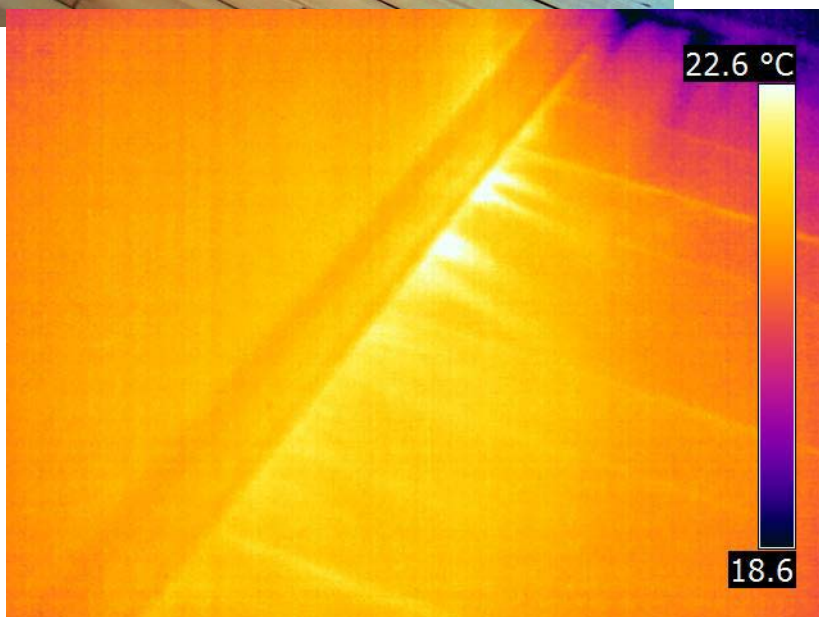
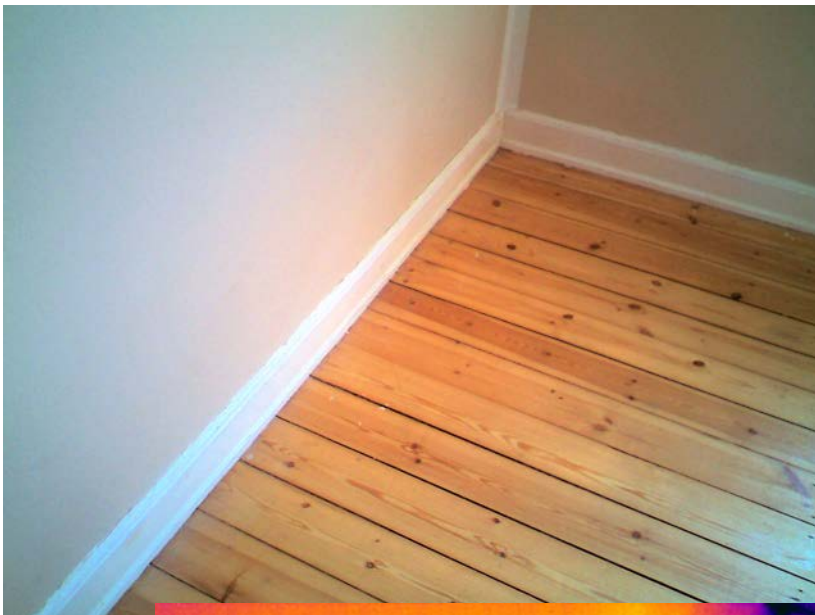


Naborøg – afværgeløsninger



Naborøg – afværgeløsninger

Alireza Afshari
Niels C. Bergsøe

Titel Naborøg – afværgeløsninger
Serietitel SBI 2012:08
Udgave 1. udgave
Udgivelsesår 2012
Forfattere Alireza Afshari og Niels C. Bergsøe,
Sprog Dansk
Sidetal 108
Litteratur-
henvisninger Side 18
Emneord Naborøg, etageboliger, passiv rygning, byggeteknik, partikler, tobaksrygning, luftkvalitet

ISBN 978-87-92739-08-7

Fotos Alireza Afshari, hvis intet andet er angivet
Omslag Termografering i eksponeringslejlighed. Foto Niels C. Bergsøe

Udgiver Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
Dr. Neergaards Vej 15, DK-2970 Hørsholm
E-post sbi@sbi.aau.dk
www.sbi.dk

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af lov om ophavsret.

Forord

Passiv rygning eller naborøg er en vigtig sag for beboere. Ingen ønsker at blive udsat for lugt og skadelige partikler fra andres tobaksrygning. Der er (byggetekniske) grunde til at antage, at problemet med naborøg især gælder ældre etageboliger.

Statens Byggeforskningsinstitut har gennemført et projekt om naborøg og overførsel af partikelforurening mellem lejligheder. Projektet er gennemført med støtte fra Ministeriet for By, Bolig og Landdistrikter, Grundejernes Investeringsfond og Landsbyggefonden. Projektet har til formål at undersøge forskellige metoder til at reducere overførslen af luft mellem lejligheder, så risikoen for at blive udsat for passiv rygning nedbringes, og boligernes luftkvalitet forbedres.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
Energi og miljø
August 2012

Søren Aggerholm
Forskningschef

Indhold

Forord	3
Sammenfatning og konklusioner	5
Sammenfatning.....	5
Konklusioner	5
Introduktion	6
Formål	7
Rapportens disposition	7
Undersøgelsens omfang og resultater	8
Undersøgelser i etageboliger.....	8
Undersøgelser i laboratoriet.....	12
Konklusioner og diskussioner.....	14
Undersøgelser i etageboliger.....	14
Undersøgelser i laboratoriet.....	14
Hvorfor opstår problemet?.....	16
Hvordan imødegås eksponeringen	17
Referencer	18
Artikel I.....	19
HVAC nr. 1, årgang 46, 2010: Naborøg og overførsel af partikelforurening	19
Artikel II.....	25
HVAC nr. 11, årgang 47, 2011: Tekniske løsninger til reduktion af naborøg.....	25
Artikel III.....	31
Tæthedsundersøgelse af en etageadskillelse mellem to lejemål i en ældre etagebolig i København. Intern rapport, SBi 2010.....	31
Projekt Naborøg, Statens Byggeforskningsinstitut og Bygge- og Miljøteknik A/S.....	31
Artikel IV	75
The effectiveness of portable air cleaner against tobacco smoke in multizone residential environments.	75
Artikel V	85
Quantification of ultrafine particles from second-hand tobacco smoke infiltration in flats.	85
Artikel VI	95
Technical solutions for reducing indoor residential exposures to ultrafine particles from second-hand cigarette smoke infiltration.	95
Kort informativ sammenfatning af projektets resultater og konklusioner ...	103
Indledning.....	103
Resumé.....	103
Målsætning.....	103
Metoder	104
Resultater	105
Konklusion.....	107
Hvordan imødegås eksponeringen	107

Sammenfatning og konklusioner

Sammenfatning

Ikke-rygende personer, som bor i etageboliger, er bekymrede, når uønskede gasser og partikler trænger ind i deres lejlighed, fx fra tobaksrygende naboer. I de senere år har undersøgelser peget på en mulig sammenhæng mellem udsættelse for ultrafine partikler (UFP) og menneskers sundhed. Der er forskellige måder, hvorpå luft overføres fra én lejlighed til en anden. Det kan fx være gennem kabler, el- og telefonstik, rørgennemføringer og revner i vægge og gulve.

Det er vigtigt at reducere overførelsen af luft mellem etageboliger, så risikoen for at blive udsat for passiv rygning nedbringes, og så boligernes luftkvalitet forbedres. I denne undersøgelse kvantificeres overførelsesluften og risikoen for overførelse af partikelforurening fra én lejlighed til en anden, måder, hvorpå røg overføres, identificeres, og der præsenteres tekniske løsninger, som kan forebygge eller mindske overførelsen af ultrafine partikler fra en kildelejlighed til en eksponeringslejlighed.

Konklusioner

- I de mest kritiske tilfælde var overførelsen af ultrafine partikler fra kildelejligheder til eksponeringslejligheder ca. 9 %.
- Anbringes en luftrensere i en kildelejlighed, reduceres overførelsen af ultrafine partikler fra ca. 9 % (uden luftrensere) til ca. 5 % (med luftrensere).
- Effekten af en luftrensere på fjernelsen af ultrafine partikler er uafhængig af, om renseren anbringes i eksponeringslejligheden eller i kildelejligheden.
- Anvendes to luftrensere i eksponeringslejligheden, fordobles fjernelsen af ultrafine partikler.
- Isolation af et kilderum i kildelejligheden har stor betydning for spredning af cigaretrøg til andre rum. Isolationen må antages at have tilsvarende betydning for rensning af luft i eksponeringslejligheden.
- De fleste utætheder i den undersøgte eksponeringslejlighed forekom i overgangen mellem væg og gulv. Der forekom også optrængning gennem gulvet.
- Det undersøgte luftrensende kanalsystem med luftrensere viste, at tilbageholdelsesgraden af ultrafine partikler varierede mellem ca. 30 % og 60 %.

Introduktion

Det er ikke ualmindeligt at beboere i etageejendomme oplever generende lugte knyttet til naboens aktiviteter, fx madlavning. Problemet er særlig alvorligt, når det også drejer sig om sundhedsskadelige stoffer, så som partikler fra tobaksrygning. Det kaldes passiv rygning, når man ufrivilligt udsættes for luft forurenet med andres tobaksrøg.

Passiv rygning på grund af overførelse af luft mellem lejligheder, såkaldt naborøg, er et vigtigt spørgsmål for beboere. Ingen ønsker at blive udsat for lugt og skadelige partikler fra andres tobaksrygning.

Studier har vist, at rygning kan give høje koncentrationer af ultrafine partikler (UFP). Miljømedicinske undersøgelser tyder på, at eksponering for tobaksrøg er en betydelig kilde til sygelighed og dødelighed i EU og i Danmark. Dette medfører store udgifter for samfundet som helhed.

Statens Byggeforskningsinstitut oplever et stigende antal henvendelser fra bekymrede borgere, som føler sig utrygge, fordi der siver tobaksrøg ind i deres lejlighed enten fra aftrækskanalen, trappeopgangen eller de tilstødende lejligheder. Nogle er så bekymrede, at de overvejer at flytte på grund af naborøg.

Mange eksisterende danske etageboliger er opført i perioden 1880-1950 med træbjælkelag, trappeopgange, skorstene, kanaler for naturligt aftræk og lignende. Typisk er de senere moderniseret med for eksempel centralvarmeanlæg og bad, og de ældste med vand og afløbsinstallationer, gas og el. Disse tilføjede installationer har ofte gennembrudt de oprindelige etageadskillelser med utætheder mellem lejlighederne til følge. Oprindeligt har facaden og taget været mere utætte, der har derfor været en omfattende naturlig ventilation.

I forbindelse med byfornyelse eller energibesparende foranstaltninger har disse boliger typisk fået renoveret facader og isat nye vinduer. Derved er facaden typisk blevet mere tæt, end den var oprindeligt. Resultatet er større risiko for overførelse af luft mellem lejlighederne og reduceret udeluftskifte. Beboerne i en opgang får dermed mod deres vilje et delt ansvar for udluftningen. En beboer, som er storryger, kan således være årsag til, at der forekommer høje koncentrationer af røgpartikler ikke alene i den aktuelle beboers lejlighed, men også i nabo-lejlighederne.

I et tidligere forskningsprojekt har SBI målt, at 82-86 % af den luft, som blev tilført en lejlighed, ikke var 'frisk' udeluft, men derimod 'brugt' luft fra andre lejligheder, trappeopgange osv. Luften kom ind i lejligheden gennem utætheder ved installationsgennemføringer, trappeopgange osv. 'Brugt' luft har ikke samme evne som udeluft til at fjerne forureninger og fugt, hvorefter der er risiko for dårlig luftkvalitet. Fænomenet forekommer ikke alene i ældre etageboliger, men kan også opleves i nye etagebygninger.

Det vides ikke, hvor mange der er berørt af naborøg, og samtidig er der ikke tilstrækkelig viden på området til, at man på sikker grund kan anbefale tekniske løsninger, som kan afværge problemet. Derfor er det vigtigt at fokusere på at reducere overførelsen af luft mellem etageboliger, dels for at nedbringe risikoen for at blive udsat for passiv rygning, dels af hensyn til luftkvaliteten i boligerne.

Formål

Formålet med denne undersøgelse er:

- at kvantificere overførelse af luft og risiko for partikelforurening
- at identificere måder, hvorpå røg overføres fra én lejlighed til en anden samt at undersøge tekniske løsninger, som kan forebygge eller mindske overførelsen af ultrafine partikler fra en kildelejlighed til en eksponeringslejlighed
- at imødegå eksponeringen gennem reduktion af overførelse af luft mellem lejligheder.

Rapportens disposition

Den foreliggende rapport er disponeret således:

I første del gives en sammenfatning af undersøgelsesernes omfang, resultater, konklusioner og diskussioner samt en vejledning til valg af tekniske løsninger. Anden del af rapporten indeholder seks artikler.

Tre nationale artikler:

- I. HVAC nr. 1, årgang 46, 2010:
Naborøg og overførsel af partikelforurening
- II. HVAC nr. 11, årgang 47, 2011:
Tekniske løsninger til reduktion af naborøg
- III. SBI Internrapport, 2010.
Tæthedsundersøgelse af en etageadskillelse mellem to lejemål i en ældre etagebolig i København. Projekt Naborøg, Statens Byggeforskningsinstitut og Bygge- og Miljøteknik A/S.

Tre internationale artikler:

- IV. Bingbing Shi, Lars E. Ekberg, Alireza Afshari, Niels C. Bergsøe, 2010. *The effectiveness of portable air cleaner against tobacco smoke in multizone residential environments*. 2010, Clima2010, Turkey, 2010
- V. Alireza Afshari, Bingbing Shi, Niels C. Bergsøe, Lars Ekberg, Tord Larsson, 2010. *Quantification of ultrafine particles from second-hand tobacco smoke infiltration in flats*. 2010, Clima2010, Turkey, 2010.
- VI. Afshari, Alireza; Ardkapan, Siamak Rahimi; Bergsøe, Niels C.; Johnson, Matthew S. Technical solutions for reducing indoor residential exposures to ultrafine particles from second-hand cigarette smoke infiltration. 2011. Paper presented at Indoor Air 2011, Austin, TX, USA.

Undersøgelsens omfang og resultater

Undersøgelser i etageboliger

Formålet med denne del af undersøgelsen er at kvantificere overførelsesluften og risikoen for overførelse af partikelforurening, og at identificere måder, hvorpå røg overføres fra én lejlighed til en anden samt at undersøge tekniske løsninger for at forebygge eller mindske overføring af ultrafine partikler fra en kildelejlighed til en eksponeringslejlighed. Kildelejligheden er lejligheden, hvor partiklerne genereres, mens eksponeringslejligheden er lejligheden, hvortil partiklerne fra kildelejligheden overføres.

Kvantificering af overførelsesluften

Metoder

Det blev udvalgt 19 etageboliger i 7 opgange i 6 bygninger (A til F) opført mellem 1860 og 1934. De udvalgte lejligheder var i ikke-renoverede og renoverede bygninger (se artikler I; II, IV og V). Kilder til generering af partikler bestod af cigaretter og stearinlys. Målingerne med cigaretter blev foretaget i ubeboede lejligheder i en ikke-renoveret bygning (bygning A). Målingerne med stearinlys blev foretaget i såvel renoverede som ikke-renoverede lejligheder (bygning B, D og E). Koncentration af ultrafine partikler blev målt i kildelejligheder, eksponeringslejligheder og udendørs.

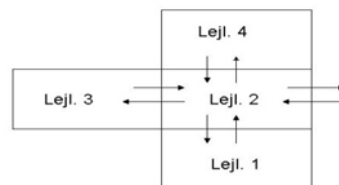
For at kunne beregne eksponeringskoncentrationen er det nødvendigt at beskrive måleresultaterne matematisk vha. en model, se artikel I.

Resultater

Tabel 1 til 2 viser målte og beregnede parametre af cigaretrøg i eksponeringslejlighederne i bygning A, B, D og E.

Anden kolonne i tabellerne viser eksponeringen, som er den procentvise andel af de ultrafine partikler, der genereres i kildelejligheden, som infiltrerer eksponeringslejligheden. Tredje kolonne viser summen af deponering, ventilationens borttransport og andre mekanismer, som reducerer luftens indhold af ultrafine partikler. Fjerde kolonne viser luftskiftet i eksponeringslejlighederne, og sidste kolonne viser luftoverførelser forårsaget af lækage fra kildelejlighederne til eksponeringslejlighederne. Luftskifte og luftoverførelser er uge-middelværdier.

Rækkerne 2 til 4 i tabel 1 og 2 viser kildelejlighederne i successive undersøgelser. Kilderne var placeret i lejlighed 1, 4 og 3.



Figur 1. Skitse af en komplet unit. Lejl.=Lejlighed.

Tabel 1. Målte og beregnede parametre af cigaretrøg i eksponeringslejligheden i bygning A.

	Eksponering (Infiltration) i lejl.2 (%)	Fjernelse af UFP i lejl. 2 (1/h)	Luftskifte i lejl. 2 (1/h)	Lækage (m ³ /h)
Fra lejl.1 til lejl.2	8,6	0,9	0,41	14
Fra lejl.4 til lejl.2	1,8	1,5	0,41	5
Fra lejl.3 til lejl.2	1,1	1,4	0,41	5

Tabel 2. Målte og beregnede parametre af cigaretrøg i eksponeringslejlighed i bygning B, D og E. Bygning B var ikke renoveret, bygning D almindelig renoveret og bygning E total-renoveret.

	Eksponering (Infiltration) i lejl.2 (%)	Fjernelse af UFP i lejl. 2 (1/h)	Luftskifte i lejl. 2 (1/h)	Lækage (m ³ /h)
Fra lejl.1 til lejl.2 Bygning B	2,6	2,7	0,74	10
Fra lejl.1 til lejl.2 Bygning D	0,3	4,4	0,92	2,3
Fra lejl.1 til lejl.2 Bygning E	0,7	1,5	0,36	5

Luftrenseres betydning for eksponering

Metoder

Luftrensere kan reducere koncentrationen af ultrafine partikler i rumluften. Det er undersøgt, hvordan placeringen af luftrensere i forskellige rum og lejligheder kan indvirke på koncentrationen af ultrafine partikler i eksponeringslejligheden.

Undersøgelsen består af forskellige situationer, hvor cigaretrøg og luftrensere enten var i samme rum eller i forskellige rum, åbne eller lukkede rum og med brug af én eller to luftrensere. Derudover er effekten af antal luftrensere og placering af luftrensere undersøgt ved at luftrenserne placeres i kildelejligheden og eksponeringslejligheden.

Der bruges to luftrensere, som begge har en clean air delivery rate (CADR) på 240 m³/h (fabrikantdata).

Resultater

Tabel 3 viser målte og beregnede parametre af cigaretrøg i eksponeringslejligheden i bygning A. Kolonne 1 viser antal luftrensere (AC; Air Cleaner) anbragt i kildelejligheden eller i eksponeringslejligheden; kolonnerne 2-5 er som beskrevet ovenfor for tabel 1 og 2.

Værdierne i efterfølgende tabeller 4 og 5 er baserede på en beregning af partikeleksponeringen, mens der var tobaksrøg i lejligheden. Partikkelkoncentrationen var forhøjet i ca. tre timer, efter at cigaretten blev tændt. Eksponeringen bestemmes derfor som den totale mængde partikler, der findes i luften, fra det tidspunkt cigaretten blev tændt og tre timer frem.

Tabel 4 sammenfatter resultaterne fra en serie forsøg med generering af cigaretrøg i køkkenet, mens tabel 5 sammenfatter resultaterne fra en serie forsøg med generering af cigaretrøg i dagligstuen.

Tabel 3. Målte og beregnede parametre af cigaretrøg i eksponeringslejligheden i bygning A. Med luftrensere.

	Eksponering (Infiltration inkl. reduktion ved drift af AC) (%)	Fjernelse af UFP i lejl. 2 (1/h)	Luftskifte i lejl. 2 (1/h)	Lækage (m ³ /h)
Fra lejl. 1 til lejl. 2 1 AC i lejl. 1	5,0	1,0	0,41	15
Fra lejl. 1 til lejl. 2 1 AC i lejl. 2	4,2	1,9	0,41	15
Fra lejl. 1 til lejl. 2 2 AC i lejl. 2	2,6	3,9	0,41	16

1) Infiltration fra lejlighed 1 til lejlighed 2 uden anvendelse af AC er 8,6 %, jf. tabel 1.

Tabel 4. Eksponering af UFP i køkken og soveværelse. Resultaterne er udtrykt i % af den eksponering i køkkenet uden luftrensere og med åben dør. Cigaretrøgen blev genereret i køkkenet.

Dørposition	Driftsituation AC	Eksponering i forhold til eksponering i køkkenet uden luftrensere	
		Eksponering i køkkenet	Eksponering i soveværelse
Dør til køkken åben	Ingen AC	100%	102%
	1 AC i køkkenet	88%	78%
Dør til køkken lukket	Ingen AC	163%	5%
	1 AC i køkkenet	40%	4%

Tabel 5. Eksponering af UFP i dagligstue og soveværelse. Resultaterne er udtrykt i % af den eksponering i dagligstuen uden luftrensere. Cigaretrøgen blev genereret i dagligstuen.

Dørposition	Driftsituation AC	Eksponering i forhold til eksponering i dagligstue uden luftrensere	
		Eksponering i dagligstue	Eksponering i soveværelse
Dør mellem dagligstue og soveværelse lukket	Ingen AC	100 %	85 %
	1 AC i dagligstue	37 %	31 %
	2 AC i dagligstue	29 %	25 %
	2 AC i soveværelse	45 %	10 %

Identifikation af spredningsveje og tætningsløsninger

Metoder

Undersøgelsen blev gennemført i en karrébygning i fem etager fra ca. 1930. Kildelejligheden var beboet, mens eksponeringslejligheden var ubeboet. Eksponeringslejligheden lå umiddelbart over kildelejligheden. Undersøgelsen blev gennemført i vinteren 2010, hvor ingen indendørs aktiviteter fandt sted i lejlighederne i løbet af målingerne.

Identifikation af spredningsveje blev udført ved hjælp af tæthedsmåling i eksponeringslejligheden før og efter tætning af etageadskillelse. Tæthedsmålingen blev udført i henhold til DS/EN 13829, dvs. ved såvel over- som undertryk skabt af en ventilator midlertidigt anbragt i det fuldt åbne køkkenvindue. Inde- og udetemperatur samt vindhastighed blev målt.

Foruden tæthedsmåling blev der foretaget en termografisk undersøgelse i henhold til DS/EN 13187, dvs. ved 50 Pa undertryk.

Kilder til generering af partikler bestod af to cigaretter, som blev placeret i kildelejligheden. Koncentrationer af ultrafine partikler blev målt simultant i tre forskellige positioner - i kildelejligheden, i eksponeringslejligheden og uden-dørs.

Resultater

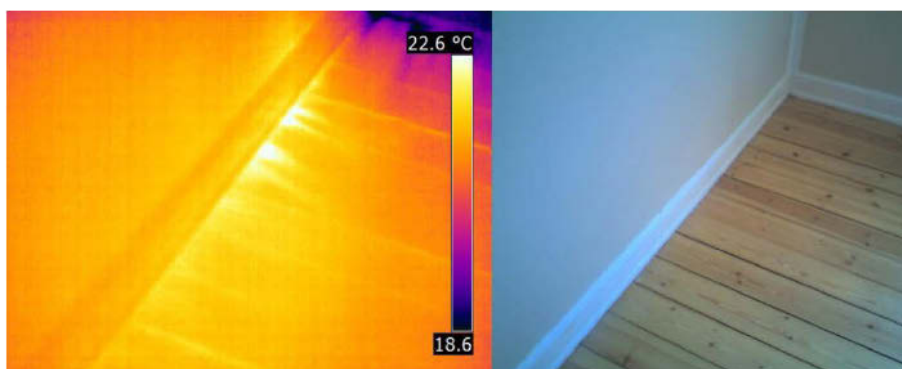
Tabel 6 viser resultaterne af tæthedsmålingerne i eksponeringslejligheden med og uden tætning. Resultaterne viser, at tætningen reducerer luftstrømmen med 16 %.

Tabel 6. Tæthedsmålinger i eksponeringslejligheden med og uden tætning.

	Luftstrøm gennem utætheder			
	(Med tætn.)	(Med tætn.)	(Uden tætn.)	(Uden tætn.)
Enheder	l/s	l/(s, m ²)	l/s	l/(s, m ²)
	ved 50 Pa	ved 50 Pa	ved 50 Pa	ved 50 Pa
Overtryk	342 (± 0.5%)	5.34	405 (± 0.5%)	6.32
Undertryk	319 (± 0.5%)	4.99	361 (± 0.5%)	5.65
Middelværdier	330.5	5.17	383	5.99

Koncentration af ultrafine partikler blev målt i kildelejligheden, i eksponeringslejligheden og udendørs før gulvet i eksponeringslejligheden blev forseglet. Resultatet af beregningerne viser, at overførelsen af ultrafine partikler fra kildelejlighed til eksponeringslejlighed ikke var signifikant, mens cigaretten (kilden) brændte i kildelejligheden.

Termograferingen i eksponeringslejligheden med og uden tætning viser, at der generelt er mange utætheder, særligt ved bjælkelagets anlæg i facaden, men også langs fodpaneler og i gulvets fer/not-samlinger, se figur 1. Især ved fodpanelerne er der mange utætte føringslister for kontakter og bøsninger for rørgennemføringer. Ligeledes ses utætheder ved gennemføringer, ved skorstene og ved loftsroset (se SBi internrapport, publikation III).



Figur 1. Termograferingen i eksponeringslejlighed.

Undersøgelser i laboratoriet

Ydeevnemålinger af luftrensende kanalsystem

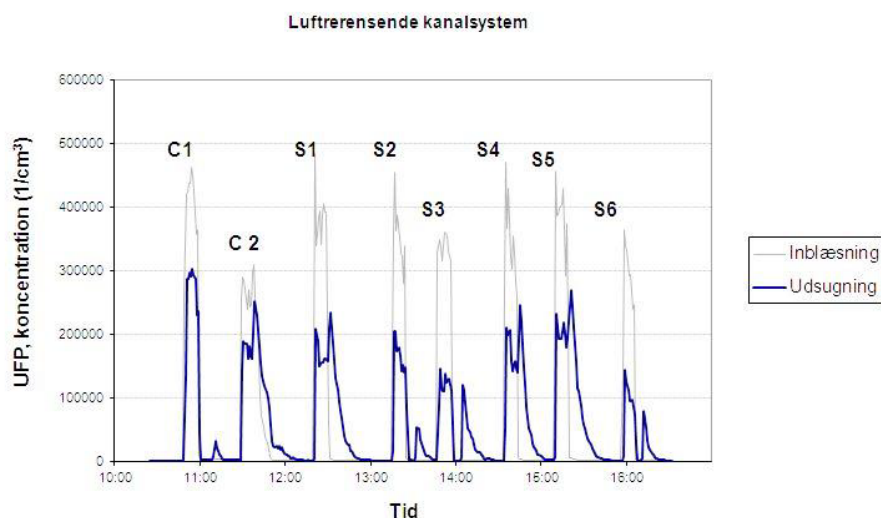
Metoder

En anden potentiel løsning til reduktion af koncentrationen af ultrafine partikler fra cigaretrøg er et luftrensende kanalsystem. Systemet blev undersøgt i laboratoriet under kontrollerede forhold. Systemet omfatter en luftrenserenhed, som består af 8 UV-lamper, en ozongenerator, et elektrostatisk filter og et ozonfilter. For at undersøge virkningen af de forskellige dele i enheden, blev der gennemført seks scenarier. Scenarierne er beskrevet i den nationale rapport, II.

Koncentrationer af ultrafine partikler og TVOC blev målt ved det luftrensende kanalsystems indblæsning og udsugning. En tændt cigaret blev anvendt som partikel- og TVOC-kilde.

Resultater

Figur 2 illustrerer forløbet af målte koncentrationer af ultrafine partikler ved kanalsystemets indblæsning og udsugning. C1 angiver kalibrering af alle instrumenter i indblæsningsluften ved kanalsystemet. Instrumenterne omfattede blandt andet to kondensationspartikeltællere og to TVOC instrumenter. C2 angiver kalibrering af alle instrumenter i udsugningsluften af luftrenseningsenheden. Kalibreringerne blev brugt til at beregne koncentrationerne af ultrafine partikler og TVOC. S1 - S6 står for Scenario 1 til Scenario 6, som beskrevet i tabel 7. Resultaterne af målingerne af TVOC-koncentrationerne havde et mønster, der svarede til resultaterne af målingerne af partikelkoncentrationerne.



Figur 2. Målte partikelkoncentrationer i luftrenseningsenheden indblæsning og udsugning.

Tilbageholdelsesgraden af ultrafine partikler (i %) i tabel 7 er beregnet ved at subtrahere det beregnede areal under kurven i figur 4 for indblæsningskoncentration fra det beregnede areal under kurven for udsugningskoncentration og derefter dividere med det beregnede areal under kurven for indblæsningskoncentration, ganget med 100.

Resultaterne fra scenario 1 til scenario 4, som havde samme betingelser, de første 10 minutter, viste, at tilbageholdelsesgraden af ultrafine partikler varierede mellem ca. 30 % og 60 % efter 10 minutter, dvs. når cigaretten var brændt ud.

I scenario 5, hvor det elektrostatiske filter var slukket fra begyndelsen, var tilbageholdelsesgraden ca. 30 %, og i scenario 6, hvor både det elektrostatiske filter og ozongeneratoren var slukket fra begyndelsen, ca. 60 %.

Tabel 7. Beregning af tilbageholdelse af ultrafine partikler.

Scenario	Beregnet tilbageholdelse af ultrafine partikler (%)
S1: Alle dele arbejder kontinuerligt	40
S2: Slukket ozongenerator efter afbrænding af en cigaret	45
S3: Slukket UV-lys efter afbrænding af en cigaret	59
S4: Slukket elektrostatisk filter efter afbrænding af en cigaret	47
S5: Slukket elektrostatisk filter fra begyndelsen af målingen	30
S6: Slukket UV-lys og ozongenerator fra begyndelsen af målingen	60

Konklusioner og diskussioner

Undersøgelser i etageboliger

Passiv rygning på grund af overførelse af luft mellem lejligheder, såkaldt naborøg, er et vigtigt spørgsmål for beboere. Ingen ønsker at blive udsat for lugt og skadelige partikler fra andres tobaksrygning. Der er grunde til at antage, at problemet med naborøg især gælder ældre etageboliger.

Overførelse af røg fra én lejlighed til en anden afhænger af bygningens ventilationssystem, konstruktion, tæthed og alder. Resultater viser, at i de mest kritiske tilfælde var overføringen af ultrafine partikler ca. 9 %. I det tilfælde lå eksponeringslejligheden over kildelejligheden. Kildelejligheden er lejligheden, hvori partiklerne genereres, mens eksponeringslejligheden er lejligheden, hvortil partiklerne fra kildelejligheden overføres.

Infiltrationen fra kildelejligheden til eksponeringslejligheden var mindre i de renoverede bygninger end i en bygning, der ikke var renoveret.

Et virksomt middel til at reducere tobaksrøg i bygninger er lokal rensning af luften enten i kildelejligheden eller i eksponeringslejligheden. Det forudsætter, at der vælges en luftrenser med tilstrækkelig stor kapacitet i forhold til rummets eller lejlighedens ventilation. Teknikken giver også mulighed for at reducere partikelniveauer i bygninger, hvor filtrering af tilluften mangler, dvs. bygninger med naturlig ventilation eller mekanisk udsugning. Sideeffekter som eksempelvis støj bør iagttages.

Resultaterne viser, at ved placering af en luftrenser i kildelejlighed, reduceres overførslen af UFP fra 8,6 % (uden luftrensere) til 5 % (med luftrensere). Resultatet viser også, at placering af en luftrenser i eksponeringslejligheden er lige så effektiv, som hvis luftrenseren havde været placeret i kildelejligheden. Ved brug af to luftrensere i eksponeringslejligheden, fordobles fjernelsen af UFP.

Resultaterne viser endvidere, at den luftrenser, der blev brugt i denne undersøgelse, var effektiv nok til at kunne reducere eksponeringen fra cigaret-røg i kildelejligheden (volumen 110 m³) med 60-70 %. Ved brug af to luftrensere blev eksponeringen reduceret med 70-80 %. Effektiviteten øges yderligere, når luftrenseren placeres i det rum, hvor cigaretrøg genereres. Isolation af et kilderum i kildelejligheden har stor betydning for spredning af cigaretrøg til andre rum.

Tætningsundersøgelsen viste, at der var mange utætheder i eksponeringslejligheden. De fleste utætheder forekom i overgangen mellem væg og gulv, men der forekom også utætheder i gulvet. Resultaterne af tæthedsmålingerne med og uden tætning af gulvet viste, at tætning reducerer overførelsen af luft med 16 %. Der er stort potentiale i metoden, men den skal udvikles og afprøves yderligere, før det er muligt at anbefale metoden.

Undersøgelser i laboratoriet

Resultater af afprøvninger af et nyt luftrensende kanalsystem viste, at tilbageholdelsesgraden af ultrafine partikler varierede mellem ca. 30 % og 60 %. Luftrenserteknologien er stadig under udvikling med henblik på at forbedre systemets ydeevne og den praktiske anvendelse i indeklimaet. Det er nødvendigt at foretage detaljerede undersøgelser af teknologier baseret på an-

vedligeholdelse af UV-lamper, ozongenerator, elektrostatisk filter og ozonfilter for at sikre systemets funktionssikkerhed.

Hvorfor opstår problemet?

- **Udelufttilførsel**
Udeluftventiler bør altid være åbne. Hvis udeluftventiler og vinduer er lukkede, skabes et undertryk i lejligheden i forhold til resten af huset. Cigaretrøg og andre forureninger kan derved blive suget ind i lejligheden fra de andre lejligheder.
- **Ventilationskanaler af murværk**
I etageboliger, opført før 1950'erne, anvendes murværk som ventilationskanaler. Sådanne kanaler kan være utætte, og dette kan føre til lugtgener og dårligt indeklima i boliger.
- **Aftrækskanaler**
I naturligt ventilerede etageboliger, hvor der installeres emhætter i de enkelte lejligheder, og emhætterne tilsluttes de oprindelige aftrækskanaler, kan der opstå kortslutning. I sådanne tilfælde er det nødvendigt med central mekanisk udsugning, det vil sige med anlægget anbragt øverst i bygningen, fx i loftsrummet. Det samme gælder installation af fælles udsugning i badeværelset.
- **Utætheder mellem lejligheder**
I ikke-renoverede ældre huse er der mange ukontrollerede utætheder i etageadskillelsen mellem de enkelte lejligheder. Tobaksrøg og andre forureninger kan trænge igennem revner eller overgange mellem væg og gulv.
- **Trappeopgang**
Lugt af tobaksrøg i trappeopgangen til lejlighederne er almindeligt. Årsagen kan være, at der i forureningslejligheden er et vindue åbent, hvorved der under visse forhold skabes et overtryk i lejligheden i forhold til resten af huset, som medfører en luftstrøm fra lejligheden ud i trappeopgangen.
- **Cigaretrøg udefra**
Tobaksrøg kan komme ind i lejligheden gennem åbne vinduer, gennem udeluftventiler i vinduesrammen eller gennem andre ventilationsventiler.

Hvordan imødegås eksponeringen

Utætheder i etageadskillelser medfører risiko for at tobaksrøg spredes mellem lejligheder. Afhængig af vindforholdene og indregulering af det mekaniske udsugningssystem forekommer der ofte trykforskelle mellem lejligheder, som medfører luftbevægelse og spredning af tobaksrøg. En anden almindelig spredningsvej er via entrédøre til trappeopgangen, hvor der på grund af de termiske drivkræfter opstår en lufttransport fra lejlighed til trappeopgang i de nedre etager, og fra trappeopgang til lejligheder i de øvre etager.

- Den almindelige løsning, når der forekommer forureninger i indeluftten, er at fjerne forureningskilden.

- I etageboliger bør der ikke forekomme spredning af forurening mellem lejligheder.

- Risikoen for spredning af tobaksrøg kan mindskes ved at rygning sker i køkkenet med lukket dør og tændt udsugningsventilator/emhætte.

- Ved brug af luftrensere i kildelejligheder skal renseren placeres nær kilden for at opnå den største effekt.

- Luftrensernes effekt afhænger af forholdet mellem luftmængden, som luftrenseren behandler, og ventilationen i lejligheden eller i rummet, hvor luftrenseren anbringes.

- De fleste luftrensere reducerer koncentrationen af partikler, mens koncentrationen af gasser kun reduceres i særlige luftrensere, fx udrustet med kulfilter.

- Kortvarig og kraftig ventilation giver mere effektiv luftudskiftning end at have et vindue permanent på klem.

- Hvis der i lejligheden er mekanisk udsugning, kan funktionen kontrolleres ved at holde et stykke papir op foran udsugningen i bad og køkken. Sugers papiret fast, fungerer ventilationen.

- Hold så vidt muligt udeluftventilerne åbne.

- Luftoverføring mellem lejligheder afhænger af over- og undertryk i lejlighederne og af utætheder i ventilationskanaler samt i huset. Tætningsmetoder kan anvendes, men det er vigtigt at alle lækager tættes.

Referencer

- Afshari, A., Shi, B., Bergsøe, N.C., Ekberg, L.E., Larsson, T. (2010). Quantification of Ultrafine Particles from Second-Hand Tobacco Smoke Infiltration in Flats. In Sustainable Energy Use in Buildings Clima 2010, REHVA World Congress 10, Antalya, Turkey, 09.05.2010-12.05.2010: Proceedings cd-rom. 8 p.
- Afshari, A. Ardkapan, S.R., Bergsøe, N.C.; Johnson, M.S. (2011). Technical solutions for reducing indoor residential exposures to ultrafine particles from second-hand cigarette smoke infiltration. 2011. Paper presented at Indoor Air 2011, Austin, TX, USA.
- Shi, B., Ekberg, L.E. Ekberg, Afshari, A., Bergsøe, N.C. (2010). The effectiveness of portable air cleaner against tobacco smoke in multizone residential environments. 2010, Clima2010, Turkey, 2010
- Brink, A.L. and Clemmensen, I. H. (2007). Passiv rygning, Hvidbog (in Danish), The Danish Cancer Society, ISBN 87-766-289-1, Copenhagen.
- Dockery D.W., Pope, C.A., Xu, X., Spengler J.D., et al (1993). An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N. Engl. J. Med.* 329:1753-1759.
- Bräuner, E., Møller, P., Forchhammer, L., Barregaard, L., Gunnarsen, L., Afshari, A., Wählén, P., Glasius, M., Dragsted, L.O., Basu, S., Raaschou-Nielsen, O. and Loft, S., (2007). Indoor Particles Affect Endothelial Function in the Elderly: An Air Filtration-based Intervention Study., *American Journal of Respiratory Critical Care Medicine*, Vol. 177, pp. 419 – 425.
- Ekberg, L.E., Shi, B., 2009. Removal of ultrafine particles by ventilation air filters, *Proceeding of Health Buildings 2009*, Paper 97, Syracuse, US.
- Ekberg, L.E. 2003: Indoor Climate Modeling. In: Per Erik Nilsson (ed.), *Achieving the desired indoor climate: Energy efficiency aspects of system design*. pp 91-112. Studentlitteratur, Lund, Sweden.
- Matson, U., Ekberg, L.E., Afshari, A. 2004. Measurement of ultrafine particles: A Comparison of two handheld condensation particle counters. *Journal of Aerosol Science and Technology*, 38:487-495.
- Schneider, T., Jensen, K.A., Clausen, P.A. et al. 2004. Prediction of indoor concentration of 0.5-4 µm particles of outdoor origin in an uninhabited apartment, *Journal of Atmospheric Environment*, pp 6349-6359.
- Özkaynak, H., Xue, J., Spengler, J.D., Wallace, L.A., Pellizzari, E.D. et al. 1996. Personal exposure to airborne particles and metals: results from the particle team study in riverside, CA. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 6, pp. 57–78.

Artikel I

HVAC nr. 1, årgang 46, 2010: Naborøg og overførsel af partikelforurening

Alireza Afshari; Niels C. Bergsøe; Bingbing Shi; Lars Ekberg

Naborøg og overførsel af partikelforurening

Det er vigtigt at reducere overførslen af luft mellem etageboliger, så risikoen for at blive udsat for passiv rygning nedbringes, og boligernes luftkvalitet forbedres. I denne undersøgelse kvantificeres overførelsesluften og risikoen for overførsel af partikelforurening. Endvidere udarbejdes der vejledninger om de bedste ventilationstekniske og byggetekniske tiltag til reduktion af overførsel af luft mellem lejligheder



Af Alireza Afshari og Niels C. Bergsøe, SBI, Aalborg Universitet, afdelingen for Energi og miljø og Bingbing Shi og Lars Ekberg, Chalmers Tekniska Högskola, Installationsteknik, Göteborg



Det er ikke ualmindeligt at beboere i etageejendomme oplever generende lugte knyttet til naboens aktiviteter, fx madlavning. Problemet er særlig alvorligt, når det også drejer sig om sundhedsskadelige stoffer, såsom partikler fra tobaksrygning.

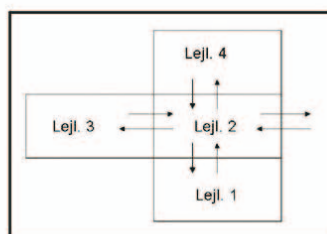
Det kaldes passiv rygning, når man ufrivilligt udsættes for luft forurenet med andres tobaksrøg. Studier har vist, at rygning kan give høje koncentrationer af ultrafine partikler (UFP). Miljømedicinske undersøgelser tyder på, at eksponering for tobaksrøg er en betydelig kilde til sygelighed og dødelighed i EU og i Danmark. Det medfører store udgifter for samfundet som helhed.

I et tidligere forskningsprojekt udførte SBI målinger i en ældre bygning, hvor mere end halvdele af den tilførte luft var

”brugt” luft fra andre lejligheder og trappeopgange. Luften kom ind i lejligheden gennem utætheder. ”Brugt” luft har ikke udeluftens evne til at fjerne forurening og fugt, og det giver risiko for dårlig luftkvalitet. Også i nye etageboliger kan tilsvarende problemer forekomme.

Derfor er det vigtigt at fokusere på at reducere overførslen af luft mellem etageboliger, dels for at nedbringe risikoen for udsættelse for passiv rygning, dels af hensyn til luftkvaliteten i boligerne.

Formålet med denne undersøgelse er at kvantificere overførelsesluften og risikoen for overførsel af partikelfore-



Figur 1. Skitse af en komplet unit. lejl. = Lejlighed

ning, og at udarbejde vejledninger om de bedste ventilationstekniske og byggetekniske tiltag til reduktion af overførsel af luft mellem lejligheder.

Metoder

Der blev udvalgt 19 etageboliger i 7 trappeopgange i 6 bygninger (A til F) bygget mellem 1860 og 1934. De udvalgte lejligheder var i ikke-renoverede og renoverede bygninger. Her præsenteres målingerne i bygning A, B,

D og E. Resultaterne fra bygning C og F behandles ikke i denne artikel.

Kilder til generering af partikler bestod af cigaretter og stearinlys. Målingerne med cigaretter blev foretaget i ubeboede lejligheder i en ikke-renoveret bygning (bygning A). Målingerne med stearinlys blev både foretaget i renoverede og ikke-renoverede lejligheder (bygning B, D og E). Der blev også målt luftskifte, CO₂, temperatur- og luftfugtighed over en uge. Målingerne blev foretaget i februar og marts 2008.

Koncentrationer af ultrafine partikler blev målt vha. tre partikeltællere. Én var placeret i kildelejligheden (lejligheden hvor partiklerne blev genereret), én i eksponeringslejligheden (lejligheden som blev infiltreret af partikler fra kildelejligheden) og én blev brugt til

$$c_{r(t)} = \frac{c_s \dot{V}}{\dot{V} + rV} + \frac{\dot{M}}{\dot{V} + rV} - \frac{\dot{V}}{\dot{V} + rV} \left[c_s + \frac{\dot{M}}{\dot{V}} - \frac{\dot{V} + rV}{\dot{V}} c_{r(0)} \right] e^{-\left[\frac{\dot{V}}{\dot{V} + rV} \right] t} \quad (1)$$

hvor:

\dot{V} = luftstrøm, m³/h

\dot{M} = Overføring af partikler mellem lejligheder, [(p/m³) * (m³/h)]

c_s = koncentration af UFP i tilluften, p/m³

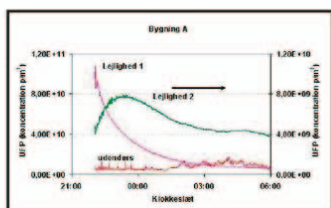
c_r = koncentration af UFP i lejligheden, p/m³

V = lejlighedens volumen, m³

r = fjernelse af partikler, h⁻¹

Ligning 1.

► Naborøg og over... **Fortsat**



Figur 2. Målt koncentration af UFP i lejlighed 1 og 2 samt udendørs ved bygning A.

måling af partikler udendørs. To af partikeltællerne var TSI model P-trak 8025, og den tredje var CPC 3007. Figur 1 illustrerer en komplet unit af lejligheder. I bygning A anvendes en komplet unit. I de andre bygninger anvendes kun lejlighed 1 og lejlighed 2 i undersøgelsen.

Resultater

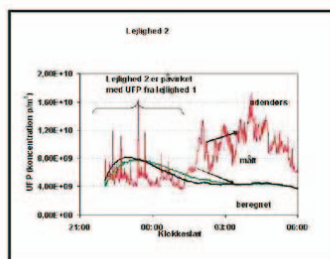
Måling og beregning af UFP-koncentrationen
Figur 2 viser de opmålte kon-

	Eksposering (Infiltration) i lejl. 2 (%)	Fjernelse af UFP i lejl. 2 (1/h)	Luftskifte i lejl. 2 (1/h)	Lækage (m³/h)
Fra lejl. 1 til lejl. 2	8,6	0,9	0,41	14
Fra lejl. 4 til lejl. 2	1,8	1,5	0,41	5
Fra lejl. 3 til lejl. 2	1,1	1,4	0,41	5

Tabel 1. Målte og beregnede parametre af cigaretrøg i eksponeringslejligheden i bygning A.

centrationsforløb for cigaretrøg i lejlighed 1 (kildelejligheden) og lejlighed 2 (eksponeringslejligheden). To cigaretter var tændt i lejlighed 1, den ene i stuen og den anden i soveværelset. Baggrundskoncentration i lejlighed 2 var ca. 4,0E+09 p/m³ (partikler pr. m³) om natten. For at kunne beregne ekspone-

forudsætning indebærer, at udsugningsluftens UFP-koncentration er lig med lejlighedsluftens koncentration. Modellen bruges til beregning af UFP-koncentrationen i de undersøgte lejligheder. Tabel 1 til 3 viser målte og be-



Figur 3. Resultat af måling og beregning af UFP-koncentrationen i lejlighed 1 og 2 i bygning A.

ringskoncentrationen er det nødvendigt at beskrive måleresultaterne matematisk vha. en model. Figur 3 illustrerer målt og beregnet UFP-koncentration i eksponeringslejligheden. Beregningerne er udført ifølge ligning 1, side 24. Det er forudsat, at der er fuldstændig opblanding af partikler og luft. Denne

	Eksposering (Infiltration inkl. reduktion ved drift af AC) (%)	Fjernelse af UFP i lejl. 2 (1/h)	Luftskifte i lejl. 2 (1/h)	Lækage (m³/h)
Fra lejl. 1 til lejl. 2 1 AC i lejl. 1	5,0	1,0	0,41	15
Fra lejl. 1 til lejl. 2 1 AC i lejl. 2	4,2	1,9	0,41	15
Fra lejl. 1 til lejl. 2 2 AC i lejl. 2	2,6	3,9	0,41	16

Tabel 2. Målte og beregnede parametre af cigaretrøg i eksponeringslejligheden i bygning A. Med luftrensere.

regnede parametre af cigaretrøg i eksponeringslejlighederne i bygning A, B, D og E. Anden kolonne i tabel 1 og 3 viser eksposeringen. Det er den procentvise andel af de ultrafine partikler, der genereres i kildelejligheden, og som infiltrerer eksponeringslejligheden.

Eksposeringen vises i anden kolonne i tabel 2, og omfatter infiltration inklusive reduktion pga. AC-drift. Størrelserne beregnes ved at sammenligne det totale antal tobaksrelaterede partikler i eksponeringslejligheden med det totale antal tobaksrelaterede partikler i kildelejligheden. Tredje kolonne viser summen af deponering, ventilationens borttransport og andre mekanismer, som reducerer luftens indhold af UFP. Fjerde kolonne viser luftskiftet i eksponeringslejlighederne. Sidste kolonne viser luftoverførslen forårsaget af en lækage fra kildelejlighederne til eksponeringslejlighederne. Luftskif-

tet og luftoverføringen er ugemiddelværdier. Rækkerne 2 til 4 i tabel 1 viser kildelejlighederne i successive undersøgelser. Kilderne var placeret i lejlighed 1, 4 og 3. Tabel 2 viser målte og beregnede parametre af cigaretrøg i eksponeringslejligheden i bygning A. Undersøgelsen er gennemført i lejlighed 1 og lejlighed 2 i bygning A. Kolonne 1 i tabel 2 viser antal luftrensere (AC; Air Cleaner) anbragt i kildelejligheden eller i eksponeringslejligheden.

Betydningen af luftrensere
Et andet formål var at kortlægge ventilationsforhold og lufttæthed, og derved beskrive nye tekniske løsninger til afprøvning i ikke-renoverede lejligheder/bygninger. Boligselskabet ønskede ikke at medvirke ved af-

	Eksposering (Infiltration) i lejl. 2 (%)	Fjernelse af UFP i lejl. 2 (1/h)	Luftskifte i lejl. 2 (1/h)	Lækage (m³/h)
Fra lgh. 1 til lejl. 2 Bygning B	2,6	2,7	0,74	10
Fra lgh. 1 til lejl. 2 Bygning D	0,3	4,4	0,92	2,3
Fra lgh. 1 til lejl. 2 Bygning E	0,7	1,5	0,36	5

Tabel 3. Målte og beregnede parametre af stearinlys i eksponeringslejligheden i bygning B, D og E. Bygning B var ikke renoveret, bygning D almindelig renoveret og bygning E total-renoveret.

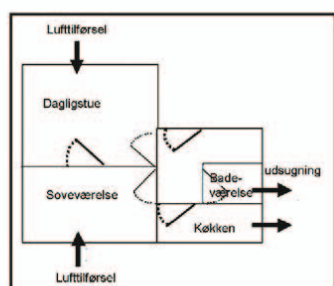


Halton
www.halton.dk

► Naborøg og over... **Fortsat**

prøvningen, derfor blev der to renoverede bygninger, D og E, udvalgt og undersøgt. Målet var at undersøge, hvordan renovering af bygninger kan påvirke UFP-infiltrationen mellem to lejligheder.

Luftrensere bruges til at reducere koncentrationen af UFP i rumluften. Det er undersøgt, hvordan placering af luftrensere i forskellige rum kan ind-



Figur 4. Skitse af den studerede lejlighed i bygning A.

virke på reduktionen af koncentrationen af UFP i kildelejligheden. Tabel 4 og 5 viser resultaterne. Der bruges to elektriske luftrensere (ifølge fabrikanten har hver luftrensere en Clean Air Delivery Rate på CADR=240 m³/h).

Undersøgelsen består af forskellige situationer, hvor cigaretrøg og luftrensere enten var i samme rum eller i forskellige rum, åbne eller lukkede rum og med brug af en eller to luftrensere.

Værdierne i tabel 4 og 5 er baserede på en beregning af partikel-

Dørposition	Driftsituation AC	Eksponering i forhold til eksponering i køkken uden luftrensere	
		Eksponering i køkken	Eksponering i soveværelse
Dør til køkken åben	Ingen AC	100%	102%
	1 AC i køkken	88%	78%
Dør til køkken lukket	Ingen AC	163%	5%
	1 AC i køkken	40%	4%

Tabel 4. Eksponering af UFP i køkken og soveværelse. Resultaterne er udtrykt i % af eksponeringen i køkkenet uden luftrensere og med åben dør. Cigaretrøgen blev genereret i køkkenet.

eksponeringen, mens der var tobaksrøg i lejligheden. Partikelkoncentrationen var forhøjet i ca. tre timer, efter cigaretten blev røget. Eksponeringen bestemmes derfor som den totale mængde partikler, der findes i luften, fra det tidspunkt cigaretten bliver tændt og tre timer frem.

Af tabel 4 fremgår det, at eksponeringen for partikler var nogenlunde ens i køkken og soveværelse, når dørene mellem disse rum var åbne, selvom cigaretten blev røget i køkkenet. Når døren var lukket, faldt partikelkoncentrationen i soveværelset markant. Resultaterne fra forsøget med lukket dør viser også, at koncentrationen i køkkenet var ca. 75 % lavere, når der blev brugt luftrensere, sammenlignet med situationen uden luftrensere og lukket dør.

Tabel 5 sammenfatter resultaterne fra en serie forsøg med generering af cigaretrøg i dagligstuen. I alle måleserierne var døren mellem dagligstue og soveværelse lukket. Dørene ud til entreen var åbne (figur 4). Når én luftrensere var i drift faldt partikeleksponeringen i daglig-

stuen til 37 % af eksponeringen uden luftrensere, og ved to luftrensere i drift faldt eksponeringen til 29 %. Det er ikke klarlagt, hvorfor effekten af den an-

Dørposition	Driftsituation AC	Eksponering i forhold til eksponering i dagligstue uden luftrensere	
		Eksponering i dagligstue	Eksponering i soveværelse
Dør mellem dagligstue og soveværelse lukket	Ingen AC	100 %	85 %
	1 AC i dagligstue	37 %	31 %
	2 AC i dagligstue	29 %	25 %
	2 AC i soveværelse	45 %	10 %

Tabel 5. Eksponering af UFP i dagligstue og soveværelse. Resultaterne er udtrykt i % af eksponering i dagligstuen uden luftrensere. Cigaretrøgen blev genereret i dagligstuen.

den luftrensere var mindre end den beregningsmæssigt forventede effekt, nemlig 23 %.

Tabel 5 viser, at eksponeringen i soveværelset i de fleste tilfælde var noget mindre end i dagligstuen. At der ikke var større forskel mellem soveværelse og dagligstue skyldes formodentlig, at begge rums døre var åbne ud til entreen. Der var altså ingen direkte kontakt mellem dagligstue og soveværelse, så tobaksrøg fra dagligstuen spredtes til soveværelset via entreen. Dette resultat kan sammenlignes med resultatet i tabel 4, der viser, at spredningen af tobaksrøg fra køkkenet til soveværelset var meget begrænset, når køkkendøren var lukket. I dette tilfælde fandtes der ikke andre åbninger for spredning af tobaksrøg fra køkkenet.

Nederst i tabel 5 ses resultatet af en måling, hvor luftrenseren er flyttet ind i soveværelset.

Eksponeringen er i dette tilfælde kun 10 % af eksponeringen i dagligstuen, hvor cigaretrøgen blev genereret.

Konklusion og anbefalinger

Infiltrationer

Mange problemer med naborøg opstår, fordi mange ældre etageejendomme er blevet mere tætte udadtil. Herved reduceres udelufttilførslen gennem udeluftventiler, og en større andel af lufttilførslen til lejligheden tilføres via trappeskakte og lejlighedsskell.

Ved utætheder mellem lejlighede-

derne udsættes beboerne for de omkringboendes lugte fra f.eks. madlavning, men værre er det, hvis naboen ryger.

Hovedformålet med undersøgelsen var at kvantificere overførslen af partikelforurening mellem naboledigheder ved tobaksrygning. Resultaterne tyder på, at næsten 9 % af den mængde UFP-partikler, der genereres i kildelejligheden, infiltreres til eksponeringslejligheden (tabel 1). Ved målinger med stearinlys under samme forhold som med tobaksrygning var resultatet 2-3 % (tabel 3). Forskellen skyldes måske at tobaksrøg og røg fra stearinlys har forskellige egenskaber.

Baggrundskoncentrationen af UFP var om natten 4,0E+09 p/m³, og om dagen kan denne værdi stige til det dobbelte.

Resultaterne viser, at to cigaretter genererer en middelværdikoncentration på 22E+09 p/m³ ►



► Naborøg og over...

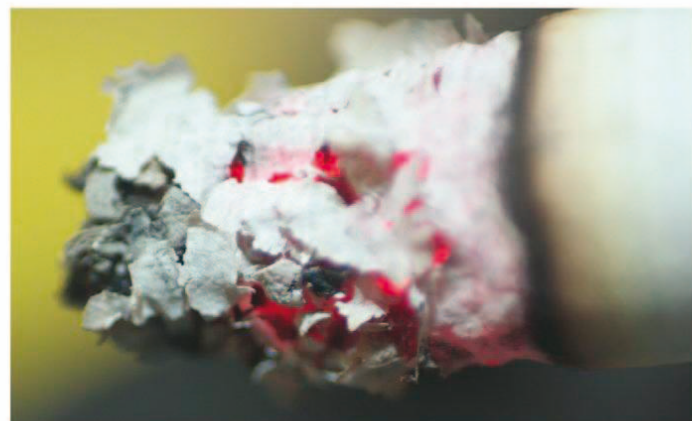
Fortsat

fra cigaretterne tændes, til koncentrationen aftager til samme niveau som baggrundskoncentrationen. Ved maks. værdi genereres $95,8E+09 \text{ p/m}^3$. Antages det, at 8,6 % af middelkoncentrationen på $22E+09 \text{ p/m}^3$ infiltreres til naboledigheden, modsvarer det en middelværdi på $1,9 E+09 \text{ p/m}^3$, dvs. en forøgelse på 47 %. Ved beregning af maksimumværdien fås $8,2E+09 \text{ p/m}^3$, hvilket svarer til en forøgelse på 205 % i forhold til baggrundskoncentrationen. Infiltrationen fra kildeledigheden til eksponeringsledigheden

For at kunne gennemføre dette i almene boliger kræves en lovændring eller en dispensation fra Indenrigs- og Socialministeriet. Ifølge loven er det tilladt, at beboere ryger i deres egne ledigheder. Det kan derimod forbydes at ryge på fællesarealerne. En anden afhjælpningsmetode er byggetekniske løsningsmodeller, dvs. en effektiv tætning af utætheder i bl.a. etageadskillelser via rørgennemføringer, vægge, revner og huller i gulv og tag, utætte murede ventilationskanaler, brevsprækker og utætheder omkring yderdøre. Forskellige typer utætheder betyder, at hver etageblok, og måske hver ledighed, kan kræve

reducere eksponeringen fra cigaretrøg i kildeledigheden (volumen 110 m^3) med 60-70 %. Ved brug af to luftrensere blev eksponeringen reduceret med 70-80 %. Effektiviteten øges yderligere, når luftrenseren placeres i det rum, hvor cigaretrøg genereres. Isolering af et kilderum i kildeledigheden har stor betydning for spredning af cigaretrøg til andre rum. Isoleringen antages at have tilsvarende betydning for rensning af luft i eksponeringsledigheden.

reducere eksponeringen fra cigaretrøg i kildeledigheden (volumen 110 m^3) med 60-70 %. Ved brug af to luftrensere blev eksponeringen reduceret med 70-80 %. Effektiviteten øges yderligere, når luftrenseren placeres i det rum, hvor cigaretrøg genereres. Isolering af et kilderum i kildeledigheden har stor betydning for spredning af cigaretrøg til andre rum. Isoleringen antages at have tilsvarende betydning for rensning af luft i eksponeringsledigheden.



var mindre i de renoverede bygninger - D og E - end i bygning A, der ikke var renoveret.

Løsningsforslag

UFP-koncentrationen i eksponeringsledigheden kan reduceres vha. tre metoder: kildekontrol, ventilation og rumluftrensning.

Kildekontrol

Røgfrie etageboliger eller røgfrie boligblokke er en af de afhjælpningsmetoder, der foreslås og er kendt i flere lande, bl.a. i Sverige, Canada, USA og Norge.

specielle tætningsmetoder. I løbet af vinteren 2010 undersøges betydningen af tætning for overførsel af partikelforurening. Der gennemføres tæthedsmålinger for at vurdere lufttæthed af etageadskillelser mellem to ledigheder i en ældre etagebolig.

Ventilation

Ventilation reducerer vha. fortynding, koncentrationen af alle forureninger i en bygning og er derfor velegnet til at sikre et godt indeklima. Luft skal bevæge sig fra soveværelse og dagligstue til køkken og badevæ-

Rumluftrensning

Et virksomt middel til at reducere tobaksrøg i bygninger er lokal rensning af luften ved kildeledigheden eller eksponeringsledigheden. Det forudsættes, at der vælges tilstrækkelig stor kapacitet i forhold til ventilationen. Teknikken giver også mulighed for at reducere partikelniveauer i bygninger, hvor filtrering af tilluften mangler, dvs. bygninger med naturlig ventilation eller mekanisk udsugning. Ved valg af luftrensere er det vigtigt at være opmærksom på sideeffekter som eksempelvis støj.

Tabel 2 viser beregnet infiltration af UFP fra kildeledighed til eksponeringsledigheden i bygning A. Ved placering af en luftrenser i kildeledigheden, reduceres overførslen af UFP fra 8,6 % (uden luftrensere) til 5 % (med luftrensere). Resultatet viser også, at placering af en luftrenser i eksponeringsledigheden er lige så effektiv, som hvis luftrenseren havde været placeret i kildeledigheden. Ved brug af to luftrensere i eksponeringsledigheden, fordobles fjernelsen af UFP.

Tabel 4 og 5 viser, at den luftrenser, (CADR= $100 \text{ m}^3/\text{h}$), der blev brugt i denne undersøgelse, var effektiv nok til at kunne

Anbefalinger

- Den mest effektive løsning er at fjerne forureningskilden.
- I kildeledigheder bør generering af forureninger ikke indebære spredning til andre ledigheder.
- Tobaksrygning bør ske i køkkenet med lukket dør og tændt udsugningsventilator/emhætte.
- Ved brug af luftrensere i kildeledigheder skal renseren placeres nær kilden for at opnå den største effekt. Udsugningsventilator skal være indstillet til maks. effekt.
- Luftmængden, som luftrenseren behandler, skal tilpasses ventilationen i ledigheden, hvor luftrenseren anbringes.
- De fleste luftrensere reducerer koncentrationen af partikler, mens koncentrationen af gasser kun reduceres i særlige luftrensere.

Tak

Der rettes en tak til de boligforeninger, der har hjulpet med at finde og udvælge bygninger og ledigheder til undersøgelserne. Projektet er gennemført med støtte fra Indenrigs- og Socialministeriet, Grundejernes Investeringsfond og Landsbyggefonden.



VACUMEX®
The power to move air...
VACUMEX A/S
DK-6330 PADBORG
TLF.: 7467 33 29
INFO@VACUMEX.DK
WWW.VACUMEX.DK

Artikel II

HVAC nr. 11, årgang 47, 2011: Tekniske løsninger til reduktion af naborøg

Alireza Afshari; Niels C. Bergsøe; Siamark Rahimi Ardkapan, Matthew S. Johnson

Tekniske løsninger til reduktion af naborøg

Passiv rygning på grund af luftoverføring mellem lejligheder, såkaldt naborøg, er et vigtigt spørgsmål for beboere. Ingen ønsker at blive udsat for lugt og skadelige partikler fra andres tobaksrygning. Der er grunde til at antage, at problemet med naborøg især gælder ældre etageboliger. I denne artikel redegøres for undersøgelser af to tekniske løsninger

Af Alireza Afshari, Niels C. Bergsøe, Siamak Rahimi Ardkapan fra Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet samt Matthew S. Johnsson Københavns Universitet, Center for atmosfæreforskning

Der er forskellige måder, røgen kan sive fra én lejlighed til en anden. Det afhænger af bygningens ventilationssystem, konstruktion, tæthed og alder.

Resultater fra projektets - Tekniske løsninger til reduktion af eksponering for indendørs ultrafine partikler fra naborøg - første fase viste, at i de mest kritiske tilfælde var overføringen af ultrafine partikler ca. ni pct. I det tilfælde lå eksponeringslejligheden over kildelejligheden. Kildelejligheden er lejligheden, hvori partiklerne genereres, mens eksponeringslejligheden er lejligheden, hvortil partiklerne fra kildelejligheden overføres.

Formålet med projektets anden fase er at identificere måder, hvorpå røg overføres fra én lejlighed til en anden samt at undersøge tekniske løsninger for at forebygge eller mindske overføringen af ultrafine partikler fra en kildelejlighed til en eksponeringslejlighed.

I denne artikel redegøres for undersøgelser af to tekniske løsninger. Den første er forsegling af gulvet i eksponeringslejligheden, og den anden er anvendelse af et nyt luftrensende kanalsystem (Photochemical Air Purification).

Undersøgelser af den første

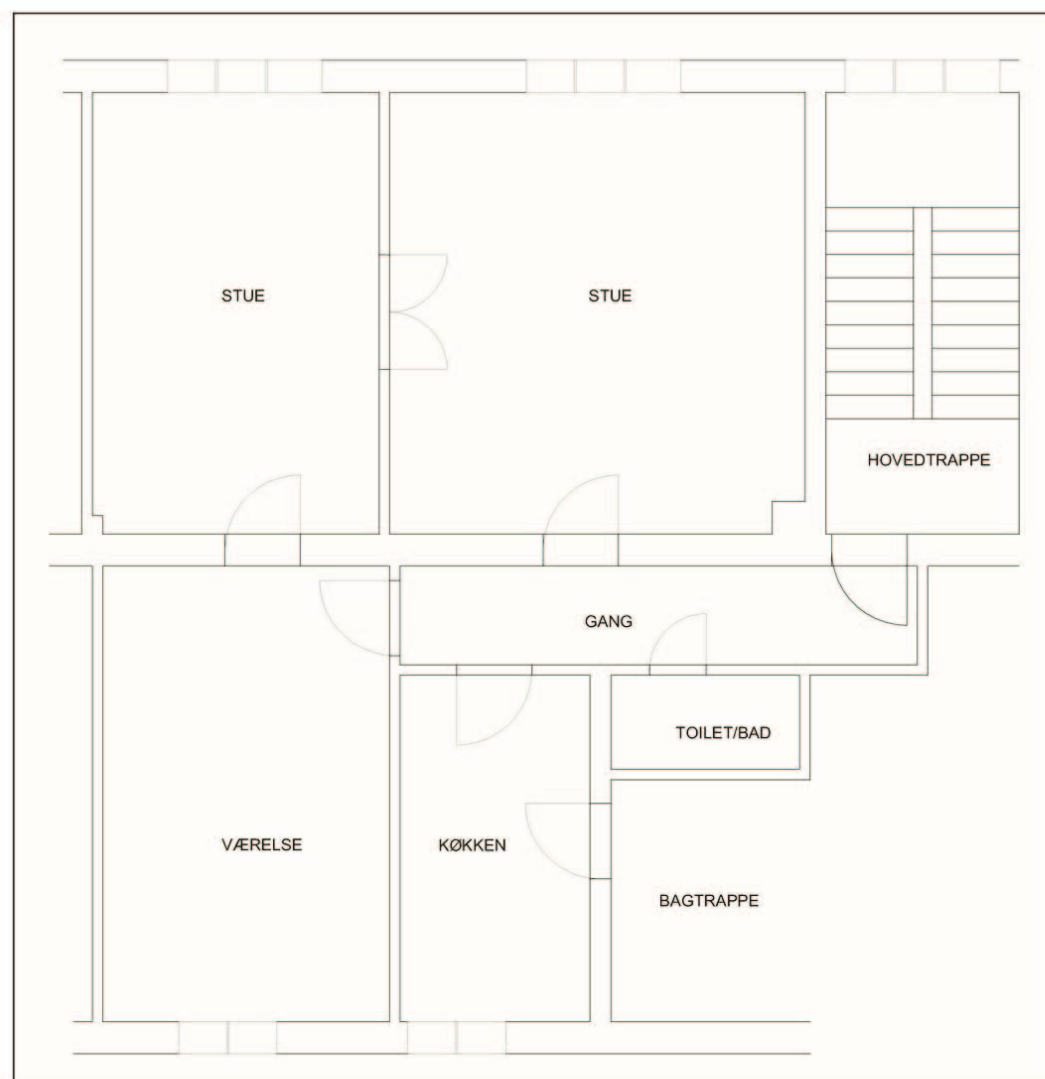
løsning blev gennemført i en lejlighed i en etageejendom fra ca. 1930. Pap og plastfolie af polyethylen blev anvendt til tætning af hele det eksisterende trægulv i eksponeringslejligheden. Resultatet af undersøgelserne viste, at efter tætningen

var koncentrationen af partikler i eksponeringslejligheden uafhængig af genereringen af partikler i kildelejligheden. Den anden løsning blev undersøgt under laboratorieforhold. Undersøgelserne viste, at systemets effektivitet med hensyn til

fjernelse af partikler varierede fra ca. 30 pct. til 60 pct. efter 10 minutter, dvs. i den periode, hvor cigarettene var tændt.

Baggrund

Ikke-rygende personer, der bor ▶



Figur 1. Plan over eksponeringslejlighed.

► Tekniske løsninger...

Fortsat

i etageboliger, er bekymrede, når uønskede gasser og partikler trænger ind i deres lejlighed fra rygende naboer [1]. I de senere år har undersøgelser peget på en mulig sammenhæng mellem udsættelse for

Undersøgelsen, der beskrives i det følgende, har som formål at identificere, hvordan røg kan overføres fra én lejlighed til et anden samt at undersøge to tekniske løsninger til at forebygge eller reducere overføring af ultrafine partikler fra en kildelejlighed til en eksponeringslejlighed.

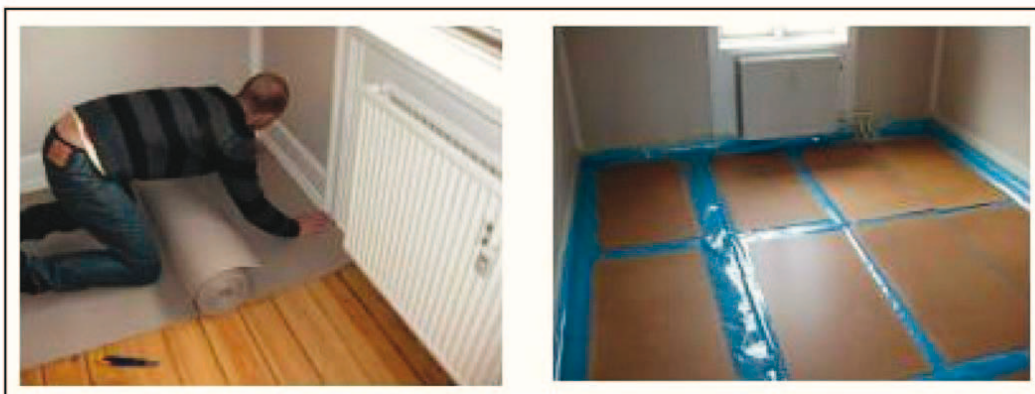
Metoder

Identifikation af spredningsveje og tætningsløsninger

mellemgang. I lejligheden er gulvet blotlagt til lakeret trægulv i de to stuer og i værelset. I mellemgangen og i køkkenet er gulvet belagt med vinyl. I køkkenet er der køkkenskabe langs én væg. I bad/toilet er der betonplade. Mellem gulv og væg i stuerne, værelset og mellemgangen er ca. 150 mm fodpanel med fejlaliste. Der er opsat radiator under vinduerne i stuerne og værelse. Varmerør er ført gennem gulvet ved lysning i værelse og i en stue. Varmerør

lejligheden før og efter tætning af lejligheden. Tætningen, se figur 2, blev gennemført på følgende måde: Indgangsdør fra hovedtrappen lukkes og brevsprække lukkes indefra med tape. Køkkendør til køkken-trappe samt dør mod bad/toilette lukkes og tapes. Alle vinduer og alle friskluftventiler lukkes. Aftrækskanal i køkken lukkes med ballon. Øvrige døre i lejligheden åbnes. På det blotlagte trægulv udlægges en gulvfiltap (500 g/m²). Gulvpappen tilskræres ved fejlaliste og føres over trin mellem stue og værelse. Samlinger stødes og tapes med 50 mm crepetape. Efterfølgende udlægges CE-mærket 0,2 mm polyetylenfolie. Folien føres op ad fodpanel og fastgøres til væg lige over fodpanel med enkeltklæbende crepetape. Ved dørtrin tapes folien til anslag. Ved rørgennemføringer for varmerør tapes.

Tæthedsmålingen udføres i henhold til DS/EN 13829, dvs. ved såvel over- som undertryk. Til undersøgelsen anvendes en Blower Door, som opsættes midlertidigt i det fuldt åbne køkkenvindue. Inde- og udetemperatur samt vindhastighed måles med termooanemometer. Foruden tæthedsmåling blev der foretaget en termografisk undersøgelse i henhold til DS/EN 13187, dvs. ved 50 Pa undertryk. Der benyttes et infrarødt kamera med høj opløsning og



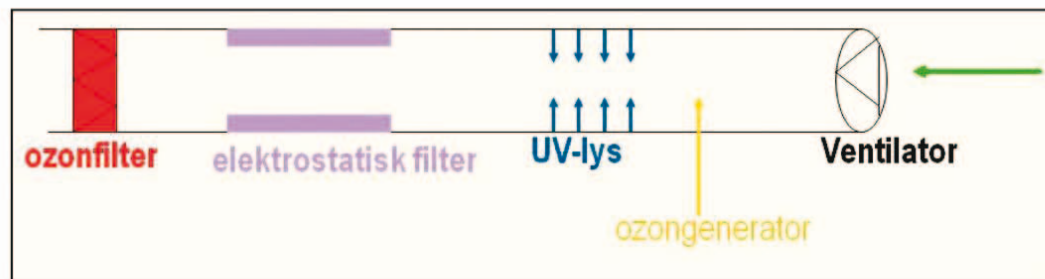
Figur 2. Tætning af eksponeringslejligheden.

ultrafine partikler (UFP) og menneskers sundhed [2]. Der er forskellige måder, hvorpå røg overføres fra én lejlighed til en anden. Det kan f.eks. være gennem stikkontakter, kabler eller telefonstik, rør-gennemføringer og revner i vægge og gulve.

Tidligere resultater viste, at i de mest kritiske tilfælde var overføringen af ultrafine partikler cirka ni pct., når eksponeringslejligheden lå over kildelejligheden. Overføringen af ultrafine partikler var en-to pct., når kildelejligheden var på samme etage som, eller over, eksponeringslejligheden. Desuden viste resultaterne, at med en aktiv luftrenser i kildelejligheden, reduceredes overførslen af ultrafine partikler fra ca. ni pct. (uden luftrenser) til ca. fem pct. (med luftrenser). Resultaterne viste også, at i eksponeringslejligheden er effekten af luftrenseren uafhængig af, om den anbringes i eksponeringslejligheden eller i kildelejligheden.

Undersøgelsen blev gennemført i en femetagers karrébygning fra ca. 1930.. Kildelejligheden var beboet mens eksponeringslejligheden var ubeboet. Eksponeringslejligheden lå umiddelbart over kildelejligheden. Undersøgelsen blev gennemført i vinteren 2010, hvor ingen indendørs aktiviteter fandt sted i

for en stue er ført gennem skillelæg mellem stuer. Lofter antages at være forskallingsbrædder med rørvæv og puds. Mellem loft og væg er stuk. Midt på loftet i stuer og værelse er loftroset med eludtag. Der er aftræk i køkken og bad. I begge stuer er der udeluftventiler i ydervæggen. Desuden er vindu-



Figur 3. Luftrensende kanalsystem.

lejlighederne i løbet af målingerne. Figur 1 viser lejlighedsplan for eksponeringslejligheden. Lejligheden består af to stuer (en suite) mod befærdet vej, et værelse og køkken mod gård, kombineret bad og toilet samt

erne forsynet med udeluftventiler. Lejlighedens gulvareal er 64 m², og volumen er 173 m³. Kildelejligheden er tilsvarende opbygget. Identifikation af spredningsveje blev udført ved hjælp af tæthedsmåling i eksponerings-

termisk sensitivitet på < 0,08 0C. Afkølede overflader og typiske utætheder registreres med termografiske billeder og simultant med digitale billeder. Ved de områder, hvor den termografiske undersøgelse viser tegn på utæthed, foretages stik-

► Tekniske løsninger... *Fortsat*

prøvekontrol med lufthastighedsmåler. Kilder til generering af partikler bestod af to cigaretter, som blev placeret i kildelejligheden. Koncentrationer af ultrafine partikler blev målt simultant i tre forskellige positioner - i kildelejligheden, i eksponeringslejligheden og udendørs. Partikeltællerne var TSI model P-trak 8025 (2 stk.) og TSI model CPC 3007. I begge lejligheder blev der endvidere målt luftskifte, CO₂, temperatur- og luftfugtighed over en periode på en uge. Også udeluftens temperatur og fugtighed blev målt.

Ydeevnemåling af luftrensende kanalsystem

En anden potentiel løsning til reduktion af koncentrationen af ultrafine partikler fra ciga-

	Luftstrøm gennem utætheder			
	(Med tætn.)	(Med tætn.)	(Uden tætn.)	(Uden tætn.)
Enheder	l/s ved 50 Pa	l/(s, m ²) ved 50 Pa	l/s ved 50 Pa	l/(s, m ²) ved 50 Pa
Overtryk	342 (± 0.5%)	5.34	405 (± 0.5%)	6.32
Undertryk	319 (± 0.5%)	4.99	361 (± 0.5%)	5.65
Middelværder	330.5	5.17	383	5.99

Tabel 1. Tæthedsmålinger i eksponeringslejligheden med og uden tætning.

retrøg er et luftrensende kanalsystem. Systemet blev undersøgt i laboratoriet under kontrollerede forhold. Systemet omfatter en luftrenserenhed, se figur 3, som består af otte UV-lamper, en ozongenerator, et elektrostatisk filter og et ozonfilter. For at undersøge virkningen af de forskellige dele i enheden, blev der gennemført seks scenarier. Scenarierne er beskrevet nedenfor. Koncentrationer af ultrafine partikler og TVOC blev målt ved luftrenserenhedens indblæsning og udsugning. En tændt cigaret blev anvendt som partikel- og TVOC-kilde. Koncentrationer af ultrafine partikler blev målt ved hjælp af to

kondenspartikeltællere, dvs. TSI model P-Trak 8025 og TSI model CPC 3007. Koncentrationerne af TVOC blev målt ved hjælp af to gasanalyser, Innova type 1312 og Brüel & Kjør type 1302.

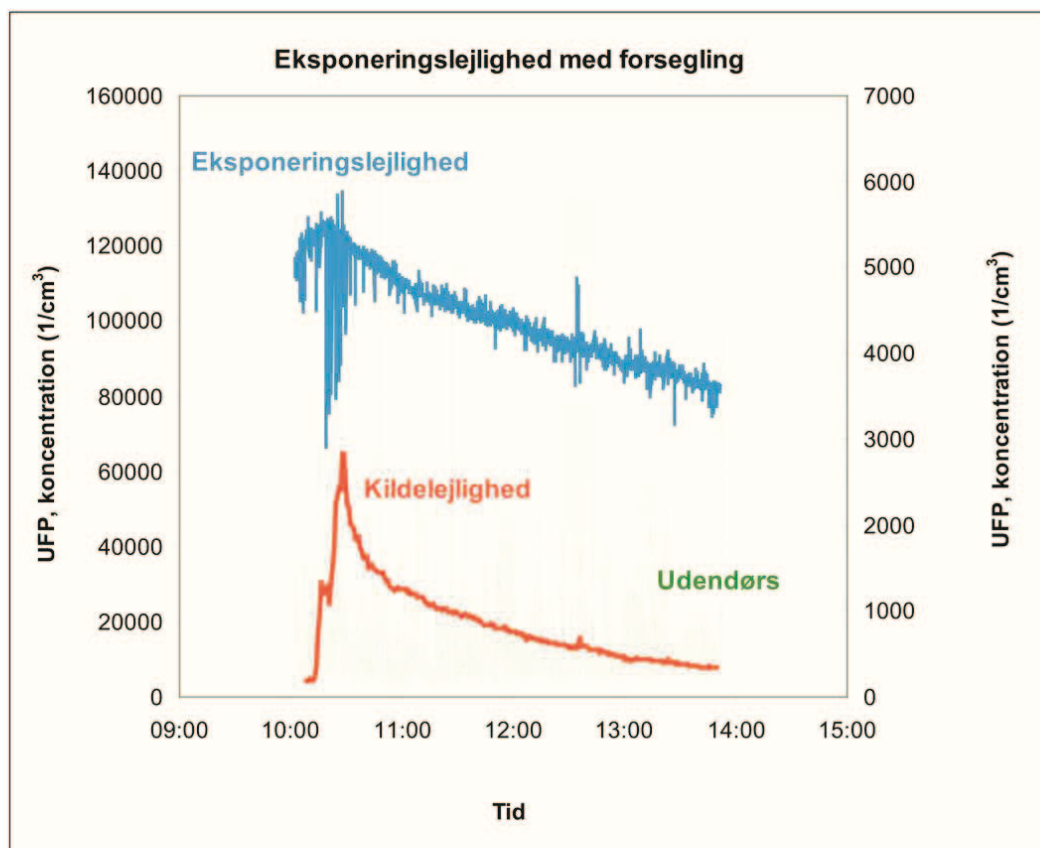
- Scenario 1: Luftrenserenheden i drift som tiltænkt.
- Scenario 2: Luftrenserenheden i drift som tiltænkt i de første 10 minutter, mens cigaretten brændte. Derefter blev luftrenserens ozongenerator slukket, indtil UFP-koncentrationen havde nået sit oprindelige niveau (baggrunds niveau), hvorefter den blev tændt igen.
- Scenario 3: Luftrenseren-

den i drift som tiltænkt i de første 10 minutter, mens cigaretten brændte. Derefter blev luftrenserens ultraviolette lys slukket, indtil UFP-koncentrationen nåede sit oprindelige niveau (baggrunds niveau), hvorefter den blev tændt igen.

- Scenario 4: Luftrenserenheden i drift som tiltænkt i de første 10 minutter, mens cigaretten brændte, hvorefter luftrenserens elektrostatiske filter blev slukket.
- Scenario 5: Luftrenserenheden i drift som tiltænkt, dog var det elektrostatiske filter slukket fra begyndelsen til slutningen af målingen.
- Scenario 6: Luftrenserenheden i drift som tiltænkt, dog var det elektrostatiske filter og ozongeneratoren slukket fra begyndelsen af målingen. Efter at cigaretten var brændt ud, og koncentrationen af partikler nåede sit oprindelige niveau, blev der tændt for det elektrostatiske filter og ozongeneratoren.

Resultater

Identifikation af spredningsveje og tætningsløsninger
 Tabel 1 viser resultaterne af tæthedsmålingerne i eksponeringslejligheden med og uden tætning. Resultaterne viser, at tætningen reducerer luftstrømmen med 16 pct. Koncentration af ultrafine partikler blev målt i kildelejligheden, i eksponeringslejligheden og udendørs før gulvet i eksponeringslejligheden blev forseglet. Beregninger viser, at overføringen af ultrafine partikler fra kildelejlighed til eksponeringslejlighed var omkring en pct.



Figur 4. Målt koncentration af ultrafine partikler i kildelejlighed, eksponeringslejlighed og ude efter tætning gulvet af eksponeringslejligheden.

► Tekniske løsninger...

Fortsat

Figur 4 viser koncentrationsforløbet af ultrafine partikler i kildelejligheden, i eksponeringslejligheden og ude efter tætning af gulvet i eksponeringslejligheden. Overføringen af partikler mellem de to lejligheder er beregnet efter en massebalancemodel, der tidligere er anvendt til analyse af partikelkoncentrationer [3]. Det er forudsat, at der er fuldstændig opblanding i eksponeringslejligheden, således at udsugningsluftens partikelkoncentration er lig med rumluftens partikelkoncentration. Resultatet af beregningerne er, at overføringen af ultrafine partikler fra kildelejlighed til eksponeringslejlighed ikke var signifikant, mens cigarettens (kilden) brændte i kildelejligheden. Termograferingen i eksponeringslejligheden med og uden tætning viser, at der generelt er

mange utætheder, særligt ved bjælkelagets anlæg i facaden, men også langs fodpaneler og i gulvets fer/not-samlinger. Især ved fodpanelerne er der mange utætte føringslister for kontakter og bøsninger for rørgennemføringer. Ligeledes ses utætheder ved gennemføringer, ved skorstene og ved loftsroset.

Ydeevnemåling af luftrensende kanalsystem

Figur 5 illustrerer forløbet af målte koncentrationer af ultrafine partikler ved luftrensningsenhedens indblæsning og udsugning. C1 betyder kalibrering af alle instrumenter i indblæsningsluften af luftrensningsenheden, herunder to kondensationspartikeltællere og to TVOC instrumenter. C2 betyder kalibrering af alle instrumenter i udsugningsluften af luftrensningsenheden. Kalibreringerne blev brugt til at beregne koncentrationerne af ultrafine partikler og TVOC. S1 til S6 står for Scenario 1 til Scenario 6, som beskrevet tidligere. Resultaterne af målin-

gerne af TVOC-koncentrationerne havde et mønster, der svarede til resultaterne af målingerne af partikelkoncentrationerne.

Diskussion

Identifikation af spredningsveje og tætningsløsninger

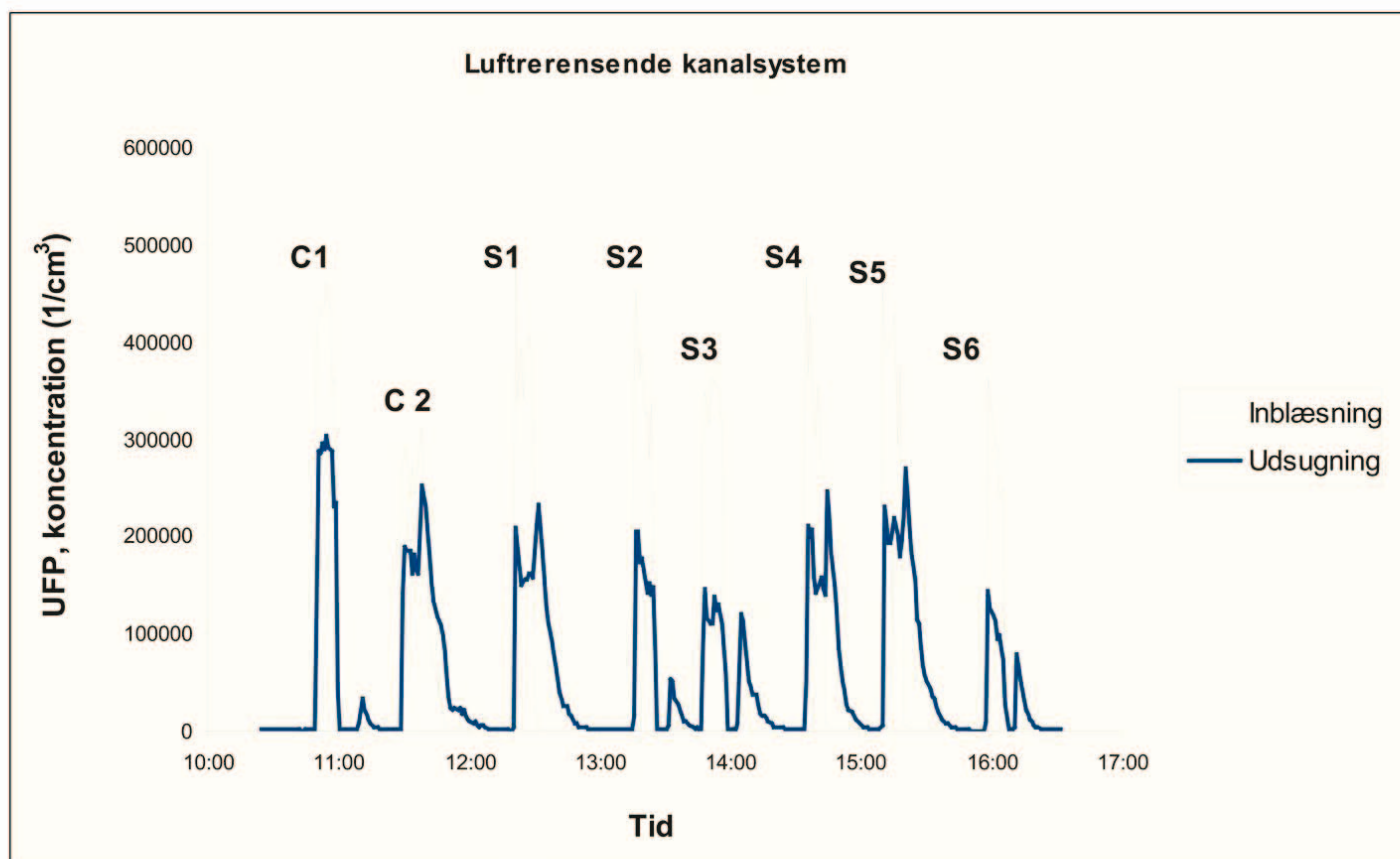
Overføring af luft mellem to lejligheder i en etagebygning afhænger af ventilationssystem, konstruktion, tæthed og bygningens alder. Bygning som er undersøgt i dette projekt var naturlig ventileret. Resultaterne af tæthedsmålingerne med og uden tætning af eksponeringslejligheden viste, at tætning af gulvet reducerer luftoverføringen med 16 pct. Resultaterne af målingerne af partikelkoncentrationerne viser, at overføring af ultrafine partikler fra kildelejlighed til eksponeringslejlighed var omkring en pct., når gulvet i eksponeringslejligheden ikke var forseglet. Figur 4 viser de målte koncentrationsforløb i kildelejlighed, eksponeringslejlighed

og udendørs efter tætning af gulvet i eksponeringslejligheden.

Efter at gulvet i eksponeringslejligheden blev forseglet, observeredes ingen stigning af partikelkoncentrationen i eksponeringslejligheden i forbindelse med partikelgenerering i kildelejligheden. Der kan tænkes flere forklaringer, som ydermere kan kombineres, på det observerede: En er, at etageadskillelsen mellem kildelejligheden og eksponeringslejligheden var forholdsvis tæt allerede inden tætning; overføringen af partikler var lav (en pct.). En anden forklaring kunne være, at overføringen til eksponeringslejligheden reduceres ved, at partikler adsorberes i tætningsmaterialerne. En tredje forklaring kunne være, at overførte partikler deponeres på plastoverfladerne i eksponeringslejligheden.

Ydeevnemåling af luftrensende kanalsystem

Øgede krav til energieffektivitet ►



Figur 5. Målte partikelkoncentrationer i luftrensningsenheden indblæsning og udsugning.

gør det nødvendigt at undersøge mulighederne for at forbedre ventilationssystemer i boliger. En forbedringsmulighed er at udvikle behovsstyrede ventilationssystemer til boliger. En anden tekniske løsning kunne være luftrensede kanalsystemer. For at afklare i hvilket omfang en sådan teknisk løsning er brugbar, testedes en ny luftrensnings-teknologi i et kanalsystem.

Den første kolonne i tabel 2 er en kort beskrivelse af de forskellige scenarier. Den anden kolonne i tabel 2 viser beregnede tilbageholdelsesgrader af ultrafine partikler. I alle scenarier var en cigaret placeret ved indgangen af systemet. Cigaretten blev efterladt brændende i 10 minutter.

Tilbageholdelsesgraden af ultrafine partikler i procent i tabel 2 blev beregnet ved at subtrahere det beregnede areal under kurven i figur 4 for indblæsningskoncentration, og det beregnede areal under kurven for udsugningskoncentration og derefter dividere med det beregnede areal under kurven for indblæsningskoncentration, ganget med 100.

Resultaterne fra scenario 1 til scenario 4, som havde samme betingelser, de første 10 minutter, viste, at tilbageholdelsesgraden af ultrafine partikler varierede mellem ca. 30 pct. og 60 pct. efter 10 minutter, dvs. når cigaretten var brændt ud. I scenario 5, hvor det elektrostatiske filter var slukket fra begyndelsen, var tilbageholdelsesgraden ca. 30 pct., og i scenario 6, hvor både det elektrostatiske filter og ozongeneratoren var slukket fra begyndelsen ca. 60 pct.

Desuden viste resultaterne fra

Scenario	Beregnet tilbageholdelse af ultrafine partikler (%)
S1: Alle dele arbejder kontinuerligt	40
S2: Slukket ozongenerator efter afbrænding af en cigaret	45
S3: Slukket UV-lys efter afbrænding af en cigaret	59
S4: Slukket elektrostatiske filter efter afbrænding af en cigaret	47
S5: Slukket elektrostatiske filter fra begyndelsen af målingen	30
S6: Slukket UV-lys og ozongenerator fra begyndelsen af målingen	60

Tabel 2. Beregning af tilbageholdelse af ultrafine partikler

scenario 2 og scenario 3, at når ozongeneratoren og UV-lyset blev tændt, øgedes koncentrationen af ultrafine partikler igen. Samme fænomen opstod i scenario 6, da det elektrostatiske filter blev tændt igen. Årsagen er, at cigaretrøg genererer både partikler og kemiske stoffer i systemet.

I løbet af de første 10 minutter kan en del kemiske stoffer være blevet adsorberet på overfladen af kanalsystemet, da luftstrømmen og den medtransporterede ozon ikke var i stand til at fjerne alle kemiske stoffer. Dette kan forklares ved, at ozonet, der tilføres systemet, reagerer med de kemiske stoffer, som adsorberes i kanalsystemet og skaber nye ultrafine partikler. Samme fænomen forekom, når UV-lyset blev tændt igen, da UV-lys bidrager med en del af ozonet i kanalsystemet. Endelig konklusion nødvendiggør yderligere undersøgelser for at bekræfte disse resultater.

Konklusion

Tætningsundersøgelsen viste, at der var mange utætheder i eksponerings-lejligheden. De fleste utætheder forekom i overgangen mellem væg og

gulv. Der forekom også optrængning gennem gulvet. Resultaterne af tæthedsmålingerne med og uden tætning af gulvet viste, at tætning reducerer overføringen med 16 pct. Der er vigtige udviklingspotentialer i metoden, men den skal udvikles og afprøves yderligere, før det er muligt at anbefale metoden.

Resultaterne fra det luftrensede kanalsystem med luftrensere viste, at tilbageholdelsesgraden af ultrafine partikler varierede mellem ca. 30 pct. og 60 pct. Luftrenserteknologien er stadig under udvikling for at forbedre systemets ydeevne og den praktiske anvendelse i indeklimaet. Derudover er det nødvendigt at foretage detaljerede undersøgelser af teknologier baseret på anvendelse af UV-lamper, ozongenerator, elektrostatiske filter og ozonfilter for at sikre systemets funktionssikkerhed.

Projektet er gennemført med støtte fra Indenrigs- og Socialministeriet, Grundejernes Investeringsfond og Landsbyggefonden. Tæthedsmålinger er foretaget af Bygge- og Miljøteknik A/S.

Referencer:

1. Brink, A.L. and Clemmensen, I. H. (2007). Passiv rygning, Hvidbog (in Danish), The Danish Cancer Society, ISBN 87-766-289-1, Copenhagen.
2. Elvira Vaclavik Bräuner. Peter Møller. Lykke Forchhammer, Lars Barregaard, Lars Gunnarsen, Alireza Afshari, Peter Wählin, Marianne Glasius, Lars Ove Dragsted, Samar Basu, Ole Raaschou-Nielsen and Steffen Loft, (2007). "Indoor Particles Affect Endothelial Function in the Elderly: An Air Filtration-based Intervention Study", American Journal of Respiratory Critical Care Medicine, Vol. 177, pp. 419 – 425.
3. Alireza Afshari, Bingbing Shi, Niels Christian Bergsøe, Lars Ekberg, Tord Larsson (2010). Quantification of Ultrafine Particles from Second-Hand Tobacco Smoke Infiltration in Flats. In Sustainable Energy Use in Buildings Clima 2010, REHVA World Congress 10, Antalya, Turkey, 09.05.2010-12.05.2010: Proceedings cd-rom. 8 p.

Artikel III

Tæthedsundersøgelse af en etageadskillelse mellem to lejemål i en ældre etagebolig i København. Intern rapport, SBI 2010

Projekt Naborøg, Statens Byggeforskningsinstitut og Bygge- og Miljøteknik A/S.



Projekt Naborøg
Tæthedsundersøgelse af etageadskillelse

Sag nr.: R3232-001
2010-06-14

Bygge- og Miljøteknik A/S

Dr. Neergaards Vej 15
DK - 2970 Hørsholm
Tlf: +45 4566 2922
Fax: +45 4566 4922
info@byggeteknik.com
www.byggeteknik.com

1 Baggrund

Bygge- og Miljøteknik A/S har for seniorforskerne Alireza Afshari og Niels Christian Bergsøe, begge Statens Byggeforskningsinstitut foretaget en tæthedsundersøgelse af en etageadskillelse mellem to lejemål i en ældre fleretagers ejendom i København.

Undersøgelsen er foretaget i en tom 4. sals lejlighed i København SV venligst udlånt af KAB.

Undersøgelsen er foretaget i forlængelse af Statens Byggeforskningsinstituts egne undersøgelser i forbindelse med Projekt Naborøg.

2 Bygning og konstruktion

Bygningen er en 5 etagers karrebygning opført i murværk antagelig fra ca. 1925 (facaden er vist på foto på rapportens forside).

Den aktuelle lejlighed (figur 1) består af 2 stuer en suite mod befærdet vej, 1 værelse og 1 køkken mod gård, 1 kombineret bad og toilet samt 1 mellemgang



Figur 1 Plan over lejligheden (lejlighedens hovedmål fremgår af bilag 2e)

I lejligheden er gulvet blotlagt til lakeret trægulv i de 2 stuer en suite og i værelse mod gård. I gang og i køkken er gulv belagt med vinyl. I køkken er køkkenskabe langs én væg.

Etageadskillelsen er udført som træbjælkelag, sandsynligvis af fuldtømmer, der hviler af på ydervæg og bærende midtervæg. Bjælkelaget er sandsynligvis fastgjort med ankre til ydervæg. Ud fra sømmenes placering i det synlige trægulv er afstanden mellem bjælker skønsmæssigt ca. 1 m fra midt til midt bjælke.

Gulvet er 5/4 ” gulvbrædder med fer og not. Mellem bjælker er sandsynligvis indskudsbrædder med indskudsler.

I toilet/bad er betonplade med gulv afløb. Rørføring for dette rum er intern. Loftet er i bad sænket.

Mellem gulv og væg i henholdsvis gang, stuer og værelse er ca. 150 mm fodpanel med fejeliste. Elinstallationens måletavle og kabler er monteret og ført ind ved indgangsdør. Mod nabo lejlighed og trapperum er massivt murværk. I gang er bagvæg mod nabo ved entredør bræddeskillevæg med puds på rørvæv.

Under vinduer er mod brystning foretaget efterisolering. Brystningen mellem vinduesplade og gulv er lukket med panelplade. Der er opsat radiator under vinduerne i stuerne og værelse. Varmeor er ført gennem gulvet ved lysning i værelse og i en stue. Varmeor for en stue er ført gennem skillevæg mellem stuer.

Lofter er sandsynligvis 3/4” forskallingsbrædder med rørvæv og puds. Mellem loft og væg er stuk. Midt på loftet i stuer og værelse er loftroset med eludtag.

Der er aftræk i køkken og bad. I begge stuer er friskluftventiler i væg. Vinduer er forsynet med friskluftventiler. Vinduer er af træ med termorude og lyddæmpende forsatsrude.

Lejligheden under den aktuelle lejlighed for undersøgelse er tilsvarende opbygget. Over lejligheden er traditionelt loftsrum.

3 Undersøgelsesmetode

Undersøgelserne omfatter etageadskillelsen i lejlighedens 2 stuer og det ene værelse mod gård.

Undersøgelserne er udført i 2 tempi. Først undersøges gulv pålagt pap og folie (situation A), herefter undersøges det blotlagte gulv uden pap og folie (situation B).

Fremgangsmåden er følgende:

1. Klargøring af lejligheden (situation A)
2. Tæthedsmåling 1 og 2 (situation A)
3. Termografi med undertryk (situation A)
4. Klargøring af lejligheden (situation B)
5. Tæthedsmåling 3 og 4 (situation B)
6. Termografi med undertryk (situation B)
7. Analyse af data

Klargøring af lejlighed (situation A)

Indgangsdør fra hovedtrappen til lejligheden lukkes og brevsprække lukkes indefra med tape. Køkkendør mod køkkentrappe lukkes og tapes. Dør mod bad/toilet lukkes og tapes. Alle vinduer (excl. køkkenvindue) og alle friskluftventiler i lejligheden lukkes (eksempel, se bilag 1, foto 6). Aftrækskanal i skorsten i køkken lukkes med ballon. Øvrige døre i lejligheden åbnes (dør til køkken var aftaget). Løs vinyl i gang tapes på tværs af gangen et enkelt sted.

Det sikres, at vandlåse i køkken (køkkenvask) og bad (afløb, toilet, og håndvask) er fyldte med vand. Alle radiatorer er forinden undersøgelsen lukket.

På det blotlagte trægulv udlægges en kraftig gulvfilt pap 500 g/m² (bilag 1, foto 1). Gulvpappen tilskæres ved fejelliste og føres over trin mellem stue og værelse. Samlinger stødes og tapes med 50 mm crepetape. Ved rørgennemføringer for varmerør tapes.

Efterfølgende udlægges CE-mærket 0,2 mm plastfolie af polyethylen (dampspærre). Folien føres op ad fodpanel og fastgøres til væg lige over fodpanel med enkeltklæbende crepetape, der ikke afriver maling ved borttagning (bilag 1, foto 2). Ved dørtrin tapes folien til anslag. Ved rørgennemføringer for varmerør tapes. Ved paneler bag radiatorer fastgøres folien med tape. Folien udlægges med ca. 0,5 m overlæg, som ikke tapes.

For at holde folien på plads ved undertryk udlægges løse masonitplader (bilag 1, foto 3 og 4). Masonitpladerne simulerer samtidig udlagt gulvbeklædning fx lamelparket.

Tæthedsmåling 1 og 2 (situation A)

Tæthedsmålingen udføres efter DS/EN13829 Bygningers termiske ydeevne – Bestemmelse af luftgennemtrængelighed i bygninger – Prøvningsmetode med (over)tryk skabt af ventilator.

Til undersøgelsen anvendes en Blower Door, som opsættes midlertidigt i det fuldt åbne køkkenvindue (bilag 1, foto 5). En Blower Door består af en dør af nylon og en regulerbar metalramme hvori er isat en ventilator koblet til digitalt trykmåleudstyr og en PC. Rammen tætnes og suppleres med afstivning.

Inde- og udetemperaturen samt lufthastighed ude måles med termoanemometer. Temperatur fastsættes til 23 °C inde i lejligheden. Udvendig temperatur fastsættes til 13 °C. Vindhastigheden lokalt udvendig var under undersøgelse under 6 m/s jf. anbefalingen i DS/EN13829. Vejret var klart.

Lejlighedens gulvareal opmåles og fastsættes til 64 m². Loftshøjden fastsættes til 2,72 m. Volumen for de undersøgte rum beregnes til 173 m³

Efter opsætning af Blower Door kontrolleres at underbo har lukkede vinduer i facader og døre mod trapper og der gennemføres dels en indledende tæthedsmåling, dels en endelig tæthedsmåling.

Hver måling foretages med henholdsvis over- og undertryk og den gennemsnitlige luftmængde gennem utætheder bestemmes efterfølgende ved beregning.

Termografi med undertryk (situation A)

Den termografiske undersøgelse udføres efter DS/EN 13187 Bygningers termiske ydeevne - Kvalitativ sporing af termiske uregelmæssigheder i en bygnings klimaskærm - Infrarød metode.

Termografiundersøgelsen udføres successivt tæthedsmålingerne og jf. DS/EN 13187 med simpel metode med 50 Pa undertryk skabt af Blower Door. Der benyttes et infrarødt kamera med høj opløsning og termisk sensitivitet på < 0,08 °C.

Kameraet kan på afstand måle overfladetemperatur af en genstand ved måling af den infrarøde stråling, som udsendes fra alle legemer/overflader. Måleområdet er for det aktuelle kamera fra -20 til +250 °C.

Afkølede overflader og typiske utætheder registreres med termografisk billede og simultant med digitalt billede.

Med 50 Pa undertryk i lejligheden skabt ved hjælp af BlowerDoor afkøles overfladerne samtidig med at luft trækkes ind gennem konstruktionen og samlinger i og mod gulvene hvormed luftstrømme (utætheder) tydeliggøres på termografien.

Ved de områder, hvor den termografiske undersøgelse lokalt viser tegn på utæthed, foretages stikprøvekontrol med lufthastighedsmåler (termoanemometer).

Klargøring af lejlighed - situation B

Masonitplader indsamles og placeres i en stabel i gang. Plastfolie og pap borttages i lejlighedens 2 stuer og værelse til rummets midte. Øvrige del af lejlighedens klargøring fra situation A kontrolleres.

Tæthedsmåling 3 og 4 (situation B)

Tæthedsmålingen udføres efter DS/EN13829 Bygningers termiske ydeevne – Bestemmelse af luftgennemtrængelighed i bygninger – Prøvningsmetode med (over)tryk skabt af ventilator.

Den ved situation A anvendte Blower Door, temperatur inde og ude samt vindhastighed, vejrlig ude og underboens lejlighed kontrolleres.

Der gennemføres tæthedsmåling med henholdsvis over- og undertryk og det gennemsnitlige luftmængde gennem utætheder bestemmes ved beregning.

Termografi med undertryk (situation B)

Den termografiske undersøgelse udføres efter DS/EN 13187 Bygningers termiske ydeevne - Kvalitativ sporing af termiske uregelmæssigheder i en bygnings klimaskærm - Infrarød metode.

Termografiundersøgelsen udføres successivt den første termografiske undersøgelse og jf. DS/EN 13187 med simpel metode med 50 Pa undertryk skabt af BlowerDoor. Der benyttes samme infrarøde kamera, som ved første undersøgelse.

Afkølede overflader og typiske utætheder registreres med termografisk billede og simultant med digitalt billede.

Ved de områder, hvor den termografiske undersøgelse lokalt viser tegn på utæthed, foretages stikprøvekontrol med lufthastighedsmåler (termoanemometer).

Analyse

Efterfølgende undersøgelserne gennemgår samtlige hjemtagne termografiske billeder hver især analyse på separat arbejdsstation.

De indsamlede data fra tæthedsmålingerne analyseres og evalueres.

3 Resultater

Resultaterne af tæthedsmålingerne er for overskuelighedens skyld samlet i nedenstående tabel 1 med indeklimasikring og 2 uden indeklimasikring.

	Luftmængde gennem utætheder med indeklimasikring	Luftmængde gennem utætheder pr. m ² gulvareal (w50) med indeklimasikring	Ækvivalent lækage areal med indeklimasikring	Note
Enhed	l/s ved 50 Pa	l/s pr.m ² ved 50 Pa	cm ² ved 10 Pa (beregnet)	
Overtryk	342 (±0,5 %)	5,34	513,0 (±2,7 %)	Bilag 3a
Undertryk	319 (±1,0 %)	4,99	494,8 (±5,6 %)	Bilag 3b
Gennemsnit af over- og undertryk (beregnet)	330,5	5,165		
Gennemsnit af ækvivalent lækageareal (beregnet)			503,9	

Tabel 1 Resultat af tæthedsmåling med blowerdoor med indeklimasikring

	Luftmængde gennem utætheder uden indeklimasikring	Luftmængde gennem utætheder pr. m ² gulvareal (w50) uden indeklimasikring	Ækvivalent lækage areal uden indeklimasikring	Note
Enhed	l/s ved 50 Pa	l/s pr.m ² ved 50 Pa	cm ² ved 10 Pa (beregnet)	
Overtryk	405 (±0,5 %)	6,32	533,5 (±3,1 %)	Bilag 3c
Undertryk	361 (±0,9 %)	5,65	553,8 (±5,0 %)	Bilag 3d
Gennemsnit af over- og undertryk (beregnet)	383	5,985		
Gennemsnit af ækvivalent lækageareal (beregnet)			543,65	

Tabel 2 Resultat af tæthedsmåling med blowerdoor uden indeklimasikring

Måleudskrifter fra tæthedsmåling med blowerdoor indgår i rapportens bilag 3a-3d.

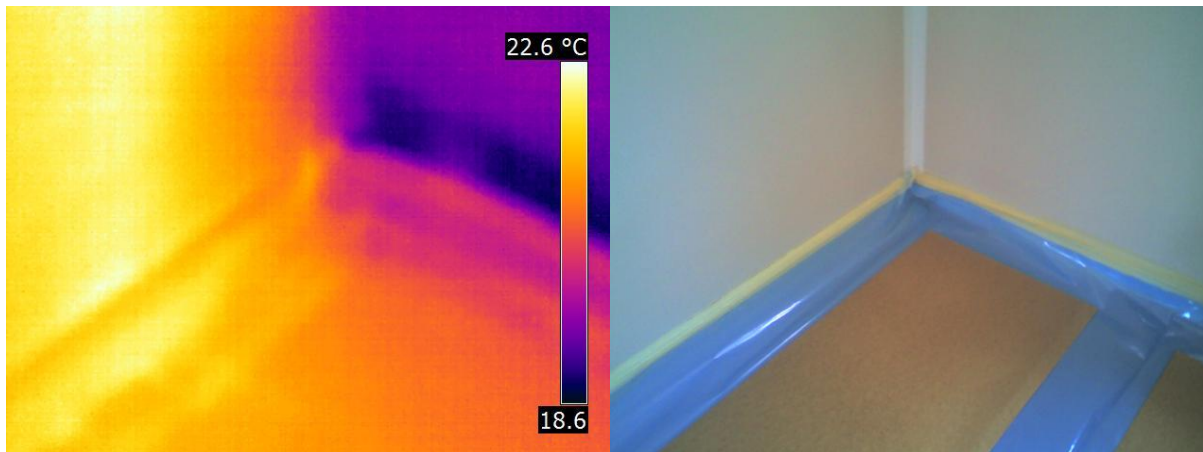
Inden borttagning af masonitplader fra stuerne (klargøring af lejligheden til situation B dvs. uden indeklimasikring) påførtes lejligheden ekstraordinært på rekvirentens ønske 50 Pa undertryk for at visualisere virkningen på den udlagte plastfolie. Ikke uventet løftede dampspærren sig ca. 0,5 m fra gulvet (bilag 1, foto 7).

Ved det blotlagte gulv verificeredes stikprøvevis lufthastigheden ved konstaterede utætheder. Lufthastigheden ved utætheder var for det blotlagte gulv i størrelsesorden 0,2 til 3,6 m/s. Eksempel på måling af lufthastigheden ved utæthed kan ses i bilag 1, foto 8.

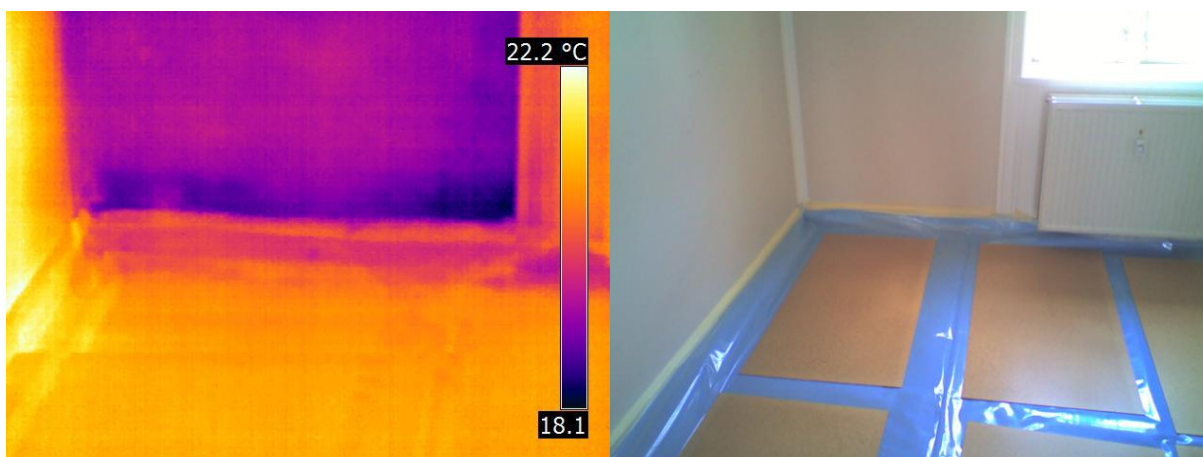
I det følgende vises udvalgte repræsentative termografiske billeder af i alt 149 analyserede billeder alle optaget med 50 Pa undertryk. De udvalgte termografiske billeder er th suppleret med et digitalt billede.

De termografiske billeder er forsynet med et nr. (fx IR9889), som refererer til den fuldstændige samling af alle optagne termografier vedlagt rapporten på USB-stik. Angivelse af hvor de termografiske billeder er taget i aktuelle rum under henholdsvis situation A og B fremgår desuden af bilag 2a og 2b. Forhold omkring lejlighedens lofter og vægge i øvrigt samt lejlighedens mellemgang og køkken fremgår af bilag 2c

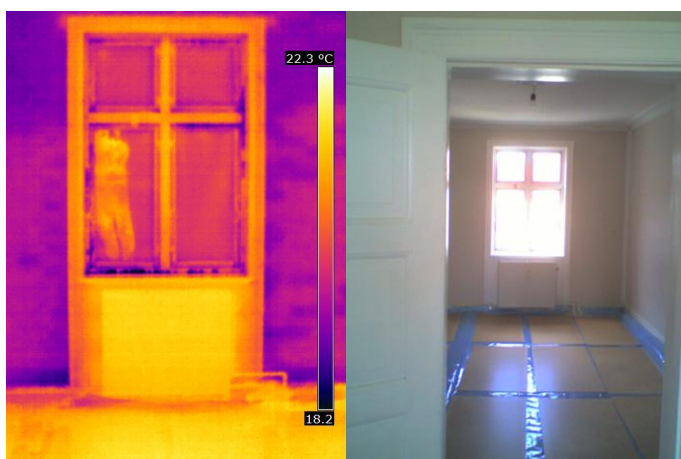
På det termografiske billede ses en farveskala, hvor mørk farve viser koldeste områder og lys farve de varmeste områder.



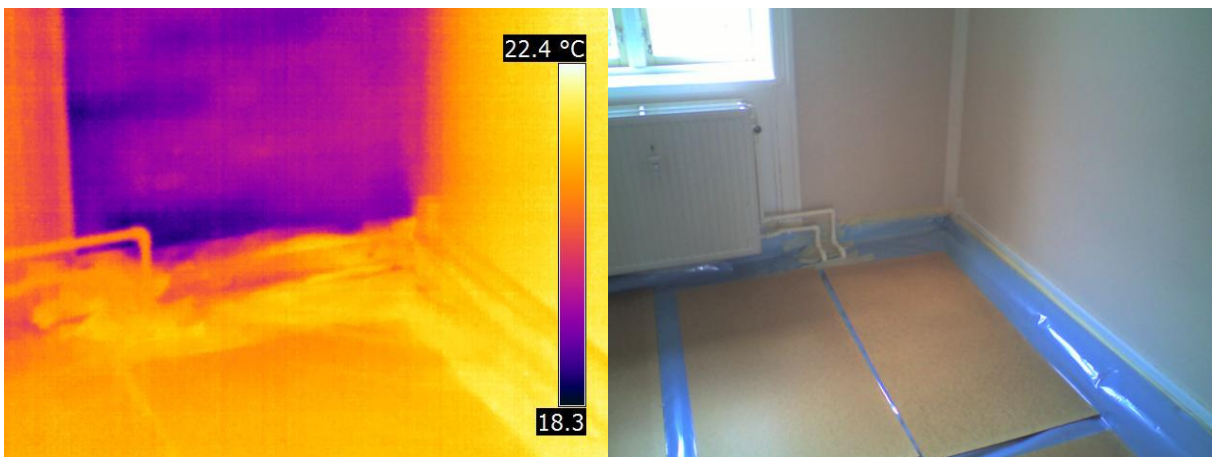
Termografi 1 - IR9895 Ingen utætheder langs det indeklimasikrede gulv og fodpanel, men kold luftstrøm bag fodpanel op langs murstensvæg og ud på skillevæg mod køkken – Varme (tv i billedet langs fodpanel) og kolde luftstrømme langs fodpanel på murværk kan anes under den kraftigt udspilede dampspærre



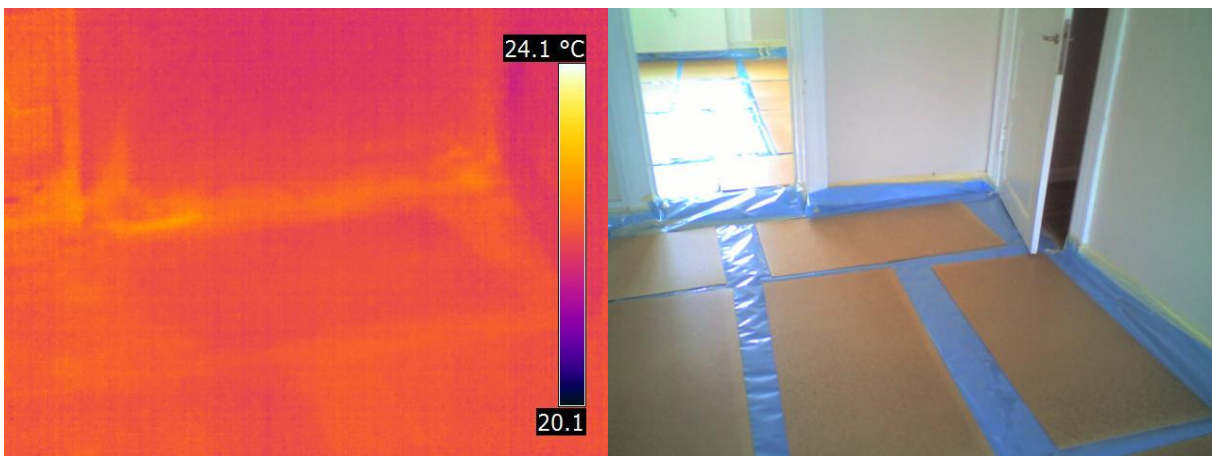
Termografi 2 - IR9897 Ingen utætheder langs det indeklimasikrede gulv og fodpanel, men kold luftstrøm bag fodpanel op langs indfatning th i billedet – Varme (tv i billedet langs fodpanel) og kolde luftstrømme langs fodpanel på murværk kan anes under den kraftigt udspilede dampspærre



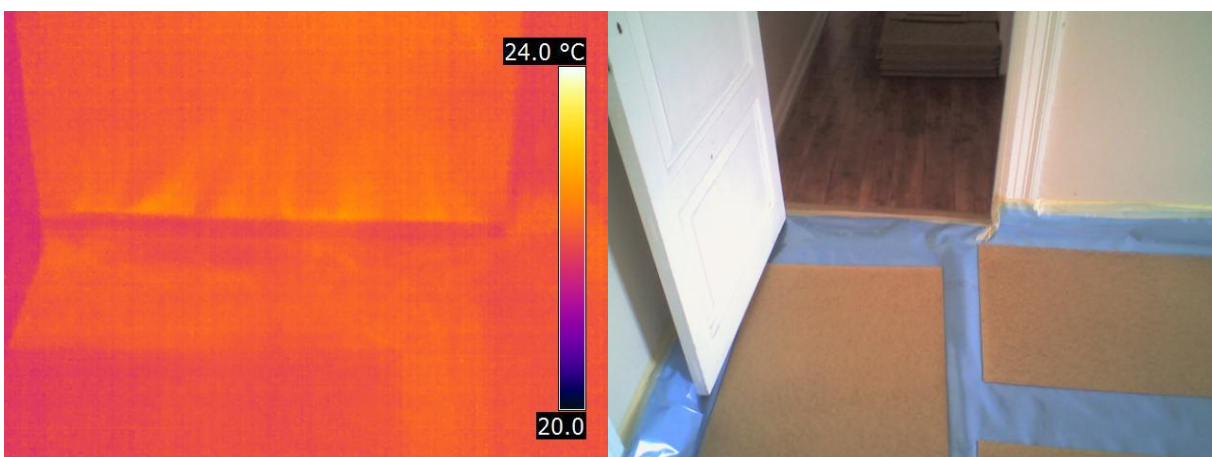
Termografi 3 - IR9901 Ingen utætheder langs det indeklimasikrede gulv og fodpanel – Kolde luftstrømme under isolerede lysning kan anes under den let udspilede dampspærre – Kolde luftstrømme langs indfatninger for lysning og ud på væg



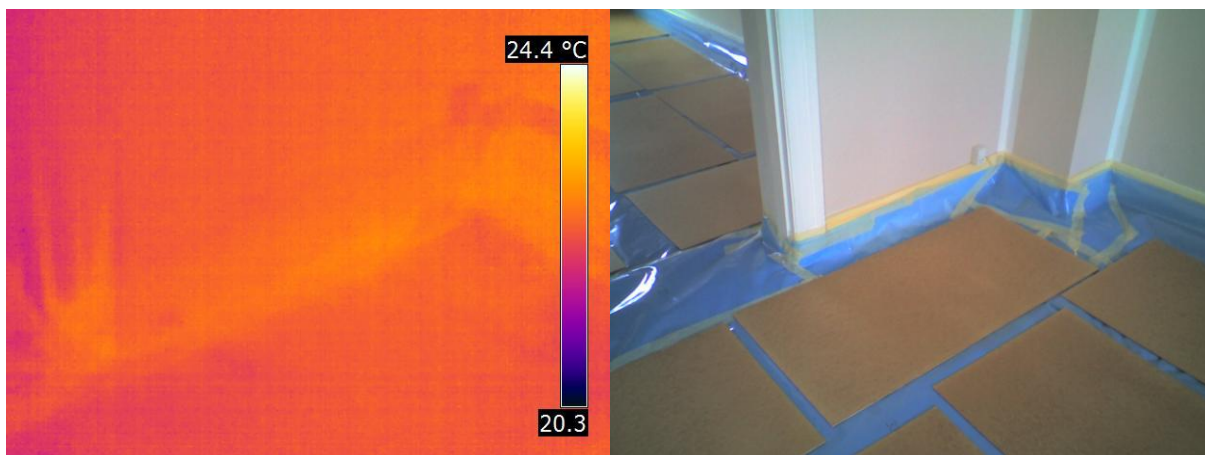
Termografi 4 - IR9903 Ingen utætheder langs det indeklimasikrede gulv og fodpanel, men kold luftstrøm bag fodpanel mod hjørne – Kolde (tv i billedet langs fodpanel) og varme luftstrømme kan anes under den kraftigt udspilede dampspærre



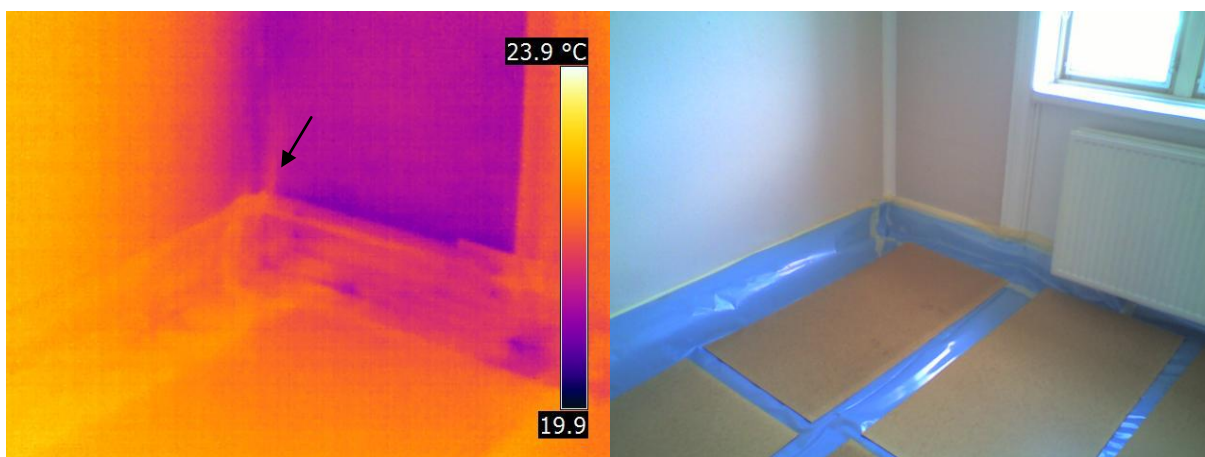
Termografi 5 - IR9921 Ingen utætheder langs det indeklimasikrede gulv og fodpanel – Varme luftstrømme kan anes under den let udspilede dampspærre



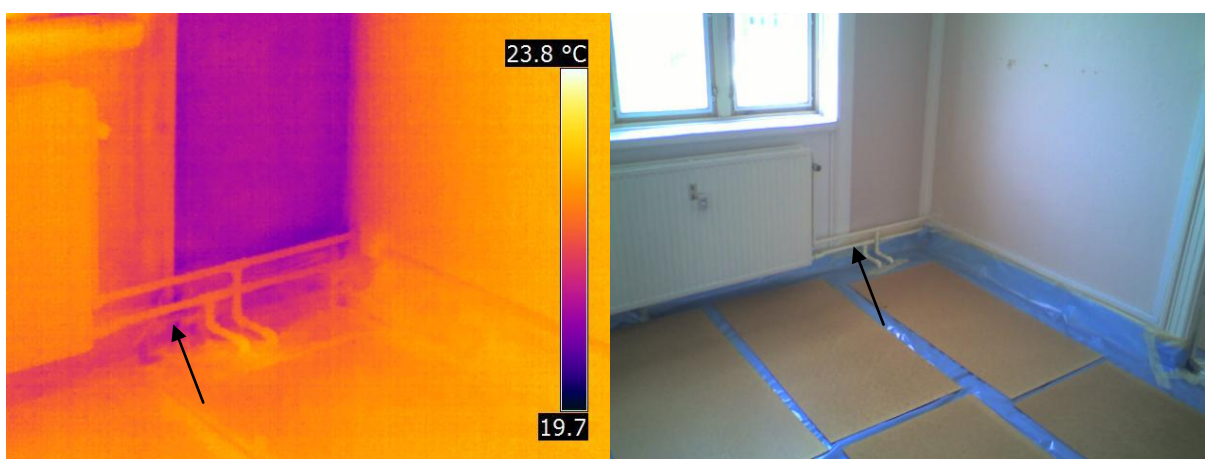
Termografi 6 - IR9925 Ingen utætheder langs det indeklimasikrede gulv og fodpanel ind i rummet – Tydelige varme luftstrømme vinkelret ud fra trinnet og ud på vinylgulvet i mellemgang – Varme luftstrømme kan anes under den let udspilede dampspærre



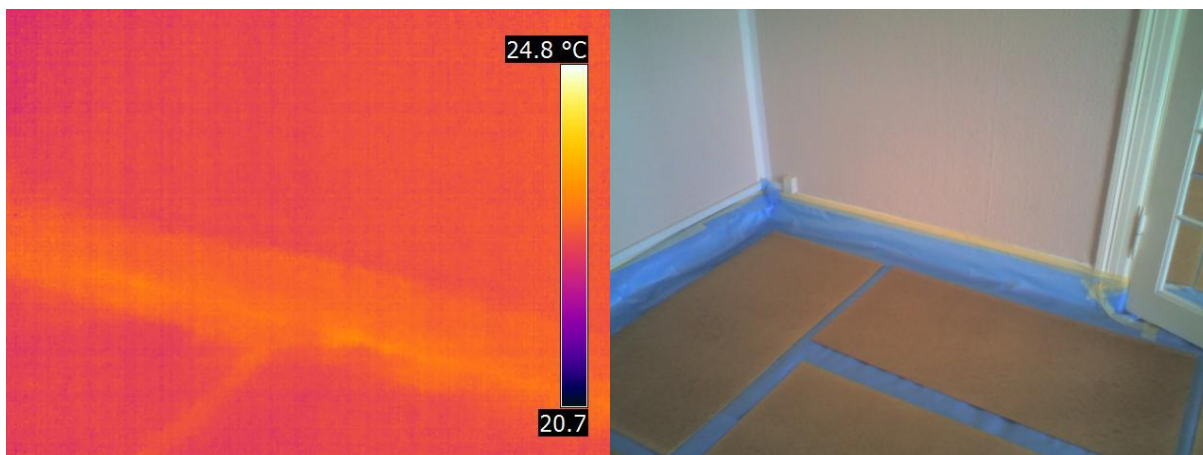
Termografi 7 - IR9929 Ingen utætheder langs det indeklimasikrede gulv og fodpanel – Varme luftstrømme kan anes under den let udspilede dampspærre



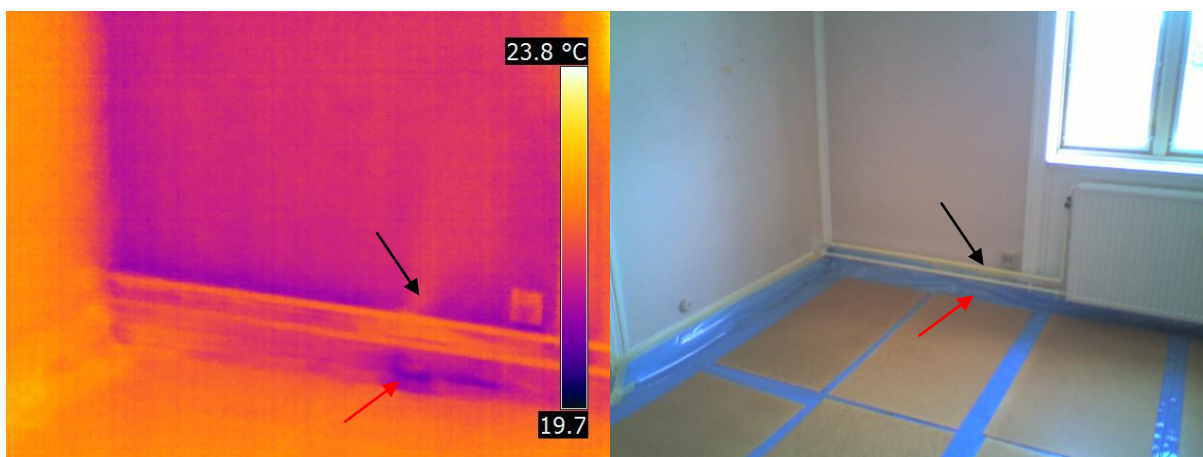
Termografi 8 - IR9939 Utæthed ved tapesamling ved hjørne over fodpanel (sort pil) – Kolde luftstrømme anes under den let udspilede dampspærre th i billedet og varme luftstrømme tv i billedet



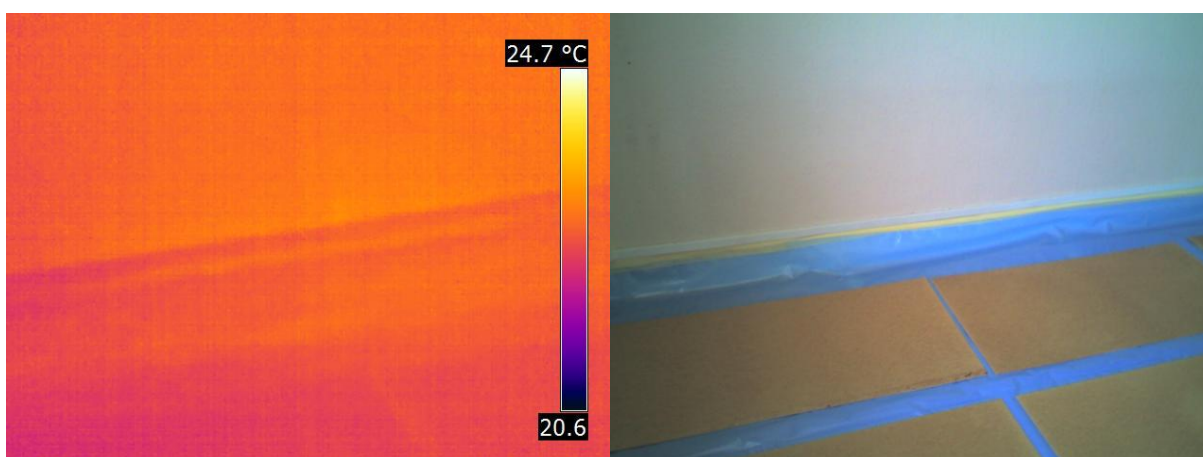
Termografi 9 - IR9949 – Med undtagelse af et lille hul ved tapesamlingen ved indfatning (sort pil) ses ingen utætheder langs det indeklimasikrede gulv og fodpanel – Ingen luftstrømme ved rørgennemføring



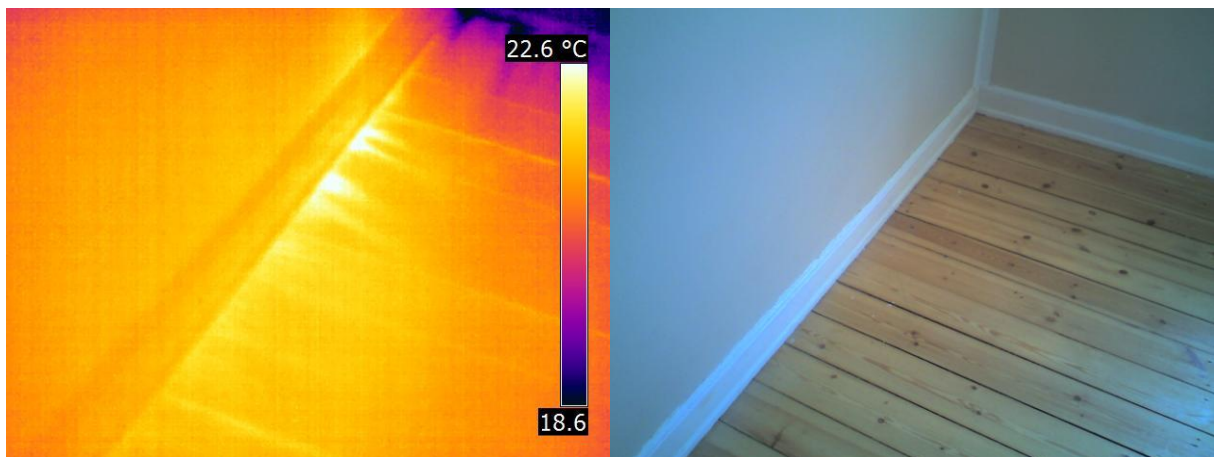
Termografi 10 - IR9987 Ingen utætheder langs det indeklimasikrede gulv og fodpanel – Varme luftstrømme kan anes under den let udspilede dampspærre



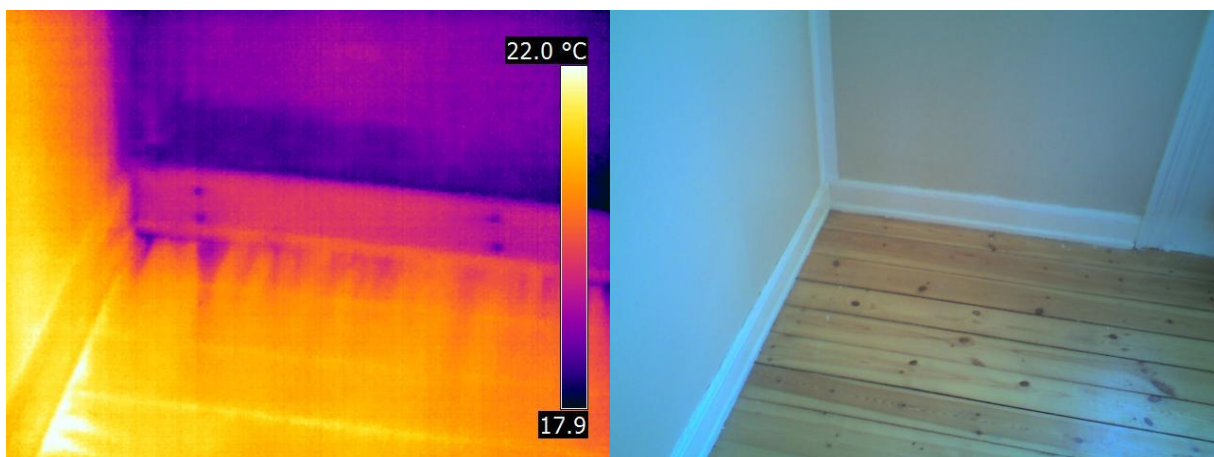
Termografi 11 - IR9999 Utæthed ved tapesamling over fodpanel (sort pil) – Kolde luftstrømme anes under den let udspilede dampspærre (rød pil)



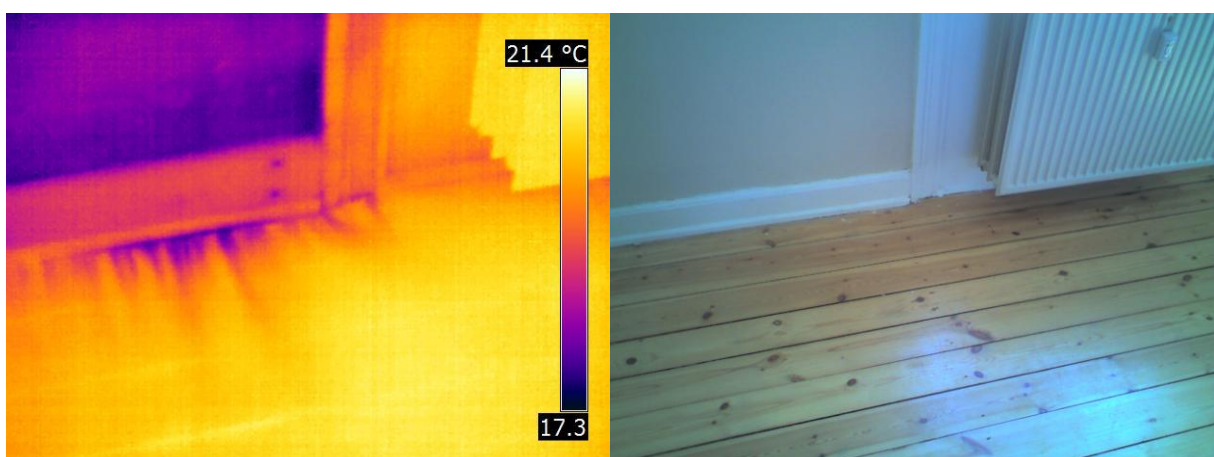
Termografi 12 - IR10019 Ingen utætheder langs det indeklimasikrede gulv og fodpanel – Varme luftstrømme kan anes under den let udspilede dampspærre



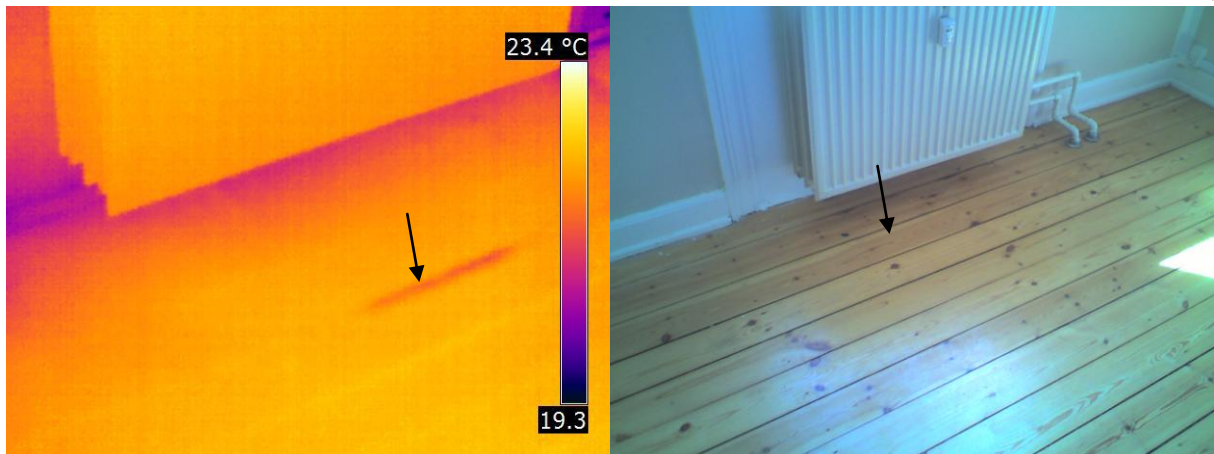
Termografi 13 - IR10066 Tydelige varme luftstrømme sandsynligvis fra skakt og underbo vinkelret på bræddeskillevæggen mod køkken – Luftstrømmene går ud ved luncker og i bræddesamlinger – Gulv er uden gulvpap/filt og dampspærre



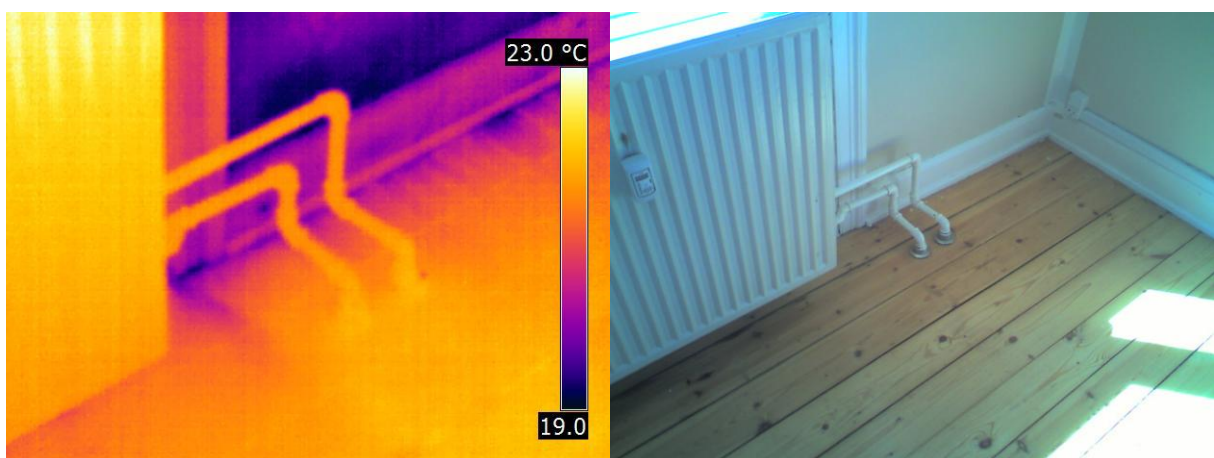
Termografi 14 - IR10068 Tydelige kolde luftstrømme langs fodpanel ud vinkelret på gulvbrædder op til 0,5 m fra facadens bagmur i værelse – Tydelige varme luftstrømme sandsynligvis fra underbo vinkelret på bræddeskillevæggen mod køkken – Luftstrømmene går ud ved luncker og i bræddesamlinger – Gulv er uden gulvpap/filt og dampspærre



Termografi 15 - IR10070 Tydelige kolde luftstrømme langs fodpanel ud vinkelret på gulvbrædder fra facadens bagmur i stue og ved indfatning for lysning - Gulv er uden gulvpap/filt og dampspærre



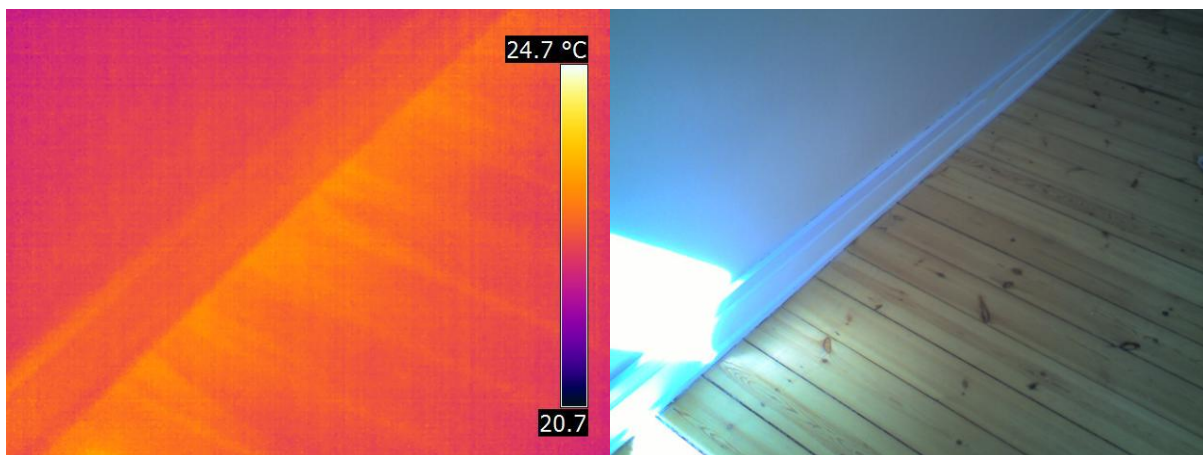
Termografi 16 - IR10072 Tydelige kolde luftstrømme langs fejliste og fodpanel ud vinkelret på gulvbrædder fra isoleret brystning – Varm luftstrømme i fer-not samling - Gulv er uden gulvpap/filt og dampspærre



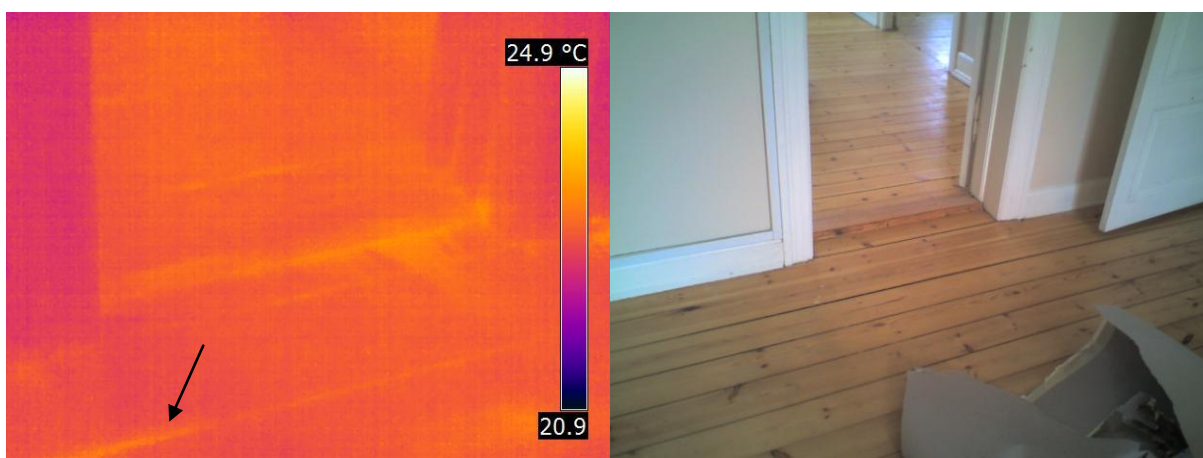
Termografi 17 - IR10074 Tydelige kolde luftstrømme langs fodpanel ud vinkelret på gulvbrædder fra facadens bagmur i stue og ved indfatning for lysning – Ingen luftstrømme fra rørgennemføring - Gulv er uden gulvpap/filt og dampspærre



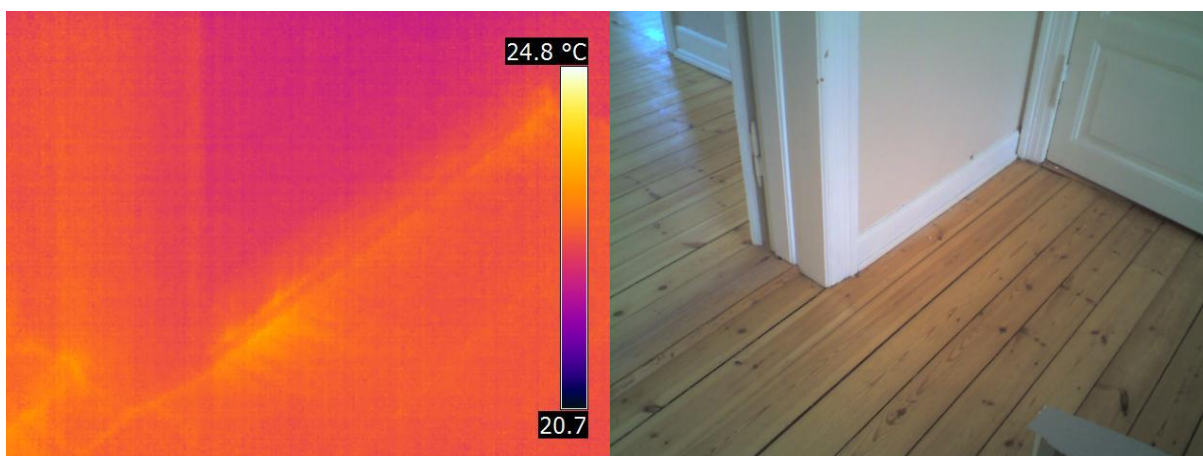
Termografi 18 - IR10076 Tydelige kolde luftstrømme langs fodpanel ud vinkelret på gulvbrædder fra facadens bagmur i stue – Th i billedet varm massiv murværksvæg - Gulv er uden gulvpap/filt og dampspærre



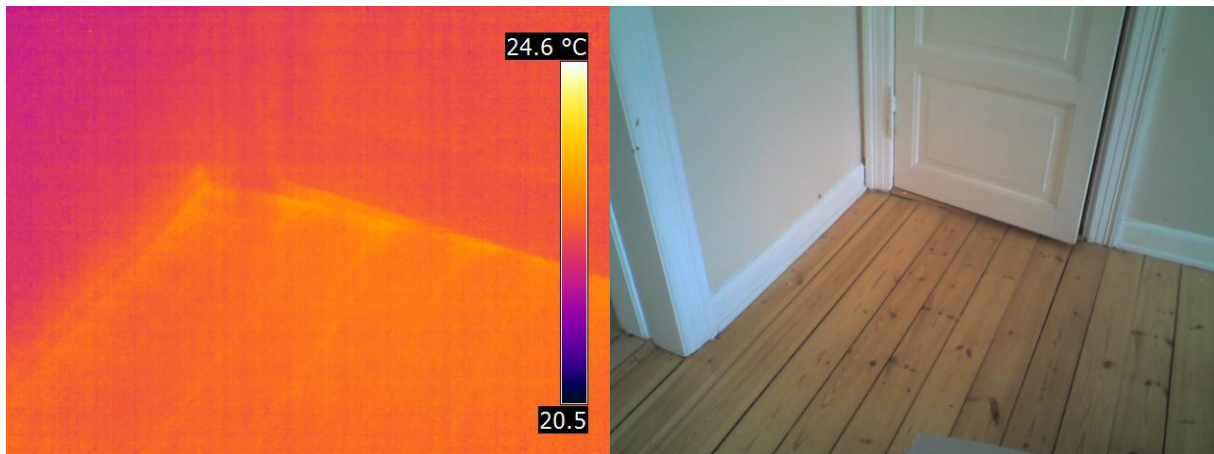
Termografi 19 - IR10080 Tydelige varme luftstrømme langs fodpanel ud vinkelret på gulvbrædder og langs fer not samlinger - Gulv er uden gulvpap/filt og dampspærre – Væg tv er massiv murværk mod naboelighed



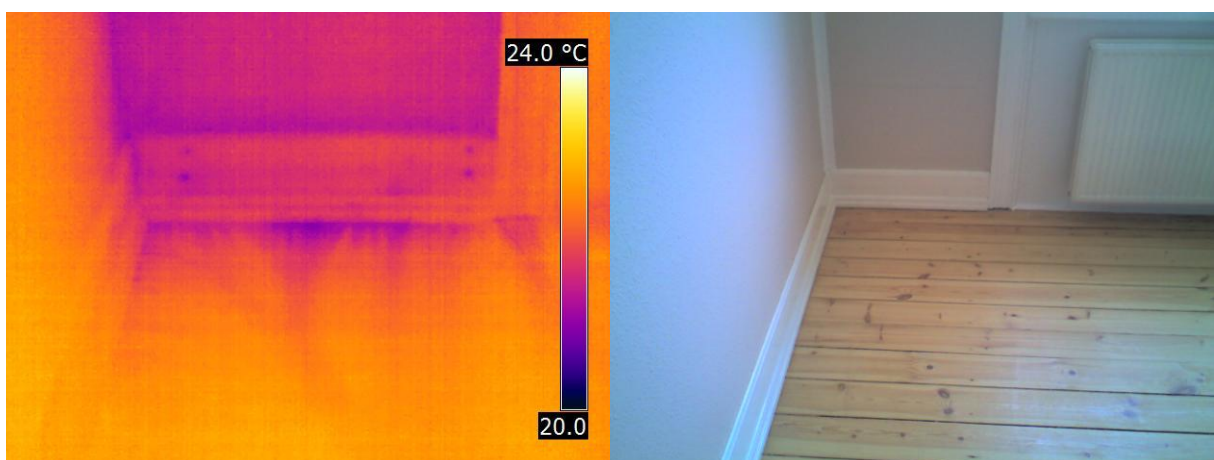
Termografi 20 - IR10088 Tydelige varme luftstrømme ved dørtrin – Varme luftstrømme ses langs bræddegulvets fer not samling (sort pil) - Gulv er uden gulvpap/filt og dampspærre



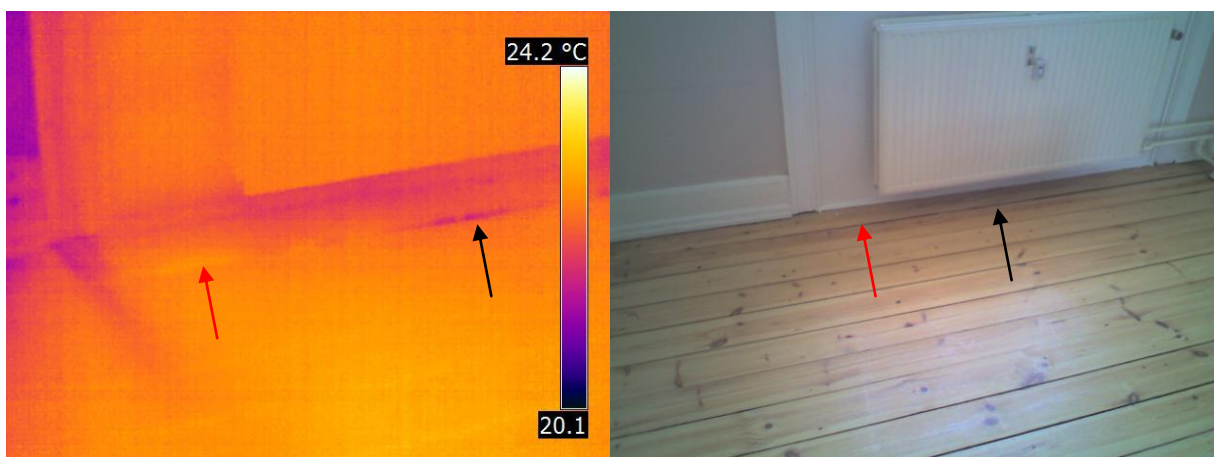
Termografi 21 - IR10090 Tydelige varme luftstrømme ved dørtrin tv i billedet, vinkelret på fodpanel og langs begge sider af fejlliste - Gulv er uden gulvpap/filt og dampspærre



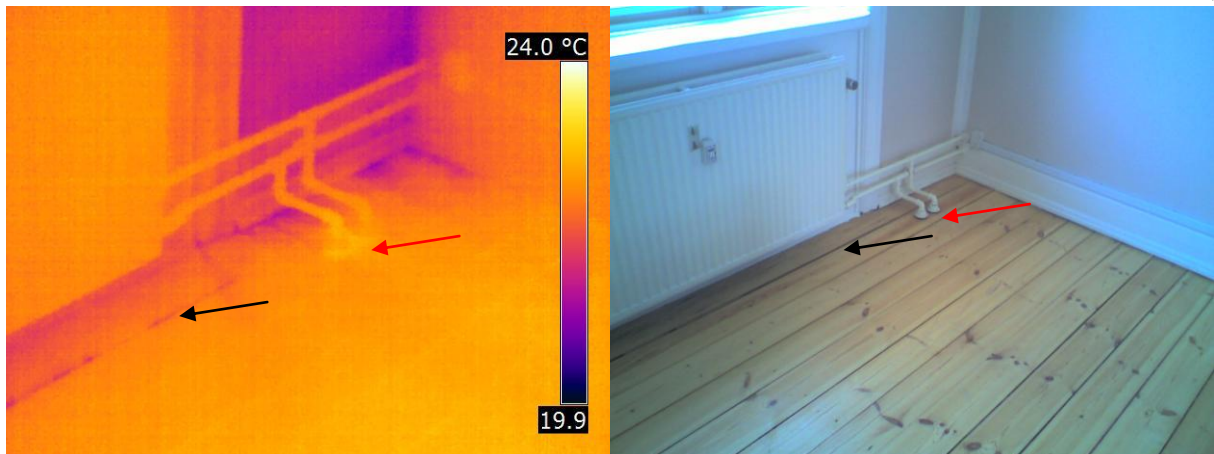
Termografi 22 - IR10092 Tydelige varme luftstrømme langs fodpanel og langs fejlliste ved dørtrin mod mellemgang – Svage varme luftstrømme langs brædegulvets fer not samling - Gulv er uden gulvpap/filt og dampspærre



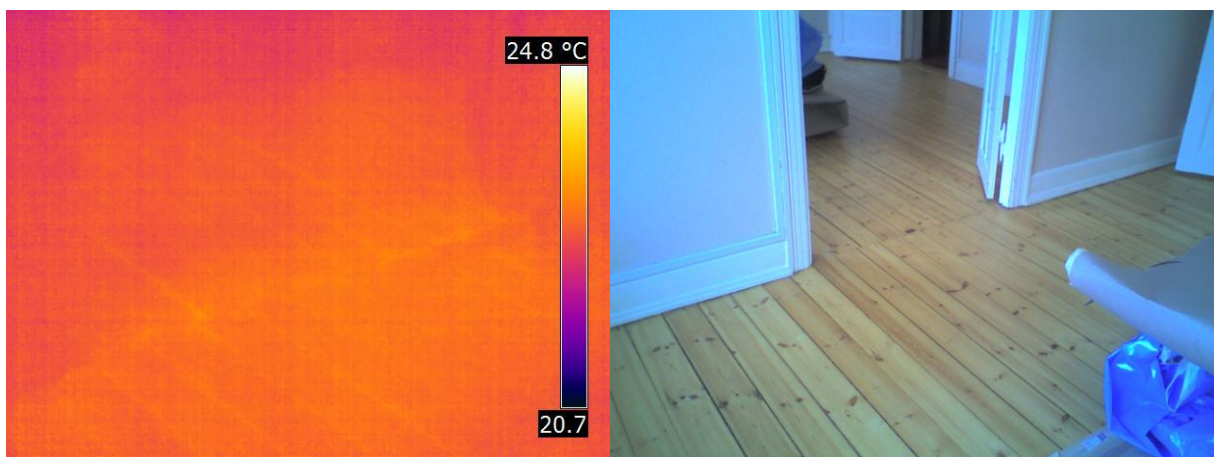
Termografi 23 - IR10110 Tydelige kolde luftstrømme langs fodpanel og ved indfatning vinkelret på gulvbrædder - Den kolde facade bagmur ses øverst i billedet – Skruer i fodpanelet danner kuldebro – Tv ses den varme mur mod naboeligheden - Gulv er uden gulvpap/filt og dampspærre



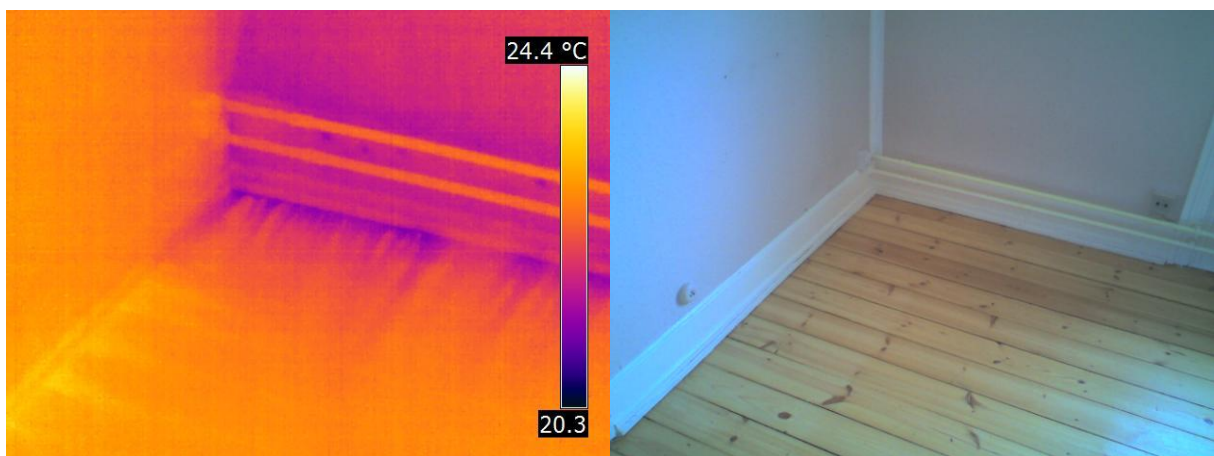
Termografi 24 - IR10112 Tydelige kolde luftstrømme langs fodpanel og ved indfatning vinkelret på gulvbrædder - Den kolde facade bagmur kan anes yderst tv i billedet – Kolde luftstrømme midt i brædegulvets fer not samling (sort pil) og et lille område med varm luftstrøm fra underboen (rød pil) - Gulv er uden gulvpap/filt og dampspærre



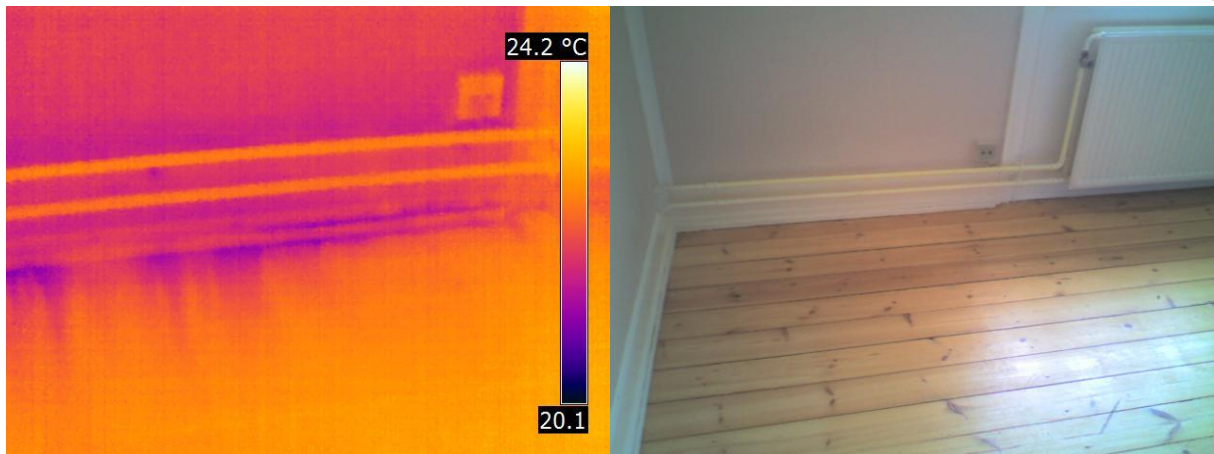
Termografi 25 - IR10114 Tydelige kolde luftstrømme langs fodpanel ud vinkelret på gulvbrædder fra den kolde facade bagmur i stue – Varme luftstrømme omkring rørgennemføring (rød pil) - Kolde luftstrømme midt i bræddegulvets fer not samling (sort pil) - Gulv er uden gulvpap/filt og dampspærre



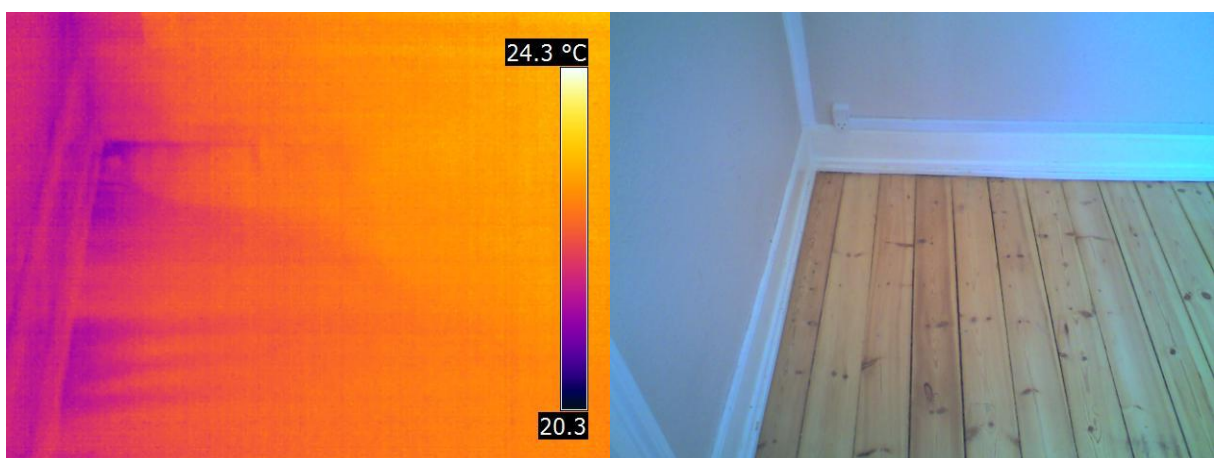
Termografi 26 - IR10120 Svage varme luftstrømme kan anes i bræddegulvets samlinger ved fløjdør mellem stuerne



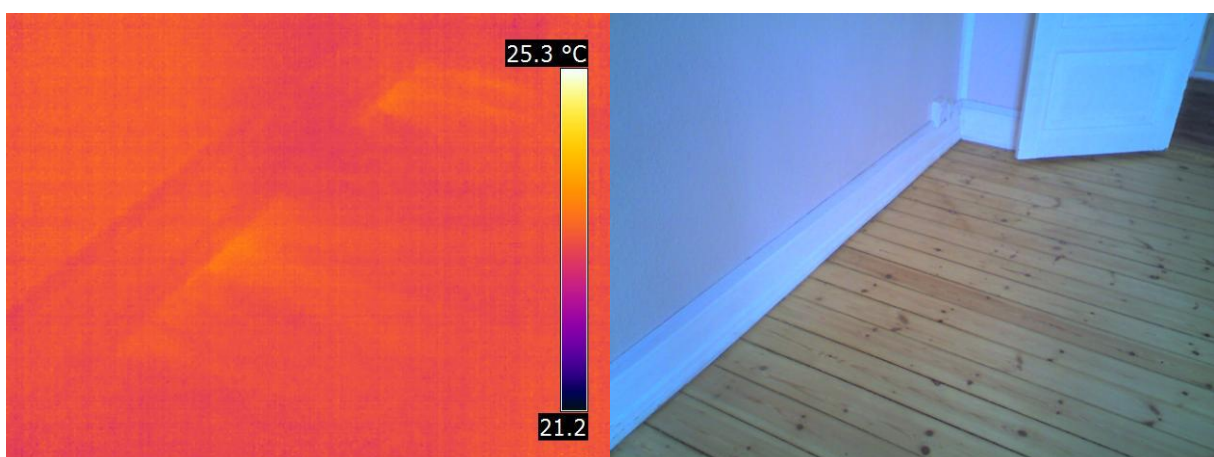
Termografi 27 - IR10156 Tydelige kolde luftstrømme langs fodpanel ud vinkelret på gulvbrædder op til 0,5 m fra facadens bagmur i stue – Tydelige varme luftstrømme sandsynligvis fra underbo vinkelret på bræddeskillevæggen mellem stuerne – Luftstrømmene går ud ved lunger og i bræddesamlinger – Ingen luftstrømme omkring rørgennemføring i skillevæg - Gulv er uden gulvpap/filt og dampspærre



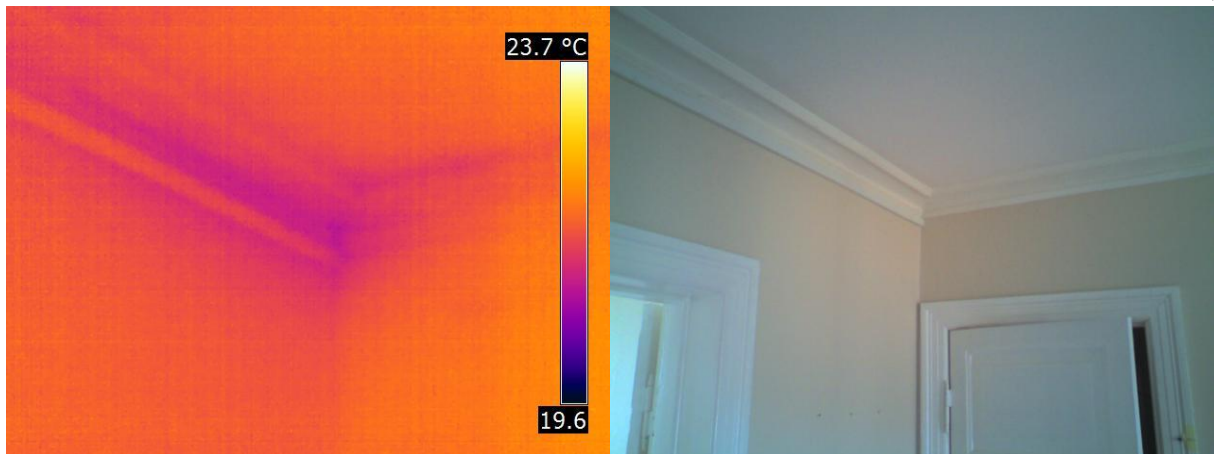
Termografi 28 - IR10158 Tydelige kolde luftstrømme langs fodpanel ud vinkelret på gulvbrædder fra facadens bagmur i stue – Større utæthed langs fejlliste og fodpanel th i billedet - Stuegulv er uden gulvpap/filt og dampspærre



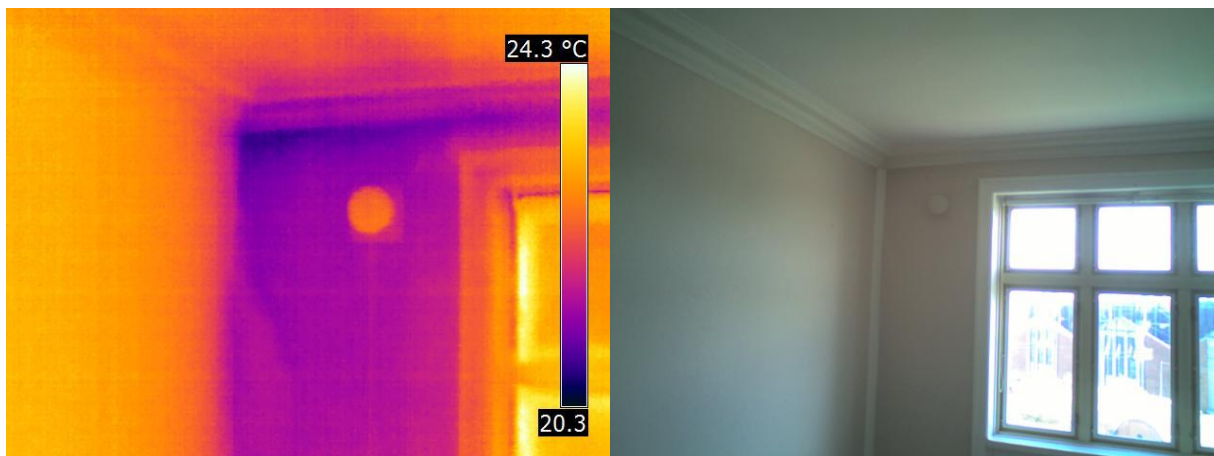
Termografi 29 - IR10168 Tydelige kolde luftstrømme langs fodpanel ud vinkelret på gulvbrædder op til 1 m fra facadens bagmur i stue – Stuegulv er uden gulvpap/filt og dampspærre



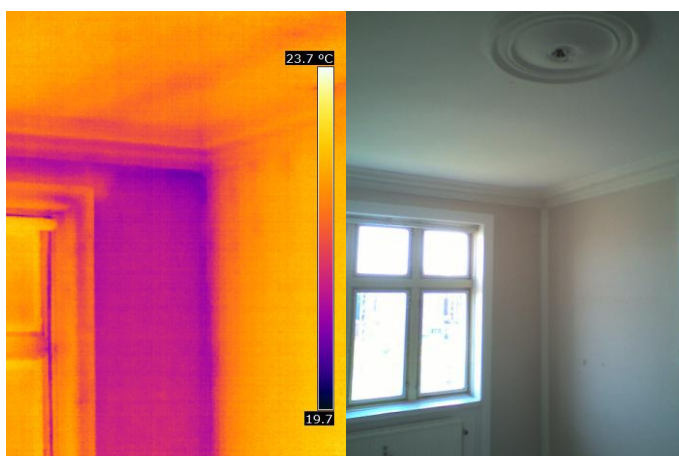
Termografi 30 - IR10176 Tydelige partielle varme luftstrømme langs fodpanel ved lunger i brædder og ud langs bræddesamlinger – Stuegulv er uden gulvpap/filt og dampspærre



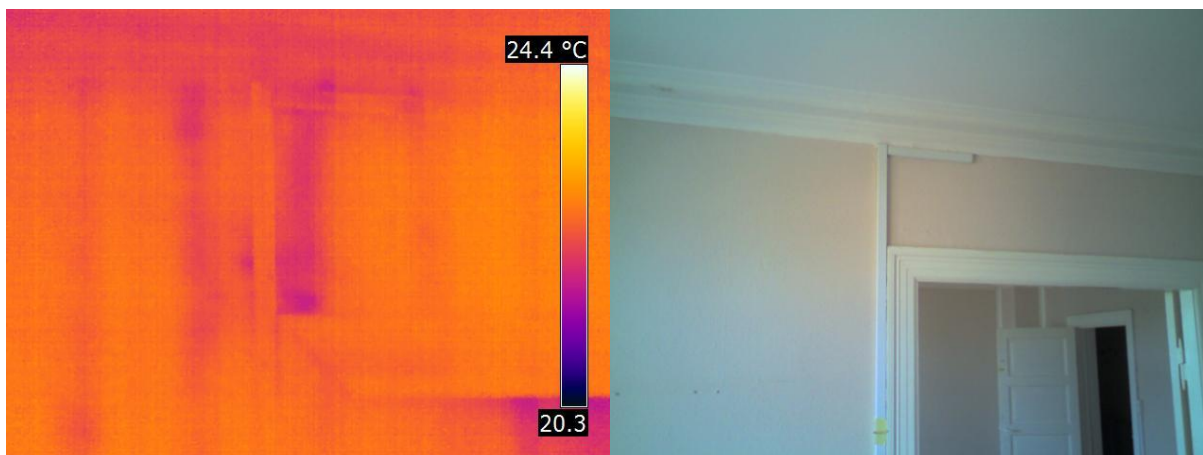
Termografi 31 - IR9923 Kolde luftstrømme trænger ind ved en utæthed ved stuk mod gang – Th i billedet ses den varme væg mod mellemgangen



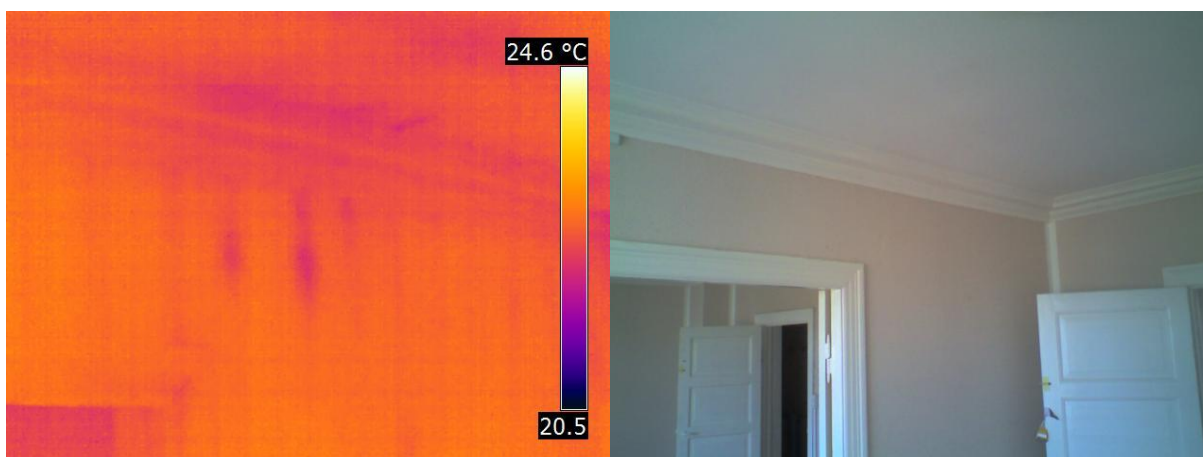
Termografi 32 - IR9943 Ved hjørne og langs utæthed ved stuk indtil vinduet ses luftstrømme trække ned over den afkølede facade – Th i billedet ses den varme væg mod naboeligheden – På loftet kan anes kolde luftstrømme langs bjælkelaget



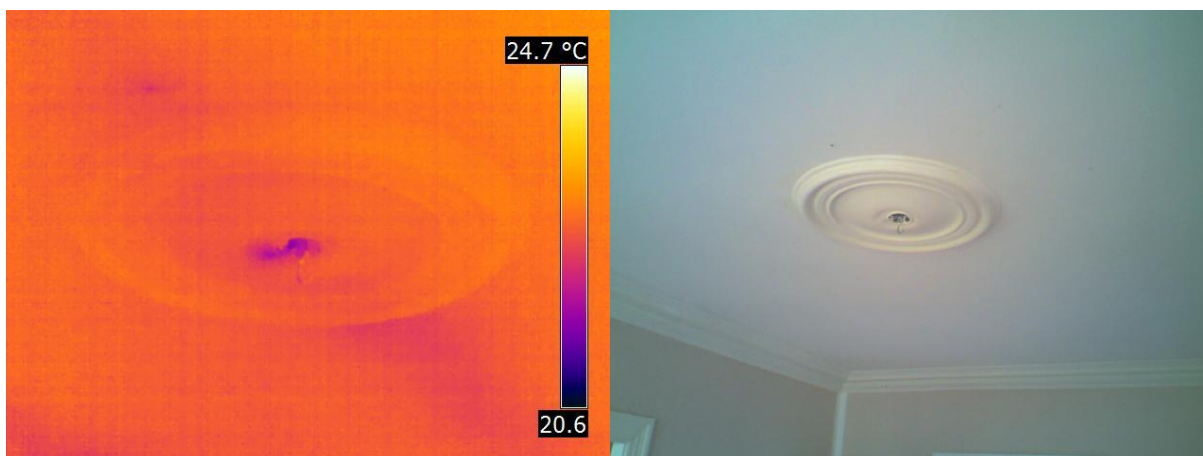
Termografi 33 - IR9951 Ved hjørne og langs utæthed ved stuk indtil vinduet ses luftstrømme trække ned i hjørnet langs den afkølede facade – Tv i billedet ses en varm bræddeskillevæg med luftstrømme mellem brædder – På loftet kan anes også her kolde luftstrømme langs bjælkelaget



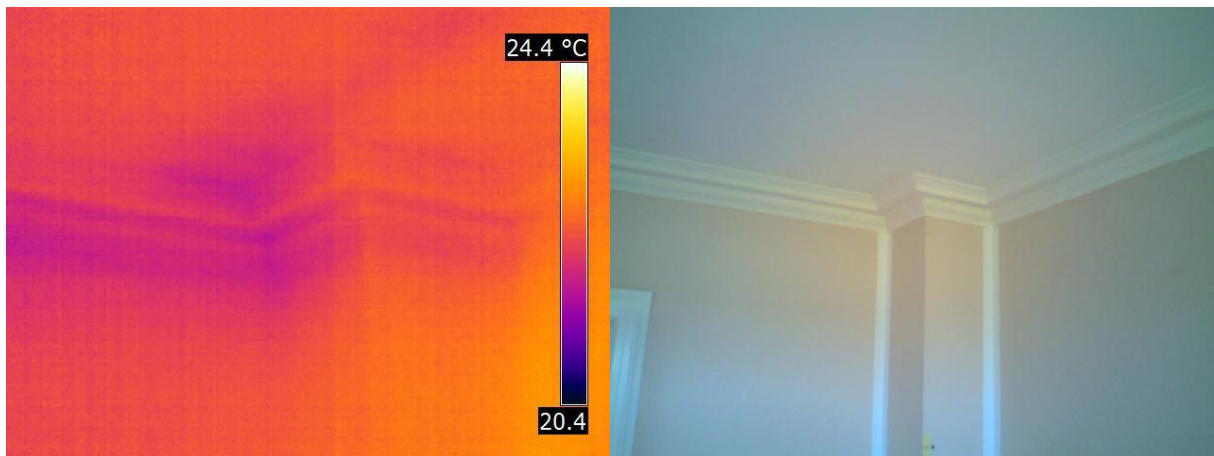
Termografi 34 - IR9963 Over venstre side af fløjdør mellem stuerne ses en varm bræddeskillevæg med kolde luftstrømme mellem brædder og ud på tapet ved indfatning vandret



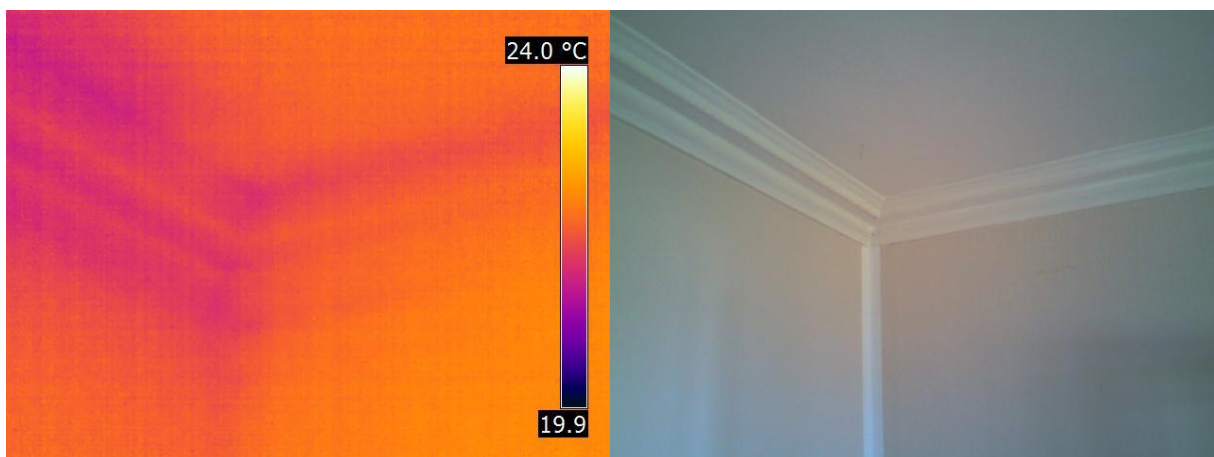
Termografi 35 - IR9965 Th for fløjdør mellem stuerne ses en varm bræddeskillevæg med kolde luftstrømme mellem brædder og mellem loftets forskalling



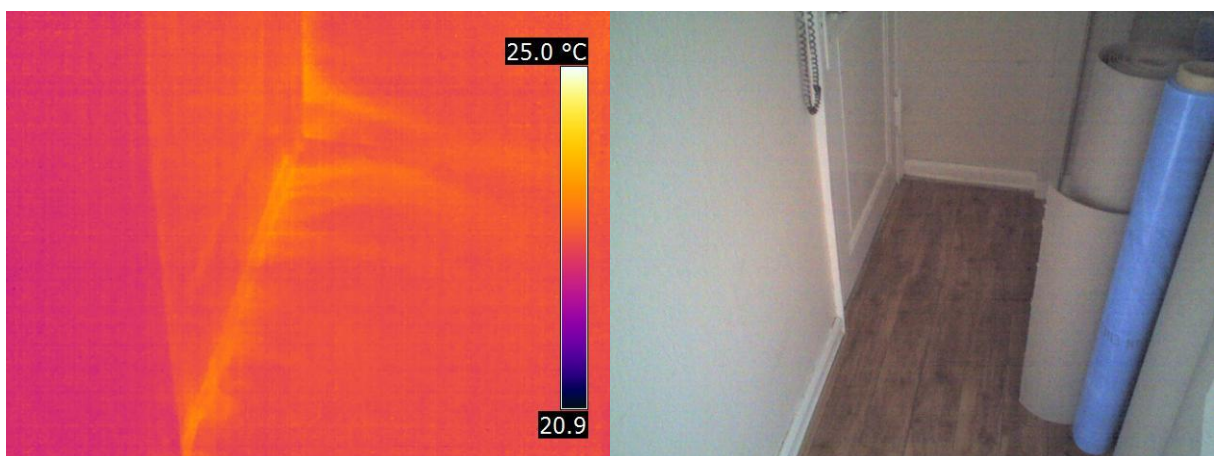
Termografi 36 - IR9969 I loftroset trænger kold luft ned i rummet - På loftet og henover rosetten anes kolde luftstrømme langs bjælkelaget



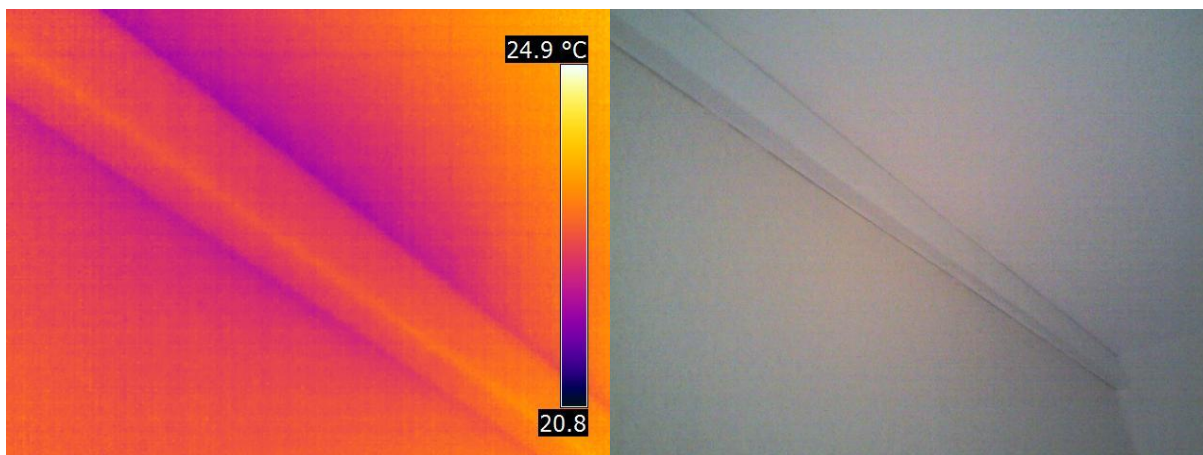
Termografi 37 - IR9975 Ved det indadgående hjørne ved en ældre skorsten trænger kold luft ud mellem loft og stuk - På loftet anes kolde luftstrømme langs bjælkelaget der hviler af på lejlighedens midtervæg



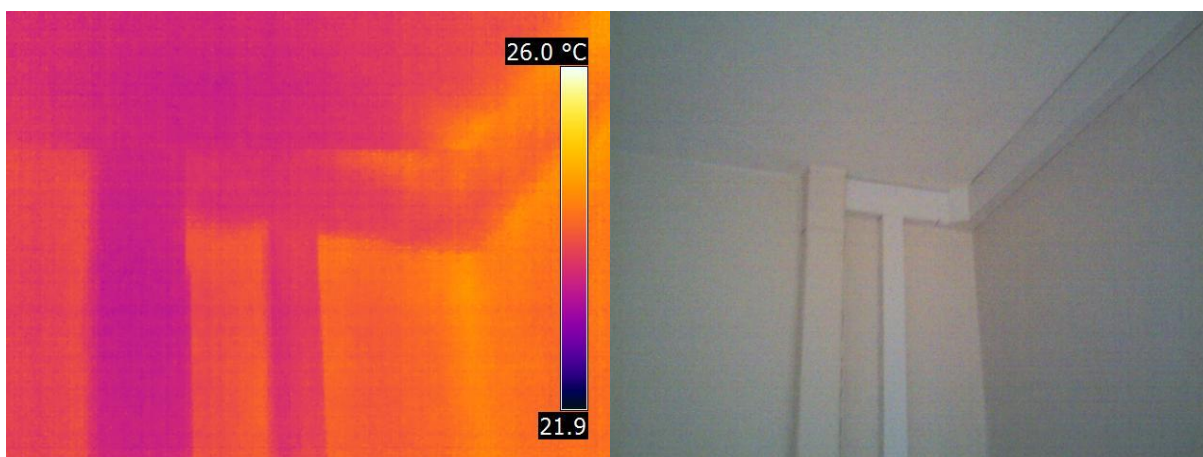
Termografi 38 - IR9985 Ved loftet ses udover utætheder ved stuk kuldebro langs væggen



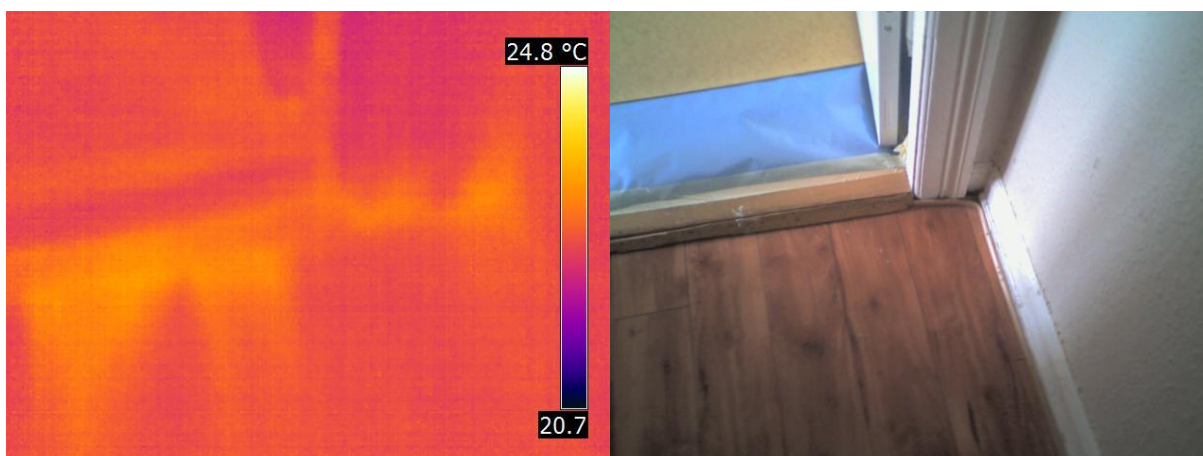
Termografi 39 - IR10033 Varme luftstrømme fra trapperummet for hovedtrappen ses tydeligt trænge ind ved anslag for entredørens trin og ved karmens møde med bræddeskillevæggen i mellemgangen



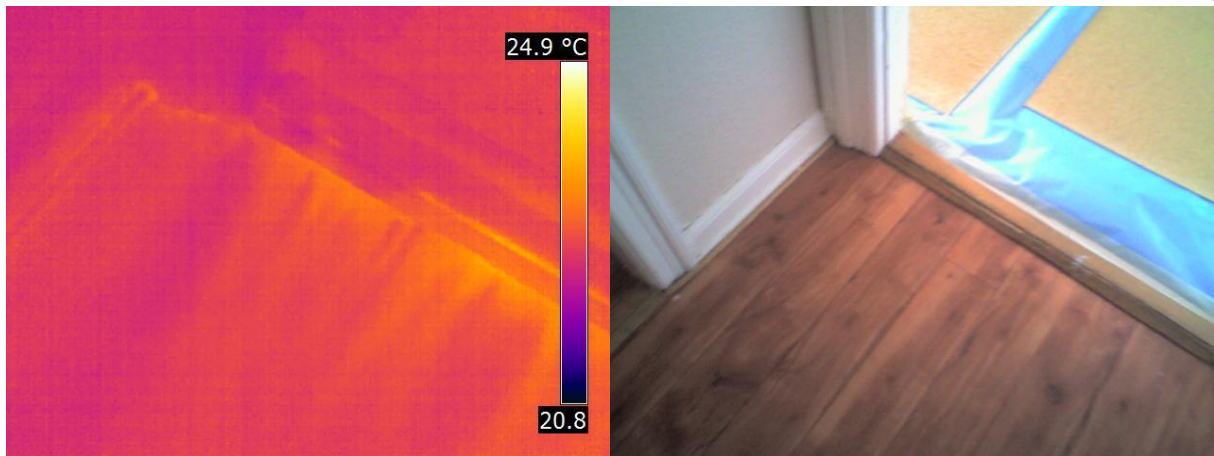
Termografi 40 - IR10035 Kolde luftstrømme ses flere steder ved installationskassen langs væggen mod trapperummet ved loftet i mellemgangen



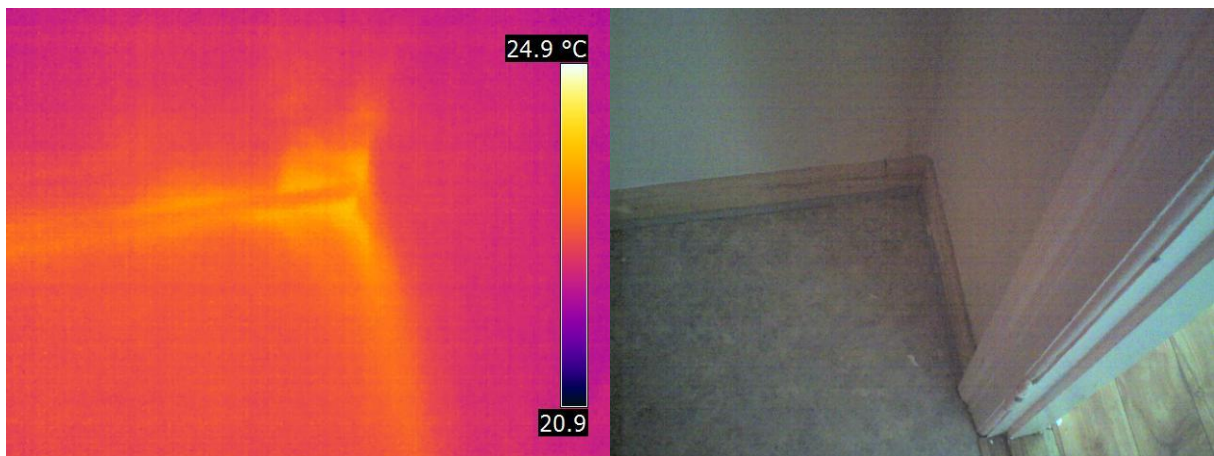
Termografi 41 - IR10037 Ved elinstallationers gennembrydning og ved hjørnet af bræddeskillevæggen og væggen mod naboens vådrum bag entredøren i mellemgangen ses både varme og kolde luftstrømme ved utætheder



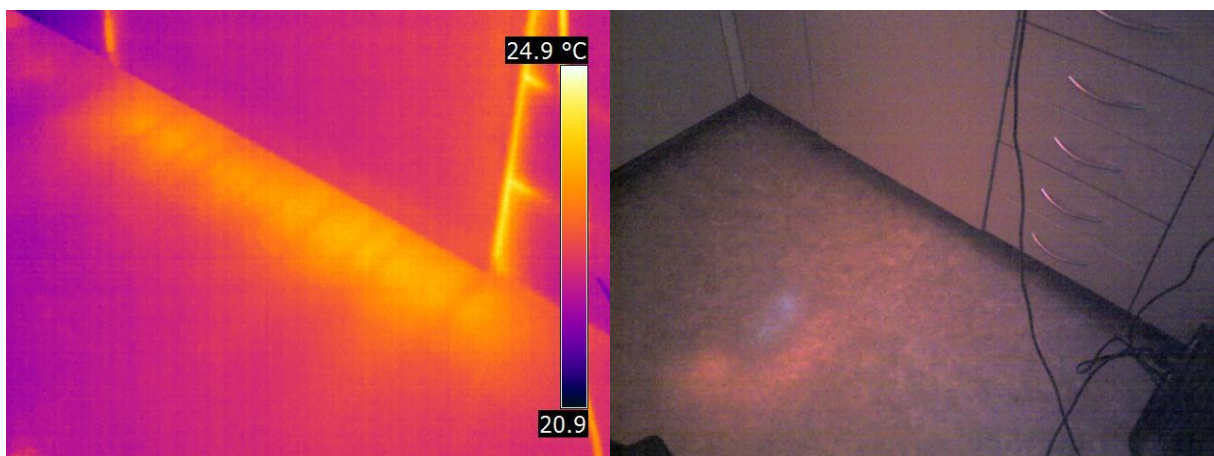
Termografi 42 - IR10039 Tydelige varme luftstrømme ved indfatning og langs fejelisten for dørtrinnet mellem værelse og mellemgang



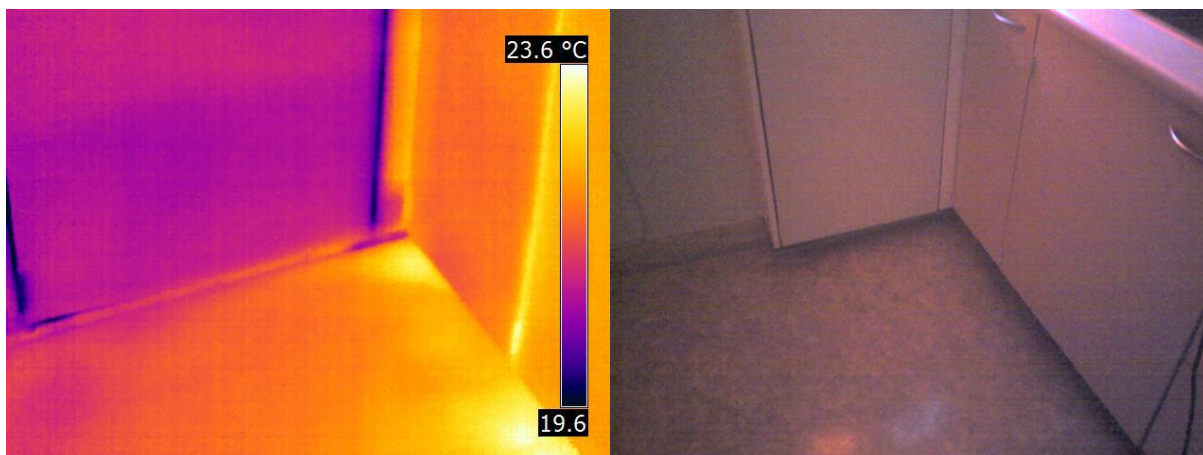
Termografi 43- IR10041 Tydelige varme luftstrømme ved indfatning og langs fejelisten for dørtrinnet mellem værelse og mellemgang



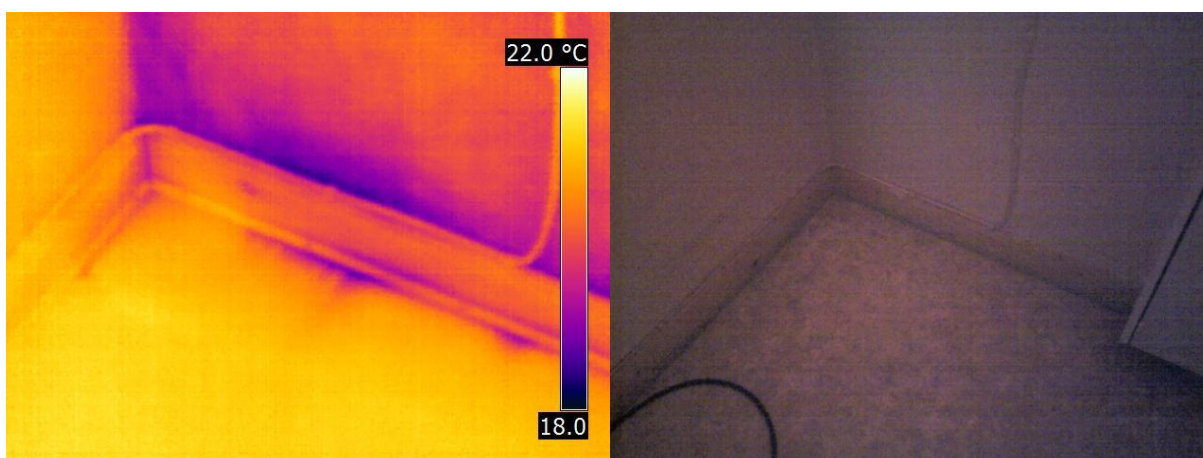
Termografi 44 - IR10045 Tydelige varme luftstrømme langs fodpanel i køkkenen med vinylgulvbelægning



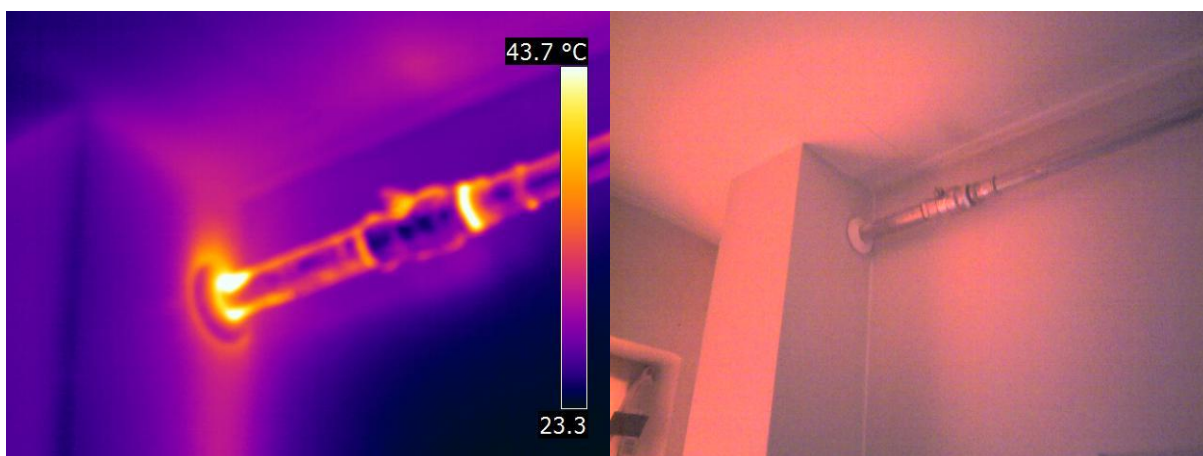
Termografi 45 - IR10049 Tydelige varme luftstrømme under køkkenskab for vask i køkken – Utætheder her kan med overvejende sandsynlighed tillægges utætte gennemføringer for afløb, vand og el



Termografi 46 - IR10051 Tydelige varme luftstrømme under køkkenskab ved hjørne og skabet for vask i køkken – Tv i billedet ses kolde luftstrømme fra underside køkkenskab, utæt bagbeklædning og en kold skabsdør



Termografi 47 - IR10053 Tydelige kolde luftstrømme langs fodpanel ved bagmur i køkken med tæt vinylgulvbelægning



Termografi 48 - IR10055 Tydelige varme luftstrømme ved tætningskrave for varmtvandsrør i installationskasse i køkken – Varme fra røret spejles langs kassen lodret og op langs loftet

4 Vurdering

Termograferingen viser, at der generelt er mange utætheder i lejligheden, særlig ved bjælkelagets anlæg i facaden, men også langs fodpaneler og i gulvets fer-notsamlinger. Særlig ved fodpaneler sås mange huller, utætte føringslister for kontakter og rørbøsninger for rørgennemføringer for fx varme. Der ses ligeledes utætheder ved gennemføringer, skorstene og ved loftsroset.

Samtlige facadevægge af murværk fremstår i forhold til rummenes øvrige vægge afkølede (kuldebro). Dette kan skyldes, at murværket ikke er isoleret eller er massivt. Massivt hel eller 1½ stens murværk fra 3. sal og opfter er ikke ualmindeligt i beboelsejendomme i København.

På termografier af facaderne ses en opdeling af både varme og kolde luftstrømme. Alle varme luftstrømme antages at hidrøre fra den underliggende og noget varmere lejlighed. De kolde luftstrømme antages at stamme fra de indmurede bjælker. De kolde luftstrømme, der på termografierne aftegner sig på tapet på puds på bræddeskillevægge i stuen og på loft langs bjælkerne i etageadskillelsen mod loft i stuerne vurderes at stamme fra utætheder i facader og mod loft.

Der er alene foretaget termografering med undertryk, da termografering med overtryk ikke vil kunne påvise utætheder i selve rummet. Det har ikke været muligt at termograferer undersiden af etageadskillelsen fra den underliggende lejlighed med overtryk. Ud fra den gennemførte termografering er det imidlertid vores vurdering at termografering af undersiden af etageadskillelsen ikke væsentligt vil kunne supplere den udførte termografi, da stuksamlinger anses for tætte.

Ud fra termografering og tæthedsmåling er det vores vurdering, at en simpel indeklimasikring med gulvpap/filt i kombination med plastfolie anbragt på oversiden af trægulve er i stand til betydeligt at nedbringe luftbåren forurening i form af partikler (røg, mados o.l. lugte) gennem træbjælkelag i lejligheder.

På trods af at der efter udlægning af indeklimasikringen på gulvene i 1 værelse og 2 stuer fortsat er betydelige utætheder i lejlighedens klimaskærm, facader, naboskel i mellemgang, loft og gennemføringer i mellemgang nedbringes luftmængden gennem utætheder i etageadskillelsen med 52,5 l/s. Luftmængden pr. m² gulv nedbringes med 0,82 l/s pr. m² gulv (w50 jf. DS/EN 13829).

Ligeledes nedbringes det ækvivalente lækageareal i etageadskillelsen med 39,75 cm² ved 10 Pa. Dette areal vil i praksis svare til at halvdelen af en få mm bred utæthed langs fodpanelet mod trægulvene i de 2 stuer og værelset stort set blev tætnet med et egnet tætningsmiddel.

Da en løsning med tætningsmiddel ved fodpaneler imidlertid ikke fuldstændigt kan eliminere de utætheder, der er mellem gulvbrædderne, vil en supplerende tætning af gulvet i et nærmere omfang efter vores vurdering fortsat være nødvendig.

Særlige forhold

Den i undersøgelsen anvendte afværgeforanstaltning (indeklimasikring) er efter vores vurdering den teoretisk bedste tekniske, mest økonomiske og mest simple løsning. Løsningen forudsætter ikke omfattende viden om byggeteknik og nødvendiggør ikke åbning af trægulvet. Løsningen forudsætter imidlertid, at materialer i etageadskillelsen er tørre, at der er en forholdsvis jævn fugtbalance mellem lejlighederne og at der ikke er anvendt meget tætte materialer på underboens loft.

Den valgte afværgeforanstaltning forudsætter desuden, at der efterfølgende udlægges fx lamelparket, væg til væg tæpper eller anden beklædning på gulvet for at beskytte dampspærre mod perforering fra oven. Beklædningen skal desuden kunne føres under fx åbne døre.

Da det lufttætte lag ved undertryk typisk vil løfte sig fra underlaget er det valgt at udlægge et ballastlag af spredte masonitplader. Ballastlaget simulerer samtidig en gulvbelægning fx lamelparketlag.

I forbindelse med etablering af afværgeforanstaltninger med gulvpap/filt og plastfolie er det vores erfaring, at det vil være mere hensigtsmæssigt midlertidigt at frigøre fodpaneler, fejellister og lodrette indfatninger om døre forud for udlægningen. Dette vil sikre en langt bedre holdbarhed og en mere håndværksmæssig korrekt tæthed mellem gulv og væg samt mod dørtrin end forudsat i undersøgelsen.

Det er vores erfaring at luftstrømme kan føre røg og mados gennem skakte og ved lysninger. Det vil derfor være nødvendigt også at tætte samlinger i lysninger, ved vinduesplade og mellem indfatning og væg samt rørgennemføringer i køkkenet

Hjørner og gennemføringer er vanskelige at tætte i praksis, da de kræver særlig bukke- og tapeteknik. Anvendes plastfolie, anbefales det ved hjørner at anvende præfabrikerede ind- og udadgående hjørner og ved gennemføringer at anvende præfabrikerede tætningskraver, som slides og tapes. Afhængig af væggenes beskaffenhed kan plastfolien inden montage af fodpaneler og indfatninger fastgøres på væg med folieklæber eller tape.

Ud fra resultaterne af tæthedsundersøgelsen ses at utæthederne i forhold til boligens størrelse er forholdsvis begrænset. Det anbefales derfor, at supplere nærværende undersøgelse med undersøgelser af effekten af mere afgrænsede afværgeforanstaltninger fx i form af en udlagt afværgeforanstaltning med 0,2 mm plastfolie ca. 1 m langs alle fodpaneler eller blot en grundig fugetætning af fodpaneler. En afgrænset afværgeforanstaltning skal dog vælges under hensyntagen til gulvets

beskaffenhed og tæthed.

Det er bemærkelsesværdigt, at luftstrømmene, såvel varme som kolde, såvel med som uden indeklimasikring hovedsagelig trækkes ud på gulvet.

Det bemærkes, at det ikke kan undgås at paplaget i situationer med fx røg og mados fra den underliggende lejlighed vil absorbere og akkumulere partikler.

Ved indeklimasikring med plast kan det desuden ikke udelukkes at elektrisk ladede røgparkler kan bindes på plastfladen. Ligeledes kan det ikke udelukkes, at den anvendte lak kan fastholde elektrisk ladede røgparkler på gulvoverfladen. Sidstnævnte vil dog kunne modvirkes ved rengøring fx afvaskning.

Efter en given tid vil nogle af de akkumulerede stoffer sandsynligvis kunne migrere gennem plastlaget og dermed føre til forurening af indeklimaet i lejligheden i form af lugtgener på længere sigt. Hvor lang tid der går inden partiklerne er trængt igennem indeklimasikringen i rummet kan ikke afdækkes med denne undersøgelse.

Hørsholm, 2010-06-14

Walter Sebastian
Bygge- og Miljøteknik A/S – Rådgivende Ingeniører
e-mail ws@byggeteknik.com
mobil +45 2175 2927

Bilag 1



Foto 1: Kraftig gulvpap/filt udlægges til fejelisten på det blottede trægulv



Foto 2: På gulvpap/filt udlægges dampspærre, som trækkes op over fodpanel

Bilag 1



Foto 3: Der udlægges masonitplader som ballast og til at simulere lamelbrædder eller væg til væg tæppe



Foto 4: Ved 50 Pa undertryk løfter dampspærren sig langs paneler

Bilag 1



Foto 5: Blowerdoor monteret i det åbne køkkenvindue



Foto 6: Friskluftventiler i væggen i begge stuer lukkes

Bilag 1



Foto 7: Dampspærre uden ballastplader i værelse løfter sig ved 50 Pa undertryk



Foto 8: Eksempel på lufthastighedsmåling 0,24 m/s ved utæthed mellem gulv og fodpanelets fejlliste ved 50 Pa

Bilag 2a Oversigt over optagne termografier ved gulv med indeklimasikring ved 50 Pa

Nøgle



Blowerdoor



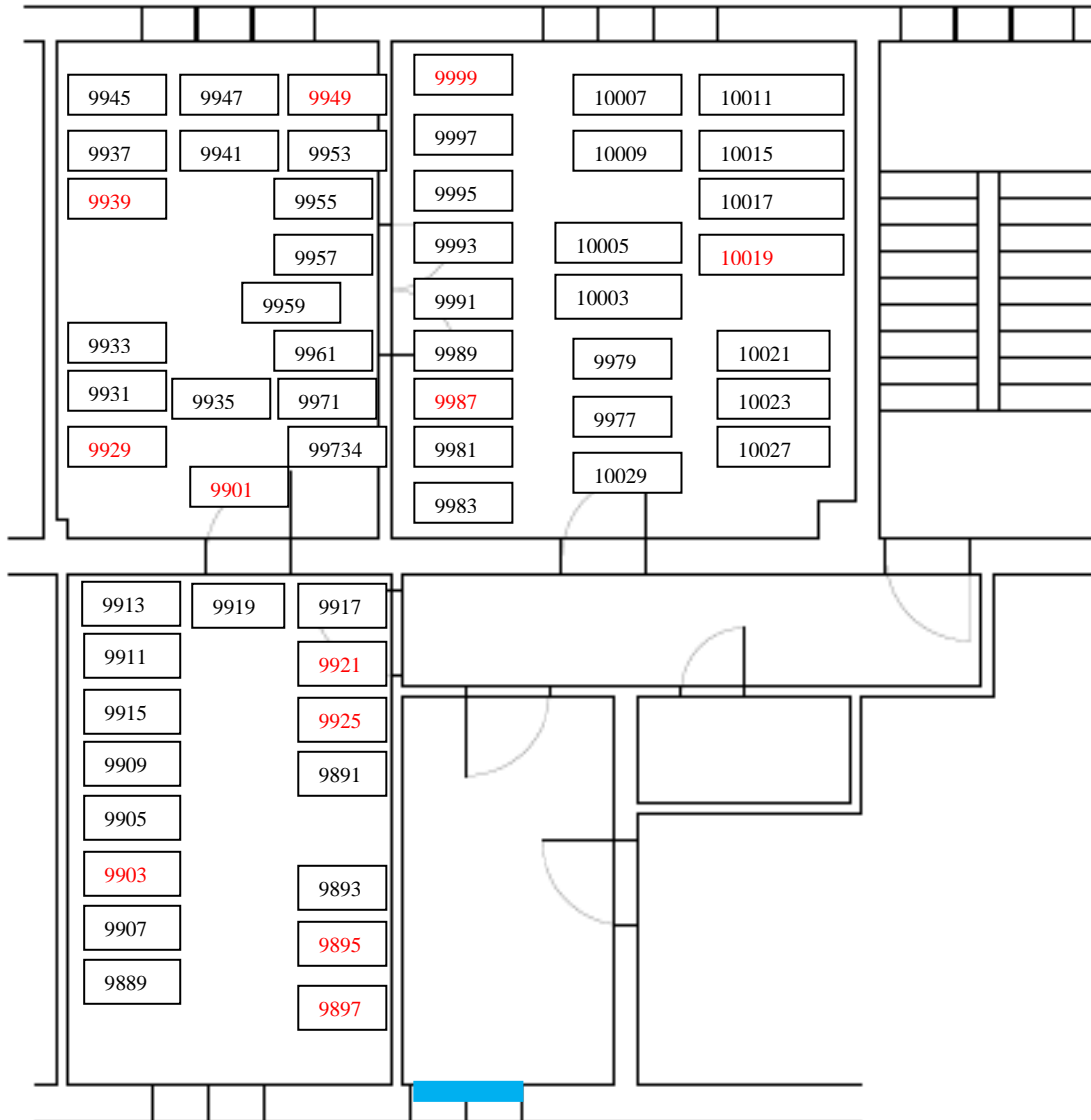
0000

Termografi



0000

Termografi kommenteret i rapport



Bilag 2b Oversigt over optagne termografier ved gulv uden indeklimasikring ved 50 Pa

Nøgle



Blowerdoor



Termografi


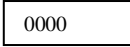

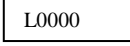
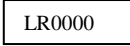
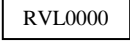


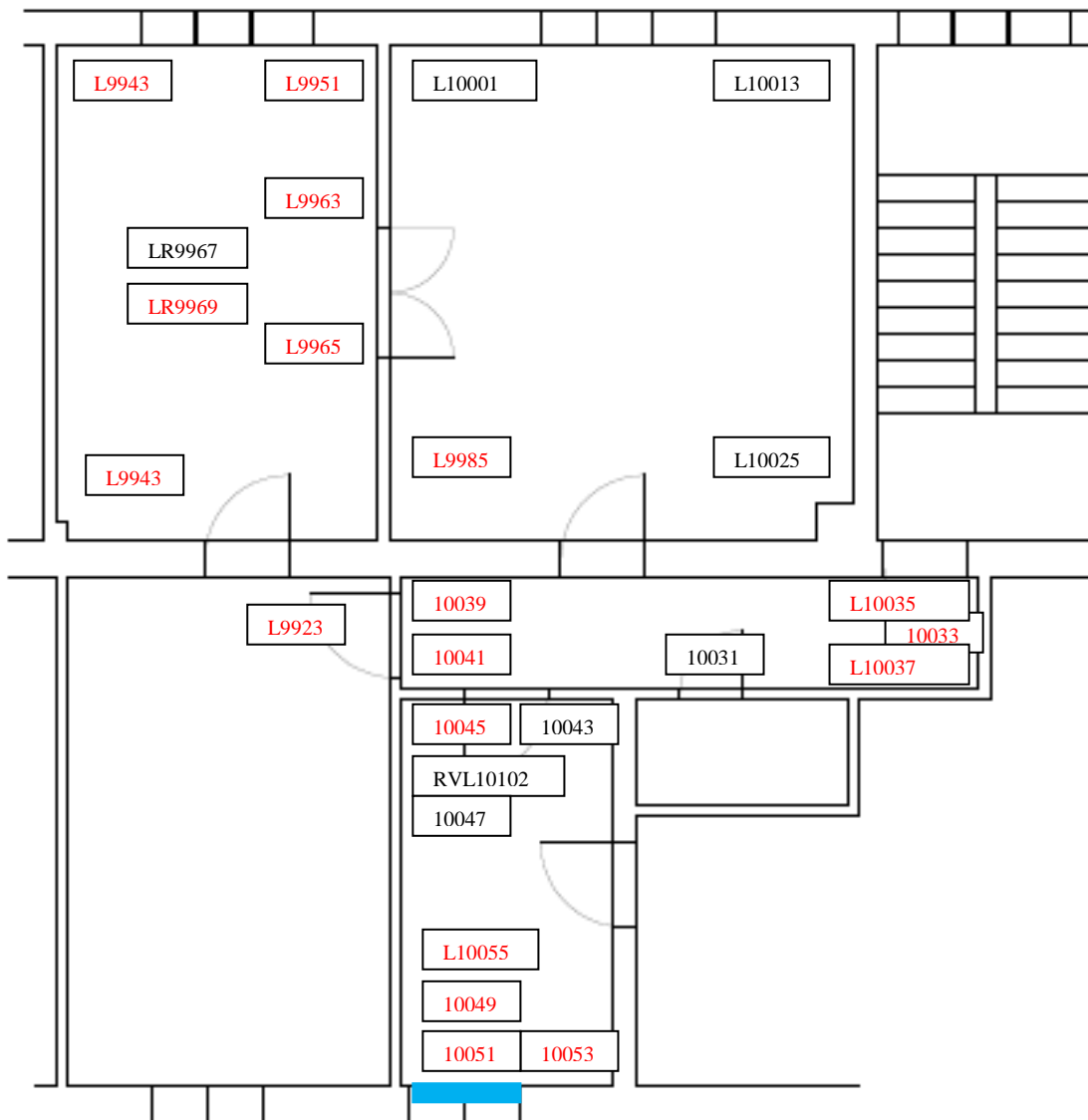
Termografi kommenteret i rapport



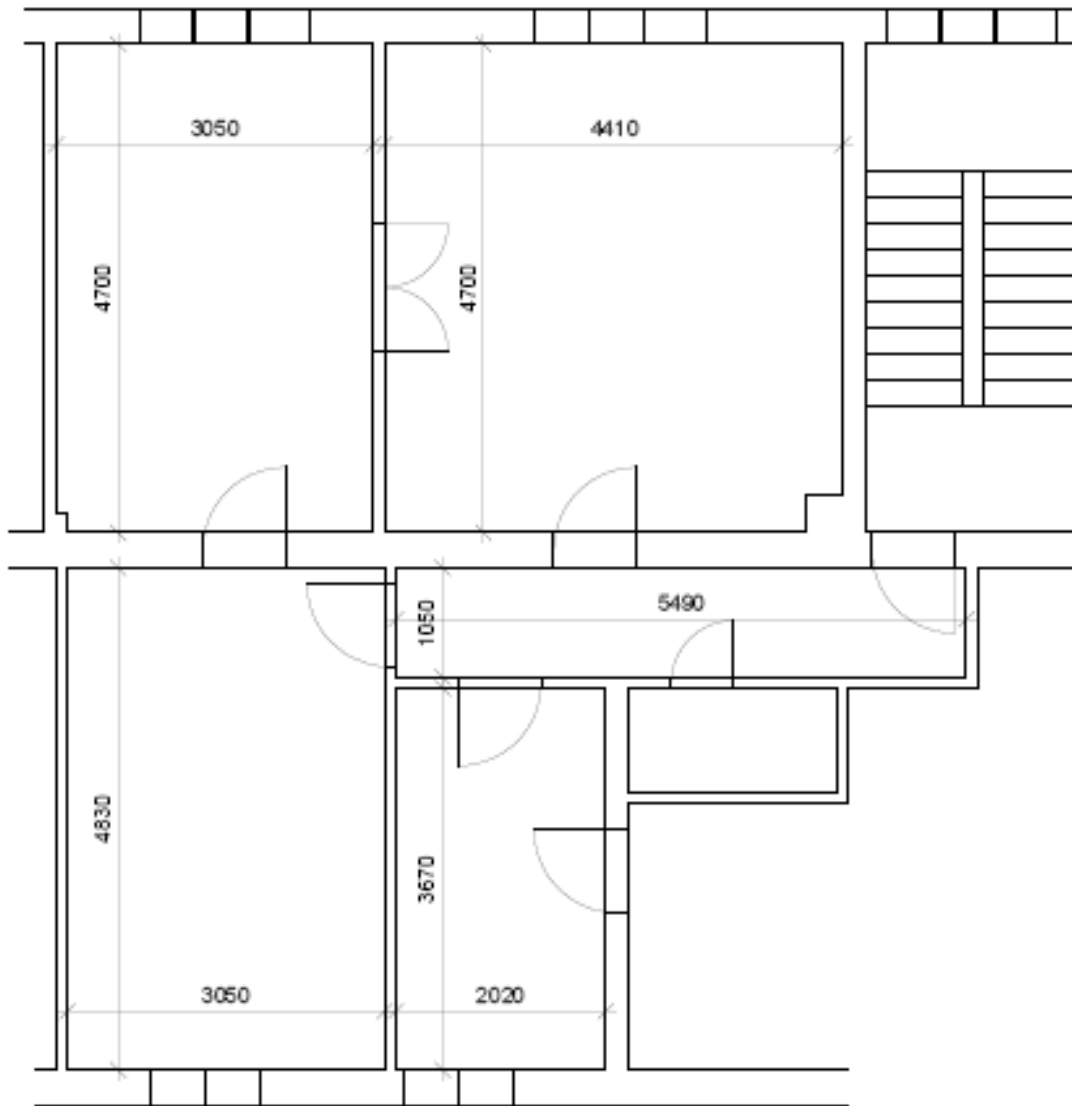
Bilag 2c Oversigt over optagne termografier ved lofter, skabe, gennemføringer o.l. ved 50 Pa

Nøgle

	Blowerdoor
	Termografi ved gulv
	Termografi kommenteret i rapport
	Termografi ved loft
	Termografi ved loftsroset
	Termografi af rør ved loft



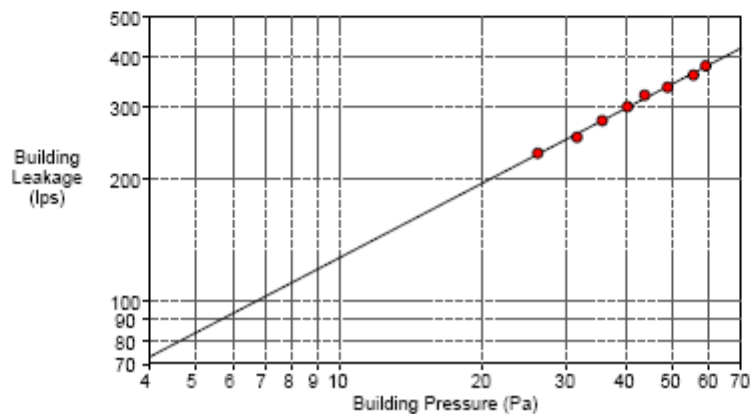
Bilag 2e Plantegning med hovedmål



Bilag 3a Måleudskrift 1 side 1 af 2 - Overtryk med foranstaltninger

BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 2010-04-28	Technician: ws		
Test File: 2010-04-28	1 OT		
Customer: SBI	Building Address:		
Phone:			
Fax:			
Airflow at 50 Pascals: (50 Pa = 0.2 w.c.)	342 lps (+/- 0.5 %) 7.12 ACH (1/h) 5.34 lps/m ² Floor Area		
Leakage Areas:	513.0 cm ² (+/- 2.7 %) Canadian EqLA @ 10 Pa 282.3 cm ² (+/- 4.3 %) LBL ELA @ 4 Pa		
Minneapolis Leakage Ratio:			
Building Leakage Curve:	Flow Coefficient (C) = 31.2 (+/- 6.8 %) Exponent (n) = 0.812 (+/- 0.018) Correlation Coefficient = 0.99746		
Test Standard:	EN 13929	Test Mode:	Pressurization
Type of Test Method:	B	Regulation complied with:	
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door		
Inside Temperature:	23 °C	Volume:	173 m ³
Outside Temperature:	13 °C	Surface Area:	
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	64 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Highly Protected Building	Building Dimensions:	5 %
Type of Heating:	Centralvarme	Year of Construction:	
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		



Bilag 3a Måleudskrift 1 side 2 af 2 - Overtryk med foranstaltninger

BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 2010-04-28 Test File: 2010-04-28 - 1 OT

Comments

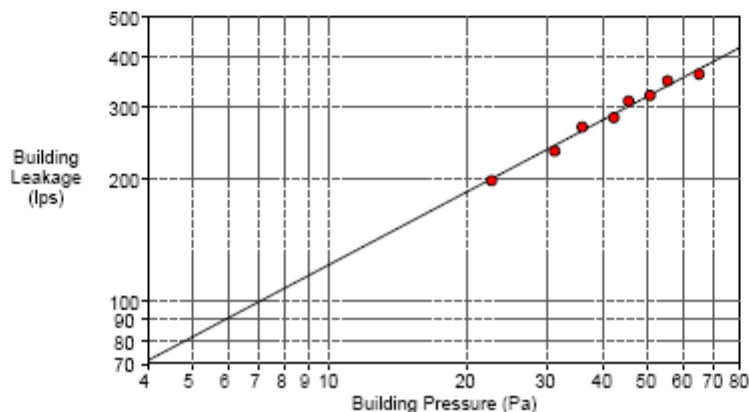
Data Points:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (lps)	Temperature Adjusted Flow (lps)	% Error	Fan Configuration
1.4	n/a				
60.3	276.8	373	380	0.5	Ring B
56.9	249.0	354	361	-1.2	Ring B
50.4	216.5	330	336	-0.5	Ring B
45.2	198.0	316	322	1.9	Ring B
41.7	173.4	296	301	0.4	Ring B
37.0	147.9	273	278	0.0	Ring B
32.9	122.4	249	253	-1.9	Ring B
27.5	102.0	227	232	0.6	Ring B
1.2	n/a				
Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.4 p01+ = 1.8 p02- = -1.4 p02+ = 2.9					

Bilag 3b Måleudskrift 2 side 1 af 2 - Undertryk med foranstaltninger

BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 2010-04-28	Technician: ws		
Test File: 2010-04-28 !	. 1 UT		
Customer: SBI	Building Address:		
Phone:			
Fax:			
Airflow at 50 Pascals: (50 Pa = 0.2 w.c.)	319 lps (+/- 1.0 %) 8.65 ACH (1/h) 4.99 lps/m ² Floor Area		
Leakage Areas:	494.8 cm ² (+/- 5.6 %) Canadian EqLA @ 10 Pa 277.4 cm ² (+/- 8.9 %) LBL ELA @ 4 Pa		
Minneapolis Leakage Ratio:			
Building Leakage Curve:	Flow Coefficient (C) = 31.5 (+/- 13.9 %) Exponent (n) = 0.592 (+/- 0.036) Correlation Coefficient = 0.98905		
Test Standard:	EN 13829	Test Mode:	Depressurization
Type of Test Method:	B	Regulation complied with:	
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door		
Inside Temperature:	23 °C	Volume:	173 m ³
Outside Temperature:	13 °C	Surface Area:	
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	64 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Highly Protected Building	Building Dimensions:	5 %
Type of Heating:	Centralvarme	Year of Construction:	
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		



Bilag 3b Måleudskrift 2 side 2 af 2 - Undertryk med foranstaltninger

BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 2010-04-28 Test File: 2010-04-28 - 1 UT

Comments

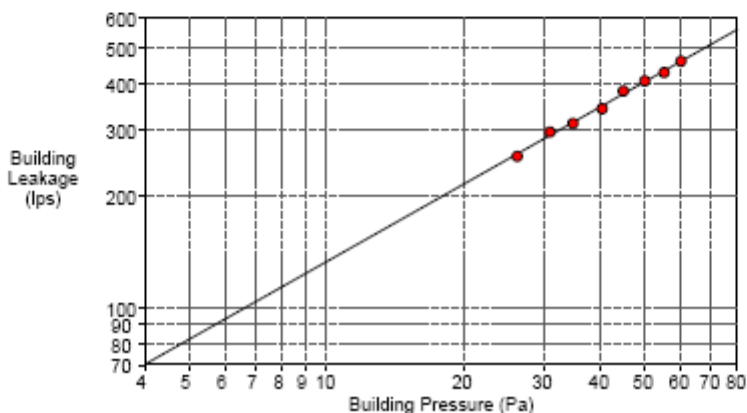
Data Points:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (lps)	Temperature Adjusted Flow (lps)	% Error	Fan Configuration
-1.9	n/a				
-66.3	271.4	370	363	-2.8	Ring B
-56.8	251.5	356	349	2.8	Ring B
-52.0	212.5	327	321	-0.3	Ring B
-46.8	199.4	317	311	3.0	Ring B
-43.6	165.0	289	283	-2.0	Ring B
-37.3	148.5	274	269	2.2	Ring B
-32.6	112.7	239	234	-3.2	Ring B
-24.1	90.4	202	198	-1.1	Ring B
-0.8	n/a				
Test 1 Baseline (Pa): p01- = -2.7 p01+ = 0.6 p02- = -1.0 p02+ = 0.5					

Bilag 3c Måleudskrift 3 side 1af 2 - Overtryk uden foranstaltninger

BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 2010-04-28	Technician: ws	
Test File: 2010-04-28	- 5 x OT	
Customer: SBI	Building Address:	
Phone:		
Fax:		
Airflow at 50 Pascals: (50 Pa = 0.2 w.c.)	405 lps (+/- 0.5 %) 8.42 ACH (1/h) 6.32 lps/m ² Floor Area	
Leakage Areas:	533.5 cm ² (+/- 3.1 %) Canadian EqLA @ 10 Pa 272.9 cm ² (+/- 5.0 %) LBL ELA @ 4 Pa	
Minneapolis Leakage Ratio:		
Building Leakage Curve:	Flow Coefficient (C) = 27.0 (+/- 7.8 %) Exponent (n) = 0.692 (+/- 0.020) Correlation Coefficient = 0.99740	
Test Standard:	EN 13829	Test Mode: Pressurization
Type of Test Method:	B	Regulation complied with:
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door	
Inside Temperature:	23 °C	Volume:
Outside Temperature:	13 °C	Surface Area:
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of
Building Wind Exposure:	Highly Protected Building	Building Dimensions:
Type of Heating:	Centralvarme	Year of Construction:
Type of Air Conditioning:		
Type of Ventilation:	None	
		173 m ³
		64 m ²
		5 %



Bilag 3c Måleudskrift 3 side 2 af 2 - Overtryk uden foranstaltninger

BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 2010-04-28 Test File: 2010-04-28 - 5 x OT

Comments

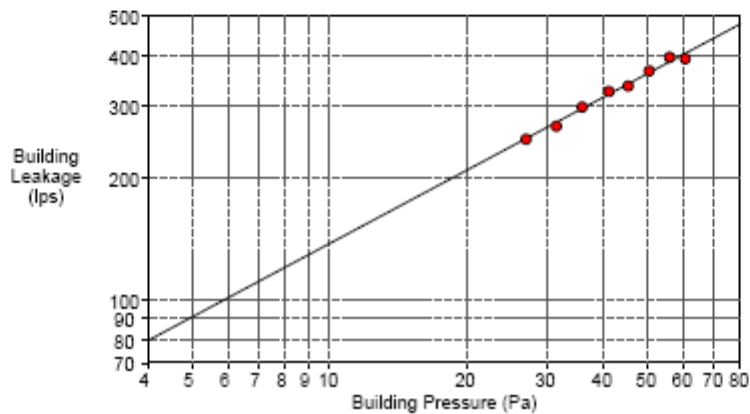
Data Points:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (lps)	Temperature Adjusted Flow (lps)	% Error	Fan Configuration
-0.9	n/a				
59.1	36.7	452	460	0.1	Ring A
54.2	31.9	421	429	-1.0	Ring A
49.0	28.6	399	407	0.5	Ring A
43.9	25.3	375	383	1.8	Ring A
39.3	224.4	338	343	-1.8	Ring B
33.8	186.8	307	313	-0.6	Ring B
30.0	167.8	291	297	2.1	Ring B
25.2	123.9	250	255	-1.5	Ring B
-1.1	n/a				
Test 1 Baseline (Pa): p01- = -1.2 p01+ = 0.4 p02- = -1.1 p02+ = 0.0					

Bilag 3d Måleudskrift 4 side 1af 2 - Undertryk uden foranstaltninger

BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 2010-04-28	Technician: ws		
Test File: 2010-04-28	- 4 x UT		
Customer: SBI	Building Address:		
Phone:			
Fax:			
Airflow at 50 Pascals: (50 Pa = 0.2 w.c.)	361 lps (+/- 0.9 %) 7.52 ACH (1/h) 5.65 lps/m ² Floor Area		
Leakage Areas:	553.8 cm ² (+/- 5.0 %) Canadian EqLA @ 10 Pa 308.6 cm ² (+/- 8.0 %) LBL ELA @ 4 Pa		
Minneapolis Leakage Ratio:			
Building Leakage Curve:	Flow Coefficient (C) = 34.7 (+/- 12.5 %) Exponent (n) = 0.599 (+/- 0.033) Correlation Coefficient = 0.99113		
Test Standard:	EN 13829	Test Mode:	Depressurization
Type of Test Method:	B	Regulation complied with:	
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door		
Inside Temperature:	23 °C	Volume:	173 m ³
Outside Temperature:	13 °C	Surface Area:	
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	64 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Highly Protected Building	Building Dimensions:	5 %
Type of Heating:	Centralvarme	Year of Construction:	
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		



Bilag 3d Måleudskrift 4 side 2 af 2 - Undertryk uden foranstaltninger

BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 2010-04-28 Test File: 2010-04-28 - 4 x UT

Comments

Data Points:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (lps)	Temperature Adjusted Flow (lps)	% Error	Fan Configuration
-3.5	n/a				
-63.2	319.9	401	393	-3.0	Ring B
-58.6	325.2	404	397	2.6	Ring B
-53.1	278.5	374	367	1.0	Ring B
-48.0	234.3	344	337	-1.2	Ring B
-43.8	220.4	333	327	1.6	Ring B
-38.6	184.5	305	299	0.9	Ring B
-34.1	148.1	274	268	-2.2	Ring B
-29.7	127.6	254	249	-0.4	Ring B
-1.7	n/a				
Test 1 Baseline (Pa):		p01- = -3.6 p01+ = 0.0	p02- = -2.7 p02+ = 0.8		

Oversigt over termografiske billeder med tilhørende digitalebilleder på USB

	Termografi (IR)	Digitalt billede (DC)	Note
Værelse	9889 - 9925	9890 - 9926	Med indeklimasikring
Stue 1	9927 - 9975	9928 - 9976	Med indeklimasikring
Stue 2	9977 - 10029	9978 - 10030	Med indeklimasikring
Mellemgang	10031 – 10041, 10057	10032 - 10042	Vinylgulv
Køkken	10043 – 10055, 10102	10044 – 10056, 10103	Vinylgulv
Værelse	10058 - 10092	10059 - 10093	Uden indeklimasikring
Stue 1	10094 – 10100, 10104 - 10132	10095 – 10101, 10105 - 10133	Uden indeklimasikring
Stue 2	10135 - 10184	10135 - 10185	Uden indeklimasikring

Artikel IV

The effectiveness of portable air cleaner against tobacco smoke in multizone residential environments.

Bingbing Shi, Lars E. Ekberg, Alireza Afshari, Niels C. Bergsøe.

Clima2010, Turkey, 2010

The effectiveness of portable air cleaners against tobacco smoke in multi-zone residential environments

Bingbing Shi¹, Lars E. Ekberg², Alireza Afshari³ and Niels C. Bergsøe³

¹Chalmers University of Technology, Sweden

²CIT Energy Management AB, Sweden

³Danish Building Research Institute, Aalborg University, Hørsholm, Denmark

Corresponding email: bingbing.shi@chalmers.se

SUMMARY

The purpose of this study was to investigate how the effectiveness of portable air cleaners (ACs) against tobacco smoke is influenced by the clean air delivery rate (CADR), the location of the AC in relation to the pollution source and the apartment structure. The study was based on field experiments and simulations with the CONTAM software. The AC effectiveness was about 80% for one AC, and 93% for two ACs in the studied apartment (volume=110m³). Ultrafine particles (UFP) exposure in a room without tobacco smoking (clean room) could be much less than in the source room if these rooms were not directly connected with each other (but indirectly connected via doors open to other rooms). Operating the AC in one of the rooms without cigarette smoking could develop a partly isolated clean environment. However, this led to a rather low cleaning effectiveness for the concentration of ultrafine particles in the apartment as a whole. If operating the AC in the room where cigarettes are being smoked, the UFP exposure in the whole apartment can be further reduced.

INTRODUCTION

Environmental tobacco smoke (ETS) exposure relates to an increased risk of many adverse health effects, including lung cancer, asthma onset and exacerbation and acute respiratory illness [1]. In Denmark, about 20% of deaths among adults aged >35 years are due to tobacco smoking [2]. Although tobacco smoking is banned in public places, it appears that children are still at risk of high exposure to secondhand tobacco smoke (SHS) in their home [3, 4]. Therefore, controlling ETS exposure in residential buildings is important to protect smokers' families, especially their children. However, the ventilation rates in residential buildings are generally too small to efficiently remove the tobacco smoking particles (the average air change rate for all studied apartments was 0.48h⁻¹). For residential buildings, especially those with natural ventilation, implementation of room air cleaners may be convenient and effective to control indoor air pollutants. However, the clean air delivery rate of the air cleaners, the relative location of the air cleaner to the pollution source and the apartment structure, as well as the indoor air change rate, all affect the AC effectiveness.

The purpose of this study was to investigate the AC effectiveness against multi-zone tobacco smoke under different CADRs and different locations of the AC. Special attention was paid to the apartment structure and the influence of room dividing doors being open or closed.

METHODS

The field experiments were carried out in an apartment (see Figure 1) with natural ventilation.

The natural ventilation system had air inlets in the living room and bedroom, and air outlet chimneys in the kitchen and WC. The apartment entrance door and all windows were closed during experiments. Indoor and outdoor UFPs concentrations were measured by two condensation particle counters, and temperature and relative humidity were also monitored. A passive tracer gas method was used to measure the air change rate, infiltration from outdoors and air transfer between apartments. Two electrical ACs (each with CADR=240m³/h according to the manufacturer) were used as air cleaning devices. The door between the bedroom and the living room (BL door) and the door to the kitchen (K door) were open or closed during different experiments. The other doors were open during all experiments. The cases of cigarette smoking and AC in the same room and in different rooms, keeping the BL door and K door either opened or closed, or using none, one or two ACs were studied. The AC was started at the same time as smoking started.

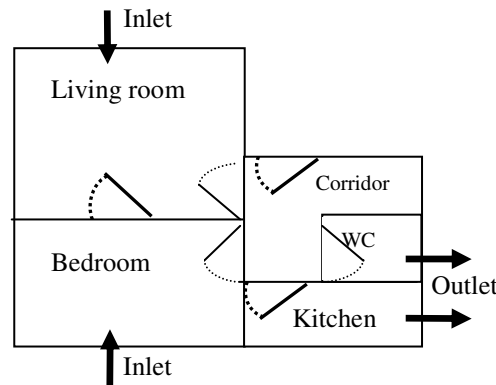


Figure 1. Configuration of the test apartment. The door between the bedroom and the living room is denoted BL door, and the door to the kitchen is denoted K door.

In an apartment, even small temperature differences between rooms can induce large inter-zonal air flows [5], which, furthermore, results in the smoking pollutants being well mixed between the zones. The multi-zone temperature differences were smaller than 2°C in all measured cases. Thus, in the CONTAM simulations the temperature differences (Δt) 0.1°C, 1°C and 2°C were applied according to the following relationship, $t_{\text{bedroom}} = t_{\text{living room}} + \Delta t = t_{\text{corridor}} + 2\Delta t$. The agreement between measurement data and the simulation under the same environmental conditions was tested, and an example, shown in Figure 2, indicated a high degree of agreement between the CONTAM simulation and the measurements.

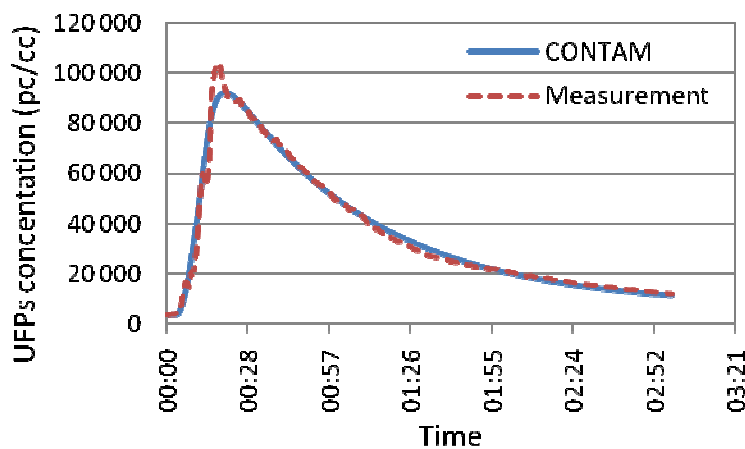


Figure 2. Comparison between CONTAM simulation results and measurement results.

RESULTS

1. Influence of apartment structure on the mixing of indoor particles

Indoor air distribution directly influenced the distribution of tobacco smoking pollutants and the AC effectiveness. Apartment structure, temperature differences between rooms and ventilation can all affect air distribution. Therefore, with the ventilation rate of the apartment kept constant, UFP distribution and AC effectiveness were studied for the following cases: open BL door (directly connecting the “clean” bedroom and the polluted living room - the source room) and closed BL door (the clean bedroom and the living room still being indirectly connected via the corridor), open K door and closed K door (isolating smoke pollutants in the source room – when smoking in the kitchen). CONTAM simulations of the above cases were carried out with multi-zone temperature differences of 0.1°C, 1°C and 2°C, according to the relationship given in the previous section.

1.1 Indoor air well mixed

Figure 3 shows the measured UFP concentrations for the case of keeping the BL door open, smoking 2 cigarettes in the living room and without any AC. The curves of UFP concentration in clean room (bedroom) and source room (living room) almost overlap each other, which mean that keeping the BL door open resulted in well mixed indoor air.

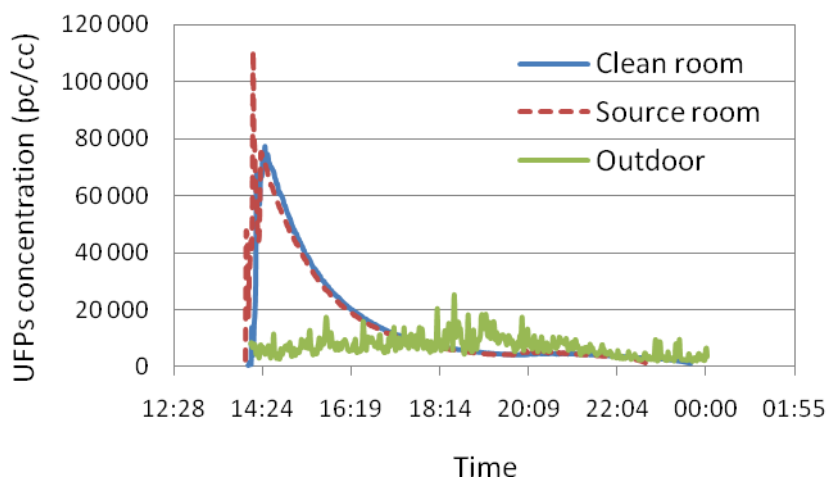


Figure 3. Indoor UFP concentrations for the indoor air well mixed case (BL door open).

1.2 Indoor air not well mixed

The measured UFP concentrations for the case of closed BL door, smoking 2 cigarettes in the living room and without AC in any room are shown in Figure 4. The different peak concentrations and a time delay are obvious between bedroom (clean room) and living room (source room), which means that keeping the BL door closed limited the spread of indoor tobacco smoking pollutants from the source room.

The above results are also shown in Figure 7. UFP exposures were about the same in the living room and in the bedroom if the BL door was open. Otherwise, the UFP exposure was lower in the bedroom than in the living room, when the BL door was closed, as expected.

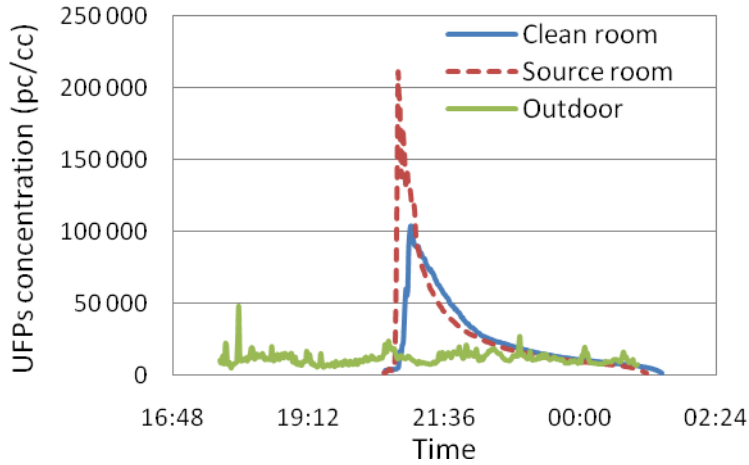


Figure 4. Indoor UFP concentrations for a not well mixed case (BL door closed).

Comparing Figure 3 and Figure 4, it can be seen that keeping the BL door opened or closed clearly influenced the UFP transport from the source room to the clean room. In other words, keeping the BL door closed, to some degree isolated UFPs from the source room to the clean room. The UFP exposure difference (S) between clean room and source room could be defined according to Equation 1, where $E_{\text{cleanroom}}$ is the UFP exposure in the clean room and $E_{\text{sourceroom}}$ is the UFP exposure in the source room.

$$S = 1 - \frac{E_{\text{cleanroom}}}{E_{\text{sourceroom}}} \quad (1)$$

The parameter S represents UFPs exposure isolation between the clean room and the source room. Larger S means that more pollutants are isolated from the clean room. The influence on S by the temperature difference between the rooms was simulated by CONTAM, and the results are shown, together with measurement, data in Figure 5. When the BL-door was closed, but the clean room and the source room indirectly connected, via open doors to the corridor, the UFP exposure could be somewhat less in the clean room than in the source room. The CONTAM simulations showed that, depending on the temperature difference, the exposure difference varied from 38% to 10% for the case without AC and 14% to -1% for the case with two ACs in the source room. The former figures mean that, without AC, when the multi-zone temperature difference was smaller than 0.1°C, the UFP exposure in the clean room was less than 62% of the exposure in the source room. But when the multi-zone temperature difference was increased to 1°C and 2 °C, the UFP exposure in the clean room was close to 90% of that in the source room. The negative value of S means that the UFP exposure in the source room was lower than that in the clean room, which occurred when two ACs were running in the source room.

In conclusion, indirect connection between the source room and the clean room partly isolates tobacco smoke UFP from the clean room. Furthermore, a smaller multi-zone temperature difference results in more UFPs being isolated. Additionally, although the apartment structure can to some degree isolate pollutants, the CADR should be chosen according to the whole apartment's volume to avoid low S values induced by large multi-zone temperature differences.

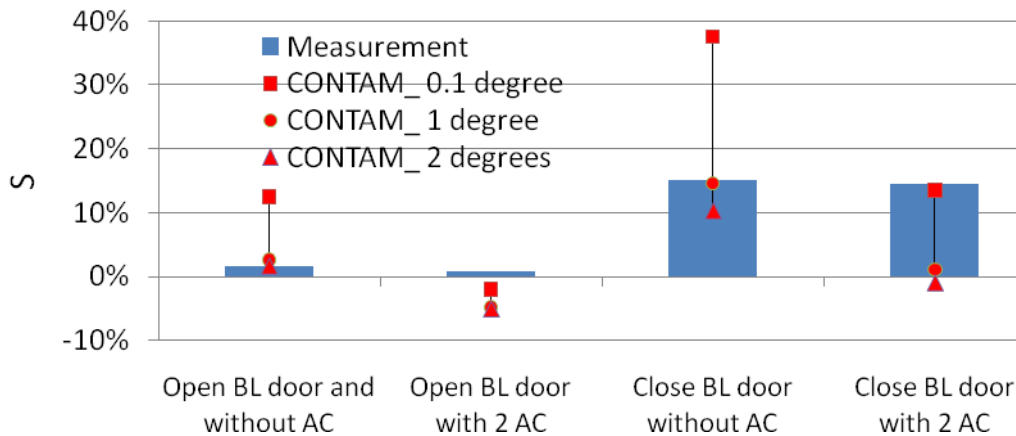


Figure 5. UFP exposure difference (S) between source room (living room) and clean room (bedroom). The ACs were located in the source room.

1.3 Indoor air isolated

In one case the pollutants were close to completely isolated, i.e. when smoking in the kitchen and keeping the K door closed. The results show that less than 3% of the UFPs infiltrated from the polluted kitchen to the bedroom (see Figure 6) regardless of whether an AC was in operation in the kitchen, or not. Thus, in this case the previously described S-value was higher than 97%. Therefore, an easy solution to SHS exposure appears to be smoking in kitchen while keeping the K door closed. With the K door open there was practically no difference between the exposure in the kitchen and in the bedroom, i.e. the S value is about 0%. This was most probably due to large temperature differences between the rooms.

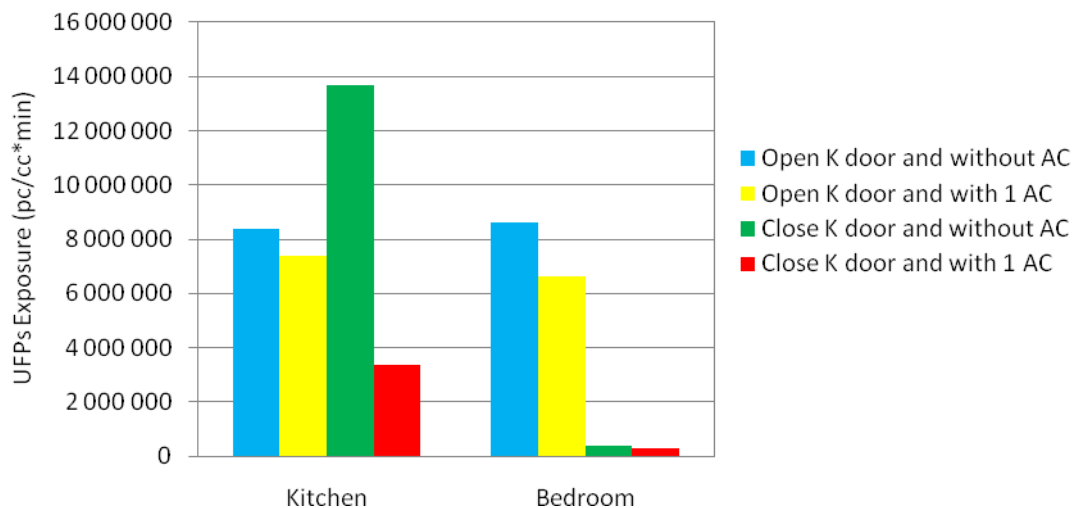


Figure 6. UFP exposure in kitchen and bedroom with open and closed kitchen (K) door. The AC was located in the kitchen. The source was located in the kitchen.

2. Air cleaner effectiveness H

The exposure in the kitchen was reduced by 76% by using one AC when keeping the K door closed; see the data in Figure 6. Similarly, the exposure in the living room was reduced by 64% by using one AC when keeping the BL door open; see the data in Figure 7. The kitchen

was smaller than the living room and also isolated by the K door being closed, which explains the larger exposure reduction in the kitchen. Using one AC, the UFP personal exposure was reduced from $6.9 \cdot 10^6$ pc/cc·min to $2.5 \cdot 10^6$ pc/cc·min during a 3h period, when the BL door was open. Additional experiments showed that when two ACs were used, the exposure dropped to $2.1 \cdot 10^6$ pc/cc·min. The AC reduced the indoor UFP exposure close to the outdoor exposure level, see Figure 7. In the experiments, ambient UFP concentration was about 10^4 pc/cc.

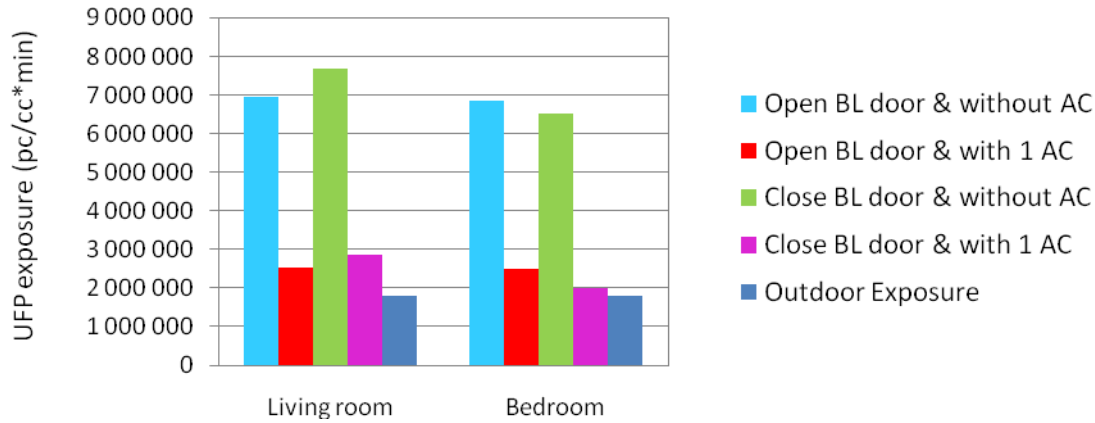


Figure 7. Indoor UFP exposure during 3 hours for the above cases. Source room = living room, clean room = bedroom. The AC was located in the living room.

For to these well-mixed cases, the AC effectiveness H in the whole apartment was calculated by Equation 2, which is defined by Miller-Leiden et al. [6]. Here, C_{ac} is the indoor concentration with AC; $C_{no\ ac}$ is the indoor concentration without AC. The effectiveness H for one AC and two ACs are shown in Figure 8.

$$H = 1 - \frac{C_{ac}}{C_{noac}} \quad (2)$$

The AC effectiveness under stable conditions was 80% for one AC, and 93% for two ACs; see Figure 8. Note that it took more than 1.5 h before steady-state conditions were reached. During this period the AC effectiveness, H , was substantially lower than the maximum value.

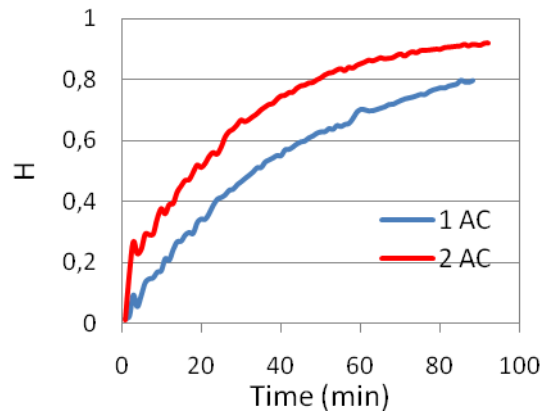


Figure 8. The air cleaner effectiveness H for one AC and two ACs

3. Influence of AC location relative to the pollution source

The relative location of AC to pollution source is another factor influencing UFP exposure. The UFP exposure reduction percentage (R) is defined by Equation 3, which evaluates UFP exposure reduction in one room by comparing UFP exposure with AC ($E_{with\ AC}$) and UFP exposure without AC ($E_{without\ AC}$).

$$R = 1 - \frac{E_{with\ AC}}{E_{without\ AC}} \quad (3)$$

Figure 9 shows values of R, calculated for the clean room (bedroom) and the source room (living room). Data are shown both for the case with two ACs located in the living room and for the case with two air cleaners located in the bedroom. The BL door was closed in all of the cases. Similar to the analysis of the parameter S, the influence of room temperature differences was also analyzed by CONTAM simulations. When tobacco smoking occurred in the living room, and two ACs were located in the bedroom, a relatively isolated clean environment was developed in the bedroom (R about 85% in the bedroom and 45% in the living room). This situation can be expected to result in a rather low cleaning effectiveness in the whole apartment regarding UFPs. While operating the AC in the source room (living room), the exposure-value in both the living room and in the bedroom was about 70%. It can be assumed that also all other rooms would show similar R-values, i.e. a rather large exposure reduction in the whole apartment.

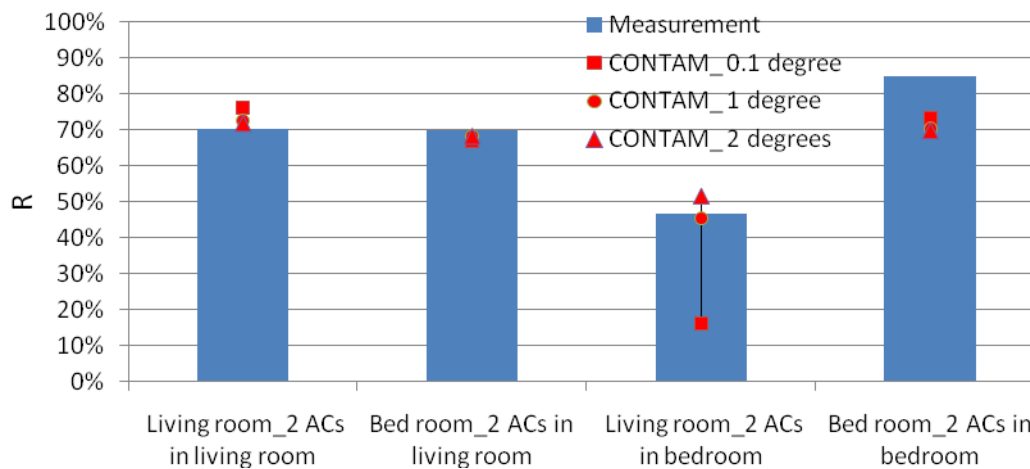


Figure 9. UFP-exposure reduction percentage (R) for different locations of the ACs

CONCLUSION

For this apartment ($V=110\text{m}^3$), one AC ($\text{CADR}=240\text{m}^3/\text{h}$) was, in most of the studied cases, enough to reduce the indoor UFP exposure by about 65%-75% in individual rooms. The highest exposure reduction, $R=85\%$, was observed when two ACs were used in the bedroom when keeping the door between the bedroom and the living room closed.

The lowest exposure reduction, $R=12\%$, was observed when using one AC in the kitchen and keeping the kitchen door open while smoking took place in the kitchen. Isolation of the

kitchen by keeping the door closed increased the exposure reduction obtained by the AC to 76%. In this case, when the kitchen door was closed, the exposure to smoke particles in non-smoking rooms was only a few percent of the exposure in the kitchen. When the kitchen door instead was left open, a massive spread of particles within the apartment was observed. The particle spread is due to large inter-zonal air flows induced by large temperature differences between rooms.

Although the apartment structure could, to some degree, isolate pollutants, the CADR should preferably be chosen according to the whole apartment's volume. Furthermore, the ACs should be placed in the same room as the strongest particle source. For example, operation of two ACs in the living room, where cigarettes were smoked, reduced the UFP exposure by about 70%, both in the source room and in the adjacent non-smoking bedroom. The total capacity of the two ACs corresponds to 4.4 air changes per hour, expressed as an average value for the entire apartment. This is about ten times the ventilation air change rate.

ACKNOWLEDGEMENT

This study was supported financially by the Danish Ministry of the Interior and Social Affairs, the Danish Landowners' Investment Association (GI) and the National Housing Found (LBF), Denmark. The investigated buildings were found by the Housing Associations, Denmark. The project was also supported by the Swedish Research Council for Environment, Agricultural Sciences and Spatial Planning (FORMAS), grant 242-2007-1583.

REFERENCES

1. National Cancer Institute. 1999. Health effects of exposure to environmental tobacco smoke: the report of the California Environmental Protection Agency. Smoking and tobacco control Monograph No. 10. NIH Pub. No. 99-4645, US Department of Health and Human Services, National Institutes of Health, Bethesda, MD, 1999.
2. British Heart Foundation. 2006. Europe: British Heart Foundation Statistics; 2006. Total numbers of deaths and numbers of deaths due to smoking by country, by cause, adults aged 35 and over, by sex, 2000. <http://www.heartstats.org/temp/ESspTabsp4.1spweb05.xls>. Accessed 2006 1 May.
3. McMillen, R.C., Winickoff, J.P., Klein, J.D., Weitzman, M. 2003. US adult attitudes and practices regarding smoking restrictions and child exposure to environmental tobacco smoke: changes in the social climate from 2000–2001. *Pediatrics* 112 (1), e55–e60.
4. Schuster, M.A., Franke, T., Pham, C.B., 2002. Smoking patterns of household members and visitors in homes with children in the United States. *Archives of Pediatrics and Adolescent Medicine* 156 (11), 1094–1100.
5. Claes Blomqvist. 2009. Distribution of ventilation air and heat by buoyancy forces inside buildings. Ph.D thesis, Royal Institute of technology.
6. Miller-Leiden S, Lobascio C, Nazaroff WW, Macher JM. 1996. Effectiveness of in-room air filtration and dilution ventilation for tuberculosis infection control. *Journal of Air Waste Management Association* 1996;46:869–82.

Artikel V

Quantification of ultrafine particles from second-hand tobacco smoke infiltration in flats.

Alireza Afshari, Bingbing Shi, Niels C. Bergsøe, Lars Ekberg, Tord Larsson,
Clima2010, Turkey, 2010.

Quantification of ultrafine particles from second-hand tobacco smoke infiltration

Alireza Afshari¹, Bingbing Shi², Niels C. Bergsøe¹, Lars Ekberg² and Tord Larsson³

¹Danish Building Research Institute, a part of Aalborg University, Hoersholm, Denmark

²Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden

³Örebro University, Örebro, Sweden

Corresponding email: ala@sbi.dk

SUMMARY

This paper presents some of the results of a second-hand tobacco smoke intervention study carried out in 19 flats in four different buildings. Two of the investigated buildings were non-renovated and two others were renovated. The aim of the study was to quantify infiltration of ultrafine particles from a smoker's flat into a non-smoker's flat. In addition, several tests were carried out to describe some solutions for reduction of particle concentrations in the smoker's flat and the non-smoker's flat. The air change rates and the indoor particle concentrations were measured continuously during the measuring periods. The particle sources (particle generating activities) were cigarette-burning in the un-occupied buildings and candle-burning in the occupied buildings. Reductions of the concentration of ultrafine particles using air cleaning devices were studied. Results showed that the transfer of ultrafine particles was about 9% when the source flat was located below the receiving flat, whereas the transfer was 1-2% when the source flat was on the same floor as, or above, the receiving flat.

INTRODUCTION

Second-hand tobacco smoke (SHS) in flats is an emerging public issue in the Nordic countries, in particular in Denmark, where people spend approx. 16 h/day indoors [1]. Smoke can infiltrate a flat in various ways. The infiltration rate depends on the tightness of the building envelope and its design. A Danish study shows that window slits only replace 14% of the exhausted air; the rest comes from elsewhere in the building [2]. Some of the common openings where smoke seeps from a smoker's flat into a non-smoker's flat include electrical outlets, cable or phone jacks, pipes (plumbing), cracks in walls and floors, etc.

Numerous studies have documented the contribution of tobacco smoke to elevate the concentration of ultrafine and fine particles indoors [3]. During recent years investigations have indicated a possible association between exposure to ultrafine particles and human health [4].

Several studies show that the concentration of particles indoors may be reduced to a certain extent by means of ventilation or by filtration using portable or in-duct air cleaners [5]. However, the ventilation rate in residential buildings is generally not designed to remove particles and gases originating from smoking.

Most previous studies have focused on the quantification of particles from direct exposure to SHS. However, very few studies have examined quantification of particles from indirect

exposure to SHS. Therefore the aim of the present study is quantification of ultrafine particles (UFP) from SHS infiltration in flats.

METHOD

The study was carried out in four different residential buildings. Two of the buildings (Buildings A and B) are of exactly the same type and design, they are approx. 70 years old and not renovated. The third building (Building C) is 100 years old and recently partially renovated, whereas the fourth building (Building D) is 140 years old and recently completely renovated. Four flats were included in the study in Building A and two flats in Buildings B, C and D, respectively. In each building the studied flat (Flat 2) was placed immediately above another flat (Flat 1).

Figure 1 illustrates a complete unit of flats for the present study. In Building A a complete unit was used. In Buildings B, C and D Flat 1 and Flat 2 were used.

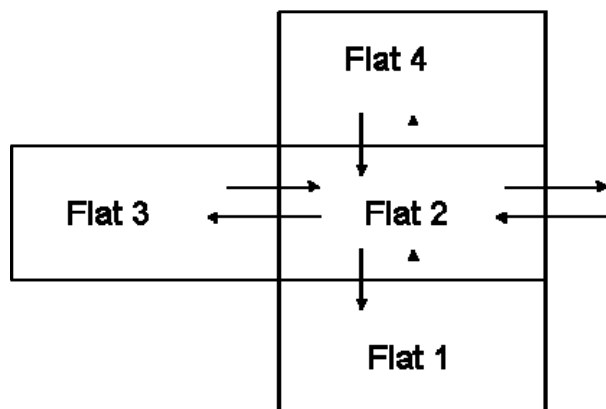


Figure 1. Sketch of a complete unit of flats.

Particles were generated in one flat and the infiltration of UFPs was measured in the flat above. The particle sources (particle generating activities) used in the source flats (Flat 1) was cigarette-burning in the un-occupied buildings (Buildings A) and candle-burning in the occupied buildings (Building C and D). Building B was an un-occupied building, which was used in both cases, i.e. cigarette-burning and candle-burning. Two cigarettes were burned for approx. 10 minutes each in the un-occupied flats and three pure wax candles were burned in the occupied flats.

The UFP concentrations were monitored by means of three condensation particle counters. One of the particle counters was placed in the source flat (Flat 1, where particles were generated), the second one in the exposure flat (Flat 2, which was infiltrated by particles from Flat 1) and the last one was used for sampling the outdoor concentration. Two of the particle counters were TSI model P-Trak 8025. The third one was a TSI model CPC 3007, which was used for measurements in the outdoor air.

The P-Trak 8525 instrument enabled real-time measurement of particle number concentration and data collection. The particle detection range of the instrument was between 0.02 and about 1.0 μm . The CPC 3007 was similar to the P-Trak 8525 with data recording in the diameter range from 0.01 to about 1 μm [6].

The PFT technique (Per Fluorocarbon Tracer) was used to measure air change rates, air infiltration and air exfiltration in the apartments. The technique is a multiple tracer-gas method based on passive sampling. CO₂, temperature and relative humidity were recorded during the experiments. Possible solutions, such as placement of one or two electrostatic air cleaners (AC; CADR=240m³/h), were investigated for reduction of exposure concentration in Flat 1 and Flat 2.

RESULTS

Figure 2 illustrates an example of the measured concentration course for tobacco smoke in Flat 1 (source flat) and in Flat 2 (exposure flat). Two cigarettes were burned in Flat 1, one in the living room and one in the bedroom. Background concentration in Flat 2 was approx. 4.0E+09 p/m³ during the night of the measurement.

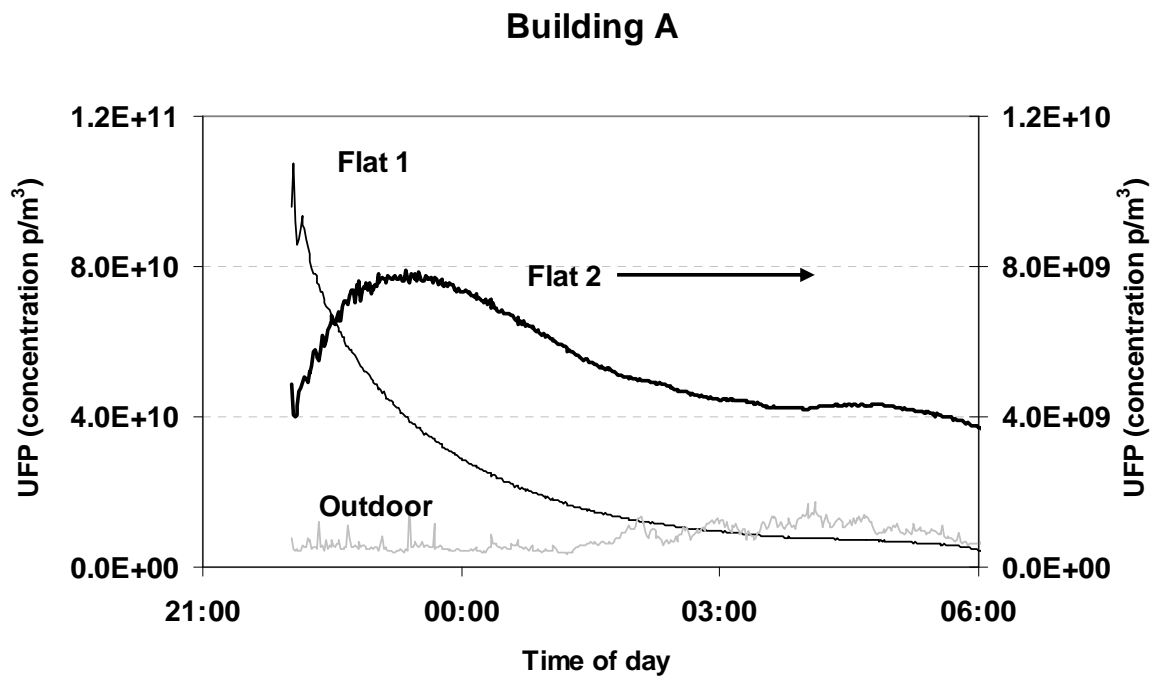


Figure 2. Measured concentration of UFP in Flats 1 and 2 and outdoors at Building A.

Figure 3 illustrates measured and calculated concentration of UFP in the exposure flat (Flat 2) in Building A. A mass balance model, previously applied to analysis of gaseous contaminant concentrations was used [7]. The basic assumptions that govern the model are that particles are perfectly mixed within Flat 2, i.e. the concentrations of particles are uniform throughout the whole volume.

$$c_{r(t)} = \frac{c_s \dot{V}}{\dot{V} + rV} + \frac{\dot{M}}{\dot{V} + rV} - \frac{\dot{V}}{\dot{V} + rV} \left[c_s + \frac{\dot{M}}{\dot{V}} - \frac{\dot{V} + rV}{\dot{V}} c_{r(0)} \right] e^{-\left[\frac{\dot{V}}{\dot{V} + rV} \right] \tau} \quad (1)$$

Where \dot{V} = air flow rate (m³/h), c_s = supply air concentration of UFP (p/m³), c_r = air concentration of UFP in flat (p/m³), V = flat volume (m³), r = particle removal rate (1/h). \dot{M} =

particle transfer from Flat 1 to Flat 2 $((p/m^3)*(m^3/h))$. \dot{M} was estimated by multiplying the UFP concentration in Flat 1 (the source flat) by the air leakage from Flat 1 to Flat 2.

Flat 2

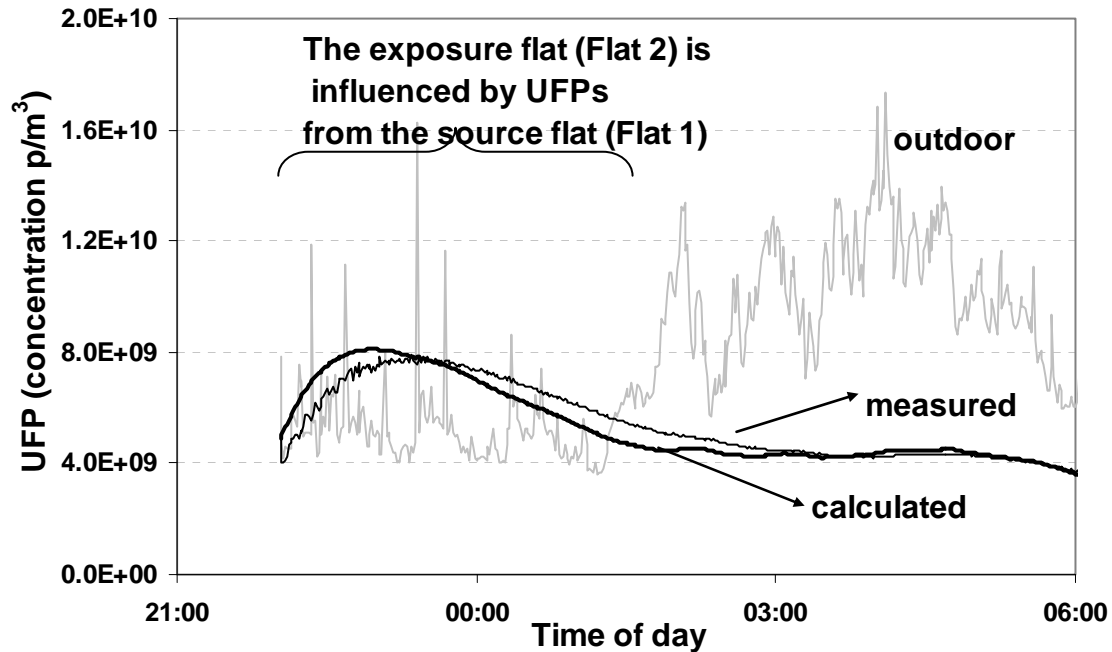


Figure 3. Results of measured and calculated of concentration of UFP in Flats 1 and 2 in Building A.

Tables 1 to 2 show the measured and calculated parameters of tobacco smoke in the exposure flat (Flat 2) in the Buildings A. Table 3 shows measured and calculated parameters for experiments with burning candles in Building B, C and D. It should be noted that Building B was a non-renovated building of exactly the same kind as Building A. Building C was recently partially renovated and Building D was recently completely renovated.

The second column in Tables 1 and 3 show the relative exposure in Flat 2, which means the percentage of UFP generated in Flat 1 that infiltrates Flat 2. The exposures in Flat 2 in Table 2 comprise infiltration inclusive reduction because of operation of the air cleaning devices.

The relative exposures in Flat 2 were obtained by expressing the total number of tobacco-related particles or candle related particles in Flat 2 as a percentage of the total number of particles measured in Flat 1 including background concentration. The total number of tobacco-related particles (or candle related particles) in Flat 2 was assessed as the area between two concentration curves calculated using equation 1. The first curve was calculated with consideration of particle transport by air leakage from Flat 1 to Flat 2. The second curve was calculated with the air leakage set to zero. Thus, the difference between these curves is an estimate of the particle transport from Flat 1 to Flat 2.

The third column shows removal rates of UFP in Flat 2. The removal rates are the sum of the deposition of particles on the inner surfaces of the rooms, removal by ventilation, and other sink mechanisms. The fourth column shows the air change rate in the Flat 2. The fifth column shows the air transfer due to leakage from Flat 1 to Flat 2. The air change rates and air transfer were set at weak mean values.

The rows 2 to 4 in Table 1 show data for successive experiments in Building A, where sources were placed in Flats 1, 4 and 3 respectively.

Table 1. Measured and calculated parameters of tobacco smoke in Flat 2 in Building A.

	Relative exposure(infiltration) in Flat 2 (%)	Removal of UFP in Flat 2 (1/h)	Air change rate in Flat 2 (1/h)	Leakage (m ³ /h)
From Flat 1 to Flat 2	8.6	0.9	0.41	14
From Flat 4 to Flat 2	1.8	1.5	0.41	5
From Flat 3 to Flat 2	1.1	1.4	0.41	5

Another aim of the study was to describe to what extent air cleaner devices and the different states of renovation of buildings would affect the transfer of UFP between two flats.

Table 2 shows measured and calculated parameters of tobacco smoke in Flat 2 in Building A. The experiments were carried out in Flat 1 and Flat 2 in Building A. Column 1 in Table 2 shows the location and number of air cleaners (AC) operated in Flat 1 and Flat 2.

Table 2. Measured and calculated parameters tobacco smoke in Flat 2 in Building A. With air cleaner (AC).

	Relative exposure (infiltration incl. reduction by AC operation)* (%)	Removal of UFP in Flat 2 (1/h)	Air change rate in Flat 2 (1/h)	Leakage (m ³ /h)
From Flat 1 to Flat 2 1 AC in Flat 1	5.0	1.0	0.41	15
From Flat 1 to Flat 2 1 AC in Flat 2	4.2	1.9	0.41	15
From Flat 1 to Flat 2 2 ACs in Flat 2	2.6	3.9	0.41	16

Table 3 shows that the test with burning candles gave a relative exposure of 2.6% in Building B. This is about 1/3 of the value obtained with tobacco smoke in Building B, which gave a relative exposure of 7.1%. However, the tests with tobacco smoke in Building A and Building B showed similar results, see Table 1.

Table 3. Measured and calculated parameters of burned candles in Flat 2 in Building B, C and D.

	Relative exposure(infiltration) in Flat 2 (%)	Removal of UFP in Flat 2 (1/h)	Air change rate in Flat 2 (1/h)	Leakage (m ³ /h)
From Flat 1 to Flat 2 Building B	2.6	2.7	0.74	10

From Flat 4 to Flat 2 Building C	0.3	4.4	0.92	2.3
From Flat 3 to Flat 2 Building D	0.7	1.5	0.36	5

DISCUSSION

There are various ways that smoke infiltrates from one flat to another. The air infiltration rate between two flats depends on the age, construction and tightness of the flat after renovation. A leaky flat exposes its occupants to pollution from surrounding flats, especially adjacent ones, and especially from smokers living in a flat below.

The results from the experiments in the two non-renovated buildings, A and B, indicated that 7-9% of the amount of UFP, generated by tobacco smoke in the source flat (Flat 1), infiltrated the flat located above (Flat 2), see Table 1.

The measurements with candle-burning in Building B, under the same test conditions as the tobacco smoke experiments, indicated an infiltration of 2-3% of UFP from Flat 1 to Flat 2, see Table 3. The difference in the infiltration rate of UFP has not been clarified but might depend on different characteristics of the particles generated by tobacco smoking compared with candle-burning.

It should be noted that the background concentration of UFP was $4.0E+09$ p/m³ during night time while it increased to approx. the double during day time.

The results from the example case (see Figures 1 and 2) showed that two cigarettes generated a mean value concentration of $2.2E+10$ p/m³ with a maximum concentration of $9.6E+10$ p/m³ in the source flat (Flat 1). The maximum concentration in the exposure flat (Flat 2) was somewhat less than 1/10 of that in Flat 1. The concentration declined to the background concentration after approx. 3 hours. Thus, occupants were exposed to a higher particle concentration compared with the background concentration during several hours.

Table 3 showed that the infiltration from the source flat (Flat 1) to the exposure flat (Flat 2) was lower in the renovated buildings, i.e. Buildings C and D compared with Buildings A and B which were non-renovated.

Technical solutions

The concentration of UFP in the exposure flat can be reduced by three different control methods; source control, ventilation control and use of portable air cleaning devices.

Source control: A smoke-free residential building is one of the remedial solutions suggested to private building owners, and it is known in several countries, including Sweden, Canada, USA and Norway.

In order to implement smoke-free residential buildings in public residential buildings, it is required to change the law or grant exemptions by the authorities. According to the law in Denmark, it is allowed to smoke tobacco in private homes.

Another method for reducing exposure to neighbour smoke is efficient sealing of the leaks in electrical outlets, cable or phone jacks, pipes (plumbing), cracks in walls and floors, etc. On

the other hand different types of building construction and different types of leaks and cracks require different sealing methods. The results in the present paper shows that renovation of the buildings reduced the infiltration of UFP from the source flat to the exposure flat, see Table 3. However, the project also aims to study more in detail the sealing-effect on the transfer of tobacco smoke between two flats. This part will be carried out during the winter of 2010.

Ventilation control: Ventilation reduces the concentration of pollutants by means of dilution in order to ensure an adequate indoor air quality. Generally, the air in a flat should be supplied to the bedrooms and living rooms and exhaust should take place from the bathrooms and kitchen. In a non-renovated building, like Building A, the ventilation system was natural i.e. there was no fan to exhaust the particles from the flats. The amount of air that enters a building with natural ventilation depends on the wind and the thermal effects occurring within the building. The air change rate in Building A was 0.41 h^{-1} and in Building B 0.74 h^{-1} . This project also aims to find the ventilation effect on the transfer of the tobacco smoke between two flats. This part will be carried out during the winter of 2010.

Portable air cleaning devices: Portable room air cleaners can be used to clean the air in a polluted room when continuous and localised air cleaning is needed. For air cleaning devices to be effective, the capacity of the air cleaner must match the ventilation rate of the room. This cleaning technology is useful when there is no opportunity to clean the supply air by filtration, i.e. buildings with a natural ventilation system or with an exhaust ventilation system. Consumers should also consider possible side effects such as noise and ozone generation, when considering using air cleaning devices.

Measurement and calculation in Building A showed that, when one air cleaner was placed in the source flat, the relative exposure in the exposure flat (receiving flat) was reduced from 8.6% (without air cleaner) to 5% (with air cleaner). However, operating an air cleaner in the source flat will reduce the exposure in the source flat, and the exposure in the receiving flat can be expected to decrease accordingly. Thus, it was expected that the relative exposure (the ratio of the exposure increase in the receiving flat to the exposure in the source flat) should remain unchanged. The reason for the deviation has not been clarified. However, when using an air cleaner in the source flat the concentration varied rapidly. The peak concentration was reached after 9 minutes and decreased to 10% of the peak concentration within 1.4 h. Without an air cleaner in the source flat the concentration changed more slowly; the concentration decay to 10% of the peak value lasted about 5 h. It is not likely that the particles will have had the time to spread well between the rooms in the source flat so probably, when using an air cleaner in the source flat the source is mainly limited to one room. The measurement may therefore have lead to an overestimation of the exposure in the source flat, since the concentration was measured in the same room as where the tobacco smoke was generated. An overestimation of the exposure in the source flat will lead to an underestimation of the relative exposure in the receiving flat. In the case without air cleaner the measured particle concentration probably reflected the average concentration in the source flat more accurately, due to the much slower concentration changes.

When two air cleaners were placed in the exposure flat, a double removal of the UFP was recorded. However, theoretically, the marginal effect of the second air cleaner should be less than observed, a factor of around 1.5 rather than 2. The deviation between theory and measurements may partly depend on a change of the ventilation rate between the measurement series.

CONCLUSIONS

The results indicated that:

- In the non-renovated buildings between 1% and 9% of the UFPs generated by tobacco smoking infiltrated to a neighbouring flat.
- The transfer (infiltration) was highest (about 9%) when the source flat was located below the receiving flat.
- The transfer was less (1-2%) when the source flat was on the same floor as, or above, the receiving flat.
- The UFP-transfer was lower in the renovated buildings than in the non-renovated buildings.
- When one air cleaner was used in the receiving flat in one of the non-renovated buildings, the exposure to the neighbour's tobacco smoke decreased from 9% to 4%. When using two air cleaners the exposure decreased further down to less than 3%.

ACKNOWLEDGEMENT

This study was supported financially by the Danish Ministry of the Interior and Social Affairs, the Danish Landowners' Investment Association (GI) and the National Housing Found (LBF), Denmark. The investigated buildings were found by the Housing Associations, Denmark. The project was also supported by the Swedish Research Council for Environment, Agricultural Sciences and Spatial Planning (FORMAS) Grant (242-2007-1583).

REFERENCES

1. Clemmensen, I.H., Bentzen, J., Vilhelm, B. et al, 2005. Passiv rygning, Hvidbog (in Danish), ISBN 87-766-289-1, Copenhagen.
2. Schneider, T., Jensen, K.A., Clausen, P.A. et al. 2004. Prediction of indoor concentration of 0.5-4 μm particles of outdoor origin in an uninhabited apartment, *Journal of Atmospheric Environment*, pp 6349-6359.
3. Özkaynak, H., Xue, J., Spengler, J.D., Wallace, L.A., Pellizzari, E.D. et al. 1996. Personal exposure to airborne particles and metals: results from the particle team study in riverside, CA. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 6, pp. 57-78.
4. Dockery D.W., Pope, C.A., Xu, X., Spengler J.D., et al (1993). An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N. Engl. J. Med.* 329:1753-1759.
5. Ekberg, L.E., Shi, B., 2009. Removal of ultrafine particles by ventilation air filters, *Proceeding of Health Buildings 2009*, Paper 97, Syracuse, US.
6. Matson, U., Ekberg, L.E., Afshari, A. 2004. Measurement of ultrafine particles: A Comparison of two handheld condensation particle counters. *Journal of Aerosol Science and Technology*, 38:487-495.
7. Ekberg, L.E. 2003: Indoor Climate Modelling. In: Per Erik Nilsson (ed.), *Achieving the desired indoor climate: Energy efficiency aspects of system design*. pp 91-112. Studentlitteratur, Lund, Sweden.

Artikel VI

Technical solutions for reducing indoor residential exposures to ultrafine particles from second-hand cigarette smoke infiltration.

Alireza Afshari ; Siamark Rahimi Ardkapan; Niels C. Bergsøe; Matthew S. Johnson.

Paper presented at Indoor Air 2011, Austin, TX, USA.

Technical solutions for reducing indoor residential exposures to ultrafine particles from second-hand cigarette smoke infiltration

Alireza Afshari^{1*}, Siamak Rahimi Ardkapan¹, Niels C. Bergsøe¹, Matthew S. Johnson²

¹Danish Building Research Institute, Department of Energy and Environment

²Copenhagen University, Copenhagen Center for Atmospheric Research

*Corresponding email: ala@sbi.dk

SUMMARY

An emerging public issue in Denmark is passive smoking in residential environments where non-smokers are exposed to harmful smoke from their neighbours. There are various ways that smoke infiltrates one flat from another. The air infiltration rate between two flats in a multi-storey building depends on the construction, tightness and age of the building. Earlier results from this project showed that, in the most critical cases, the transfer of ultrafine particles was about 9% when the source flat was located below the receiving flat. The purpose of the present study was to identify the ways in which smoke infiltrates from one flat to another and also to examine technical solutions for preventing or reducing infiltration of ultrafine particles from the source flat to the receiving flat. One of the technical solutions examined was sealing of the floor in the receiving flat. The study was carried out in the field in a multi-storey building and cardboard and plastic foil of polyethylene were used for sealing the entire wooden floor in the receiving flat. Another technical solution examined was a novel air circulating ductwork. The efficiency of the novel air circulating ductwork was examined by investigating the removal of ultrafine particles from a lit cigarette in a laboratory environment. The results showed that in the case where the receiving flat was sealed, the concentration of particles in the receiving flat was non-correlated with (or independent of) the emission of particles in the source flat. The test of the air circulating ductwork showed that the removal efficiency ranged from approx. 30% to 60% after 10 minutes, i.e. when the cigarette had burned out.

IMPLICATIONS

A number of non-smokers in residential buildings in Denmark are concerned that they may be exposed to gases and particles transferred from a neighbouring smoker. There is an urgent need for technical solutions that can reduce indoor exposures to ultrafine particles from second-hand tobacco smoke infiltration. This study proposed two technical solutions for reducing indoor ultrafine particle concentrations.

KEYWORDS

Second-hand smoke, cigarette, ultrafine particles, in-duct air cleaner, sealing

INTRODUCTION

Occupants living in multi-unit dwellings are worried when unwanted gases and particles infiltrate their flats from smoking neighbours. Second-hand cigarette smoke (SHS) and particle exposure in flats in multi-unit dwellings are considered harmful among non-smokers (Brink, and Clemmensen, 2007). During recent years investigations have indicated a possible relation between exposure to ultrafine particles (UFP) and human health (Bräuner, et al. 2007).

There are various ways in which smoke is transferred from one flat to another. Some of the common openings where smoke infiltrates from a smoker's flat to a non-smoker's flat include electrical outlets, cable or phone jacks, pipes (plumbing), cracks in walls, floors etc. The earlier results of this project showed that, in the most serious cases, the transfer of UFP was about 9% when the source flat was located below the receiving flat (Afshari et al. 2010). The transfer of UFP was 1-2% when the source flat was on the same floor as, or above, the receiving flat. In addition, the results also showed that when a single air cleaner was used in the receiving flat, the exposure to the neighbour's cigarette smoke decreased from 9% to 4%. When using two air cleaners, the exposure further decreased to below than 3%.

The aim of this study was to explain how smoke is transferred from one flat to another and also to examine two technical solutions for preventing or reducing infiltration of UFP from the source flat to the receiving flat.

METHODS

Identification of the ways of infiltration and sealing solutions

This part of the study was carried out in a residential building, which was 85 years old. The receiving flat (Flat 2) was placed immediately above the source flat (Flat 1). Flat 1 was occupied and Flat 2 was unoccupied. The study was conducted in the winter of 2010 while no other indoor activities took place in either of the flats during the measurements.

Identification of ways of air and smoke transfer were carried out using a fan pressurisation method (Blower door technique) in which a fan was used to create a steady-state pressure difference of 50 Pa across the envelope of Flat 2. The measurements were carried out before and after sealing of the floor of Flat 2. In order to measure the resultant airflow and pressure, Flat 2 was pressurised and subsequently depressurised. In addition, thermography was used when Flat 2 was depressurised. The entire wooden floor of the living room and two bedrooms of Flat 2 were sealed using cardboard (500 g/m^2) and plastic foil of polyethylene (0.2 mm). The plastic foil was pulled up above the skirting boards and attached to the wall by crepe tape. The floor of the hall and kitchen was already covered with Poly Vinyl Chloride (PVC), and therefore not with cardboard and plastic foil. The doors of the flats were closed and the letter box opening in the front door was sealed using crepe tape. All water traps in the kitchen, bathroom and toilet were filled with water.

In addition to the above-mentioned measurements, the transfer of UFP from Flat 1 to Flat 2 was quantified before and after sealing Flat 2. The air change rates and the indoor particle concentrations were measured continuously during the measuring periods. The particle sources (particle generating activities) were cigarette-burning in Flat 1. Two cigarettes were burned for approx. 10 minutes each in Flat 1. The UFP concentrations were monitored by means of three condensation particle counters (Afshari et al., 2010).

Air circulating ductwork

An air circulating ductwork was investigated in a laboratory environment as a possible solution for reducing exposure to UFP from cigarette smoke. The system consists of an ozone generator, 8 units emitting ultraviolet light (UV-light), an electrostatic precipitator and an ozone filter. In order to understand the effect of the different parts of the device for removing UFP, TVOC and ozone, 6 scenarios of measurements were carried out.

Scenario 1: The air cleaning device was used as it was designed to operate in the ductwork.
Scenario 2: The air cleaning device was used like in Scenario 1 during the first 10 minutes when the cigarette was burned. Then the ozone generator was turned off until the UFP concentration reached its initial level (background level) and then it was turned on again.
Scenario 3: The air cleaning device was used like in Scenario 1 during the first 10 minutes when the cigarette was burned. Then the ultraviolet lights were turned off until the UFP

concentration reached its initial level (background level) and it was turned on again. Scenario 4: The air cleaning device was used like in Scenario 1 during the first 10 minutes when a cigarette was burned, i.e. after approx. 10 minutes the electrostatic precipitator was turned off. Scenario 5: The air cleaning device was used like in Scenario 1, however in this scenario the electrostatic precipitator was turned off from the beginning to the end of the measurement. Scenario 6: The air cleaning device was used like in Scenario 1 with the exception that the UV-light and the ozone generator were turned off from the beginning of the measurement. When the cigarette was burned and the concentrations of particles reached its initial level, the UV-light and ozone generator were turned on.

The UFP concentration and TVOC were measured both in the supply air and the exhaust air of the air cleaning device. A burned cigarette was used as a source of particles and TVOC. The UFP concentrations were monitored by means of two condensation particle counters, i.e. TSI model P-Trak 8025. and TSI model CPC 3007. The concentrations of TVOC were monitored by means of two gas-analyser i.e. INNOVA type 1312 and Brüel & Kjær, type 1302.

RESULTS

Identification of the ways of infiltration and sealing solution

Table 1 shows the results of pressurising and depressurising Flat 2 with and without sealing.

Table 1. Airflow with fan pressurisation of Flat 2 with and without sealing.

	Airflow infiltration from Flat 1 to Flat 2 (with sealing)	Airflow infiltration from Flat 1 to Flat 2 (with sealing)	Airflow infiltration from Flat 1 to Flat 2 (without sealing)	Airflow infiltration from Flat 1 to Flat 2 (without sealing)
Units	l/s at 50 Pa	l/s, m ² at 50 Pa	l/s at 50 Pa	l/s, m ² at 50 Pa
Pressurising of Flat 2	342 (± 0.5%)	5.34	405 (± 0.5%)	6.32
Depressurising of Flat 2	319 (± 0.5%)	4.99	361 (± 0.9%)	5.65
Calculated average values	330.5	5.17	383	5.98

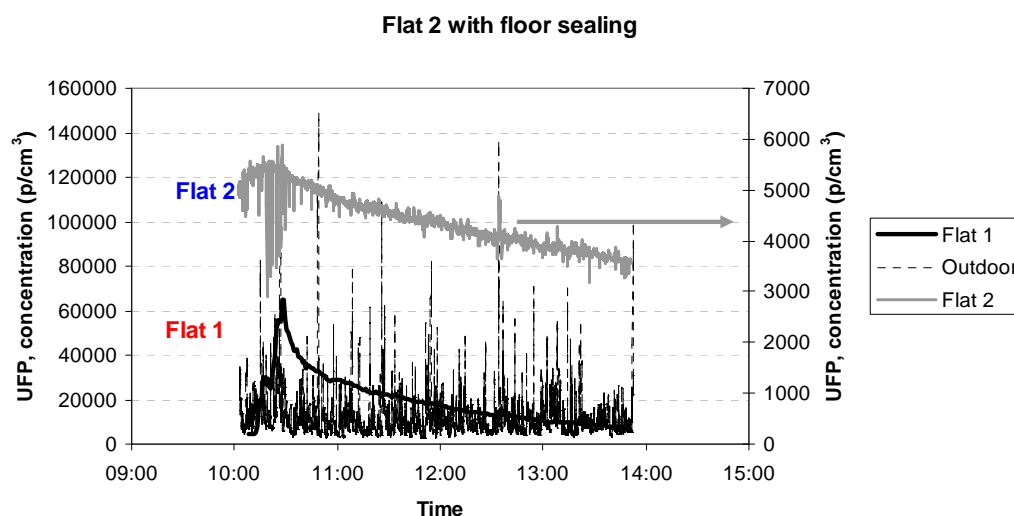


Figure 1. Measured UFP concentration in Flats 1 and 2 and outdoors after sealing the floor of Flat 2.

The results of the thermographic photos showed that there were many leakages in Flat 2. The leakages were paths to Flat 1 as well as to the outdoors. Most of the leakages were at the junction between walls and floors. There were also leakages through the floor of Flat 2.

The infiltration was calculated according to a mass balance model, previously applied to analysis of gaseous contaminant concentrations [3]. The basic assumptions governing the model are that particles are perfectly mixed within Flat 2, i.e. the concentrations of particles are uniform throughout the whole volume. The results of the measurements of particle concentrations showed that the UFP transfer was about 1% when Flat 2 was not sealed. In the case when Flat 2 was sealed, no increase of the concentration of particles in Flat 2 was detected.

Air circulating ductwork

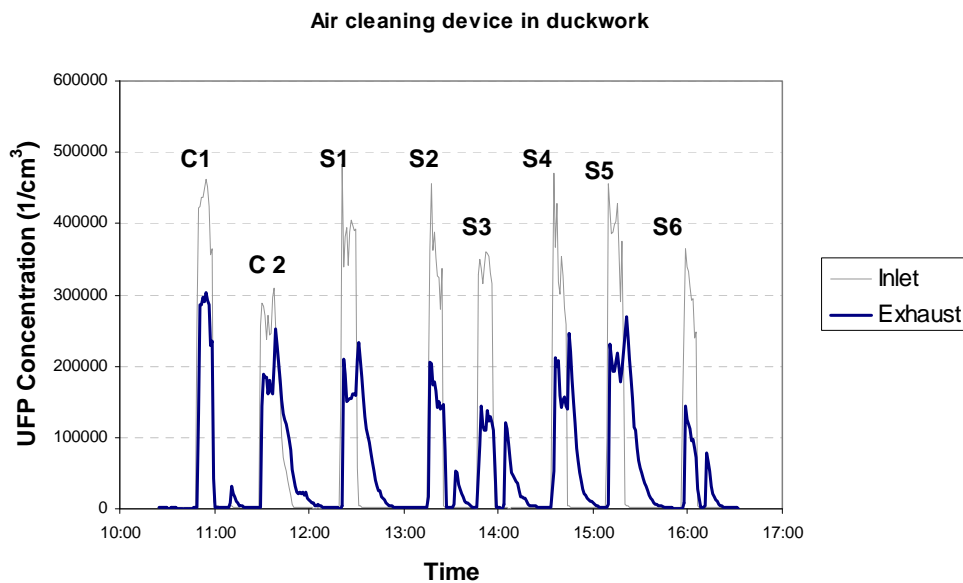


Figure 2. Measured UFP concentrations generated by cigarette in the inlet air and in the exhaust air of the air cleaning device.

Figure 2 illustrates the course of measured UFP concentrations of cigarette smoke in the inlet air and exhaust air of the air cleaning device tested in the laboratory environment. C1 means calibration of all instruments in the inlet air of the air cleaning device including two condensation particle counters and two TVOC instruments. C2 means calibration of all instruments in the exhaust air of the air cleaning device. The calibrations were used for calculating the concentration of UFP and TVOC. S1 to S7 stands for Scenario 1 to Scenario 7, described in detail above in section Methods. The results of TVOC concentrations showed a pattern similar to that of the UFP concentrations. The outdoor concentration was not measured, since it had the same influence on inlet and exhaust concentrations.

DISCUSSION

Air circulating ductwork

Ventilation reduces the concentration of pollutants by means of dilution. Generally, in a flat air should be supplied to bedrooms and living rooms and extract should be from bathrooms and kitchen. This can be effectively achieved if the building is equipped with a mechanical ventilation system. In Denmark the energy consumption for climatization of buildings make up almost 40 % of the total energy consumption. One possibility of reducing energy consumption could be to enhance control of air-conditioning and ventilation rates in relation

to the actual needs, i.e control-on-demand air handling system in residential buildings. A practical application is to investigate the possibility of using air recirculation together with air cleaners as a technical solution to improve IAQ while reducing the outdoor air supply and hence energy consumption for ventilation. In the present study a novel air cleaning technology was tested in a ductwork.

Table 2. Calculation of UFP removal efficiency from cigarette smoke.

Calculated UFP removal after burning a cigarette (%)	Scenarios explained
39.98	<i>S1</i> ; All parts work continuously
44.99	<i>S2</i> ; Turned off ozone generator after burning of a cigarette
58.67	<i>S3</i> ; Turned off UV lights after burning of a cigarette
46.81	<i>S4</i> ; Turned off electrostatic precipitator after burning of a cigarette
29.75	<i>S5</i> ; Turned off electrostatic precipitator from the beginning of the measurement
60.04	<i>S6</i> ; Turned off UV light and ozone generator from the beginning of the measurement

The air cleaning system consisted of four main parts, 8 ultraviolet lights, an ozone generator, an electrostatic precipitator and an ozone filter. In order to understand the effects of the different parts of the device for removing ultrafine particles (UFP), TVOC and ozone, 6 scenarios of measurements were carried out. Table 2 shows the calculation of UFP removal efficiencies of the cleaning system in 6 different scenarios. In all scenarios, a cigarette was placed at the inlet of the system and was left burning for 10 minutes. The second column in Table 2 shows the UFP removal efficiency after burning a cigarette, i.e. 10 minutes after the start of the measurement in each scenario.

The percentage of UFP removal efficiencies in Table 2 was calculated by subtracting the calculated area under the curve (Figure 1) for inlet concentration and the calculated area under the curve (Figure 1) for exhaust concentration, divided by the calculated area under the curve (Figure 1) for inlet concentration multiplied by 100. The results from Scenario 1 to Scenario 4, which had similar operation conditions during the first 10 minutes of the measurements, showed that the UFP removal efficiency ranged from approx. 30% to 60% after 10 minutes, i.e. when the cigarette had burned out. In Scenario 5 where the electrostatic precipitator was turned off from the beginning of the measurement, the UFP removal efficiency was approx. 30%. In Scenario 6, where both the UV-light and the ozone generator were turned off from the beginning of the measurement, the UFP removal efficiency was approx. 60%.

In addition, the results from Scenario 2 and Scenario 3 showed that when the ozone generator and the UV lights were turned on again the concentration of UFP increased. The same phenomenon was observed when the UV light was turned on again in Scenario 6. The reason was that cigarette smoke generated not only particles but also chemical substances in the system. During the first 10 minutes a lot of chemical substances might be adsorbed on the surfaces of the system, since the airflow and the supplied ozone were not able to remove all chemical substances. The ozone supplied to the system reacted with the chemical substances and generated new UFPs. The same phenomenon was seen in the case where UV light was turned on again, since the ozone photolysis by UV light leads to production of the hydroxyl radical OH and consequently leads to the removal of hydrocarbons from the air and also

generation of UFPs. To clarify the phenomenon further investigations are needed in this research area.

Identification of the ways of infiltration and sealing solutions

In an old and non-renovated building, like the building in the present study, the ventilation system is based on natural ventilation i.e. there is no fan to extract the particles from the flats. There are various ways that smoke is transferred from one flat to another. The air transfer rate between two flats depends among other things on the age, construction and tightness of the flat. The results of the fan pressurisation method (Blower door) of Flat 2 with and without sealing showed that the sealing of the floor of Flat 2 reduced the infiltration by air by 16%. The results of the measurement of particle concentration showed that the transfer of UFP was about 1% when the source was located in Flat 1 and Flat 2 was not sealed. Figure 2 shows the UFP concentration in Flat 1, Flat 2 and the outdoor concentration. In the case where Flat 2 was sealed, the concentration of particles in Flat 2 did not increase. There could be three reasons why the UFP concentrations in Flat 2 did not increase. One possibility was that the infiltration of particles before sealing was only 1%. The second reason could be that the sealing materials on its own reduced the amount of particles that infiltrated Flat 1 from Flat 2. The third reason could be that the infiltrated particles to Flat 2 deposit on the plastic surface in the Flat 2.

CONCLUSIONS

The thermographic photos showed that there were many leakages in Flat 2. The leakages were paths to Flat 1 and to the outdoors. Most of the leakages occurred at the junction between walls and floors. There were also leakages through the floor of Flat 2. The fan pressurisation method (Blower door) of Flat 2 with and without sealing showed that the sealing of the floor of Flat 2 reduced the infiltration by the air by 16%. The test of air circulating ductwork showed that the UFP removal efficiency ranged from approx. 30% to 60% after 10 minutes, i.e. when the cigarette was burned. In addition the results showed that ozone generated by an ozone generator and UV light reacted with chemical substances adsorbed on the surfaces of the system and consequently generated ultrafine particles.

ACKNOWLEDGEMENT

This study was supported financially by the Danish Ministry of the Interior and Social Affairs, the Danish Landowners' Investment Association (GI) and the National Housing Found (LBF), Denmark. The measurement of the air tightness of the flat was carried out by Bygge- og Miljøteknik A/S.

REFERENCES

- Alireza Afshari, Bingbing Shi, Niels Christian Bergsøe, Lars Ekberg, Tord Larsson (2010). Quantification of Ultrafine Particles from Second-Hand Tobacco Smoke Infiltration in Flats. In Sustainable Energy Use in Buildings Clima 2010, REHVA World Congress 10, Antalya, Turkey, 09.05.2010-12.05.2010: Proceedings cd-rom. 8 p.
- Brink, A.L. and Clemmensen, I. H. (2007). Passiv rygning, Hvidbog (in Danish), The Danish Cancer Society, ISBN 87-766-289-1, Copenhagen.
- Elvira Vaclavik Bräuner. Peter Møller. Lykke Forchhammer, Lars Barregaard, Lars Gunnarsen, Alireza Afshari, Peter Wåhlin, Marianne Glasius, Lars Ove Dragsted, Samar Basu, Ole Raaschou-Nielsen and Steffen Loft, (2007). "Indoor Particles Affect Endothelial Function in the Elderly: An Air Filtration-based Intervention Study", American Journal of Respiratory Critical Care Medicine, Vol. 177, pp. 419 – 425.

Kort informativ sammenfatning af projektets resultater og konklusioner

Indledning

Passiv rygning på grund af luftoverføring mellem lejligheder, såkaldt naborøg, er en vigtig sag for mange beboere i etageboliger. Ingen ønsker at blive udsat for lugt og skadelige partikler fra andres tobaksrygning. Der er (byggetekniske) grunde til at antage, at problemet med naborøg især gælder ældre etageboliger. Luft kan blive overført fra én lejlighed til en anden gennem revner i vægge og gulve eller gennem kabelrør, stikkontakter, rør-gennemføringer for vand og varme etc. Desuden kan luft blive overført via trappeopgangen.

Det, som folk generes af og som opfattes som lugt i forbindelse med tobaksrøg, er en kombination af gasformige forureninger og partikler. Dette projekt har fokuseret på partikler, og projektets konklusioner vedrører alene partikelforurening. Gasformige forureninger undersøges i igangværende projekter, og når projekterne er gennemført, vil der foreligge grundlag for yderligere information om tætning af etageadskillelser.

Resumé

Statens Byggeforskningsinstitut, SBI, har gennemført et projekt om naborøg og overførsel af partikelforurening mellem lejligheder. Projektet er gennemført med støtte fra Indenrigs- og Socialministeriet (nu Ministeriet for By, Bolig og Landdistrikter), Grundejernes Investeringsfond og Landsbyggefonden, og det havde til formål at undersøge forskellige metoder til at reducere overførslen af luft mellem lejligheder, så risikoen for at blive udsat for passiv rygning nedbringes, og så boligernes luftkvalitet forbedres.

Gennem målinger og beregninger er såvel overførelsesluften mellem lejligheder som risikoen for overførsel af partikelforurening kvantificeret. Desuden er det identificeret, hvordan røg overføres fra én lejlighed til en anden. Endvidere er tre tekniske løsninger til forebyggelse eller reduktion af overførslen af ultrafine partikler fra en kildelejlighed til en eksponeringslejlighed undersøgt. Kildelejligheden var lejligheden, hvori partiklerne genereredes, mens eksponeringslejligheden var lejligheden, hvortil partiklerne fra kildelejligheden overførtes. To af de løsninger blev undersøgt i et antal udvalgte lejligheder, og én af løsningerne blev undersøgt i laboratoriet.

Målsætning

Projektets idé var at undersøge luftoverføring i renoverede og ikke-renoverede lejligheder for at afklare, om der var typiske problemstillinger vedrørende ventilation og lufttæthed, herunder at bekræfte at en del af ventilationsluften overføres fra andre lejligheder, trapper og lignende. På baggrund af undersøgelserne blev udvalgte tekniske løsninger afprøvet i nogle lejligheder, hvor denne type af problemer har vist sig.

Projektet havde til formål at undersøge, om der i etageboligbebyggelser er typiske problemstillinger vedrørende ventilation og lufttæthed, som kan have

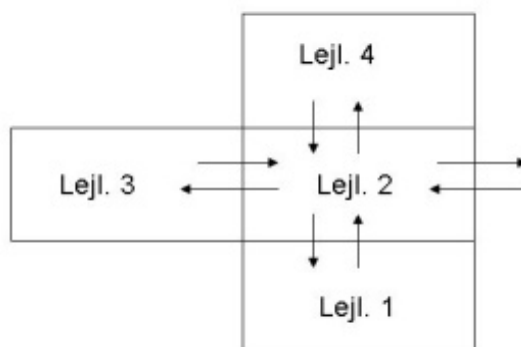
indflydelse på luftoverføring mellem lejligheder. Desuden blev det i projektet undersøgt, om en del ventilationsluften i en lejlighed er overført fra andre lejligheder eller fra trappen. Endelig blev udvalgte tekniske løsninger til modvirkning af naborøg afprøvet i nogle lejligheder.

Metoder

Projektet blev udført i samarbejde mellem SBI som projektleder og fire boligforeninger i Københavns Kommune. Desuden har Københavns Universitet, Center for atmosfæreforskning og Chlamers tekniska högskola, Installations teknik, Göteborg været involveret i dele projektets forskellige faser.

Ved undersøgelserne i ikke-renoverede bygninger indgik fire lejligheder, som vist i princip i figur 1. Lejlighed 1 var en kildelejlighed og øvrige lejligheder var eksponeringslejligheder. Ved undersøgelserne i øvrige bygninger anvendtes kun to lejligheder; lejlighed 1 som kildelejlighed og lejlighed 2 som eksponeringslejlighed, jf. figur 1.

Figur 1. Skitse af en komplet unit.



Projektet var opdelt i to faser:

Den første fase bestod i at udvælge lejligheder i bygninger, som er bygget mellem 1850-1940. Der blev udvalgt 20 etageboliger i 7 bygninger. I dette dokument præsenteres resultaterne af målinger i 5 bygninger. De udvalgte lejligheder var beliggende i to ikke-renoverede og tre renoverede bygninger. Der gennemførtes løbende målinger af ultrafine partikler, temperatur, luftfugtighed og CO₂ over en uge. Luftoverførsel og overførsel af partikler fra cigaretrøg blev målt i perioder i hver bolig.

Projektets anden fase bestod i at undersøge tre tekniske løsninger til modvirkning af naborøg. Én type luftrenser blev afprøvet i fire bygninger; to ikke-renoverede og to renoverede. I en renoveret bygning blev en forseglingsmetode afprøvet, og endelig blev en teknisk løsning med et særligt luftrensende kanalsystem afprøvet i København Universitets laboratorium..

Resultater

Tabel 1 til 3 viser målte og beregnede parametre af cigaretrøg i eksponeringslejlighederne.

Tabel 1. Beregnet eksponering og målt luftskift i eksponeringslejligheden i bygning A. Bygning A var ikke renoveret.

	Eksponering (Infiltration) i lejl.2 (%)	Luftskifte i lejl. 2 (1/h)
Fra lejl.1 til lejl.2	8,6	0,41
Fra lejl.4 til lejl.2	1,8	0,41
Fra lejl.3 til lejl.2	1,1	0,41

Tabel 2. Beregnet eksponering og målt luftskift i eksponeringslejligheden i bygning A. Bygning A var ikke renoveret. Med luftrensere.

	Eksponering (Infiltration inkl. reduktion ved drift af AC) (%)	Luftskifte i lejl. 2 (1/h)
Fra lejl.1 til lejl.2 1 AC i lejl.1	5,0	0,41
Fra lejl.1 til lejl.2 1 AC i lejl.2	4,2	0,41
Fra lejl.1 til lejl.2 2 AC i lejl.2	2,6	0,41

1) Infiltration fra lejlighed 1 til lejlighed 2 uden anvendelse af AC er 8,6 %, jf. tabel 1.

Tabel 3. Beregnet eksponering og målt luftskift i eksponeringslejlighed i bygning B, D og E. Bygning B var ikke renoveret, bygning D almindelig renoveret og bygning E total-renoveret.

	Eksponering (Infiltration) i lejl.2 (%)	Luftskifte i lejl. 2 (1/h)
Fra lgh.1 til lejl.2 Bygning B	2,6	0,74
Fra lgh.1 til lejl.2 Bygning D	0,3	0,92
Fra lgh.1 til lejl.2 Bygning E	0,7	0,36

Første kolonne i tabel 1 og 3 viser eksponeringen, dvs. den procentvise andel af de ultrafine partikler, der blev genereret i kildelejligheden, og som blev overført til eksponeringslejligheden.

Eksponeringen, som vises i første kolonne i tabel 2, omfatter overførsel inklusive den reduktion, som skyldes drift af luftrensere (AC = Air Cleaners = luftrensere).

Resultaterne viser, at i de mest kritiske tilfælde var overførslen af ultrafine partikler cirka 9 %, når eksponeringslejligheden lå over kildelejligheden. Overførslen af ultrafine partikler var 1-2 %, når kildelejligheden var på samme etage som, eller over, eksponeringslejligheden. Desuden viser resultaterne, at med en aktiv luftrenser i kildelejligheden, blev overførslen af ultrafine partikler reduceret fra ca. 9 % (uden luftrensere) til ca. 5 % (med luftrenser). Resultaterne viser også, at i eksponeringslejligheden er effekten af luftrenseren uafhængig af, om den anbringes i eksponeringslejligheden eller i kildelejligheden.

Tabel 4 viser resultaterne af tæthedsmålingerne i eksponeringslejligheden med og uden tætning. Resultaterne viser, at tætningen reducerer luftstrømmen med 16 %.

Tabel 4. Tæthedsmålinger i eksponeringslejligheden med og uden tætning.

	Luftstrøm gennem utætheder			
	(Med tætn.)	(Med tætn.)	(Uden tætn.)	(Uden tætn.)
Enheder	l/s ved 50 Pa	l/(s, m ²) ved 50 Pa	l/s ved 50 Pa	l/(s, m ²) ved 50 Pa
Overtryk	342 (± 0.5%)	5.34	405 (± 0.5%)	6.32
Undertryk	319 (± 0.5%)	4.99	361 (± 0.5%)	5.65
Middelværdier	330.5	5.17	383	5.99

Koncentrationen af ultrafine partikler blev målt i kildelejligheden, i eksponeringslejligheden og udendørs, før gulvet i eksponeringslejligheden blev forseglet. Beregninger viser, at overførslen af ultrafine partikler fra kildelejlighed til eksponeringslejlighed var omkring 1 %. Resultatet af undersøgelserne viser, at efter tætningen var koncentrationen af partikler i eksponeringslejligheden uafhængig af genereringen af partikler i kildelejligheden.

Afprøvningerne af et særligt luftrensende kanalsystem blev gennemført ved seks forskellige driftssituationer, betegnet S1 – S6.

Tabel 5. Beregning af tilbageholdelse af ultrafine partikler.

Scenario	Beregnet tilbageholdelse af ultrafine partikler (%)
S1: Alle dele arbejder kontinuerligt	40
S2: Slukket ozongenerator efter afbrænding af en cigaret	45
S3: Slukket UV-lys efter afbrænding af en cigaret	59
S4: Slukket elektrostatiske filter efter afbrænding af en cigaret	47
S5: Slukket elektrostatiske filter fra begyndelsen af målingen	30
S6: Slukket UV-lys og ozongenerator fra begyndelsen af målingen	60

Den første kolonne i tabel 5 er en kort beskrivelse af de forskellige scenarier/driftssituationer. Den anden kolonne i tabel 5 viser beregnede tilbageholdelsesgrader af ultrafine partikler. I alle driftssituationer var en cigaret placeret ved indgangen af systemet. Cigaretten blev efterladt brændende i cirka 10 minutter.

Resultaterne af driftssituation S1 til S4, som havde samme betingelser de første 10 minutter viste, at tilbageholdelsesgraden af ultrafine partikler varierede mellem ca. 30 % og 60 % efter cirka 10 minutter, dvs. når cigaretten var brændt ud.

I driftssituation S5, hvor det elektrostatiske filter var slukket fra begyndelsen, var tilbageholdelsesgraden ca. 30 %, og i driftssituation S6, hvor både det elektrostatiske filter og ozongeneratoren var slukket fra begyndelsen, var tilbageholdelsesgraden ca. 60 %.

Konklusion

Resultaterne viser, at ved denne undersøgelse var placering af en luftrensere i eksponeringslejligheden lige så effektiv, som hvis luftrenseren havde været placeret i kildelejligheden. Anvendelse af to luftrenserer i eksponeringslejligheden, medførte en fordobling af fjernelsen af ultrafine partikler.

Isolering af et kilderum i kildelejligheden har stor betydning for spredning af cigaretrøg til andre rum. Isoleringen antages at have tilsvarende betydning for rensning af luft i eksponeringslejligheden.

Tætningsundersøgelsen viste, at der var mange utætheder i eksponeringslejligheden. De fleste utætheder forekom i overgangen mellem væg og gulv, men også selve etageadskillelsen rummer utætheder. Resultaterne af tæthedsmålingerne med og uden tætning af gulvet viste, at i dette tilfælde blev overførslen reduceret med 16 %. Metoden skal videreudvikles og afprøves yderligere, før det er muligt at anbefale metoden, men der er efter alt at dømme vigtige udviklingspotentialer i metoden.

Resultaterne fra det luftrensende kanalsystem viste, at tilbageholdelsesgraden af ultrafine partikler varierede mellem ca. 30 % og 60 %. Luftrenserteknologien er under stadig udvikling for at forbedre systemets ydeevne og den praktiske anvendelse i indeklimaet. Det vil være nødvendigt at foretag detaljerede undersøgelser af teknologier baseret på anvendelse af UV-lamper, ozongenerator, elektrostatiske filter og ozonfilter for at sikre systemets funktionssikkerhed.

Hvordan imødegås eksponeringen

Utætheder i etageadskillelser medfører risiko for at tobaksrøg spredes mellem lejligheder. Afhængig af vindforholdene og indregulering af det mekaniske udsugningssystem forekommer der ofte trykforskelle mellem lejligheder, som medfører luftbevægelse og spredning af tobaksrøg. En anden almindelig spredningsvej er via entrédøre til trappeopgangen, hvor der på grund af de termiske drivkræfter opstår en lufttransport fra lejlighed til trappeopgang i de nedre etager, og fra trappeopgang til lejligheder i de øvre etager.

- Den almindelige løsning, når der forekommer forureninger i indeluft, er at fjerne forureningskilden.
- I etageboliger bør der ikke forekomme spredning af forurening mellem lejligheder.
- Risikoen for spredning af tobaksrøg kan mindskes, ved at rygning sker i køkkenet med lukket dør og tændt udsugningsventilator/emhætte.
- Ved brug af luftrenserer i kildelejligheder skal renseren placeres nær kilden for at opnå den største effekt.
- Effekten af at anvende luftrenserer afhænger af forholdet mellem luftmængden, som luftrenseren behandler, og ventilationen i lejligheden eller i rummet, hvor luftrenseren anbringes.

- De fleste luftrensere reducerer koncentrationen af partikler, mens koncentrationen af gasser kun reduceres i særlige luftrensere, fx udrustet med kulfilter.
- Kortvarig og kraftig ventilation giver mere effektiv luftudskiftning end at have et vindue permanent på klem.
- Hvis der i lejligheden er mekanisk udsugning, kan funktionen kontrolleres ved at holde et stykke papir op foran udsugningen i bad og køkken. Suges papiret fast, fungerer ventilationen.
- Hold så vidt muligt udeluftventilerne åbne.
- Luftoverføring mellem lejligheder afhænger af over- og undertryk i lejlighederne og af utætheder i ventilationskanaler samt i huset. Tætningsmetoder kan anvendes, men det er vigtigt at alle lækager tættes.

Naborøg er et problem for mange, der bor i etageejendomme. Beboerne er generet af lugt og partikler fra andres tobaksrygning.

Statens Byggeforskningsinstitut har gennemført en undersøgelse, der viser, hvordan overførelsesluften, og dermed risikoen for overførelse af partikelforurening fra én lejlighed til en anden, foregår. På den baggrund præsenteres tekniske løsninger, som kan forebygge eller mindske overførelsen af ultrafine partikler fra en kildelejlighed til en eksponeringslejlighed.

I rapporten er desuden gengivet seks artikler, der er skrevet på baggrund af resultaterne fra projektet.

1. udgave, 2012

ISBN 978-87-92739-08-7