



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY  
DENMARK

## Overføring af ultrafine partikler og luft mellem to etageadskilte lejligheder

Gunner, Amalie; Ardkapan, Siamak Rahimi; Afshari, Alireza; Bergsøe, Niels Christian

*Published in:*  
H V A C Magasinet

*Publication date:*  
2012

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*  
Gunner, A., Ardkapan, S. R., Afshari, A., & Bergsøe, N. C. (2012). Overføring af ultrafine partikler og luft mellem to etageadskilte lejligheder. *H V A C Magasinet*, 48(12), 18-28. <http://techmedia.swiflet.com/tm/hvac/76/1/>

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Overføring af ultrafine partikler og luft mellem to etageadskilte lejligheder





# Overføring af ultrafine partikler og luft mellem to etageadskilte lejligheder

Amalie Gunner  
Siamak Rahimi Ardkapan  
Alireza Afshari  
Niels Christian Bergsøe

Titel	Overføring af ultrafine partikler og luft mellem to etageadskilte lejligheder
Serietitel	SBi 2012:13
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2012
Forfattere	Amalie Gunner, Siamak Rahimi Ardkapan, Alireza Afshari, Niels Christian Bergsøe
Sprog	Dansk
Sidetæl	14
Litteratur-henvisninger	Side 14
Emneord	Naborøg, etageboliger, gasser, ultrafine partikler, tætningsmetode, cigaretrøg, ventilation, luftforurening
ISBN	978-87-92739-14-8
Omslag	Én af de fire cigaretter der var anbragt samtidig i kildelejligheden (Foto Amalie Gunner).
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet Dr. Neergaards Vej15, DK-2970,Hørsholm E-post sbi@sbi.aau.dk www.sbi.dk

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven.

# Indhold

Forord .....	4
Resume .....	5
Indledning .....	6
Metode.....	7
Beregningsmetoder .....	9
Resultater .....	10
Før tætning .....	10
Efter tætning .....	11
Diskussion .....	12
Konklusion .....	13
Referencer.....	14
References.....	14

# Forord

Overføring af gasser, partikler og lugt mellem lejligheder, kan være et problem for beboere i ældre etageejendomme. Ingen ønsker at blive generet af lugt eller partikler fra andres tobaksrygning.

Statens Byggeforskningsinstitut har gennemført en undersøgelse af en tætningstype, der har til formål at reducere overføring af partikler og gasser mellem to etageadskilte lejligheder. Projektet er gennemført med finansiering af firmaet Sealing Danmark.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet  
Energi og miljø  
Oktober 2012

*Søren Aggerholm*  
Forskningschef

# Resume

I nærværende rapport redegøres for effektiviteten af en løsning med tætning af gulvet i en lejlighed mod overføring af ultrafine partikler og luft fra lejligheden umiddelbart under. I lejligheden blev gulvet tætnet med en dampspærre af polyethylen, tagklæber og fugemasse. Undersøgelserne er gennemført i en etagebolig fra 1881.

Overføringen af ultrafine partikler og luft blev målt før og efter tætningen. Der blev anvendt tændte cigaretter til partikelgenerering samt en sporgas til måling af luftoverføring.

Før tætning af gulvet blev ca. 4 % af de ultrafine partikler overført og ca. 14 % af den anvendte sporgas. Efter tætningen blev overføringen af ultrafine partikler reduceret til ca. 1,6 % og ca. 5 % for sporgassen.

I ældre etageboliger kan der være utætheder, hvor partiklerne kan komme igennem. Der er utætheder ved rørføring, i gulvet og langs væggene.

I denne artikel vil en tætningsmetode udviklet af et fagkyndigt firma blive testet. Metoden vil blive evalueret på hvordan den fungerer på at reducere overføring af ultrafine partikler og en sporgas mellem to etageadskilte lejligheder. Efter denne undersøgelse blev afsluttet er nye materialer til forsegling blevet udviklet. Fremtidigt arbejde er at afprøve de nye forseglingsmetoder.

## Nøgleord

Partikler, Luftforurening, Ventilation, Fuldskalaforsøg



# Indledning

I etageejendomme hænder det, at nogle beboere udsættes for luftforureninger fra aktiviteter i andre lejligheder end deres egen. Aktiviteterne kan for eksempel være madlavning og tobaksrygning. Tobaksrøg er skadeligt, derfor skal problemet løses. (A. Afshari, Shi, Bergsøe, Ekberg, & Larsson, 2010)

I hvilket omfang luftforurening – dvs. luftbårne partikler – overføres fra én lejlighed til en anden afhænger eksempelvis af bygningens konstruktive forhold, bygningens alder og tæthed samt ventilationssystemet. I et tidligere studium (A. Afshari, Shi et al., 2010) er overføring af ultrafine partikler fra én lejlighed (kildelejlighed) til en anden (eksponeringslejlighed) undersøgt, og studiet viste blandt andet, at ca. 9 % af partiklerne fra cigaretrøg blev overført, når eksponeringslejligheden lå umiddelbart over kildelejligheden.

Tidligere studier (A. Afshari, Ardkapan, Bergsøe, & Johnson, 2010) har redegjort for tre tekniske løsninger til reduktion af overføring af ultrafine partikler mellem lejligheder: tætning af gulvet i eksponeringslejligheden, anvendelse af et nyt luftrensende kanalsystem (Photochemical Air Purification) og anvendelse af en flytbar luftrenser (Portable Air Cleaner) (Shi, Ekberg, Afshari, & Bergsøe, 2010).

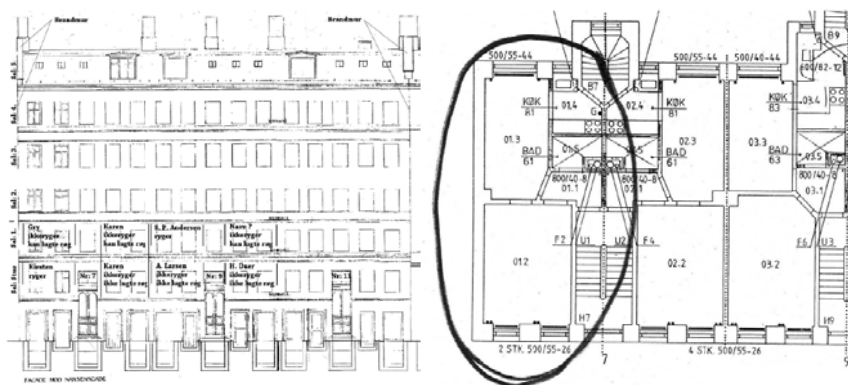
Den første løsning blev afprøvet i en lejlighed i en etageejendom fra ca. 1930. Pap og plastfolie af polyethylen blev anvendt til tætning af det eksisterende trægulv i eksponeringslejligheden. Resultaterne viste, at efter tætning var koncentrationen af partikler i eksponeringslejligheden uafhængig af genereringen af partikler i den underliggende kildelejlighed.

Den anden løsning blev undersøgt under laboratorieforhold. Resultaterne viste, at det luftrensende kanalsystems effektivitet, med hensyn til at fjerne ultrafine partikler, varierede mellem 30 % og 60 % efter 10 minutter, når partikelgenereringen ophørte.

Den tredje løsning med en flytbar luftrenser (AC) blev undersøgt i en lejlighed på 110 m<sup>2</sup>. Her blev effektiviteten af en luftrenser undersøgt i forhold til reduktion af partikler fra cigaretrøg. Ved brug af en luftrenser med CADR (*clean air delivery rate*) på 240 m<sup>3</sup>/h var effektiviteten af luftrenseren 65 – 75 % afhængig af placering i lejligheden i forhold til placeringen af partikelgenereringen.

# Metode

Undersøgelsen blev gennemført i et etagebyggeri fra 1881. Eksponeringslejligheden lå umiddelbart over kildelejligheden. Undersøgelsen blev gennemført i januar og februar 2012. Under målingerne fandt ingen indendørsaktiviteter sted, som kunne indebære generering partikler – fx madlavning og rengøring.



Figur 1: Facade – og plantegning af lejlighederne

Figur 1 viser facade- og plantegning af lejlighederne. Eksponerings- og kildelejlighederne er opbygget ens og har et volumen på  $120 \text{ m}^3$ . Lejlighederne består af en entré, en stue, der vender mod en trafikeret vej, et værelse og et køkken, der begge vender mod gården, samt toilet og bad placeret centralt i lejligheden. I lejlighederne er gulvene i stuen, værelset og entreen blotlagt til lakeret trægulv. I køkkenet er der vinyl på gulvet, og i badeværelset er der flisegulv. I køkkenet er der køkkenskabe langs indervæggen og vask under vinduet. I stuen og værelset er der fodlister med fejeliste langs væggene samt stuk i loftet. Midt på loftet i stuen og værelset er der roset med el-udtag. Under hvert vindue i stue og værelse er der radiator med varmerør, der er ført gennem gulvet ved lysning. Der er naturlig aftrækskanal fra toilet/badeværelse. Der er udeluftventiler i alle vinduerne.

Med det formål at opnå et overtryk i kildelejligheden i forhold til eksponeringslejligheden blev der etableret en højere rumtemperatur i kildelejligheden. Dette blev sikret ved at holde temperaturen i kildelejligheden ca.  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  højere end i eksponeringslejligheden. Under undersøgelserne var temperaturen i eksponeringslejligheden ca.  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  og i kildelejligheden ca.  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Kilde til generering af partikler bestod af fire tændte cigaretter i kildelejligheden, to i stuen og to i værelset. Koncentrationen af ultrafine partikler blev målt ved hjælp af partikeltællerne fabrikat Philips type NanoTracer PNT 1000 (2 stk) og en Condensation Particle Counter (CPC) model 3007 fra TSI Incorporated. Partikeltællerne målte simultant i hver af lejlighederne (NanoTracer PNT 1000) og udenfor (CPC 3007).

Desuden blev lejlighedernes luftskifte og luftoverføringen mellem de to lejligheder målt ved hjælp af to Multi-Gas monitører, type 1302 fra Brüel og Kjær, placeret i hver af de to lejligheder. Temperatur og relativ luftfugtighed blev målt ved brug af TinyTag dataloggere type TGU-4500 fra Gemini. Under partikelgenereringen blev der opnået fuld opblanding ved brug af ventilatorer i rummet. I kildelejligheden var der åbnet et vindue med 2 centimeter. Vinduet sad i toppen af et dannebrogsvindue og vendte ud mod den trafikerede vej. Alle udeluftventiler var åbne, og aftrækskanalen på toilettet var lukket. I eksponeringslejligheden var alle vinduer, yderdøre og udeluftventiler lukkede og aftrækskanalen på toilettet var åbent.

Første del af undersøgelsen blev udført før tætning af gulvet i eksponeringslejligheden. Anden del af undersøgelsen blev udført efter tætning af gulvet.

Da målingerne blev sat i gang var partikkelkoncentrationen i lejlighederne næsten konstant med en baggrundskoncentration på ca. 10.000 partikler pr  $\text{cm}^3$  i kildelejligheden og ca. 4000 partikler pr  $\text{cm}^3$  i eksponeringslejligheden. Cigaretterne blev tændt i kildelejligheden med to i værelset og to i stuen. Cigaretterne blev slukket lige inden de brændte ud. Målingerne fortsatte, indtil partikkelkoncentrationen i de to lejligheder nåede startkoncentrationen for de to lejligheder. Måleperioden var ca. 4,5 time.

Forud for anden del af undersøgelsen blev gulvet eksponeringslejligheden tætnet. Fodlister og fejlister blev demonteret, og gulvet blev overalt dækket af en dampspærre. Tætningen blev udført af et fagkyndigt firma. Firmaet valgte at anvende en dampspærre af polyethylen, Icopal Blackline. Samlinger blev udført med overlæg og klæbet med Icopal tagklæber af bitumen. Dampspærren blev ført ca. 10 cm op ad væggene, hvor den blev tætnet med byggefugemasse og klemt med fodlister og fejlister, som blev genmonteret. Rørgennemføringer ved radiatorerne blev tætnet med Icopal tagklæber af bitumen. Det indgår ikke i undersøgelsen at bestemme, om de anvendte produkter bidrager til koncentrationen af partikler i eksponeringslejligheden. Såfremt produkterne afgiver partikler, vil det i denne undersøgelse indvirke på resultaterne på en sådan måde, at effektiviteten af tætningen tolkes til den sikre side.

# Beregningsmetoder

Til at bestemme overføringen af ultrafine partikler er beregningsmetoden [1] anvendt (A. Afshari et al., 2010).

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

Hvor  $\dot{V}$  = luftstrøm [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$\dot{M}$  = overføring af partikler mellem lejligheder [ $(\text{partikler}/\text{m}^3) \cdot (\text{m}^3/\text{h})$ ]

$c_s$  = koncentration af ultrafine partikler i tilluften [ $\text{partikler}/\text{m}^3$ ]

$c_r$  = koncentrationen af ultrafine partikler i lejligheden [ $\text{partikler}/\text{m}^3$ ]

$V$  = lejlighedens volumen [ $\text{m}^3$ ]

$r$  = fjernelse af partikler [ $\text{h}^{-1}$ ]

Luftskiftet i de to lejligheder er bestemt ved brug af sporgasteknik og henfaldsmetoden. Princippet er, at en kendt og målbar luftart (sporgas) doseres. Sporgassen fordeles, så fuldstændig opblanding sikres. Derefter afbrydes sporgas doseringen og koncentration af sporgas registreres over tid. Af henfaldskurven bestemmes luftskiftet således [2].

$$C(t) = C_0 e^{-nt} \quad [2]$$

Hvor  $C_0$  er startkoncentrationen i ppm

$C(t)$  er koncentrationen i ppm efter  $t$

$t$  er tiden i timer

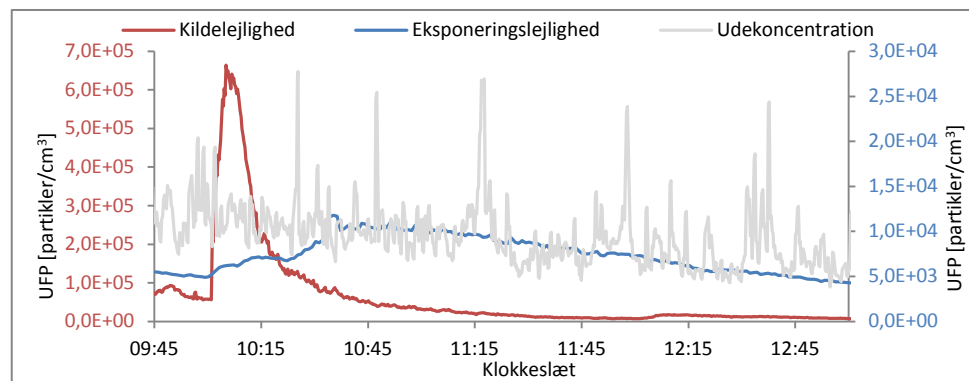
$n$  er luftskiftet i  $\text{h}^{-1}$

# Resultater

## Før tætning

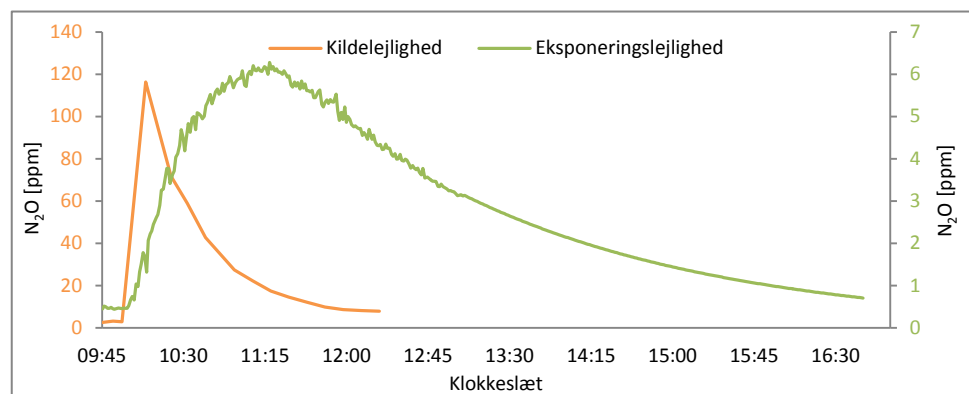
Der blev tændt fire cigaretter i eksponeringslejligheden, to i stuen og to i værelset. Cigaretterne blev tændt samtidig og slukket lige inden de brændte ud. Figur 2 viser de målte koncentrationer af ultrafine partikler i kildelejligheden og eksponeringslejligheden. Inden generering af partikler var baggrundskoncentrationen af ultrafine partikler i kildelejligheden ca. 10.000 partikler/cm<sup>3</sup> og i eksponeringslejligheden ca. 4000 partikler/cm<sup>3</sup>. Årsagen, til at baggrundkoncentrationen var højere i kildelejligheden, er, at beboeren i kildelejligheden er ryger og ryger indendørs. Partikler fra tobaksrøg deponeres på materialer som fx møbler, vægge og gardiner (Preining, 1998). Den maksimale koncentration af ultrafine partikler i kildelejligheden blev målt til ca. 650.000 partikler/cm<sup>3</sup>. I eksponeringslejligheden blev den maksimale koncentration af ultrafine partikler målt til ca. 11.000 partikler/cm<sup>3</sup>. Det ses af Figur 2, at den maksimale koncentration i eksponeringslejligheden optræder en halv time efter at cigaretterne blev slukket.

Til at beregne overføringsprocenten, af ultrafine partikler fra kildelejligheden til eksponeringslejligheden anvendes ligning [1].



Figur 2: Koncentration af ultrafine partikler i lejlighederne før tætning af gulvet i eksponeringslejligheden

Overføringsprocenten af ultrafine partikler fra kildelejligheden til eksponeringslejligheden blev fundet til ca. 4 %.



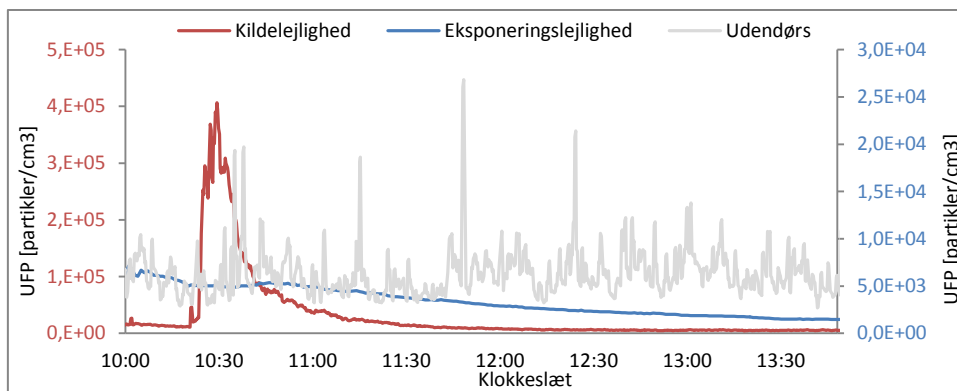
Figur 3: Koncentration af sporgas i lejlighederne før tætning af gulvet i eksponeringslejligheden

Luftskiftet i kildelejligheden blev beregnet til 1,25 h<sup>-1</sup> og til 0,18 h<sup>-1</sup> i eksponeringslejligheden.

Overføringsprocenten af sporgas blev beregnet til ca. 14 %.

## Efter tætning

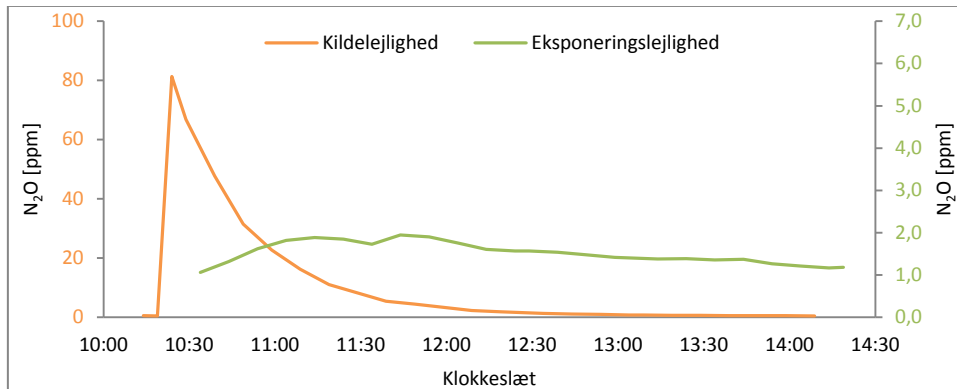
Efter tætningen blev partikeloverføringen reduceret fra 4 % til 1,6 %. Overføringen af sporgas blev reduceret fra 14 % til 5 %. Resultaterne viser, at tætningen i denne undersøgelse mere end halverer overføringen af partikler og gasser.



Figur 4: Koncentration af ultrafine partikler i lejlighederne efter tætning af gulvet i eksponeringslejligheden

Maksimumkoncentrationen af ultrafine partikler i eksponeringslejligheden forekommer ca. en halv time efter at cigaretterne er antændt i kildelejligheden.

Startkoncentrationen i eksponeringslejligheden var højere ved begyndelsen af forsøget end da cigaretterne i kildelejligheden blev antændt. Dette skyldes, at beboerne i eksponeringslejligheden var hjemme lige op til starten af forsøget.



Figur 5: Koncentration af sporgas i lejlighederne efter tætning af gulvet i eksponeringslejligheden

Efter tætning af gulvet blev luftskiftet i kildelejligheden beregnet til  $1,46 \text{ h}^{-1}$  i eksponeringslejligheden blev luftskiftet beregnet til  $0,52 \text{ h}^{-1}$ . Luftskiftet inden tætning af gulvet blev beregnet til hhv.  $1,25 \text{ h}^{-1}$  og  $0,18 \text{ h}^{-1}$ . Forskellen kan skyldes, at der i forbindelse med tætning af gulvet blev lavet et hul i ydervæggen til en altan. Under forsøget var hullet stoppet med en madras, men ingen isolering. Infiltrationen kan da være påvirket af den mindre tætte lejlighed og derved var luftskiftet forskelligt fra. Vindhastigheden ude var henholdsvis  $6 \text{ m/s}$  og  $3 \text{ m/s}$  i gennemsnit for de to forsøg (*DMI*). Dette indikerer at vindhastigheden næppe kan forklare det større luftskifte efter tætning af gulvet i eksponeringslejligheden.

Efter tætningen af gulvet i eksponeringslejligheden blev overføringen af sporgas fra kildelejligheden beregnet til ca. 5 %. Inden tætning var overføringen 14 %.

# Diskussion

I tobaksrøg er der mere end 30 forskellige flygtige forbindelser. De meget flygtige forbindelser deponerer på overflader og sætter sig i miljøet hvor forureningen foregår (A. Afshari & Reinhold, 2008). I tobaksrøg sker der mere end 4000 forskellige kemiske forbindelser under afbrændingen. Under afbrændingen bliver der både afgivet gasser og partikler (A. Afshari, Shi et al., 2010). For de flestes vedkommende er det lugten, der umiddelbart sætter en grænse for, om man vil acceptere dem i indeklimaet. Koncentrationerne afhænger af stoffernes flygtighed. Desuden afhænger partikelkoncentrationen af temperaturen (stigende afgang med stigende temperatur), fugtændringer og af ventilationen (Preining, 1998). Men nogle af stofferne sætter sig på andre materialer, især de lodne fx tekstiler. Hvis der fx har været et lavt luftskifte over en weekend, har afgangningsprodukterne sat sig over det hele. De forsvinder derfor ikke umiddelbart, fordi der ventileres igen.

## *Gasser*

Til at undersøge overføringen af gasser blev der brugt en sporgas af  $N_2O$ . Sporgassen blev brugt for at få et indtryk af hvor stor en del af gasserne fra en cigaret der bliver overført. Da der er flere tusinde forskellige gasser, der består af flere forskellige molekyler, i en tændt cigaret, er det ikke muligt at måle dem alle, og der blev i stedet brugt en målbar nitrogen sporgas.

Af forsøgene blev det vist at overføringen af sporgas blev reduceret fra 14 % til 5 % efter tætningen af gulvet i eksponeringslejligheden.

Det var kun sporgas af  $N_2O$  der blev doseret i kildelejligheden. Det er derfor med sikkerhed den sporgas, der blev sendt ud i kildelejligheden, der er målt i eksponeringslejligheden, men det er usikkert, om den er overført gennem gulvet eller gennem andre utætheder i konstruktionen.

Da der blev målt en enkel gas der består af en bestemt kemisk forbindelse, er det svært at sammenligne hvor stor en del af gasserne fra en cigaret, der kan blive reduceret i forhold til at kun en slags gas blev målt.

## *Partikler*

Det er også vigtigt at fokusere på at reducere overføringen af partikler mellem etageboliger. Overføringen af ultrafine partikler blev undersøgt ved måling af koncentrationen før og efter tætningen. Partikel overføringen blev reduceret fra 4 % til 1,6 % efter tætningen af gulvet i eksponeringslejligheden.

Denne undersøgelse viser at overføringen af ultrafine partikler var mindre end overføringen af sporgas. Under forsøgene uden tætning blev der overført 14 % af sporgassen hvorimod kun 4 % af partiklerne blev overført. Dette kan skyldes at partiklerne sætter sig fast på materialer som møbler og vægge samt i sprækker hvor de overføres fra kilde- til eksponeringslejlighed. Andre faktorer som for eksempel koagulation, sedimentation, kondensation af vanddamp på små partikler etc. spiller også en rolle.

Resultaterne indikerer at luftoverføringen mellem lejlighederne er større end overføringen af partikler.

# Konklusion

Efter tætning af eksponeringslejligheden blev partikeloverføringen reduceret fra 4 % til 1,6 %. Dette er mere end en halvering af, hvad der blev overført inden tætningen. Overføringen af gasser blev reduceret fra en overføringsprocent på 14 % til 5 %.

Forsøget blev udført i en ældre etageejendom fra slutningen af 1800-tallet. Den slags bygninger er der en stor del af i København, men skal undersøgelsen underbygges er det nødvendigt at den bliver udført i flere forskellige typer etageboliger opført med forskellige byggeskikke.

Den anvendte tætningsmetode gav positive resultater i forhold til reduktion af partikler og gasser fra kildelejligheden til eksponeringslejligheden.

Nye tætningsmaterialer er under udvikling, og der er behov for at teste disse i flere forskellige typer af etageboliger.



# Referencer

## References

Afshari, A., & Reinhold, C. (2008). Deposition of fine and ultrafine particles on indoor surface materials. *Indoor and Built Environment*, 17(3), 247-251.

Afshari, A., Ardkapan, S. R., Bergsøe, N. C., & Johnson, M. S. (2010). Technical solutions for reducing indoor residential exposures to ultrafine particles from second-hand cigarette smoke infiltration.

Afshari, A., Shi, B., Bergsøe, N. C., Ekberg, L., & Larsson, T. (2010). Quantification of ultrafine particles from second-hand tobacco smoke. *DMI*, from <http://www.dmi.dk/dmi/index/>

Preining, O. (1998). The physical nature of very, very small particles and its impact on their behaviour. *Journal of Aerosol Science*, 29(5-6), 481-495.

Shi, B., Ekberg, L. A., Afshari, A., & Bergsøe, N. C. (2010). The effectiveness of portable air cleaners against tobacco smoke in multizone residential environments.



Overføring af gasser, partikler og lugt mellem lejligheder, kan være et problem for beboere i etageejendomme. Ingen ønsker at blive generet af lugt eller partikler fra andres tobaksrygning.

Statens Byggeforskningsinstitut har gennemført en undersøgelse af en tætningsmetode, der har til formål at reducere overføring af partikler og gasser mellem to etageadskilte lejligheder i en etageejendom fra 1860.

Resultatet af forsøget viste, at efter tætning af eksponeringslejligheden, blev partikeloverføringen reduceret fra 4 % til 1,6 %. Dette er mere end en halvering af, hvad der blev overført inden tætningen. Overføringen af gasser blev reduceret fra 14 % til 5 %.

1. udgave, 2012

ISBN 978-87-92739-14-8