

Wat is IAQ?

Dit artikel voorziet een enorme mogelijkheid om de IAQ in de praktijk te verbeteren, door gebruik te maken van nieuwe opkomende technologieën. Dit zal het mogelijk maken om te voorzien in een binnenluchtkwaliteit die zelfs acceptabel is voor de meest gevoelige personen. Bescheiden verbeteringen in vergelijking met de huidige minimum normen en typische condities die in de praktijk voorkomen, kunnen het risico op allergieën en astma in woningen al significant verminderen en de schoolprestaties van kinderen en de productiviteit van volwassenen verhogen.

*- door prof. P. Ole Fanger**

De gedachte achter dit artikel is dat de binnenluchtkwaliteit (Indoor Air Quality – IAQ) in ruimtes die bestemd zijn voor menselijke bezetting, wordt gedefinieerd aan de hand van de invloed ervan op mensen: IAQ is de mate waarin aan menselijke behoeften wordt voldaan. Maar over welke behoeften gaat het dan? Het is duidelijk dat het wenselijk is om binnenlucht te kunnen inademen die geen negatief effect heeft op onze gezondheid. Daarnaast wordt het gewaardeerd als de kwaliteit van de binnenlucht wordt ervaren als acceptabel of nog beter: als zuiver en aangenaam. We willen dat de binnenlucht een positief effect heeft op onze prestatie of op onze productiviteit op het werk. Ook willen we dat de IAQ in het klaslokaal de prestatie van onze kinderen op school verhoogt. Kunnen deze behoeften in eisen aan de toelaatbare concentraties van stoffen worden uitgedrukt? Het is bekend dat de stoffen die door mensen, materialen en apparatuur worden afgescheiden de luchtkwaliteit ten nadele komen. Kunnen we er niet simpelweg voor zorgen dat de concentratie van iedere stof in de lucht onder een bepaalde richtlijnwaarde blijft? Helaas werkt deze methode niet goed in niet-industriële gebouwen, omdat er honderden of zelfs duizenden verschillende stoffen in erg kleine concentraties in de lucht voorkomen. Daar komt bij dat er slechts beperkt informatie beschikbaar is over de invloed van deze chemicaliën op de gezondheid en op het comfort

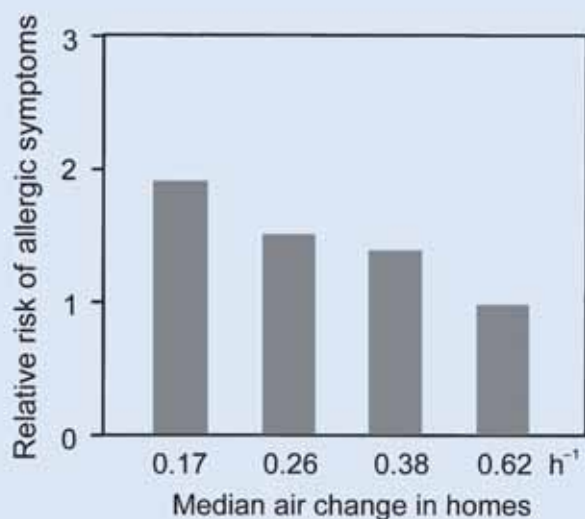
van mensen. Richtlijnen over de toelaatbare hoeveelheid van chemicaliën in de lucht zijn er slechts voor een klein aantal stoffen. Bovendien gelden deze richtlijnen alleen als uitsluitend de betreffende stof in de lucht voorkomt. Kunnen er ook geen drempelwaarden worden aangehouden voor geur of irritatie, die beschikbaar zijn voor een groter aantal chemicaliën? De drempelwaarden die in de literatuur worden gegeven voor een bepaalde stof lopen aanzienlijk uiteen. Ook geven ze slechts informatie over de concentratie waarbij 50 % van de personen de specifieke stof kan waarnemen als uitsluitend die stof in de lucht aanwezig is. De meest gevoelige personen kunnen de aanwezigheid van de stof echter al bij een aanzienlijk lagere concentratie waarnemen. Zij kunnen daarnaast een mengsel van honderden chemicaliën met een nog lagere concentratie waarnemen. Bovendien kunnen sommige stoffen, hoewel de concentratie ervan boven de drempelwaarde voor geur ligt, als aangenaam worden ervaren. De aanwezigheid van andere stoffen in de lucht kan juist als erg onprettig worden ervaren. Een andere belemmering is dat chemicaliën die bij lage concentraties een negatieve invloed hebben op mensen, vaak lastig te meten zijn in de aanwezige lage concentraties. Een alternatief is om de sensorische reactie van mensen direct te gebruiken om de IAQ te definiëren. In overeenkomst met deze definitie zou een hoge IAQ samenhangen met lucht, die door een hoog percentage mensen als accep-



Prof. P. Ole Fanger

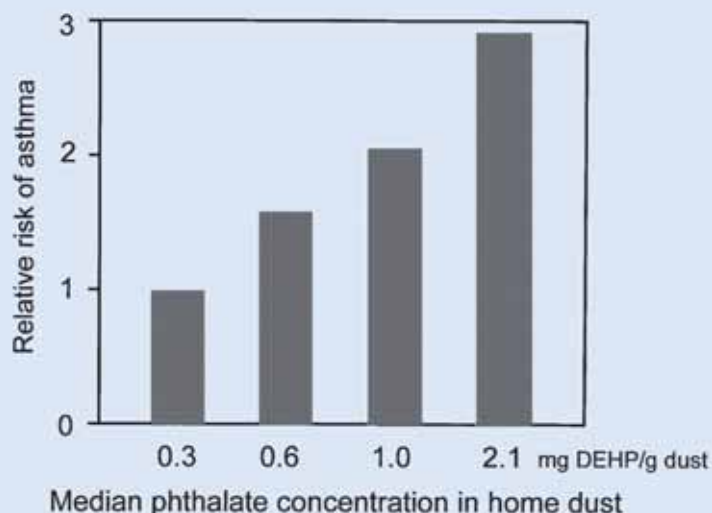
tabel wordt ervaren. Sensorische metingen waarbij gebruik wordt gemaakt van een menselijk testpanel om de IAQ te beoordelen zijn al gebruikt in de jaren '30 door Yaglou [35]. Later maakte Fanger [16] gebruik van dergelijke metingen voor de introductie van sensorische eenheden. Daarbij is de waargenomen binnenluchtkwaliteit uitgedrukt in decipol of in percentage ontevreden en is de sensorische vervuiling uitgedrukt in Olf. Het gebruik van sensorische eenheden maakt een berekening mogelijk van het benodigde ventilatiedebiet om een bepaalde gewenste waar te nemen luchtkwaliteit te verkrijgen. Sensorische metingen hebben vaak bewezen superieur te zijn aan metingen van chemicaliën. Decenia lang hebben deze metingen de basis gevormd voor normen en richtlijnen voor ventilatie [2 en 8]. Kenmerkend voor deze normen en richtlijnen is dat ze zowel een acceptabele IAQ definiëren waarmee minder dan 15 %, 20 % of 30 % van de personen ontevreden is, als het bijbehorende vereiste ventilatiedebiet specificeren. In de praktijk heeft dit gedachtegoed van de normen geleid tot lucht van middelmatige kwaliteit met tamelijk grote aantallen ontevreden personen, zoals is voorspeld. Dit is bewezen in verscheidene praktijkstudies in gebouwen over de hele wereld die zijn ontworpen in navolging van de genoemde normen.

* International Centre for Indoor Environment and Energy, Technical University of Denmark. www.ie.dtu.dk
Vertaling door P.M. Briggen BSc, afstudeester bij de unit Building Physics & Systems van de TU/e.



Lage ventilatiedebieten in woningen verhogen het risico op allergische symptomen onder kinderen. Elke kolom geeft ongeveer 90 woningen weer [7].

- FIGUUR 1 -



Weekmakers, bijvoorbeeld van polyvinylchloride in woningen, verhogen het risico op astma onder kinderen. Elke kolom geeft ongeveer 90 woningen weer. DEPH: di(2-ethylhexyl)ftalaat [6].

- FIGUUR 2 -

Dit artikel zal de invloed van binnenlucht op mensen behandelen aan de hand van drie voorbeelden van plaatsen waar veel mensen het grootste gedeelte van hun leven doorbrengen: thuis, op school en op kantoor. Uit talrijke praktijkstudies is gebleken dat de kwaliteit van de binnenlucht op deze plaatsen vaak vrij middelmatig is. Het goede nieuws is dat recente onderzoeken hebben bewezen dat er aanzienlijke voordelen worden gehaald voor menselijke gezondheid, comfort, productiviteit en schoolprestaties door de binnenluchtkwaliteit met een factor 2-7 te verhogen in vergelijking met de huidige toepassingen. Om de lucht zelfs voor de meest gevoelige personen aangenaam te maken, is er een verbetering van een ordegrootte 1-2 benodigd.

Dit artikel zal methoden behandelen die het mogelijk maken om in dergelijke grote verbeteringen van de IAQ te voorzien, terwijl gelijktijdig energie wordt bespaard. Dit zal de zeer benodigde verandering in het gedachtegoed van IAQ en in de binnenmilieuwetenschappen mogelijk maken.

WONINGEN, ALLERGIEËN EN ASTMA

Het voorkomen van allergische en astmatische ziekten is de afgelopen twee decennia verdubbeld in ontwikkelde landen. Deze ziekten vormen één van de grootste actuele problemen van de volksgezondheid, en brengen enorme kosten in geneesmiddelen, behandelingen en arbeidsverzuim met zich mee. Bornehag et al. [6] veronderstellen

dat de verslechtering van de IAQ in woningen in ontwikkelde landen de voornaamste reden is voor de toename van deze ziekten. De IAQ is verminderd door uitgebreide campagnes omwille van energiebesparing, en hoge energieprijzen hebben ervoor gezorgd dat woningen erg luchtdicht zijn gemaakt, om de mate van ventilatie te beperken. Daardoor is het ventilatievoud in veel woningen historisch laag. Andere factoren die bijdragen aan een slechte binnenluchtkwaliteit zijn de vele nieuwe materialen, vooral polymeren, en de talrijke elektronische apparaten die in de afgelopen decennia in woningen, en vooral in kinderkamers, zijn geïntroduceerd.

Bornehag et al. [6 en 7] hebben de relatie tussen de IAQ en astma/allergie bestudeerd in een Scandinavisch onderzoek. Dit onderzoek is onder 11.000 kinderen verricht. Er zijn gedetailleerde chemische, fysische, biologische en medische metingen verricht in 200 woningen met astmatische kinderen en in 200 woningen met gezonde kinderen. Deze woningen staan in gebieden waar de buitenlucht ten tijde van het onderzoek van uitstekende kwaliteit was.

De resultaten van het onderzoek laten zien dat allergische symptomen gerelateerd zijn aan ventilatie (Figuur 1). Door het ventilatiedebiet te vergroten en daarmee de IAQ te verhogen met een factor 4, vermindert het risico op allergische symptomen met een factor 2. De resultaten laten ook een relatie tussen de concentratie Ftalaten en het risico op astma zien (Figuur 2). Ftala-

ten worden veel gebruikt als weekmakers voor vele soorten polymeren die voorkomen in woningen, bijvoorbeeld polyvinylchloride. Het verlagen van de concentratie Ftalaten met een factor 7 verlaagt het risico op astma tot een derde. Het verbeteren van de IAQ in woningen met een factor 4-7 heeft dus een indrukwekkende positieve invloed op het verminderen van het risico op astma en allergische symptomen.

PRODUCTIVITEIT IN KANTOREN

Seppänen en Fisk [23] behandelen verschillende mogelijke voordelen van een hoge binnenluchtkwaliteit op kantoorbedienden. Eén van deze voordelen is de reductie van de kosten die verband houden met ziekteverzuim en medische behandeling. Het belangrijkste voordeel van een hoge IAQ is echter de directe positieve invloed op de productiviteit van werknemers.

Een serie van recent uitgevoerde, onafhankelijke onderzoeken laat zien dat een verbetering van de luchtkwaliteit een significante positieve invloed heeft op de productiviteit van kantoorpersoneel. In één onderzoek is een goed controleerbare normale kantoorruimte (praktijk laboratorium) gebruikt, waarin twee verschillende luchtkwaliteiten zijn gerealiseerd. Dit is gedaan door in één situatie een vloertapijt in de ruimte te brengen als extra bron van verontreiniging, onzichtbaar voor de gebruikers van de ruimte [28]. De twee gevallen komen overeen met een verontreinigd gebouw en een gebouw met weinig verontreiniging zoals gespecifi-

ceerd is in de Europese richtlijnen voor het ontwerp van het binnenmilieu [8]. Dezelfde proefpersonen werkten in beide luchtkwaliteiten gedurende 4,5 uur aan gesimuleerde kantoorwerkzaamheden. De productiviteit van de proefpersonen bleek 6,5 % hoger te zijn ($P < 0,003$) in de situatie met een goede luchtkwaliteit. Daarnaast is gebleken dat de proefpersonen in die situatie minder fouten maakten en minder symptomen van het Sick building syndrome ondervonden. Dit onderzoek, uitgevoerd in Denemarken, is later herhaald in Zweden met vergelijkbare resultaten [30]. Een derde onderzoek is verricht in het Deense praktijklaboratorium, hierbij was een verontreinigingsbron aanwezig in de ruimte bij drie verschillende ventilatiedebieten: 3, 10 en 30 l/s per persoon [29]. De productiviteit nam in dit onderzoek significant toe met een toenemend ventilatiedebiet. De drie onderzoeken, waarin in totaal zeven experimentele omstandigheden met 90 proefpersonen zijn geanalyseerd, relateren de productiviteit van werknemers aan de ervaren luchtkwaliteit. Resultaten laten een significante positieve invloed van een hoge IAQ op de productiviteit in kantoren zien.

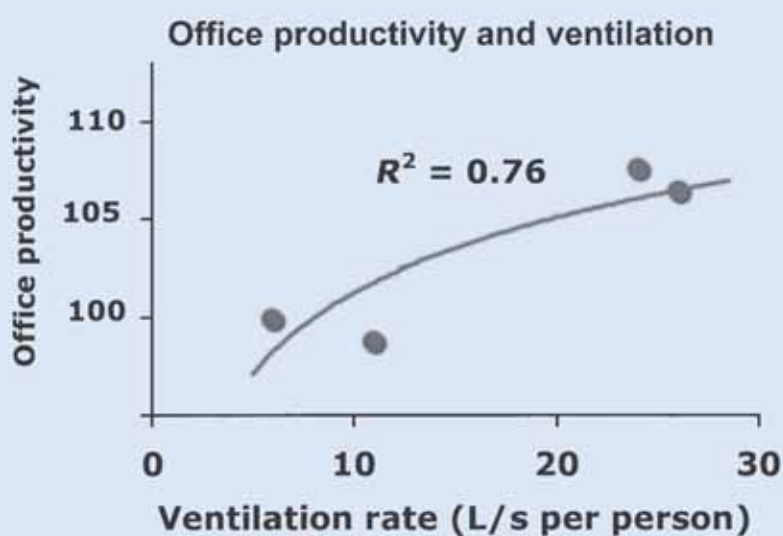
In een andere, aan het oog onttrokken studie met een vergelijkbare experimentele opstelling zoals hierboven beschreven is, werden drie maanden oude PC's gebruikt als extra verontreinigingsbron

van de lucht [3]. In dit onderzoek bleek de productiviteit 9 % lager te zijn ($P < 0,01$) wanneer de extra computers aanwezig waren. Drie keer zoveel werknemers waren in die situatie ontevreden over de kwaliteit van de binnenlucht. Iedere PC verontreinigde de lucht met een waarde van 3 Olf. Deze studie is later uitgebreid om de meest gebruikte merken PC's met CRT monitoren en TFT schermen (flatscreens) in het onderzoek op te nemen. De resultaten hiervan kwamen goed overeen met het voorgaande onderzoek van sensorische vervuiling en lieten daarnaast zien dat computers met TFT schermen de lucht een stuk minder verontreinigen. De positieve invloed van een hoge IAQ op de productiviteit is recent gevalideerd in een aan het oog onttrokken praktijkstudie. Dit onderzoek werd verricht in een callcenter in Denemarken waar het ventilatiedebiet kon worden verhoogd en waar de stofilters van het luchtbehandelingsysteem nieuw waren [32]. In dit onderzoek is een significant positief effect van verhoogde ventilatie op de productiviteit van werknemers, in een gematigd koud klimaat, gedocumenteerd. Een vergelijkbaar onderzoek is onlangs uitgevoerd in de tropen [25 en 26]. Dit onderzoek laat een vergelijkbaar positief effect van toegenomen ventilatie op de productiviteit zien. De resultaten van de twee onderzoeken zijn gecombineerd weergegeven in Figuur 3. Er is geen

positief effect van de toegenomen ventilatie gevonden wanneer reeds gebruikte filters aanwezig waren in het systeem.

In de eerdergenoemde praktijkstudies waarbij een positieve invloed van de ventilatie op de productiviteit is waargenomen, waren geen filters aanwezig. Federspiel et al. [18] hebben ook een onderzoek uitgevoerd in een callcenter waar de ventilatiedebieten werden verhoogd. Omdat in dit onderzoek oude, gebruikte filters zijn gebruikt, kan worden verklaard waarom de auteurs slechts een miniem positief effect van de verhoogde ventilatie op de productiviteit hebben gevonden. Deze studies, zoals is getoond in verschillende voorafgaande onderzoeken, laten zien dat stofilters van het luchtbehandelingsysteem een ernstige bron van verontreiniging kunnen vormen.

Gebaseerd op deze studies is er geschat dat het verhogen van de IAQ met een factor 5, vergeleken met de lucht van middelmatige kwaliteit die in veel bestaande kantoorgebouwen over de hele wereld aanwezig is, de productiviteit 5 tot 10 % kan verhogen. Een jaarlijkse winst van deze orde grootte heeft een zodanig groot economisch effect dat alle eenmalige kosten voor de realisatie van het gebouw en de kosten die benodigd zijn voor het beheer van het gebouw zouden kunnen worden gedekt. In elke levensloopanalyse van de kosten van een kantoorgebouw zou daarom de productiviteitswinst, voortkomend uit een hoge IAQ, moeten worden meegenomen. Deze winst kan vaak groter zijn dan alle kosten die zijn gerelateerd aan de constructie en het beheer van een gebouw. Het loont om een hoge IAQ te realiseren!



Prestatie van callcenter medewerkers als functie van de hoeveelheid buitenlucht waarmee wordt geventileerd. De stippen illustreren de genormaliseerde prestatie van medewerkers in twee studies, uitgevoerd in callcenters in een gematigd klimaat [32] en in callcenters in de tropen [26]. De standaardisatiefactor in elk onderzoek werd gevormd door de gemiddelde prestatie van de medewerkers onafhankelijk van het ventilatiedebiet.

- FIGUUR 3 -

SCHOOLPRESTATIES

Het is bekend dat de IAQ in scholen vaak slecht is. Ventilatie is in veel gevallen beperkt om energie te besparen, en de bediening en het onderhoud van de luchtbehandelingsystemen zijn vaak ontoereikend. Er bestaat een vermoeden dat een slechte luchtkwaliteit in een klaslokaal een negatieve invloed kan hebben op schoolprestaties van kinderen.

Dit is onlangs onderzocht door Wargocki et al. [33] die equivalente klassen met kinderen van tien jaar bestudeerden en het effect van verhoogde ventilatie op de schoolpresta-

ties van de kinderen vaststelden. In geschikte lessen gaven de leraren iedere week vastgelegde equivalente versies van prestatietaken aan de kinderen. Deze taken vertegenwoordigden verschillende aspecten van het schoolwerk, van lezen tot en met rekenen. In de ventilatiesystemen werden schone filters gebruikt. Door het ventilatiedebiet van 5 naar 10 l/s te verhogen namen de schoolprestaties van de kinderen met meer dan 15 % significant toe. Een verbetering van de IAQ met een factor 2 veroorzaakt dus een opvallende verbetering in de schoolprestaties van kinderen.

ACCEPTABELE IAQ VOOR DE MEEST GEVOELIGE PERSONEN

Normen en richtlijnen erkennen dat ze een luchtkwaliteit voorschrijven die de meest gevoelige 15-30 % van de bevolking niet acceptabel zal vinden. Het is nogal frustrerend dat we doelbewust gebouwen ontwerpen met een dergelijk hoog percentage ontevreden personen. Hoeveel zou er voor nodig zijn om het percentage ontevreden personen van 20 % terug te brengen naar een verwaarloosbaar percentage, bijvoorbeeld minder dan 1 %? In overeenstemming met Fanger's model voor ervaren luchtkwaliteit [16], gebruikt in de Europese richtlijnen [8], zou een dergelijke verbetering een toename van de IAQ met een factor 20 of meer vereisen. Als dit zou moeten worden verkregen door het ventilatiedebiet te verhogen zouden enorme debieten benodigd zijn, die natuurlijk belemmerend zijn in verband met de kosten en het energiegebruik. Gelukkig zijn er alternatieve methoden beschikbaar om de luchtkwaliteit te verbeteren:

- beheersing van de bronnen;
- zuivering van de lucht;
- persoonlijke ventilatie;
- koude en droge lucht.

Deze methoden zullen in het navolgende worden besproken.

BEHEERSING VAN DE BRONNEN

Een onmiskenbare methode om de IAQ te verbeteren is om verontreinigingsbronnen in het gebouw en in het ventilatiesysteem te verminderen. Beheersing van de bronnen is al bepleit in het midden van de 19^e eeuw door Pettenkofer [22], de grondlegger van de

moderne hygiëne en de milieuwetenschappen (Figuur 4). Er zijn drie verontreinigingsbronnen die in binnenruimten extra aandacht vragen: overvolle stoffilters, bouwmaterialen (inclusief vloertapijten) en PC's.

“Als er een hoop mest in een ruimte ligt, probeer niet de geur te verwijderen door te ventileren. Verwijder de hoop mest.”



Pettenkofer (1858)

- FIGUUR 4-

Als de luchtkwaliteit al is afgenomen voordat de lucht aan de geventileerde ruimte wordt afgegeven, dan zijn stoffilters in het bijzonder een ernstige bron van verontreiniging. Bovendien neemt door een toegenomen ventilatie, bijvoorbeeld als er een grotere luchtstroom door het filter gaat, zoals eerder vermeld, de emissie van verontreinigingen uit de deeltjes in het filter toe. Hierdoor verbetert de luchtkwaliteit na filtering niet [1;4;9;10;21 en 24]. Dit kan helpen te verklaren waarom verhoogde ventilatie in mechanisch geventileerde ruimten in sommige gevallen de IAQ slechts licht of zelfs helemaal niet verbetert. Het kan ook verklaren waarom, in sommige gevallen, de luchtkwaliteit in mechanisch geventileerde ruimten of zelfs in ruimten voorzien van airconditioning slechter is gebleken dan in natuurlijk geventileerde gebouwen (tijdens de winter). Het wordt om die reden aangeraden

om traditionele stoffilters in luchtbehandelingsystemen regelmatig te verschoneren. Nog beter zou het zijn om de stoffilters te vervangen door alternatieve apparatuur. Deze kan de deeltjes uit de lucht verwijderen om het luchtbehandelingsysteem te beschermen, zonder opstapeling van verontreinigende stoffen in de luchtstroom. O&O (Onderzoek en Ontwikkeling) is op dit gebied duidelijk een vereiste.

De tweede bron van verontreiniging wordt gevormd door bouwmaterialen. Er wordt gesuggereerd om materialen en apparaten die Ftalaten afscheiden, in het bijzonder DEHP, te vermijden. Daarnaast wordt er aanbevolen om vloertapijten in het algemeen te vermijden, tenzij deze zorgvuldig getest zijn. Eisen aan vloertapijten en andere materialen moeten in de toekomst veel strenger worden dan de eisen die op dit moment door verschillende aanbevelingen en kwalificatie criteria zijn gespecificeerd. Nauwkeurige sensorische eisen dienen bij het testen van materialen te worden betrokken.

In navolging van de hierboven genoemde aanbevelingen voor filters, materialen en vloertapijten, wordt gesuggereerd dat een realistisch doel voor de sensorische belasting van weinig verontreinigende gebouwen die op dit moment 0,1 Olf per m² vloeroppervlak is [CEN, 1998], wordt verlaagd tot een waarde van 0,02 Olf per m² vloeroppervlak. Voor nog minder verontreinigende gebouwen hebben Wargocki et al. [31] in een praktijkstudie in zes kantoorgebouwen waar niet mag worden gerookt laten zien, dat een dergelijk niveau kan worden bereikt als materialen erg zorgvuldig worden uitgezocht.

Er moet bovendien worden bedacht dat het mogelijk is om oppervlaktmaterialen in ruimtes in te zetten om verontreinigde deeltjes uit de lucht op te nemen. Sakr et al. [22a] lieten door gebruik van sensorische methoden zien, dat gipsplaten en speciaal geprepareerde absorberende materialen de IAQ significant kunnen verbeteren door de sensorische verontreinigingslast van de lucht in de ruimte te verminderen.

Een belangrijke bron van verontreiniging wordt gevormd door PC's met CRT monitoren. Het wordt afgeraden om gewone PC's te kopen met CRT monitoren en aangeraden om weinig

verontreinigende PC's aan te schaffen en gebruik te maken van TFT schermen die slechts een verwaarloosbare verontreiniging teweegbrengen. Omdat een PC slechts drie jaar meegaat en de verontreiniging in de tijd vrij snel afneemt [4], zal de verontreiniging veroorzaakt door de bestaande voorraad PC's snel afnemen als de bovenstaande aanbeveling wordt gevolgd.

Als de verontreinigingsbronnen worden beheerst zoals hierboven beschreven is, kan de totale sensorische verontreinigingslast in veel kantoren naar schatting worden verminderd met een factor 4 [17].

ZUIVERING VAN DE LUCHT

Het zuiveren van de binnenlucht van gasvormige verontreinigingen is een veelbelovende methode om de IAQ te verbeteren en de ventilatie deels te vervangen. Verschillende methoden, inclusief absorptie en fotokatalyse, worden onderzocht. Uit onderzoek is gebleken dat de laatstgenoemde methode belangwekkende filterefficiëntie kan opleveren, gedocumenteerd in relatie tot individuele chemicaliën in de lucht [36]. Voor de typische menging van honderden chemicaliën die in binnenklimaten in erg kleine concentraties voorkomen, kan met een combinatie van de twee bovengenoemde methoden een zuiveringsefficiëntie van meer dan 80 % haalbaar zijn [15]. Dat wil zeggen dat luchtzuivering de concentraties van chemicaliën in de lucht kan verminderen en daarmee de IAQ met een factor 5 kan verhogen. Het is echter duidelijk dat verder O&O van de technologieën nodig is. Verder onderzoek wordt aanbevolen om de zuiveringsefficiëntie van de methoden te tonen bij aanwezigheid van typische bronnen van verontreiniging die in binnenruimten voorkomen.

PERSOONLIJKE VENTILATIE

Als, bijvoorbeeld, 10 l/s per persoon buitenlucht wordt toegevoerd aan een kantoor, zal daarvan slechts 0.1 l/s per persoon, of 1 %, worden ingeademd. De rest, dat wil zeggen 99 % van de toegevoerde lucht, wordt niet gebruikt. Dit is een enorme verspilling! Daar komt bij dat de 1 % van de ventilatielucht die wordt ingeademd niet eens schoon is. Deze ventilatielucht is verontreinigd door biologische afvalstof-

fen, bouwmaterialen, PC's en andere bronnen van verontreiniging in de ruimte.

In overeenstemming met de traditionele bouwpraktijk wordt volledige menging van schone toevoerlucht en de verontreinigde ruimtelucht als ideale situatie gezien. Wat er in de toekomst nodig is, zijn systemen die slechts kleine hoeveelheden schone lucht direct in de ademzone van ieder individu brengen. Het idee is om iedere gebruiker van de ruimte te voorzien van schone lucht die zo min mogelijk verontreinigd is door de verontreinigingsbronnen in de ruimte. In een kantoor kan deze persoonlijke ventilatie worden geleverd door een individuele, eenvoudig verplaatsbare uitlaat. Onder ideale omstandigheden kan ieder individu schone lucht van de kern van de luchtstroom inademen waar de lucht niet is gemengd met de verontreinigde ruimtelucht. Daarnaast heeft de toevoerlucht een lage snelheid en turbulentie waardoor geen tochtklachten bij de gebruikers zullen worden veroorzaakt. Dergelijke systemen worden op het moment ontwikkeld en onderzocht [5;19 en 20]. Gebaseerd op deze studies lijkt het realistisch om te verwachten dat met een op de juiste manier ontworpen uitlaat, een ventilatie effectiviteit van 10 of zelfs meer kan worden bereikt. Persoonlijke ventilatie kan de kwaliteit van de ingeademde lucht met 1 orde grootte verbeteren. Een essentieel aspect hiervan is dat ieder individu op een eenvoudige wijze controle heeft over de positie van de uitlaat, over de luchtstroom en zelfs over de temperatuur van de toegevoerde lucht.

KOUDE EN DROGE LUCHT

Uitgebreide studies door Fang et al. [11;12 en 13] en Toftum et al. [27] hebben aangetoond dat de waargenomen luchtkwaliteit ook wordt beïnvloed door de temperatuur en de vochtigheid van de ingeademde lucht. Mensen geven de voorkeur aan enigszins droge en koude lucht, zij vinden het gevoel van het afkoelen van het ademhalingsstelsel iedere keer dat er lucht wordt ingeademd aangenaam. Het inademen van droge en koude lucht veroorzaakt een prettig gevoel van frisheid. Een grote enthalpie van de lucht heeft slechts een klein vermogen om de ingeademde lucht te koelen. Om die reden is dergelijke lucht ontoereikend

om het ademhalingsstelsel, en in het bijzonder de neus, convectief en evaporatief te koelen. Dit gebrek aan passende koeling is sterk gerelateerd aan een slecht bevonden luchtkwaliteit. De studies van Fang duiden aan dat het verlagen van de luchttemperatuur met 2 tot 3 K, bijvoorbeeld van 23-24 °C naar 21 °C, de waargenomen luchtkwaliteit kan verbeteren met een factor 2. Verminderde vochtigheid heeft tot een RV van 20 % ook een voordelig effect op de waargenomen IAQ. Onder de 20 % kan droge lucht een negatieve invloed hebben op de productiviteit en droge ogen veroorzaken [14 en 34].

GECOMBINEERD EFFECT VAN ALLE METHODEN

Wat gebeurt er als alle methodes om de IAQ te verbeteren tegelijkertijd worden ingezet? Dit is niet bekend, gezien het feit dat er geen gegevens zijn van onderzoeken waar deze methoden tegelijkertijd zijn ingezet. Wel is het mogelijk om hier een grove theoretische schatting van te maken. Vergeleken met veel typische bestaande kantoren met een temperatuur van 23-24 °C, een ventilatiedebiet van 10 l/s per persoon, en een verontreinigingslast van ongeveer 0.2 Olf per m² vloeroppervlak, kan met behulp van de beheersing van bronnen, zuivering van de lucht en persoonlijke ventilatie de concentratie verontreiniging in de ingeademde lucht worden teruggebracht met een factor $4 \times 5 \times 10 = 200$, zonder het ventilatievoud te verhogen. Alle drie de methoden dragen bij aan verdunning van de concentratie verontreiniging in de lucht. De uitwerkingen van de methoden kunnen worden vermenigvuldigd als geldt dat de verontreinigingsbron en de filterefficiëntie onafhankelijk zijn van de verontreinigingsconcentratie. Er wordt bovendien aangenomen dat het persoonlijke ventilatiesysteem in staat is om in schone ventilatielucht te voorzien. Door de temperatuur (en de vochtigheid) te verlagen kan de waargenomen IAQ nog verder worden verbeterd met een factor 2, dat wil zeggen tot een niveau dat 400 keer beter is dan de referentie. Een dergelijke drastische verbetering van de IAQ is niet nodig. Om zelfs de meest gevoelige personen tevreden te stellen is een minder grote verandering

nodig. Er kan daardoor plaats zijn voor gelijktijdige energiebesparingen door gereduceerde ventilatie. Verdere onderzoeken zijn echter vereist om deze grove schattingen te valideren.

CONCLUSIES EN

TOEKOMSTVOORSPELLINGEN

- IAQ zou moeten worden gedefinieerd in relatie tot het effect ervan op gezondheid, comfort, productiviteit en schoolprestaties.
- Verbetering van de IAQ met een factor 2-7, vergeleken met typische huidige toepassing en de bestaande normen, vermindert het risico op astma/allergieën in woningen, verhoogt de productiviteit in kantoren, en verbetert de schoolprestaties van kinderen. De potentiële voordelen voor de maatschappij zijn enorm.
- Om het percentage ontevreden personen van de 15-30 %, die toegestaan is in de huidige normen en richtlijnen, te verminderen tot een verwaarloosbaar percentage, dient de IAQ met een factor 20 of meer te worden verbeterd.
- Er worden methoden voorgesteld die in staat zijn om dergelijke grote verbeteringen van de IAQ te bewerkstelligen zonder het ventilatievoud te verhogen. Gelijktijdige toepassing van deze methoden kan zelfs plaats bieden voor gereduceerde ventilatie en energiebesparing.
- Om een niveau van de IAQ te bereiken die zelfs door de meest gevoelige personen als acceptabel wordt ervaren zal een verandering van het huidige gedachtegoed nodig zijn. Verdere veranderingen in de toekomst worden voorspeld waarin wordt geleerd hoe binnenlucht dient te worden behandeld om ervoor te zorgen dat mensen het waarnemen als even aangenaam en schoon als de buitenlucht wanneer die op zijn best is, dat wil zeggen zoals in de bergen of aan zee. Een verdere verandering kan ons leren hoe binnenlucht zelfs nog zuiverder kan worden gemaakt, dan waar dan ook in de natuur: werkelijk niet van deze wereld!

DANKBETUIGING

Dank gaat uit naar de Danish Technical Research Council voor steun aan het International Centre for Indoor Environment and Energy.



REFERENTIES

1. Alm, O., Clausen, G. and Fanger, P.O. (2000) *Exposure-response relationships for emissions from used ventilation filters*. In: Seppänen, O., Santteri, J. (eds) Proceedings of Healthy Buildings 2000, Vol. 2, 245–250.
2. ASHRAE (2004) *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*, ASHRAE Standard 62.1
- 62.1 Atlanta, USA, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc.
3. Bakó-Biró, Z., Wargocki, P., Weschler, C. and Fanger, P.O. (2004) *Effects of pollution from personal computers on perceived air quality, SBS symptoms and productivity in offices*, Indoor Air, 14, 178–187.
4. Beko, G., Hala's, O., Clausen, G., Toftum, J. and Weschler, C.J. (2003) *Initial studies of oxidation processes on filter surfaces and their impact on perceived air quality*. In: Tham, K.W., Sekhar, C. and Cheong, D. (Eds) Proceedings of Healthy Buildings 2003, Vol. 3, 156–162, Stallion Press.
5. Bolashikov, Z., Nikolaev, L., Melikov, A., Kaczmarczyk, J. and Fanger, P.O. (2003) *New for terminal devices with high efficiency for personalized ventilation application*. In: Tham, K.W., Sekhar, C. and Cheong, D. (eds) Proceedings of Healthy Buildings 2003, Vol. 2, 850–855, Stallion Press.
6. Bornehag, C.G., Sundell, J., Weschler, C., Sigsgaard, T., Lundgren, B., Hasselgren, M. and Hägerhed, L. (2004) *The association between asthma and allergic symptoms in children and phthalates in house dust: a nested case control study*, Environ. Health Perspect., 112, 1393–1397.
7. Bornehag, C.G., Sundell, J., Hägerhed-Engman, L. and Sigsgaard, T. (2005) *Association between ventilation rates in 390 Swedish homes and allergic symptoms in children*, Indoor Air, 15, 275–280.
8. CEN (1998) *Ventilation for Buildings: Design Criteria for the Indoor Environment*, Brussels, European Committee for Standardization (CR 1752).
9. Clausen, G., Alm, O. and Fanger, P.O. (2002a) *The impact of air pollution from used ventilation filters on human comfort and health*. In: Levin, H. (ed) Proceedings of Indoor Air 2002, Vol. 1, Monterey, 338–343.
10. Clausen, G., Alm, O. and Fanger, P.O. (2002b) *Sensory source strength of used ventilation filters*. In: Proceedings of Indoor Air 2002, Vol. 1, Monterey, 344–349.
11. Fang, L., Clausen, G. and Fanger, P.O. (1998a) *Impact of temperature and humidity on perception of indoor air quality during immediate and longer whole-body exposure*, Indoor Air, 8, 276–284.
12. Fang, L., Clausen, G. and Fanger, P.O. (1998b) *Impact of temperature and humidity on the perception of indoor air quality*, Indoor Air, 8, 80–90.
13. Fang, L., Wargocki, P., Wittersch, T., Clausen, G. and Fanger, P.O. (1999) *Field study on the impact of temperature, humidity and ventilation on perceived air quality*, Proc. of Indoor Air '99, 2, 107–112.
14. Fang, L., Wyon, D. and Fanger, P.O. (2003) *Sick building syndrome symptoms caused by low humidity*. In: Tham, K.w., Sekhar, C. and Cheong, D. (eds) Proceedings of Healthy Buildings 2003, Stallion Press.
15. Fang, L., Zhang, G. and Fanger, P.O. (2005) *Experimental investigation of the air cleaning effect of a desiccant rotor on perceived air quality*. In: Yang, X., Zhao, B., Zhao, R. (eds) Proceedings of Indoor Air 2005, Vol. 4, pp. 2976–2980, Beijing.
16. Fanger, P.O. (1988) *Introduction of the olf and decipol units to quantify air pollution perceived by humans indoors and outdoors*, Energy and Buildings, 12, 1–6.
17. Fanger, P.O. (2003) *Providing indoor air of high quality: challenges and opportunities*. In: Tham, K.W., Sekhar, C. and Cheong, D. (eds) Proceedings of Healthy Buildings 2003, Vol. 1, 1–10, Stallion Press.
18. Federspiel, C.C., Liu, G., Lahiff, M., Faulkner, D., Dibartolomeo, D., Fisk, W.J., Price, P.N., Sullivan, D.P. (2002) *Worker performance and ventilation: analyses of individual data for call-center workers*. In: Levin, H. (Ed) Proceedings of Indoor Air 2002, Vol. 1, Monterey, USA, 796–801.
19. Kaczmarczyk, J., Zeng, Q., Melikov, A. and Fanger, P.O. (2002) *The effect of a personalized ventilation*,

- system on air quality perception, SBS symptoms and occupant's performance. In: Levin, H. (ed) Proceedings of Indoor Air 2002, Vol. 4, Monterey, CA, 1042–1047.
20. Melikov, A.K., Cermak, R. and Mayer, M. (2002) *ventilation: evaluation of different air terminal devices*, Energy and Buildings, 34, 829–836.
21. Pejtersen, J., Bluyssen, P., Kondo, H., Clausen, G. and Fanger, P.O. (1989) *Air pollution sources in ventilation systems*. In: Proceedings of CLIMA 2000, Vol. 3,
22. Pettenkofer, M.V. (1858) *Über den Luftwechsel in Wohngebäuden*, Munich. Sakr, W., Weschler, C.J. and Fanger, P.O. (2006) *The impact of sorption on perceived indoor air quality*, Indoor Air, 16, 98–110.
- 22a. Sakr et al.
23. Seppänen, O. and Fisk, W.J. (2005) *A model to estimate the cost-effectiveness of improving office work through indoor environmental control*, ASHRAE Trans., Part 2, Vol. III, pp. 687–698.
24. Strøm-Tejsten, P., Clausen, G. and Toftum, J. (2003) *Sensory pollution load from a used ventilation filter at different airflow rates*. In: Tham, K.W., Sekhar, C. and Cheong, D. (Eds) Proceedings of Healthy Buildings 2003, Vol. 3, 257–264, Stallion Press.
25. Tham, K.W. and Willem, H.C. (2005) *Temperature and ventilation effects on performance and neuro-behavioral-related symptoms of tropically acclimatized call center operators near thermal neutrality*, ASHRAE Trans., Part 2, Vol. III, pp. 663–672.
26. Tham, K.W., Willem, H.C., Sekhar, S.C., Wyon, D.P., Wargocki, P. and Fanger, P.O. (2003) *Temperature and ventilation effects on the work performance of office workers (study of a call center in the tropics)*. In: Tham, K.W., Sekhar, S.C. and Cheong, D. (eds) Proceedings of Healthy Buildings 2003, Vol. 3, Singapore, Stallion Press, 280–286.
27. Toftum, J., Jørgensen, A.S. and Fanger, P.O. (1998) *Upper limits for air humidity to prevent warm respiratory discomfort*, Energy and Buildings, 28, 15–23.
28. Wargocki, P., Wyon, D.P., Baik, Y.K., Clausen, G. and Fanger, P.O. (1999) *Perceived air quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity in an office with two different pollution loads*, Indoor Air, 9, 165–179.
29. Wargocki, P., Wyon, D.P., Sundell, J., Clausen, G. and Fanger, P.O. (2000a) *The effects of outdoor air supply rate in an office on perceived air quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity*, Indoor Air, 10, 222–236.
30. Wargocki, P., Lagercrantz, L., Witterseh, T., Sundell, J., Wyon, D.P. and Fanger, P.O. (2002a) *Subjective perceptions, symptom intensity and performance: a comparison of two independent studies, both changing similarly the pollution load in an office*, Indoor Air, 12, 74–80.
31. Wargocki, P., Fanger, P.O., Krupicz, P. and Szczecinski, A. (2004a) *Sensory pollution loads in six office buildings and a department store*, Energy and Buildings, 36, 995–1001.
32. Wargocki, P., Wyon, D.P. and Fanger, P.O. (2004b) *The performance and subjective responses of call-center operators with new and used supply air filters at two outdoor air supply rates*, Indoor Air, 14(Suppl. 8), 7–16.
33. Wargocki, P., Wyon, D., Matysiak, B. and Irgens, S. (2005). *The effects of classroom air temperature and outdoor air supply rate on performance of school work by children*. In: Yanx, X., Zhao, B., Zhao, R. (Eds) Proceedings of Indoor Air 2005, Vol. I (1), pp. 368–372, Beijing, Tsinghua University Press.
34. Wyon, D.P., Fang, L., Meyer, H.W., Sundell, J., Weirsøe, C.G., Sederberg-Olsen, N., Tsutsumi, H., Agner, T. and Fanger, P.O. (2002) *Limiting criteria for human exposure to low humidity indoors*. In: Proceedings of Indoor Air 2002, Vol. 4, Monterey, 400–405.
35. Yaglou, C.P., Riley, E.C. and Coggins, D.I. (1936) *Ventilation requirements*, ASHRAE Trans., 42, 133–162.
36. Zhao, J. and Yang, X. (2003) *Photocatalytic oxidation for indoor air purification: a literature review*, Building and Environment, 38, 645–654.

OMZETGROEI BOUW ZET DOOR

De omzetgroei in de bouwsector lijkt zich in het tweede kwartaal van 2007 door te zetten. In totaal geeft 58 % van de bedrijven in dit kwartaal aan een (sterke) stijging van de eigen omzet te zien in vergelijking met hetzelfde kwartaal in 2006; slechts 8 % ziet een daling in de eigen omzet. Installateurs springen er in positieve zin uit. Van de installateurs neemt 67 % een positieve en 6 % een negatieve omzetonwikkeling waar.

INTELLIGENTE INSTALLATIES

Zowel architecten als aannemers verwachten dat duurzaam bouwen de komende jaren zal toenemen. Om dit te bewerkstelligen gaan beide marktpartijen eerder en vaker gebruik maken van intelligente installaties dan van bouwkundige maatregelen, zoals bijvoorbeeld meer isolatie. Dit alles en meer blijkt uit de Bouwkennis Marketing Score Card, Trends en Ontwikkelingen. Op dit moment kiest men nog iets vaker voor bouwkundige maatregelen om te voldoen aan de EPC-norm dan voor intelligente installaties.

KABINET WIL EPC VAN 0,4

Het kabinet wil de energieprestatiecoëfficiënt (EPC) voor nieuwe woningen in 2011 aanscherpen van 0,8 naar 0,6. In 2015 moet de EPC verder omlaag naar 0,4. Ook de EPC voor de utiliteitsbouw wordt in vergelijkbare mate verscherpt. Dit maakte minister Cramer (Ruimte en Milieu) bekend bij de presentatie van het beleidsprogramma van het kabinet. Nog dit jaar wordt een Duurzaamheidsakkoord gesloten met het bedrijfsleven, waarin afspraken worden gemaakt over CO₂-reductie, energiebesparing, duurzame energie én energietransitie.