema til beboeren foregår af bilag 2, idet besvaret spørgeskema forefindes hos Miljøstyrelsen.

Skematisk snit- og plantegning af kælder, tidligere renseri i stueetagen og 1-sals lejlighed fremgår af figur 4.1.

Figur 4.1: Skematisk snit- og plantegning for lokalitet 2



4.4.2 Kildestyrke under driften af renseriet

Lokaliteten udmærker sig ved, at der tidligere, mens renseriet var i drift, blev foretaget omfattende målinger af luftkoncentrationen af tetrachlorethylen i såvel renseri som i lejlighederne i opgangen. Målingerne blev foretaget af Lyngby-Taarbæk Kommune og blev udført af Kampsax A/S.

Tidligere målinger i december 2000 viste koncentrationer op til 23 og 8 mg/m³ i hhv. renseriet og overliggende lejlighed målt ved korttids felt-GC-målinger. Målinger med ATD-rør over 14 dage viste op til 4,4 og 2,1 mg/m³ i hhv. renseri og overliggende lejlighed.

Resultaterne af målingerne i december 2000 fremgår af nedenstående figur 4.2.

Det må formodes, at der i minimum 25 år har været en kraftig påvirkning af indeklimaet i lejligheden med tetrachlorethylen som følge af renseridriften.

Figur 4.2: Korttids felt-GC-målinger og ATD-rørsmålinger over 14 dage (anført i parentes) i indeluften i alle lejligheder i opgangen ved lokalitet 2 samt i udeluften. Lokalitet 2 er afgrænset med fed i figuren. Målingerne er foretaget ca. 3 måneder før renseriet blev nedlagt. De angivne koncentrationer er i mg tetrachlorethylen/m³. "Udluftet" angiver, at lejligheden var blevet udluftet umiddelbart før målingernes gennemførelse. Afkastet var ført ud til udeluft gennem væg i renseriet. Afkasthøjden var således ca. 2 m over terræn.

Udeluft	Loft	Trappe	Loft	Udeluft
	2. tv.		2. th. - udluftet	
	4,3		0,21	
	4,4		0,41	
	4,3		0,17	
	3,3		0,39	
(0,00052)	Lejlighed, 1.tv.		1. th.	
	8,3		2,5	
	7,4 (2,0)		2,8	
	3,9 (1,9)		2,5	
	7,3		3,6	
	4,2 (2,1)			
Afkast	Renseri		St. th. - udluftet	
	18 (8,8)		7,0	
0,07	240 (4,4)		6,1	0,07
0,30			4,7	<0,03
0,83			11	0,08
	Kælder		Kælder	

4.4.3 Interne kilder til forurening i lejligheden

Erfaringerne fra Miljøstyrelsens projekt om dokumentation af interne og eksterne bidrag til indeklimaet (Miljøstyrelsen, 2001a) viser, at tilførsel af nyrenset tekstil til boligen kan medføre koncentrationer af tetrachlorethylen, der overskrider luftkvalitetskriteriet. For lejligheden over renseriet er der med sikkerhed ikke tilført rensede tøj indenfor de seneste 2 år. Beboeren har oplyst, at der ikke vil blive hjemtaget rensede tekstil i måleperioden. Der opbevares eller benyttes ikke rengøringsmidler, hobbyartikler eller lignende indeholdende tetrachlorethylen i lejligheden.

Det blev oplyst, at beboerens tøjvask blev foretaget på en eksternt vaskeri. Ved kontakt til vaskeriet blev det oplyst, at der ikke foregik kemisk rensning i vaskeriet.

Der er således ud fra det oplyste ikke grund til at formode, at der er interne kilder ud over sinkbidrag til forurening med tetrachlorethylen af indeklimaet i lejligheden.

4.4.4 Eksterne kilder til forurening i nærområdet af lokaliteten

Af det besvaret spørgeskema fra Lyngby-Taarbæk kommune fremgår det, at der findes ét igangværende renseri, 4 tidligere renserier samt 2 tidligere metalforarbejdende virksomheder, der anvender eller har anvendt tetrachlorethylen inden for en radius af 2 km. Kommunen har kendskab til 3 jord- og grundvandsforureninger med tetrachlorethylen inden for en afstand af 100-450 m fra lokalitet 2.

Der er i amtligt regi gennemført en registreringsundersøgelse på lokalitet 2 med henblik på afdækning af evt. jord- og grundvandsforurening som følge af renseridriften. Ved undersøgelsen blev der gennemført 1 poreluftsondering under gulv i kælderen, samt etableret en poreluftsondering og en filtersat boring på terræn udenfor renseriet til hhv. 0,5 og 5 m u.t.

Resultaterne af undersøgelsen fremgår af nedenstående tabel 4.2. Som det fremgår er der konstateret lave indhold af chlorerede opløsningsmidler i grundvand og poreluft, og en risikovurdering konkluderede, at der ikke var risiko for arealanvendelsen.

Tabel 4.2.: Resultaterne af en jord- og grundvandsundersøgelse på lokalitet 2.

^a: Efter Miljøstyrelsens vejledning nr. 6/98 med efterfølgende tilføjelser

^b: Summen af chlorerede opløsningsmidler

Undersøgelsespunkt	Trichlorethylen	Tetrachlorethylen	Miljøstyrelsens kvalitetskriterier ^a
Poreluft under gulv, µg/m ³	20,1	18,7	-
Poreluft under terræn uden for renseri, µg/m ³	17,3	13,6	-
Grundvand, µg/l	<0,1	5,0	1 ^b

4.4.5 Vurdering af mulighederne for at eliminere øvrige bidrag

Jf. figur 3.1 er det for at bestemme sinkbidraget nødvendigt at kunne eliminere alle øvrige bidrag.

Lokalitet 2 udmærker sig ved, at der har været en massiv påvirkning af lejligheden fra renseridriften i mere end 25 år og at denne kilde effektivt er fjernet, idet størstedelen af interiøret er fjernet fra det tidligere renseri. Endvidere kan der ikke identificeres interne kilder til forurening i lejligheden ud over eventuelle sinkbidrag.

Hvad angår de eksterne bidrag kan det konstateres, at der er mulighed for en luftbåren forurening fra de nærliggende virksomheder som anvender tetrachlorethylen samt et eksternt bidrag af tetrachlorethylen fra den konstaterede forurening på ejendommen.

Målingerne, der blev gennemført i udeluften i forbindelse med måleserierne på lokalitet 2, viste ingen detekterbar tetrachlorethylen i udeluften med en detektionsgrænse på $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se også afsnit 5.2.2. Der er således ikke grund til at formode, at de nærliggende igangværende virksomheder eller jordforureninger i nærområdet giver anledning til et væsentlig forureningsbidrag.

Koncentrationerne i poreluften og grundvandet som følge af forureningen i jord og grundvand på ejendommen kan i værste fald give et målbart bidrag til indeklimaet, men da der er kælder under lokalet vurderes det, at det er muligt at minimere bidraget herfra ved tætning og/eller ventilation.

Det vurderes derfor samlet, at det med tekniske tiltag i relation til jord- og grundvandsforureningen vil være muligt at afskære alle andre bidrag end sinkbidraget.

4.4.6 Tekniske tiltag til afskæring af evt. bidrag fra jord- og grundvandsforurening

Til eliminering af eventuelle bidrag fra jord- og grundvandsforureningen under bygningen blev der i det tidligere renserilokale udlagt en plastmembran over hele gulvet. Membranen blev fasthæftet langs mure og skillevægge med fodpaneler eller tape. For at sikre, at et eventuelt luftflow var rettet fra det tidligere renserilokale mod kælderen blev der etableret et svagt undertryk i kælderen ved opstilling og drift af en ventilator. Denne foretog i perioden fra d. 11. okt. 2001 til d. 18. okt. 2001 en kontinuert udsugning fra kælderen, idet der blev suget med et flow på $100\text{-}200 \text{ m}^3/\text{t}$ med afkast uden for bygningen. Denne udsugning førte til et luftskifte i kælderen på ca. 0,5-1 gang i timen. Hullet omkring afkastslangen blev tætnet bedst muligt. Denne udsugning i kælderen førte til, at plastikken på gulvet i det tidligere renserilokale oven over kælderen "klistrede" til gulvet. Det var således tydeligt, at eventuelt flow fra kælderen til renseriet var elimineret. Af nedenstående tabel 4.3 fremgår data for hhv. plastmembran og ventilation i kælderen.

Samlet vurderes det, at det med de foretagne tekniske tiltag er sikret, at de eneste forureningskilder med tetrachlorethylen i lejligheden er forurening fra adsorberet tetrachlorethylen i sinks i bygningsmaterialer og interiør.

Tabel 4.3: Tekniske data for membran og ventilation af kælder til afskæring af eventuelt bidrag fra en jord- og grundvandsforurening.

Ventilation af kælder	
Flow, m ³ /t	100-200
Luftskifte, t ⁻¹	0,5-1
Starttidspunkt	11. okt. 2001
Sluttidspunkt	18. okt. 2001
Plastmembran i tidligere renseri	
Tykkelse	0,15 mm
Vedhæftningsmetode	Ført ud til vægge og lille stykke op. Fastgjort med fodpaneler eller med tape
Udlægningstidspunkt	11. okt. 2001
Fjernelsestidspunkt	Ikke fjernet

5 Fase 2 – måling af sinkbidrag

Formålet med denne del af projektet var at kortlægge koncentrationsforløbet for tetrachlorethylen i pavillonen, lokalitet 1 som funktion af tiden fra forureningskilden blev fjernet fra lokaliteten. Kilden var i dette tilfælde det rensede tøj, som blev opbevaret i pavillonen inden udlevering til kunderne.

I lejligheden på lokalitet 2 har målet med kortlægningen har været at bestemme desorptionsforløbet af tetrachlorethylen fra byggematerialer under autentiske, men veldokumenterede forhold.

5.1 Beskrivelse af gennemførte målinger

5.1.1 Lokalitet 1

5.1.1.1 Luftmålinger

Pavillonen ophørte som ind- og udleveringssted for rensede tekstiler d. 01. okt. 2001. Den 29. sept. 2001 blev der foretaget måling for tetrachlorethylen i rumluften i pavillonen.

Umiddelbart efter tømningen af pavillonen blev regelmæssige målinger for tetrachlorethylen i rumluften igangsat. Frekvensen fremgår af nedenstående tabel 5.1:

Tabel 5.1: Frekvens for målinger af indeklimakoncentration i pavillon, lokalitet 1.

Dato	Frekvens
02.-16. okt. 2001	Dagligt
17. okt. -07.dec. 2001	Ugentligt

Måling er foretaget som korttidsmåling over ca. 1 time. Målepositionen var placeret 1 meter over gulv centralt i pavillonen.

I periode 11.-25. okt. 2001 blev der endvidere foretaget 14 dages gennemsnitsmåling (langtidsmåling) for tetrachlorethylen i pavillonen.

Sideløbende med målingerne i pavillonen blev der foretaget måling for udeluftkoncentrationen af tetrachlorethylen på de lokaliteter, hvor pavillonen var opstillet under målingerne, dvs. ved den oprindelige placering i Søllerød, bag Søllerød Rådhus samt i Brøndby kommune.

Alle prøver er umiddelbart efter udtagning bragt til MILJØ-KEMI's laboratorium for analyse.

Prøvetagnings- og analysemetode fremgår af bilag 3.

5.1.1.2 Materialeundersøgelser

Med henblik på bestemmelse af restindholdet af tetrachlorethylen i pavillonens bygningsmaterialer blev der d. 16. okt. 2001 udtaget 2 prøver á 2x5 cm fra pavillonens indvendige gipsvægge. Metodebeskrivelse fremgår af bilag 4.

5.1.1.3 Andet

Til dokumentation af målebetingelserne blev der foretaget luftskiftemåling i alt 6 gange i perioden i pavillonens ligesom rumtemperaturen blev målt løbende. Der er desuden indhentet udeklimatiske data for perioden fra Danmarks Meteorologiske Institut (DMI). Luftskiftemålinger er beskrevet i bilag 8.

5.1.2 Lokaltitet 2

5.1.2.1 Luftmålinger

For at dokumentere koncentrationen af tetrachlorethylen i lejlighed og tidligere renserilokale blev der foretaget korttidsmålinger på 2 steder i såvel lejlighed som renseri. Målingerne blev foretaget med ca. 14 dages mellemrum. Tetrachlorethylen blev opsamlet ved aktiv sampling på adsorptionsrør indeholdende Tenax TA. Efter prøvetagning blev prøverne analyseret akkrediteret ved MILJØ-KEMI.

Til at belyse bidraget fra jord- og grundvandsforureningen under ejendommen blev der foretaget korttidsmålinger i kælderen samtidig med den ene målerunde i renseri og lejlighed.

Sideløbende med korttidsmålingerne blev der foretaget gennemsnitsmåling over 14 dage i såvel det tidligere renseri som i lejligheden. Disse målinger blev foretaget som passiv sampling på Tenax TA over en periode på 2 uger.

I hulmur og etageadskillelse mellem det tidligere renseri og lejligheden blev der foretaget måling for tetrachlorethylen i luften de pågældende steder. Prøvetagning blev foretaget ved, at der blev boret et 10 mm hul fra lejligheden og ind i hhv. hulmur og etageadskillelse. Efter at en sonde var bragt på plads gennem hullet, blev der tætnet omkring sonden for at hindre indsvivning af luft fra lejligheden til målestedet under prøvetagningen.

For at eftervise, at der ikke var eksterne kilder til forurening med tetrachlorethylen, blev der foretaget måling af udeluftens indhold af tetrachlorethylen over en periode på 14 dage i den periode, hvor indluftsmålingerne foregik.

I forbindelse med målingerne i hhv. udeluft, lejlighed og tidligere renseri blev der foretaget måling af temperatur og luftfugtighed de samme steder.

5.1.2.2 Materialeundersøgelse

Til identificering af sinks i materialer i lejligheden blev der udtaget materialeprøver til forskellige undersøgelser for restindhold af tetrachlorethylen.

Fra indboet blev der udtaget en dyne, en bluse samt et gulvtæppe, som blev undersøgt for afgivelse af tetrachlorethylen under kontrollerede klimakammerests i laboratoriet. Alle de udtagne tekstiler har været opbevaret i boligen i flere år og har aldrig været rensset kemisk. Den initiale afgivelse af tetrachlorethylen blev bestemt efter akklimatisering i et døgn i klimakammeret. Forsøgsomstændighederne og –metoderne er beskrevet i detaljer i bilag 6.

Fra bygningen blev udtaget en prøve af indvendigt puds til analyse for tetrachlorethylen.

Reinhard et al. (1989) angiver, at tetrachlorethylen kan påvises i fødevarer i lejligheder, som er udsat for tetrachlorethylen. Størrelsen af denne ophobning i fødevarer blev undersøgt ved at placere en nyindkøbt pakke smør i åben emballage i køleskabet over en periode på 3 uger samt ved at sætte en åben beholder med olivenolie i lejligheden på bordet i køkkenet.

Metoderne for materialeundersøgelserne er vedlagt i bilag 4 og 5.

5.1.2.3 Andet

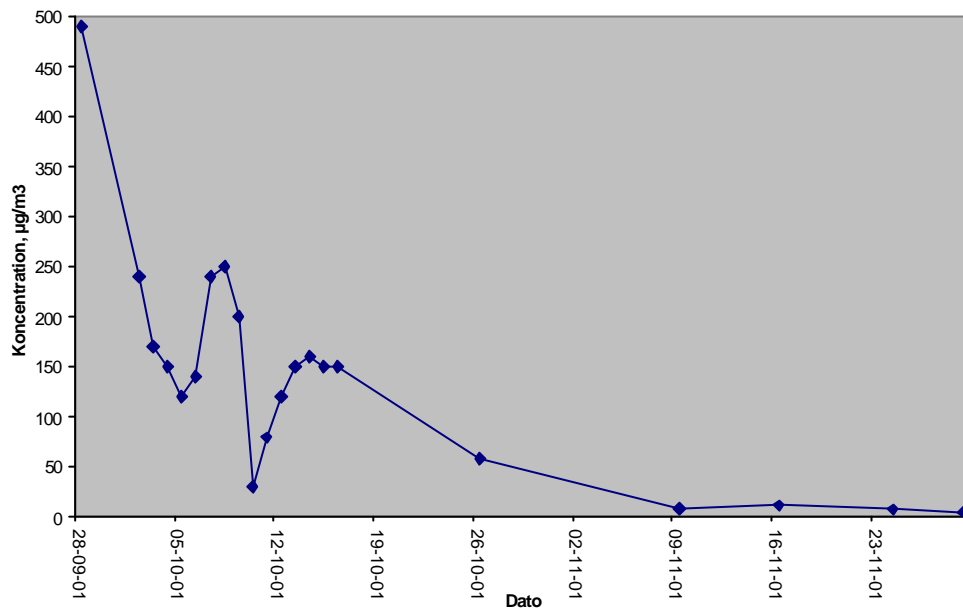
Luftskifte i lejligheden blev bestemt ved sporgasmåling d. 30.okt. 2001. Ved alle målinger blev rumtemperaturen bestemt.

5.2 Resultater af målinger

5.2.1 Lokalitet 1

Resultatet af målingerne i pavillonen fremgår af nedenstående figur 5.1 samt af resultatskema i bilag 10.

Figur 5.1: Resultater af indeklimaling i pavillon, lokalitet 1.



Langtidsmåling i perioden 11. okt. 2001 til 25. okt. 2001 viste en gennemsnitskoncentration i pavillonen på 79 µg/m³ i perioden.

De samtidige målinger af udeluftkoncentrationer på de lokaliteter, hvor pavillonen var placeret, fremgår af følgende tabel 5.2

Tabel 5.2: Udeluftkoncentrationer ved pavillonen

Placering	Korttidsmåling	Langtidsmåling
Oprindelig placering; Søllerød Kommune	<0,2	<0,2
Bag Søllerød Rådhus	<0,2	<0,2
Brøndby Kommune	<0,2	-

<: betyder mindre end den angivne detektionsgrænse, Alle resultater i µg/m³
-: måling ikke udført

Analyse af de to udtagne gipsprøver fra de indvendige vægge i pavillonen fremgår af tabel 5.3, idet resultatet er angivet som mængde tetrachlorethylen pr. cm² vægflade.

Tabel 5.3.: Restindhold af tetrachlorethylen i indvendige gipsvægge i pavillon, lokalitet 1, 18 dage efter fjernelsen af forureningskilderne.

Prøve nr.	Indhold af tetrachlorethylen mg/ kg	Indhold af tetrachlorethylen mg/ m ²
1	0,15	1,4
2	0,17	1,6

Det aktuelle luftskifte i pavillonen blev målt i alt 6 gange i perioden. De detaljerede resultater fremgår af bilag 9. Luftskiftet varierede gennem perioden fra 0,1 til 0,15 gange pr. time.

5.2.2 Lokalitet 2

Resultatet af målingerne i lejlighed og renseri fremgår af nedenstående tabel 5.4.

Tabel 5.4: Luftmålinger i lejlighed, renseri og kælder, lokalitet 2

Placering	Dato	Kortidsmåling mg/m ³	Langtidsmåling mg/m ³
Lejlighed	12. okt. 2001	77	-
	16. okt. 2001	75	-
	12.-25. okt. 2001	-	55
Renseri	12. okt. 2001	2,4	-
	16. okt. 2001	1,0	-
	12.-25. okt. 2001	-	3,4
Kælder	16. okt. 2001	24	-
UderefERENCE	12.-25. okt. 2001	-	<0,2
Hulmur	16. okt. 2001	10	-
	30. okt. 2001	1,7	-
Etageadskillelse	16. okt. 2001	120	-

<: betyder mindre end den angivne detektionsgrænse
-: måling ikke udført

Bestemmelse af afgivelsen af tetrachlorethylen fra bluse, dyne og tæppe fra lejligheden viste afgivelse af tetrachlorethylen fra 2 af de 3 materialer. I nedenstående tabel 5.5 er resultaterne angivet som kildestyrken fra prøverne efter et døgn akklimatisering i klimakamrene, dvs. i form af µg tetrachlorethylen afgivet pr. tekstil pr. time.

Tabel 5.5.: Afgivelse af tetrachlorethylen fra tekstiler fra lejligheden, lokalitet 2

Tekstil	Påvist afgivelse af tetrachlorethylen	Kildestyrke mg/time pr. tekstil
Bluse	nej	<0,01
Dyne	ja	0,08
Tæppe	ja	0,09

<: betyder mindre end den angivne detektionsgrænse

Resultatet af analysen af bygningsmaterialerne og fødevarerne fra lejligheden er samlet i tabel 5.6. For fødevarerne er resultatet angivet som opsamlet mængde tetrachlorethylen pr. cm² eksponeret overflade (smør eller olie) i løbet af eksponeringsperioden på 3 uger.

For pudsprøven er resultat angivet som mg tetrachlorethylen pr. gram materiale.

Tabel 5.6.: Indhold af tetrachlorethylen i byggematerialer og fødevarer fra lejligheden, lokalitet 2.

Materiale	Påvist tetrachlorethylen	Mængde mg/kg
Puds	nej	<0,005

Materiale	Påvist tetrachlorethylen	Optaget mængde mg/cm ²
Smør	ja	0,34
Olivenolie	ja	0,30

Luftskiftet i lejlighedens dagligstue blev bestemt til 0,7 gange pr. time ved sporgasmåling. Temperaturen var i hele perioden ca. 24 °C.

5.3 Diskussion af resultater

5.3.1 Lokalitet 1

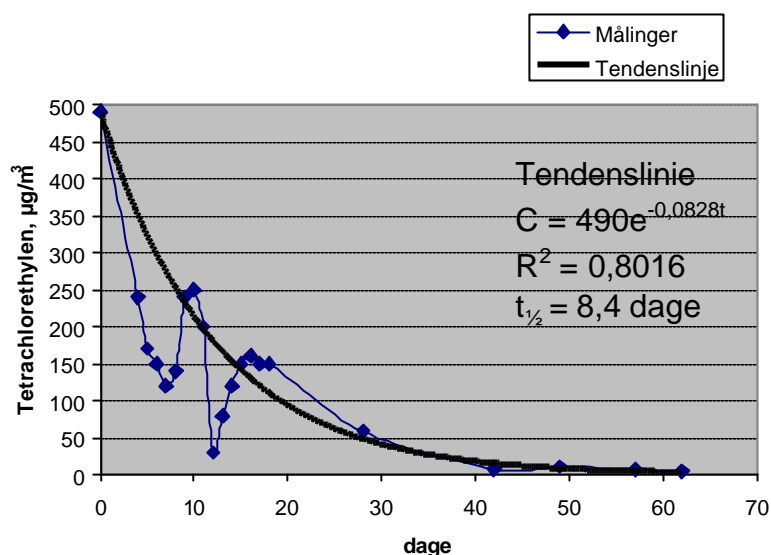
Udeluftsmålingerne viser, at der ikke ved nogen af placeringerne af pavillonen har været koncentrationer af tetrachlorethylen, som har kunnet influere på koncentrationen i pavillonen.

Koncentrationen af tetrachlorethylen i pavillonen udviser et fald fra startniveauet på ca. 500 µg/m³ til en koncentration omkring det nuværende luftkvalitetskriterie efter ca. 2 måneders forløb, se også figur 5.1.

Under antagelse af, at desorptionen sker som et eksponentielt henfald kan måleresultaterne fittes til kurven i figur 5.2 ("tendenslinje"). Tendenslinjen er

fremkommet ved at fitte måleresultaterne med en eksponentialfunktion. Som værktøj er anvendt statistikpakke i Excel 2000.

Figur 5.2: Resultater af indeklimaling i pavillon, lokalitet 1 tilpasset et eksponentielt henfald.



Årsagen til den relativt lave korrelationskoefficient er, som det fremgår, at kurven har to store "dyk" først i perioden.

Årsagen til disse dyk er ikke klarlagt. Mulige årsager er udefrakommende påvirkninger, som har bevirket enten lavere desorptionsrate eller øget luftskifte.

Der er indhentet meteorologisk data fra Danmarks Meteorologiske Institut (målestation Jægersborg), med det formål at undersøge om der har været udeklimatiske forhold, som kan forklare de to dyk først i måleperioden. Det er velkendt, at ændringer i temperaturen og vindforhold kan påvirke det passive luftskifte i en bygning betydeligt. Hverken temperatur- eller vinddata støtter en hypotese om, at dette skulle være tilfældet her.

Målinger af rumtemperaturen i perioden 7. -19. okt. 2001 viste (se bilag 10), at temperaturen i pavillonen var meget ensartet omkring 18 °C i hele perioden, dog med en lavere temperatur omkring d. 08.-09. oktober, svarende til dag 10. Tichenor et al. (1991) angiver, baseret på resultater af ad- og desorptionsforsøg med tetrachlorethylen på tæpper, at en reduktion af temperaturen fra 35 til 23 °C fører til en reduktion i ad- og desorptionsratekonstanterne på en faktor 2-3 hhv. en faktor 4-5. Disse data kan ikke umiddelbart overføres til fuldskaforholdene på lokalitet 1, men resultaterne viser dog, at temperaturen har en væsentlig effekt på desorptions hastigheden. Det er således rimeligt at antage, at en del af forklaringen på dykket i rumkoncentration skal tilskrives lavere desorptions hastighed p.g.a temperaturfaldet.

Modellens overensstemmelse - beskrevet ved tendenslinjen for målingerne - med de aktuelle forhold i pavillonen kan også efterprøves ved at sammenligne de aktuelt målte restkoncentrationer i gipspladerne med modellens forudsigelser.

D. 16. okt. 2001 - dvs. 18 dage efter at pavillonen var ophørt som udleveringssted - blev der udtaget 2 prøver fra gipspladerne i pavillonen. Prøverne viste et indhold af tetrachlorethylen på hhv. 1,4 og 1,6 mg/m², se også tabel 5.3.

Rumluftens indhold (mængde) af tetrachlorethylen kan på et givet tidspunkt beregnes som produktet af rumkoncentration og rumvolumen ($M = VC(t)$). Ved at integrere dette udtryk fra $t=18$ dage til uendeligt fås modellens forudsigelse for det totale restindhold i pavillonen:

$$C(t) = 490 e^{-0,0828 t}$$

$$M = V \int C(t) = V \int_{t=18}^{\infty} 490 e^{-0,0828 t}$$

$$M = V \left[\frac{-1}{0,0828} 490 e^{-0,0828 t} \right]_{18}^{\infty}$$

Indsættes $V = 110 \text{ m}^3$ og randbetingelserne fås, idet $e^{-\infty} \approx 0$, en samlet masse på $110 \text{ m}^3 \cdot 1,33 \text{ mg/m}^3 = 147 \text{ mg}$.

Antages det, at alle flader i pavillonen virker som sinkflader med samme adsorption/desorptionsrater kan det gennemsnitlige tetrachlorethylenindhold i bygningsmaterialerne i pavillonen beregnes til $0,86 \text{ mg/m}^2$, idet det samlede areal af indvendige flader er 170 m^2 .

Tabel 6.2: Analytisk bestemt og beregnet restindhold af tetrachlorethylen i gipsplader fra pavillon, lokalitet 1.

	Bestemt indhold ved analyse mg/ m²	Bestemt restindhold ved modellering mg/ m²
Gipsprøve	1,5	0,86

*: gennemsnit af to prøver

Som det fremgår, er der kun en faktor 1,7 til forskel mellem de målte indhold af tetrachlorethylen, jf. tabel 6.2 og de beregnede restindhold under de anførte antagelser for pavillonen. Der er således god overensstemmelse mellem de to resultater. Det tyder på, at den beregnende tendenslinje er et troværdigt udtryk for forløbet af desorptionen af tetrachlorethylen i pavillonen.

Luftskiftemålinger viser generelt et meget lavt luftskifte på de tidspunkter, hvor måling er foretaget. Luftskiftet ligger i størrelsesordenen 0,1 til 0,2 gange pr. time. På grund af det meget lave luftskifte er måleusikkerheden på luftskiftebestemmelsen relativt stor – skønsmæssigt 50%.

5.3.2 Lokaltet 2

Der er påvist tetrachlorethylen i kælderen, som kan stamme fra jordforureningen under bygningen. Målingerne i renserilokalerne efter udlægning af plastmembran og ventilering af kælderen viser, at plastikdækket udgjorde en effektiv barriere i måleperioden.

Som det fremgår af tabel 5.3 er der ved korttidsmålinger påvist en rumluftkoncentration af tetrachlorethylen på ca. $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i lejligheden. Dette til trods for, at renseridriften ophørte mere end 6 måneder tidligere. Målingerne i renseriet viser, at kilden til tetrachlorethylen ikke længere er selve renseriet, men må søges i sinks i bygningen.

Målingerne i hulumuren viser, at luften indeholdt et relativt beskedent indhold af tetrachlorethylen. Grunden til forskellen mellem de to resultater fra hhv. d. 16. og 30. oktober er sandsynligvis, at den etablerede udsugning fra kælderen har skabt en luftbevægelse fra lejlighed mod hulmur. Efter ventilationen blev afbrudt d. 18. nov. 2001 ses en lavere koncentration i hulumuren.

Målingen i etageadskillelsen viste en meget højt luftkoncentration af tetrachlorethylen på $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sammenholdt med de øvrige resultater, herunder rumluftmålingerne i lejligheden, viser dette, at materialerne i etageadskillelsen er en væsentlig - måske den væsentligste - sink i lejligheden og dermed udgør den væsentligste kilde til tetrachlorethylenforureningen i lejligheden.

De tre tekstiler fra lejligheden viser, at der adsorberes tetrachlorethylen til selv lette materialer i en lejlighed, som er udsat for stoffet. Årsagen til, at der ikke påvises tetrachlorethylen fra blusen, er sandsynligvis, at den har været vasket for nylig. Resultaterne viser også, at afgivelsen af tetrachlorethylen fra tekstilerne er begrænset set i forhold til den målte rumkoncentration på ca. $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der må med andre ord være sinks med større betydning for rumluftkoncentrationen til stede.

Analysen af fødevarerne viser, at der ophobes tetrachlorethylen når smør eller olieholdige produkter udsættes herfor. Resultaterne er derfor samstemmende med erfaringer fra litteraturen (Reinhard et al., 1989), hvor der dog blev påvist en noget større ophobning i f.eks. smør end set i denne undersøgelse.

6 Fase 3 - Modellering af målte indeklimakoncentrationer

I dette afsnit behandles de resultater, som fremkom ved målingerne i pavillonen og lejligheden. Formålet har været dels at tilpasse resultaterne til matematiske modeller, dels at bruge disse modeller til at vurdere betydningen af sinks i andre situationer.

Computerværktøjet IAQX 1.0 (Guo, 2001a), som er udviklet af US-EPA, har været anvendt til at opstille de matematiske modeller. Modelleringen baseres i hovedtræk på ligningerne 1 og 2 (afsnit 3).

Programmet består af en række delprogrammer, der kan anvendes til forskellige problemstillinger i relation til påvirkning af indeklimaet med forureningskomponenter. Programmet kan modellere såvel adsorptions- som desorptionsfasen. Med delprogrammet GPS - **G**eneral **P**urpose **S**imulation program - er der gennemført en række modelkørsler, hvor de variable parametre er søgt tilpasset måleresultaterne fra både pavillonen (lokalitet 1) og lejligheden (lokalitet 2).

I afsnit 6.1 beskrives modelresultaterne for lokalitet 1, mens resultaterne for lokalitet 2 fremgår af afsnit 6.2.

6.1 Modellering for pavillon – lokalitet 1

6.1.1 Model - lokalitet 1

I modellen IAXQ 1.0 – GPS, er der mulighed for at vælge en række modeller for hhv. kildeemission, sinkeeffekt, ventilation m.m.

Programmets kildemodel nr. 12 antager, at der under adsorptionen er tale om en konstant emission (kildestyrke), der kan beskrives ved $Q \cdot C$. Da der umiddelbart før fjernelse af det rensede tekstil fra pavillonen blev målt $0,49 \text{ mg/m}^3$ i indeluften er det derfor ved beregningerne antaget, at $C = 0,49 \text{ mg/m}^3$ i hele adsorptionsperioden. Det er endvidere antaget, at ligevægt kan opnås, og at kilden befinder sig i pavillonen fra $t=0$ til $t=4.300$ timer, svarende til knap 6 måneder.

Programmets sinkmodel nr. 2 antager reversibilitet, hvor de styrende sorptionsparametre er k_a og k_d , hvor k_a beskriver adsorptionen, mens k_d beskriver desorptionen. Ligningen angiver, at fluxen af forureningskomponenter fra sinkmaterialet kan beskrives som $A_{\text{sinks}} (k_a C_i(t) - k_d C_s(t))$.

Ved beregningerne er det endvidere antaget, at der er tale om 2 luftzoner, der udveksler med hinanden, nemlig udeluften og luften i pavillonen.

Der henvises til tabel 6.1 for beskrivelse af modelgrundlaget, idet data stammer fra bl.a. målinger eller opmålinger på lokalitet 1, se også tabel 4.1.

6.1.2 Beregninger

Det blev indledningsvis forsøgt at anvende litteraturdata for hhv. adsorptionsratekonstanter og desorptionsratekonstanter med anvendelse af flere forskellige sinkflader. Anvendelse af data fra f.eks. Tichenor et al. (1991) medførte, at desorptionen af det adsorberede tetrachlorethylen skulle ske over få dage. Da målingerne viste desorption i mere end 40 dage er Tichenors resultater således i dårlig overensstemmelse med de målte værdier i denne undersøgelse.

Det blev derfor valgt at anskue pavillonens sorptionsflader - dvs. vægge, loft, gulv, vinduer og døre - under ét og regne disse samlet. Da laboratorieforsøg generelt viser ensartede ratekonstanter for adsorptionsfasen, blev det valgt at sætte k_a til 0,45 m/h, svarende til en værdi i samme størrelsesorden, som fundet ved forsøg af bl.a. Bouhamra & Elkilani (1999b) og Won et al. (2000).

Derefter blev k_d justeret, indtil modellen viste overensstemmelse med målere-sultaterne for slutningen af desorptionsperioden (t større end 50 dage). Den derved fremkomne desorptionskurve fremgår af figur 6.1, hvor måledata og tendenslinjen også er vist. Som det fremgår, er der en særdeles god overensstemmelse mellem tendenslinjen for målingerne og modellens beskrivelse af desorptionsforløbet.

Input data for den fremkomne tilpassede model fremgår af tabel 6.1.

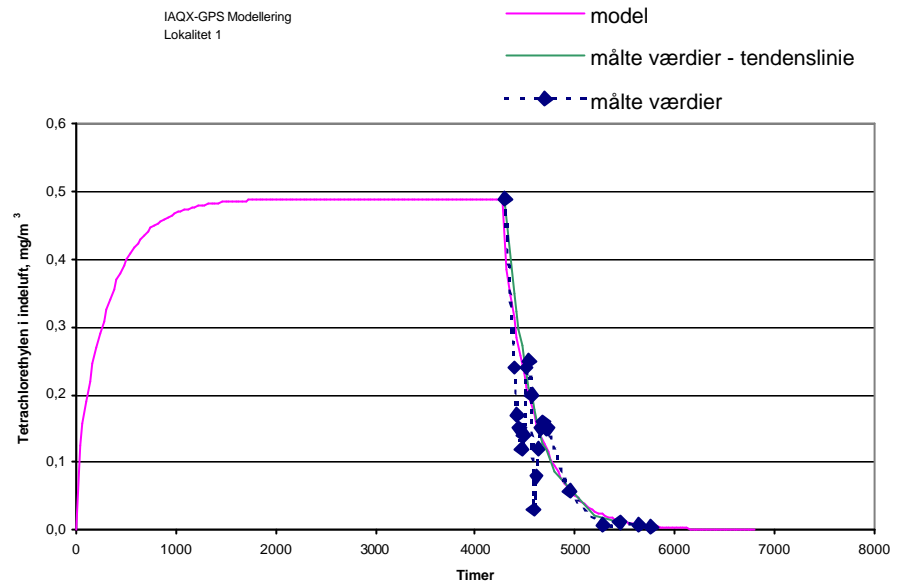
Som det fremgår af figur 6.1.a) opnås der ved modelleringen ligevægt for adsorptionsfasen efter ca. 2.000 timer.

Tabel 6.1.: Input data til IAQX 1.0- GPS model len ved bedste fit til måledata for lokalitet 1- pavillon

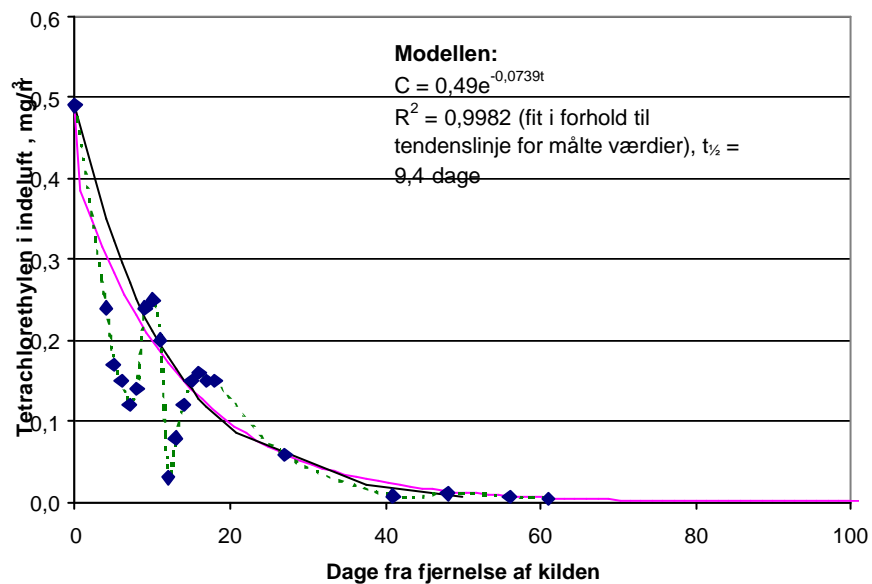
Lokalitet 1	
Målte data	Se figur 5.1.
Modelvariabel	Værdi
Areal, m ²	48
Rumhøjde, m	2,3
Volumen af rum, m ³	110
Sinkareal, m ²	170
Antal luft-zoner, ubenævnt	2 - ude og inde
Ventilationsmodel	Konstant ventilation
Luftskifte N, h ⁻¹	0,15
Luftskifte, Q = NV, m ³ /h	16,5
Kildemodel nr.	12
C, mg/m ³	0,49
Q, m ³ /h	22
Start time, h	0
Removal time, h	4.300
Sinkmodel nr.	2
k_a , m/h	0,45
k_d , h ⁻¹	0,017
M ₀	0

Figur 6.1: Model af koncentrationsforløbet i indeklimaet på Lokalitet 1 fittet til hhv. måleresultater og tendenskurven for måleresultater. Figur a) viser hele det modellede forløb fra t= 0 til t= 9.999 timer, mens b) er en forstørrelse af forløbet fra kilden afbrydes til t= 4.300 timer, idet dette tidspunkt er sat lig nul, til koncentrationen er faldet til under målbart niveau. Øvrige input fremgår af tabel 6.1. Tendenslinjer for hhv. model og målinger anført i figur b) er bestemt som excel-programmets bedste fit for alle data. Bemærk ændringen i tidsenheden på graferne.

a)



b)



6.2 Modellering for lejlighed – lokalitet 2

6.2.1 Model

Ved analysen af data fra lokalitet 2 blev den samme overordnede model anvendt, idet der ikke er grund til at tro, at de grundliggende mekanismer bag adsorption og desorption i en pavillon og en lejlighed er forskellige.

Kildemodel nr. 12 og sinkmodel nr. 2 blev således valgt i IAQX 1.0 – GPS programmet.

Kildemodel nr. 12 antager, at der er tale om en konstant emission, der kan beskrives ved Q·C. I december 2000 - dvs. ca. 3 måneder før renseriet blev nedlagt - blev målt mellem 1,9-2,1 mg/m³ som gennemsnitskoncentrationer over 14 dage i lejligheden.

6.2.2 Beregninger

Ved beregningerne er det antaget, at rumkoncentrationen har været 2,3 mg/m³ i hele perioden. Dette er gjort af beregningstekniske årsager, fordi indstillingen af adsorptionslignevægten er så langsom, at ligevægtsrumkoncentrationer på f.eks. 2,0 mg/m³ ikke opnås før efter mere end 5000 timer (knap 7 måneder) ved en lavere rumkoncentration end 2,3 mg/m³. Det anvendte beregningsprogramms maksimale simulationsperiode er 9.999 timer (knap 14 måneder). Da desorptionsfasen også inkluderes i beregningerne kan simulering af egentligt ligevægtssituation for lokalitet 2 ikke umiddelbart opnås med det anvendte program.

Der er i hhv. sept. og okt. måned 2001 foretaget målinger af indeklimakoncentrationen i lejligheden. Idet fjernelsen af renseriet skete omkring den 1. marts sættes dette tidspunkt til t= 4.300 timer (ca. 6 måneder). Øvrige målinger tidsfæstes i forhold til dette tidspunkt, se også tabel 6.3.

Der foreligger alene 2 målinger, som kan anvendes til at beskrive koncentrationsforløbet efter lukningen af renseriet. Dette stærkt begrænsede datagrundlag giver ikke mulighed for en detaljeret analyse, men under forudsætning af modellens troværdighed, kan den tjene til at vise størrelsesordenen af ratekonstanterne.

Programmets sinkmodel nr. 2 antager reversibilitet, hvor de styrende sorptionsparametre er hhv. k_a og k_d . Det er valgt at anskue alle lejlighedens sorptionsflader - dvs. vægge, loft, gulv, vinduer og døre, og arealet af møbler mm. - under ét. Da det ikke var muligt at opmåle arealet af alle møbler m.m., er det valgt at anvende arealet af gulv, væg og loftsflader som et udtryk for det samlede sinkareal i lejligheden.

Adsorptionskonstanten (k_a) blev sat til 0,45 m/h og k_d justeret derefter efter samme procedure som anvendt for pavillonen.

Lejligheden er derudover behandlet som en homogen zone i forhold til omgivelserne. Der henvises til modelbeskrivelsen i tabel 6.3. Data stammer fra enten målinger eller opmålinger på lokalitet 2.

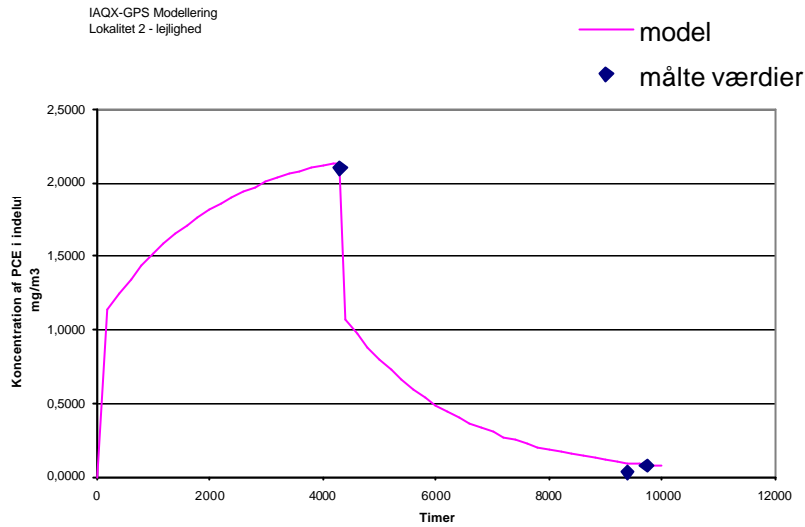
Modeldata fremgår af figur 6.2.

Tabel 6.3.: Input data til IAQX 1.0- GPS modellen for lejligheden på lokalitet 2

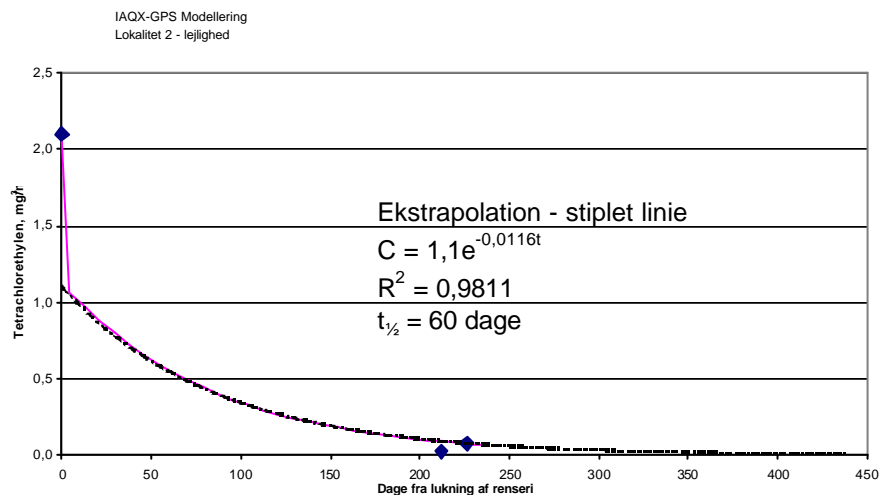
Lokalitet 2 – lejlighed 1.sal	
Målte indeklimakoncentrationer, mg/m³	
t = 0 til t=4500 h (lig1. marts 2001)	2,0
t = 9388 h (lig 28. sept. 2001)	0,028
t = 9724 h (lig 12. okt. 2001)	0,077
Model variable	Værdi
Areal af lejlighed, m ²	79,4
Rumhøjde, m	2,5
Volumen af lejlighedens rum, m ³	199
Sinkareal (vægge, gulv, loft), m ²	386
Antal luft-zoner, ubenævnt	2 - ude og inde
Ventilationsmodel	Konstant ventilation
Luftskifte N, h ⁻¹	0,7
Luftskifte, Q = NV, m ³ /h	139
Kildemodel nr.	12
C, mg/m ³	2,0
Q, m ³ /h	139
Start time, h	0
Removal time, h	4300
Sinkmodel nr.	2
k_a , m/h	0,45
k_d , h ⁻¹	0,0011
M_0	0

Figur 6.2.: Model af koncentrationsforløbet i indeklimaet på lokalitet 2 tilpasset måleresultaterne. Figur a) viser hele det modellerede forløb fra t= 0 til t= 9.999 timer, mens b) er en forstørrelse af forløbet fra kilden afbrydes til t= 4.300 timer, idet dette tidspunkt er sat lig nul, til koncentrationen er faldet til under målbart niveau. Øvrige input fremgår af tabel 6.3. Tendenslinjer for model anført i figur b) er bestemt som excel-programmets bedste fit for alle data. Bemærk ændringen i tidsenheden på graferne.

a)



b)



Figur 6.2a) viser hele det modellerede forløb fra t = 0 til t=9.999 timer, mens b) er en forstørrelse af forløbet fra forureningskilden fjernes til t=4.300 timer og frem. For lethedens skyld er tidsaksen ændret, således at x-aksen angiver antal dage fra fjernelse af kilden. Endvidere er der i figur 6.2b) foretaget en ekstrapolation af forløbet fra t=9.999 (ca. 237 dage efter fjernelse af kilden) og til koncentrationen er faldet til under $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ekstrapolation er beregnet som bedste fit v.h.a Excel 2000. Øvrige input fremgår af tabel 6.3.

Modelleringen – under de aktuelle antagelser – viser en ratekonstant for desorptionen på $0,0011 \text{ h}^{-1}$. Dette er ca. 10 gange lavere end fundet ved målingerne i pavillonen ($0,017 \text{ h}^{-1}$). En af forudsætningerne for den anvendte model er, at kilden fjernes helt og momentant, når adsorptionsfasen er slut. Dette er ikke tilfældet her, idet etageadskillelsen viste sig at indeholde meget betydelige restmængder tetrachlorethylen (se tabel 5.4). Der er således tilført betydelige mængder tetrachlorethylen til lejligheden fra gulvfladen også efter adsorptionsfasens ophør. Dette forklarer den meget lavere desorptionsrate for lejligheden som helhed.

Lejlighedens inventar kan desuden også have spillet en rolle som interne sinks. Arealet af inventaret er ikke medregnet som tidligere nævnt. En anden mulig forklaring er, at etageejendommen indeholder væsentlig bedre sinkmaterialer (sorbenter) end pavillonen.

Ved ekstrapolation viser det sig, at koncentrationer under luftkvalitetskriteriet vil opnås til $t = 450$ dage eller ca. 1,2 år efter lukning af renseriet, se også tabel 6.4.

Tabel 6.4: Fremskrivning af forløbet af indeklimakoncentrationen af tetrachlorethylen i lejligheden på lokalitet 2. Se også figur 6.2

Tid		Beregnet koncentration af tetrachlorethylen i indeklimaet ^a , mg/m^3
Dage efter lukning af renseri	År efter lukning af renseri	
240	0,66	0,069 ^b
300	0,82	0,034
450	1,23	0,006
480	1,31	0,004

^a: Ekstrapolationslinien følger formelen $C = 1,1 \cdot e^{-0,0011t}$

^b: Sidste beregnede værdi fra modelkørsel med IAXQ 1.0 – GPS

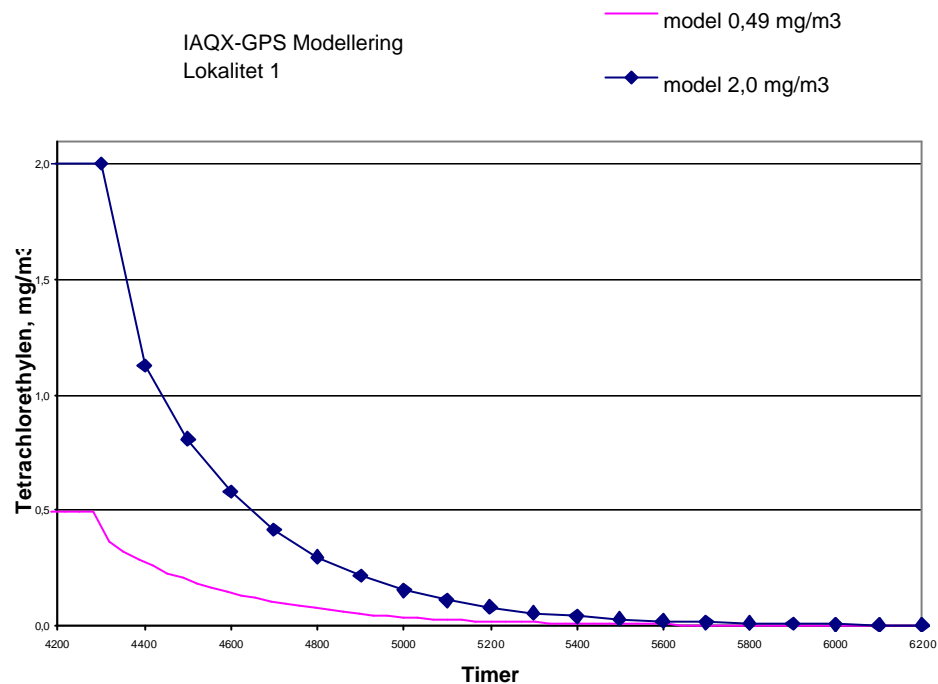
6.3 Modellering af andre situationer

6.3.1 Betydningen af større kildestyrke i adsorptionsfasen

For at illustrere betydningen af kildens størrelse (rumkoncentrationen) blev modelleringen gentaget under antagelse af en højere ligevægtskoncentration. Pavillonen (lokalitet 1) blev anvendt som modeleksempel. Modelleringens inputdata fremgår af tabel 6.1, idet den eneste ændring består i, at kildemodellens forureningskoncentration er sat til $2,0 \text{ mg/m}^3$. En rumkoncentration af denne størrelse har vist sig at være normalt i mange situationer (Kampsax 2001a).

Koncentrationsforløbet i fremgår af figur 6.3.

Figur 6.3: Desorptionsfasen som funktion af kildestyrken i adsorptionsfasen. Model af koncentrationsforløbet i indeklimaet på lokalitet 1 med en kildestyrke på hhv. 0,49 og 2,0 mg/m³.



Som det fremgår af figuren forlænges desorptionsfasen betydeligt. I den givne situation forlænges perioden fra fjernelse af kilden til $t=4.300$ timer til koncentrationen er under luftkvalitetskriteriet med ca. 40 %, fra ca. 50 dage (ca. 1.200 timer) til ca. 70 dage (ca. 1.700 timer) ved en fire-dobling af udgangskoncentrationen.

Højere udgangskoncentration bevirker højere koncentrationsniveauer i hele desorptionsfasen. Denne øgede rumkoncentration i desorptionsfasen er forholdsmæssig større end den tidsmæssige forlængelse af desorptionsfasen.

6.3.2 Modelling af rumkoncentration for tidligere renserilokaler

For at illustrere det potentielle sinkbidrag og dermed den resulterende rumkoncentration i et nedlagt renseri er der gennemført en modelkørsel for et modelrenseri.

Ved beregningen er der antaget størrelse, volumen og areal af sinkflader som svarer til lokalitet 2, mens luftskiftet er sat til 1 gang i timen. Det er videre antaget, at der har været en gennemsnitlig rumkoncentration i renseriet på 19 mg/m³, svarende til et typisk niveau i igangværende renserier (Kampsax

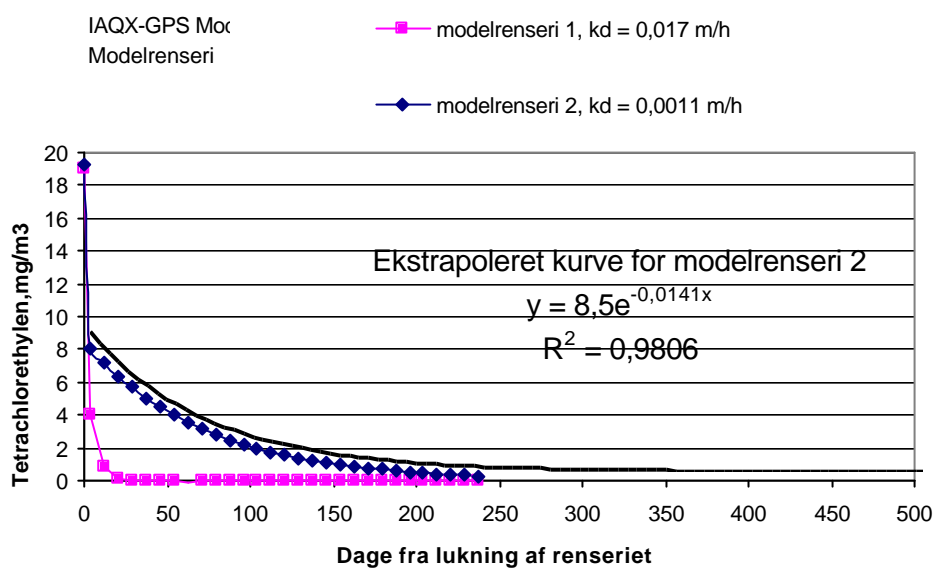
2001a). Ved beregningen er det antaget, at kilden til forurening fjernes efter 4.300 timer (6 måneder).

Der er gennemført 2 modelkørsler for modelrenseriet, idet adsorptionsratekonstanten i begge tilfælde er 0,45 m/h, mens desorptionsratekonstanten er sat til 0,017 og 0,0011 h⁻¹, for hhv. modelkørsel 1 og 2.

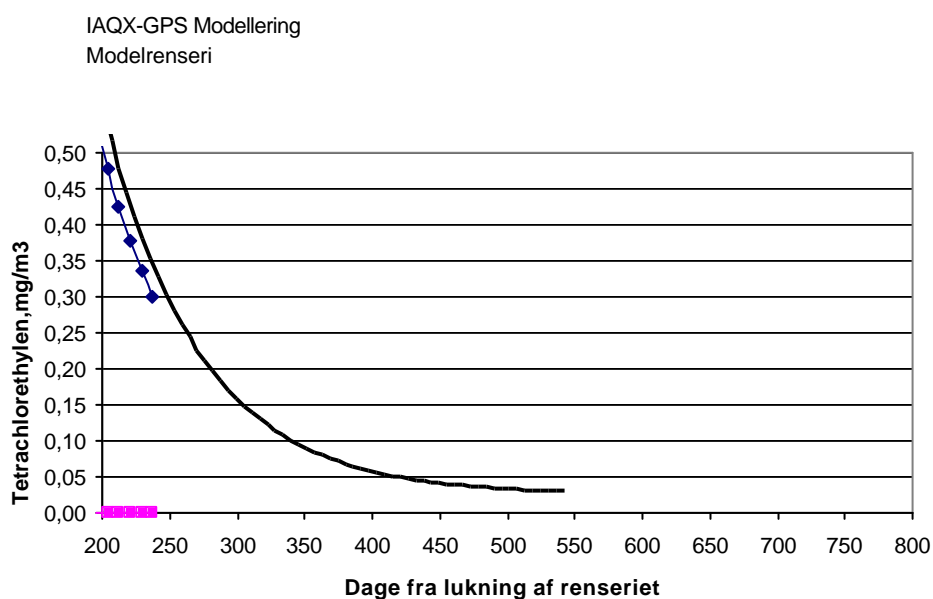
Resultatet af modelkørslerne fremgår af nedenstående figur 6.4.

Figur 6.4: Modellering af indeklimakoncentration i et nedlagt renseri med en gennemsnitlig tetrachlorethylenkoncentration på 19 mg/m³ i driftsfasen. Desorptionsratekonstanten er sat til hhv. 0,017 og 0,0011 h⁻¹. A) angiver desorptionsforløbet fra kilden fjernes, mens b) angiver udsnit af a) fra 200 til 800 dage, idet ekstrapolationen fremgår.

a)



b)



Desorptionsfasen ved brug af den lave desorptionsratekonstant bestemt for lokalitet 2, kan ikke umiddelbart simuleres ved IAQX-programmet. Ved extrapolation i perioden udover 9.999 timer viser det sig, at det tager ca. 1,4 år efter lukning af renseriet til rumkoncentrationen er lavere end 0,006 mg/m³.

Tabel 6.5: Forløbet af indeklimatekoncentrationen af tetrachlorethylen i modelrenseri ved $k_d = 0,0010 \text{ h}^{-1}$. Se også figur 6.4.

Tid		Beregnet koncentration af tetrachlorethylen i indeklimaet ^a , mg/m ³
Dage efter lukning af renseri	År efter lukning af renseri	
240	0,66	0,299 ^b
300	0,82	0,124
400	1,10	0,030
500	1,37	0,007
515	1,41	0,006
525	1,44	0,005

^a: Ekstrapolationen følger formlen $C = 8,5 \cdot e^{-0,0141t}$, t i dage

^b: Sidste beregnede værdi fra modelkørsel med IAXQ 1.0 – GPS

Som forventet er afdampningsperiodens længde væsentlig længere ved anvendelse af den lave k_d -værdi på 0,0011 m/h, svarende til modellen for lokalitet 2.

En række forhold taler for, at desorptionen efter nedlæggelse af renseridriften bedst beskrives ved modellen fra lokalitet 2. Disse forhold er:

1. Pavillonen er karakteriseret ved, at der ingen bygningsdele såsom mursten og beton findes på lokaliteten, idet sorptionsfladerne alene udgøres af gipsplader og vinylgulv. I et renseri vil der være væsentligt flere mure og betonflader, som alt andet lige har større sorptionspotentiale, se også afsnit 3.4.2.
2. Der må forventes at kunne være store, fortsatte kilder efter ophør af renseridriften i form af rester efter spild.
3. Adsorptionsperioden vil normal have været betydelig længere end det halve år, som er anvendt til modelberegningerne i denne undersøgelse.

7 Diskussion

Trods det, at der kun er foretaget målinger af sinkbidrag på 2 lokaliteter, og datamaterialet dermed er begrænset, vurderes det, at måleresultater i kombination med resultaterne fra de andre omtalte undersøgelser viser, at sinkeffekter er reelt forekommende.

7.1 Sinkbidrag

Resultater i dette projekt viser, at måneders eksponering af indeklimaet i en bygningen med tetrachlorethylen fra renseridrift fører til en optagelse (adsorption) af tetrachlorethylen i bygningsdele og inventar. Hele eller dele af denne adsorbere forurening afgives på et senere tidspunkt atter til luften. Beregningerne har vist, at afgivelsen (desorptionen) kan tage måneder eller år afhængig af de lokale forhold.

Det har ikke været målet med projektet at bestemme størrelse og hastighed af adsorptionen. På baggrund af den tilgængelige litteratur vurderes det, at adsorptionen foregår forholdsvis hurtigt, og at ligevægt mellem materialer og rumluft opnås inden for dage eller uger. Materialernes egenskaber har en afgørende betydning for opkoncentrationen af forurening. Længst tid tager det tilsyneladende for porøse materialer, som beton og mursten. Disse materialer kan også adsorbere de største mængder forureninger.

Desorptionsfasen forlænges jo højere koncentration bygningsdelene har været eksponeret med, idet der antages konstant halveringstid.

Projektet har vist, at sinkeffekten har så markant en indflydelse, at selv ved en fuldstændig fjernelse af kilden til forurening - f.eks. renseriet - vil indeklimatekoncentrationen af tetrachlorethylen kun falde langsomt, og i værste fald vil der være tetrachlorethylen i indeklimaet i boliger over renserier i koncentrationer over luftkvalitetskriteriet i måneder/år.

Nogle af de gennemførte undersøgelser i regi af kommunernes tilsynspligt har omfattet flere lejligheder end den lejlighed, der er beliggende lige over renseriet (Kampsax 2001a). Flere af disse undersøgelser bekræfter resultaterne, som er gengivet i figur 4.2, idet der kunne konstateres påvirkninger af mange af de øvrige lejligheder i bebyggelserne. Det er således sandsynligt, at eksponeringen som følge af renseridriften også har ført til sinkbidrag i mere fjerntliggende lejligheder.

7.2 Matematisk beskrivelse af sinkeffekten

Ved brug af IAQX 1.0 modellen på de opnåede måleresultater fra pavillonen blev der opnået god overensstemmelse mellem måledata og de matematiske modeller.

Det kan konstateres, at de beregnede desorptionshastigheder er væsentlig lavere end rapporteret ved laboratorieforsøg. Ukritisk anvendelse af ratekonstanter

fra litteraturen kan derfor føre til en væsentlig underestimering af sinkbidragets størrelse og tidsforløb.

Desorptionshastigheden i lejligheden (lokalitet 2) var en faktor ca. 10 lavere end den tilsvarende hastighed for pavillonen (lokalitet 1). Pavillonen adskiller sig bygningsmæssigt fra lejligheden ved at bestå af lette bygningsmaterialer som gipsplader og gulvbelægninger, mens lejligheden ligger i en klassisk beboelsejendom af mursten. Samtidig er lejligheden møbleret.

En anden og væsentlig forklaring på forskellen i desorptionshastighed er sandsynligvis også, at etageadskillelsen i beboelsejendommen fortsat virker som en kilde til tetrachlorethylen efter renseridriften er ophørt. Rapportens forfattere vurderer, at dette kan være tilfældet ved mange renserier. Brug af "rene" desorptionsratekonstanter fra litteraturen kan derfor føre til misvisende resultater i praksis.

7.3 Hvor opkoncentreres tetrachlorethylen i bygningen ?

Med forbehold for det begrænsede datamateriale, indikerer undersøgelserne, at jo mere komplekse sinkflader og jo større indre areal, jo lavere desorptionsratekonstanter og des langsommere sker desorptionen.

Litteraturen angiver, at stort set alle materialer i en bygning kan fungere som sinkpools. Meininghaus et al. (2000) refererer, at særligt porøse materialer eller materialer der indeholder en organisk fase, udgør gode sorbenter. Pools ?

Nærværende undersøgelse viser, at særligt etageadskillelsen mellem det tidligere renseri og lejligheden kan udgøre en meget betydelig pool af tetrachlorethylen. I det foreliggende eksempel blev der kun fundet mindre mængder tetrachlorethylen i hulmuren. Undersøgelsen viser også, at der kan påvises tetrachlorethylen i stort set alle materialer i et indeklima som et udsat for stof-fet - inklusiv fødevarer.

7.4 Sinkeffektens betydning i relation til kontrol af renserier i drift

De mange indledende målinger, som kommunerne har gennemført til belysning af påvirkningen af boliger fra renseridriften, har vist, at der i lejligheder over igangværende renserier typisk påvises 1-5 mg tetrachlorethylen/m³ (Kampsax 2001a , MILJØ-KEMI 2001), når der ikke er taget tiltag for at begrænse påvirkningen.

Der er i flere renserier efterfølgende gennemført en del tiltag til begrænsning af emissionen fra renseriernes drift. Miljøstyrelsens projekt til afdækning af mulighederne for at reducere bidraget fra renserierne til overliggende lejligheder (Miljøstyrelsen, 2001b) har vist, at det tilsyneladende er muligt at nedbringe bidraget fra et igangværende renseri til overliggende lejligheder til i hvert fald 0,3 mg tetrachlorethylen/m³, men at det er tvivlsomt, om man kan komme under luftkvalitetskriteriet på 0,006 mg/m³.

Oven i bidraget fra renseriets drift har denne undersøgelse vist, at der i en lang periode efter tiltagenes gennemførelse skal regnes med betydelige bidrag fra sink-pools i boligen. Sinkbidraget gør det yderligere tvivlsomt, om man kan komme under luftkvalitetskriteriet.

Dette har ikke mindst betydning for fastsættelsen af tidsfrister i forbindelse med kommunernes tilsyn med renserierne.

Nærværende undersøgelse viser, at fedtholdige materialer som smør og fedt kan adsorbere tetrachlorethylen. I bynære områder er det ikke ualmindeligt, at igangværende renserier ligger dør om dør med dagligvarebutikker. Da tetrachlorethylen kan trænge igennem mure og vægge, kan det således ikke udelukkes, at der er et sundhedsmæssigt problem i relation til påvirkning af dagligvarer med tetrachlorethylen.

7.5 Sinkeffektens betydning i relation til nedlagte renserier

Det er skønnet, at der er mellem 1000-2000 nedlagte renserier i Danmark. Disse renserier har været i drift i en tid, hvor mere lempelige principper for håndtering af kemikalier var gældende med deraf følgende større risiko for spredning af kemikalierne. Der er således grund til at formode, at renserier og omkringliggende boliger har været udsat for højere eksponeringer end set i denne undersøgelse.

Da målingerne viser, at der i værste fald kan være bidrag fra bygningsmaterialer og interiøri måneder eller år efter lukningen af et renseri, er der sandsynligt, at der er et uafdækket problem i relation til disse ejendomme med tidligere renseridrift.

Er der tillige en jord- og grundvandsforurening kan det give en yderligere forurening til indeklima og bygningskonstruktion.

De tidligere renserilokaler anvendes nu til en række andre formål såsom boliger, kontorer, forretninger etc. Hvis der fortsat er større dele af de oprindelige byggematerialer (dvs. vægplader, lofter, skillevægge) tilbage i renserilokalerne er der en betydelig risiko for en langvarig påvirkning af indeklimaet.

Undersøgelsen har også vist, at tetrachlorethylen ophobes i fedtholdige fødevarer. Hvis lokalerne anvendes til produktion eller salg af f.eks. kød, ost eller andre eller mælkeprodukter, kan der ske en forurening af fødevarerne.

7.6 Sinkeffektens betydning i relation til vurdering af jord- og grundvandsforurening

En gennemgang af erfaringer fra jord- og grundvandsundersøgelser viser, at typiske forureningsniveauer i poreluften under eksisterende eller tidligere renserier er 0,3-100 mg/m³ (Kampsax 2001b). Miljøstyrelsens JAGG-model til beregning af fluxen ind i boliger indikerer påvirkninger svarende til 0,003-1 mg/m³, (typisk 0,001-0,1 mg/m³).

Som det fremgår, er dette bidrag fra jord- og grundvandsforurening i samme størrelsesorden som sinkbidraget, der blev bestemt ved lokalitet 1 og 2.

Tilstedeværelsen af sådanne 2 - eller principielt flere – bidrag i samme størrelsesorden bør give anledning til en revurdering af, hvorledes indsatsen tilrettelægges mest hensigtsmæssigt. Er det samfundsøkonomisk mest fordelagtigt at håndtere jord- og grundvandsforureningen på en given lokalitet, eller bør der sættes ind over for opkoncentrationer af forurening på sinks i bygningen?

Eksemplet tjener til at illustrere vigtigheden af at have fokus på alle potentielle bidrag og vurdere disse i forhold til hinanden.

Yderligere skal man holde sig for øje, at tilstedeværelsen af en sinkeeffekt betyder at der ved kontrolmålinger under gulv i en bygning efter oprensning af en jordforurening er risiko for at medtage såvel bidrag fra restforureningen som sinkbidrag fra bygningskonstruktionen.

7.7 Anvendelse af administrative grænseværdier for bidraget fra renseri til boliger

Forestiller man sig, at det fra miljømyndighedernes side konkluderes, at det pt. ikke er muligt at overholde luftkvalitetskriteriet i boliger beliggende over igangværende renserier, kan det være nødvendigt, som en midlertidig løsning, at fastsætte nogle administrative kontrolgrænser. Også her får sinkeeffekten betydning.

Hvis resultaterne (figur 6.2 og figur 6.4 – modelrenseri 2) i denne undersøgelse er repræsentative for alle renserier, betyder det for et nedlagt renseri, at alene bidraget fra sinks i de tidligere renserilokaler vil udgøre mere end 5 mg/m³ i op til 1½ måned efter at renseridriften ophørte fuldstændig. Med renseriet i drift vil der desuden være et bidrag fra driften, og koncentrationen af tetrachlorethylen i renseriet vil derfor være væsentligt over de 5 mg/m³ i perioden. Hvor høj koncentrationen vil være og hvor længde, der vil være mere end 5 mg/m³ i renseriet afhænger helt af renseriets drift samt brug af emissionsbegrænsende foranstaltninger.

Ud fra værdierne i tabel 6.4 (der angiver værdier fundet ved ekstrapolation af koncentrationsforløbet i figur 6.2) kan det konstateres, at sinkbidrag i lejligheden beliggende over renseriet først kommer under 0,1 mg/m³ ca. ½ år efter kilden til forurening er fjernet. Forestiller man sig, at renseriet fortsat er i drift og at driften fører til et bidrag i lejligheden, vil det formodentlig tage længere end ½ år at opnå koncentrationsniveauer i lejligheden under 0,1 mg/m³.

7.8 Hvornår kan det antages, at boligen er upåvirket af drift af renseri, sinkeeffekt mm. ved fjernelse af alle kilder til forurening ?

Spørgsmålet om, hvornår det kan antages, at boligen er upåvirket af renseridriften, sinkeeffekt mm. ved fjernelse af alle kilder, melder sig naturligt.

Miljøstyrelsen gennemførte et projekt til bestemmelse af naturligt forekommende niveauer af tetrachlorethylen i indeklimaet i boliger (Miljøstyrelsen, 2001a). Her viste målinger i indeklimaet i 24 boliger beliggende langt fra renserier koncentrationer af tetrachlorethylen mellem 0,00002 og 0,0022 mg/m³. De højeste værdier blev konstateret i lejligheder og boliger, hvor der var tilført rensede tekstiler. Disse koncentrationsniveauer repræsenterer således de ”upåvirkede” niveauer, og målingerne viser, at det er muligt at nå disse niveauer, hvis kilder til forurening elimineres.

Forestiller man sig, at alle kilder til forurening med tetrachlorethylen fjernes, vurderes det på basis af de i afsnit 6 gennemførte modelkørsler samt resulta-

terne af de foretagne målinger, at noget der nærmer sig luftkvalitetskriteriet vil være opnået i indeklimaet i boligen efter flere måneder eller få år afhængig af bl.a. typen af sinkflader og eksponeringsniveauet inden kilden til forurening blev fjernet.

Opnåelse af baggrundsniveauerne som fundet i Miljøstyrelsen (2001a) vil formodentlig tage år.

7.9 Sinkproblematik for andre brancher og stoftyper

Ved gennemgang af resultaterne fra udenlandske undersøgelser kan det konstateres, at så at sige alle organiske stoffer i et eller andet omfang udviser sinkeffekter.

Dette betyder, at sinkeffekter også vil forekomme for en lang række af de miljøfremmede stoffer som anvendes i de småindustrier, der er placeret i boligområder, fx benzin- og dieseludsalg, farvehandlere, autolakerier og –mekanikere.

Som for renserierne skal man for disse bolignære industrier holde sig for øje, at der ud over de almindelige kilder til forurening kan være et sinkbidrag, der kan fortsætte længe efter, at kilden til forureningen er reduceret eller fjernet.

En sandsynlig tilstedeværelse af sinkeffekter betyder, at man ved tolkning af måleresultater i boliger, herunder vurderinger af risici og behovet for afhjælpning, skal udvise forsigtighed og i videst muligt omfang medtage sinkeffekten i vurderingen.

7.10 Behov for yderligere viden om sinkeffekten

Som det fremgår af ovenstående afsnit er det nødvendigt at inddrage sinkeffekten i risikovurderinger samt ved vurdering og prioritering af afværgetiltag.

Nærværende projekt viser dog, at det er yderst kompliceret at regne på sinkeffektens størrelse og forløb, idet der ikke foreligger tilstrækkelig og anvendelig viden om ad- og desorptionsprocessen og de styrende ratekonstanter størrelse til brug for beregninger i fuld-skala. Brug af litteraturværdier, som ikke har forbindelse med den aktuelle situation, kan i værste fald føre til enten en underestimering af den påvirkning man udsætter indeklimaet for eller alternativt til u hensigtsmæssig brug af ressourcer til afværgeforanstaltninger.

Skal man i fremtiden inddrage sinkeffekter i risikovurderingen er der således behov for yderligere undersøgelser, der belyser følgende forhold:

- Beskrivelse af adsorptions- og desorptionsdynamikken, herunder reversibilitetens omfang
- Fastlæggelse af relevante ratekonstanter for boliger mm.
- Fastlæggelse af retningslinier for hvorledes sinkeffekten inddrages i de miljøtekniske vurderinger

8 Konklusion

Nærværende projekt har haft til mål at belyse sinkeeffekten i forbindelse med renserier og omkringliggende boliger. Undersøgelsen har omfattet målinger på 2 lokaliteter, hvor der har været enten renseridrift eller ind- og udlevering af renset tekstil.

Undersøgelserne viser, at tetrachlorethylen adsorberes til bygningsdele og interiør i renserier og omkringliggende lejligheder og desorberes igen, når forureningsniveauet i luften falder, f.eks. ved lukning af renseriet.

Desorptionen er forholdsvis langsom, og målinger på 2 lokaliteter viser, at indeklimakoncentrationer af tetrachlorethylen kan overskride luftkvalitetskriteriet i måneder/år efter at renseriaktiviteten var nedlagt.

Undersøgelsen viser videre, at etageadskillelsen på en af de undersøgte lokaliteter udgør en god sorbent for tetrachlorethylen, der langsomt afgives til indeklimaet. Målingerne indikerer, at bygningsdele såsom mure og beton generelt kan adsorbere større mængder af forureningskomponenter end gipspladser og træ, hvilket er i overensstemmelse med andre refererede undersøgelser.

Målinger viser, at fedtrige fødevarer er gode sorbenter (sinks). Da mange renserier, hvad enten de er nedlagte eller igangværende, ofte ligger tæt på dagligvarebutikker, kan bidrag fra sinks eller bidrag fra driften af renserier give anledning til en forurening af fødevarer.

Resultaterne af undersøgelserne giver, trods deres begrænsede omfang, anledning til at formode, at sinkeeffekter også kan forventes for andre miljøfremmede stoffer. Dette betyder, at lignende forsinkede effekter må formodes for en lang række af de miljøfremmede stoffer som anvendes i såvel boliger som småindustrier, der er placeret i boligområder, fx benzin- og dieselsalg, farvehandlere, autolakerier og -mekanikere.

Sinkeeffekten implicerer en række problemstillinger i relation til bl.a.

- planlægning af kontrolmålinger efter tekniske tiltag i renserier til begrænsning af emissionen af tetrachlorethylen
- tolkning af indeklimatemålinger og målinger af poreluftskoncentrationer under potentielt forurenede bygningsdele

Tilstedeværelsen af sinkeeffekter betyder, at man ved tolkning af måleresultater i boliger, herunder vurdering af risici, skal udvise forsigtighed og i videst muligt omfang medtage sinkeeffekten i vurderingen. En forsvarlig vurdering af sinkeeffektens betydning vil dog kræve, at der gennemføres yderligere fuldskalaundersøgelser og fastlægges principper for undersøgelser og risikovurdering.

9 Forkortelser

A	er overfladearealet af sinkmaterialet, dvs. arealet af vægge, gulv og interiør, m^2
$A_{\text{tekstil}, i}$	Arealet af det i'te rensede tekstil.
$C_i(t)$	er koncentrationen af stoffet i indeluften, mg/m^3
$C_o(t)$	er koncentrationen af stoffet i udeluften, mg/m^3
$C_s(t)$	er koncentrationen af stoffet på sinkmaterialet, mg/m^2
N	Luftskiftet = Q/V , h^{-1}
k_a	Adsorptionsratekonstant for sinkmaterialet m/h
k_s	Desorptionsratekonstant for sinkmaterialet, h^{-1}
k_e	Ligevægtskonstant
k_i	Emissionsratekonstant for det i'te rensede tekstil, h^{-1}
M	Samlet restindhold i sinkmaterialet, mg/m^2
$R(t)$	Emissionsraten for det i'te rensede tekstil til tiden t, $\mu g/m^2h$,
$R_{0,i}$	Initial emissionsrate for det i'te tekstil, $\mu g/m^2h$
V	Volumen af rum eller bolig, m^3
Q	Luftflow gennem rum eller bolig, m^3/h

10 Referencer

Bouhamra, W. & Elkilani A. (1999a): Development of a Model for the Estimation of Indoor Volatile Organic Compounds Concentration Based on Experimental Sorption Parameters. *Environmental Science & Technology*, vol. 33, no. 12, 1999, pp. 2100-2105.

Bouhamra, W.S. & Elkilani, A.S. (1999b): Investigation and Modeling of Surface Sorption/Desorption Behavior of Volatile Organic Compounds for Indoor Air Quality Analysis. *Environmental Technology*, vol. 20, 1999, pp. 531-545.

Colombo, A.; De Bortoli, M.; Knöppel, H.; Pecchio, E & Vissers, H. (1993): Adsorption of Selected Volatile Organic Compounds on a Carpet, a Wall Coating, and a Gypsum Board in a test Chamber. *Indoor Air*, vol. 3, 1993 pp. 276-282.

Gulyas, H. & Hemmerling, L. (1990): Tetrachloroethene Air Pollution Originating from Coin-Operated Dry Cleaning Establishments. *Environmental Research*, vol. 53, 1990, pp. 90-99.

Guo, Z. (2000): Development of a Windows-based Indoor Air Quality Simulation Software Package. *Environmental Modelling & Software*, vol. 15, 2000 pp. 403-410.

Guo, Z. (2000a): Simulation Tool Kit for Indoor Air Quality and Inhalation Exposure (IAQX), Version 1.0 – Users Guide. EPA-600, R00-094, October 2000.

Jørgensen, R. B; Bjørseth, O. & Malvik, B. (1999): Chamber Testing of Adsorption of Volatile Organic Compounds (VOCs) on Material Surfaces. *Indoor Air*, vol. 9, 1999, pp. 2-9.

Kampsax A/S (2001a): Personlig kommunikation med Dorte Glensvig

Kampsax A/S (2001b): Personlig kommunikation med Gerald Hyde og Christian Buch.

Kjær, U. (1999): Adsorption af Organiske Forbindelser til Byggematerialer. Ph. D. afhandling 1999. Institutet for Kemiteknik, Danmarks Tekniske Universitet & Statens Byggeforskningsinstitut.

Kjær, U. & Nielsen, P.A. (1993): Adsorption Studies on Dust Samples from the Indoor Environment. *Proceedings of Indoor Air*, vol. 2, 1993, pp. 579-583.

Meininghaus, R.; Gunnarsen, L. & Knudsen, H.N. (2000): Diffusion and Sorption of Volatile Organic Compounds in Building Material – Impact on Indoor Air Quality. *Environmental Science & Technology*, vol. 34, no. 15, 2000, pp. 3101-3108.

MILJØ-KEMI, Dansk Miljøcenter A/S (2001): Personlig kommunikation med Peter Mortensen.

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

Miljøstyrelsen (2001b): Begrænsning af luftformig emission af tetrachlorethylen fra renserier. Miljøprojekt nr. 652/2001.

Miljøstyrelsen (2001c): Måling af indtrængningen af gasformige forbindelse fra forurenede jord til indeluften: Foliemetoden. Del 1. Laboratorieundersøgelse. miljøprojekt nr. 646/2001.

Reinhard, K., Dulson, W., Exner, M. (1989): Untersuchungen zum Vorkommen von Perchlorethylen in Raumluft und Lebensmitteln in Wohnungen in der Nähe von Chemischreinigungen. Zbl. Hyg. 189, 111-116, 1989.

Saarinen, A. & Saarela, K. (2000): Investigation of the Sorption Phenomena of VOCs on Material Surfaces. Proceedings of Healthy Buildings, vol. 4, 2000, pp. 193-197.

Thomas, K.W.; Pellizzari, E.D. & Perritt, R.L., (1991): Effect of Dry-Cleaned Clothes on Tetrachloroethylene Levels in Indoor Air, Personal Air, and Breath for Residents of Several New Jersey Homes. Journal of Exposure Analyses and Environmental Epidemiology, vol. 1, No. 4, 1991, pp. 475-490

Tichenor, B.A.; Guo, Z.; Dunn, J.E.; Sparks, L.E. & Mason, M.A. (1991): The Interaction of Vapour Phase Organic Compounds with Indoor Sinks. Indoor Air, vol. 1, 1991, pp. 23-35.

Won, D.; Corsi, R.L. & Rynes M. (2000): New Indoor Carpet as an Adsorptive Reservoir for Volatile Organic Compounds. Environmental Science & Technology, vol. 34, no. 19, 2000, pp. 4193-4198.

Won, D.; Sander, D.M.; Shaw, C.Y. & Corsi, R.L., (2001): Validation of the Surface Sink Model for Sorptive Interactions between VOCs and Indoor Materials. Atmospheric Environment, vol. 35, 2001, pp. 4479-4488.

Yang, X.; Chen, Q., Zhang, J.S.; An, Y.; Zeng, J. & Shaw C.Y. (2001): A Mass Transfer Model for Simulating VOC Sorption on Building Materials. Atmospheric Environment, vol 35, 2001, pp. 1291-1299.

Spørgeskema – dokumentation af tetrachlorethylen i indeklima

I nedenfor nævnte bolig er der udtaget luftprøver til bestemmelse af indeluftens indhold af tetrachlorethylen. Yderligere vil der blive udtaget materialeprøver af bygningsmassen til bestemmelse af indhold af tetrachlorethylen.

De listede spørgsmål vedrører tetrachlorethylen-forbrugende eller -producerende virksomheder samt jord- og grundvandsforureninger med tetrachlorethylen beliggende indenfor en radius af hhv. 2 km og 0,5 km fra lokaliteten:

«Adresse», «postnrby»

Er der ikke plads nok til besvarelsen, er kommunen velkommen til at vedlægge supplerende materiale. Vedlægges supplerende data, bedes dette mærkes med kommunens navn, samt ovenfor nævnte adresse.

Spørgeskemaet bedes returneret til Kampsax A/S, Stamholmen 112, 2650 Hvidovre, Att. Jesper Jacobsen, **inden den 1. november 2001.**

Skulle der være spørgsmål til spørgeskemaet kan Jesper Jacobsen, Kampsax A/S, tlf. 36 39 07 00 kontaktes.

Vi takker for kommunens hjælp !

Spørgsmål 1 – Stamdata	
A	Kommunens adresse, samt tlf. nr.:
B	Skemaet er udfyldt af : _____

Spørgsmål 2 – Nærtliggende tetrachlorethylen-forbrugende/producerende virksomheder

A Ligger der inden for en radius af 2 km fra omtalte lokalitet virksomheder som anvender/producerer eller har anvendt/produceret tetrachlorethylen ?

Kommunen er velkommen til at vedlægge målfast kortmateriale.

Alternativt bedes angives en skønnet afstand mellem lokalitet og virksomhed samt en kompasretning (regnet fra omtalte bolig i retning af virksomheden)

Igangværende renseri, afstand: _____ m, _____ (S, SØ, el. lign.)

Igangværende renseri, afstand: _____ m, _____ (S, SØ, el. lign.)

Igangværende renseri, afstand: _____ m, _____ (S, SØ, el. lign.)

Tidligere renseri, afstand: _____ m, _____ (S, SØ, el. lign.)

Tidligere renseri, afstand: _____ m, _____ (S, SØ, el. lign.)

Tidligere renseri, afstand: _____ m, _____ (S, SØ, el. lign.)

Tidligere renseri, afstand: _____ m, _____ (S, SØ, el. lign.)

Igangværende metalforarbejdende virksomhed ¹⁾, afstand: _____ m

Igangværende metalforarbejdende virksomhed ¹⁾, afstand: _____ m

Tidligere metalforarbejdende virksomhed ¹⁾, afstand: _____ m

Tidligere metalforarbejdende virksomhed ¹⁾, afstand: _____ m

Tidligere metalforarbejdende virksomhed ¹⁾, afstand: _____ m

Andre, _____, afstand: _____ m

Andre, _____, afstand: _____ m

¹⁾ oplyses kun såfremt der er kendskab til, at den metalforarbejdende virksomhed anvender / har anvendt tetrachlorethylen

B Er der i forbindelse med disse virksomheder foretaget målinger af udeluftens indhold af tetrachlorethylen ?

Ja

Nej

Hvis "Ja" Hvor, hvornår og hvilke koncentrationer af tetrachlorethylen blev der konstateret ?

Spørgsmål 3 – Nærtliggende jord- eller grundvandsforurening med tetrachlorethylen

A Har kommunen kendskab til jordforureninger eller terrænnære grundvands-forureninger med tetrachlorethylen inden for en radius af 0,5 km fra omtalte lokalitet ?

Kommunen er velkommen til at vedlægge målfast kortmateriale.

Alternativt bedes angives en skønnet afstand mellem lokalitet og virksomhed samt en kompasretning (regnet fra omtalte lokalitet i retning af forureningen):

Jordforurening, afstand: _____ m, _____ (S, SØ, el. lign.)

Jordforurening, afstand: _____ m, _____ (S, SØ el. lign.)

Jordforurening, afstand: _____ m, _____ (S, SØ el. lign.)

Terrænnær grundvandsforurening, afstand: _____ m, _____ (S, SØ, el. lign.)

Terrænnær grundvandsforurening, afstand: _____ m, _____ (S, SØ, el. lign.)

Terrænnær grundvandsforurening, afstand: _____ m, _____ (S, SØ, el. lign.)

B Er der i forbindelse med disse forureninger foretaget målinger af udeluftens indhold af tetrachlorethylen ?

Ja

Nej

Hvis "Ja" :

- hvor, hvornår og hvilke koncentrationer af tetrachlorethylen er der påvist ?

Spørgeskema – dokumentation af tetrachlorethylen i indeklima

Alle data behandles fortroligt. Spørgeskemaet udfyldes i samarbejde med en repræsentant for Kampsax A/S.

Spørgsmål 1 – Stamdata som oplysninger om placering af målestation	
A	Boligens fulde adresse, samt evt. telefonnummer:
B	Skemaet er udfyldt af :

C Tegn en planskitse af placeringen af materiale- og hulmursprøver, med angivelse af møbler, døre, vinduer, radiatorer, evt. ventilation mm:

Spørgsmål 2 – Lidt om boligen, beboerne og deres beskæftigelse	
A	<p>Boligtype:</p> <p><input type="checkbox"/> Lejlighed <input type="checkbox"/> Rækkehus <input type="checkbox"/> Parcelhus <input type="checkbox"/> Andet _____</p> <p>Hvornår er bygningen opført ? _____ Har der været foretaget reoveringer af boligen indenfor de sidste 2 år ?</p> <p><input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej</p> <p>Hvis "Ja" , hvornår ? : Type og omfang af reoveringen¹⁾ :</p> <p>¹⁾ f.eks. nyt gulv, opsætning af skillevægge</p>
B	<p>Boligens beliggenhed</p> <p><input type="checkbox"/> I bymæssigt område <input type="checkbox"/> I industriområde eller på kanten af industriområde <input type="checkbox"/> I landzone, herunder landsbyer <input type="checkbox"/> Andet _____</p>
C	<p>Boligens størrelse</p> <p>Samlede antal kvadratmeter beboelse ²⁾ : m²</p> <p>Samlede antal rum ²⁾ i boligen: rum</p> <p>Typisk rumhøjde: m</p> <p>²⁾ incl. køkken, bad m.v. – dog excl. eventuelle kælderrum, medmindre disse er beboelsesrum</p>
D	<p>Antal beboere i boligen</p> <p>0 - 9 år: _____ personer 10 - 18 år: _____ personer 19 - 29 år: _____ personer 30 - 49 år: _____ personer Over 50 år: _____ personer</p> <p>Hvor længe har de boet i lejligheden ?</p>

E	<p>Beskæftigelse</p> <p>Har nogle af beboerne beskæftiget på arbejdspladser, hvor kemikaliet tetrachlorethylen (perchlor) produceres eller anvendes, eller hvor man kan komme i kontakt med kemikaliet?</p> <p><input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej</p> <p>Hvis "Ja" :</p> <p>Hvornår var de sidst beskæftiget og hvor lang tid.</p> <p>Hvor mange beboere drejer det sig om ? _____ personer</p> <p>Hvilken branche(r) er der tale om ?</p> <p>Hvorledes anvendes tetrachlorethylen på arbejdspladsen ? :</p> <p>Varetager beboeren opgaver, der omfatter håndtering af tetrachlorethylen, f.eks. omhældning eller lignende ?</p> <p><input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej</p>
---	--

Spørgsmål 3 – Lidt om udluftningsvaner og ventilation

A	<p>Hvor tit åbnes vinduer og/eller døre i boligen med det formål at udlufte boligen?</p> <p><input type="checkbox"/> flere gange dagligt <input type="checkbox"/> ca. 1-2 gange pr. uge <input type="checkbox"/> minimum 1 gang hver dag <input type="checkbox"/> ca. 1-2 gange pr. måned <input type="checkbox"/> ca. hver anden dag</p> <p>Findes og bruges der udeluftventiler (Hvis ja ! Antal ?) ?</p> <table style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">Ja</th> <th style="text-align: center;">Nej</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- i køkken</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>- i soveværelse</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>- i badeværelse</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>- i andre rum</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table> <p>Findes der rørgennemføringer i gulv (Hvis ja ! Antal ?) ?</p> <table style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">Ja</th> <th style="text-align: center;">Nej</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- i køkken</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>- i soveværelse</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>- i badeværelse</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>- i andre rum</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>- i entré</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>		Ja	Nej	- i køkken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	- i soveværelse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	- i badeværelse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	- i andre rum	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Ja	Nej	- i køkken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	- i soveværelse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	- i badeværelse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	- i andre rum	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	- i entré	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Ja	Nej																																
- i køkken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
- i soveværelse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
- i badeværelse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
- i andre rum	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
	Ja	Nej																																
- i køkken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
- i soveværelse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
- i badeværelse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
- i andre rum	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																
- i entré	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																

B	<p>Er der i boligen mekanisk ventilation <u>udover</u> almindelig brug af emhætte, ventilator i badeværelset og ventilationsåbninger i bygningsdele (f.eks. friskluftventiler i vinduer, ventilationsrist i væg)?</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej</p> <p>Hvis "Ja"</p> <p>- hvilken type og hvor ? :</p>
---	---

Spørgsmål 4 – Lidt om brugen af kemikalier i boligen

	<p>I de fleste boliger opbevares et udvalg af kemikalier og rengøringsartikler, herunder pletrensemidler mm. Disse kan indeholde opløsningsmidlet tetrachlorethylen. I ældre kemikalier/reensemidler er indholdsstoffer ikke altid deklareret.</p> <p>Vi kontrollerer sammen husstandens beholdning af kemikalier/reensemidler og udfylde nedenstående skema mht. produktets handelsnavn, hvorvidt det er deklareret at indeholde tetrachlorethylen (PCE, også benævnt perchlor, tetrachlorethen, perchlor-ethylen eller ethylen-tetrachlor), hvor i boligen reensemiddel opbevares, hvad det anvendes til og hvor hyppigt.</p> <p>Kemikalier / reensemidler i boligen</p> <p>Produktets</p> <p>Handelsnavn:</p> <p>Opbevaringssted:</p> <p>TCE deklareret:</p> <p>Anvendelse:</p> <p>Anvendelses-hyppighed:</p>
--	--

Spørgsmål 5 – Kemisk rensning af tekstiler

A Ved kemisk rensning af tekstiler anvendes typisk tetrachlorethylen som rensningsvæske. Det er derfor vigtigt at få oplysninger omkring beboernes vaner mht. rensning af såvel beklædnings tekstiler som boligtekstiler.

Hvor mange stykker tekstil lader husstanden kemisk rense på ét år ?

Beklædnings tekstiler:	Gardiner:	Andet : _____
Boligtekstiler:	Tæpper:	Andet : _____
Habitter:	Kjoler:	
Frakker:	Dyner:	

"Gemmes"/anvendes emballagerne (plastikposerne), som det rensede tøj leveres i fra renseriet ?

Hvor / til hvad?

B Har boligen modtaget kemisk rensede tekstiler:

- I ugen op til udtagning af materiale-/luftprøver
- 1-2 uger før udtagning af materiale-/luftprøver
- 2-4 uger før udtagning af materiale-/luftprøver
- 1-6 måneder før udtagning af materiale-/luftprøver

Ja Nej

Hvis "Ja", hvilke(t) og hvor mange tekstil(er) er der tale om, og hvor opbevares de ?

Tidsrum (A-D): Tekstiltype: Antal: Opbevaring:

Har der i ugen op til prøveudtagningerne været længerevarende besøg (mere end 3 timer, eller f.eks. overnattende gæster) af personer som adspurgte bekræfter at bære rensede tekstil ³⁾ (f.eks. habitter, jakker, kjoler), og i givet fald hvor mange ? :

- I ugen op til prøveudtagningen d. 29/9, antal personer :
- I ugen op til prøveudtagningen d. 12/10, antal personer : _____
- I ugen op til prøveudtagningen d. 16/10, antal personer : _____

³⁾ Renset indenfor den seneste måned

Spørgsmål 6 – Øvrige forhold

A

**Prøveopsamling:
og analyse** MK- metode 15-01-51, 15-01-63 og 2704

Princip

Tetrachlorethylen opsamles på ATD-rør med Chromosorb 106, desorberes termisk og analyseres ved gaskromatografi med massespecifik detektion (ATD/GC/MS).

Korttidsmåling foretages ved at kendte luftmængder suges gennem rørene med kalibrerede pumper af typen SKC 224. Langtidsmålinger foretages ved diffusiv sampling.

Prøvetagning og transport er kvalitetssikret ved anvendelse af blindrør som er håndteret og transporteret på samme måde som prøver bortset fra eksponering.

Referencer: ISO/DIS 16017-2
MHDS 80

Analyse- og prøvetagningsusikkerhed:

20% (RSD) dog mindst 0,5 ng absolut.

Detektionsgrænse 1 ng

**Prøveopsamling:
og analyse**

Princip

Prøverne emballeres i hermetisk tætte emballage (schott-flasker eller rilsanposer) umiddelbart efter prøveudtagning. I laboratoriet ekstraheres prøverne med dichlormethan og ekstraktet analyseres for tetrachlorethylen ved gaskromatografi med massespecifik detektion (GC/MS).

Analyseusikkerhed: Den samlede analyseusikkerhed skønnes til 25%.

**Prøveopsamling:
og analyse**

Princip

Prøverne fortyndes med dichlormethan og injeiceres direkte på analyseudstyret. Analyse foretaget som gaskromatografi med massespecifik detektion (GC/MS).

Analyseusikkerhed:

Den samlede analyseusikkerhed skønnes til 25 %.

Prøvehåndtering: MK-metode 9810G

Princip: Emissionsforsøgene er foretaget i 120 liters klimakamre af poleret rustfrit stål. Kamrene forsynes med rensat atmosfærisk luft fra et centralt forsyningsystem. Temperatur, luftfugtighed og tilført luftmængde overvåges og registreres kontinuert via EDB.

Temperatur: 21 ± 1 °C
Luftfugtighed: 50 ± 5 %RF
Luftskifte: 0,5 gang pr. time

Referencer: ISO 13419-1
Prøvningsstandard for Dansk Indeklimamærkning

**Prøveopsamling:
og analyse** MK- metode 9812A og 2404

Princip: Til fastsatte tidspunkter udtages prøver af luften i klimakamrene ved aktiv opsamling på ATD-rør indeholdende chromosorb 106. Flowmåling foretages med kalibreret elektronisk flowcontroller af typen Sierra.

Efter opsamling desorberes rørene termisk og analyse foretages ved gaschromatografi med massespesifikdetektion. (ATD/GC/MS).

Referencer: AMI L1 (mod.)
ISO/CD 16200-1
MDHS 1-54
NIOSH 1403
VDI 3482

Analyseusikkerhed: 10% (RSD) dog mindst 0,5 - 2,5 µg absolut.

De gennemførte rummålinger i pavillonen gav følgende resultater:

Måledato	Dag efter ophør af ind- og udlevering	Tetrachlorethylen mg/m ³
28.09.2001	0	490
02.10.2001	4	240
03.10.2001	5	170
04.10.2001	6	150
05.10.2001	7	120
06.10.2001	8	140
07.10.2001	9	240
08.10.2001	10	250
09.10.2001	11	200
10.10.2001	12	30
11.10.2001	13	79
12.10.2001	14	120
13.10.2001	15	150
14.10.2001	16	160
15.10.2001	17	150
16.10.2001	18	150
25.10.2001	27	58
08.11.2001	41	7,1
09.11.2001	48	11
23.11.2001	56	6,8
28.11.2001	61	4,5

Prøvehåndtering: MK-metode 15-01-11

Princip: En sporgas (isobutén) spredes i lokalet. Efter opblanding måles koncentrationen med direkte visende måleudstyr (HNU-PID) med tilsluttet skriver. Udfra henfaldskurven beregnes luftskiftet.

Måleusikkerhed: 10% (RSD), for luftskifter under 0,5 gang pr. time dog op til 50%

De gennemførte luftskiftemålinger gav følgende resultater.

Måledato	Luftskifte gange pr. time
30.10.2001	0,15
08.11.2001	0,12
15.11.2001	0,1
23.11.2001	0,1
28.11.2001	0,1
07.12.2001	0,1

Måling af temperatur*Princip:*

Måling for temperatur foretages med kalibreret termologger af typen CelciPick.

