

En løsning på de syke bygningers mysterium

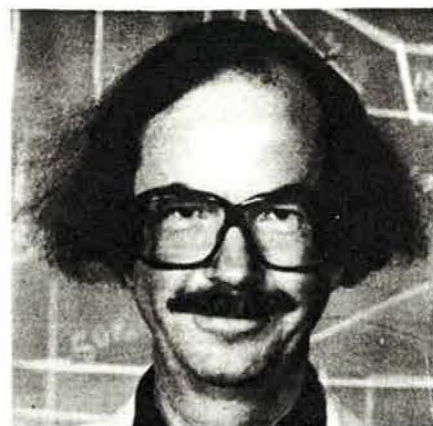
Av professor P. O. Fanger,
Laboratoriet for Varme- og Kllimateknikk,
Danmarks Tekniske Højskole

Store skjulte forureningskilder i bygninger forklarer de mange klager over dårlig indeluftkvalitet. Eksisterende ventilationsstandarder er forældede. Forebyggelse og helbredelse af syge bygninger kræver en systematisk reduktion af de unødvendig skjulte olf. Denne artikel blev holdt som plenarforedrag på den internationale indeklimakongres «Indoor Air '87» i Berlin.

Formålet med ventilation er at opnå frisk og acceptabel luft for mennesker. Beklageligvis er der mange bygninger, hvor dette formål ikke opnås. Mange mennesker kan ikke lide indeluft og føler, at luften er bedre i det fri. Denne utilfredshed er blevet dokumenteret i hundreder af detaljerede feltstudier i kontorer, skoler, boliger og andre ikke-industrielle bygninger i Europa, Nordamerika og i Japan (1-10). Blandt de tilstedeværende mennesker er der fundet mange, der har klaget over uacceptabel luftkvalitet. Klagerne omfatter oplevelsen af indelukket og tung luft, slimhindeirritation, hovedpine, træthed, m.v. Disse symptomer kaldes hyppigt for «de syge bygningers syndrom».

Symptomerne forekommer ikke blot i nogle få specielle bygninger. De optræder i næsten alle bygninger, men med store variationer i antallet af mennesker, der føler sig generet. En nylig opinionsundersøgelse blandt kontorfunktionærer i Nordamerika viste, at 24 % fandt luftkvaliteten på deres arbejdsplads uacceptabel, og 20 % mente, at luftkvaliteten influerede på det arbejde, de udførte (11). I den omfattende undersøgelse i 14 danske rådhus var 36 % af de ansatte 3500 funktionærer ofte generet af indelukket luft (7, 8). Høje gener er også fundet i danske skoler (12).

Den frustrerende kendsgerning er, at de fleste af de bygninger, der er blevet undersøgt i forskellige dele af verden, fulgte eksisterende ventilationsstandarder, dvs. at den tilførte udeluft og luftfordelingen var som foreskrevet og ofte bedre. Yderligere forekom alle målte forureningskomponenter i luften i koncentrationer langt under enhver tænkelig sundheds- eller komfortgrænse. Ikke desto mindre



fandt 20, 40 eller 60 % af de tilstedeværende måske, at luften var uacceptabel. Det ligner en virkning uden en årsag. Det er blevet kaldt «de syge bygningers mysterium». Denne artikel tilbyder en forklaring på dette mysterium.

Kemi og oplevelse af luftkvalitet

Når et menneske siger, at indeluften opleves tung, indelukket og uacceptabel, mindre frisk end udeluften, må udgangspunktet være, at han/hun har ret. Indeluften bør tilfredsstille hans/hendes krav, og kun han/hun kan bedømme, om kravene tilfredsstilles. Kun han/hun kan afgøre, om luften opleves som acceptabel. Mennesket er i sidste instans dommer over den oplevede luftkvalitet. Hvis vi som kemikere, fysikere, hygiejnere eller ingeniører ikke kan finde den kemisk/fysiske årsag til, at luften føles uacceptabel, er det vores problem. Hvis vi ikke kan måle forskellen mellem indelukket og frisk luft, er det fordi vår måleteknik ikke er god nok, ikke forfinet nok i sammenligning med de menneskelige sanser.

I indeluften kan der være tusinder af gasarter. Men de forekommer ofte i så små koncentrationer, at de er vanskelige at måle med den eksisterende kemiske analyseteknik. Alligevel kan de være over tærskelen for lugt og irritation og bidrage til, at luften opleves tung og indelukket. Utilstrækkelig måleteknik er ikke det eneste problem. Selv hvis vi var i stand til at identificere hvert eneste molekyle i et rum, er det næste problem, at vi normalt ikke kender effekten på mennesker af hver enkelt gasart i så lave koncentrationer. Og selv om også denne information var til stede, er det tredje overvældende problem, at vi ikke ved, hvordan hver gasart opleves,

når den forekommer sammen med tusinder af andre gasarter.

Hvordan kan vi nu kvantificere luftkvaliteten, når kemien er utilstrækkelig til at hjælpe os? Svaret er er bruge mennesket som måler. At indse at menneskets næse er det mest følsomme instrument, der er til rådighed. At dette instrument i bygninger i praksis definerer, om luften er frisk eller indelukket, acceptabel eller uacceptabel.

I en nylig dansk undersøgelse i kontorbygninger (13, 14) blev det derfor besluttet at benytte et panel af dommere til at kvantificere den oplevede luftkvalitet med den nye decipol-enhed og at kvantificere forureningskilderne med den nye olf-enhed (15, 16). Een olf er forureningsemissionen fra een standardperson. Een decipol er forureningen forårsaget af een standardperson (een olf) ventileret med 10 l/s af uforurennet luft (15, 16).

Feltstudium i kontorbygninger

Forureningskilder blev kvantificeret med den nye olf-enhed i 15 tilfældigt udvalgte kontorbygninger i Københavnsområdet. Rummene blev besøgt tre gange af 54 dommere, der bedømte acceptabiliteten af luften: (1) når de var ubefolkede og uventilerede for at kvantificere forureningskilderne i rummet; (2) når de var ubefolkede og ventilerede for at kvantificere forureningskilderne i ventilationssystemet; (3) når de var befolkede og ventilerede for at bestemme forurening forårsaget af mennesker og tobaksrygning. Detaljeret information om forsøgene findes i ref. 13 og 14.

Den oplevede luftforurening i de befolkede kontorer varierede mellem 0,2 og 6 decipol (3–50 % utilfredse) med et middel på 3 decipol eller 34 % utilfredse. Kuldioksid, kulmonoxid, partikler og flygtige organiske forbindelser blev målt, men som i mange tidligere feltstudier kunne de ikke forklare de store variationer i oplevet luftkvalitet. Forureningskilderne blev kvantificeret for hvert rum, og middelværdierne for alle 15 kontorer er vist i fig. 1.

I hvert kontor (middel gulvareal: 230 m²) arbejdede der i gennemsnit 17 personer. Det overraskende resultat er, at materialerne i rummet havde en kildestyrke på 28 olf, og ventilationssystemet forurenede 58 olf. Tobaksrygningen bidrog med 35 olf i kontorerne. Selv om der kun arbejdede 17 personer i kontoret, var der ialt 138 olf tilstede. Kun 13 % af forureningen hidrørte således fra personernes bioeffluenter.

For hvert menneske på kontorerne var der 6–7 skjulte olf tilstede, der forurenede indeluften (fig. 2); 1–2 olf var skjult i materialerne i rummet, 3 olf var skjult i ventilationsanlægget, og 2 olf skyldtes tobaksrygning.

Disse resultater strider mod principper, der har været grundlæggende for ventilationsstandards igennem mere end hundrede år. Standarderne har antaget, at mennesker er de vigtigste eller eneste

AVERAGE POLLUTION SOURCES IN 15 OFFICES
Average Floor Area : 230 m²

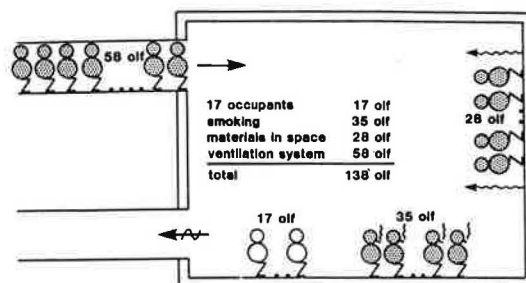


Fig. 1. Gennemsnitlige forureningskilder i 15 kontorer i Københavnsområdet. Der arbejdede i middel 17 personer i hvert kontor. De omfattende skjulte olf (grå) i rum og ventilationssystem er den sandsynlige forklaring på de syge bygningers syndrom.

HIDDEN olfs PER OCCUPANT IN 15 OFFICES

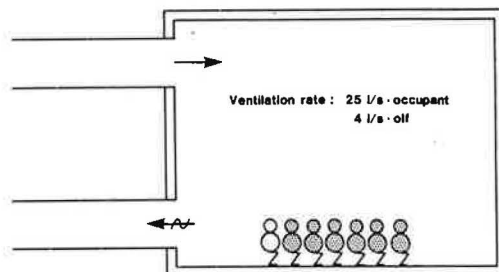


Fig. 2. For hver person i de 15 kontorbygninger var der 6–7 skjulte olf til stede (grå). Dette er i modstrid med ventilationsstandards i mere end hundrede år, der har forudsat, at mennesker var de vigtigste eller eneste forurenere i kontorer og lignende rum. Forebyggelse og helbredelse af syge bygninger kræver reduktion af de unødvendige skjulte olf.

forureningskilde i kontorer og lignende rum. Standarderne har endvidere implicit forudsat, at rum og ventilationsanlæg er rene og ikke bidrager til forureningen af indeluften. Influert af Pettenkofer's (17) og Yaglou's (18) grundlæggende studier af menneskelige bioeffluenter er ventilationsbehovet derfor normalt blevet afgivet som lufttilførsel pr. tilstedeværende person. De nye resultater viser, at menneskelige bioeffluenter kun bidrager lidt til forureningen i moderne kontorbygninger.

Udelufttilførselen i de 15 kontorer var i gennemsnit 25 l/s pr. person. Det er langt over eksisterende ventilationsstandards. Fra et teknisk eller hygiejnisk synspunkt ville disse rum normalt blive betragtet som overventilerede. Alligevel bedømte 34 % luften til at være uacceptabel. Årsagen er de omfattende forureningskilder, der medførte, er ventilationsraten kun var 4 l/s pr. olf.

De mange skjulte olf i kontorer og ventilationsanlæg er årsagen til, at så mange fandt luften uacceptabel. Ingen af de 15 undersøgte kontorer var på forhånd blevet identificeret som en «problembygning». Det var blot tilfældigt udvalgte kontorbygninger. Når der var så mange klager selv i disse kontorer, der var rigeligt ventilerede, kan det ikke undre, at klager over luftkvalitet er hyppige i mange bygninger, der blot ventileres svarende til eksisterende ventilationsstandards.

De skjulte olf i rum og ventilationssystemer ødelægger luften, gør den indelukket og uacceptabel. De omfattende og hidtil ukendte forureningskilder er den sandsynlige forklaring på de syge bygningers mysterium. Hvorfor er disse skjulte forureningskilder ikke blevet identificeret tidligere? Formodentlig fordi der ikke tidligere fandtes nogen metode til at kvantificere kilderne, bortset fra den kemiske, som ofte var utilstrækkelig. Og muligvis fordi mange forureningskilder er temmelig ukoncentrerede, hyppigt spredt over store arealer. Det medfører, at de ikke bemærkes undtagen i ekstreme tilfælde, f.eks. når formaldehyd afgives fra visse træspånplader m.v.

Dommerne bedømte luften, lige efter at de kom ind i hvert rum. Er dette øjeblikkelige indtryk af luften tilstrækkeligt til at give en rimelig vurdering af luftkvaliteten? Irritanterne og lugtstofferne i luften stimulerer øjeblikkeligt den kemiske sans og lugtesansen (19). Dette betyder, at den indelukkede og tunge luft og de irriterede slimhinder, der er karakteristiske for de syge bygningers syndrom, opleves straks. Med tiden vil lugtintensiteten mindskes, medens irritationen måske forbliver konstant (19, 20). Det totale indtryk af luften vil normalt være størst i begyndelsen og en bedømmelse på dette tidspunkt er derfor konservativ. I ventilationsteorien (18) har formålet traditionelt været at opnå en luftkvalitet, der føles acceptabel fra det første øjeblik, en person træder ind i et rum. Selv om der senere måtte finde en tilvænning sted, forekom det væsentligt at undgå et negativt første indtryk af luftkvaliteten i et rum.

Er de skjulte forureningskilder også årsagen til de andre symptomer som hovedpine, træthed m.v., der ofte hævdes at høre med til de syge bygningers syndrom? Vi ved det ikke. Men vi ved i hvert fald, at det er karakteristisk for de syge bygningers syndrom, at symptomerne forsvinder, når folk forlater bygningen og udsættes for frisk luft. Hvis vi derfor kan fjerne de skjulte olf i bygninger, så luften også inde opleves som frisk og behagelig, forekommer det sandsynligt, at de andre symptomer i de syge bygningers syndrom vil forsvinde samtidigt.

Skønt forureningskilderne i gennemsnit var alarmerende høje i de 15 kontorer, var der store forskelle fra bygning til bygning (13, 14). Nogle ventilationssystemer var faktisk rene, og nogle rum havde lave olf-værdier. Dette kan nok stimulere til optimisme for fremtiden. Det er åbenbart muligt at etablere lav-olf bygninger.

Forebyggelse og helbredelse af syge bygninger

Den indlysende vej til at forebygge og helbrede syge bygninger er at undgå eller reducere de unødvendige skjulte olf. Det vil på samme tid forbedre luftkvaliteten, formindske ventilationsbehovet og energiforbruget, og nedsætte risikoen for træk.

Tabeller med olf-værdier pr. m² for almindelige

byggematerialer bør etableres, så arkitekterne i fremtiden kan vælge byggematerialer med lave olf-værdier. Samtidigt bør der måles olf-værdier for tæpper, møbler, kontormaskiner, bøger, papir, etc., så vi kan undgå at akkumulere høje forureningskilder i vore bygninger. Dette kan meget vel betyde en revolution for materialer og møbler, der anvendes i vore bygninger. Metoder for rengøring bør også modificeres for at opretholde lave olf-værdier. Reduktion af forureningskilder snarere end visuelle hensyn bør være det primære formål med rengøring i fremtiden.

Det er naturligvis også vigtigt at undgå forureningskilder i ventilations- og klimaanlæg. Potentielle forureningskilder bør identificeres, og opmærksomheden bør bl.a. rettes mod filtre, befugtere, varme- og køleflader, lydsluser m.v. Det er vigtigt at udvikle ventilations- og klimaanlæg, der er praktisk talt uden forureningskilder, når de er nye, og som let kan holdes rene gennem hele deres levetid.

Konklusioner

Omfattende skjulte forureningskilder i bygningsmaterialer og ventilationssystemer er den sandsynlige årsag til de syge bygningers syndrom. For hver tilstedeværende person i 15 tilfældigt udvalgte kontorer fandtes i middel 6—7 skjulte olf fra andre forureningskilder; 1—2 olf var skjult i materialer i rummet; 3 olf var skjult i ventilationsanlægget, og 2 olf hidrørte fra tobaksrygning. Ventilationsraten var i middel 25 l/s pr. person, men på grund af de omfattende forureningskilder kun 4 l/s pr. olf. Det forklarer, hvorfor 34 % bedømte indeluften som uacceptabel.

Resultaterne er i modstrid med ventilationsstandarder i mere end hundrede år, der har forudsat, at mennesker var de vigtigste eller eneste forurenere i kontorer og lignende rum.

Forebyggelse og helbredelse af syge bygninger kræver systematisk fjernelse eller reduktion af de unødvendige skjulte olf. Det vil på samme tid forbedre luftkvaliteten, formindske ventilationsbehovet og energiforbruget og nedsætte risikoen for træk.

Referencer

- (1) I. Andersen and G. R. Lundqvist: Indendørsklima i skoler. SBI, København.
- (2) B. Berglund, I. Johansson and T. Lindvall: A longitudinal study of air contaminants in a newly built preschool. *Environment International*, 8, 1982, pp. 111—115.
- (3) J. Melius, K. Wallingford, R. Keenlyside and J. Carpenter: Indoor air quality — the NIOSH experience. *Ann. Am. Governm. Ind. Hyg.*, Vol. 10, 1984, pp. 3—7.
- (4) M. J. Finnegan, C. A. C. Pickering and P. S. Burge: The sick building syndrome: prevalence studies. *Brit. Med. J.*, 289, 1984, pp. 1573—1575.
- (5) P. Kröling: Gesundheits- und Befindensstörungen in klimatisierten Gebäuden. W. Zuckschwerdt Verlag, München, 1985.
- (6) A. S. Robertson, P. S. Burge, A. Hedge, J. Simms,

- F. S. Gill, M. F. Dalton: Comparison of work and environmental conditions in buildings with Med. J., 291, 1987.
- (7) S. O. Hanssen: — problems and solutions. Lindvall, J. Sundholm, Vol. 3, 1987, pp. 500—507.
 - (8) O. Valbjørn og P. Skov: Rådhusundersøgelsen. Dansk VVS, nr. 12, 1987.
 - (9) H. Komine, S. Yoshizawa and Y. Tochihara: The investigation on IAQ and subjective evaluations of occupants for indoor environments in Japanese office buildings. In B. Seifert et al. (Eds.): Indoor Air '87, Berlin, Vol. 3, 1987, pp. 123—128.
 - (10) S. Wilson and A. Hedge: The office environment survey. A study of building sickness. Building Use Studies Ltd., London, 1987.
 - (11) J. E. Woods, G. M. Drewry and P. R. Morey: Office worker perceptions of indoor air quality effects on discomfort and performance. In B. Seifert et al. (Eds.): Indoor Air '87, Berlin, Vol. 2, 1987, pp. 464—468.
 - (12) O. Nielsen og P. Bredsdorff: Luftkvalitet og udeluftskifttilførsel i 11 skoler. SBI-rapport nr. 166, 1987.
 - O. Fanger, J. Lauridsen, P. Bluyssen and G. Claussen: Air pollution sources in office and assembly rooms, quantified by the olf unit. Energy and Buildings, Vol. 12, No. 1, 1988, pp. 7—19.
 - Lauridsen, P. Bluyssen, G. Claussen, P. O. Fanger: Ventilationsbehov i bygninger — opstilling af rationelt grundlag for myndighedskrav. Kontorer og forlysningsrum — Feltstudier. Laboratoriet for Varme og Klimateknik, DTH, 1987.
 - (15) P. O. Fanger: Introduction of the olf and the decipol units to quantify air pollution perceived by humans indoors and outdoors. Energy and Buildings, Vol. 12, No. 1, 1988, pp. 1—6.
 - (16) P. O. Fanger: olf og decipol — de nye enheder for oplevet luftkvalitet. Dansk VVS, nr. 2, 1988.
 - (17) M. V. Pettenkofer: Über den Luftwechsel in Wohngebäuden. München, 1958.
 - (18) C. P. Yaglou, E. C. Riley and D. I. Coggins: Ventilation requirements. ASHVE Trans., 42, 1936, pp. 133—162.
 - (19) T. Engen: Perception of odor and irritation. Environment International, Vol. 12, 1986, pp. 177—187.
 - (20) L. Møhlave, B. Bach and O. F. Pedersen: Human reactions to low concentrations of volatile organic compounds. Environment International, Vol. 12, 1986, pp. 167—175.

BYGGEFORSKRIFT ... Forts. fra side 145.

Noen personlige synspunkter

En minimumsforskrift

basert på funksjon er OK, det stiller krav til bransjen og gir muligheter for å tenke selv.

Veiledningen

bør ikke bli en håndbok, men et hjelpemiddel til å forstå forskriftens krav.

Brann og røyk

Det er positivt med en økt bevissthet. Forskriftens krav må følges opp i praksis. Her må det til en skjerping i forhold til den praksis som i dag er vanlig i bransjen.

Termisk inneklima

Det foreligger godt underlag for å stille funksjonskrav og gjennomføre etterkontroller. Dette må gjennomføres i praksis, nye krav stilles her til såvel rådgivende ingeniører som prosjekterende og utførende ledd.

Luftkvalitet

Det er også her ønskelig å stille funksjonskrav i stedet for krav til minimumsluftmengde pr. m² gulvflate. Problemet er at forskerne ennå ikke kan gi oss entydige svar på hvilke krav vi bør stille for å sikre en «fullt forsvarlig» luftkvalitet. Kunnskapene om hvordan dimensjonering og etterkontroll skal gjennomføres er mangelfulle.

Grunnet disse praktiske problemer mener jeg at det ennå er for tidlig å gå over til rene funksjonskrav vedrørende luftkvalitet. Kravet til min. luftmengder i følge tabell 47.52 bør omarbeides, og størrelsen på tallene bør også vurderes kritisk.

Det kriterium som muligens er modent for innføring er en CO₂-grenseverdi som mål på ventilasjonens effektivitet i forhold til forurensning fra mennesker.

ENØK

Tiden er moden for å gå vekk fra omluft i de aller fleste tilfeller. Den økonomiske gevinst er egentlig liten («en størrelse på gjenvinnere»), og de praktiske problemene med omluft er store.

Ved bruk av gjenvinnere (spesielt roterende) bør det sørges for at trykkforholdene er riktige slik at uønsket lekkasje unngås. Feltnmålinger har vist at lekkasje over gjenvinnere ofte er et større problem enn man vanligvis tror.

Muligheten for å redusere utelufttilførsel ved lave utetemperaturer bør utgå, ventilasjonsbehovet er ikke avhengig av utetemperatur.

Ferdigstillelse og innflytting

må planlegges nøye. Materialvalg, avgassing, partikkeldannelse og rengjøring er stikkord som må inn i slike planer. Innregulering og kontroll skal selvfølgelig gjennomføres planmessig og før bygningen tas i bruk.

Kravspesifikasjoner og forutsetninger

bør legges frem og behandles som en del av myndighetenes saksbehandling. Ved bruksendringer må krav og forutsetninger vurderes på ny.

VVS-bransjen kan leve med Byggeforskrift '87, den er ikke en hindring for å skape gode, produktivtetsfremmende, ressursbesparende og sikrere bygninger med et godt inneklima. Vi bør aktivt arbeide for å forbedre veiledningen og på sikt forskriften. ●