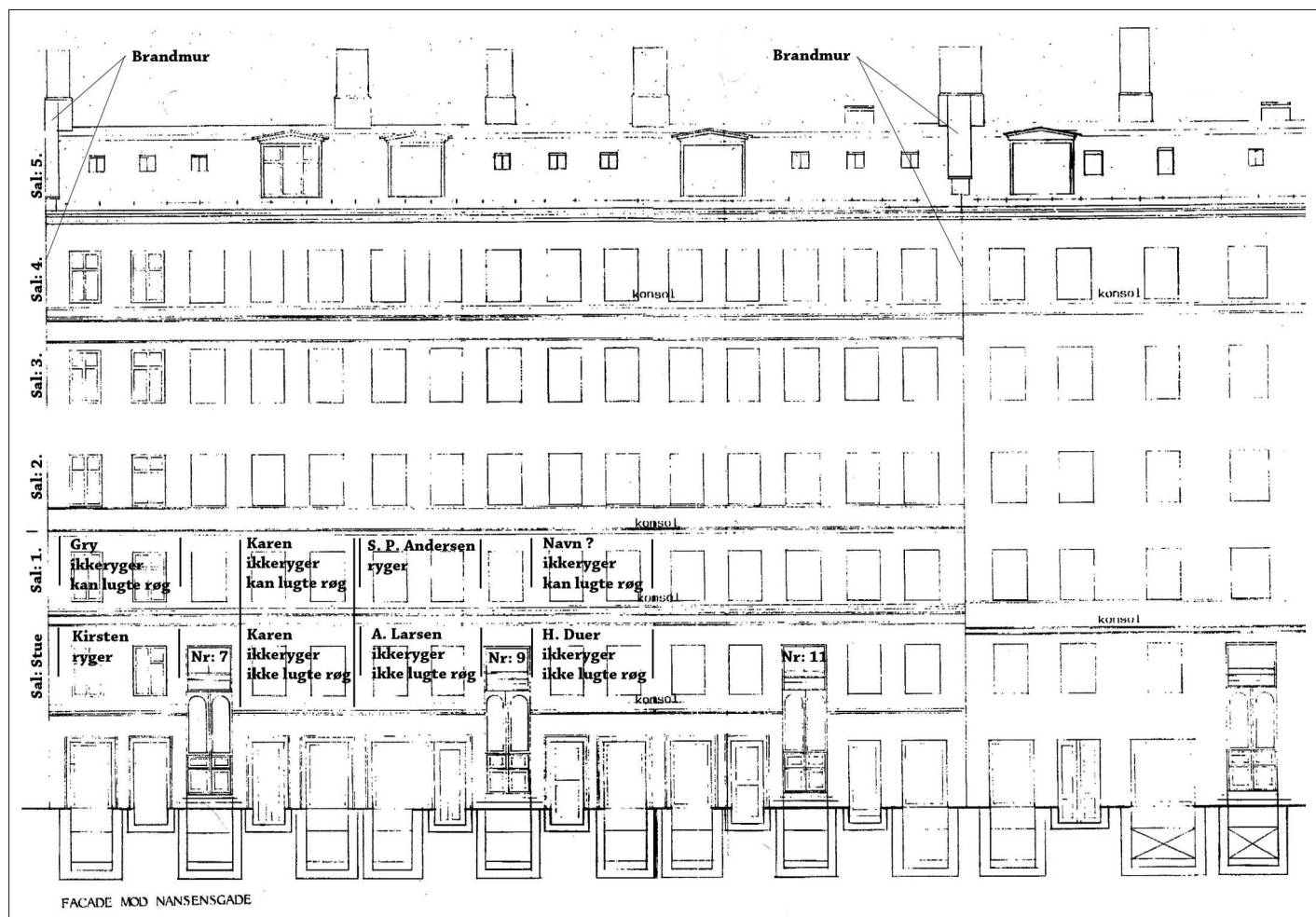


Overføring af ultrafine partikler og gasser mellem to lejligheder

Overføring af gasser, partikler og røglugt mellem lejligheder er ofte et problem for beboere i ældre etageejendomme. Derfor har Statens Byggeforskningsinstitut undersøgt en ny tætningsmetode, der skal reducere overføring af partikler og gasser mellem to etageadskilte lejligheder.

Af Amalie Gunner, Siamak Rahimi Ardkapan, Alireza Afshari, Niels Christian Bergsøe, Afdelingen for Energi og Miljø, Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet

I etageejendomme hænder det, at nogle beboere udsættes for luftforurening, der stammer fra aktiviteter i andre lejligheder end deres egen. Det kan f.eks. være madlavning og tobaksrøgning. Tobaksrøg er skadeligt, derfor skal problemet løses [1].



Figur 1. Facade- og plantegning af lejlighederne.

■ Undersøgelse af ny tætningsmetode

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. Projektet er gennemført med finansiering af firmaet Sealing Danmark

I artiklen redegøres der 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

I hvilket omfang luftforurening – dvs. luftbårne partikler – overføres fra én lejlighed til en anden afhænger bl.a. af bygningens konstruktive forhold, bygningens alder og tæthed samt ventilationssystemet. I et tidligere studium [1] er overføring af ultrafine partikler fra en lejlighed (kildelejlighed) til en anden (eksponeringslejlighed) undersøgt. Studiet viste bl.a., at ca. 9% af partiklerne fra cigaretrøg overføres, når eksponeringslejligheden ligger umiddelbart over kildelejligheden.

Tidligere studier [2] 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 og anvendelse af en flytbar luftrenser [3]. Her fokuseres der på tætningsmetoden.

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 artiklen testes en tætningsmetode udviklet af et fagkyndigt firma. Metoden evalueres på, hvor godt den kan reducere overførsel af ultrafine partikler og sporgas mellem to etageadskilte lejligheder. Siden undersøgelsens afslutning er der udviklet nye materialer til forsegling. Fremtidigt arbejde er at afprøve de nye forseglingsmetoder.

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 af partikler – f.eks. madlavning og rengøring.

Partikeltællere

For at opnå et overtryk i kildelejligheden ift. eksponeringslejligheden blev der etableret en højere rumtemperatur i kildelejligheden. Under undersøgelserne var temperaturen i eksponeringslejligheden ca. 20°C og i kildelejligheden ca. 25°C.

DHI – DIN PARTNER I MILJØ OG TOKSIKOLOGI

- Risikovurdering af kemikalier
- Udfasning af problematiske stoffer
- Sikkerhed og dokumentation af ingredienser
- Faremærkning og sikkerhedsdatablade
- Software til kemikaliestyling

www.tox.dhi.dk

DHI
Agern Allé 5
DK-2970 Hørsholm
Tel: 4516 9200
Fax: 4516 9292
dhi@dhi-group.com

The expert in **WATER ENVIRONMENTS**



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 vha. 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 vha. to Multi-Gas-monitorer, 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 to 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 åben.

Første og anden del

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 partikelkoncentrationen i lejlighederne næsten konstant med en baggrundskoncentration på ca. 10.000 partikler pr. cm³ i kildelejligheden og ca. 4000 partikler pr. cm³ 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 partikelkoncentrationen i de to lejligheder nåede startkoncentrationen for de to lejligheder. Måleperioden var ca. 4,5 time.

Forud for anden del af undersøgelsen blev gulvet i eksponeringslejligheden tætnet. Fodlister og fejlister blev demonteret, og gulvet blev overalt dækket af en dampspærre af polyethylen. Samlinger blev udført med overlæg og klæbet med tagklæber af bitumen. Dampspærren blev ført ca. 10 cm op ad væggene, hvor den blev tætnet med byggefugemasse og klemmt 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 ekspone-

ringslejligheden. Såfremt produkterne afgiver partikler, vil det i denne undersøgelse indvirke på resultaterne så effektiviteten af tætningen tolkes til den sikre side.

Beregningsmetoder

Til at bestemme overføringen af ultrafine partikler er følgende beregningsmetode anvendt [2].

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

Hvor	$\dot{V}$ = luftstrøm [m ³ /h]
	$\dot{M}$ = overføring af partikler mellem lejligheder [(partikler/m ³) · (m ³ /h)]
	c_s = koncentration af ultrafine partikler i tilluften [partikler/m ³]
	c_r = koncentrationen af ultrafine partikler i lejligheden [partikler/m ³]
	V = lejlighedens volumen [m ³]
	r = fjernelse af partikler [h ⁻¹]

Luftskiftet i de to lejligheder er bestemt ved brug af sporgas-teknik og henfaldsmetoden. Princippet er, at en kendt og målbar luftart (sporgas) doseres. Sporgassen fordeles, så fuldstændig opblanding sikres. Derefter afbrydes sporgasdoseringen og koncentration af sporgas registreres over tid. Af henfaldskurven bestemmes luftskiftet således som angivet her:

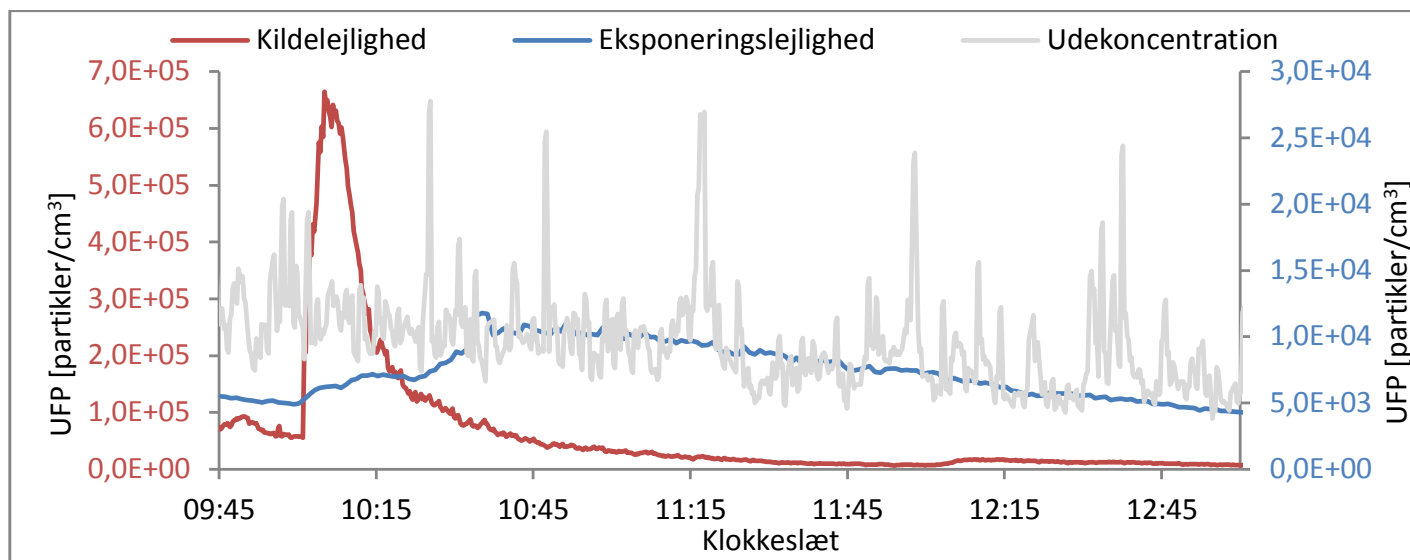
$$C(t) = C_0 e^{-nt}$$

Hvor	C_0	er startkoncentrationen i ppm
	$C(t)$	er koncentrationen i ppm efter t
	t	er tiden i timer
	n	er luftskiftet i h ⁻¹

Resultater

Før tætning

De fire cigaretter 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/cm³ og i eksponeringslejligheden ca. 4000 partikler/cm³. Baggrundskoncentrationen var højere i kildelejligheden, fordi beboeren i kildelejligheden er ryger og ryger indendørs. Partikler fra tobaksrøg deponeres på materialer som f.eks. møbler, vægge og



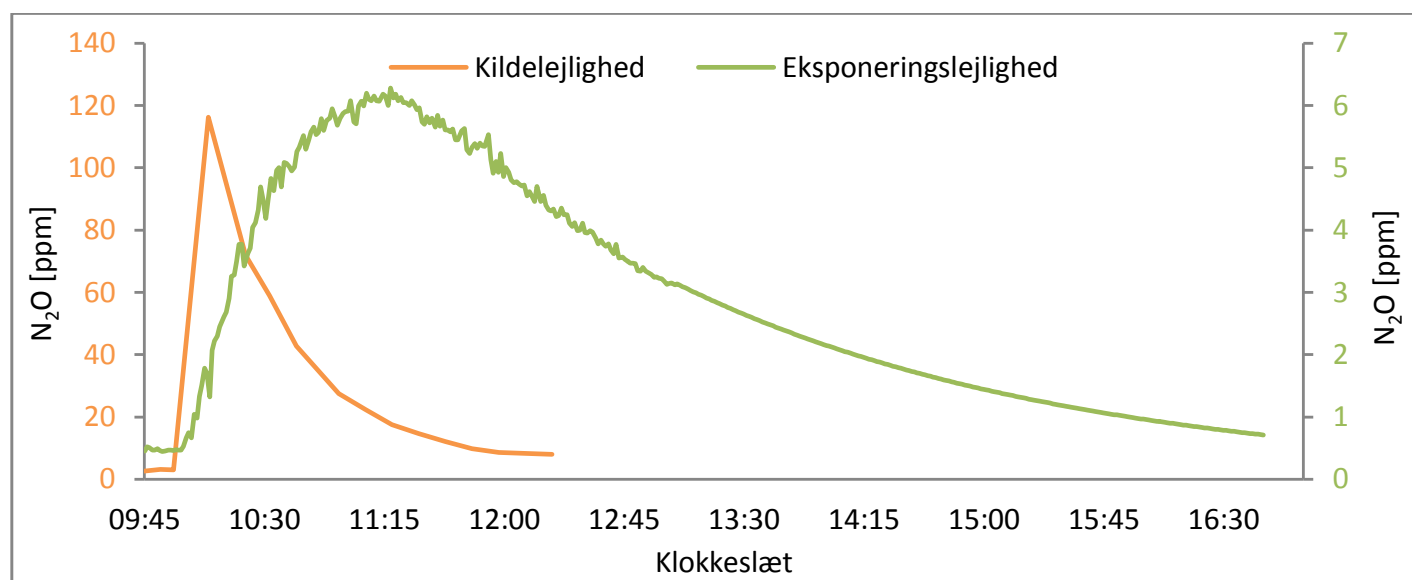
Figur 2. Koncentration af ultrafine partikler i lejlighederne før tætning af gulvet i eksponeringslejligheden

gardiner [4]. Den maksimale koncentration af ultrafine partikler i kildelejligheden blev målt til ca. 650.000 partikler/cm³. I eksponeringslejligheden blev den maksimale koncentration af ultrafine partikler målt til ca. 11.000 partikler/cm³. 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 den øverste ligning.

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. Det skyldes, at beboerne i eksponeringslejligheden var hjemme lige op til starten af forsøget.

Efter tætning af gulvet blev luftskiftet i kildelejligheden beregnet til 1,46 h⁻¹. I eksponeringslejligheden blev luftskiftet



Figur 3. Koncentration af spogas i lejlighederne før tætning af gulvet i eksponeringslejligheden.

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

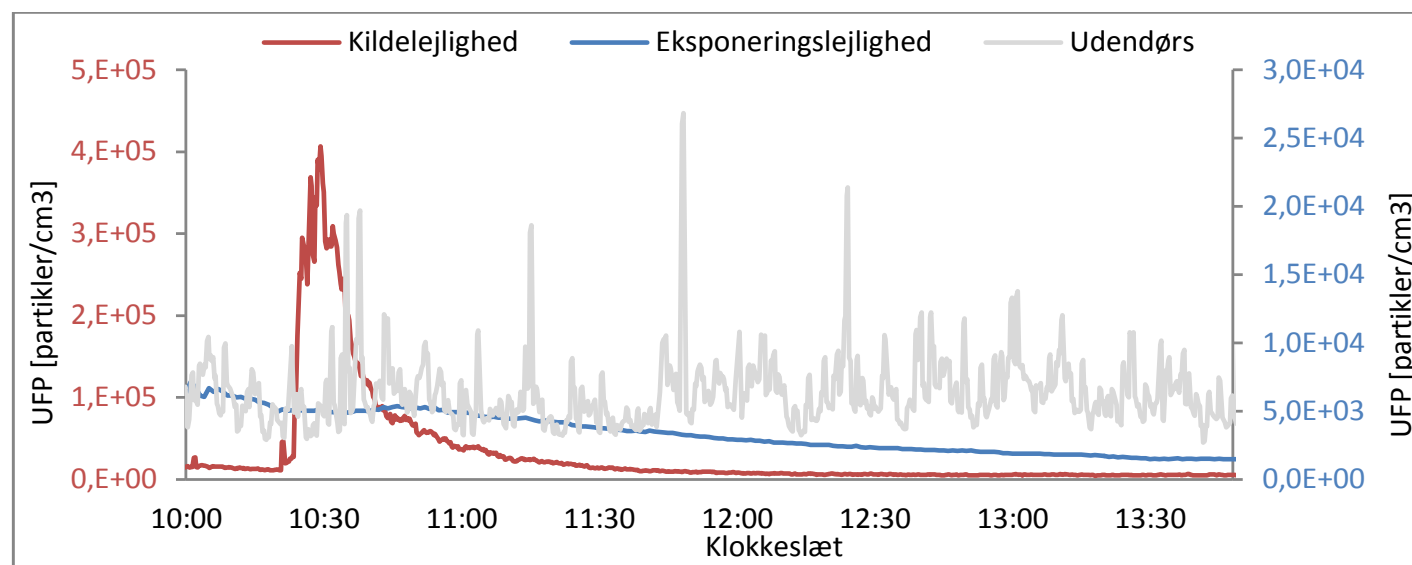
Luftskiftet i kildelejligheden blev beregnet til 1,25 h⁻¹ og til 0,18 h⁻¹ i eksponeringslejligheden.

Overføringsprocenten af spogas blev beregnet til ca. 14%.

Efter tætning

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

beregnet til 0,52 h⁻¹. Luftskiftet inden tætning af gulvet blev beregnet til hhv. 1,25 h⁻¹ og 0,18 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. Vindhastigheden udenfor var hhv. 6 m/s og 3 m/s i gennemsnit for de to forsøg (DMI). Det indikerer, at vindhastigheden ikke kan forklare det større luftskifte efter tætning af gulvet i eksponeringslejligheden. Efter tætningen af gulvet i eksponeringslejligheden blev overføringen af spogas fra kildelejligheden beregnet til ca. 5%. Inden tætning var overføringen 14%.



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

Diskussion

I tobaksrøg er der mere end 30 forskellige flygtige forbindelser. De flygtige forbindelser deponerer på overflader og sætter sig i miljøet [5]. I tobaksrøg er der mere end 4000 forskellige kemiske forbindelser under afbrændingen. Og der bliver både afgivet gasser og partikler [1]. For de flestes vedkommende er det lugten, der umiddelbart sætter en grænse for, om man vil acceptere dem i indeklimaet. Koncentrationerne afhænger af stofernes flygtighed. Desuden afhænger partikkelkoncentrationen af temperaturen (stigende afgasning med stigende temperatur), fugtændringer og af ventilationen [4]. Men nogle af stofferne sætter sig på andre materialer, især de lodne f.eks. tekstiler. Hvis der f.eks. har været et lavt luftskifte over en weekend, har afgasningsprodukterne 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 overføres. Det er nødvendigt, da der er flere tusinde forskellige gasser i en tændt cigaret.

Forsøgene viste, 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 kun blev målt på en enkelt gas, er det svært at sige, hvor stor en del af de samlede gasser fra en cigaret, der kan reduceres.

Partikler

Overføringen af ultrafine partikler blev undersøgt ved måling af koncentrationen før og efter tætningen. Partikeloverføringen blev reduceret fra 4% til 1,6% efter tætningen af gulvet i eksponeringslejligheden.

Dvs. 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 f.eks. koagulation, sedimentation, kondensation af vandamp 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%. Det er mere end en halvering af, hvad der blev overført inden tætningen. Overføringen af gasser blev reduceret fra 14% til 5%.

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

Den anvendte tætningsmetode gav positive resultater ift. 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.

E-mail: Amalie Gunner: amg@sbi.aau.dk

Referencer:

1. 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/>
2. 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.
3. Shi, B., Ekberg, L. A., Afshari, A., & Bergsøe, N. C. (2010). The effectiveness of portable air cleaners against tobacco smoke in multizone residential environments.
4. 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.
5. Afshari, A., & Reinhold, C. (2008). Deposition of fine and ultrafine particles on indoor surface materials. *Indoor and Built Environment*, 17(3), 247-251.

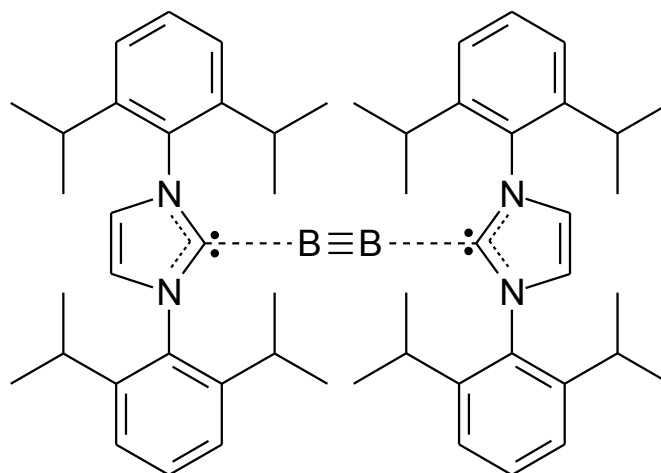
Nyt om ...

... Diboryn en "bor alkyn"

Stabile forbindelser med homoatomiske tripel-bindinger er velkendte for carbon og nitrogen, men er sjældne for andre grundstoffer. Det er nu lykkedes at syntetisere en forbindelse med en bor-bor-tripel-binding ved at beskytte den med to bis(2,6-diisopropylphenyl)imidazol-1-yl-carbener. Den viste forbindelse er isoleret i 57% udbytte og er en krystallinsk grøn forbindelse, som dekomponerer ved 234°C.

Carl Th.

Ambient-Temperature Isolation of a Compound with a Boron-Boron Triple Bond, *Scienc* 336 (no. 6087), 15. Juni 2012, side 1420.



DIBORYN