
miljø og sundhed

Indenrigs- og Sundhedsministeriets Miljømedicinske Forskningscenter

Supplement nr. 6, maj 2006

Temannummer om indemiljø

Forureninger i indemiljøet

Ny dansk forskning om indeklime i kontormiljøer

Mere viden er vejen til bedre indemiljø

Indhold

Indendørs støvkilder.....	7
Kan kemiske luftforureninger i indemiljøet forårsage symptomer.....	19
Sensoriske effektmålinger i indemiljøet – oplevet luftkvalitet.....	27
Indeklima og psykosocialt arbejdsmiljø i storrumskontorer	43
Lys, sundhed og velvære.....	49
Indeklima og produktivitet.....	57
Mere viden er vejen til bedre indemiljø .	61

Miljø og sundhed

Bladet henvender sig primært til forskere, beslutningstagere og administratorer, der beskæftiger sig med miljø og sundhed.

Udgives af:

Indenrigs- og Sundhedsministeriets
Miljømedicinske Forskningscenter

Redaktion:

Steffen Loft (ansv.)
Lis Keiding
Hilde Balling

12. årgang, supplement nr. 6, maj 2006.

Oplag 1.000, tilsendes gratis ved henvendelse til:

ISMFs sekretariat, Sundhedsstyrelsen
e-mail: post.ismf@sst.dk

Eftertryk mod kildeangivelse.

Tryk: Scanprint A/S
ISSN 1395-5241
ISSN elektronisk 1601-4146
URL: <http://www.ismf.dk/blad/msS06.pdf>

Indemiljø

Påvirkninger i indemiljøet har betydning for vores sundhed og velbefindende og, som det er vist i de senere år, for vores produktivitet.

Internationalt har WHO gennem mange år arbejdet med indeklima og definerede allerede i 1983 det såkaldte "Sick Building Syndrome". Siden er det vist, at man nærmere bør tale om "byggningsrelaterede symptomer".

Efter den 4. WHO ministerkonference i Budapest i 2004 udarbejdedes "Children's Environment and Health Action Plan for Europe". Heri indgår som et mål forebyggelse af luftvejssygdomme, forårsaget af forureninger i udeluft og indeluft.

I Europakommissionens "European Environment & Health Action Plan 2004-2010" prioriteres en indsats for et forbedret indeklima.

I Danmark er indeklima et prioriteret område i regeringens strategi for miljø og sundhed fra 2003.

Danmark har hele tiden været med i front inden for indeklimaforskning og der er gennemført flere store undersøgelser – den mest kendte er nok "Rådhusundersøgelsen", der kom i 1989. Senere fulgte "Vinduer og dagslys", "Skoleundersøgelsen", "Skimmelsvampeprogrammet" og senest Arbejdsmiljøinstituttets undersøgelse af indeklima og psykosocialt arbejdsmiljø i celle-, flerpersone- og storrumskontorer.

Der mangler fortsat viden om sammenhænge mellem udsættelse for enkeltfaktorer i indemiljøet og helbredseffekter, men ikke mindst mangler der viden om effekter af kombinerede eksponeringer. Der er derfor behov for, ikke kun et bredt tværfagligt forsknings samarbejde, der inddrager mange forskellige fagdiscipliner, men i høj grad for formidling af resultaterne af forskningen til et bredt forum.

Det gælder ikke blot for forskningen på indemiljøområdet, men generelt for den miljømedicinske forskning og det er netop baggrunden for at ISMF med mellemrum udgiver temanumre af "miljø og sundhed".

Hilde Balling

Forord

ISMF afholder i samarbejde med Statens Byggeforskningsinstitut en temadag om indeklima den 18. maj i år på Statens Byggeforskningsinstitut. Samtidigt udgives dette temanummer om indemiljø.

Temadag og temanummer er planlagt af en arbejdsgruppe under ISMF med følgende sammensætning:

Seniorforsker Lars Gunnarsen, Statens Byggeforskningsinstitut
Professor Finn Gyntelberg, Arbejds- og Miljømedicinsk Klinik, H:S Bispebjerg Hospital
Seniorforsker Jan Pejtersen, Arbejds miljøinstituttet
Forskningschef Claus Reinhold, Statens Byggeforskningsinstitut
Hilde Balling, faglig sekretær for ISMF
Anette Bindslev, sekretær for ISMF

Temanummeret er opdelt i 3 afsnit - henholdsvis "Forureninger i indemiljøet", "Ny dansk forskning om indeklima i kontormiljøer" og "Mere viden er vejen til et bedre indemiljø".

Til det første afsnit om forureninger har Thomas Schneider bidraget med en artikel om de mange kilder til dannelse af støv i indemiljøet, herunder mennesket selv og dets aktiviteter – rygning undtaget.

Peder Wolkoff, Jacob K. Nøjgaard, Per A. Clausen og Gunnar D. Nielsen har skrevet en artikel, der diskuterer, hvorvidt kemiske forureninger i indemiljøet kan være årsag til symptomer hos mennesker. Desuden gennemgås afprøvningen af den af gruppen tidligere fremsatte hypotese om den "reaktive kemi" i indeluften som forklaringsmodel for opståen af sensorisk irritation.

Henrik N. Knudsen beskriver de mest anvendte sensoriske effektmålinger i relation til oplevet luftkvalitet og giver en række eksempler på anvendelsen heraf, herunder i forbindelse med den danske indeklimamærkningsordning og en renovering af en boligbebyggelse.

Til afsnittet om ny dansk forskning om indeklima i kontormiljøer har Jan Pejtersen skrevet en artikel, der giver en oversigt over aktuel viden om indeklima og psykosocialt arbejdsmiljø i storrumskontorer, herunder resultater fra Arbejds miljøinstituttets undersøgelse af 2300 kontoransatte i 22 kontorbygninger med forskellige kontortyper.

Jens Christoffersen skriver om betydningen af belysningsmiljøet, der, foruden at skabe gode synsbetingelser, også har positiv indflydelse på sundhed og velvære. Artiklen gennemgår desuden aktuel viden om betydningen af søvnhormonet melatonin.

Pawel Wargockis artikel omhandler indeklima og produktivitet og gennemgår 6 nye studier, der viser, at luftkvaliteten har betydning for menneskers produktivitet..

I det sidste afsnit skriver Lars Gunnarsen om indemiljøbetingede gener og symptomer og om den nuværende viden om sammenhæng mellem eksponeringer i indeklimaet og opståen af sygdom. Artiklen gennemgår endvidere en række områder, hvor der er et særligt behov for ny viden.

De 7 artikler indeholder megen viden om indemiljøet, og vi håber, at mange vil have fornøjelse af at læse dette temanummer.

København, maj 2006
Arbejdsgruppen

Forureninger i indemiljøet

Indendørs støvkilder

Kan kemiske luftforureninger i
indemiljøet forårsage symptomer

Sensoriske effektmålinger i indemiljøet
– oplevet luftkvalitet

Indendørs støvkilder

Af Thomas Schneider, Arbejdsmiljøinstituttet

Indledning

En dag kom Søren Kierkegaard i en tilstand af saligt velvære. Da han var på det allerhøjeste begynder noget pludseligt at gnave i hans ene øje ”om det var et Øienhaar, et Fnug, et Støvgran, jeg veed det ikke. Men dette veed jeg, at jeg i samme Øieblik styrtede ned næsten i Fortvivlelsens Afgrund...” (Gjentagelsen. Hovedland, side 56). Dette er muligvis den første beskrivelse af, at gener i øjnene kan forringe velværet og nedsætte produktiviteten og at det ikke er oplagt, hvad der er årsagen. Det er stadig uklart i hvilken udstrækning støv i indeklimaet, målt som koncentrationen af masse eller antal af partikler i indeluften, er anvendeligt som prædikator for sundhedseffekter i indeklimaet. I hvert fald konkluderede et litteratur review, der dækkede tiden frem til august 2001, at der var utilstrækkelig dokumentation til at kunne afgøre spørgsmålet (1). Denne artikel handler om kildestyrker målt i masse eller antal, dog med enkelte afstikkere til specifikke komponenter i støvet.

Et typisk eksempel for støvkoncentrationen i en børnehave er vist i figur 1 (2). Det ses, at koncentrationen varierer meget, at visse aktiviteter får koncentrationen til at stige hurtigt for herefter at klinge af. Der er publiceret et stort antal artikler, der viser, at forskellige aktiviteter giver koncentrationsspidser af varierende højde. For at kunne drage generaliserbare slutninger om givne kilders bidrag til eksponeringen kræves imidlertid at kildestyrken kendes.

Kildestyrkebegrebet skal ses i sammenhæng med alle de processer, der transporterer partikler til og fra indeluften (figur 2):

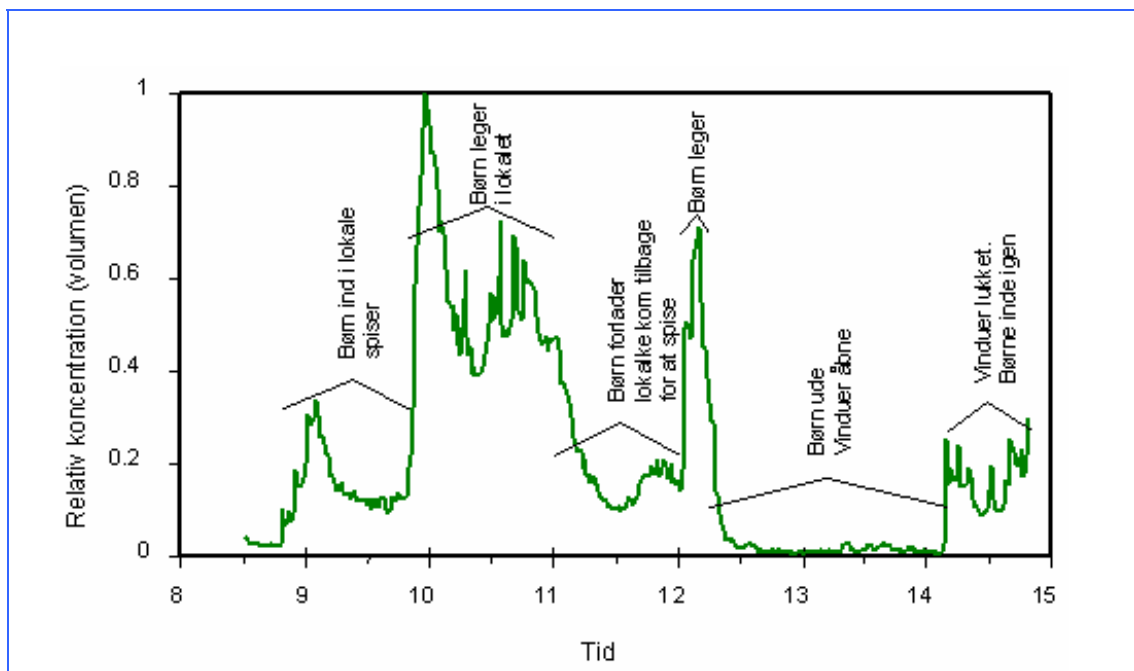
- *Emission*, der er transport af partikler til luften fra alle primærkilder som beboere, madlavning, kontormaskiner samt tilførsel af

forurenede udeluft ved ventilation eller infiltration. Desuden transport direkte til overflader ved *spild og drys*.

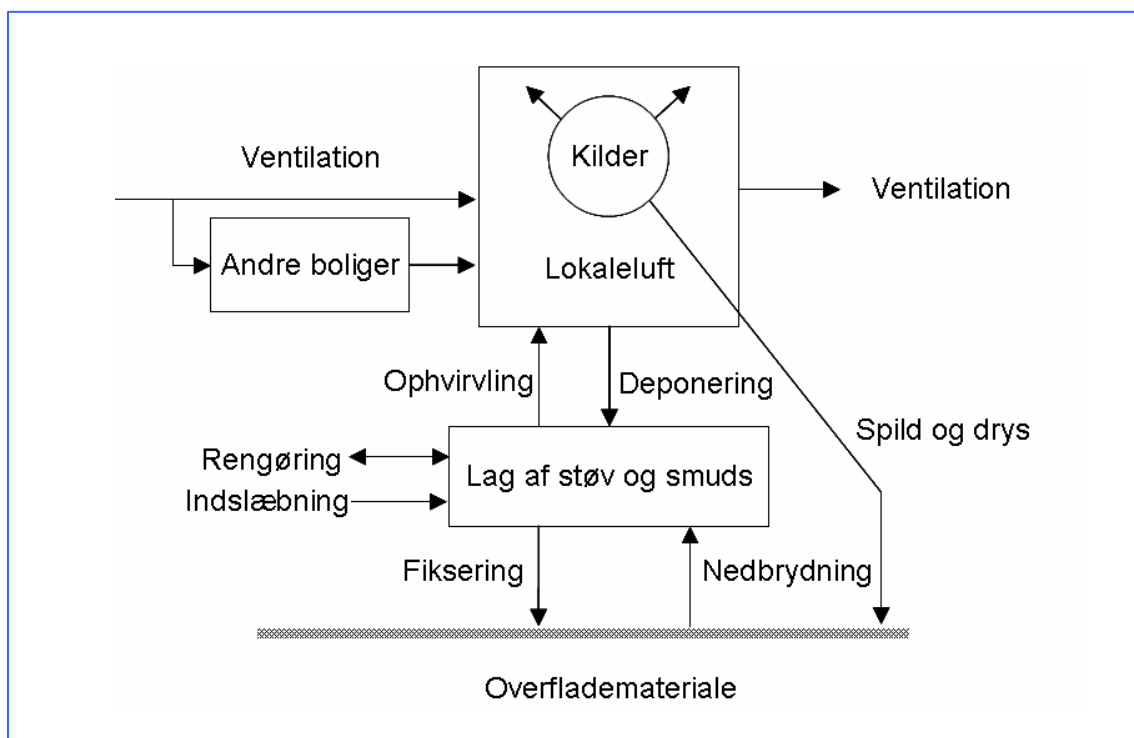
- *Indslæbning* med sko og tøj, der transporterer partikler direkte til overfladen, hvor der dannes et lag af støv og smuds.
- *Deponering*, der er transport fra luften til overfladen. Masse deponeringsraten D_p [$\text{g s}^{-1} \text{cm}^{-2}$], kan parametriseres ved deponeringshastigheden v_{dep} [cm s^{-1}] som $D_p = v_{\text{dep}} \times C$, hvor C er koncentrationen i luften.
- *Ophvirvling*, der er transport af partikler fra overfladen til luften.
- *Fjernelse* af partikler fra luften, som er bestemt af luftskiftet, N . Denne fjernelse sker i konkurrence med deponering på overflader, som kan beskrives ved en fjernelsesrate λ .

Rengøring fjerner partikler fra overfladen, men kan også tilføre rengørings- og plejemidler. Partikler kan fæstne sig til overflader, så de er meget svære at fjerne. Omvendt kan overfladen nedbrydes og dermed tilføre partikler til overfladelaget. Et eksempel herpå er, at gulvpolish i visse tilfælde ikke hæfter på gulvet, men løsner sig som en hinde og derefter knuses til fint, hvidt støv (powdering).

Forstøvning af rengøringsmidler, midler til personlig pleje, pesticider, imprægneringsmidler mm. er ikke medtaget, fordi partikeldannelsen her ikke er en utilsigtet bivirkning, men et mål i sig selv. Desuden er forholdsregler angivet på emballagen, selv om de færreste nok læser, hvad der står på etiketten (3). Tobaksrøg er heller ikke medtaget.



Figur 1. Støvkonzentration i en børnehave, fra (2).



Figur 2. Støvmodel med compartments (kasser) og transportprocesser (pile).

Byggematerialer og ventilationskanaler

Kildebegrænsning begynder allerede i byggefasen. Her gælder det først og fremmest om at undgå, at der dannes og spredes støv og dermed at der opbygges støvdepoter på materialeoverflader og i bygningskonstruktioner (4).

Partikelafgivelse fra loftprodukter er omfattet af Indeklimamærkningsordningen (Dansk Selskab for Indeklima). Den afgivne støvmængde under en standardiseret, kraftig påvirkning (vibrationer induceret med højtalere) angives som mg nedfaldet støv m^{-2} . Hvis nedfaldet er under $2 \text{ mg } m^{-2}$ giver det ret til mærkning. Til sammenligning deponeres hvert døgn mellem 1 og $15 \text{ mg } m^{-2}$ i europæiske boliger (tabel 3).

Størrelsen af en skimmelsvampevækst er ikke noget godt mål for hvor meget den forurener lokaleluften med mikrobielle partikler. Ved en standardiseret påvirkning med luftstråler af gipsplader med skimmelsvampevækst er vist, at antallet af afgivne mikroorganismer kan variere inden for 4 størrelsesordener, afhængig af arten af mikroorganismer (5). Antallet af frigivne sporer faldt kraftigt, når lufthastigheden kom under ca. $1 \text{ m } s^{-1}$, men faldet var igen afhængigt af arten, og kun nogle arter afgav sporer under $0,3 \text{ m } s^{-1}$. Hvis sporerne er afgivet inde i bygningskonstruktionen eller i krybekælderen, så vil den procentdel, der når frem til indeluften, kunne variere mellem 0 % og 100 % (5). Denne store forskel skyldes, at penetrationen aftager fra nær 100 % omkring $1 \mu\text{m}$ til nær 0 % over ca. $10 \mu\text{m}$, dog afhængig af utæthedernes geometri og trykforskellen (6), kombineret med at de sporebærende partikler typisk ligger mellem $1 \mu\text{m}$ og $10 \mu\text{m}$, afhængig af hvilke kolonier af mikroorganismer, de stammer fra. Det er dog for nylig påvist, at der kan afgives partikler mindre end svampesporer, dvs. under $1 \mu\text{m}$ (7).

Ses der bort fra, at der kan vokse mikroorganismer i ventilationskanaler, når den rette mængde vand er til stede, så vil ventilationskanaler fungere som partikelfiltre, ganske vist ikke særlig effektive. Dette skyldes, at partikler deponeres inde i kanalen. Det samme gælder, hvis luften tilføres over nedhængte lofter. Noget af det de-

ponerede støv kan dog frigøres, hvis kanalen udsættes for vibrationer (8) og naturligvis ved fysiske indgreb i konstruktionen. Der er ikke tilstrækkelig dokumentation for, hvor meget periodevis kanalrengøring kan reducere støvkonzentrationen i indeluften.

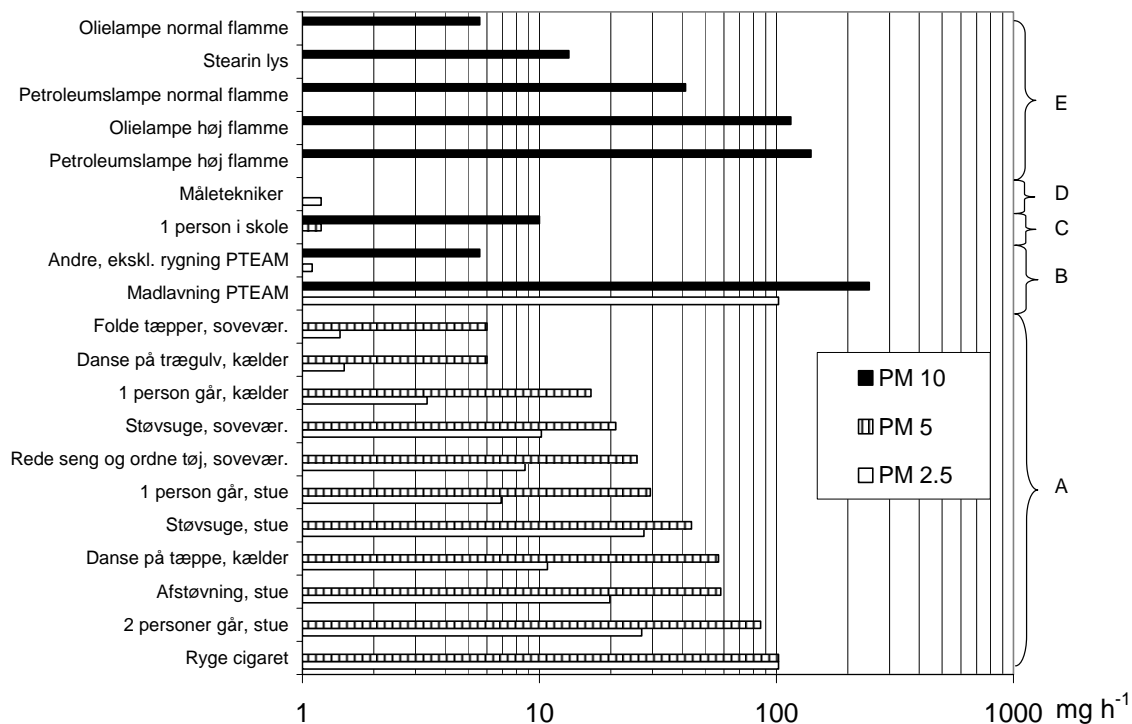
Beboere og deres aktiviteter

Menneskene selv genererer partikler. Hele det ydre hudlag afstødes inden for 1-2 dage. Det er anslået, at det kan blive til millioner af hudskæl per minut. En stor del heraf trænger ud gennem tøjet og frigives til luften (9). I boliger kan hudskæl udgøre op til 5 vægt % af støvet i en persons åndingszone (10). Tale, hoste og især nys genererer et stort antal dråber. Et nys genererer omkring 100.000-1.000.000 dråber, hvoraf mange indeholder bakterier (11).

Figur 3 viser et udvalg af kildestyrker. A-D er summen af ophvirvling og hvad personen selv afgiver, beregnet ud fra massebalancemodeller for forskellige scenarier. E er målt i testkammer.

- A. Forskellige aktiviteter i en bolig (12). Der er ikke oplysninger om støvmængden på de overflader, der blev påvirket. Tobaksrygning blev medtaget som sammenligningsgrundlag.
- B. PTEAM studiet, der omfattede 178 boliger i USA (10).
- C. Gennemsnit af bidraget fra 1 person i en skole (13). Angivet som PM_5 og PM_{10} , selv om der blev målt respirabelt og totalstøv.
- D. En måletekniker, der med mellemrum besøgte en tom lejlighed for at tilse måleudstyret som led i en feltundersøgelse (14). Der er vist den gennemsnitlige støvudvikling under et besøg (ikke publiceret).
- E. Emission målt i testkammer (15)

De foreskrevne aktiviteter A ovenfor blev gennemført i et enfamiliehus. Dag 1 blev der gået på tæppe, danset på trægulv og på tæppe. Dag

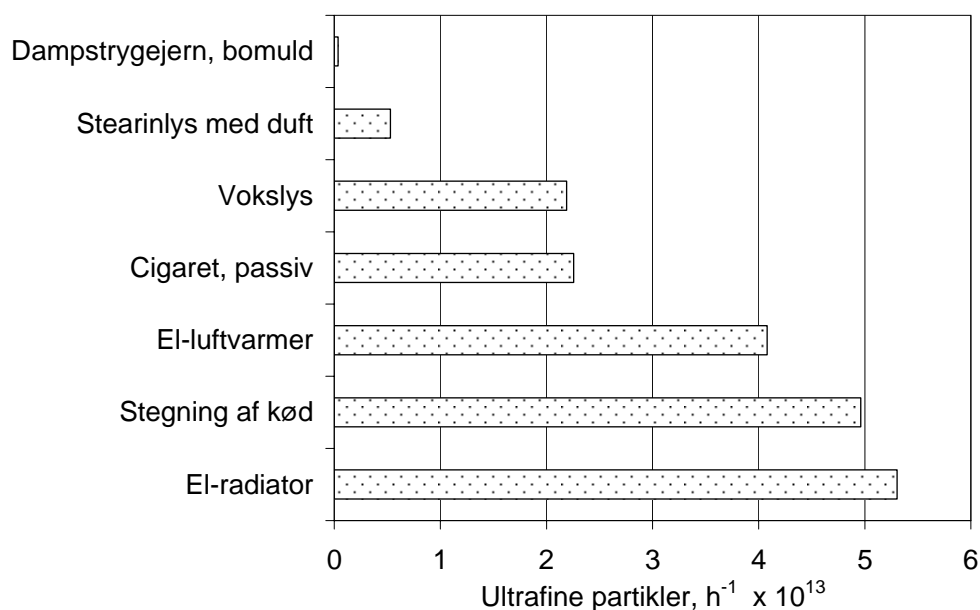


Figur 3. Kildestyrker. A (12), B (10), C (13), D se tekst, E(15).

2 blev der gået, man satte sig i møbler, redte seng og foldede lagner. Dag 3 gik 2 personer og satte sig i møbler, der blev støvet af og støvsuget. Den samlede varighed var fra 1 til 1½ time per dag. Dag 4 og 5 var boligen stort set ubeboet. Der blev hverken lavet mad, røget eller forbrændt noget i løbet af måledøgnet. Døre og vinduer var lukket. Støvkonzentrationen blev målt stationært ude og inde over et døgn. En massebalanceberegning viste, at for PM_{2,5} målt inde (og som gennemsnit for et døgn) stammede 17-38 % udefra (dag 1, 2 og 3). For dag 4 og 5 var det 55-66 %. For PM₅ blev der målt i åndingszonen hos aktørerne. Måleperioden var 4-6 timer (1-1½ timers aktivitet + ventetid mellem de enkelte aktiviteter). Her udgjorde ude fra kommende PM₅ 4-10 % (dag 1, 2 og 3) (16). Forsøget viser, at ophvirvling kan bidrage væsentligt til den gennemsnitlige eksponering for PM_{2,5} og helt kan dominere eksponeringen for PM₅ i perioder med aktivitet.

Andre eksempler:

- Under et museumsbesøg kan en person afgive i alt ca. 6 mg partikler fra tøjet, bedømt ud fra simuleringer i laboratoriet (17). Det meste af massen kom fra ikke-respirable partikler.
- Papir ”nusseri” bidrager ikke med papirstøv af betydning, hvad enten det er nyt eller genbrug (18). Men papir, der ligger frit fremme, akkumulerer støv som ophvirvles, hvis det håndteres. Derfor bør papir, der ligger på skrivebordet, rengøres lige så ofte som den frie bordplade, men det er ikke praksis.
- Kontormaskiner genererer partikler. En skrivebordsprinter bør ifølge anbefaling af Teknologisk Institut udsende under 0,6 mg støv h⁻¹. (<http://www.indeklimaportalen.dk>)



Figur 4. Afgivelse af ultrafine partikler per time, fra (19).

Den store opmærksomhed om nanopartikler har genoplivet interessen for ultrafine (under $0,1 \mu\text{m}$) partikler fra traditionelle kilder. Figur 4 viser et eksempel på kildestyrker (19). De er målt med et instrument, der måler alle partikler i området $0,02\text{-}1\mu\text{m}$. Resultatet er med tilnærmelse korrigeret for indflydelse af koagulation, fordampning samt deponering på overflader. Mængden af partikler fra madlavning, der slipper ud i køkkenet, vil naturligvis være meget afhængig af emhættens effektivitet. Dannelsen af ultrafine partikler som følge af kontakt mellem husstøv og en varm overflade, f.eks. elradiator, kan ske med en kraftig initial top (30 s) ved 250°C , over længere tid (> 90 s) ved 100°C og ikke måleligt ved 50°C (20).

Private brændeovne og -kedler står for ca. halvdelen af udendørs $\text{PM}_{2,5}$ i Danmark (www.dmu.dk). Der er ingen data for, hvor meget de direkte, eller indirekte via penetration udefra, belaster indeluften med partikler.

I etageejendomme kan aktiviteter i tilstødende eller fjernere lejligheder bidrage med partikler

under ca. $1 \mu\text{m}$ (14). Der er i et efterfølgende projekt foretaget målinger over 2 uger i en lejlighed på Jagtvej, der bekræfter dette (21). Beregning af de egentlige kildestyrker pågår.

Penetration af partikler fra udeluften

Koncentrationen inden døre af partikler, der kommer udefra, er på samme niveau som, eller kan være en del mindre end, koncentrationen udenfor. Medens udendørs partikler kommer ubeskåret ind gennem et åbent vindue, så bliver den luft, der tænger ind gennem sprækker i bygningen, filtreret med en effektivitet, der afhænger af partikelstørrelsen, trykforskellen og sprækkernes geometri. Desuden kan der ske en fordampning af f.eks. nitrater. Forsøg har vist, at penetrationen er størst i diameterområdet $0,1\text{-}1 \mu\text{m}$, hvor den kan være tæt ved 1,0 (6). For en ubeboet lejlighed på Jagtvej i København var penetrationen $0,75$ i området $0,4\text{-}1 \mu\text{m}$ og faldt til ca. $0,1$ ved $4\mu\text{m}$ (14). Under $0,1 \mu\text{m}$ aftager penetrationen ligeledes med aftagende diameter og kan for $0,03 \mu\text{m}$ partikler være faldet til $0,2$ (6).

Tabel 1. Mængden af indslæbte partikler, ved brug af forskellige målemetoder.

Målemetode og måleobjekt	Masse transport	Ref.
Masse fjernet ved vask [§] Post kontor, regnvej	20 000 mg dag ⁻¹ m ⁻²	(24)
Masse fjernet ved støvsugning ^{&} Gulv i dagligstue, stueetage	200 – 400 mg dag ⁻¹ m ⁻²	(25)
Indslæbning i museer med skoene [§] Tørt vejr Regn Vådt føre	130 mg person ⁻¹ 90 mg person ⁻¹ 2290 mg person ⁻¹	(26)
Masse balance Hall og lounge, tæpper	190 mg dag ⁻¹ m ⁻²	(27)
Masse tilvækst på ikke rengjorte gangarealer [*] Tæppe, første sal Tæppe, stuen Linoleum, stuen Dørmåtte i entré	150 mg dag ⁻¹ m ⁻² 310 mg dag ⁻¹ m ⁻² 10 mg dag ⁻¹ m ⁻² 6200 mg dag ⁻¹ m ⁻²	(28)

[§] Partikler opsamlet ved vask.

^{*} Partikler opsamlet med mikro-støvsugningsmetode, korregeret for opsamlings effektivitet.

[&] Opsamlet ved støvsugning. Beboere støvsuger med 1-2 dages mellemrum.

[§] Forskel mellem højre og venstre sål, idet højre skosål er afvasket med vand ved indtræden og venstre sål efter gang i 30 min.

Indslæbning

Mængden af partikler (herunder også snavs), der slæbes ind i en bygning med skoene afhænger af sålens konstruktion, vejret og design af indgangspartiet med riste og måtter. En lang gulvmåtte kan reducere den samlede indslæbte mængde 5-6 gange og det mest effektive er, naturligvis, at tage skoene af (22). Den deponerede mængde aftager med afstanden fra indgangen og hurtigere, hvis der er tæppe i entreen. En aktiv hund kan være det ”familiemedlem”, der slæber mest snavs ind (23).

Indslæbningen er blevet kvantificeret ved brug af forskellige målemetoder, som ikke måler helt det samme. Tabel 1 viser nogle resultater. Disse målinger har ikke fratrukket bidraget, der kommer fra deponering fra luften, men af tabel 3 ses, at bidraget fra luften kun kan have

udgjort en lille del, bortset fra eksemplet med linoleumsgulvet.

Deponering fra luften

Deponering fra luften sker til alle overflader. Deponeringshastigheden er størst for flader, der peger opad og er domineret af partikler over 1 µm. Deponeringshastigheden for partikler under 0,3 µm er uafhængig af fladens orientering, øges med aftagende diameter og med blandt andet øgende ruhed og turbulens og hvis overfladen er elektrisk ladet. Den resulterende fjernelsesrate, λ , er vist i tabel 2 for forskellige partikeldiameter. Det ses at λ er af samme størrelsesorden eller større end typiske luftskifter i en bolig. Det forklarer blandt andet, at man kun delvist kan ventilere sig ud af problemet med afsætning af partikler fra tobaksrøg, stearinlys og brændeovne på rummets overflader.

Tabel 2. Fjernelse af partikler fra luften som følge af deponering på overflader udtrykt som ækvivalente luftskifter, λ .

	Diameter	λ, h^{-1}	Ref.
Laboratoriestudie med typiske scenarier	0,55 μm	0,1-0,27	(29)
	1 μm	0,1-0,38	
	3 μm	0,64-1,64	
	8,7 μm	4,9-12,6	
Finske boliger	totalstøv	5,5	(30)

Tabel 3. Nedfaldsrater for støv.

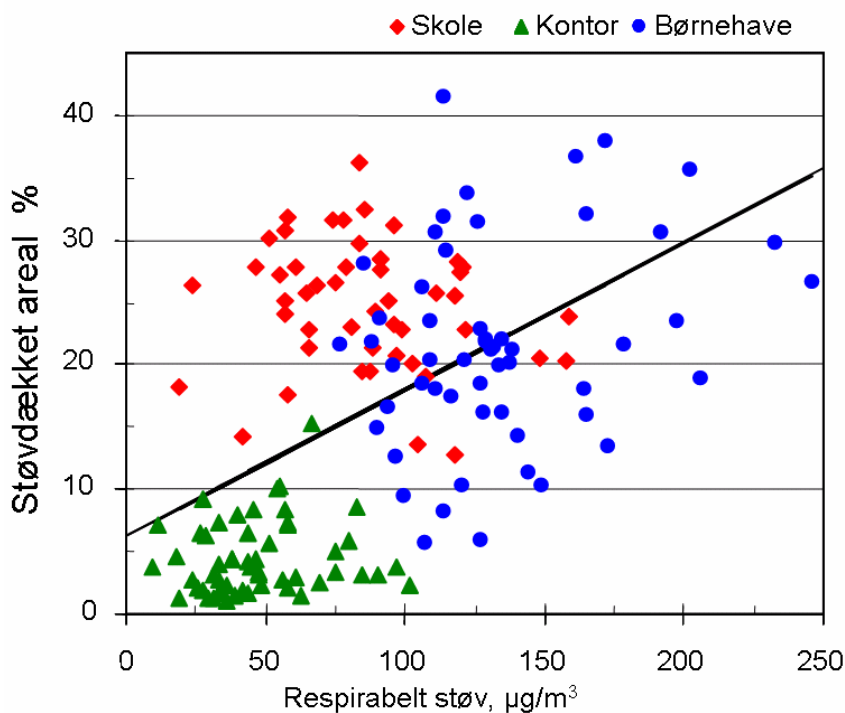
		Masse nedfald $\text{mg dag}^{-1} \text{m}^{-2}$	Ref.
Boliger, Nederlandene	Middel	15	(25)
	Spænd	1,4-64	
Boliger, Finland	Middel	5,3	(30)
242 boliger, Finland	Median	6,6	(31)
	Spænd	0,5-40	
Boliger, Tyskland	Middel	5	Friedrich et al. 1997 cit. i (32)
	95-percentil	20	
100 boliger i 5 byer, USA	Middel	20	Schaefer et al 1972 cit. i (22)
4 boliger i NJ, USA	Middel, sommer	4 \pm 1	(33)
	Middel, vinter	2 \pm 1	
Skoler, Danmark, målt 2,1 m over gulv	Middel, 140 dage	1,1	(34)

Tabel 4. Ophvirvlingsrater når 4 personer udfører almindelig aktivitet i en bolig (28). Baseret på opholdsarealet på 1. sal af boligen.

Diameter, μm	0.39	0.71	2.2	7.1	16
Ophvirvlingsrate, h^{-1}	$9,9 \cdot 10^{-7}$	$4,4 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$8,3 \cdot 10^{-5}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$

Mængden af støv der sedimenterer på vandrette overflader per tidsenhed (støvnedfaldsrater) har været brugt som indirekte mål for den luftbårne koncentration. Desuden bestemmer de også den hastighed med hvilken overflader, bortset fra gulve, besmudsnes. Tabel 3 giver en oversigt.

Børn, der har hund eller kat hjemme, bærer allergener med til skole i deres tøj. I skoler med børn fra hjem med katte var koncentrationen af katteallergener i åndingszonen $0,6 \text{ ng m}^{-3}$, hvis der var få, og 2 ng m^{-3} , hvis der var mange katteejere. Disse koncentrationer var højere end i hjem uden kat ($0,15 \text{ ng m}^{-3}$), men lavere end i hjem med kat (20 ng m^{-3}) (35) (36).



Figur 5. Sammenhæng mellem støv på glatte gulve, målt som støvdækket areal i %, og respirabelt støv i luften (2).

Ophvirvling

Partikler, der er ophobet på overflader, udgør en sekundær kilde til luftbårne partikler, hvis de ophvirvles. Lave lufthastigheder, som de normalt forekommer i indeklimaet, kan ikke ophvirvle partikler under $1 \mu\text{m}$. En luftstrøm med en hastighed på 15 cm s^{-1} hhv. 37 cm s^{-1} kunne ikke ophvirvle husstøvparkler ($0,3\text{-}100 \mu\text{m}$), der var blevet drysset på en vandret plade. Når pladen derimod blev vibreret ved 3 Hz (typisk for bygningsvibrationer), blev partikler i området $2\text{-}100 \mu\text{m}$ løsrevet fra overfladen (8). Herefter kan luftstrømmen føre dem ud i lokaleluften.

Ophvirvlingen kan kvantificeres som brøkdelen af den samlede masse på gulvet (eller en anden flade), der ophvirvles per tidsenhed. Tabel 4 viser ophvirvlingsraten, når 4 personer udførte almindelige aktiviteter på 1. sal af boligen. Der var tæpper på 40 % af gulvet. Det blev forudsat, at al massen på gulvet er til rådighed for ophvirvling, uanset partikelstørrel-

se. Denne tilnærmelse undervurderer den faktiske rate (28). Bemærk, at ophvirvlingsraten aftager kraftigt med aftagende diameter.

Rengøring

Hvis man i en meget støvet bolig begynder at gøre effektivt rent, ses det tydeligt, at rengøring mindsker koncentrationen af respirabelt støv i luften (37). Når læseren er nået til dette sted i artiklen, burde det ikke længere overraske, at der kun i meget store træk, og ikke på enkeltlokale niveau, er en sammenhæng mellem støv på gulvet og koncentrationen af respirabelt støv i luften, som det fremgår af figur 5 (2). Derfor kan det heller ikke undre, at hvis der i forvejen er forholdsvis rent, kan der næsten ikke påvises en nedsættelse i koncentrationen, hvis der sættes ind med bedre, men dog omkostningsneutrale rengøringsmetoder (39). Der har været fremført den formodning, at vægge kan være kontamineret med allergener fra kæledyr i en grad så berøring af væg og herefter næsens eller øjets slimhinde kan

udløse en allergisk reaktion i sensibiliserede individer (40). Katteallergikere skal derfor også sikre, at væggene får en grundig omgang rengøring efter de har skaffet sig af med katten.

Medens der gøres rent, stiger koncentrationen i luften (figur 3). Det skyldes, at rengøringsredskabet ophvirvler støv, at personen selv afgiver eller ophvirvler støv (41), at støvsugermundstykket, afhængig af konstruktionen, ikke opfanger alt det løsnede støv lige effektivt (42) og at støvsugerens filter ikke effektivt tilbageholder støv. Dette bidrager til at eksponeringen kan have betydning for særligt følsomme personer og for rengøringspersonale.

Dampe fra et terpenholdigt plejemiddel anvendt på gulvet i en bolig viste sig at reagere med ozon, som resulterede i en maksimal koncentration på $20 \mu\text{g m}^{-3}$ partikler mindre end $0,1 \mu\text{m}$ (43). Partikeldannelse i indeklimaet som følge af reaktioner med ozon er i øvrigt et nyt forskningsområde på Arbejds miljøinstituttet.

Det er interessant at bemærke, at den personlige adfærd i brug af rengøringsmidler er påvirkelig af f.eks. duft (3): der blev anvendt mindre rengøringsmiddel, hvis det var parfumeret, end hvis det var neutralt. Det er dog ikke en anvendelig fremgangsmåde til at reducere forbruget af rengøringsmidler, fordi brug af duftstoffer bør undgås.

Hvad er så specielt ved tæpper?

Tæpper kan både øge og reducere koncentrationen af støv i luften. På den ene side er det vist, at der per m^2 akkumuleres større mængder støv i tæpper end på hårde gulve, se tabel 1. Dette er også vist for de specifikke komponenter støvmide- og katteallergen, endotoxin og glucan, medens det for de tilsvarende koncentrationer i luften nærmest var omvendt (44). Ved laboratorieforsøg er vist, at et PVC gulv afgav flere kolonidannende enheder af *Stafylococcus aureus* ved simuleret gang end et tæppe, vel og mærke hvis PVC gulvet og tæppet forud havde fået tilført samme mængde sporer per m^2 (45).

Der er en lang række faktorer, der påvirker støvafgivelse fra tæpper. Under simuleret gang sad støvet bedre fast ved en luftfugtighed under 20 % (statisk elektricitet) og ved en luftfugtighed over 83 % (kapillarkondensation) (46). Desuden kan tæpper designes så de er lettere at rengøre for partikler (47). Går man på rengøringsvenlige tæpper, vil der nødvendigvis også lettere afgives det støv, der er slæbt ind eller deponeret fra luften siden sidste rengøring. Rengøringsvenlighed, rengøringsfrekvens og alle transportprocesser skal derfor ses som en helhed.

Støv i tæpper måles typisk ved at støvsuge et givet areal og kvantificere det opsamlede støv. Det sker ofte uden hverken at definere eller kende den effektivitet, hvormed støvet i tæppet opsamles. Målemetoder, der prøver at opsamle mest muligt støv, kan være misvisende. Det er f.eks. fundet (48), at fraktionen af ophvirvlet støv ved simuleret gang var omvendt proportional med mængden af støv per m^2 , der var tilført tæppet, dog ikke mere end at den totale mængde, der er ophvirvlet, voksede med voksende støvmængde på gulvet. Vanskelighederne ved at bestemme tæppers bidrag til støvet i luften illustreres yderligere af, at øget rengøring øgede mængden af endotoxin per arealenhed, der efterfølgende kunne måles i tæppet med en mikro støvsuger metode (49). Dette må skyldes, at støvet trækkes op til overfladen under støvsugningsprocessen og derfor bliver lettere at fjerne efterfølgende med prøveopsamlingsudstyret. Det betyder også, at det bliver lettere at ophvirvle dette støv ved gang. Tilsvarende er fundet for støvmide allergen (50).

For så godt som muligt at kunne kvantificere den del af støvet i tæppet, der er tilgængelig for ophvirvlinger, er der udviklet en STEPP-tester til feltbrug (38). Den opsamler alt støv, der ophvirvles under simuleret gang på tæpper. Med dette instrument er fundet, at der blev ophvirvlet 3 gange så meget teststøv (aluminiumoxid) fra nålefilt, sammenlignet med boucle og velour i størrelsesområdet $1-10 \mu\text{m}$, og at det i størrelsesområdet $10-30 \mu\text{m}$ var mellem 5 og 10 gange så meget. Måling med STEPP testeren i skoler og kontorer viste, at der blev op-

hvirvlet dobbelt så meget støv fra ikke-gangzoner som fra gangzoner (51).

Afsluttende bemærkninger

I litteraturen optræder mange eksponeringsrelaterede begreber som koncentrationen ude (fordør, baggård, bybaggrund, mm.), koncentrationen inde målt stationært, personlig eksponering (der er en blanding af eksponering i boligen, under transit, ophold på offentlige steder samt arbejde), "personal dust cloud", inde/ude forhold, og mange flere. Der vil stadig komme mange epidemiologiske studier over sundhedseffekter af partikler genereret i udemiljøet, som tilsigter at udvikle statistiske modeller til bestemmelse af, hvordan disse forskellige eksponeringsmål hænger sammen. Det kan blive ganske indviklet at holde styr på, hvordan disse sammenhænge bedst kan udnyttes til at skærpe eksponeringsvurderingen i f.eks. populationsstudier. Samtidig er der en voksende erkendelse af, at indendørs kilder kan spille en betydende rolle og at de kan have andre helbredseffekter. Det er en stor udfordring at udvikle et undersøgelsesdesign med tilstrækkelig styrke til at kunne påvise en eventuel sundhedsmæssig betydning af specifikke indendørs kilder (52).

En alternativ tilgang er at bruge deterministiske modeller, der i deres grundstruktur indeholder modeller som f.eks. vist i figur 2 og som sætter kvantificering af kildestyrkerne og transportprocesserne i fokus. Denne tilgang vil også give et konkret datagrundlag for valg af forebyggende tiltag, herunder vejledning af befolkningen om effektive metoder til begrænsning af eksponering for partikler fra indendørs kilder.

Referencer

1. Schneider T, Sundell J, Bischof W, Bohgard M, Cherrie JW, Clausen PA et al. "EUROPART". *Airborne particles in the indoor environment. A European interdisciplinary review of scientific evidence on associations between exposure to particles in buildings and health effects*. Indoor Air 2003;13(1):38-48.
2. Kildesø J, Nielsen JB, Schneider T. *Cross-sectional study of surface dust contamination in Danish schools and day-care centers*. In: Raw G, Aizlewood C, Warren P (eds). *Proceedings of the 8th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*. Vol 4. London: Construction Research Communications Ltd., 1999:261-6.
3. Kovacs DC, Small MJ, Davidson CI, Fischhoff B. *Behavioral factors affecting exposure potential for household cleaning products*. J Expo Anal Environ Epidemiol 1997;7(4):505-20.
4. Flatheim G. *The "Clean building philosophy"*. In: Yoshizawa S, Kimura K, Ikeda K, Tanabe S, Iwata T (eds). *Proceedings of the 7th international conference on indoor air quality and climate*. July 21-26. 1996 Nagoya, Japan. Vol. 1. Tokyo: Indoor Air '96, 1996:477-9.
5. Kildesø J, Würtz H, Nielsen KF, Kruse P, Wilkins CK, Thrane U et al. *Determination of fungal spore release from wet building materials*. Indoor Air 2003;13:148-55.
6. Liu D-L, Nazaroff WW. *Particle penetration through building cracks*. Aerosol Sci Technol 2003;37(7):565-73.
7. Madsen AM. *Frigivelse af små svampepartikler og svampesporer fra fugtskadede byggematerialer*. Miljø og sundhed 2005;26:20-3.
8. Harney J, Trunov M, Grinshpun SA, Willeke K, Choe KT, Trakumas S et al. *Release of lead-containing particles from a wall enclosure*. Am Ind Hyg Assoc J 2000;61:743-52.
9. Clark RP, Cox RN. *Dispersion of bacteria from the human body surface*. In: Hers JF, Winkler KC (eds). *Airborne transmission and airborne infection*. Utrecht: Osthoeck Publishing Co, 1973:413-26.
10. Özkaynak H, Xue J, Spengler J, Wallace L, Pellizzari E, Jenkins P. *Personal exposure to airborne particles and metals: Results from the Particle TEAM study in Riverside, California*. J Expo Anal Environ Epidemiol 1996;6:57-78.
11. Lidwell OM. *Take-off of bacteria and viruses. Airborne microbes*. Seventeenth symposium of the society for general microbiology. Imperial College, London April 1976. Cambridge University Press, 1967:116-37.

-
12. Ferro AR, Kopperud RJ, Hildemann LM. *Source strengths for indoor human activities that resuspend particulate matter*. Environ Sci Technol 2004;38(6):1759-64.
 13. Scheff PA, Paulius VK, Curtis L, Conroy LM. *Indoor air quality in a middle school, part II: Development of emission factors for particulate matter and bioaerosols*. Appl Occup Environ Hyg 2000;15(11):835-42.
 14. Schneider T, Jensen KA, Clausen PA, Afshari A, Gunnarsen L, Wählin P et al. *Prediction of indoor concentration of 0.5-4µm particles of outdoor origin in an uninhabited apartment*. Atmos Environ 2004;38:6349-59.
 15. Fan C-W, Zhang J. *Characterization of emissions from portable household combustion devices: particle size distributions, emission rates and factors, and potential exposures*. Atmos Environ 2001;35:1281-1290.
 16. Kopperud RJ, Ferro AR, Hildemann LM. *Outdoor versus indoor contributions to indoor particulate matter (PM) determined by mass balance methods*. J Air Waste Manag Assoc 2004;54(9):1188-96.
 17. Yoon YH, Brimblecombe P. *Clothing as a source of fibres within museums*. Journal of Cultural Heritage 2000;1:445-54.
 18. Breum NO, Nielsen SH, Jørgensen O, Schneider T, Würtz H. *Støvsafgivelse ved håndtering af kontorpapir*. 49, 1-92. 1999. København, Arbejdsmiljøinstituttet. AMI Rapport.
 19. Afshari A, Matson U, Ekberg LE. *Characterization of indoor sources of fine and ultrafine particles: a study conducted in a full-scale chamber*. Indoor Air 2005;15(2):141-50.
 20. Pedersen EK, Bjørseth O, Syversen T, Mathiesen M. *Physical changes of indoor dust caused by hot surface contact*. Atmos Environ 2001;35:4149-57.
 21. Glasius M, Wählin P, Jensen KA, Schneider T, Gunnarsen L, Nielsen OJ, Palmgren F. *Outdoor and indoor sources to fine particles in an urban apartment*, European Aerosol Conference 2005, Ghent, Belgium, 28 august – 2 september 2005.
 22. Roberts JW, Budd WT, Ruby MG, Camann DE, Fortmann RC, Lewis RG et al. *Human exposure to pollutants in the floor dust of homes and offices*. J Expo Anal Environ Epidemiol 1992;(1):127-46.
 23. Nishioka MG, Burkholder HM, Brinkman MC, Lewis RG. *Distribution of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid in floor dust throughout homes following homeowner and commercial lawn applications: Quantitative effects of children, pets, and shoes*. Environ Sci Tech 1999;33:1359-65.
 24. Hellstrøm B, Jahr J, Greger I. *Gulvrenghjøring*. Oslo: Statens bygge og ejendomsdirektorat, 1969.
 25. Diemel JAL, Brunekreef B, Boleij JSM, Biersteker K, Veenstra SJ. *The Arnhem lead study II. Indoor pollution, and indoor/outdoor relationships*. Environ Res 1981; 25:449-56.
 26. Yoon YH, Brimblecombe P. *Contribution of dust at floor level to particle deposit within the Sainsbury Centre for Visual Arts*. Studies in Conservation 2000;45:127-37.
 27. Allott RW, Kelly M, Hewitt CN. *A model of environmental behaviour of contaminated dust and its application to determining dust fluxes and residence times*. Atmos Environ 1994; 28(4):679-87.
 28. Thatcher TL, Layton DW. *Deposition, resuspension and penetration of particles within a residence*. Atmos Environ 1995;29 (13):1487-97.
 29. Thatcher TL, Lai AC, Moreno-Jackson R, Sextro RG, Nazaroff WW. *Effect of room furnishings and air speed on particle deposition rates indoors*. Atmos Environ 2002;36:1811-19.
 30. Raunemaa T, Kulmala M, Saari H, Olin M, Kulmala MH. *Indoor air aerosol model: Transport indoors and deposition of fine and coarse particles*. Aerosol Sci Technol 1989;11:11-25.
 31. Ruotsalainen R, Rönnberg R, Säteri J, Majanen A, Seppänen O, Jaakkola JJK. *Indoor climate and the performance of ventilation in Finnish residences*. Indoor Air 1992;2:137-45.
-

-
32. Seifert B. *Die Untersuchung von Hausstaub im Hinblick auf Expositionsabschätzungen*. Bundesgesundheitsblatt 1998;41(9):383-91.
33. Edwards RD, Yurkow EJ, Lioy PJ. *Seasonal deposition of housedusts onto household surfaces*. Sci Total Environ 1998;224(1-3):69-80.
34. Wurtz H, Sigsgaard T, Valbjorn O, Doekes G, Meyer HW. *The dustfall collector--a simple passive tool for long-term collection of airborne dust: a project under the Danish Mould in Buildings program (DAMIB)*. Indoor Air 2005;15(9):33-40.
35. Almqvist C, Egmar AC, Hedlin G, Lundqvist M, Nordvall SL, Pershagen G et al. *Direct and indirect exposure to pets - risk of sensitization and asthma at 4 years in a birth cohort*. Clin Exp Allergy 2003;33(9):1190-7.
36. Almqvist C, Larsson PH, Egmar AC, Hedren M, Malmberg P, Wickman M. *School as a risk environment for children allergic to cats and a site for transfer of cat allergen to homes*. J Allergy Clin Immunol 1999;103(6):1012-17.
37. Kemp PC, Dingle P, Neumeister HG. *Particulate matter intervention study: A causal factor of building-related symptoms in an older building*. Indoor Air 1998;8:153-71.
38. Kildesø J, Vinzents P, Schneider T. *A simple method for measuring potential resuspension of dust from carpets in the indoor environment*. Textile Res 1999;69(3):169-175.
39. Kildesø J, Tornvig L, Skov P, Schneider T. *An intervention study of the effect of improved cleaning methods on the concentration and composition of dust*. Indoor Air 1998;8:12-22.
40. Wood RA, Mudd KE, Eggleston PA. *The distribution of cat and dust mite allergens on wall surfaces*. J Allergy Clin Immunol 1992;89(1):126-30.
41. Schneider T, Nilsen S, Dahl I. *Cleaning methods, their effectiveness and airborne dust generation*. Build Environ 1994;29:369-72.
42. Hegarthy JM, Rouhbakhsh S, Warner JA, Warner JO. *A comparison of the effect of conventional and filter vacuum cleaners on airborne house dust mite allergen*. Respir Med 1995;89:279-84.
43. Long CM, Suh HH, Koutrakis P. *Characterization of indoor particle sources using continuous mass and size monitors*. J Air & Waste Manage Assoc 2000;50:1236-50.
44. Foarde K, Berry M. *Comparison of bio-contaminant levels associated with hard vs. carpet floors in nonproblem schools: results of a year long study*. J Expo Anal Environ Epidemiol 2004;14(1):41-8.
45. Mebes B. *Probleme der Raumhygiene*. Fussbodenzeitung 1979;27:24-7.
46. Kivistö T, Hakulinen J. *Der Staubgehalt der Luft in Räumen mit textilen Fussbodenbelägen*. Staub Reinhalt Luft 1981;41:357-8.
47. Lewis R, Breysse PN. *Carpet properties that affect the retention of cat allergen*. Ann Allergy 2000;84:31-6.
48. Gomes C, Freihaut J, Bahnfleth W. *Resuspension of allergen-containing particles under mechanical and aerodynamic disturbances from human walking*, 2006. http://www.en.psu.edu/ae/iecc/publications/papers/resuspension_umechanical.pdf
49. Hines CJ, Milton DK, Larsson L, Petersen MR, Fisk WJ, Mendell MJ. *Characterization and variability of endotoxin and 3-hydroxy fatty acids in an office building during a particle intervention study*. Indoor Air 2000;9:226-52.
50. Roberts JW, Clifford WS, Glass G, Hummer PG. *Reducing dust, lead, dust mites, bacteria, and fungi in carpets by vacuuming*. Arch Environ Contam Toxicol 1999;36:477-84.
51. Kildesø J, Schneider T. *Cleaning quality guidelines for carpets based on measurements of the potential resuspension of dust*. In: Levin H (ed). Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate. Vol.3. Santa Cruz, California: Indoor Air 2002, 2002:126-31.
52. Hänninen OO, Lebret E, Ilacqua V, Katsouyanni K, Künzli N, Srám RJ et al. *Infiltration of ambient PM_{2.5} and levels of indoor generated non-ETS PM_{2.5} in residences of four European cities*. Atmos Environ 2004;38: 6411-23.
-

Kan kemiske luftforureninger i indemiljøet forårsage symptomer?¹

Af P. Wolkoff, J.K. Nøjgaard, P.A. Clausen, G.D. Nielsen, Arbejdsmiljøinstituttet

For nogle år siden stillede vi spørgsmål ved, om det var de relevante luftforureninger, der blev målt i indemiljøet, når årsagen til symptomer i indemiljøet, som for eksempel sensorisk irritation i øjne og luftveje, skal opklares (3;4). Grunden var, at målte koncentrationer af typiske VOCer (Volatile Organic Compounds) i luften ikke kunne forklare denne forekomst af sensorisk irritation. Koncentrationstærsklerne for sensorisk irritation i øjne og luftveje er størrelsesordner over de målte VOC-koncentrationer i indemiljøet. De målte VOCer kan derfor ikke anvendes som forklaringsmodel, selvom de forskellige VOCers irritative effekt adderes (5). Der er dog tilfælde, hvor koncentrationen af specifikke reaktive luftvejsirritanter, for eksempel formaldehyd, kan nærme sig tærsklen for sensorisk irritation og sammen med andre VOCer resultere i irritationssymptomer i slimhinderne. Mange VOCer har lave lugttærskler og meget tyder på, at de er betydeligt lavere end tidligere antaget (6). Det er derfor sandsynligt, at dårlig luftkvalitet (kvantificeret som det integrerede lugtbidrag af samtlige tilstedeværende VOCer) kan resultere i overrapportering af sensorisk irritation i øjne og luftveje, jævnt (6). Sådanne tilfælde kan især forekomme i forbindelse med nybyggeri eller renovering, hvor de initiale VOC koncentrationer kan være ganske høje, især hvis luftskiftet er lavt.

I modsætning til sensorisk irritation i øjne, næse og svælg, der opbygges over tid i indemiljømæssige sammenhænge, sanses lugt øjeblikkeligt, da lugt har en stejl tids-effekt kurve (7;8). Lugtindtrykket spænder vidt fra behagelige lugte til ubehagelige lugte (9;10). Lugt er en del af begrebet luftkvalitet, og lugtopfattelse

kan føre en række problemer med sig i indemiljøet, for eksempel i form af symptomer (2). Derfor er det nødvendigt at forstå, hvad luftkvalitet er, og hvilken betydning det har for den tidsmæssige udvikling af symptomer.

Definition på luftkvalitet?

Der findes ikke en entydig definition af "luftkvalitet", det afhænger delvis af konteksten. Ved luftkvalitet (indoor air quality) forstås den kemisk - fysisk - mikrobiologiske sammensætning af indeluften i form af gasser og partikler. En tilsvarende definition anvendes i forbindelse med vurdering af udeluften. Inden for ventilationsbranchen anvendes "luftkvalitet" imidlertid som den måde, hvorpå indeluften opleves ved en kortvarig lugtvurdering, altså et "flash-indtryk". Målet er ifølge den amerikanske standard for ventilation (ASHRAE 62-2001), at 80 % af et utrænnet (naivt) panel af personer skal være tilfredse med luftkvaliteten ved indtræden i en bygning/lokale. I en arbejdsmiljø-/indemiljømæssig sammenhæng er det imidlertid relevant i hvilken grad, hvordan og hvor hurtigt symptomer udvikles hen over arbejdsdagen og arbejdsugen. Det gælder især udvikling af sensorisk irritation (øjne og luftveje), træthed og hovedpine, der er kendetegnet ved en vis latenstid. Der er ikke nødvendigvis en sammenhæng mellem den umiddelbart oplevede luftkvalitet og efterfølgende symptomudvikling, jævnt for eksempel (11;12).

Det er derfor vigtigt at skelne mellem den ventilations-panel-baserede luftkvalitet, der i vid udstrækning er et "flash"-lugtindtryk, og luftkvaliteten, der opleves efter længere tids eksponering, for eksempel i løbet af en arbejdsdag, og kan resultere i sensorisk irritation, se figur 1. For eksempel, i et klimakammerstudium blev forsøgspersoner over 6 timer ekspos-

¹ Dette er Del III i serien: Vurdering af VOCer i indemiljøluften. Del I: (1); Del II: (2).

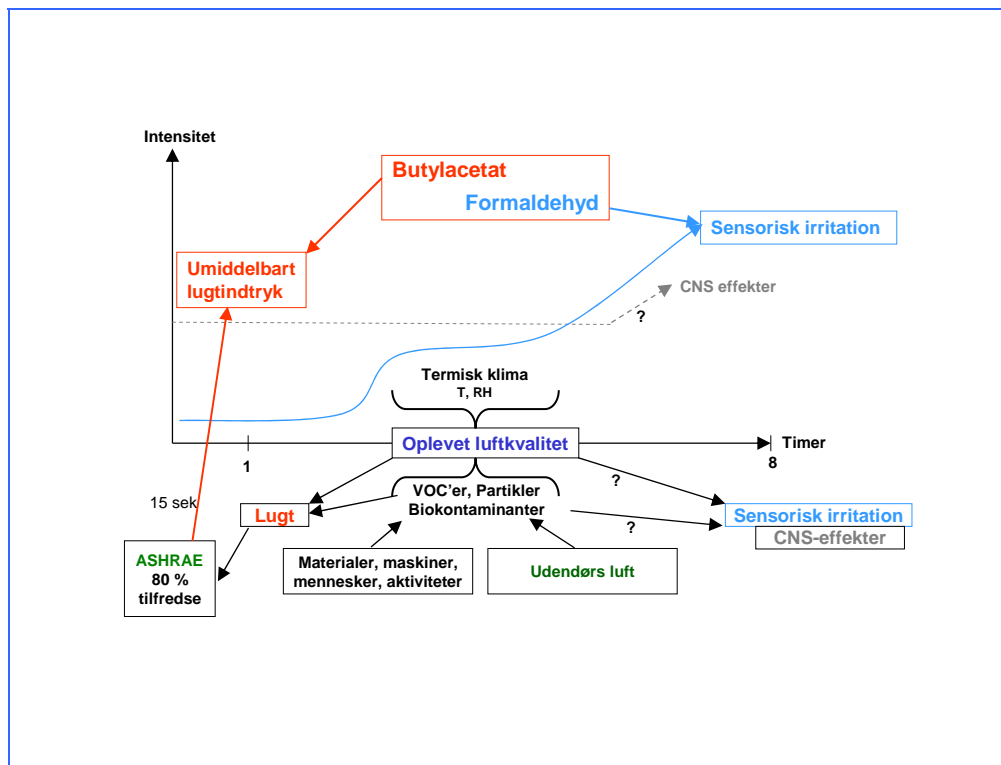


Fig. 1. Ifølge ASHRAE vurderes luften i et lokale ud fra et flash-lugtindtryk. Det samme er tilfældet ved materialeafprøvning i henhold til Dansk Indeklima Mærknings sensoriske del. Derudover influerer både den relative fugtighed (RH) og temperaturen (T) på luftkvaliteten. Sensorisk irritation er karakteriseret ved en forsinket effekt. Det samme vil formodentligt også gælde for CNS-effekter. I klimakammerforsøget, hvor forsøgspersonerne blev udsat for afgasning fra en syrehærdende lak på en spånplade, gav den høje koncentration af butylacetat en umiddelbar meget dårlig luftkvalitet, mens den høje koncentration af formaldehyd først gav sensorisk irritation blandt forsøgspersonerne efter seks timers udsættelse.

neret for en syrehærdende lak på en spånplade. Kammerluften var domineret af formaldehyd (ca. $0,8 \text{ mg/m}^3$) og butylacetat (ca. $0,4 \text{ mg/m}^3$) (12;13). Luftkvaliteten blev vurderet dels ved et "flash"-lugtindtryk af et "naivt" lugtpanel og dels af forsøgspersonerne i kammeret over længere tid. I modsætning til lugtpanelet, rapporterede forsøgspersonerne sensorisk irritation i løbet af de 6 timer. Lugtpanelet oplevede dårlig luftkvalitet, men ikke sensorisk irritation inden for den tid den sensoriske vurdering tog ($< \frac{1}{2}$ minut). Luftkvalitet skal derfor i arbejdsmæssig sammenhæng betragtes som den akkumulerede perception af sensorisk irritation og af varierende lugtoplevelser i løbet af en arbejdsdag. Dette forsøg og flere andre viser, hvor vigtigt det tidsmæssige forløb er ved ud-

vikling af symptomer, samtidig med at maske-ring (lugt kan undertrykke følelsen af sensorisk irritation, og lugt kan også maskere en anden lugt) kan spille en rolle, idet en så høj formaldehydkoncentration kunne forventes at resultere i sensorisk irritation.

Hypotesen om den "reaktive kemi" i indeluften

Det er velkendt fra den organiske kemi, at ozon reagerer med umættede VOCer, for eksempel limonen (fra bl.a. citrusolie). Limonen er blandt de VOCer, der oftest og i størst mængde forekommer i indemiljøet (14;15). Både α -pinen og limonen er hyppigt forekommende VOCer i indemiljøet. De tilhører stof-

gruppen terpenier og stammer fra træ og planter eller anvendes i diverse duftblandinger i rengøringsmidler. Der anvendes også forskellige andre terpen-lignende stoffer, både som opløsningsmidler og som duftstoffer, i en lang række produkter til indendørs brug (15;16). Anvendelse af disse produkter kan resultere i relativt høje koncentrationer i indemiljøer over længere tid (17).

Limonen og lignende stoffers reaktion med ozon konkurrerer med typiske luftskifter om fjernelse af ozon i indeluften (18); reaktionerne danner en lang række oxidationsprodukter. Limonens oxidationsprodukter består af en kompleks blanding af dels ”stabile” produkter (formaldehyd, andre aldehyder, ketoner og carboxylsyrer, og kombinationer af disse) og dels væsentligt mere reaktive (intermediære) forbindelser, for eksempel hydroxylradikalet (19;20). Epidemiologiske undersøgelser antyder, at forøget ozon og/eller lav terpen koncentration er associeret med effekter på luftvejene og sensorisk irritation, jævnfør litteraturhenvisninger i (6). Det var derfor en nærliggende hypotese, at oxidationsprodukterne fra for eksempel ozon/terpen reaktioner (delvis) kan forklare den højere forekomst af rapporteret sensorisk irritation i kontormiljøer. Rationalet er, at ozon reagerer med terpenier, inklusive hemi-terpenen isopren, og andre umættede VOCer i indemiljøet og danner nye (intermediære) forbindelser, der forårsager sensorisk irritation i øjne og luftveje. Dette kaldes hypotesen om den ”reaktive kemi” som en forklaringsmodel for sensorisk irritation i indemiljøet (4;21).

Ozon i indemiljøer kommer hovedsagelig fra udeluften, idet 20-70 % infiltreres herfra (22), men emitteres også i nogen grad fra kontorudstyr, især fotokopimaskiner (23). Ozon nedbrydes på overflader (eks. lofter og gulve) og ved reaktion med kemisk reaktive VOCer i luften som nævnt ovenfor.

Afprøvning af hypotesen om den ”reaktive kemi”

For at efterprøve hypotesen om den ”reaktive kemi” er en række dyreeksperimentelle undersøgelser og humane eksponeringsforsøg blevet gennemført med henblik på at måle terpen-oxidationsprodukters (TOPs) irritationspotentiale i de øvre og nedre luftveje (24-27) samt i øjet (28;29).

De dyreeksperimentelle forsøg viste, at eksponering for TOPer resulterede i 30-50 % reduktion i respirationsfrekvensen (et mål for sensorisk irritation (30)). Irritationen var signifikant højere end for ren luft, rest-koncentrationerne af terpen og ozon samt aldehyderne dannet i reaktionsblandingen. En vurdering ud fra de etablerede dosis-responskurver for de enkelte TOPer og residualkoncentrationerne af terpenierne og ozon kunne kun forklare ca. 1/3 af de observerede irritationseffekter. Dette peger på, at der er blevet dannet en eller flere stærke sensoriske irritanter med ukendt struktur.

Det er vanskeligt at slutte fra dyreforsøg til mennesker. Derfor blev øjet hos en række mandlige forsøgspersoner eksponeret for forskellige slimhindeirriterende stoffer ved lav relativ luftfugtighed i 20 minutter. Forsøgspersonerne blev eksponeret blindt i tilfældig rækkefølge. Øjets blinkfrekvens (blink/min) blev målt med videooptagelse i hele forsøgsperioden, imens forsøgspersonerne så en dyrefilm (28). Reaktionsblandinger af ozon og limonen gav ca. 40 % signifikant forøgelse af blinkfrekvensen i forhold til ren luft. Dette tolkes som udtryk for, at øjets irritationsnerve (trigenimus) stimuleres af limonens oxidationsprodukter i modsætning til ren ozon, limonen eller luft. Koncentrationerne af ozon og limonen var henholdsvis 40 og 75 ppb. Den observerede effekt stemte overens med kvalitativ rapportering af øjenirritation. Nitratradikalet (NO_3), der dannes ud fra ozon (50 ppb) og nitrogenoxid (140 ppb), medførte også en signifikant forøgelse af blinkfrekvensen på ca. 20 %. Den observerede effekt mindskedes svagt ved forøgelse af den relative luftfugtighed fra 20 % til 50

% (29). En tilsvarende tendens observeredes også i de dyreeksperimentelle forsøg (31).

Øjen-eksponeringsstudierne med mennesker viste, at limonen koncentrationer ved næsten realistiske niveauer kan øge blinkfrekvensen signifikant og inducerer let øjenirritation efter 20 minutters eksponering. Da ozon og limonen i øjen-eksponeringsforsøgene kun har nået at reagere i mindre grad, antyder resultaterne, at irriteringen skyldes forekomsten af stærke øjenirriteranter i oxidationsblandingen (29). Det skal nævnes, at ozon- og terpenkoncentrationer i kontormiljøer typisk er lavere end dem, der var benyttet i dette studium, om end ozon som peakkoncentration er realistisk i forhold til for eksempel målinger foretaget i flere amerikanske storbyer. Derimod er den høje terpenkoncentration langt fra urealistisk, idet terpenere afgives i store mængder i forbindelse med rengøring eller i forbindelse med brug af de såkaldte ”luftfriskere” (16;17).

Kan ozon og organiske luftforureninger have sundhedsmæssig betydning?

Sammen med visse kemisk-reaktive VOCer forårsager ozon ændringer i øjets blinkfrekvens ved 20 minutters eksponering. Dette tilskrives stimulering af øjets irriterationsnerve (trigeminus); koncentrationsniveauerne kan forekomme i kontormiljøer. Da udviklingen af symptomer er bestemt af eksponeringstiden, der er væsentlig længere ved en fuld arbejdsdag end i dette studium (20 min), formodes det, at irriterationseffekten øges. Den større følsomhed blandt kvinder spiller formodentligt også en rolle, jævnfør (32).

Den større effekt, der observeredes ved lav relativ luftfugtighed, både i dyremodellen og ved øjen-eksponeringerne, kan være relevant. Årsagen til en mindre effekt ved den normale relative fugtighed skal søges dels i en forskydning mod dannelse af mere stabile oxidationsprodukter, der har lavere sensorisk irriterations-effekt, og dels i en mindre udtørring af øjets tårefilm. Denne mindskede udtørring beskytter muligvis øjet mod angreb af sensoriske irriteranter, jævnfør (33;34).

For nylig er et studium rapporteret, hvor ca. 130 ikke-rygende kvinder er blevet eksponeret for en ”cocktail” af VOCer i niveauer svarende til ca. 26 mg/m³ i 140 minutter med eller uden tilstedeværelse af ozon (i en restkoncentration på 40 ppb). Forsøgspersonerne udførte forskellige psykologiske tests, og de rapporterede opståede symptomer (35;36). ”Cocktail’en” indeholdt en lang række typiske VOCer domineret af xylene og butylacetat, men der var også nogle alkener og terpenere, som reagerer med ozon (37). Der sås ingen forskelle i symptomrapportering mellem eksponeringerne med eller uden ozon. Forfatterne konkluderer, at det er stress-faktorer mere end den kemiske eksponering, der er ansvarlige for de observerede effekter. Artiklens konklusion skal dog tages med forbehold, da koncentrationsniveauerne har overskredet lugttærsklerne for flere kraftigt lugtende VOCer med indtil flere størrelsesordner; hvilket sandsynligvis har flyttet fokus og dermed ændret symptomrapporteringen, jævnfør (2).

Epidemiologiske undersøgelser antyder, at tilstedeværelsen af ozon har betydning for symptomudvikling, for eksempel sensorisk irriterationssymptomer (38-40) og lungeeffekter (41).

Bliver alle relevante luftforureninger målt?

Vi postulerede i 1997, at der er stor sandsynlighed for, at stofferne, der er ansvarlige for sensorisk irriteration i indemiljøet, måske ikke måles med de traditionelle opsamlings- og analysemetoder (3). Vi argumenterede i 2001, at de fleste VOCer i indeluften ikke kan forklare sensorisk irriteration, og den reaktive kemi hypotese blev foreslået som en ny forklaringsmodel (4). I 2006 vurderede vi effekten af lugte i indemiljøet, og vi sandsynliggjorde, at lugte kan have en negativ effekt, der måske kan resultere i overrapportering af sensorisk irriteration (6).

Den observerede reduktion i respirationsfrekvensen i dyremodellen kunne tænkes at skyldes intermediære reaktionsprodukter (for eksempel biradikaler, dvs. forbindelser med to uparrede elektroner) (19). Sådanne forbindelser kan ikke

måles med eksisterende og traditionelle målemetoder. Opsamling på Tenax TA efterfulgt af termisk desorption (TD) og gaskromatografi (GC) er den generelle metode til måling af VOCer og SVOCer (Semi Volatile Organic Compounds) i indeluften. Man kan spekulere over, om denne metode kan opsamle alle relevante stoffer i indeluften, eller om for eksempel termisk labile stoffer nedbrydes ved desorptionen? Desuden er det velkendt, at visse typer VOCer og SVOCer, for eksempel terpen, nedbrydes af ozon under opsamlingen og dermed underestimeres (42;43). Nye derivatiseringsmetoder og massespektrometriske teknikker har vist, at der udover de klassiske oxidationsprodukter dannes en lang række af andre forbindelser, som ikke kan analyseres med TD-GC metoden. For eksempel er en lang række oxygenerede organiske stoffer blevet identificeret ved hjælp af derivatiseringsmetoder eller ”soft” opsamling og ”soft” analysemetoder:

- Carboxylsyrer, ketosyrer, hydroxyaldehyder ved silylering (44-46).
- Hydrogenperoxid og total hydroperoxider (47).
- Hydroxy hydroperoxider ved silylering (48).
- Hydroxylradikalet målt indirekte (49).
- Sekundære limonen-ozonider ved hjælp af ”pressurized liquid extraction” kombineret med cold-on-column injektion og gaskromatografi (50).
- Det skal bemærkes, at den klassiske DNPH-metode til opsamling og analyse af aldehyder og ketoner kan være behæftet med fejl. Det er vanskeligt at måle de umættede karbonylforbindelser, for eksempel acrolein, da det kan nedbrydes ved ozoneksponering under selve opsamlingen. Umættede aldehyder kan derved være underestimeret, da DNPH-adduktet er ustabil, jævnfør (51).

Hydroperoxider er muligvis oxidanter, der kan fremkalde sensorisk irritation (52). Ligeledes

er terpeners sekundære ozonider mulige kandidater, idet det er postuleret, at ”lipid ozonation products” kan resultere i effekter i de nedre luftveje, jævnfør (53). Effekter i de nedre luftveje er observeret i dyremodellen ved forlænget eksponeringstid (25). Om effekterne skyldes terpen-ozonider skal bekræftes ved eksponering for de rene stoffer.

Det er velkendt, at ozon/terpen reaktioner også danner ultrafine/nano partikler i indemiljøet, for eksempel i forbindelse med anvendelse af rengøringsmidler o.a. (54-56). Partiklerne består af poly-oxygenerede stoffer (bl.a. dialdehyder, keto-carboxylsyrer og dicarboxylsyrer) (for eksempel (44)), der er karakteriseret ved at have lave damptryk; de dannes så enten ved kimdannelse eller ved kondensation. I kommende undersøgelser bliver det imidlertid afgørende at kunne adskille den biologiske effekt af partiklerne og gasfase-produkterne.

Hvordan kommer vi videre?

Et af hovedprodukterne fra oxidation af terpen er formaldehyd (19). Der er flere artikler, der antyder, at langtidseksponering for formaldehyd kan resultere i lungeeffekter, jævnfør (57). Hvorvidt det også kan resultere i sensoriske effekter ved lave niveauer vides ikke. Der er klart et behov for mere viden om langtids-eksponering for formaldehyd og andre reaktive forbindelser ved lave, men realistiske niveauer. Dette inkluderer også de dannede ”nano” partikler fra kondensationsprocesserne.

En nødvendig forudsætning for at kunne vurdere lav-dosis påvirkninger i indemiljøet er en integreret angrebsvinkel. For eksempel tyder flere undersøgelser på, at øjet kan udtørres ved computerarbejde, især ved lav relativ fugtighed, samtidig med at øjet sandsynligvis bliver mere sårbart overfor sensoriske irritanter (34). Sådanne kombinerede betingelser bør undersøges i studier, hvori der observeres på den tidsmæssige symptomudvikling som funktion af både den relative fugtighed og belastningen af øjets tårefilm ved for eksempel intensivt computerarbejde.

Referencer

1. Nielsen GD, Wolkoff P. *Vurdering af VOCer i indemiljøluften. I: Sundhedseffekter og oplæg om pragmatiske guidelines.* miljø og sundhed 2005;29(december):31-40.
2. Wolkoff P, Nielsen GD, Møller P, Nielsen PA. *Vurdering af VOCer i indemiljøluften II: Lugtluftkvalitetens betydning.* miljø og sundhed 2006;30:3-12.
3. Wolkoff P, Clausen PA, Jensen B, Nielsen GD, Wilkins CK. *Are we measuring the relevant indoor pollutants?* Indoor Air 1997;7:92-106.
4. Wolkoff P, Nielsen GD. *Organic compounds in indoor air - Their relevance for perceived indoor air quality.* Atmos Environ 2001;35:4407-17.
5. Alarie Y, Schaper M, Nielsen GD, Abraham MH. *Estimating the sensory irritating potency of airborne nonreactive volatile organic chemicals and their mixtures.* SAR/QSAR Environ Res 1996;5:151-65.
6. Wolkoff P, Wilkins CK, Clausen PA, Nielsen GD. *Organic compounds in office environments - Sensory irritation, odor, measurements, and the role of reactive chemistry.* Indoor Air 2006;16:7-19.
7. Berglund B, Lindvall T. *Theory and method of sensory evaluation of complex gas mixtures.* Ann NY Acad Sci 1992;641:277-93.
8. Seeber A, van Thriel C, Haumann K, Kiesswetter E, Blaszkewicz M, Golka K. *Psychological reactions related to chemosensory irritation.* Int Arch Occup Environ Health 2002;75:314-325.
9. Duffee RA, O'Brien M. *Response to odors.* In: Spengler JD, Samet JM, McCarthy JF (eds). *Indoor Air Quality Handbook.* New York: McGraw-Hill, 2000:21.1-21.12.
10. Distel H, Ayabe-Kanamura S, Martinez-Gómez M, Schicker I, Kobayakawa T, Saito S et al. *Perception of everyday odors – Correlation between intensity, familiarity and strength of hedonic judgement.* Chem Senses 1999; 24:191-9.
11. Bluyssen PM, De Olivera Fernandes E, Groes L, Clausen G, Fanger PO, Valbjørn O et al. *European Indoor Air Quality Audit Project in 56 Office Buildings.* Indoor Air 1996;6:221-38.
12. Wolkoff P, Nielsen GD, Hansen LF, Albrechtsen O, Johnsen CR, Heinig JH et al. *A study of human reactions to building materials in climatic chambers. Part II: VOC measurements, mouse bioassay, and decipol evaluation in the 1-2 mg/m³ TVOC range.* Indoor Air 1991;1:389-403.
13. Johnsen CR, Heinig JH, Schmidt K, Albrechtsen O, Nielsen PA, Wolkoff P et al. *A study of human reactions to emissions from building materials in climate chambers. Part I: Clinical data, performance and comfort.* Indoor Air 1991;1:377-88.
14. Brown SK. *Occurrence of Volatile Organic Compounds in Indoor Air.* In: Salthammer T (ed). *Organic Indoor Air Pollutants.* Weinheim: Wiley-VCH, 1999:171-84.
15. Wolkoff P, Clausen PA, Wilkins CK, Nielsen GD. *Formation of strong airway irritants in terpene/ozone mixtures.* Indoor Air 2000;10: 82-91.
16. Nazaroff WW, Weschler CJ. *Cleaning products and air fresheners exposure to primary and secondary pollutants.* Atmos Environ 2004;38:2841-65.
17. Singer BC, Destailats H, Hodgson AT, Nazaroff WW. *Cleaning products and air fresheners: emissions and resulting concentrations of glycol ethers and terpenoids.* Indoor Air 2006; 16:in press.
18. Weschler CJ, Shields HC. *The influence of ventilation on reactions among indoor pollutants: Modeling and experimental observations.* Indoor Air 2000;10:92-100.
19. Atkinson R, Arey J. *Gas-phase tropospheric chemistry of biogenic volatile organic compounds: a review.* Atmos Environ 2003; 37(2):197-219.
20. Calogirou A, Larsen BR, Kotzias D. *Gas-phase terpene oxidation products: a review.* Atmos Environ 1999;33:1423-39.

-
21. Weschler CJ, Wells JR, Poppendieck D, Hubbard H, Pearce TA. *Workgroup report: Indoor chemistry and health*. Environ Health Perspect 2006;114:442-46.
 22. Weschler CJ. *Ozone in indoor environments: Concentrations and chemistry*. Indoor Air 2000;10:269-88.
 23. Brown SK. *Assessment of pollutant emissions from dry-process photocopiers*. Indoor Air 1999;9:259-67.
 24. Clausen PA, Wilkins CK, Wolkoff P, Nielsen GD. *Chemical and biological evaluation of a reaction mixture of R-(+)-limonene/ozone: Formation of strong airway irritants*. Environ Int 2001;26:511-22.
 25. Rohr A, Wilkins CK, Clausen PA, Hammer M, Nielsen GD, Wolkoff P et al. *Upper airway and pulmonary effects of oxidation products of (+)- α -pinene, d-limonene, and isoprene in BALB/c mice*. Inhal Toxicol 2002;14:663-84.
 26. Wilkins CK, Clausen PA, Wolkoff P, Larsen ST, Hammer M, Larsen K et al. *Formation of strong airway irritants in mixtures of isoprene/ozone and isoprene/ozone/nitrogen dioxide*. Environ Health Perspect 2001;109:937-41.
 27. Wolkoff P, Clausen PA, Wilkins CK, Hougaard KS, Nielsen GD. *Formation of strong airway irritants in a model mixture of (+)- α -pinene/ozone*. Atmos Environ 1999;33:693-8.
 28. Klenø J, Wolkoff P. *Changes in eye blink frequency as a measure of trigeminal stimulation by exposure to limonene oxidation products, isoprene oxidation products, and nitrate radicals*. Int Arch Occup Environ Health 2004;77:235-43.
 29. Nøjgaard JK, Christensen KB, Wolkoff P. *The effect on human eye blink frequency by exposure to limonene oxidation products and methacrolein*. Toxicol Lett 2005;156:241-51.
 30. Alarie Y. *Sensory irritation by airborne chemicals*. Crit Rev Toxicol 1973;2:299-363.
 31. Wilkins CK, Wolkoff P, Clausen PA, Hammer M, Nielsen GD. *Upper airway irritation of terpene/ozone oxidation products (TOPS). Dependence on reaction time, relative humidity and initial ozone concentration*. Toxicol Lett 2003;143:109-114.
 32. Wolkoff P, Skov P, Franck C, Pedersen LN. *Eye irritation and environmental factors in the office environment. Hypotheses, causes, and a physiological model*. Scand J Work Environ Health 2003;29:411-30.
 33. Wolkoff P, Nøjgaard JK, Troiano P, Piccoli B. *Eye complaints in the office environment: Precorneal tear film integrity influenced by eye blinking efficiency*. Occup Environ Med 2005;62:4-12.
 34. Wolkoff P, Nøjgaard JK, Franck C, Skov P. *The modern office environment desiccates the eyes?* Indoor Air 2006;16:in press.
 35. Fiedler N, Laumbach R, Kelly-McNeil K, Liou P, Fan Z-H, Zhang J et al. *Health effects of a mixture of indoor air volatile organics, their ozone oxidation products, and stress*. Environ Health Perspect 2005;113:1542-8.
 36. Laumbach RJ, Fielder N, Gardner CR, Laskin DL, Fan Z-H, Zhang J et al. *Nasal effects of a mixture of volatile organic compounds and their ozone oxidation products*. J Occup Environ Med 2005;47:1182-9.
 37. Fan Z, Liou P, Weschler CJ, Fielder N, Kipen H, Zhang J. *Ozone-initiated reactions with mixtures of volatile organic compounds under simulated indoor conditions*. Environ Sci Technol 2003;37:1811-21.
 38. Groes L, Pejtersen J, Valbjørn O. *Perception and symptoms as a function of indoor environmental factors, personal factors and building characteristics in office buildings*. In: Proceedings of Indoor Air 1996;(4):237-42.
 39. Subramanian P, Reynolds S, Breuer G, Whitten P. *Analysis of limonene as an indicator for the assessment of environmental air-quality and health symptoms in office buildings*. J Environ Sci, Health, Part A: Toxic/Hazard Subst Environ Eng 2000;A35(7):999-1019.
-

-
40. Sundell J, Andersson B, Andersson K, Lindvall T. *Volatile organic compounds in ventilating air in buildings at different sampling points in the buildings and their relationship with the prevalence of occupant symptoms*. Indoor Air 1993;3:82-93.
 41. Höpfe P, Peters A, Rabe G, Lindner J, Jacobi G, Fruhmann G et al. *Environmental ozone effects in different population subgroups*. Int J Hyg Environ Health 2003;206:505-16.
 42. Calogirou A, Larsen BR, Brussol C, Duane M, Kotzias *sampling on Tenax*. Anal Chem 1996;68:1499-1506.
 43. Pollmann J, Ortega J, Helmig D. *Analysis of atmospheric sesquiterpenes: Sampling losses and mitigation of ozone interferences*. Environ Sci Technol 2005;39:9620-9.
 44. Glasius M, Lahaniati M, Calogirou A, Di Bella D, Jensen NR, Hjorth J et al. *Carboxylic acids in secondary aerosols from oxidation of cyclic monoterpenes by ozone*. Environ Sci Technol 2000;34:1001-10.
 45. Reisen F, Aschmann SM, Atkinson R, Arey J. *Hydroxyaldehyde products from hydroxyl radical reactions of Z-3-hexen-1-ol and 2-methyl-3-buten-2-ol quantified by SPME and API-MS*. Environ Sci Technol 2003;37:4664-71.
 46. Wells JR. *Gas-phase chemistry of α -terpineol with ozone and OH radical: Rate constants and products*. Environ Sci Technol 2005;39:6937-43.
 47. Li T-S, Turpin B.J., Shields HC, Weschler CJ. *Indoor hydrogen peroxide derived from ozone/d-limonene reactions*. Environ Sci Technol 2002;36:3295-3302.
 48. Docherty KS, Kumboonlert K, Lee IJ, Ziemann PJ. *Gas chromatography of trimethylsilyl derivatives of α -methoxyalkyl hydroperoxides formed in alkene- O_3 reactions*. J Chromatogr A 2004;1029:204-15.
 49. Weschler CJ, Shields HC. *Measurements of the hydroxyl radical in a manipulated but realistic indoor environment*. Environ Sci Technol 1997;31:3719-22.
 50. Nørgaard AW, Nøjgaard JK, Larsen K, Spørring S, Wilkins CK, Clausen PA et al. *Secondary limonene endo-ozonide: A major product from gas-phase ozonolysis of R-(+)-limonene at ambient temperature*. Atmos Environ 2006;40:in press.
 51. Schulte-Ladbeck R, Lindahl R, Levin JO, Karst U. *Characterization of chemical interferences in the determination of unsaturated aldehydes using aromatic hydrazine reagents and liquid chromatography*. J Environ Monit 2001;3:306-10.
 52. Wolkoff P, Wilkins CK, Clausen PA, Nielsen GD. *In search of sensory irritants in terpene oxidation reactions: The effects of peroxides and hydroperoxides*. 2006, to be published.
 53. Cvitaš L, Kezele N, McGlynn SP, Pryor WA. *New directions: How dangerous is ozone?* Atmos Environ 2005;39:4607-8.
 54. Long CM, Suh HH, Koutrakis P. *Characterization of indoor particle sources using continuous mass and size monitors*. J Air Waste Manage Assoc 2000;50:1236-50.
 55. Sarwar G, Olson DA, Corsi RL, Weschler CJ. *Indoor fine particles: The role of terpene emissions from consumer products*. J Air Waste Manage Assoc 2004;104: 367-77.
 56. Wainman T, Zhang J, Weschler CJ, Lioy PJ. *Ozone and limonene in indoor air: A source of submicron particle exposure*. Environ Health Perspect 2000;108:1139-45.
 57. Sherriff A, Farrow A, Golding J, The ALSPAC Study Team, Henderson J. *Frequent use of chemical household products is associated with persistent wheezing in pre-school age children*. Thorax 2006;60:45-9.
-

Sensoriske effektmålinger i indemiljøet – oplevet luftkvalitet

Af Henrik N. Knudsen, Statens Byggeforskningsinstitut

Når vi træder ind i en bygning eller i et rum, udsættes vi straks for en række sanseindtryk, som tilsammen er med til at bestemme, om vi får en god eller dårlig oplevelse. I denne artikel beskrives de mest anvendte sensoriske effektmålinger i relation til oplevet luftkvalitet. Herudover gives der en række eksempler på anvendelser fra forskning i laboratoriet og i felten samt praktiske anvendelser i forbindelse med den danske indeklimamærkningsordning og en renoveringsopgave af en boligbebyggelse.

Lugte

Lugtindtryk opstår ved at lugtstoffer i luften ved inhalering bringes op i næsehulen, hvor de aktiverer lugtreceptorer øverst i næsehulen. Der er omkring 350 forskellige typer af receptorer, og vi er i stand til at skelne mellem omkring 10.000 forskellige lugte (1).

Lugte opleves ikke på samme måde af forskellige personer, da individuelle forhold som fysiologi, hukommelse og minder spiller ind. Disse individuelle forskelle gør, at nogle kan lide en lugt, mens andre ikke kan lide den samme lugt. Derfor er der forskelle i personers lugtpræference. Dette er f.eks. vigtigt ved sammensætning af et sensorisk panel til bedømmelse af oplevet luftkvalitet og i forbindelse med anvendelsen af duftstoffer indendørs.

I vores omgivelser optræder der mange forskellige lugte. Flere af disse er ukendte og uønskede og kan derfor opfattes som en gene. Mennesket har gennem hele evolutionshistorien brugt lugtindtryk som en advarsel om en mulig fare i omgivelserne.

Specielt lugtopplevelser, som man ikke umiddelbart kan gøre noget ved, har betydning for vores velbefindende. Lugte kan initiere fysio-

logiske reaktioner som f.eks. hovedpine og kvalme eller medføre utryghed, f.eks. om hvorvidt luften kan skade vores helbred.

Lugtesansen spiller således en vigtig rolle for, hvordan mennesker oplever kvaliteten af den luft, der omgiver dem, og er dermed af betydning for den samlede oplevelse af indemiljøet. Der klages ofte over dårlig lugt i forbindelse med indeklimaproblemer.

Når vi udsættes for lugtende stoffer, sker der en relativ hurtig tilvænnning, så vi efter et stykke tid ikke opfatter lugten så kraftigt mere. Graden af tilvænnning afhænger af lugtkilden (2), f.eks. kan vi efter kort tid kun i ringe grad opfatte vores egen eller andres kropslugt. Der vil typisk være stor forskel på det sensoriske indtryk ved indtræden i et lokale og efter længere tids ophold pga. tilvænnning.

Nogle lugtstoffer kan opfattes ved lave koncentrationer, der ikke giver anledning til en toksisk virkning. Det gælder imidlertid ikke alle stoffer, da nogle først lugter, når der er toksisk virkning, og andre igen slet ikke lugter, selv når der er toksisk virkning. Det er derfor vigtigt at understrege, at ikke alle forureningskomponenterne i luften kan erkendes ved lugt eller andre umiddelbare gener.

Forurening af indeluft

Indeluften er typisk forurenet med hundredvis af kemiske stoffer i varierende koncentrationer. Det er en lang række kilder, der kan forurene indeluften. De kilder, der har fået størst opmærksomhed, er byggematerialer og inventar, herunder f.eks. maling, lakker, tæpper, hårde gulvbelægninger og møbler. Disse kilder afgasser flygtige organiske forbindelser (på engelsk VOC for Volatile Organic Compound) til

luften, som kan påvirke bygningsbrugernes sundhed og komfort (3,4). De såkaldte primære VOC'er, der hovedsagelig afgasser kort tid efter at materialerne er produceret, stammer fra kemikalier, som blev anvendt under fremstillingen af det pågældende materiale, f.eks. i form af acceleratorer, antioxidanter (stabilisatorer), blødgøringsmidler, opløsningsmidler (sammenflydningsmidler), reaktanter (i overskud), urenheder og forbindelser dannet under processen (f.eks. hærkning) (5). Langt de fleste af disse stoffer forekommer i koncentrationer, der er betydeligt lavere end grænseværdier baseret på traditionel toksikologi. En række af stofferne påvirker imidlertid hvordan luftkvaliteten opleves og dermed bygningsbrugernes velbefindende.

Effektmålinger af oplevet luftkvalitet

Et mål for luftens kvalitet, som den opleves af mennesker, er traditionelt blevet kaldt for "oplevet luftkvalitet". Oplevet luftkvalitet er en kombination af lugt og irritation (common chemical sense).

I EU-regi har en arbejdsgruppe bestående af eksperter udarbejdet en rapport, hvor betydningen af at bruge mennesker til måling af oplevet luftkvalitet understreges (6). Rapporten indledes med "Human subjects are indispensable in the measurement of perceived indoor air quality. Chemical and physical methods of characterisation often are insensitive to odorous and sensory irritating air pollutants, or do not take account of combinations of singular pollutants in a biologically meaningful way. Therefore, sensory methods many times are the only or the preferred tool for evaluation of perceived indoor air quality."

I rapporten foreslås og evalueres en række forskellige metoder, der kan anvendes til vurdering af oplevet luftkvalitet i forbindelse med karakterisering af forureningskilder, rum og ventilationsbehov. Rapporten angiver således ikke én specifik metode, der er konsensus om at benytte i alle tilfælde.

I 1946 definerede Verdenssundhedsorganisationen, WHO, sundhedsbegrebet på følgende måde: "Health is a state of complete physical, mental and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity". Denne brede definition medfører, at oplevet luftkvalitet med rette kan siges at være en del af sundhedsbegrebet. Menneskets oplevelse af indeluftens kvalitet er derfor et vigtigt mål i sig selv.

Skalaer

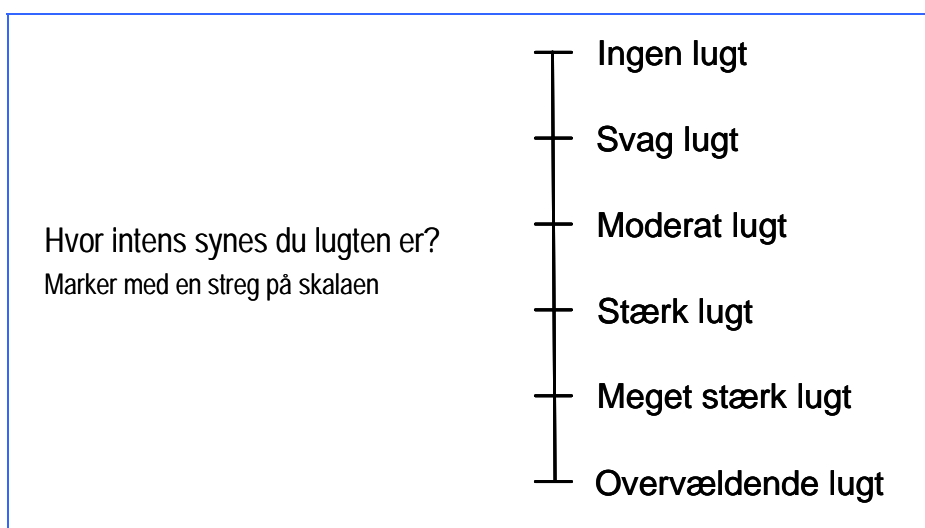
For at måle hvordan mennesker oplever luftkvaliteten, er man i praksis henvist til at spørge en gruppe personer (et sensorisk panel, se nedenfor) og bruge deres svar som udtryk for deres sensoriske indtryk.

I 2000 gennemførte Arbejds miljøinstituttet "Nordisk konsensuskonference - Måling og vurdering af indeklimafaktorer". I den forbindelse blev der afholdt en workshop om oplevet luftkvalitet. De følgende afsnit er i høj grad baseret på resultatet af denne workshop (7). Der henvises i øvrigt hertil for en mere detaljeret beskrivelse af metode, fortolkning og begrænsninger.

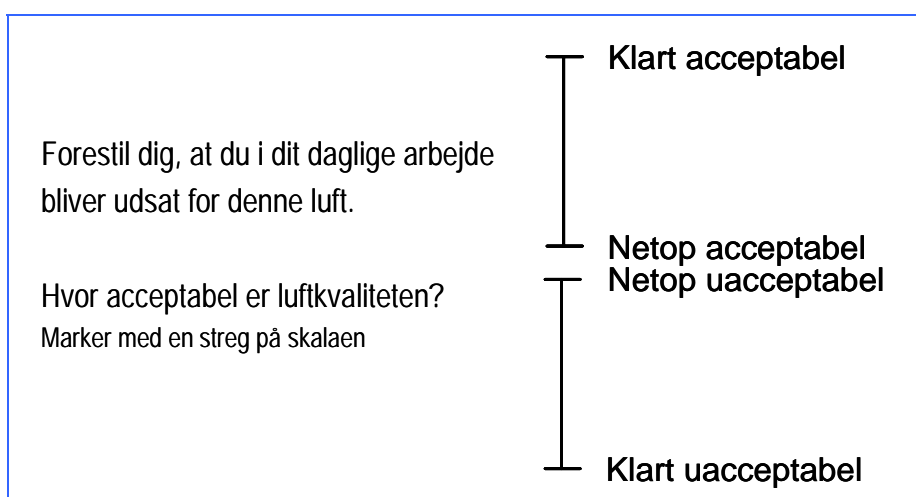
Brugen af semantiske kategoriskalaer er meget udbredt ved måling af oplevet luftkvalitet. Kategorierne i sådanne skaler er ikke nødvendigvis udtryk for lige store spring i det sensoriske indtryk, og det sætter visse begrænsninger i deres tolkning. Til gengæld kan kategorierne vælges forholdsvis frit efter behov i den konkrete opgave. Ofte anvendes skalaerne på den kontinuerte form. Eksempler herpå er Yaglous skala for lugtintensitet og acceptabilitetsskalaen.

Yaglous skala for lugtintensitet

Lugtintensiteten eller lugtstyrken er en ofte anvendt egenskab ved luften. Der kræves generelt et minimum af mental behandling ved bedømmelse af lugtintensiteten. Yaglous skala (8) blev først introduceret som en ren kategoriskala, men anvendes nu i den kontinuerte form vist i figur 1. Lugtintensiteten beregnes som



Figur 1. Yaglou skala for lugtintensitet. Ved databehandlingen tilskrives kategorierne værdierne fra 0 (ingen lugt) til 5 (overvældende lugt).



Figur 2. Den delvist kontinuerte acceptabilitetsskala. Skalaen anvendes som en kontinuert skala, hvor klart acceptabel tilskrives værdien +1 og klart uacceptabel tilskrives værdien -1.

den aritmetiske middelværdi af bedømmelser foretaget af et sensorisk panel

Acceptabilitetsskala

En særlig semantisk kategoriskala benyttes i den amerikanske ingeniørforening ASHRAE's ventilationsstandard (9), hvor en metode til måling af andelen af utilfredse personer er angivet. Ved denne metode bedømmes luftkvaliteten på en binær acceptskala, og andelen

af personer, der er utilfredse, beregnes som den del af panelet, der umiddelbart oplever luftkvaliteten som værende uacceptabel, når de træder ind i et lokale. Binære kategoriskalaer anvender imidlertid ikke panelmedlemmernes information særligt effektivt. Derfor anbefales det i højere grad at anvende sådanne skalaer i kontinuert form (2), da man derved får en graduering af acceptabiliteten. Et eksempel er den delvist kontinuerte skala for acceptabilitet, se figur 2, der muliggør mere vidtrækkende tolk-

ninger, og som endvidere har den særlige egenskab, at bedømmelserne kan tolkes både på den delvis kontinuerte skala og på den indeholdte binære skala (10).

Acceptabilitet er et kvalitativt aspekt ved luftkvaliteten, der i højere grad end lugtintensitet involverer en mental behandling af det sensoriske indtryk. Acceptabiliteten beregnes som den aritmetiske middelværdi af bedømmelser foretaget af et sensorisk panel. Skalaen kan alternativt opfattes som en binær skala, hvor panelmedlemmer, der har voteret mellem netop acceptabel og klart acceptabel, regnes som værende tilfredse, mens panelmedlemmer, der har voteret mellem netop uacceptabel og klart uacceptabel, regnes som værende utilfredse. Oplevet luftkvalitet kan derfor også angives ved, hvor mange procent af en gruppe personer, der er utilfredse med luftkvaliteten.

Andelen af utilfredse personer baseret på bedømmelser på den binære acceptskala har dannet baggrund for ventilationsstandarder verden over. Således har danske og amerikanske undersøgelser etableret en sammenhæng mellem andelen af utilfredse besøgende (visitors) og ventilationsraten per person.

Acceptabilitet og lugtintensitet

Lugtintensiteten korrelerer generelt med acceptabiliteten eller andelen af utilfredse personer i indeklimaundersøgelser. Men lugtintensiteten er et andet mål end acceptabiliteten, da lugtintensiteten ikke kræver samme mentale behandling. Således kan lugten af roser have samme intensitet som lugten af forrådnelsesprodukter, mens acceptabiliteten af de to lugte er forskellig.

Sensorisk panel

Den oplevede luftkvalitet måles med et såkaldt sensorisk panel, der typisk består af 10 til 40 personer med normal lugtesans. På de ovennævnte skalaer bedømmer de, hvor acceptabel og/eller intens de oplever luften, lige når de går ind i et rum, eller ved laboratorieforsøg, når de sætter næsen til en tragt, hvor den luft, der skal

bedømmes, kommer fra. Der er altså tale om det umiddelbare, utilvænnede første indtryk.

Udvælgelsen af panelmedlemmer har stor betydning for sensoriske målinger, bl.a. på grund af forskelle i følsomhed. Generelt bør det optimale panel afspejle sammensætningen af den persongruppe, for hvem målingen er relevant. Et panel, der repræsenterer den generelle befolkning, er vanskeligt at sammensætte. Et alternativ kan f.eks. være at vælge panelmedlemmer fra en bestemt aldersgruppe, da alder har vist sig at have betydning for følsomheden. Panelet skal have en størrelse, der tillader en tilfredsstillende efterfølgende databehandling, hvilket afhænger af formålet med målingen. Der bør foretages en afvejning af hensynet til præcision og økonomi (10).

Målebetingelser

Den oplevede luftkvalitet påvirkes af en række forhold, som det er nødvendigt at tage hensyn til for at få pålidelige målinger.

Luftens temperatur og fugtighed har stor betydning for, hvordan luftkvaliteten opleves (11). Ved høj temperatur og høj relativ luftfugtighed opleves luften mere uacceptabel, end hvis luften er kølig og tør ved samme forureningskoncentration.

Det tilstræbes, at der foretages målinger under realistiske forhold. Det betyder f.eks., at der under laboratorieforsøg i lille skala skal tages hensyn til at de koncentrationer, der bedømmes, svarer til de koncentrationer, som typisk forekommer i et rigtigt rum. Dette forsøges opnået ved at forholdet mellem ventilationsrate og arealet af materialet, den såkaldte areal-specifikke ventilationsrate, i testkammeret svarer til forholdet i det rum, der simuleres. Typisk bliver det simulerede rum valgt, så det svarer til det mindste rum, der er tilladt ifølge bygningsreglementet, dvs. et rum med et gulvareal på 7 m² og et volumen på 17 m³, og der vælges ofte et luftskifte på 1 h⁻¹.

Ved feltmålinger skal der tages højde for, hvornår der foretages ændringer af ventila-

tionsraten eller ændringer af forureningskilder, og hvor stort adsorptionspotentiale (materialers evne til at optage forurening) der er i det undersøgte rum. Det er vigtigt, at tidspunktet for sensoriske bedømmelser afpasses i forhold til hvordan bygningen anvendes, af hensyn til forureningskoncentrationen.

Procedure

Før en sensorisk bedømmelse bliver panelet instrueret i at anvende de aktuelle skalaer og faciliteter.

Det er vigtigt, at panelmedlemmerne ikke bruger parfume eller lugtende deodorant under bedømmelserne, da dette kan påvirke luftkvaliteten i de undersøgte lokaler, eller ved laboratorieforsøg luftkvaliteten omkring paneldeltagerne. Det er ligeledes vigtigt, at de ikke har spist stærk mad, såsom hvidløg, før bedømmelserne, da det både kan påvirke luftkvaliteten i deres omgivelser og deres egen lugtesans.

Før en bedømmelse af luftkvalitet foretages er det vigtigt, at panelet tilbringer ca. 3 minutter i så god en luftkvalitet som muligt, enten i laboratoriet, udendørs eller i et velventileret lokale for at opfriske deres sanser. En måleperiode forløber typisk over et par timer.

Ved laboratorieforsøg, hvor bedømmelser foretages i et eksponeringsudstyr, anbefales det at foretage bedømmelserne efter kun én inhalering for at undgå tilvænning af lugtesansen. Ved feltforsøg kan det af praktiske grunde være svært kun at tage en inhalering før en bedømmelse foretages. Derfor anbefales det, at der foretages så få inhaleringer som muligt, og at den enkelte paneldeltager så vidt muligt bruger den samme procedure hver gang.

Laboratoriefaciliteter

For at kunne karakterisere afgangningen fra byggematerialer sensorisk er der udviklet et ventileret lille-skala testkammer, figur 3. Testkammeret, der har fået navnet CLIMPAQ (Chamber for Laboratory Investigation of Materials,

Pollutions and Air Quality), er hovedsageligt lavet af glas for at minimere mængden af forurening, der adsorberer på overfladerne. Kammeret har et volumen på 51 liter og gør det muligt at undersøge afgangning fra materialer under kontrollerede forhold (12). Afkastluften fra kammeret ledes gennem en specialdesignet tragt. Kammeret ventileres normalt med en luftmængde på 0,9 l/s. Denne luftmængde er afpasset, så panelmedlemmerne kan bedømme kvaliteten af den luft, der kommer ud af kammeret, uden at den fortyndes med luft fra omgivelserne.

Ud over lille-skala testkamre er der også behov for faciliteter, hvori paneldeltagere kan opholde sig i uforurenede luft i måleperioden. Et eksempel herpå er SBis luftkvalitetslaboratorium (13), se figur 4. I laboratoriet kan der f.eks. gennemføres forsøg med op til 24 forskellige forureningskilder i hver sit testkammer.

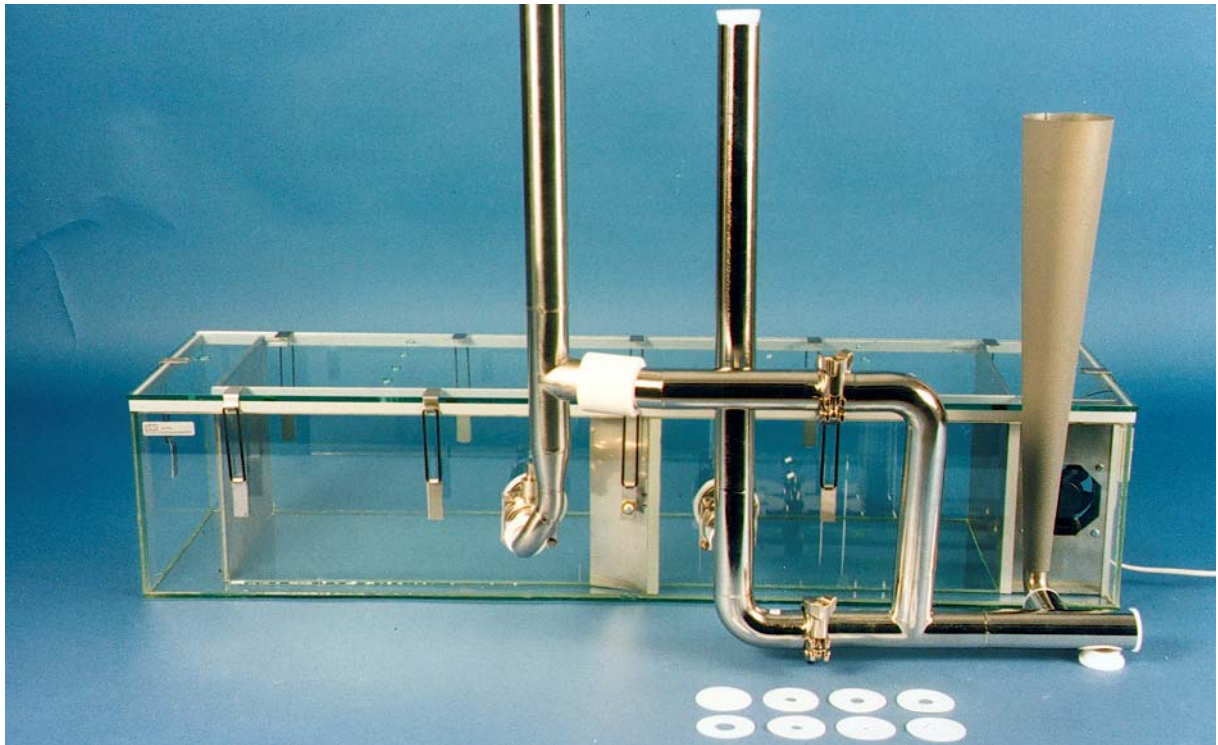
Sensoriske effektmålinger i forskningen

I det følgende gives der en række eksempler på anvendelsen af sensoriske effektmålinger i forbindelse med forskellige forskningsemner.

Eksponering-respons sammenhæng

For at kunne vurdere, hvordan et materiale påvirker den oplevede luftkvalitet ved en given mængde materiale og ventilationsrate og for at kunne vurdere betydningen af at ændre på ventilationsraten, er det nødvendigt at kende eksponering-respons sammenhængen, dvs. sammenhængen mellem koncentrationen af afgangning fra materialet (= eksponering) og det dertil svarende sensoriske respons (oplevet luftkvalitet) (14).

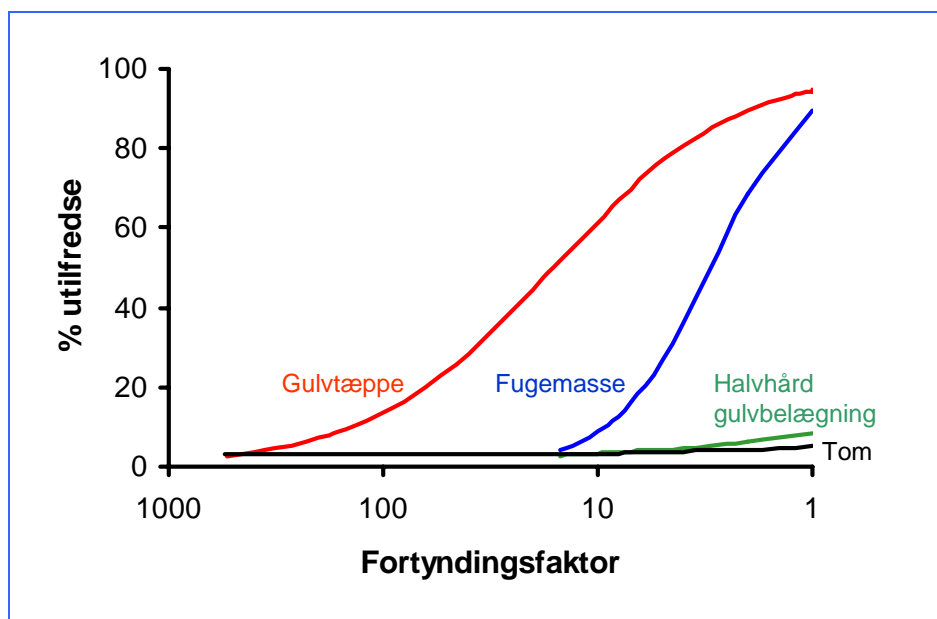
Denne sammenhæng er blevet bestemt for en række forskellige materialer. De materialer, som blev undersøgt, blev placeret i hver sit testkammer. På udgangen fra testkammeret blev monteret et fortyndingssystem, som gjorde det muligt at fortynde den forurenede afkastluft i faste trin, figur 3.



Figur 3. Testkammer af CLIMPAQ typen med tragt til sensoriske bedømmelser. Der er monteret et fortyndings-system bestående af stålør på kammeret. I forgrunden ligger blændere af Teflon, som gør det muligt at dosere forskellige koncentrationer af forurennet luft i tragten til deltagerne i det sensoriske panel.



Figur 4. Personer bedømmer kvaliteten af luft, der er forurennet med afgasninger fra materialer i luftkvalitetslaboratoriet på SBI.



Figur 5. Oplevet luftkvalitet udtrykt ved procent utilfredse som funktion af fortyndingsfaktor for 3 forskellige materialer og et tomt testkammer. En fortyndingsfaktor på 1 svarer til den koncentration, der vil være i et simuleret rum på 17 m³, hvor materialet anvendes. En fortyndingsfaktor på 10 svarer til, at denne koncentration fortyndes 10 gange.

I figur 5 er vist eksempler på eksponeringsrespons sammenhænge for 3 forskellige materialer. Som det fremgår, er der stor forskel på den måde, afgasningerne fra de tre materialer opleves på. Den halvhårde gulvbelægning (polyolefin) lugter meget lidt. Gulvtæppet og fugemassen derimod giver begge anledning til stor utilfredshed ved den højeste koncentration (fortyndingsfaktor = 1). De to materialer opleves imidlertid meget forskelligt, når den forurenede luft fortyndes, på grund af forskel i hældningen af de to eksponeringsrespons sammenhænge. For fugemassen medfører en fortynding på 10 gange, at utilfredsheden falder fra ca. 90 % til 10 %. For gulvtæppet giver en fortynding på 10 gange anledning til en langt mere begrænset forbedring af luftkvaliteten. Der kræves en fortynding på op mod 200 gange for at opnå en forbedring i den oplevede luftkvalitet fra 90 % utilfredse til 10 % utilfredse.

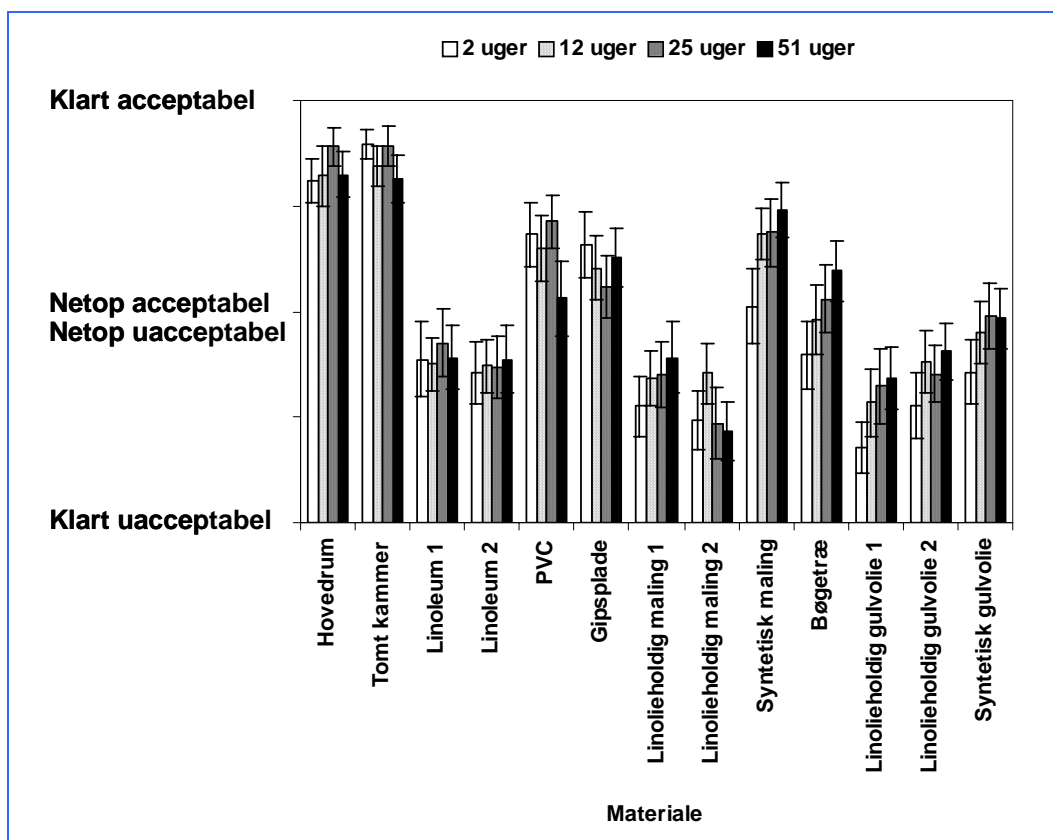
Der er tilsvarende påvist betydelig variation i hældningen af eksponeringsrespons sammenhængen for rum i bygninger.

Det kan derfor vise sig, at det ikke er teknisk muligt at øge ventilationen (fortyndingen) tilstrækkeligt til, at der kan opnås en ønsket oplevet luftkvalitet i et rum. Det afhænger af hældningen på den relevante eksponeringsrespons sammenhæng. Den mest rationelle måde at undgå lugtgener på er naturligvis systematisk at anvende lav-forurenende materialer. Kun en sådan kildekontrol vil på samme tid kunne give en acceptabel indeluftkvalitet og et lavt energiforbrug til ventilation.

Naturmaterialer

Der er i dag øget fokus på at fremme naturligt og økologisk byggeri, men det er vigtigt, at dette ikke sker på bekostning af det gode indeklima. Det kan være tilfældet, fordi visse naturlige materialer er nedbrydelige, og at der under denne nedbrydningsproces afgives forureninger til luften.

Det blev derfor undersøgt, om nogle naturlige materialer i højere grad end tilsvarende konventionelle syntetiske materialer påvirker den oplevede luftkvalitet (15).



Figur 6. Oplevet luftkvalitet er her vist som middelbedømmelser af acceptabilitet for de undersøgte materialer, et hovedrum og et hovedrum (luftkvalitetslaboratoriet) ved fire bedømmelser efter 2, 12, 25 og 51 uger. Gipsplade og bøgetræ blev undersøgt ubehandlet for at kunne vurdere betydningen af henholdsvis maling på gipsplade og gulvolie på bøgetræ. 95 % konfidensintervaller for middel acceptabilitet er angivet.

Som repræsentanter for naturlige materialer blev der i undersøgelsen valgt seks produkter, der alle indeholdt linolie i forskellige mængder: to typer gulvbelægning af linoleum, to typer linolieholdig vægmaling og to typer linolieholdig gulvolie.

Til sammenligning blev tre konventionelle, ikke-linolieholdige, syntetiske materialer undersøgt: en gulvbelægning af PVC samt en syntetisk maling og en syntetisk gulvolie. Disse produkter, der har været på markedet i længere tid, og som har relative store markedsandele, er kendte for god holdbarhed og kvalitet.

Prøveemner af de forskellige materialer blev placeret i testkamre i laboratoriet. Afgasningen

blev fulgt over et år, hvor der bl.a. blev målt oplevede luftkvalitet.

Figur 6 viser, at de undersøgte linolieholdige materialer forringer den oplevede luftkvalitet i større omfang end de tilsvarende konventionelle syntetiske materialer.

De linolier, der var anvendt som råvarer i de færdige produkter, blev undersøgt separat. Der var relativ stor forskel på de sensoriske bedømmelser af de rene linolier. Det kan derfor anbefales producenter af de linolieholdige byggematerialer at undersøge muligheden for at forbedre den indeklimamæssige kvalitet af deres produkter ved at anvende en mindre forurenende linolie.

Undersøgelsen viser, at det ved produktudvikling af byggematerialer er vigtigt ikke kun at fokusere på at mindske de påvirkninger, der har negativ indflydelse på det ydre miljø, men også at inddrage påvirkninger af indeklimaet.

Lugter over tid

Det er vigtigt at vide, hvor længe et materiale bliver ved med at afgive lugt. Det har vist sig, at nogle materialer bliver ved med at lugte i flere måneder (16), og som det fremgik af ovenstående forsøg med linolieholdige produkter lugtede de nærmest uændret selv efter et år. En mulig forklaring kan være, at materialerne langsomt nedbrydes, f.eks. ved kemiske reaktioner med ozon i luften. Under denne proces kan der afgives sekundær afgangning, se afsnittet nedenfor om ozon. For nogle materialer kan denne type afgangning tilsyneladende fortsætte i hele materialets levetid. De afgivne stoffer forekommer ofte i så lave koncentrationer, at de er svære at måle med gængs kemisk måleteknik. Det antages, at det drejer sig om stoffer med meget lave lugttærskler. Afgasningen kaldes sekundær i modsætning til den primære afgangning, se ovenfor.

For at undgå dårlig luftkvalitet, må der gøres en særlig indsats for at sikre, at de materialer, der anvendes, er i orden allerede fra det øjeblik, de tages i brug. Er afgangningen fra et materiale ikke tilstrækkelig lav, kan det være forbundet med et unødigt stort energiforbrug til ekstra ventilation for at nå en acceptabel luftkvalitet - hvis det overhovedet er teknisk muligt. Det er ikke rimeligt, at øget ventilation skal kompensere for uhensigtsmæssigt valg af materialer - måned efter måned – ja, måske år efter år. Det anbefales derfor ved valg af nye materialer, at afgangningen er kontrolleret, som det f.eks. er tilfældet med indeklimamærkede materialer.

Ozon

Ozon er en af de kraftigste oxidanter i udeluften. Den ozon, der er i indeluften, stammer normalt hovedsageligt fra udeluften. Koncentrationen af ozon i indeluften er typisk kun mellem 20 % og 70 % af koncentrationen i

udeluften. Det skyldes, at ozon er meget villig til at reagere med materialeoverfladerne inden døre. Det lyder umiddelbart positivt, da nogle mennesker med luftvejslidelser kan opleve irritation i luftvejene og forværring af astma på grund af ozon.

Nye forskningsresultater viser imidlertid, at den oplevede luftkvalitet kan være påvirket negativt af, om der foregår kemiske reaktioner mellem luftens indhold af ozon og materialeoverflader og deres afgangningsprodukter.

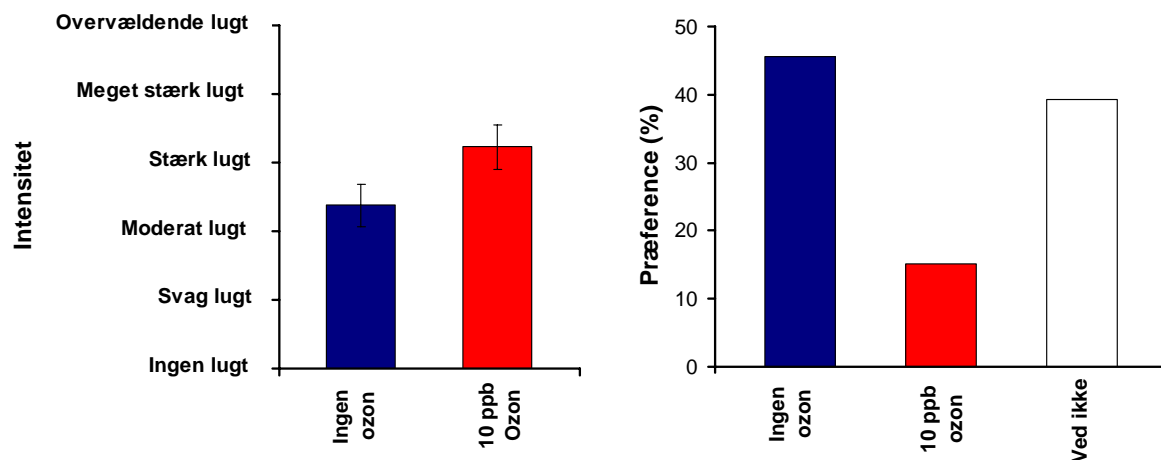
Der blev gennemført laboratorieforsøg (17) og feltforsøg (18) for at undersøge, om tilstedeværelsen af ozon i luften kan ændre afgangningen fra visse materialer, så det påvirker den oplevede luftkvalitet.

I laboratoriet blev to ens sæt prøveemner af det samme materiale placeret i hver sit ventilerede testkammer. Det ene sæt prøveemner blev tilført en konstant mængde ozon, så koncentrationen i afkastluften fra kammeret var 10 ppb. Denne koncentration blev valgt, så paneldeltagerne netop ikke kunne lugte, at der var ozon i luften.

Luftkvaliteten blev bedømt af et sensorisk panel, der bedømte lugtintensiteten. Derudover blev panelet bedt om at sammenligne lugten fra de to sæt prøveemner (med og uden ozon) og besvare spørgsmålet ”Hvilken lugt foretrækker du?”. De havde også mulighed for at svare ”Ved ikke”, hvis de ikke foretrak den ene frem for den anden.

Den største effekt blev fundet for et almindeligt kunstfiber (polyamid) gulvtæppe med gummibagside, se figur 7. Det ses, at lugtintensiteten stiger, når tæppet udsættes for ozon, og der er en klart større præference for den materialeprøve, der ikke har været udsat for ozon. Det er et udtryk for, at ozon ved reaktion med tæppet danner sekundære afgangningsprodukter i tilstrækkelige mængder til, at det opleves som en forringelse af luftkvaliteten.

Det kan derfor være relevant at eksponere visse typer af byggematerialer for luft med



Figur 7. Lugtintensitet og præference for to sæt prøveemner af det samme gulvtæppe med og uden ozon. Præferencen udtrykker, hvor stor en procentdel af paneldeltagere, der foretrækker tæppet uden ozon eller med ozon. Desuden er den procentdel, der har svaret "Ved ikke", angivet.

ozon - frem for ren luft - for at få et mere realistisk billede af, hvilke stoffer materialet afgasser, og hvilken betydning det har for bygningsbrugerne.

I et feltforsøg blev det undersøgt, om ozon i samspil med materialeoverflader i typiske lavforurenede kontorer påvirker den oplevede luftkvalitet (18). Tre ens ældre kontorer blev undersøgt. Kontorerne havde linoleum på gulvet og vægge og lofter var malet med vandbaseret maling. Disse overflader og det øvrige kontorinventar var mindst to år gamle.

Et sensorisk panel bedømte acceptabiliteten af luften i kontorerne ved forskellige kombinationer af ventilationsrate (tre niveauer: 0,3, 1,0 og 3,0 h⁻¹) og ozonniveau (to niveauer: under 2 ppb og 10 ppb). Bedømmelserne af den oplevede luftkvalitet ses i figur 8.

Ved det lave luftskifte på 0,3 h⁻¹ er luftkvaliteten betydeligt dårligere end ved de højere luftskifter på 1,0 og 3,0 h⁻¹. Det er naturligvis ikke overraskende, at luftkvaliteten er dårligere ved et lavere luftskifte. Det interessante er, at den største forringelse optræder i de to kontorer, hvor der er det højeste ozonniveau. Luftkvaliteten forringes formentlig mest i disse kontorer, fordi ozon reagerer med materialerne i

kontorerne, hvorved der dannes nogle mere potente afgasningsprodukter. Disse optræder i tilstrækkeligt høje koncentrationer til at det påvirker den oplevede luftkvalitet. Dette er ikke tilfældet ved de højere luftskifter, hvor forureningen fortyndes tilstrækkeligt til at der kan opretholdes en god luftkvalitet.

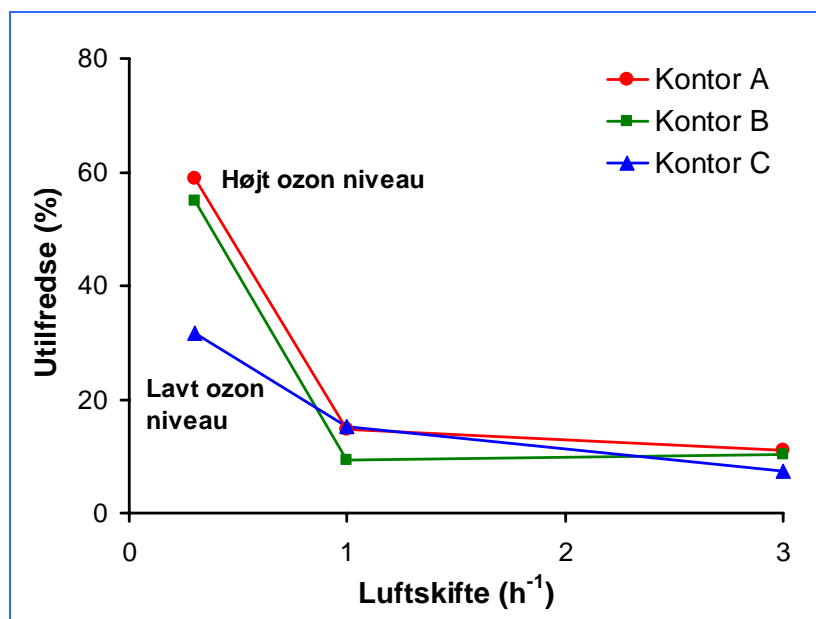
Ud over at demonstrere effekten af ozon understreger resultaterne vigtigheden af at have tilstrækkelig ventilation, også for lavforurenede kontorer.

Praktisk anvendelse af sensoriske effektmålinger

I det følgende gives der to eksempler på praktisk anvendelse af sensoriske effektmålinger, dels i forbindelse med indeklimamærkning af materialer og dels til dokumentation af effekten af en renovering af en række boliger med muglugt.

Indeklimamærkning

I 1993 blev den frivillige Indeklimamærkningsordning iværksat for at fremme udviklingen af sundhedsrigtige byggevarer ved at mindske afgasningen fra byggematerialer (19).



Figur 8. Oplevet luftkvalitet udtrykt ved procent utilfredse i de tre undersøgte kontorer som funktion af luftskifte ved højt og lavt niveau af ozon.

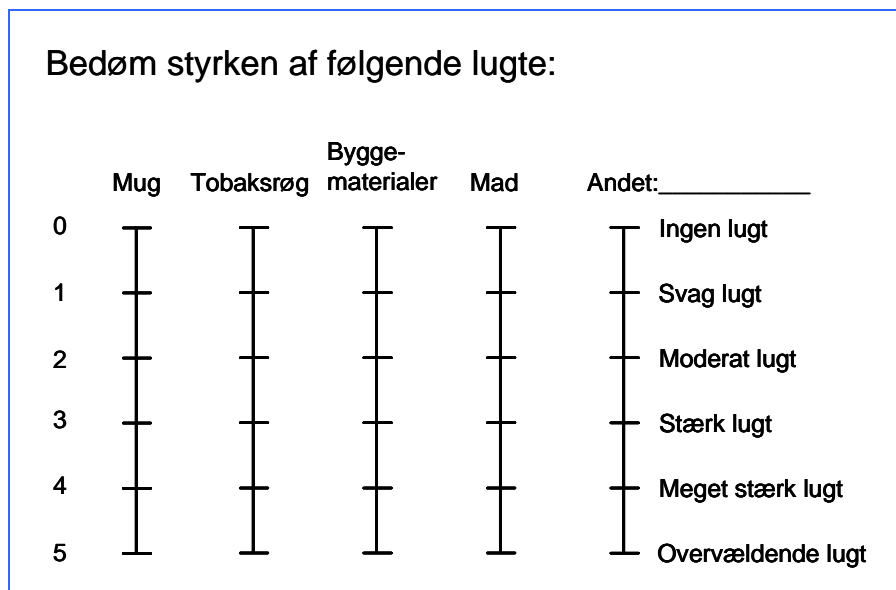
I ordningen vurderes den ovennævnte primære afgangning ved kemiske målinger, og der foretages sensoriske bedømmelser af materialernes lugtavgivelse ved anvendelse af skalaerne for lugtintensitet og acceptabilitet vist ovenfor. For at et materiale kan opnå mærket, skal koncentrationen af relevante stoffer samt bedømmelserne af oplevet luftkvalitet på de to skalaer opfylde fastlagte godkendelsesniveauer inden en vis tid – den såkaldte indeklimarelevante tidsværdi. Denne tidsværdi er f.eks. 120 dage eller derunder for de undersøgte linolieholdige produkter ovenfor. På dette tidspunkt skal lugtintensiteten være på "Moderat lugt" eller lavere (se figur 1), samtidig med at bedømmelser af acceptabilitet er på "Netop acceptabel" eller bedre (se figur 2). Som det fremgår ovenfor, opfylder de undersøgte linolieholdige materialer ikke disse krav, selv efter et år, hvorfor de ikke vil kunne opnå mærket. Hvis de pågældende materialer skal kunne godkendes, kræver det en produktudvikling hen imod mindre lugtende produkter, f.eks. ved at benytte mindre lugtende linolier.

Som beskrevet ovenfor kan nogle materialeoverflader og materials afgangningsprodukter

reagere med reaktive gasser, f.eks. ozon, og danne nye afgangningsprodukter, såkaldt sekundær afgangning, der i særlig grad kan forringe indeluftkvaliteten. For nogle materialer giver mærkningsordningen derfor ikke et dækkende billede af, hvordan materialet påvirker luftkvaliteten i virkeligheden, hvor der forekommer mere komplicerede afgangningsmekanismer.

Erfaringer fra mærkningsordningen har vist, at nogle naturlige materialer har svært ved at opnå Indeklimamærket, da deres indeklimarelevante tidsværdi er uacceptabel lang. Som et eksempel herfor er visse linolieholdige produkter, se ovenfor. Her har det vist sig, at den oplevede luftkvalitet påvirkes af afgassede stoffer i meget lave koncentrationer, som er vanskelige at måle med eksisterende målemetoder. Dette er en udfordring i forbindelse med produktudvikling, da viden om de afgassende stoffer er vigtig for systematisk at kunne forbedre et produkt.

Generelt er byggevarerproducenterne blevet mere opmærksomme på behovet for byggevarer, der ikke forurener indeluften unødigt. Flere typer varer, der tidligere var kendt for at ud-



Figur 9. Modifieret lugtintensitetsskala til undersøgelse af forskellige lugtkarakterer i lejligheder.

sende ubehagelige lugte, bidrager nu i mindre grad til forureningen inden døre.

Lugtsanering i lejligheder

For meget fugt i bygninger kan medføre vækst af skimmelsvampe på byggematerialer, der indeholder organisk stof. Skimmelsvamp kan give anledning til et lugtproblem, dels direkte ved at udsende lugtende stoffer og dels indirekte ved at overføre lugtende stoffer til andre materialer. Har fugtproblemet stået på over længere tid, vil mange materialer, der ikke selv er inficeret med skimmelsvampe, således også lugte. Når problemet erkendes, vil lugtsaneringen typisk bestå i, at fugtkilden elimineres og det inficerede materiale fjernes.

I forbindelse med renoveringen af en bebyggelse, hvor der i de fleste lejligheder var blevet konstateret fugtskader og skimmelsvampevækst, var det et krav, at der ikke måtte lugte af mug efter renoveringen, af hensyn til de beboere, der skulle flytte tilbage i bebyggelsen efter renoveringen.

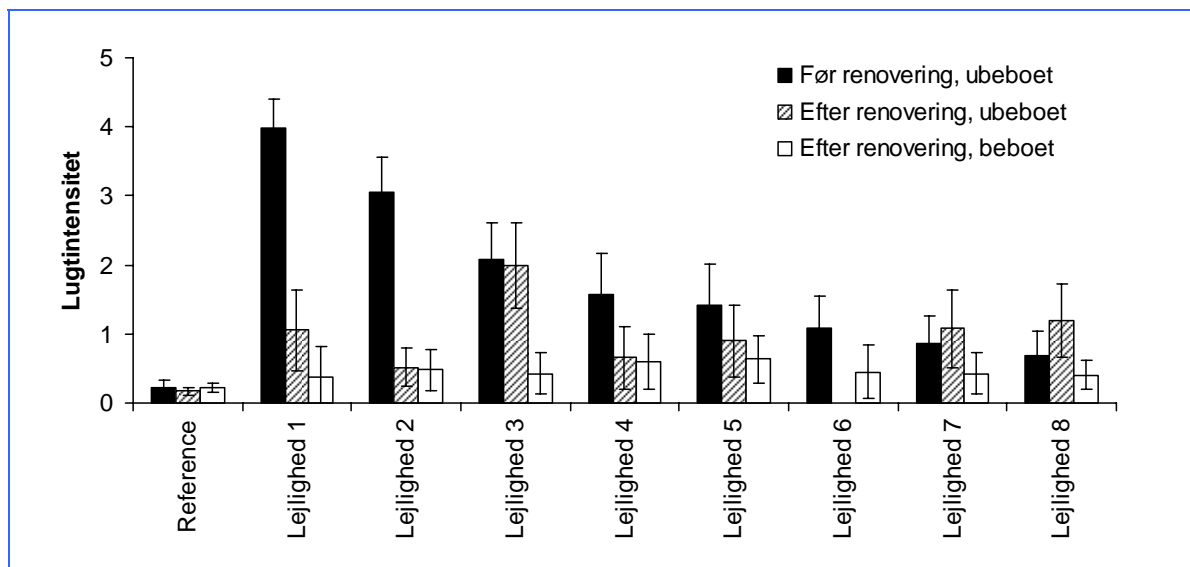
Der blev derfor foretaget målinger af oplevet luftkvalitet i otte udvalgte lejligheder med et

uafhængigt panel for at få en uvildig dokumentation af virkningen af forskellige renoveringer med henblik på at fastlægge den mest hensigtsmæssige renovering af den resterende bebyggelse (20).

Den oplevede luftkvalitet blev målt med et sensorisk panel på tre forskellige tidspunkter: a) før renovering, ubeboet; b) efter renovering, ubeboet og c) efter renovering, beboet i ca. et år. Efter en kort introduktion blev det sensoriske panel i bus kørt til bebyggelsen. Der blev bl.a. foretaget bedømmelser af indeluftens kvalitet på acceptabilitetsskalaen. Herudover blev den modificerede lugtintensitetsskala i figur 9 benyttet.

Resultaterne af de sensoriske bedømmelser, figur 10, viser generelt, at den oplevede luftkvalitet i de værste boliger er forbedret, i nogle tilfælde betydeligt, fra den første måleperiode før renoveringen til de to efterfølgende måleperioder efter renoveringen.

På baggrund af bl.a. disse sensoriske målinger kunne de bedst egnede foranstaltninger til renovering af hele bebyggelsen vælges.



Figur 10. Middel lugtintensitet af mug for de otte undersøgte lejligheder. 95 % konfidensinterval for middel lugtintensitet er angivet.

Fremtidig forskning

Der er behov for en styrkelse af den danske indeklimamærkningsordning, så den i højere grad afspejler forholdene i bygninger. Det bør f.eks. afklares, hvad reaktiv kemi betyder for indeluftens kvalitet, og hvordan afgasning fra visse naturlige materialer skal håndteres i mærkningsordningen.

For at kunne foretage en mere målrettet produktudvikling af mere indeklimavenlige, herunder mindre lugtende, materialer, er der behov for en bedre forståelse af, hvad det er for kemiske stoffer, der er ansvarlige for belastningen af indeluften.

På trods af bestræbelser for at opnå europæisk harmonisering findes der endnu ikke en fælles, europæisk mærkningsordning for afgasning fra byggematerialer og inventar. Der er derfor behov for at udvikle et fælles grundlag herfor og arbejde frem mod konsensus for anvendte testmetoder, herunder sensoriske effektmålinger.

Effekten af at reducere forureningen fra materialer bør undersøges med henblik på at fastlægge/vurdere ventilationsbehov og energifor-

brug til ventilation af bygninger ved forskellige valg af materialer og inventar. Denne viden vil være med til at afklare, i hvilket omfang reduceret ventilation kan bidrage til at imødekomme EUs direktiv om at reducere energiforbruget i bygninger, uden at det sker på bekostning af indeklimaet.

Referencer

1. Buck L, Axel R. *A novel multigene family may encode odorant receptors: A molecular basis for odorant recognition.* Cell 1991;65:175-87.
2. Gunnarsen L, Fanger PO. *Adaptation to indoor air pollution.* Environ Int 1992;18:43-54.
3. ECA-IAQ (European Collaborative Action "Indoor Air Quality and its Impact on Man") 1997 *Evaluation of VOC emissions from building products – Solid flooring materials*, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities (Report No. 18 (EUR 17334 EN)).

-
4. Wargocki P, Sundell J, Bischof W, Brundrett G, Fanger PO, Gyntelberg F, Hanssen SO, Harrison P, Pickering A, Seppänen O, Wouters P. *Ventilation and health in non-industrial indoor environments: Report from a European multidisciplinary scientific consensus meeting (EUROVEN)*. Indoor Air 2002;12:113-128.
 5. Wolkoff P, Clausen PA, Nielsen GD 1998. *Flygtige organiske forbindelser - VOC'er i indeklimaet*. København: Arbejdsmiljøinstituttet. (AMI Dokumentation 2).
 6. ECA-IAQ (European Collaborative Action "Indoor air quality and its impact on man"), 1999. *Sensory evaluation of indoor air quality*. Report No. 20. EUR 18676 EN. Luxembourg: Office for official publications of the European communities.
 7. Clausen G, Gunnarsen L, Knudsen H, Pejtersen J. *Workshop om oplevet luftkvalitet*. In: Nordisk konsensuskonference: Måling og vurdering af indeklimafaktorer 10.-12. oktober 2000: Dialogmøde for arbejdsmiljøprofessionelle, Måling og vurdering af indeklimapåvirkninger 15. november 2000: Afrapportering (pp. 58-64). København: Arbejdsmiljøinstituttet.
 8. Yaglou CP, Riley EC, Coggins DI. *Ventilation requirements*, ASHVE Transactions 1936;42: 133-162.
 9. ASHRAE 1989 *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Atlanta, GA, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE Standard 62-1989).
 10. Clausen G, Pejtersen J, Saarela K, Tirkkonen T, Tähtinen M, Dickson, D. *European data base on indoor air pollution sources in buildings, protocol for testing of building materials*. Version 1.0, November 28, 1995.
 11. Fang L, Clausen G, Fanger PO. *Impact of temperature and humidity on perception of indoor air quality during immediate and longer whole-body exposures*. Indoor Air 1998;8(4):276-84.
 12. Nordtest, NT Build 482. *Building Materials: Emissions testing using the CLIMPAQ*. Espoo: Nordtest, P.O. Box 116, SF-02151 Espoo, Finland, 1998.
 13. Ekberg LE, Nielsen, JB. *A laboratory for investigation of the air quality in simulated indoor environments*. 16th AIVC Conference, Palm Springs, 19 September 1995, Atlanta, GA.
 14. Knudsen HN, Valbjørn O, Nielsen PA. *Determination of exposure-response relationships for emissions from building products*. Indoor Air 1998;8(4):264-75.
 15. Knudsen HN, Clausen PA, Shibuya H, Wilkins K, Wolkoff P. *Indeklimavurdering af linolieholdige byggematerialer*. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut. (By og Byg Dokumentation 054). (Rapporten kan downloades på www.sbi.dk) 2004.
 16. Knudsen HN, Kjaer UD, Nielsen PA, Wolkoff P. *Sensory and chemical characterization of VOC emissions from building products: impact of concentration and air velocity*. Atmos Environ 1999;33:1217-30.
 17. Knudsen HN, Nielsen PA, Clausen PA, Wilkins CK, Wolkoff P. *Sensory evaluation of emissions from selected building products exposed to ozone*. Indoor Air 2003;13:223-31.
 18. Knudsen HN, Afshari A, Ekberg LE, Lundgren B. *Impact of ventilation rate, ozone and limonene on perceived air quality in offices*. Proceedings of the 9th International Conference of Indoor Air Quality and Climate INDOOR AIR 2002, Monterey, 2, 285-290.
 19. Wolkoff P, Nielsen PA. *A New Approach for Indoor Climate Labelling of Building Materials - Emission Testing, Modelling and Comfort Evaluation*. Atmos Environ 1996;30:2679-2689.
 20. Knudsen HN. *Documentation of mould odour remediation in flats*. Proceedings of Healthy Buildings 2003, Proceedings of ISIAQ 7th International Conference 7th-11th December 2003, Singapore, 3, 324-329.
-

Ny dansk forskning om indeklima i kontormiljøer

Indeklima og psykosocialt
arbejds miljø i storrums kontorer

Lys, sundhed og velvære

Indeklima og produktivitet

Indeklima og psykosocialt arbejdsmiljø i storrumskontorer

Af Jan Pejtersen, Arbejdsmiljøinstituttet

Introduktion

En af de første bygninger, som blev designet med storrumskontorer, menes at være en bygning i New York, opført af arkitekten Frank Lloyd Wright i 1904. Denne type storrumskontor havde den klassiske indretning, som man stadig ser i klasseværelser, med borde på rad og række, og blev hurtigt populær i kontorbygninger (1). I denne kontortype sad dog udelukkende kontorassistenter og sekretærer, mens lederne havde deres eget private kontor. I 1960'erne blev det åbne kontorlandskab eller "Burolandschaft", som havde sine rødder i Tyskland, populært i USA. Forskellen var, at i det åbne kontorlandskab var arbejdspladserne arrangeret i små grupper for at få den mest optimale arbejdsgang og kommunikation i kontoret, og alle, inklusive ledere, sad i det åbne kontorlandskab. I det originale design fra Tyskland var der ikke støjskærme mellem arbejdspladserne, men støjskærme blev hurtigt kendetegnet for det åbne kontor i 60'erne. Selvom den originale ide med det åbne kontorlandskab tog udgangspunkt i arbejdets organisering og fremme af den interne kommunikation, så opførte mange virksomheder storrumskontorer ud fra en anden filosofi, idet kontorerne generelt var billigere, de krævede færre kvadratmeter per person, og de var mere fleksible i forbindelse med ombygning og vedligeholdelse (2). I 1970'erne og i starten af 1980'erne kom der fokus på problemerne omkring manglende privathed og støj fra kollegaer i det åbne kontorlandskab (3) og fra omkring 1980 begyndte man igen at anvende private kontorer i kombination med de åbne kontorer (1).

Udviklingen i Danmark har i store træk fulgt udviklingen i USA. Dog betød energikrisen i 1980'erne og den negative fokus på mekanisk ventilation i samme periode, at der i 1990'erne

blev bygget mange naturligt ventilerede bygninger med cellekontorer og små vinduer (4). Inden for de sidste 10 år er de åbne kontorlandskaber vendt tilbage, og man taler nu om, at de fysiske omgivelser skal støtte det moderne kontorarbejde, hvor der er en høj grad af videndeling, og hvor man i højere grad end tidligere arbejder i projektgrupper eller autonome arbejdsgrupper, og hvor organisationen konstant stiller krav til fleksible omgivelser. Det moderne kontorarbejde går ofte under navnet "new ways of working" og man taler også om "the new office", selvom de overordnede principper i de moderne storrumskontorer til forveksling ligner den originale ide fra "Burolandschaft" - det åbne kontorlandskab.

Hvorfor storrumskontorer?

Der er to teorier omkring, hvordan medarbejdere agerer i storrumskontorer (5). En teori siger, at de åbne kontorer vil fremme de sociale relationer mellem medarbejdere, fremme social støtte og feedback fra kollegaer, nedsætte samarbejdsproblemer og fremme videndeling i og på tværs af afdelinger. En anden teori derimod, siger, at de manglende vægge i kontorerne vil nedsætte muligheden for privathed i arbejdet, den fortrolige og personlige samtale forsvinder, den sociale støtte og feedback nedsættes og dermed mindskes videndelingen. Samtidig forsvinder de ansattes oplevelse af selvbestemmelse, da de altid er overvågede, og da der er større sandsynlighed for, at kollegaer og ledere vil blande sig i ens arbejde, når de kan følge med i arbejdet. Dette vil føre til nedsat motivation, øget jobutilfredshed og i den sidste ende nedsat performance og produktivitet.

Oldham og Brass (5) testede de to hypoteser i et interventionsstudie, hvor personer blev flyt-

tet fra celle til åbne kontorer. De viste, at det var de negative effekter af storrumskontorer, der var fremtrædende, idet de ansatte oplevede manglende privathed til at have uforstyrrede samtaler og at den personlige samtale helt forsvandt. Der var mindre feedback fra kollegaer og overordnede, og der var mindre autonomi i opgaveløsningerne, hvilket også er fundet i andre undersøgelser (2,3,6).

Problemer i storrumskontorer

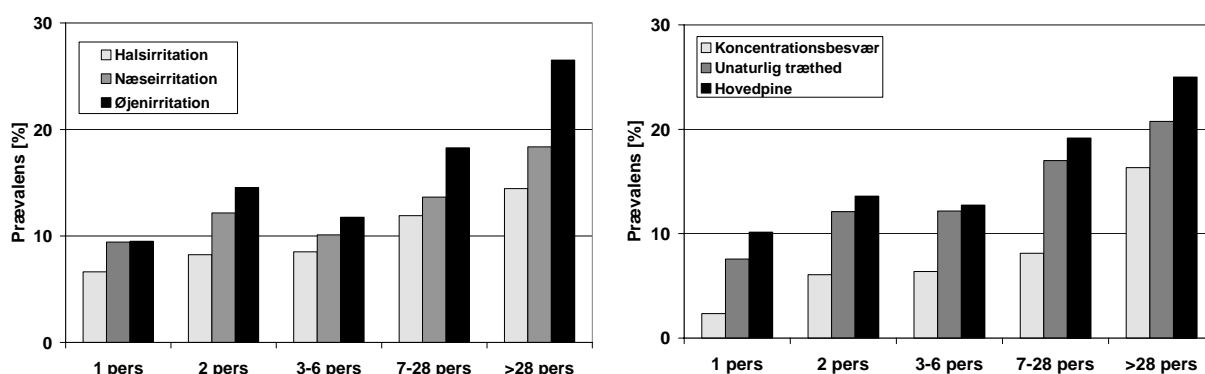
Flere og flere undersøgelser i den internationale litteratur rapporterer om problemer i storrumskontorer. De Croon et al. (7) har foretaget et review omkring effekten af at sidde i storrumskontor i forhold til i cellekontorer. Reviewet omhandlede faktorerne krav i arbejdet, ressourcer i arbejdet, velbefindende og performance. Der var stærk evidens for, at arbejde i storrumskontorer reducerer de ansattes tilfredshed med arbejdet og deres oplevelse af privathed. Der var nogen evidens for, at det at arbejde i storrumskontorer kan forstærke den kognitive arbejdsbelastning og forværre de interpersonelle relationer mellem kollegaer.

De fleste studier om storrumskontorer har været foretaget af forskere inden for socialvidenskaben og adfærdsforskningen (2,5,7-9) eller mere tekniske studier specifikt omkring støj (10-12). Inden for den traditionelle indeklimaforskning er der meget få forskere, der har fokuseret på storrumskontorer. I reviewet omkring mulige forklaringer på symptomer i indeklimaet fandt Mendell et al. (13), at kun 7 ud af

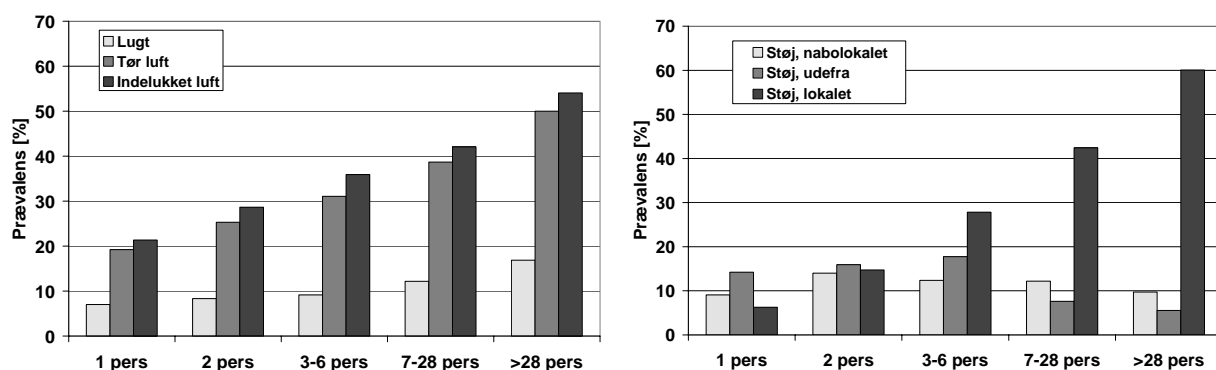
de 32 reviewede studier har inkluderet antal personer i lokalet som en forklarende variabel. Af de 7 studier blev det i 5 af dem fundet, at flere personer i kontorerne var associeret med en højere forekomst af symptomer. I et ældre studie af ansattes attitude over for storrumskontorer inkluderede Hedge (3) også spørgsmål omkring det fysiske indeklima og fandt, at mere end halvdelen af de ansatte klagede over det fysiske indeklima. I et nyere studie har Chao et al. (14) fundet, at antallet af personer per kontor var positivt associeret med symptomer i de øvre luftveje og med almene symptomer som hovedpine, træthed og koncentrationsbesvær.

En ny dansk undersøgelse fra Arbejdsmiljøinstituttet har vist, at der er flere problemer med indeklimaet i storrumskontorer end i både flerpersons- og cellekontorer (15,16). Undersøgelsen, som blev afrapporteret i "Miljø og sundhed nr. 29, 2005", var en tværsnitsundersøgelse blandt 2.300 kontoransatte i 22 kontorbygninger med forskellige kontortyper i Storkøbenhavn (17). Resultaterne viste, at for de fleste indeklimagener steg forekomsten af gener og symptomer med stigende kontorstørrelse, selv når der blev taget hensyn til forskelle i køn, alder, jobkategori og psykosociale risikofaktorer i analyserne, figur 1 og 2.

I figur 1 er angivet prævalensen af slimhindeirritation og almene symptomer i de forskellige kontortyper i AMIs undersøgelse. De største storrumskontorer havde ca. dobbelt så høj præ-



Figur 1. Forekomst af slimhindeirritation og almene symptomer i forskellige kontortyper.



Figur 2. Forekomst af luftkvalitetsgener og støjgener i forskellige kontortyper.

valens af slimhindeirritation blandt de ansatte i forhold til cellekontorerne. For symptomerne træthed og hovedpine var der omtrent tre gange så mange som klagede i storrumskontorerne som i cellekontorerne. Oplevelse af koncentrationsbesvær var markant større i de store storrumskontorer end i cellekontorerne, idet otte gange så mange klagede over koncentrationsbesvær.

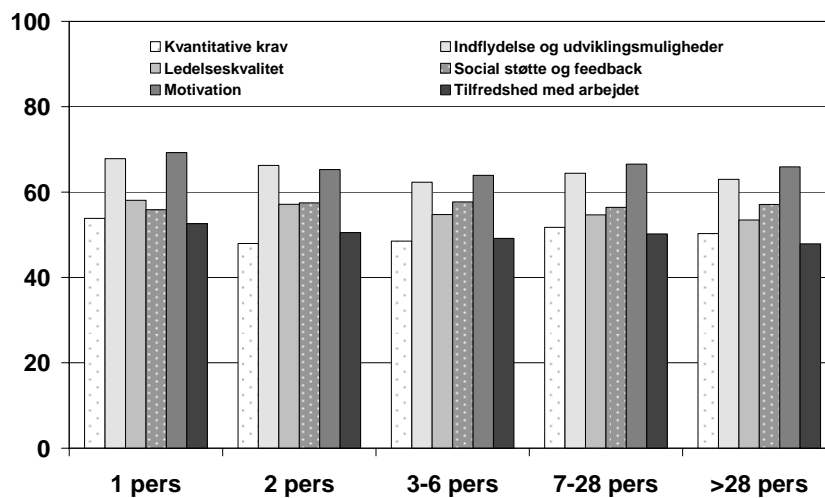
De mest udbredte gener i storrumskontorerne i AMIs undersøgelse var de ansattes oplevelse af tør luft, indelukket luft og specielt støj i lokalet, figur 2. Omkring 10 gange så mange personer var generet af støj i de største storrumskontorer i forhold til enkeltmandskontorerne, idet 60 % af personerne i de største storrumskontorer (>28 personer) klagede over støj i lokalet flere gange om ugen eller dagligt, mens kun 6 % klagede i enmandskontorerne.

Som en af de få indeklimaundersøgelser inkluderede AMIs undersøgelse også spørgsmål om psykosociale forhold. Den stærke dosis-respons lignende association mellem kontortype og indeklimaspørgsmålene blev ikke genfundet for de psykosociale dimensioner. Niveaulet for de psykosociale dimensioner var meget lig niveaulet for lønmodtagere i Danmark (18) og der var ingen forskel af praktisk betydning mellem kontortyperne. Dog var der en tendens til at dimensionen *indflydelse og udviklingsmuligheder* var lavere i storrumskontorer end i cellekontorer, hvilket er en potentiel risikofaktor for stress. Dette er også reflekteret i de ansattes oplevelse af jobtilfreds-

hed, hvor der var en svagt faldende tendens med kontorstørrelse. Andre studier har vist, at storrumskontorer kan være en risikofaktor for forekomst af stresshormoner i kroppen, selvom personerne ikke selv oplevede, at de var stressede (19).

Et af de stærkeste argumenter for storrumskontorer, som oftest fremsættes, er, at storrumskontorer er bedre til at understøtte videndeling end det traditionelle cellekontor. I AMIs undersøgelse målte vi dimensionen *social støtte og feedback*, som viste sig at være uafhængig af kontortype. Dette støtter hverken de positive eller de negative teorier om, hvordan personer agerer i storrumskontorer (5). Der er således ikke bedre støtte og feedback fra kollegaer i storrumskontorerne end i cellekontorer, som mange fremhæver som et af argumenterne for storrumskontorer.

På nogle punkter støtter AMIs undersøgelse den sociotekniske teori om, at storrumskontorer kan have negative effekter på de ansatte, om end det skal pointeres, at forskellene mellem de psykosociale faktorer i de forskellige kontortyper var minimal. De ansattes motivation faldt med stigende kontortype, men resultatet var ikke signifikant, når der blev justeret for sociodemografiske variable. Derimod faldt jobtilfredsheden, som omtalt tidligere, med stigende kontorstørrelse og forskellen på cellekontorerne og de største storrumskontorer lå lige på grænsen for, hvad man betragter som en "klinisk" forskel.



Figur 3. De psykosociale faktorer: Kvantitative krav, indflydelse og udviklingsmuligheder, ledelseskvalitet, social støtte og feedback, motivation og tilfredshed med arbejdet. 0 betyder, at man svarer i den laveste kategori på alle spørgsmål og 100 betyder, at man svarer i den højeste kategori på alle spørgsmål.

Oplevelse af privathed i storrumskontorer

Mange studier omkring storrumskontorer inden for adfærdsforskningen drejer sig om okkupanternes oplevelse af privathed. Ordet privathed er en direkte oversættelse af det engelske ord *privacy*, som er bredere end det danske ord. Begrebet *privacy* indbefatter at kunne arbejde uforstyrret uden at være tilgængelig hele tiden, uden at ens samtaler overhøres af andre og uden at man bliver forstyrret af andres samtale eller lyde i det hele taget. I nogle undersøgelser er der specifikt blevet kigget på det man på engelsk kalder *speech privacy*, som bedst kan oversættes med "muligheden for at have uforstyrret samtale".

Man deler oplevelsen af privathed op i psykologisk privathed og arkitektonisk privathed (20). Den psykologiske privathed er oplevelsen af, at man har kontrol over adgangen til en selv og ens gruppe. Det inkluderer kontrol over transmission af information om en selv og kontrol over input, der kommer fra andre. Dette koncept af privathed forudsætter, at personen forsøger at opnå en social kontakt, som er optimal for personen selv. For lidt social kontakt vil opleves som isolation, og for meget social kontakt vil opleves som at der er overfyldt (crowdiness). Den arkitektoniske privathed re-

fererer til den visuelle og akustiske isolation, som et givet kontormiljø giver den enkelte. Den arkitektoniske privathed har stor indflydelse på den psykologiske privathed, da personer i cellekontorer kan kontrollere deres egen tilgængelighed bedre end i åbne kontorer, hvor man er mere synlig og dermed tilgængelig for andre.

Flere forskere har haft den teori, at hvis kedeligt repetitivt kontorarbejde foregår i storrumskontorer, hvor ansatte kan have social kontakt med hinanden, så opleves arbejdet mindre kedeligt og de ansatte oplever større jobtilfredshed end hvis tilsvarende arbejde bliver udført i cellekontorer. Derimod kræver komplekst arbejde større grad af privathed og foregår bedst i uforstyrrede omgivelser som cellekontorer. Sundström et al. (20) fandt, at alle jobtyper foretrak private omgivelser frem for at være tilgængelig, som man er i et storrumskontor. Der var desuden en klar sammenhæng mellem oplevelse af psykologisk privathed og oplevelse af arkitektonisk privathed, og begge dimensioner var relateret til tilfredshed med selve arbejdsstationen og den generelle jobtilfredshed. Derimod var der ikke sammenhæng mellem arkitektonisk privathed og større interaktion mellem kollegaer. Der var lige stor interaktion om man sad i storrumskontorer

eller cellekontorer, hvilket strider med intentionerne og de grundlæggende ideer med storrumskontoret, men som er fundet i flere studier. Brennan et al. (2) bl.a. fandt, at relationerne med kollegaer tilmed blev værre efter flytning til storrumskontorer, mens der i AMIs undersøgelse, som beskrevet tidligere, ikke blev fundet forskel på den sociale støtte fra kollegaer og ledere, uanset om man sad i storrumskontorer, flerpersonskontorer eller cellekontorer (15).

Irrelevant tale og støj i storrumskontorer

Der har været ret intensive studier omkring irrelevant tale og lyde i storrumskontorer. Mange af studierne har været laboratoriestudier, hvor man har undersøgt karakteristika for lyde, der opleves generende i storrumskontorer (21,22). Jones et al. (23) har fundet, at det er støjens natur, der afgør om den opleves forstyrrende og ikke udelukkende om støjen bærer information. Hvis støjen har en variation i tid på samme måde som menneskelig tale, så opleves den generende, hvorimod konstant støj uden denne variation i tid ikke på samme måde opleves generende. Hvis mange personer taler i munden på hinanden og støjen går over i pludren, er forstyrrelseseffekten mindre, da man ikke kan skelne ordene (24). Men andre lyde, der har samme mønstre, vil heller ikke opleves forstyrrende. Dette udnyttes, når man aktivt maskerer støj i storrumskontorer (25). Jones et al. (24) viste også, at forsøgspersoner lavede færre fejl, når de var udsat for 6 stemmer i forhold til kun 2 stemmer. De argumenterer selv for at irrelevant tale kan have en anden effekt på mere komplekse og kognitiv krævende opgaver, som findes i storrumskontorer, end de simple test som forsøgspersonerne blev udsat for. Det tyder dog på, at generne fra støj i storrumskontorer hovedsagelig er fra de nærliggende arbejdspladser.

Andre lyde end tale kan som nævnt være generende i storrumskontorer. Banbury et al. (26) undersøgte 8 forskellige støjkilder, herunder: Telefonringning, telefonsamtaler, andres konversation, printerstøj, ventilationsstøj etc. Telefoner, der ringede på ledige arbejdspladser, var

det mest forstyrrende - muligvis fordi forstyrrelsen varede længere tid end hvis personen var til stede, men det er også muligt, at den manglende kontrol med andre folks ringende telefoner var det, der gjorde at støjen oplevedes generende i lighed med resultater fra Sundström et al. (6). Næststørst forstyrrelse var andre personers samtale, og det, der forstyrrede mindst, var støj udefra. De ansatte blev ligeledes spurgt om tiltag i kontorerne, som kunne reducere deres eventuelle gener. Af foreslåede forbedringer var stilleområder til uforstyrret arbejde den mindst attraktive. Støjabsorberende materialer og lydskillevægge var de mest foretrukne, dernæst kaffeområder og mødelokaler, selvom de 2 sidste foranstaltninger ofte allerede fandtes.

Konklusion

Ansatte i storrumskontorer har i højere grad end ansatte i cellekontorer almene symptomer og slimhindeirritation og klager i højere grad over termisk diskomfort, dårlig luftkvalitet og specielt støj. Telefoner, der ringer, og andre personers samtale er de støjkilder, som opleves mest generende. I storrumskontorer oplever folk mindre privathed, fordi de er tilgængelige hele tiden, og de oplever, at det er svært at føre samtaler og specielt fortrolige samtaler. Man flytter ofte til storrumskontorer for at forbedre samarbejdet og de interpersonelle forhold mellem kollegaer, men dette bliver ikke altid opfyldt i storrumskontorer. Tværtimod kan de sociale relationer imellem kollegaer i værste fald blive dårligere. Desuden oplever folk i storrumskontorer større jobutilfredshed end folk i cellekontorer og nogle studier peger også på, at der er lavere produktivitet i storrumskontorer end i cellekontorer.

Referencer

1. Sundstrom E. *Work places - the psychology of the physical environment in offices and factories*. New York: Cambridge University Press; 1986.
2. Brennan A, Chugh JS, Kline T. *Traditional versus open office design. A longitudinal field study*. Environ Behav 2002;34:279-99.

-
3. Hedge A. *The open-plan office - A systematic investigation of employee reactions to their work-environment*. Environ Behav 1982;14(5): 519-42.
 4. Trelldal J. *Modernisering af kontorbygninger*. Byggeindustrien - ByggeForum. Copenhagen: TechMedia; 2005;1:8-10.
 5. Oldham GR, Brass DJ. *Employee reactions to an open-plan office - Naturally occurring quasi-experiment*. Admin Sci Q 1979;24(2): 267-84.
 6. Sundstrom E, Town JP, Rice RW, Osborn DP, Brill M. *Office noise, satisfaction, and performance*. Environ Behav 1994;26(2):195-222.
 7. De Croon EM, Sluiter JK, Kuijer PPFM, Frings-Dresen MHW. *The effect of office concepts on worker health and performance: a systematic review of the literature*. Ergonomics 2005;48(2):119-34.
 8. Sundstrom E, Herbert RK, Brown DW. *Privacy and communication in an open-plan office - A case-study*. Environ Behav 1982; 14(3):379-92.
 9. Sundstrom E, Town JP, Brown DW, Forman A, Mcgee C. *Physical enclosure, type of job, and privacy in the office*. Environ Behav 1982; 14(5):543-59.
 10. Moreland JB. *Speech privacy evaluations in open-plan offices using the articulation index*. Noise Control Engineering Journal 1989; 33(1):23-32.
 11. Wang C, Bradley JS. *Prediction of the speech intelligibility index behind a single screen in an open-plan office*. Applied Acoustics 2002; 63(8):867-83.
 12. Hongisto V, Keranen J, Larm P. *Simple model for the acoustical design of open-plan offices*. Acta Acustica United with Acustica 2004; 90(3):481-95.
 13. Mendell MJ. *Non-specific symptoms in office workers: A review and summary of the epidemiologic literature*. Indoor Air 1993;3:227-36.
 14. Chao HJ, Schwartz J, Milton DK, Burge HA. *The work environment and workers' health in four large office buildings*. Environ Health Perspect 2003;111(9):1242-8.
 15. Pejtersen J, Allermann L, Kristensen TS, Poulsen OM. *Indoor climate and psychosocial work environment in cellular, multi-person and open-plan offices*. Tsinghua University Press; 2005; 3741 p.
 16. Pejtersen J, Allermann L, Kristensen TS, Poulsen OM. *Indoor climate, psychosocial work environment and symptoms in open-plan offices*. Indoor Air 2006; (accepted for publication 13-3-2006).
 17. Pejtersen J, Allermann L, Kristensen TS et al. *Indeklima og psykosocialt arbejdsmiljø i celle-, flerpersons- og storrumskontorer*. Miljø og sundhed 2005;11(29):3-7.
 18. Kristensen TS, Borg V, Hannerz H. *Socioeconomic status and psychosocial work environment: results from a Danish national study*. Scand J Public Health Suppl 2002;59:41-8.
 19. Evans GW, Johnson D. *Stress and open-office noise*. J Appl Psychol 2000;85(5):779-83.
 20. Sundstrom E, Burt KE, Kant D. *Privacy at work: Architectural correlates of job satisfaction and job performance*. Academy of Management Journal 1980;23:101-7.
 21. Jones DM, Macken WJ, Murray AC. *Disruption of visual short-term memory by changing-state auditory stimuli: the role of segmentation*. Mem Cognit 1993;21(3):318-28.
 22. Banbury S, Berry DC. *Disruption of office-related tasks by speech and office noise*. Br J Psychol 1998;89:499-517.
 23. Jones DM, Madden C, Miles C. *Privileged access by irrelevant speech to short-term memory: The role of changing state*. Q J Exp Psychol 1992;44A:645-69.
 24. Jones DM, Macken WJ. *Auditory babble and cognitive efficiency - Role of number of voices and their location*. J Exp Psychol-Appl 1995; 1(3):216-26.
 25. Loewen LJ, Suedfeld P. *Cognitive and arousal effects of masking office noise*. Environ Behav 1992;24(3):381-95.
 26. Banbury SP, Berry DC. *Office noise and employee concentration: Identifying causes of disruption and potential improvements*. Ergonomics 2005;48(1):25-37.
-

Lys, sundhed og velvære

Af Jens Christoffersen, Statens Byggeforskningsinstitut

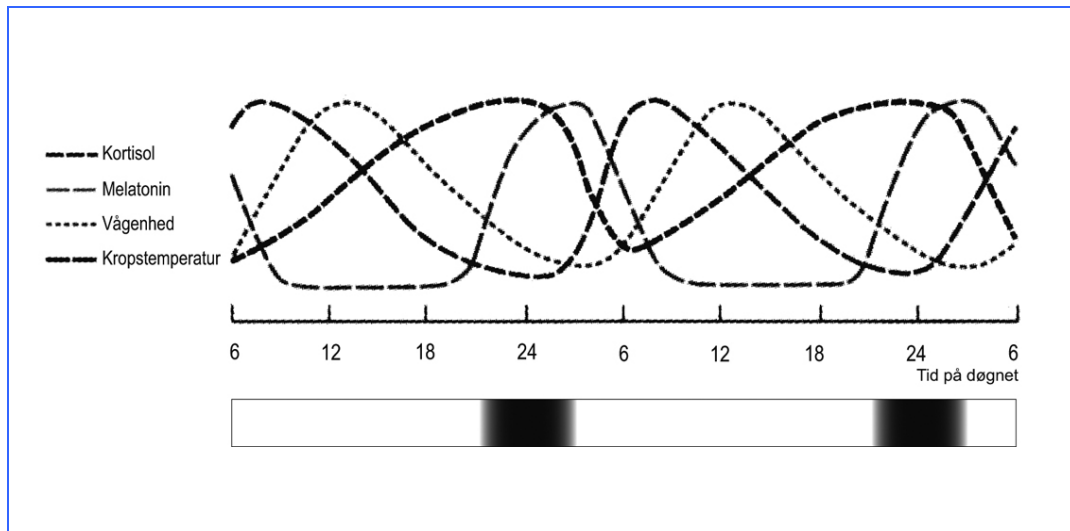
Design af et godt belysningsmiljø har udsigt til at blive mere og mere komplekst. Traditionelt har den rådgivende branche koncentreret sig om, at belysningsmiljøet skal skabe de rette synsbetingelser for synsopgaven i lokalet og tilgodese den enkeltes behov. Dette skal understøttes af et godt samspil mellem lyset fra vinduerne og lyset fra den kunstige belysning samt fornuftig balance mellem styrken af det anvendte lys, dets placering og retning. Og lyset i rummet må ikke hæmme eller genere synsevnen, og man skal ubesværet kunne orientere og bevæge sig frit i lokalet. Imidlertid tyder forskningen på, at fremtidens belysningsmiljø også skal understøtte sundhedsfaktorer. Men hvordan dette indarbejdes i selve designet af et godt belysningsmiljø er endnu uafklaret. Derimod er det sikkert, at belysningsmiljøet har indflydelse på personers sundhed og velvære.

Hvad ved vi, og hvad er det nye?

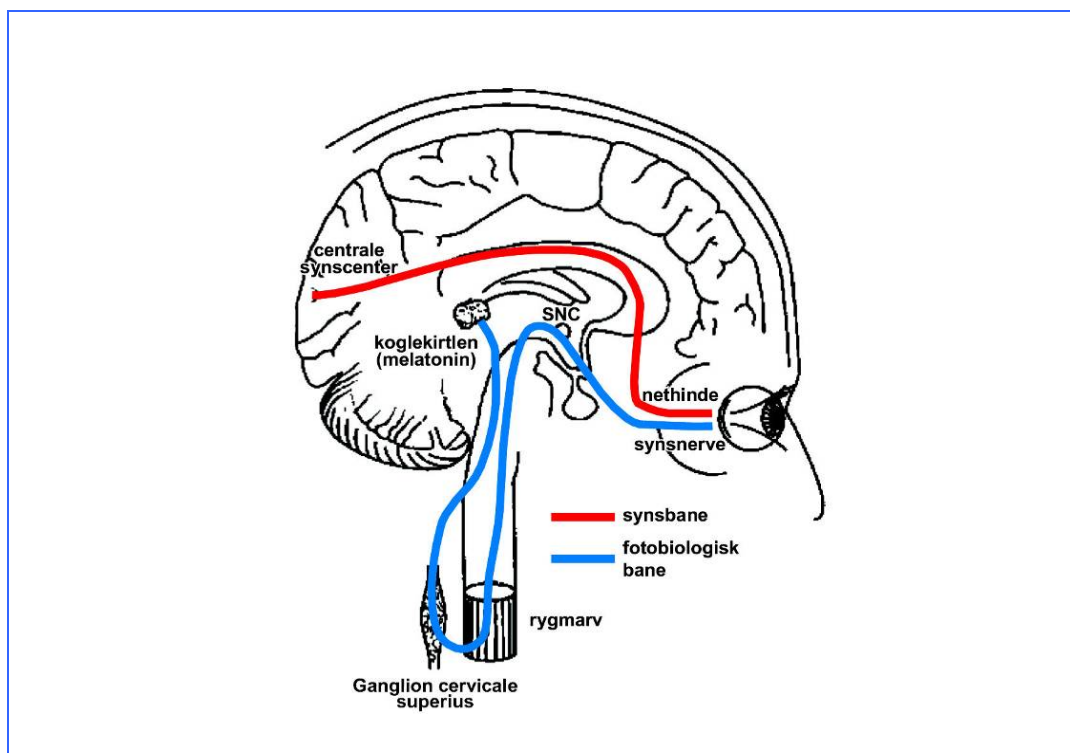
Vi har i lang tid vidst, at øjet registrerer forskelle i lyshed og farver ved hjælp af to lysfølsomme celler i øjets nethinde (retina). Vort normale dagsyn er baseret på de farvefølsomme tappe (ca. 8 millioner), der inddeles i tre typer celler, som hver har sin største følsomhed ved henholdsvis blå (kortbølget, S), grønt (mellembølget, M) og rødt (langbølget, L) lys. Den blåfølsomme celle er mere følsom end de to andre. Stavcellerne (ca. 120 millioner) er mere lysfølsomme over for lys-mørke kontraster (mørkesyn) og synsindtrykket registreres i gråtoner. Tapcellerne er hovedsagelig koncentreret i en mindre del af nethinden (fovea centralis) og anvendes til at se skarpt på genstande og detaljer. Dette område, også kaldet centralsynet (eller detaljesynet), har en synsvinkel på ca. 2°. Periferisynet (eller rumsynet) har en synsvinkel på næsten 170° og består hovedsagelig af stavceller, der er spredt ud over net-

hinden sammen med de mere afsidesliggende tapcellerne. Når vi bruger synet, arbejder begge synsområder fuldstændigt sammen.

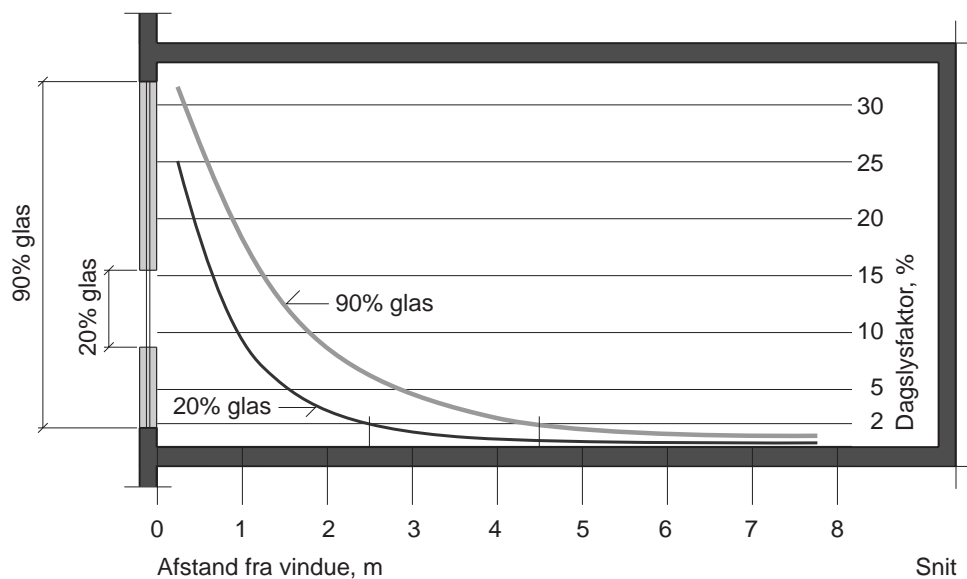
I 2002 dokumenterede flere grupper af forskere en ukendt egenskab i de retinale ganglieceller (Berson et al., 2002). En lille undergruppe af de retinale ganglieceller er lysfølsomme og udgør ca. 1-3 % af det samlede antal. Disse celler har et fotopigment (melanopsin) på overflademembranen, som gør dem lysfølsomme og måske uafhængige af stav- og tapcellerne. De lysfølsomme ganglieceller er mest følsomme i det blå-indigo område (maksimum omkring 464-484 nm), mens tapcellerne er mest følsomme i det gulgrønne (555 nm) og stavcellerne i det blågrønne område (507 nm) af spektret. Det interessante med de lysfølsomme ganglieceller er, at de har været den ukendte faktor i beskrivelsen af hjernens biologiske ur, som reguleres i en karakteristisk 24 timers cyklus. Dagslysets karakteristiske lys/mørke variation og kontinuerede, spektrale sammensætning er med til at synkronisere det biologiske ur. Det sker via en specifik nerveforbindelse fra øjet til den suprakiasmatiske kerne (SCN), der er beliggende i den del af mellemhjernen, som kaldes hypothalamus. Denne forbindelse genererer fysiologiske og adfærdsmæssige døgnrytmer, så som søvn/vågenrytme, temperatur, hormonsekretion osv. (figur 1 og 2). Den suprakiasmatiske kerne har forbindelse til koglekirtlen, som producerer hormonet melatonin. Melatonin, også kaldet søvnhormonet, spiller en stor rolle i regulering af døgnrytmen, og udskillelsen stimuleres af mørke og hæmmes af lys. På Kræftens Bekæmpelses hjemmeside oplyses, at *det tyder på, at melatonin styrker immunforsvaret, er med til at beskytte kroppens celler og væv mod bl.a. kræft, at det reducerer den skadelige effekt af strålebehandling og kemoterapi, og at det hæmmer den produktion af østrogen, som nogle kræftsvulster er afhængige af.*



Figur 1. Døgnrytmer. Kurverne illustrerer fire døgnrytters variation i løbet af to døgn. De enkelte kurver viser udskillelse af cortisol og melatonin, vågenhed og kropstemperatur. Kurverne viser ikke absolutte niveauer, men i forhold til tid på dagen forskellen mellem top og bund, form og faseforskydning. (Efter Starby, 2003).



Figur 2. Hjernens syns- og fotobiologiske bane. Hjernens syns- og fotobiologiske bane fra øjet via specifikke nerveforbindelser til det centrale synscenter (stav og tapper), og den suprakiasmatiske kerne (SCN, retinale ganglieceller). SCN har forbindelse til koglekirtlen (melatonin). (Efter Van Bommel & van der Beld, 2004).



Figur 3. Dagslyskurver. Et typisk forløb for belysningsniveauet på et vandret plan i et rum med et vindue i facaden. Kurverne viser belysningsniveauet på arbejdsplanet i en linie midt for vinduet for et glasareal på hhv. 20 % og 90 % af facadens indvendige areal. Niveauerne aftager hurtigt med afstanden til vinduet. Forskellen mellem belysningsniveauerne er meget markant nær vinduet, hvor der normalt er rigeligt med dagslys, mens forskellen bag i rummet er ret beskedent. (By og Byg Anvisning 203).

Et godt belysningsmiljø rækker derfor længere end "bare" at skabe gode synsbetingelser; det har også en positiv indflydelse på sundhed, velvære, opmærksomhed og søvnkvalitet. Fremtidig forskning vil sandsynligvis medføre ændringer i dagens myndighedskrav og almindelig praksis.

Lysets betydning for sundhed og velvære

At skabe et godt visuelt miljø kræver indsigt i synsmekanismens funktion og forståelse af synsoplevelsen samt viden om de grundlæggende egenskaber ved lyset. Disse egenskaber (se DS 700) omfatter begreberne adaptation (øjets tilpasning til synsfeltets luminanser), lysets farveegenskaber, lysets hovedretning (eller lysets geometri), formtegning, skygger og glans, belysningsstyrker samt blanding. Det er også vigtigt for synsevnen, at der ikke udelukkende fokuseres på belysningen af arbejdsobjektet (centralsynet), men at omgivelsernes belysning også tilgodeses (periferisynet). Periferisynet er med til at give et helhedsindtryk af omgivelserne, man opholder sig i. Det drejer sig om rumdimensioner og form, rumatmos-

fære, materialer og lysfordelinger. F.eks. vil fortolkningen af informationerne fra periferisynet gøres lettere, når lyset giver skygger, der fremhæver former i rummet, og gøres vanskeligere, når lyset er jævnt og monotont.

I Bygningsreglementet står der, at arbejdsrum skal være vel belyste og med den nye vejledende tilføjelse, at: "Dagslyset kan i almindelighed anses for at være tilstrækkeligt, når der er en dagslysfaktor på 2 pct. ved arbejdspladserne". Figur 3 viser et typisk forløb af dagslysniveauet på et vandret plan i et rum med et glasareal på hhv. 20 % og 90 % af facadens areal. Dagslysfaktoren er større end 2 % i en afstand ca. 2,5 meter fra vinduet for rummet med et glasareal på 20 % af gulvarealet, mens dagslysfaktoren er større end 2 % ca. 4,5 meter fra vinduet med et glasareal på 90 %. Hertil kommer evt. yderligere reduktion fra bygningens omgivelser, fra solafskærmning, i valg af glas og ved rummets møblering. Selv i forbindelse med gennemlyste rum og rum med vinduer i flere sider er der grænser for, hvor dybe rummene kan være, hvis der skal være en rimelig dagslysføremkomst til faste arbejds-



Figur 4. Gentofte Bibliotek. Bygninger med store, dybe rum kan være vanskelige at forsyne med tilstrækkeligt dagslys i midten. Løsningen kan være at anvende almindelige vinduer i facaden suppleret med ovenlys. Foto: Morten Kjærgaard.

steder. Dagslyset fra vinduer bidrager til at de lodrette flader modtager forholdsvis mere lys end de vandrette, mens det ofte forholder sig modsat med den kunstige belysning. Denne forskel er vigtig, da den biologiske effekt af lyset er større for det lys, der rammer øjet. Valg af farver og møblering vil også have betydning, idet lyse overflader reflekterer mere lys og øger den vertikale belysningsstyrke i forhold til mørke overflader. Nyere forskning indikerer, at der er forskel på lysets biologiske virkning når det rammer henholdsvis den øvre eller nedre halvdel af retina (Glickman et al., 2003). Flere lysfølsomme ganglieceller er placeret i den nedre halvdel af retina, hvilket vil sige, at lyset på loft og de øvre dele af vægfladerne sandsynligvis er mere effektivt end lyset på gulv og arbejdsplan (Miller & McGowan, 2004, Van Bommel & van der Beld, 2004). Som vist i figur 3 kan dybe rum have betydning for vor sundhed, hvis alt for mange faste arbejdspladser placeres for langt væk fra vinduet, hvor dagslysførelsen er utilstrækkelig året rundt.

Hvis belysningsmiljøet er u hensigtsmæssigt eller utilstrækkeligt og medfører, at synsarbejdet bliver vanskeligt, kan det påvirke vor sundhed og velvære samt nedsætte synspræstationen og øge ulykkesrisikoen. Det kan medføre, at øjnene anstreges unødvendigt meget og give øjenbesvær. De symptomer, der følger af et anstrengt synsarbejde, er f.eks. øjenirritation, træthed og hovedpine, ubehag, synsnedsættende virkning (f.eks. sløret eller uskarpt syn, dobbeltsyn). Et belysningsmiljø, som kan lede til overanstregelse af øjet, er f.eks. utilstrækkelig belysning for synsarbejdet, dårlige kontrastforhold, store luminansforskelle, flimrer etc.

Tilstrækkelig belysning er vigtig for en persons velbefindende. Dagens arbejdsliv består tit af skiftende synsopgaver og dermed ofte forskellige krav til belysningen. Suppleres almenbelysningen med særbelysning (arbejdslampe), vil man ofte kunne imødekomme de fleste behov og reducere mulige gener. Kravet til belysningsstyrken stiger med alderen, og ældre personer kræver ofte mere end den dobbelte belysningsstyrke i forhold til unge for at udføre



Figur 5. Nordea. Tilstrækkeligt dagslys og et godt udsyn sikres ved, at hovedparten af de faste arbejdssteder er tæt ved vinduet. Foto: Steen Traberg-Borup.



Figur 6. Sukkertoppen. I forbindelse med gennemlyste rum og rum med vinduer i flere sider er der grænser for, hvor dybe rummene kan være, hvis der skal være en rimelig dagslysførelse til faste arbejdssteder. Foto: Morten Kjærgaard.

den samme synsopgave. En af årsagerne er, at lysets transmittans gennem linsen forringes, når vi bliver ældre. Desuden bliver linsen efterhånden mere gullig, og det medfører, at transmittansen af det blå bølglængdeområde reduceres mest. Dette påvirker de lysfølsomme ganglieceller og hvordan det biologiske ur reguleres, da gangliecellerne er mest følsomme netop i dette bølglængdeområde.

Kontrasten er et udtryk for luminansforskellen mellem detalje og baggrund. Den skal være tilstrækkelig og klar nok til, at de nødvendige detaljer kan ses, hvis synligheden skal bevares. For høje kontrastforhold kan medføre træthed som følge af readaptation af øjnene. For lave kontrastforhold kan medføre, at øjet bliver anstrengt af at detalje og baggrund træder i ét.

Luminansforskelle opstår ved at hoved og synsretning flyttes fra lysere til mørkere områder eller omvendt. Øjet adapterer til et nyt niveau og hyppige skift mellem høje og lave niveauer vil anstrenge og trætte øjet samt medføre ubehag. Anvendelsen af edb-udstyr stiller særlige krav til belysningsmiljøet, hvis arbejdet skal foregå uden gener. Reflekser og spejlinger i skærmen kan både være ubehagelige og nedsætte synsevnen. Hvis luminansforholdet mellem skærm og området omkring skærmen ikke er større end 10:1, vil synskomforten ofte være tilfredsstillende. For de ”ældre” skærme er dette ofte vanskeligt at opfylde, men anvendes de nye fladskærme, er det nemmere at skabe tilfredsstillende synskomfort, og samtidig giver de færre problemer med generende reflekser. Blænding forårsaget af meget lyse områder i synsfeltet opfattes enten som ubehagsblænding eller synsnedsættende blænding og kan give anledning til ubehag, træthed og hovedpine.

Øjets evne til at opfatte flimmer er størst i det perifere synsfelt, og det kan påvirke nervesystemet og medføre hovedpine og øjenbesvær. Flimmerfølsomheden er aldersbestemt og reduceres jo ældre man bliver; men anvendes elektroniske forkoblinger (HF) fås et flimmerfrit lys. For at billedet på edb-skærmen skal være flimmerfrit, bør opdateringsfrekvensen være mindst 75 og helst over 80.

Døgnrytmens betydning for sundhed og velvære

Nyere forskning har vist, at lysets variation er klart vigtigst for indstilling og opretholdelse af vores naturlige døgnrytme. Vi skal eksponeres for kraftigt lys i dagtimerne og helst sove i totalt mørke om natten. Eksponering for dagslys har størst effekt udendørs. Bemærkelsesværdigt er det derfor, at en dansk undersøgelse viser, at vi tilbringer i gennemsnit mere end 16 timer i egen bolig i løbet af et hverdagsdøgn (Keiding et al., 2003), og derudover tilbringes megen tid i kontorer, skoler, institutioner og lignende. Samlet set regner man med, at danskere tilbringer mellem 80 % og 90 % af deres samlede tid i indemiljøet.

Søvnkvalitet og melatonin

Når vi sover godt, og det er helt mørkt, producerer vi melatonin, men den natlige produktion af melatonin nedsættes, hvis vi eksponeres for lys (se figur 1). Brainard (2002) har vist, at anvendes kortbølget (blåt) lys, medfører det nedsættelse af melatoninproduktionen. Lys fra f.eks. gadebelysning og lyskildens farvesammensætning kan derfor have betydning for søvnkvalitet og melatoninproduktion. Korttidseffekten af f.eks. dårlig nattesøvn kan medføre reduceret arbejdsevne og produktivitet om dagen. Langtidseffekten af lyseksponering, når vi sover, kendes ikke, men Stevens (2002) og andre peger på en mulig sammenhæng mellem natlig lyseksponering og øget risiko for brystkræft og tyktarmskræft.

Vinterdepression (SAD)

Vinterdepression er en type depression, som specielt optræder i mørketiden, og hyppigheden af vinterdepression øges, jo længere væk fra ækvator man bor. Betegnelsen kommer af det engelske Seasonal Affective Disorder, eller forkortet SAD. Betegnelsen sub-SAD beskriver mindre alvorlige symptomer på vinterdepression. I Danmark lider ca. 5 % af befolkningen af vinterdepression, og det er hyppigst hos kvinder. De typiske symptomer er mangel på energi, øget søvnbehov og mismod, og symptomerne opstår typisk om efteråret og

slutter i foråret. Disse symptomer kan medføre periodevis reduceret arbejdsevne og produktivitet. Sub-SAD anslås at være ca. to til tre gange så udbredt som SAD. Den primære behandling af vinterdepression er lysterapi, og der findes specielle lamper til formålet på markedet. Lysterapi om morgenen har vist størst effekt, men behandling på andre tidspunkter har også virkning. Den daglige varighed af behandlingen har tidligere været afhængig af styrken af det anvendte lys (ca. 30 minutter ved 10.000 lux, ca. 2 timer ved 2.500 lux), men nyere forskning har vist, at f.eks. lysterapi med hjælp af 470 nm lysdiode er mere effektiv, og samtidig reduceres den daglige behandlingstid betydeligt.

Dagslysprojektering med omtanke

Skal der ske væsentlige ændringer i dagens byggepraksis, eller skal der bare udvises bevidst omtanke for dagslysprojekteringen? Indtil forskningen viser væsentlige konsekvenser ved dagens praksis, kan vi nok fortsætte som nu. Imidlertid må det understreges, at ofte træffes afgørende valg i forhold til dagslysforholdene meget tidligt i projekteringsforløbet. Velvidende at facaden sjældent laves ret meget om i en bygnings levetid, bør projektering af bygningsudformning og facade designes ud fra rummet bag facaden og de aktiviteter, som foregår der.

Flere undersøgelser har vist, at mennesker foretrækker dagslys frem for kunstig belysning på arbejdspladsen (Christoffersen et al., 1999; Veitch et al., 2003). Dette kædes ofte sammen med dagslysets dynamiske variation i styrke, farve og retning og den positive effekt, det har på vores oplevelse og stemning. Canadiske undersøgelser viste, at det var en generel opfattelse, at ud fra spørgsmålet om sundhed og velvære burde dagslyset være hovedlyskilden (Veitch & Gifford, 1996; Veitch, Hine, & Gifford, 1993). Udsynet har stor betydning for trivsel og velvære. Det er vigtigt at kunne se ud ad vinduet (udsyn) og at have noget rart at se på (en god udsigt). Tilstrækkeligt dagslys og et godt udsyn sikres ved at hovedparten af de faste arbejdssteder er tæt ved vinduet, mens mere fleksible, kortvarige arbejdssteder (f.eks.

møderum, stillekontor, cafemiljø, touch down-områder) kan placeres i områder, hvor dagslysforekomsten ikke har afgørende betydning for vor sundhed og velvære.

For at vi kan værdsætte dagslys og sollys i vore bygninger skal det kontrolleres ved hjælp af en solafskærmning. Ved valg af solafskærmning skal der primært tages hensyn til en reduktion af varmebelastningen og konsekvenserne for udsyn, dagslysforhold og synsbetingelser. En fast afskærmning reducerer dagslysadgangen permanent og hindrer i mange tilfælde udsynet. En bevægelig afskærmning, der kun er i brug, når der er behov for det, er derfor at foretrække. Christoffersen et al. viste, at flere personer accepterer sollys i kontoret bedre om vinteren end om sommeren, hvilket kan skyldes den positive psykologiske virkning, som sollys giver, specielt i et relativt mørkt klima som det danske. Jo større glasareal der indgår i facaden, jo større bliver kravet til solafskærmningens effektivitet. Det betyder, at en ren glasfacade altid bør have en udvendigt placeret solafskærmning. Vælges en rudetype med lav soltransmittans kan dagslystilgangen blive reduceret betydeligt hele året rundt. En pilotundersøgelse på SBI viste, at de solafskærmende ruder fik en ringere bedømmelse end ruder med blot en energibelægning. F.eks. farvede den ene af de solafskærmende ruder dagslyset i en sådan grad, at det var både ubehageligt og uacceptabelt (Dubois & Johnsen, 2003). Ud fra lysets biologiske effekt bør ruder, som transmitterer en væsentlig del af det blå bølglængdeområdet, vælges, frem for ruder, der reducerer denne del af spektret.

Dagslyset bør i størst mulig udstrækning dække det daglige belysningsbehov, og den kunstige belysning skal tilrettelægges således, at der skabes de rette betingelser i de perioder, hvor dagslyset ikke er tilstrækkeligt. En kommende udfordring kan derfor være, at der opstår et større behov for et mere fleksibelt belysningsmiljø, som både tilgodeser skiftende arbejdsopgaver og individuelle ønsker og behov. Om resultatet bliver væsentligt højere belysningsniveauer end de niveauer, der normalt anvendes i Danmark, er endnu meget usikkert.

Men en bevidst energieffektiv belysningsplanlægning kan opfylde kravene til god belysningskvalitet. Det skal samtidig understreges, at det lys, som har betydning for vor døgnrytme (kortbølget blå lys), er forskelligt fra det lys, som har betydning for vor synsfunktion (mellembølget gul-grønt lys). Vælges en lyskilde svarende til dagslyset, er den f.eks. ikke velegnet til aftenbelysning. Desuden viser forskningen, at der ikke findes entydigt bevis for at lysstofrør med en spektralfordeling svarende til dagslyset er bedre eller dårligere end almindelige anvendte lysstofrør (Veitch & McColl, 2001; McColl & Veitch, 2001).

Indtil nu har forskningen vist, at vi har fået betydelig indsigt i, hvordan lyseksposeringens intensitet, tid, varighed, spekter og fordeling påvirker mennesket adfærdsmæssigt og fysiologisk, men vi kan ikke beskrive helt præcist, hvilke forhold eller kombinationer af forhold, som vil lede til "optimal" sundhed og velvære. Vi bør derfor være forsigtige med at ændre dagens myndighedskrav, men samtidig er det vigtigt, at der igangsættes national forskning på området for at afdække, hvilke konsekvenser det vil medføre at integrere energibesparelser med belysningskvalitet, sundhed og velvære.

Artiklen har tidligere været bragt i Arkitekten nr. 9/2005.

Referencer

Berson DM, Dunn FA, Motoharu T. *Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock*. Science 2002;295:1070-3.

Bommel WJM van, Beld GJ van den. *Lighting for work: a review of visual and biological effects*. Lighting Res Technol 2004;36,4:255-69.

Brainard G. *Photoreception for Regulation of Melatonin*. The Fifth International LRO Lighting Research Symposium – Light and Human Health, November 3-5, 2002. Report No. 1009370. The Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA March, 2004.

Christoffersen J, Petersen E, Johnsen K, Valbjørn O, Hygge S. *Vinduer og dagslys - en feltundersøgelse i kontorbygninger* (SBI - rapport 318). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut, 1999.

CIE. *Ocular Lighting Effects on Human Physiology and Behaviour*. CIE Publication 158, 2004.

DS 700. *Kunstig belysning i arbejdslokaler*, 5. udgave, Dansk Standardiseringsråd, 1997.

Dubois M-C, Johnsen K. *Impact of coated windows on visual perception, A pilot study in scale models*. By og Byg Dokumentation 044. Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm, 2003.

Glickman G, Hanifin JP, Rollag MD, Wang J, Cooper H, Brainard G. *Inferior retinal light exposure is more effective than superior retinal exposure in suppressing melatonin in humans*. J Biol Rhythms 2003;18:71-9.

Keiding L, Gunnarsen L, Rosdal N, Machon M, Møller R, Valbjørn O. *Environmental factors of everyday life in Denmark – with special focus housing environments*. Edited by Keiding L. (In Danish with summary in English). National Institute of Public Health, Copenhagen, 2003.

LRC. *The Benefits of Daylight*. 2003.

(<http://www.lrc.rpi.edu/programs/daylightdividends/>)

McColl SL, Veitch JA. *Full-spectrum fluorescent lighting: a review of its effects on physiology and health*; Psychol Med 2001;6: 949-64.

Miller N, McGowan T. *How will light and health research affect electric lighting and lighting design?*. Proceedings of the CIE Symposium '04 Light and Health: non-visual effects. CIE x027:2004.

Starby L. *En bok om belysning*. Ljuskultur, Sverige, 2003.

Stevens R. *Epidemiological Evidence Indicating Light Exposure is Linked to Human Cancer Development*. The Fifth International LRO Lighting Research Symposium – Light and Human Health, November 3-5, 2002. Report No. 1009370. The Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA March, 2004.

Veitch JA, McColl SL. *A Critical examination of perceptual and cognitive effects attributed to full-spectrum fluorescent lighting*, Ergonomics 2001;44(3):255-79.

Veitch JA, Charles KE, Newsham GR, Marquardt CJG, Geerts J. *Environmental Satisfaction in Open-Plan Environments: 5. Workstation and Physical Condition Effects*. IRC Research Report RR-154. Institute for Research in Construction. National Research Council Canada, Ottawa, ONT, K1A 0R6, Canada, 2003.

Indeklima og produktivitet

*Af Pawel Wargocki, Center for Indeklima og Energi,
Institut for Mekanik, Energi og Konstruktion, Danmarks Tekniske Universitet*

Det er veldokumenteret, at variationer i de termiske forhold i en kontorbygning, selv inden for den termiske komfortzone, kan ændre de ansattes præstationsevne med op til 15 % (1).

Seks uafhængige nye studier viser, at også luftkvaliteten har en effekt på menneskers præstation (2). Fire studier er blevet udført i et kontor med 120 kvindelige forsøgspersoner, 30 i hvert forsøg. Seks forsøgspersoner ad gangen simulerede kontorarbejde i 4,5 timer ved at udføre forskellige koncentrationskrævende kontoropgaver (tekstbehandling, korrekturlæsning, addition og kreativtetsopgaver), mens de blev udsat for forskellige niveauer af luftkvalitet. Luftkvaliteten blev ændret ved at formindske forureningsbelastningen (dvs. fjerne en forureningskilde) og holde udelufttilførslen konstant på 10 l/s pr. person eller ved at øge ventilationsraten fra 3 til 10 og til 30 l/s pr. person, og derved skabe et luftskifte på 0,6, 2 eller 6 gange pr. time med uændret forureningsbelastning i kontoret.

Forureningskilden, som blev anvendt i tre studier, var et 20 år gammelt tæppe fra en kontorbygning med Sick Building Syndrome (SBS) problemer, og i et andet studie var det 3 måneder gamle PC'er med almindelige skærme (CRT). Størrelsen af tæppet svarede til kontorlokalets gulvareal og mængden af PC'er til antallet af arbejdspladser i kontoret. Temperatur, relativ luftfugtighed, lufthastighed og støjniveau var konstant i alle forsøg, uafhængigt af interventionen. Forsøgspersonerne kunne hverken se forureningskilden (skjult bag en skærm) eller fornemme nogen ændring i støjniveau eller lufthastighed når ventilationsraten blev ændret, og ved at ændre på deres beklædning forblev forsøgspersonerne termisk neutrale under hele forsøget. Under forsøgene bedømte forsøgspersonerne også den

oplevede luftkvalitet og intensiteten af SBS symptomer.

Resultaterne af studierne viste, at en forøgelse af ventilationsraten eller en fjernelse af forureningskilden fra kontoret medførte, at luftkvaliteten blev oplevet som bedre, og det præsterede kontorarbejde blev øget, mens intensiteten af SBS symptomer som hovedpine og koncentrationsbesvær blev mindsket. Præstationen af kontorarbejde blev øget med op til 6-9 %. Ved at bruge resultaterne af disse studier, er der konstrueret en sammenhæng mellem præstationen af forskellige kontoropgaver og luftkvaliteten. Den viser, at en reduktion på 10% af andelen af folk, der er utilfredse med luftkvaliteten, kan forøge præstationen af kontorarbejde med ca. 1 %.

To studier er blevet udført i call-centre i Danmark og i Singapore for at undersøge om resultaterne fra studier med forsøgspersoner også gælder, hvis man måler præstation af kontorarbejde på en rigtig arbejdsplads med kontoransatte. Desuden blev det også undersøgt, om resultaterne af studier udført i moderat klima (Danmark) også gælder i et tropisk klima (Singapore).

I en interventionsundersøgelse gennemført i Danmark blev luftkvaliteten ændret ved at ændre udelufttilførslen til 8 % eller 80 % af den nominelle luftmængde på 430 l/s svarende til 3,5 luftskifte pr. time og ved at udskifte seks måneder gamle ventilationsfiltre med helt nye filtre. I løbet af en otte-ugers periode blev forholdene ændret hver uge, således at hver af de fire konditioner blev afprøvet to gange. 26 telefonister, der ikke kendte til interventionerne, bedømte hver uge luftkvalitet og SBS symptomer. Tiden, som telefonisterne brugte til at besvare indkommende spørgsmål, blev

registreret som et mål af præstation. Tiden var kortere ved forøget ventilationsrate, dvs. præstationen var øget. Dette var kun tilfældet, når nye filtre var installeret. Med brugte filtre faldt præstationen, når ventilationsraten blev forhøjet, muligvis fordi emissioner af aktive forureninger fra et brugt filter øges, når forureningens partialtryk i luften bliver mindre ved øget ventilationsrate. Imidlertid medførte udskiftning af et gammelt filter med et nyt filter ved høj ventilationsrate højere præstation. Generelt var effekten på præstation ved forbedret luftkvalitet lidt højere, op til 10 %, end det var set i studier med forsøgspersoner.

I et interventionsstudie i et call-center i Singapore er tilsvarende resultater fundet. Dog var det i studiet i Singapore kun ventilationsraten, der blev forøget, da de elektrostatiske filtre installeret i call centret forblev uændret.

Mekanismen bagved de effekter, som er blevet observeret i de seks nævnte studier, er ikke kendt endnu. Man kan imidlertid se en forbedring af præstationsevnen i studier med forsøgspersoner, når intensiteten af de generelle SBS symptomer er lav, dvs. ved lav forekomst af hovedpine og koncentrationsbesvær. Dette tyder på, at sådanne symptomer bidrager til at nedsætte produktiviteten. Desuden ses det i disse studier, at koncentrationen af kuldioxid, produceret af forsøgspersoner, som har udført typisk kontorarbejde i deres eget tempo, er lavere, når indeluftkvaliteten er forringet (3). Reduceret produktion af kuldioxid indikerer ændringer i metabolismen, som f.eks. kan skyldes en mindre dyb indånding i forurenede luft. Dette øger trykket af kuldioxid i blodet og kan føre til hovedpine og derved reduceret arbejdstempo og mindsket præstation. Denne hypotese og andre hypoteser, som forklarer de observerede resultater, kræver dog afprøvning i fremtidige studier.

Resultaterne af de seks studier begrundes en forbedring af indeluftkvaliteten, da dette giver klare fordele, ikke kun for produktivitet, men også for helbred og komfort.

For at sammenligne omkostninger og gevinster ved foretagelse af ændringer til fremskaffelse af god luftkvalitet, enten ved at øge ventilationsraten eller ved at mindske forureningsbelastningerne, er der foretaget en livscyklusvurdering af en hypotetisk kontorbygning, placeret i henholdsvis et koldt, et moderat og et varmt klima (4). Beregninger viser, at selv om ydelsen til energi, vedligeholdelse af ventilationsanlæg og byggematerialer steg, var den økonomiske gevinst ved øget produktivitet steget endnu mere. Pay-back time af investeringerne til god luftkvalitet var mindre end 2 år, og den årlige gevinst var op til 7 gange højere end den årlige rente på 3,2 %.

Disse resultater giver en klar og stærk økonomisk motivation til at etablere et indeklima med en luftkvalitet, der er højere end det anbefalede minimum i de nuværende ventilationsstandarder.

Referencer

1. Wyon D, Wargocki P. *Room temperature effects on office work*. In: Croome D (ed). *Creating Productive Environment*, 2006, in press.
2. Wyon D, Wargocki P. *Indoor air quality effects on office work*. In: Croome D (ed). *Creating Productive Environment*, 2006, in press.
3. Bakó-Biró Zs, Wargocki P, Wyon DP, Fanger PO. *Indoor air quality effects on CO₂ levels in exhaled air during office work*. In: *Proceedings of Indoor Air 2005, The 10th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Beijing, China, 2005, Vol. I(1)*, pp. 76-80.
4. Wargocki P, Djukanovic R. *Simulations of the potential revenue from investment in improved indoor air quality in an office building*. *ASHRAE Transactions*, 2005, Vol. 111 (Pt.2), pp. 699-711.

Mere viden er vejen til
bedre indemiljø

Mere viden er vejen til bedre indemiljø

Af Lars Gunnarsen, Statens Byggeforskningsinstitut

Introduktion

Boligens og arbejdspladsens indeklima har uhyre stor betydning for befolkningen. Dårligt indeklima kan give sygdomme og gener samt mindsket velvære og produktivitet. Vi er generelt villige til at betale en høj pris for et godt indeklima, og udgifterne til opførelse og drift af bygninger er dominerende både i samfundets økonomi og for den enkelte borger.

Betydningen af indeklimaets kvalitet er dog ikke et særligt veludforsket område. Nationalt og globalt bruges langt flere ressourcer på forskning i forhold som det ydre miljø og fødevarernes betydning for folkesundheden end på udforskning af handlemuligheder på indeklimaområdet. Ikke desto mindre er det lykkedes for indeklimaforskningen i Danmark at få en internationalt markant betydning for videngrundlaget.

Rådhusundersøgelsen (Skov et al. 1989) kunne tidligt dokumentere betydelige forskelle mellem indeklimaets påvirkninger af de ansatte i forskellige rådhusene. Undersøgelsen var samtidig med sit tværfaglige samarbejde med til at afdække nogle sammenhænge mellem byggeteknik, eksponeringsforhold og gener og symptomer i rådhusene. Behovet for tværfagligt samarbejde og sammenstilling af viden fra mange fagområder, der kan have viden af betydning for indeklimaets mange udfordringer, er fortsat med til at præge indsatsen.

I det følgende sammenfattes en del indeklimaviden og afslutningsvis skitseres nogle væsentlige forskningstemaer inden for områder, hvor der er et væsentligt og aktuelt videnbehov.

Gener og symptomer

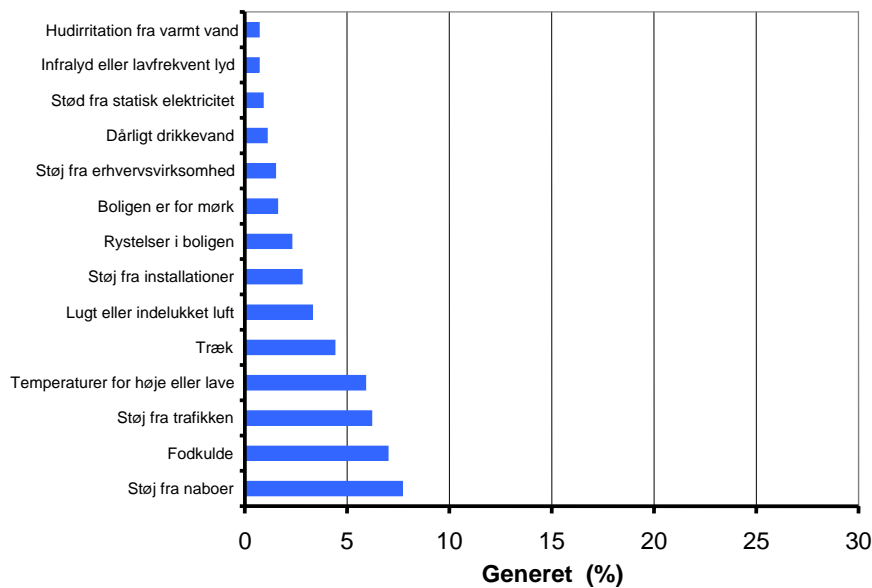
Der er ikke tvivl om, at forhold ved indeklimaet kan forårsage eller medvirke til alvorlige

sygdomme som hjerte- og karsygdomme, kræft og allergiske lidelser. Man formoder også, at forhold i indemiljøet er afgørende for megen smitte med influenza og luftvejsinfektioner. En stor del af videngrundlaget på indeklimaområdet kommer dog fra spørgeskemaundersøgelser baseret på støj-, temperatur- og lugtgener samt symptomer som øjenirritation og hovedpine.

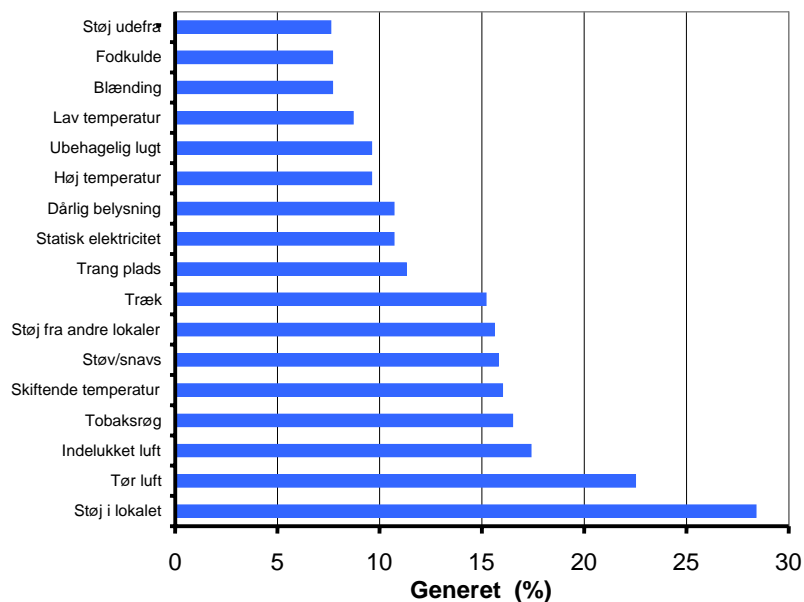
Gener er uønskede sanseindtryk, der hindrer komfort, velvære og arbejde. Sanseindtrykkene kan ofte af den enkelte anvendes til at bestemme genernes årsag. Symptomer derimod er kropsoplevelser, hvor årsagen kan være ukendt.

Gener er almindeligt forekommende. Figur 1 og 2 viser forekomsten af gener hjemme og på arbejde bestemt i to forskellige undersøgelser. Der ses en betydeligt større forekomst af gener på arbejde. De mest hyppige gener på arbejde er relateret til støj og luftens kvalitet med temperaturforhold på en mindre markant placering. Støj er også den mest hyppige gene hjemme, men her kommer temperaturforhold på andenpladsen efterfulgt af luftens kvalitet.

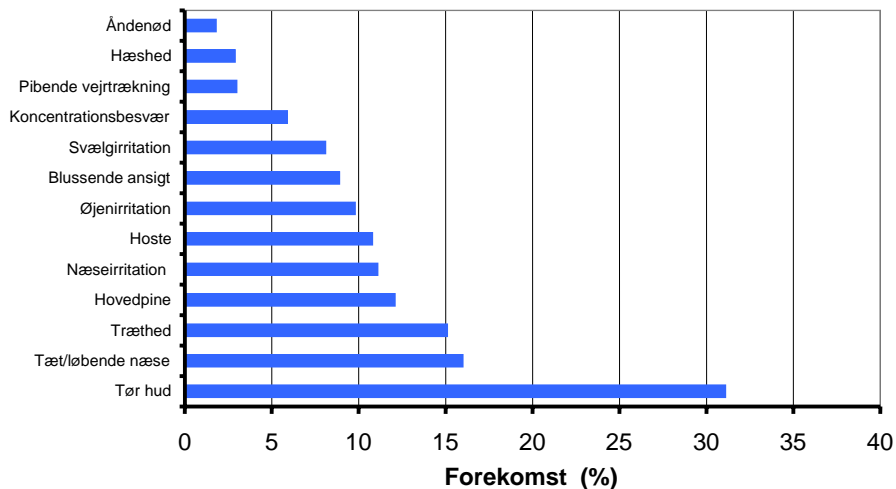
Symptomer er også udbredte. For den enkelte er det som nævnt vanskeligt klart at bestemme årsagen til, at man har et symptom. Forskellene, der vises i figur 3 og 4, mellem folk, der har svaret hjemme og på arbejde, er begrænsede med en tendens til højere forekomst hjemme. Tendensen forekommer at være i samme størrelsesorden som sygefraværet og kan formentlig i nogen grad forklares med de mange symptomer, der opleves af folk med for eksempel influenza og forkølelse.



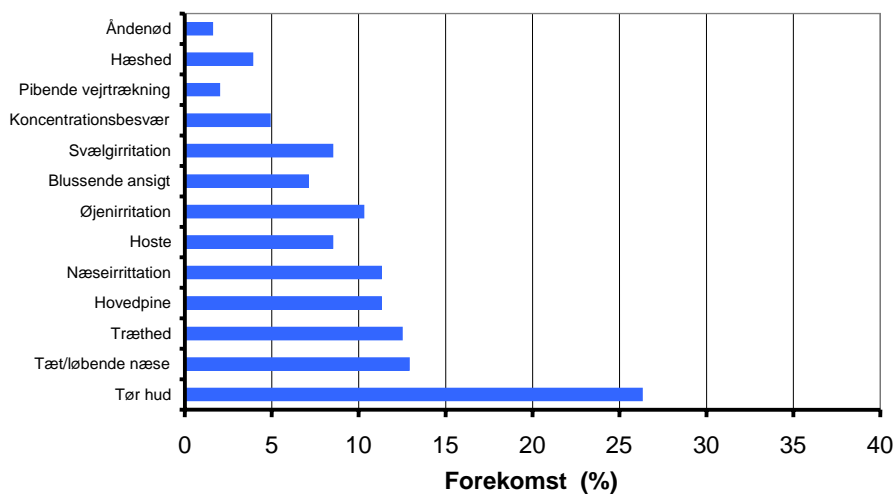
Figur 1. Andel af den voksne befolkning der har rapporteret, at de har været lidt eller meget generet af de nævnte forhold i den foregående 14-dages periode i hjemmet (Keiding et al. 2003).



Figur 2. Andel af den voksne befolkning der har rapporteret, at de har været generet flere gange om ugen eller dagligt af de nævnte forhold i den foregående 4-ugers periode på arbejde (Brauer og Mikkelsen, 2002).



Figur 3. Andel af den voksne befolkning der har rapporteret, at de har haft de nævnte symptomer i den foregående 4-ugers periode i hjemmet (Brauer og Mikkelsen, 2002).

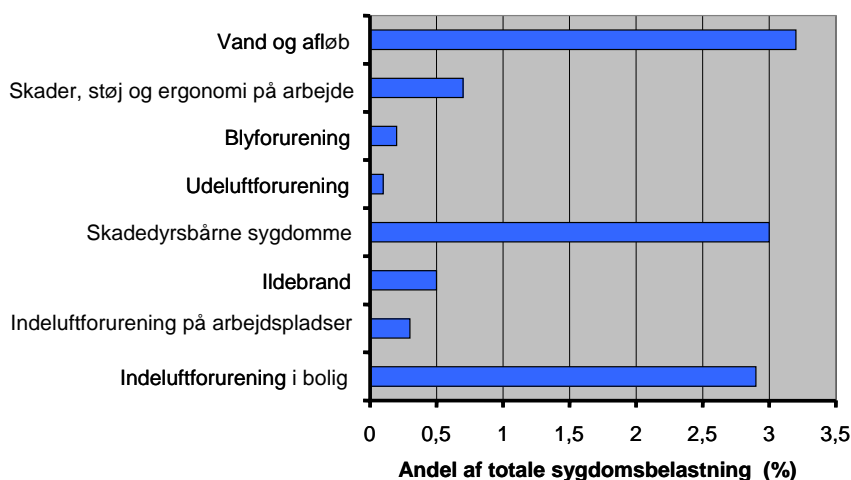


Figur 4. Andel af den voksne befolkning der har rapporteret, at de har haft de nævnte symptomer i den foregående 4-ugers periode på arbejde (Brauer og Mikkelsen, 2002).

Eksposeringer og sygdomme

Smith og Metha (2003) har, som vist i figur 5, beregnet, at op mod 3 % af den globale sygdomsbyrde skyldes indeluftforurening i boligen. De har dog samtidigt anført, at kun omkring 2 % heraf bæres i verdens rige lande.

Det er ikke muligt at gennemføre egentlige risikovurderinger for særligt mange af indeklimaets eksposeringer i Danmark. For enkelte faktorer i indemiljøet er der dog beregnet estimater for det årlige ekstra antal dødsfald eller nyopstået sygdom.



Figur 5. Den globale andel af den totale sygdomsbelastning fra indeluftforureningen i boligen og nogle andre forhold. (Smith og Mehta 2003)

Sundhedsstyrelsen har estimeret, at passiv rygning medfører mindst 150 dødsfald årligt, mens en ny rapport (Smokefree Partnership 2006) anfører, at tallet af ekstra dødsfald i Danmark pga. passiv rygning hos ikke rygere kan være så stort som 428 årligt.

For radons vedkommende har Statens Institut for Strålehygiejne, baseret på en nyligt publiceret metaanalyse (Darby 2005), estimeret, at radon i boligen årligt medfører 250 tilfælde af lungekræft, som overvejende skyldes interaktion mellem radon og tobaksrygning.

For Danmarks vedkommende vurderes partikulær forurening i udeluften at være årsag til i størrelsesordenen 3.400 ekstra dødsfald årligt, hvoraf mange må formodes i betydeligt omfang også at have været eksponeret inden døre.

Der er talrige øvrige kilder til farlig indeluftforurening. Byggevarer, rengøringsmidler, madlavning, opvarmningssystemer, stearinlys og sågar ventilationssystemer kan frigive kemikalier og partikler, der kan skade sundheden. Eksponeringsforholdene er ofte meget komplekse, hvor kildernes karakteristika sammen med temperatur og ventilation tilsammen giver

en varierende forureningsbelastning. Som eksempel kan nævnes, at bygninger med meget forskellige tegn på fugtproblemer i talrige undersøgelser har vist sig at give anledning til forøget risiko for hospitalsindlæggelser og symptomer som hovedpine (Bornehag og Sundell, 2002). Men virkningsmekanismerne for dette er slet ikke afklaret.

Indeklimaets kvalitet afhænger i mange bygninger helt af at beboerne har en fornuftig adfærd, når det gælder udluftning, temperaturstyring og forurenende eller fugtproducerende aktiviteter som tøjvask, madlavning, rengøring, vedligeholdelsesarbejder og anden introduktion af vand, partikler og kemikalier til indeluften.

Det er velkendt at indeklimaet har stor betydning for forløbet af astma og allergi. Reduktion af eksponeringen for allergener, partikler, irriteranter og i nogen grad også lugte reducerer generne blandt allergikere og astmatikere. Der eksisterer dog kun begrænset viden om mulige årsager til disse sygdommes opståen. Forekomsten af sygdommene har været stigende og de rammer store dele, særligt af den yngre befolkning. Forhold ved indeklimaet særligt relateret

til fugt og phthalater fra blød pvc er mistænkt for at kunne fremme nyopståen af allergisk sygdom.

Indeklimaet må formodes at medvirke ved en del tilfælde af kræft og hjerte- og karsygdomme. Dette er særligt oplagt for de ovennævnte dødsfald relateret til partikelforurening, passiv rygning og radon. Men også lang tids og samtidig udsættelse for de mange irriterende eller stressende forhold i indeklimaet, der kan forekomme, formodes at kunne forårsage sygdomme. Enkeltfaktorerne forekommer dog oftest på så lave niveauer, at den egentlige toksikologi kun vanskeligt kan anvise metoder til farevurdering.

Luftbåren spredning af smitte med infektionssygdomme forekommer. Dette sker oftest i tætbefolkede lokaler med ringe ventilation. Men SARS epidemien i Sydøstasien har aktualiseret behovet for at kunne hindre smittespredning ved bygningsrelaterede tiltag. En betydelig medvirkende årsag til forøget smittespredning i visse bygninger kan være, når ringe ventilation giver høj fugtighed i indeluften. Dette hænger sammen med en forøget overlevelse af den luftbårne smitte, når udtørringen af virus og bakterier forsinkes (Hersoug, 2005).

Fortsat stort behov for viden

Den teknologiske udvikling indenfor byggeri fortsætter, og nye byggetekniske muligheder og udfordringer opstår løbende i nybyggeriet. Men de fleste huse i Danmark er gamle. Cirka 1/3 af bygningerne er bygget i perioden fra 1960-80. Forbedringer på indeklimaområdet kan derfor ikke alene ske ved at bygge bedre huse fremover. Vi skal også have mere viden om forhold af betydning i de eksisterende bygninger. Når det gælder vedligeholdelsen af mange bygninger og særligt deres installationer til ventilation og opvarmning er det oplagt at manglende eller utilstrækkelig vedligeholdelse kan medføre alvorlige gener blandt bygningsbrugerene og i visse tilfælde også til sundhedsfarlige forhold.

I det følgende er en række områder identificeret, hvor der er et særligt aktuelt behov for skabelse af ny viden.

Områderne har enten meget stor betydning for folkesundheden eller repræsenterer forhold i byggeriet, der er i rivende udvikling på trods af et utilstrækkeligt videngrundlag. Øget videngrundlag på de følgende områder vil kunne gøre en forskel, fordi der i disse år foretages en masse valg inden for områderne, eller fordi det er muligt at opnå forbedringer ved nye tiltag, der også vil kunne gennemføres i de eksisterende bygninger.

Boligforhold

Danskere bor under meget forskellige forhold. Boligerne er opført over mere end 100 år under skiftende regler og tekniske muligheder. Baseret på danskernes lange opholdstid i egen bolig og den store variation i boligforholdene er det oplagt, at forholdene har stor betydning for folkesundheden. Ifølge Byggeloven er det bygherrens ansvar at bygninger holdes i forsvarlig stand og ikke frembyder fare for beboerne. Men der findes dog ikke noget formaliseret tilsyn med overholdelsen af denne regel. Det er generelt op til kommunalbestyrelserne at sikre, at reglen er overholdt.

Det kan således både forekomme, at beboerne ved deres adfærd skader en bolig, at gamle boliger ikke opgraderes i takt med nye muligheder og at fejl, nedslidning og skader, der ikke udbedres, får boligerne til at forfalde. Sådanne mangler kan bevirke, at boligerne skader beboernes sundhed akut eller efter flere års ophold.

I forbindelse med skabelse og nyttiggørelse af viden på dette område er det et generelt problem, at mange af indeklimaets påvirkninger kan give forøget risiko for komplekse sygdomme som infektioner, kredsløbssygdomme, kræft og allergi, hvor også arv, livsstil og arbejdsmæssige påvirkninger kan have betydning. For at skabe viden, der kan føre til reelle forbedringer, er det nødvendigt med en større national indsats for at kunne udskille de en-

kelte påvirkninger i indeklimaets betydning for folkesundheden

Ventilation

Bygninger ventileres for at kontrollere inde-temperaturen og for at fortynde fugt og forurening fra kilder inde i bygningerne. Opvarmning af den tilførte udeluft kræver energi, og transporten af luften forbruger desuden ofte en del elektricitet til drift af ventilatorer. Mange bygningsbrugere oplever gener ved for lav ventilation i form af for høje temperaturer eller indelukket kvalm luft. Gener ved for høj ventilation opleves ikke i samme grad, selv om temperaturen dog kan blive lav ved kraftig udluftning i kolde perioder, hvis varmesystemerne ikke har tilstrækkelig kapacitet.

Mekanisk ventilation kan give anledning til gener som støj og træk. Mange boligventilations-systemer bliver snavsede. Snavs kan drysse ud af udsugningsåbninger og sætte sig som synlige plamager omkring åbningerne. Disse gener kan ofte medføre, at brugere forsøger at lukke eller ændre på indstillingen af deres ventilationsventil. Dermed forøges sandsynligheden for at forholdene i andre rum, der betjenes af samme anlæg, forringes kraftigt. De våde komponenter, såsom køleflader og befugtere, udgør en særlig risiko. På fugtige og snavsede overflader omkring disse komponenter kan der forekomme udbredt skimmelsvampevækst.

Der mangler et dækkende, rationelt grundlag for energioekonomisk ventilation af bygninger, der tilgodeser bygningsbrugernes behov. De store udfordringer i den forbindelse er brugernes behov for individuelle tilpasninger, fastlæggelse af ventilationsbehov og systemløsninger, der muliggør løbende behovstilpasninger af luftskiftet og identifikation og reduktion af forureningskilder i selve ventilations-systemerne. Et eller flere forsknings- og udviklingsprojekter bør startes på dette område.

Partikler

For de fleste danskere er partikelindtaget i boligen afgørende for den samlede eksponering

for partikler. Forståelsen for fine og ultrafine partiklers helbredsskadelige effekter stammer dog i første omgang fra studier i udeluften. Studier i USA og Europa har vist, at udsættelse for partikler er forbundet med en øget sygelighed og en øget dødelighed i befolkningen. I indeklimaet er der pga. bidrag også fra indendørs kilder en højere koncentration af grove partikler end udendørs, og visse aktiviteter som f.eks. afbrænding af stearinlys og cigaretrykning fører til koncentrationer af fine og ultrafine partikler, der langt overstiger de niveauer, man observerer udendørs.

Vi ved noget, men ikke nok, om de faktorer, der er af betydning for koncentrationen af partikler i indemiljøet, som f.eks. karakterisering af de indre partikelkilder, sammenhængen til udeluftens koncentration af partikler og den transport, der til stadig foregår mellem de enkelte rum og boligenheder i en bygning. Det er uklart om de dosis-responsforhold, der gælder for sammenhængen mellem partikelkoncentrationen i udeluften og helbredseffekterne, også gælder for indeklimaet.

Partikelforureningen er en af de største erkendte miljørelaterede sundhedsfarer for befolkningen. Der mangler dog viden mht. karakterisering af partikler, især indendørs, og mht. hvilke karakteristika, der har særlig betydning for sundhedsforhold.

Astma og allergi

Forekomsten af overfølsomhed, allergi og astma har været stigende over de seneste årtier. Det antages, at der i samme periode er sket væsentlige ændringer i indeklimaet. Dette har medført øget fokus på indeklimafaktorerens betydning for disse sygdommes udbredelse.

Eksponering for allergener i indeklimaet er udbredt, men effekterne heraf, herunder dosis-responsforhold, er endnu ufuldstændigt belyst. Der er konsensus om at allergikere, så vidt det er muligt, bør undgå eller reducere allergeneksponering. Det er dog endnu usikkert, om det er muligt at forebygge nyopstået allergisk sygdom og astma ved reduktion af allergener i indeklimaet.

Eksponering for phthalater, som er en gruppe af blødgørere i plast, er udbredt. Enkelte studier har fundet en sammenhæng mellem eksponering for phthalater og overfølsomhedssymptomer.

Væsentlige fremtidige udfordringer vil således være at udvikle passende epidemiologiske studier og biomarkører for eksponering for indeklimafaktorer med henblik på at opnå større viden om indeklimaets betydning for overfølsomhed, allergi og astma. Denne udfordring kan kun løses gennem en tværfaglig indsats.

Fugt

Fugt i boliger er i mange undersøgelser blevet knyttet til forekomsten af gener såvel som sygdom. Den samstemmende konklusion har været, at fugten – men i mindre grad de kendte afledte konsekvenser som vækst af skimmel-svampe og andre mikroorganismer – findes koblet til gener som hovedpine og træthed og til sygdomme som astma og høfeber.

Årsagerne til fugt i boligen, såvel som de afledte effekter heraf, er mangesidede. F. eks. trives husstøvmider bedst i fugtige omgivelser, og det samme gør sig gældende for mikroorganismer. Fugt kan også føre til en øget nedbrydning af byggevarer, som f.eks. vinylbelægninger på vægge eller gulve med deraf følgende øget udsættelse for kemiske komponenter, der frigøres under nedbrydningen af disse.

Der er derfor behov for en udredning af fugt som indeklimaproblem i Danmark. Hvilke indeklimaparametre ændres, når boligen er fugtig, hvilke parametre er bestemmende for fugtofhobningen og hvilke parametre er bestemmende for beboernes udsættelse, når boligen er fugtig?

Arbejds miljø

De bygningsrelaterede påvirkninger i kontorer, skoler og institutioner opfattes normalt som en del af indeklimaområdet. Derfor er problemstillinger, der i særlig grad er under udvikling, i kontorer, skoler og daginstitutioner omtalt nedenfor.

Storrumskontorer. Flere og flere kontoransatte arbejder i storrumskontorer, hvor mange har deres daglige arbejdsplads placeret i samme rum. Der kan anføres flere årsager til denne udvikling. For det første et ønske om effektivisering gennem at gøre kommunikation lettere og beslutningsprocesser hurtigere inden for organisationen. En anden og tungtvejende årsag er, at der kan placeres flere arbejdspladser på samme antal kvadratmeter, når arealet ikke er delt op i cellekontorer. Endelig synes der at være gået mode i storrumskontorer. Udviklingen med stigende brug af storrumskontorer er sket uden baggrund i forskningsresultater.

Der er således behov for en systematisk kortlægning af arten og omfanget af de ofte meget store gener, ansatte oplever i storrumskontorer. Endvidere savnes der viden om sammenhængen mellem forskellig fysisk udformning og indretning af kontorerne med henblik på at fremsætte forslag til, hvorledes generne kan reduceres. Endelig savnes der en forskningsbaseret diskussion af validiteten af argumenterne om, at storrumskontorer giver besparelser på bygningsdriften og forøgelse af produktiviteten.

Skoler. Indeklimaet i skolerne har betydning for børn og unges sundhed og indlæringssevne. På baggrund af et stigende antal skolesøgende børn og de nyeste pædagogiske retningslinjer, hvor der lægges større vægt på individuelt tilpasset undervisning, skal nye skolebygninger i højere grad kunne rumme arbejde i både små og store grupper. Samtidig udvides skolernes åbningstider og skolerne rummer i stigende grad mediecentre, fritidsordninger, eftermiddags- og aftenskole, sportsaktiviteter mm.

Et dårligt indeklima vil kunne reducere elevernes udbytte af undervisningen. Desuden har skolebygninger en særlig funktion i kraft af at børn og unge her modtager tidlige og væsentlige erfaringer og referencer vedrørende brugen af bygninger og indeklimaets påvirkninger. Et uforståeligt eller uforudsigeligt indeklima vil forringe elevernes muligheder for at forstå væsentlige sammenhænge mellem bygninger, miljø og sundhed.

Der er behov for mere viden om betydningen af indeklimaets kvalitet, herunder udeluftskifte, støj, lysforhold, og areal per elev for trivsel og læring i skolerne. Derudover er der behov for at identificere og vejlede om de muligheder for fleksibel brug af klasserum, der kan bidrage positivt til hverdagen i en skole.

Daginstitutioner. Et område, hvor Danmark i særlig grad har oplevet ændringer inden for de sidste 20-40 år, og hvor danske forhold i dag adskiller sig markant fra de fleste lande omkring os, er pasningen af børn under skolealderen. De fleste børn mellem 1 og 7 år opholder sig i daginstitutioner, hvor regler og praksis giver en i forhold til de fleste andre bygningskategorier høj persontæthed og høj koncentration af luftforurening relateret til personbelastningen.

Luftkvaliteten er dårlig i mange institutioner. Smittetrykket er meget højt, og børn i daginstitutioner såvel som forældre til børn i daginstitutioner oplever sygdomme relateret til infektioner mere end dobbelt så ofte som andre. En reduktion af smittetrykket kan nås ved forbedret almindelig personlig hygiejne både blandt børn og ansatte. Det er muligt, at forbedringer også kan nås ved at give de enkelte børn mere plads og ved at ventilationen forøges. En forøget ventilation vil både kunne forbedre luftkvaliteten, fortynde bakterier og vira og samtidig sænke vandindholdet i indeluften, således at mikroorganismernes livsbetingelser forringes.

Støj giver anledning til betydelige gener blandt ansatte i institutioner og utvivlsomt også blandt børnene. De høje støjniveauer er resultatet både af stor persontæthed, ændret adfærd, manglende akustisk dæmpning og uhensigtsmæssig rumdisponering.

Der er behov for øget viden mht. fastlæggelse af ventilationsbehovet og ventilationsprincipper i daginstitutioner. Der er endvidere behov for udvikling af metoder til at sænke støjniveauet i institutioner baseret på en samlet vurdering både af adfærd, støjreducerende tiltag og rumdisponering.

Referencer

Bornehag C-G, Sundell J. *Dampness in buildings as a risk factor for health effects. European multidisciplinary review of the entire literature (Euroexpo)*. Proc. of Indoor Air 2002, Monterey, Vol. 5, pp. 13-18, 2002.

Brauer S, Mikkelsen S. *Indeklima, psykisk arbejdsmiljø og symptomer i Danmark – Et normalmateriale til glostrupskemaet*. Arbejdsmedicinsk Klinik, Amtssygehuset i Glostrup, 2002.

Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H, Bochicchio F, Deo H, Falk R, Forastiere F, Hakama M, Heid I, Kreienbrock L, Kreuzer M, Lagarde F, Mäkeläinen I., Muirhead C, Oberaigner W, Pershagen G, Ruano-Ravina A, Ruosteenoja E, Schaffrath Rosario A, Tirmarche M, Tomásek L, Whitley E, Wichmann H-E, Doll R. *Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies*. BMJ 2005;330:223.

Hersoug L-G. *Viruses as the causative agent related to "dampness" and the missing link between allergen exposure and onset of allergic disease*. Indoor Air 2005;15:363-6.

Keiding L, Gunnarsen L, Rosdahl N, Machon M, Møller R, Valbjørn O. *Miljøfaktorer i danskernes hverdag – med særligt fokus på boligmiljø*. Statens Institut for Folkesundhed i samarbejde med Statens Byggeforskningsinstitut. København, 2003.

Skov P, Valbjørn O, Gyntelberg F. og DISG. *Rådhusundersøgelsen - Indeklima i kontorer*. Arbejdsmiljøfondet, 1989.

Smith KR, Mehta S. *The burden of disease from indoor air pollution in developing countries: comparison of estimates*. Int J Hyg Env Health 2003; 206:279-89.

Smoke Free Partnership. Lifting the smokescreen - 10 reasons for a smoke free Europe. European Respiratory Society, Brussels, 2006.

http://www.ersnet.org/ers/show/default.aspx?id_ach=13509

Sundhedsstyrelsens hjemmeside:

http://www.sst.dk/Nyheder/Seneste_nyheder/passiv_rygning_kampagne_04.aspx?lang=da

Partikelredegørelse. Trafikministeriet, 2003.

Skriv til miljø og sundhed

skriv om forskningsresultater

skriv til synspunkt

skriv et mødereferat

send nye rapporter

husk også kalenderen

Ring, skriv eller send en e-mail til:

Hilde Balling
ISMFs sekretariat
Sundhedsstyrelsen
Islands Brygge 67
2300 København S
tlf. 72 22 74 00, lokal 77 76
fax 72 22 74 11
e-mail hib@sst.dk
<http://www.ismf.dk>

også hvis du bare har en god idé!