

Van onderdeel gerelateerde naar interactieve top-down benadering

Beheersing van het binnenmilieu

De oude Egyptenaren herkende al hoe belangrijk het binnenmilieu is, met name de binnenluchtkwaliteit [6]. Met de uitvinding van stralingsverwarming door de Romeinen waren open vuren voor verwarming niet langer nodig. Dit reduceerde de verbrandingsgassen enorm en verbeterde de binnenluchtkwaliteit. Voor daglichtkwaliteit ontwikkelde de Romeinen een maat voor de meest gunstige verhouding raam-vloeroppervlak.

Ook al werd scheikunde pas in de zeventiende eeuw als een wetenschap gezien, vanaf de Middeleeuwen begon men zich te realiseren dat lucht in een gebouw goed moest zijn. Zo niet, dan resulteerde dit in ziekten of ten minste in extreme vormen van onbehaaglijkheid (vieze luchten). Heel lang werd slechte lucht gedefinieerd als te veel aan kooldioxide en te weinig aan zuurstof. Echter, in 1862 concludeerde Pettenkofer dat nog zuurstof nog kooldioxide verantwoordelijk zijn voor slechte lucht, maar biologische verontreinigingen [47]. Ventilatie werd een belangrijk onderdeel van het binnenmilieu. De discussies over hoeveel ventilatielucht voldoende is om verspreiding van ziekten te voorkomen (zoals cholera, gele koorts, etc.) en hoeveel voldoende is om een adequate behaaglijkheid te garanderen (geen schadelijke geuren), waren geboren en vinden nog steeds plaats.

Aan het einde van de 19^e eeuw werd de factor "thermisch comfort" geïntroduceerd als onderdeel van de behaaglijkheid van het binnenmilieu. Behalve slechte binnenluchtkwaliteit, kunnen slecht geventileerde ruimten ook thermische effecten tot gevolg hebben (zowel door temperatuur als vochtigheid).

- door mw.dr. Ph.M. Bluysen*

De Egyptenaren, Romeinen en de oude zonnegoden aanbidende Grieken, erkende al vroeg het positieve effect van (zon) licht op de gezondheid. In het begin van 1900 werden sanatoria gebouwd

waar door mensen, met onder andere huidziekten, lichttherapie kon worden ondergaan. En aan het einde van de jaren tachtig werd lichttherapie gebruikt voor het genezen van winterdepressies. Kunstmatige verlichting

wordt al vanaf 1890-1900 toegepast; de ontwikkeling van de eerste elektrische lampen maakte het mogelijk om tot in de late uurtjes door te werken [24].

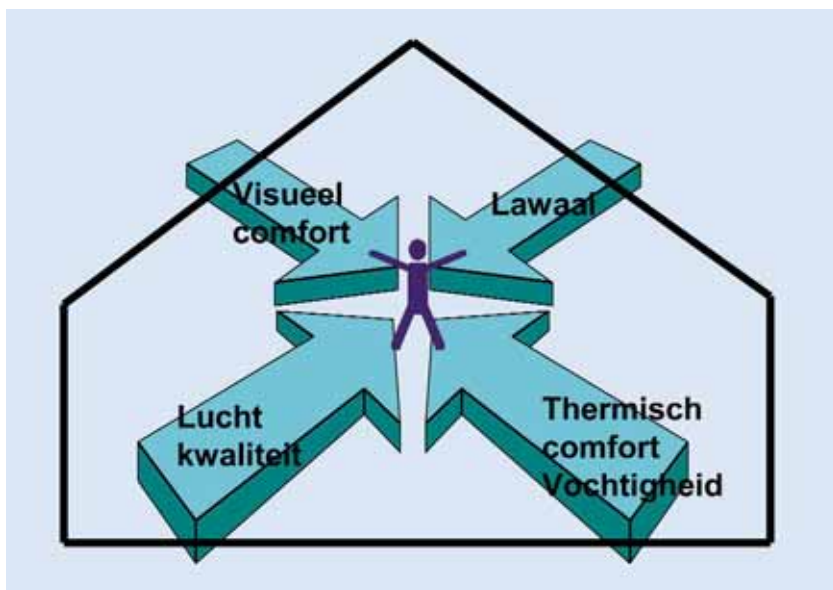
De oude Grieken en Romeinen realiseerden zich dat goede akoestische omstandigheden voor een naar spraak of muziek luisterend publiek, binnen of buiten, belangrijk is. Zij plaatste het publiek op steile heuvels. In de jaren zeventig werd lawaai of ongewenste hoorervaring een belangrijk aspect van akoestiek in de praktijk. Lawaai werd gezien als een vorm van milieuverontreiniging en geluidsbeheersing werd een belangrijke taak van akoestische techniek.

Samenvattend kan het binnenmilieu dus worden beschreven met de zogeheten binnenmilieu - of (van buitenafkomstige) stress veroorzakende factoren) (figuur 1):

- Binnenluchtkwaliteit: geur, luchtverontreinigingen, ventilatielucht, etc.
- Thermisch comfort: vocht, luchtsnelheid, temperatuur, etc.
- Geluidskwaliteit en/of akoestiek: lawaai van buiten en binnen, trillingen, etc.
- Visueel en/of verlichtingskwaliteit: uitzicht, verlichtingssterkte, helderheidsverhoudingen, reflecties, etc.

Esthetica, ergonomie en ruimtelijke kwaliteit, maken eigenlijk ook deel uit van het binnenmilieu, maar worden niet meegenomen in dit verhaal. Het accent ligt op de fysische en chemische binnenmilieufactoren.

* TNO Bouw en ondergrond



Voornaamste binnenmilieufactoren.

- FIGUUR 1 -

ONDERDEEL GERELATEERDE BENADERING

De menselijke zintuigen, de zogeheten “windows of the soul” [25], zijn onze basisinstrumenten voor het rapporteren of aangeven, of en wanneer wij ons behaaglijk voelen (in sommige gevallen ook gezondheidsaspecten). Wij drukken dat uit in een soort van acceptatiegraad voor warmte, kou, geur, lawaai, duisternis, flikkeringen, etc. Bij gezondheidseffecten zijn niet alleen onze zintuigen betrokken maar het gehele menselijke lichaam. Onder de stress veroorzakende binnenmilieufactoren die in dergelijke behaaglijkeheids- en gezondheidseffecten kunnen resulteren, vallen de gepresenteerde binnenmilieufactoren plus psychosociale factoren zoals relatie met baas en werkstatus, en persoonsgebonden factoren, zoals sekse, roker, genetische eigenschappen, leeftijd, etc. Veel werk is verricht om mogelijke ziekten en aandoeningen te relateren aan binnenmilieufactoren en parameters. Tot aan enkele decennia geleden was de (wetenschappelijke) benadering voor het beheersen van het binnenmilieu vooral gericht op individuele onderdelen van het binnenmilieu. Aan de hand van epidemiologische studies werd een eerste poging gewaagd om het binnenmilieu op een holistische manier te benaderen. De wetenschappelijke benadering van het beheersen van het binnenmilieu, oftewel de evaluatie en creatie van een gezond en behaaglijk binnenmilieu, ontwikkelde

zich van een onderdeelgericht naar een ‘bottom-up’ holistische benadering [13]. In onderstaande wordt de evolutie voor elk van de vier eerder genoemde binnenmilieufactoren of onderdelen, geschetst en ter discussie gesteld.

Van thermisch comfort naar gebouwsimulatie modellen

Met de oprichting van de ASHVE (American Society of Heating and Ventilation Engineering)-laboratoria in 1919, begon het onderzoek naar thermisch comfort [47]. De snel groeiende luchtbehandelingsindustrie had behoefte aan criteria voor thermisch comfort. Veel thermische indices werden ontwikkeld, beginnende met het thermisch comfort voor het gehele lichaam en later werden ook lokale aspecten zoals tocht, stralingsasymmetrie, verticale luchttemperatuurverschillen en vloeroppervlaktetemperaturen beschouwd. Het Predicted Mean Vote (PMV) model [33] in de jaren zestig, dient nog steeds als de basis voor de huidige aanbevelingen in ASHRAE 55 [4] en ISO 7730 [44]. Ruim dertig jaar later tonen verscheidene uitgebreide veldonderzoeken in 160 gebouwen over de hele wereld verspreid en samengevat door de Dear en Brager [20] aan, dat in gebouwen met luchtbehandelingsinstallaties, het PMV model goed schijnt te werken. Deze studies geven echter ook aan dat mensen in natuurlijk geventileerde gebouwen lijken te wennen en hogere binnenluchttemperaturen accepteren

dan het PMV model voorspeld. Met het uitkomen van de eerste pc's in de jaren tachtig, werden met behulp van thermische behaaglijkheidsmodellen computersimulatieprogramma's geïntroduceerd. Zij geven de mogelijkheid om met gebruikmaking van historische gegevens (zoals temperatuur en vochtigheid) in de ontwerpfase, gebouwprestatie aspecten te voorspellen. Gebouwsimulatie-programma's worden ook gebruikt om bepaalde fenomenen beter te begrijpen, zoals het energiegebruik onder verschillende omstandigheden en met verschillende gebouwelementen; luchtstroming en temperaturen met bijvoorbeeld een computational fluids dynamic model programma; voorspelling van verwarming en koelvraag; en voorspelling van emissies uit bouwproducten. Maar om te voorspellen wat de integrale gebouwprestatie is, zoals ervaren door de eindgebruiker, blijft een brug te ver. Voor computersimulatie in de ontwerpfase is de volgende stap het voorspellen van gebouwautomatisering en commissioning in de gebruiksfase. Voordat deze systemen goed functioneren, i.e. bijdragen aan een betere integrale kwaliteit van het binnenmilieu, zijn de “juiste” invoergegevens nodig. Juist is dan gedefinieerd als informatie die de eisen en wensen van de eindgebruiker dynamisch weergeeft of ten minste een indicatie hiervan presenteert in de tijd [23]. Helaas zijn de huidige ontwerprichtlijnen en regelgeving niet geschikt om als uitgangspunt voor het simuleren of continue beheersen van de gebouwprestatie zoals beoordeeld door de eindgebruiker, te dienen.

Van daglichttoetreding naar licht en gezondheid

Regelgeving voor daglichttoetreding dateren van het begin van de 20^e eeuw. Echter met de ontwikkeling van kantoorverlichting lijken daglichtopeningen niet langer nodig. Wanneer men zich begint te realiseren dat behalve daglichttoetreding, daglichtopeningen ook het contact met de buitenwereld verschaft, leidt de eis voor uitzicht tot daglicht- en uitzicht regelgeving voor fabrieken en werkplekken in de jaren zeventig. Ook al was het positieve effect van licht al lang geleden erkend, rond 1970-1980 werden de mogelijke negatieve aspecten van kunst- en zonlicht steeds duidelijker. Verscheidene

studies werden uitgevoerd om de invloed van kunst en natuurlijk licht op de gezondheid en behaaglijkheid van de mens te onderzoeken. Lichtflikkeringen lijken in relatie met tl-verlichting (in het bijzonder een tl-buis met een 100 Hz of een 50 Hz trilling) ook een oorzaak van gezondheidseffecten, zoals epileptische aanvallen, fysiologische effecten en effecten op prestatie en vermoeidheid [64]. Daarnaast wordt er gesuggereerd dat kunstlicht een negatief effect heeft op behaaglijkheid, terwijl het veranderende karakter van het lichtniveau en de kleur van daglicht een stimulerend effect kunnen hebben. Deze en meer studies hebben geleid tot de huidige verlichtingsrichtlijnen, gericht op normering voor daglichtopeningen en richtlijnen voor het karakter (spectrum) en sterkte van licht, of het nu kunst of natuurlijk licht is.

Nog niet zo lang geleden geven bevindingen aan dat de hoeveelheid licht dat in het oog valt, belangrijk is voor de niet-visuele aspecten of niet-beeldende effecten zoals stemming, concentratie, oplettendheid, slaap en reactietijd. Deze bevindingen heropende het licht modelering gebeuren [50]. Via het afgegeven hormoon Melatonine (waardoor we willen slapen) wordt de biologische klok, die voor ons slaap-waak ritme verantwoordelijk is, beheerst door het centrale zenuwstelsel [45]. Licht, voornamelijk kortgolvig licht, onderdrukt de productie van Melatonine. Een goede balans in licht-donker blootstelling is belangrijk voor je slaap-waak ritme en je hormoonhuishouding. De huidige richtlijnen voor binnenverlichting houden geen rekening met deze 24 uren licht-donker effecten op de biologische klok en dus gezondheid.

Van ventilatie naar bronbeheersing

Tijdens het grootste deel van de twintigste eeuw werd voldoende ventilatie beschouwd als de enige manier om een acceptabele binnenluchtkwaliteit te creëren. Aanbevelingen voor een goede binnenluchtkwaliteit waren daarom altijd één op één gerelateerd aan het ventilatievoud [5]. Binnenluchtkwaliteit kan behalve op ventilatievoud echter ook op andere aspecten worden beoordeeld: op haar (gevaarlijke) stoffen of op de directe beoordeling van panels met personen. In 1935 vonden de eerste studies van het

meten van de luchtkwaliteit met gebruik van de menselijke neus als instrument plaats door Lemberg, gevolgd door Yaglou [65], en veel later door Cain e.a. [17] en Bluysen [9]. Panels bestaande uit personen, getraind om de luchtkwaliteit te beoordelen, werden gebruikt om de luchtkwaliteit in 56 kantoorgebouwen uit negen Europese landen te beoordelen [10]. Het werd aangetoond dat bewoners niet de enige verontreinigende bronnen in het binnenmilieu zijn; bekleding en bouwmaterialen, ventilatie- en luchtbehandelingsystemen en activiteiten uitgevoerd door de bewoners, kunnen net zo veel bijdragen aan de verontreiniging of zelfs meer. Het zoeken naar de bronnen, de emissies en de effecten was een feit. Bronbeheersing werd de focus van aandacht.

De effecten van stoffen in de binnenlucht op de gezondheid en behaaglijkheid zijn in de meeste gevallen niet duidelijk aanwijsbaar en de bronnen zijn niet altijd gemakkelijk te bepalen. Sommige stoffen kunnen zelf een nadelig effect hebben, terwijl andere stoffen op zich onschuldig, gevaarlijk worden in bijzijn van andere stoffen. Verder reageren mensen verschillend op dezelfde blootstelling. Er zijn maar enkele voorbeelden waarin een directe relatie tussen een specifieke stof en gezondheidseffecten zijn aangetoond. Bijvoorbeeld formaldehyde, wordt geassocieerd met allergieën, hypersensitiviteit en kanker.

Na jaren van onderzoek werd aangenomen dat bepaalde combinaties van vluchtige organische stoffen (VOS, zeer VOS en semi VOS) het Sick building syndrome kan veroorzaken, ook al is er nooit een duidelijke statistische relatie gevonden tussen concentraties en effect(en). Terwijl de effecten van de in buitenlucht voorkomende stofdeeltjes een hele reeks van nadelige effecten op het ademhaling-, hart- en vatenstelsel kunnen hebben, zoals ademhalingsvergiftiging, voortplantingseffecten en kanker, [63], is dat voor de in binnenlucht voorkomende stofdeeltjes nog niet aangetoond. De samenstelling van deeltjes in de buitenlucht kan heel verschillend zijn van die van de binnenlucht [58].

De wetenschappelijke wereld is er van overtuigd dat bronbeheersing de beste manier is om een goede binnenluchtkwaliteit te bereiken. Toch zijn de richtlijnen en regelgeving ten behoeve

van een goede binnenluchtkwaliteit (nog) niet op dat niveau. Sommige richtlijnen met grenswaarden voor of zelfs banning van bepaalde kankerverwekkende stoffen in de lucht zijn beschikbaar [60]. Op Europees en wereldniveau wordt onderkend dat de binnenluchtkwaliteit een groot probleem is.

Voor directe bronbeheersing, zijn beperkingen (of ban) op het gebruik van bepaalde chemicaliën beschikbaar (i.e. asbest en formaldehyde). In mandaat 366 onder de CPD (Construction Productive Directive [30]) wordt gevraagd om geharmoniseerde testmethoden voor emissies van gevaarlijke stoffen van bouwproducten. Wellicht een eerste stap naar een Europees label. Daarnaast zal CEN/TC 350 een gestandaardiseerde vrijwillige aanpak beschikbaar stellen voor het leveren van milieu informatie van bouwproducten en voor het bepalen van de milieu prestatie van een gebouw. En onder de EPBD (Energy Performance Building Directive) [28], levert mandaat 330 methoden voor het berekenen van energiegebruik en verliezen met in acht neming van de behaaglijkheid van het binnenmilieu in gebouwen. Indirecte bronbeheersing wordt gestimuleerd door bijvoorbeeld wetgeving t.a.v. roken in het binnenmilieu en door het stimuleren van maatregelen ter voorkoming van verontreiniging zoals onderhoud en ontwerpmaatregelen gericht op het voorkomen van groei van de bacterie *Legionella*. In het afgelopen decennium kan een transitie worden waargenomen van de focus op primaire emissie naar secundaire emissie-fenomenen, zoals chemie van de binnenlucht (Indoor Chemistry) en groei van micro-organismen. Het lijkt aannemelijk dat de door Ozon geïnitieerde binnenluchtchemie bijdraagt aan comfort en gezondheidsklachten [59]. Een relatie tussen de concentratie van phthalaten en het risico voor astma, werd gevonden in een studie uitgevoerd door Bornehag e.a. [15]. De groei van micro-organismen op oppervlakten in het binnenmilieu, die vooral gerelateerd is aan de samenstelling van het materiaal en de vochtretentie-eigenschappen van de afwerklaag van een materiaal [1 en 46], moet niet worden onderschat. Onder bepaalde omstandigheden geven micro-organismen stoffen af die irritaties of allergische reacties kunnen

veroorzaken en gezondheidseffecten zoals ademhalingsproblemen, algeheel ziek gevoel en hoofdpijn Fisk e.a. [35] vonden dat vochtigheid van het gebouw en het voorkomen van schimmels, verantwoordelijk zijn voor 30-50 % van een reeks van ademhaling en astma gerelateerde gezondheidseffecten.

Van lawaai storing naar lawaai en gezondheid

In de jaren zestig en daarvoor, erkenden maar enkelen dat burgers het recht hebben om tegen blootstelling aan schadelijk lawaai beschermd te worden. Rond de jaren zeventig en tachtig begint regelgeving in verschillende landen te ontstaan. Beginnend bij de Japanse wet voor lawaai-beheersing, die voornamelijk werkplek en bouwlawaai betrof [36]. Gevolgd door de wet voor lawaai-verontreiniging en bestrijding [52] in Noord-Amerika, en iets later in Europa. In eerste instantie hadden deze wetten vooral betrekking op werkplek en bouwlawaai, later werd lawaai-verontreiniging in het milieu erbij betrokken. Het bepalen van geluidsgrenzen voor wegverkeer en vooral luchtverkeerslawaai, nog steeds een belangrijk onderwerp, heeft geleid tot een significante afname van lawaai veroorzaakt door individuele bronnen. De relatie tussen gezondheidseffecten en lawaai werd een heel belangrijk onderwerp in de jaren negentig. Lawaai is schadelijk voor de gezondheid en beïnvloedt de dagelijkse activiteiten van mensen op school, werk, thuis en tijdens recreatie. Op Europees niveau was de 'Green Paper on Future Noise Policy' [27] de eerste stap naar de ontwikkeling van een lawaai-beleid met als doel dat geen enkel persoon blootgesteld zou moeten worden aan lawaai dat de gezondheid en kwaliteit van leven in gevaar brengt. Lawaai kan tot serieuze gezondheidseffecten leiden, vooral lawaai afkomstig van nachtverkeer [7 en 62]:

- pijn aan en vermoeidheid van het gehoor;
- gehoorproblemen zoals tinnitus; irritatie;
- gedragsproblemen (agressiviteit, protest en hulpeloosheid);
- storing van spraakverstaanbaarheid;
- slaaponderbreking en de effecten die dat met zich brengt op lange en korte termijn;

- hart- en vaatziekten;
- hormonale reacties (stress hormonen) en de mogelijke effecten op het metabolisme (voeding) en immuunsysteem.

Rond 2000 werd de stap naar bescherming binnenshuis genomen. Dosis-effect relaties voor lawaai afkomstig van weg-, lucht- en treinverkeer, en meervoudige blootstelling zijn beschikbaar [62]. Beheersing van lawaai kan worden bewerkstelligd via richtlijnen en/of regelgeving met een verschillend uitgangspunt:

- het beperken van het lawaai dat wordt geproduceerd (de bronnen);
- het beperken van het lawaai dat wordt ontvangen (belemmeringen zoals isolatie en absorptie);
- voorwaarden voor geluid en/of lawaai ter voorkoming van gezondheid- en behaaglijkheidsproblemen.

Ook al zijn relaties tussen geluid parameters en gezondheidseffecten niet altijd duidelijk, voldoende informatie is beschikbaar om indicatieve voorwaarden te bepalen. Richtlijnen op Europees niveau worden aanbevolen door [7]. Over het beperken van lawaai hebben verschillende Europese Directives geresulteerd in grenswaarden voor lawaai geproduceerd door weg-, trein- en luchtverkeer, industrie en andere bronnen [29]. En vanuit de ontvangmode gezien bestaan er grenswaarden voor geluidsisolatie van scheidingmuren binnen en buiten, en geluidabsorptiewaarden van materialen in ruimten.

Op dit moment zijn trillingen veroorzaakt door vooral externe bronnen, zoals verkeer, het onderwerp van studie. Meetprotocollen zijn beschikbaar [42 en 43], maar de dosis-respons relaties zijn (nog) onduidelijk. Trillingen worden over het algemeen door minder mensen waargenomen dan lawaai. Maar waar significante trillingen optreden kan dit een bron van ergernis zijn (of storing veroorzaken of tot een klacht leiden); en/of tot gezondheidseffecten leiden (i.e. slaaponderbreking) [21].

BOTTOM-UP HOLISTISCHE BENADERING

Als reactie op de energiecrisis in de jaren zeventig, werden tegen het einde van de jaren tachtig, milieu gerelateerde zaken steeds belangrijker. Gezond-

heidszaken en een toenemende zorg voor de kwaliteit van het binnenmilieu, kreeg veel aandacht van de media en het publiek. In de eerste epidemiologische studies (vooral nationaal: [16, 55 en 54]) probeerde men relaties te leggen tussen verschillende parameters, bouwdelen en gezondheidseffecten. Deze gezondheidseffecten werden verdeeld in gebouwgerelateerde ziekten, Sick building syndroom en meervoudig chemische gevoeligheid. Het onderzoek daarop volgend is nog steeds onderdeel gerelateerd maar de relatie met andere onderdelen (factoren) wordt veel beter meegenomen. Ergens rond 1990 werd erkend dat klachten en gezondheidseffecten gerelateerd aan het binnenmilieu, waarschijnlijk niet wordt veroorzaakt door één individuele parameter. Ook werd erkend dat psychosociale en persoonsgebonden factoren van belang kunnen zijn, en misschien zelfs nog belangrijker kunnen zijn. Vanwege deze realisatie en ook om meer informatie in te winnen, werden studies met een grote populatie en meer verspreid, uitgevoerd, i.e. Europees Audit project [10] en EXPOLIS [48] in Europa, BASE studie in Noord-Amerika [3]). En meer recent laten bevindingen van Europees woningonderzoek door de WHO zien dat er een relatie bestaat tussen de huidige woonomstandigheden (thermisch comfort, verlichting, vocht, schimmels en lawaai) en de gezondheid en welzijn van de bewoners [14]). Deze relatie is duidelijk gecompliceerd.

Sick building syndroom en verder

Het Sick building syndroom wordt gekarakteriseerd door dezelfde symptomen als gerapporteerd in een niet ziek gebouw, maar dan met een hogere frequentie. Het is zelden mogelijk om de voorkomende symptomen te verklaren door één factor zoals formaldehyde of stof. Het is mogelijk dat meer dan één factor tot dezelfde symptomen leidt, bijvoorbeeld stralingsverwarming en formaldehyde kunnen beiden droge ogen tot gevolg hebben. Vanuit de optiek van onderzoek lijkt de hypothese dat meerdere factoren, elk met een waarde die onwaarschijnlijk een symptoom veroorzaakt, samen tot symptomen kunnen leiden, aannemelijk. Het wordt geaccepteerd dat we te maken hebben met een meervoudig factor oorzaak-effect probleem en

onderzoek laat zien dat veel van de individuele factoren die geassocieerd zijn met symptomen, gerelateerd zijn aan bewoning van gebouwen. Een meer degelijke kennis van de mechanismen erachter ontbreekt echter. Veel van de zogeheten oorzaken zouden best indicatoren van anderen kunnen zijn.

Alle studies zover hebben aangetoond dat de zogeheten 'verwarrende' factoren zoals leeftijd, sekse, werk status, sociale status etc. invloed hebben. De mechanismen voor de symptomen zijn echter niet duidelijk. Psychologische condities zijn ook belangrijke factoren; die zijn of direct (bv. moeheid) geassocieerd met de genoemde symptomen of veroorzaken een toename van de gevoeligheid voor fysische en chemische blootstelling. In sommige gevallen is het de vraag welke van de twee groepen factoren, psychologische of fysische, het bepalende element is of dat ze überhaupt met elkaar in verband staan.

Prestatie indicatoren

Behalve het analyseren van de oorzaken van het Sick building syndroom, zijn er in de laatste decennia verscheidene concepten en instrumenten ontwikkeld en gebruikt voor het evalueren van de prestatie van de gebouwde omgeving, gebouwen, bouwdeelen of specifieke aspecten van gebouwen [11]. De nadruk van deze concepten en/of instrumenten varieerde (technisch, functioneel, etc.) maar ook de doelgroep voor wie ze bestemd waren. De meeste concepten en instrumenten zijn gericht op de gebruiksfase (bewoning) van een gebouw en slechts een enkele op de initiatie fase. Het lijkt erop dat heel veel methoden bestaan voor "probleem oplossen" en maar weinig voor het "voorkomen". Geen enkel concept of methode is beschikbaar waarbij de eisen en wensen van alle betrokken partijen gedurende de gehele levenscyclus van een gebouw als uitgangspunt dienen. Veel pogingen zijn gedaan om de eisen van de eindgebruiker mee te nemen in deze prestatieconcepten, door middel gebruikersprofielen of via het in kaart brengen van de aspecten die moeten worden meegenomen. De meeste concepten en instrumenten bestaan uit verscheidene categorieën van aspecten en subaspecten. Echter, de aspecten die het meest incompleet zijn of zelfs

- Circa 20 % van de Europese bevolking is allergisch voor mijten en schimmels. Het krijgen van astma en allergieën in woonhuizen neemt toe [41]. In een meta-analyse van gezondheidseffecten als gevolg van vochtigheid, werd aangetoond dat vocht en schimmels in gebouwen gerelateerd zijn aan een 30-50 % toename van een variëteit aan astma gerelateerde gezondheidsklachten [35].
- In de meeste landen is het overlijdingspercentage in de winter 5-25 %. In Engeland komt dat neer op 20-40.000 geschatte doden [19a]. Er zijn duidelijke aanwijzingen dat deze overmaat in de winter is te wijden aan slechte thermische isolatie en brandstof 'armoede'. Hetzelfde geldt voor een toename in problemen met het ademen, hart- en vaatstelsel. In een Harvard-studie zijn soortgelijke effecten van koude stress aangetoond [49].
- Slaaponderbrekingen, gerelateerd aan een aantal binnenmilieu parameters, vergroten het risico op huishoudelijke ongelukken met ten minste 46 %. Ongeveer 350 miljoen Europeanen klagen regelmatig over slaapproblemen [14].
- In 15 landen in Europa vonden in 1998 meer dan 10 miljoen verwon-

dingen plaats als gevolg van ongelukken in en om het huis. Dit resulteerden in meer dan 1 miljoen ziekenhuisopnames en meer dan 42.000 doden. De meest voorkomende oorzaken bleken onvoldoende verlichting en te weinig (werk)ruimte in keukens en trappenhuizen. [14].

- In circa 25 % van de gezinnen lijdt ten minste één gezinslid aan een geestelijke aandoening. Dit is wereldwijd de hoofdoorzaak van arbeidsongeschiktheid. Depressiviteit komt bij 19 % van volwassenen voor, en neemt sterk toe met leeftijd. Antidepressiva recepten zijn de afgelopen 10 jaar verdrievoudigd [14]. Een toename in zwaarlijvigheid is de hoofdoorzaak voor de toename in diabetici en risicotoename voor hart- en vaatziekten. Zwaarlijvigheid vermindert de levensverwachting [31]. Zowel zwaarlijvigheid als geestelijke aandoeningen lijken een relatie te hebben met de condities van het binnenmilieu en de buurtomgeving waar mensen steeds meer tijd doorbrengen [14].
- In 2000, overleden in Europa circa 350.000 mensen eerder als gevolg van buitenluchtverontreiniging veroorzaakt door fijn stof (PM_{2,5}). 11.5 % van de kinderen in Europa heeft last van astmatische klachten [31].

Enkele feiten over (on)gezonde gebouwen.

- FIGUUR 2 -

geheel ontbreken, zijn gerelateerd aan de eindgebruikers.

ENKELEN FEITEN

De meeste nationale, Europese zelfs wereldwijde organisaties, zijn het erover eens dat het binnenmilieu en haar parameters, inclusief werk en woonruimten, een gevaar voor de gezondheid kunnen zijn. Voor het verbeteren van deze situatie zijn richtlijnen opgezet, actie programma's in werking gesteld en einddoelen geformuleerd. Hoewel de Europese richtlijn voor veiligheid en gezondheid van werknemers [26] bijna 20 jaar geleden is gemaakt, toch kunnen we nog niet zeggen dat alle werknemers en mensen zich in hun omgeving (binnen en buiten) gezond en comfortabel voelen (zie

ook kader 1). Op de werkplek wordt een verschuiving van lichamelijke klachten naar geestelijke aandoeningen (depressiviteit) geconstateerd [32]. En, een discrepantie tussen huidige richtlijnen en de wensen en eisen van de eindgebruikers lijkt aanwezig [12].

Discrepantie huidige richtlijnen en behoeften van eindgebruikers

Ook al wordt aan normen en richtlijnen voor individuele binnenmilieu parameters voldaan, uit verscheidene studies kan worden geconcludeerd dat de binnenmilieukwaliteit zoals die door de bewoners wordt ervaren vaak niet acceptabel en zelfs ongezond is, zodanig dat zelfs gezondheid en behaaglijkheidsproblemen optreden. Deze wanverhouding kan verschillende oorzaken hebben:

- de relatie tussen objectieve meting

en menselijke beoordeling is niet voor alle fysische/chemische parameters bekend. Een consensus model voor luchtkwaliteit is niet beschikbaar. Voor licht hebben recente bevindingen aangetoond dat de helderheid van de omgeving de sleutel is en niet alleen de verlichtingssterkte (LHRE, 2002) [50];

- zelfs, wanneer volwassen modellen voor de afzonderlijke subjectieve onderwerpen zouden bestaan (i.e. thermisch comfort [33] en geluid); dan is nog steeds het totaal effect van alle afzonderlijke fysische/chemische factoren grotendeels onbekend.

Een kwantitatieve beoordeling van een individuele binnenmilieu parameter is slechts mogelijk als:

- de parameter van belang een duidelijke relatie heeft met een symptoom/klacht van de bewoner (dosis-effect);
- de invloed van andere factoren op deze relatie bekend zijn en kunnen worden gekwantificeerd.

Binnenluchtkwaliteit is een goed voorbeeld om de complexiteit van normering aan te geven. Voor binnenluchtkwaliteit worden meestal minimum ventilatiehoeveelheden (in l/s per persoon en/of l/s per m² vloeroppervlak) en limietwaarden voor enkele specifieke stoffen (bijvoorbeeld CO₂, CO, NO₂, O₃, PM₁₀ en PM_{2,5}) toegepast. Emissies van bouwmaterialen en personen, vooral VOS (vluchtige organische stoffen), die een effect kunnen hebben op comfort (geur, irritatie) en/of gezondheid (kanker, astma, etc.) zouden met bovenstaande aanbevelingen moeten zijn gedekt. Maar zijn ze dat echt?

Volgens Persily [51] zijn er aanwijsbare gaten in de theorie (wetenschap) waarop ventilatiehoeveelheden zijn gebaseerd. Bijvoorbeeld, gevolgen voor gezondheid en comfort van alle verontreinigingen behalve lichaamsgeur en verschillen in deze gevolgen voor individuen.

De binnenlucht bestaat uit een complex mengsel van stoffen waarvan de bron en effecten nauwelijks bekend zijn voor al die stoffen. Bovendien is het bepalen van limietwaarden voor alle aanwezige stoffen niet realistisch gezien het aantal.

Op de binnenluchtsessie van de Unie

van Europese Bodemwetenschappen [19], werd geconcludeerd dat de waargenomen gezondheidseffecten (exclusief geurwaarneming) mede worden veroorzaakt door de aanwezigheid van analytische instabiele producten als gevolg van oxidatie. De geur limietwaarden bleken voor veel VOS aanzienlijk lager dan eerder gerapporteerd. Deze bevindingen geven aan dat zeer lage concentraties van organische stoffen verantwoordelijk zijn voor de geur veroorzaakt door emissies van verontreinigende bronnen, en hoeven de voornaamste geëmitteerde stoffen niet verantwoordelijk te zijn. Nieuw gevormde of vervallen emissies veroorzaakt door reacties met ozon, onder invloed van licht, maken het geheel nog complexer.

De volgende vraag komt dan op: *“Gebruiken we de juiste parameters voor het beschrijven van binnenluchtkwaliteit in onze richtlijnen en normen?”*

Zijn de minimum voorgeschreven ventilatiehoeveelheden, gebaseerd op alleen lichaamsgeur (CO₂) en tot op zekere hoogte op primaire emissies van enkele bouwmaterialen, voldoende?

Of hebben we iets anders nodig?

De complexiteit van en het aantal binnenmilieu parameters plus gebrek aan kennis, maken een prestatiebeoordeling met gebruik van limietwaarden voor enkelvoudige parameters moeilijk en zelfs zonder betekenis.

In de traditionele ‘bottom-up’ benadering, gericht op het definiëren van limietwaarden voor binnenmilieu parameters, zijn verschillende opeenvolgende stappen nodig, i.e.:

- stap 1: identificatie van bronnen en andere factoren van invloed;
- stap 2: definitie van dosiseffect relaties;
- stap 3: het bepalen van limietwaarden voor erkende gevaarlijke stoffen/verontreinigingen;
- Stap 4: assimileren of integreren van alle factoren zodanig dat tevredenheid van de eindgebruiker wordt bereikt.

Huidige normering en richtlijnen zijn en worden nog altijd in de context van een dergelijke benadering ontwikkeld. Behalve voor de vanzelfsprekende behoefte om limietwaarden voor gezondheidsbedreigende stoffen te bepalen, is het de vraag of deze benadering het einddoel, een gezond, comfortabel en veilig binnenmilieu, in de

nabije toekomst kan bereiken. De meeste normen zijn gebaseerd op gemiddelden. Het feit dat gebouwen, individuen en hun activiteiten behoorlijk kunnen verschillen en bovendien continue veranderen, wordt niet meegenomen. Wanneer men bovendien zowel het aantal binnenmilieu verontreinigingen en het gebrek aan een wetenschappelijk stevige basis beschouwt, dan lijkt het haast onmogelijk de laatste en complexe integreerende stap te nemen.

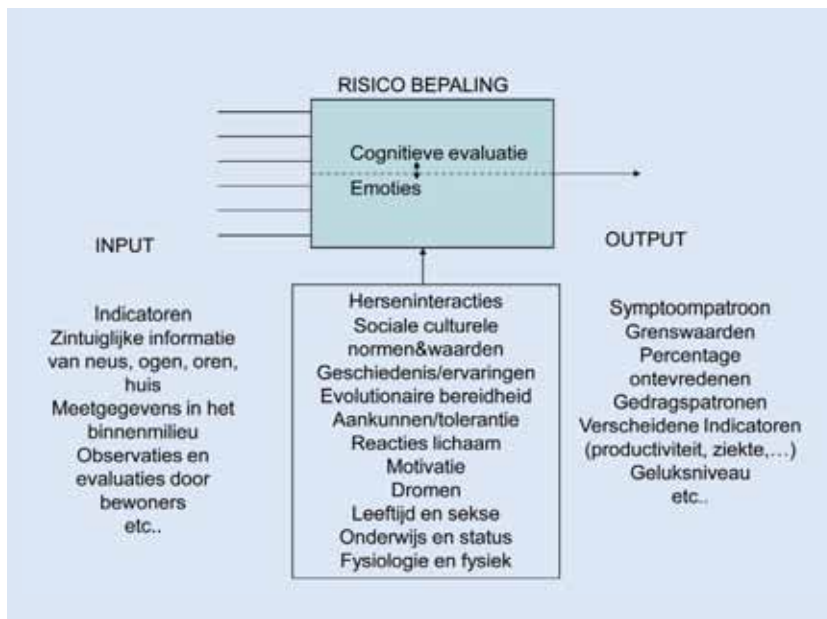
Van stimuli naar gedrag

Omgevingsprikkels veroorzaken lichamelijke sensaties, die op hun beurt het perceptieproces in werking zetten, waarop wij in de vorm van gedrag en/of beoordelingen reageren [57]. Deze prikkels kunnen onze sensatie via drie belangrijke regel- en beheersystemen in het menselijke lichaam beïnvloeden: het zenuwstelsel, het immuun systeem en het endocrien systeem. Dit resulteert in zowel mentale (e.g. herinneringen, angst, etc.) als fysieke effecten (vlucht, gevecht, bescherming, etc.). Prikkels kunnen veranderingen in onze psychologische toestand veroorzaken, waarvan we de oorzaak niet weten (onbewuste ervaring), en kunnen ook schadelijk zijn voor onze fysieke toestand van welzijn (bijvoorbeeld onzichtbaar licht, gasen, chemische stoffen, straling etc.). Wij zijn opgevoed om kenbaar te maken wat voor eten we lekker vinden. We kunnen dat redelijkerwijs, binnen bepaalde grenzen, aan een kok aangeven in termen van zout, zoet, bitter en zuur. Voor een huis of voor de functie wonen zijn we veel minder opgeleid. We worden geconfronteerd met een bestaand huis of ontwerp en we moeten onze behoeften vervullen binnen de bestaande grenzen. Daarnaast kunnen de meeste mensen ook niet aangeven welke behoeften (fysiek en mentaal) ze hebben, wat het leveren van prestatie op vraag van de echte eindgebruiker moeilijk maakt. Er bestaat vaak een discrepantie tussen wat mensen ons zeggen wat ze nodig hebben en wat hun gedrag ons verteld, en wat ze ons vertellen wat de oorzaak van bepaalde klachten is en wat het echte probleem is. De reden hiervoor ligt in de manier(en) waarop wij informatie verwerken: bewust (cognitief) en onbewust (emoties). Het begrijpen van dit verwerkingsproces op fysiolo-

gisch en psychologisch niveau is daarom belangrijk voor het modelleren of voorspellen van menselijk gedrag onder verschillende omgevingsomstandigheden.

De afgelopen jaren zijn verschillende verklaringen gezocht voor hoe ons verstand werkt. In deze benaderingen wordt bewustzijn op verschillende manieren uitgelegd. In grote lijnen kunnen die benaderingen in tweeën worden gesplitst, met de opmerking dat ze eigenlijk op elkaar aansluiten. Het grootste verschil is dat in de ene benadering het bewustzijn als inhoud,

- economisch: efficiency, netto huidige waarde, terugverdientijd, etc.;
 - technologisch: intelligent, belastbaar, duurzaam, etc.;
 - persoonlijk: zoals sekse, ervaring, geanticiperde emoties, etc.;
 - metafysisch of binnen gerelateerd: water, wind, vuur, materiaal eigenschappen, etc.;
 - dynamisch (flexibiliteit) of statisch (blijft hetzelfde zoals geselecteerd/gekozen/bepaald).
- Huidige prestatie-indicatoren of risicobepalingen voor gezondheid en comfort, die proberen om gedrag te



Input parameters en output indicatoren van een evaluatie of risico bepaling.

- FIGUUR 3 -

gegevens (bewust zijn van) beschouwd (van binnen naar buiten) en de andere benadering bewustzijn als onderdeel van de eigen ik ziet (van buiten naar binnen).

De relatie tussen binnenmilieufactoren en complex menselijk gedrag is dus niet simpel. Maar toch moet dit binnenmilieu voldoen aan de diverse behoeften van bewoners waarvan de belangen vaak conflicteren.

De factoren die ons gedrag beïnvloeden bestaan uit een combinatie van emotionele en cognitieve factoren. Deze factoren kunnen verschillen per situatie (context), per individu, en kunnen verschillende waarden hebben die in de tijd veranderen. Invloedsfactoren kunnen bijvoorbeeld zijn:

- sociaal cultureel: sociale controle, persoonlijke hygiëne, individualisme, normen en waarden, etc.;

normaliseren aan de hand van een aantal factoren, missen meestal het individuele "emoties" deel. Dit verklaart tenminste deels de spreiding die men in de praktijk tegenkomt tussen wat de "norm" zegt dat de eindgebruiker wil en wat de eindgebruiker eigenlijk "wens". Een universele maat voor gezondheid en comfort lijkt niet realistisch. In figuur 3 worden enkele mogelijk waarden en maten gegeven voor een beoordeling van het binnenmilieu (OUTPUT), als gevolg van verschillende blootstellingen (INPUT).

BEHOEFTE AAN EEN ANDERE BENADERING

De behoeften van eindgebruikers zijn niet alleen context afhankelijk, maar worden ook door externe en interne invloeden gevormd.

Klimaatverandering

Vanaf de eerste kooldioxide metingen in 1958 door Revelle [37], hebben wetenschappers ons gewaarschuwd voor klimaatverandering en haar mogelijke gevolgen. Dit probleem wordt "radiative forcing" genoemd en is gedefinieerd als de verandering in netto straling op de top van de troposfeer (lagere atmosfeer). Positieve "radiative forcing" verwarmt het aardoppervlak om de warmtebalans in stand te houden. Negatieve "radiative forcing" zou het aardoppervlak afkoelen [39]. In de wetenschappelijke literatuur bestaat een debat en controverse over de oorzaak van radiative forcing, en vooral over de relatieve bijdrage van antropogene of menselijke veroorzaakte bronnen versus natuurlijke invloeden zoals de variatie van de zonneactiviteit en straling [56]. Ook al lijkt het duidelijk dat er iets aan de hand is, het voorspellen van wat er de komende eeuw staat te gebeuren blijft moeilijk. Maar zoals Al Gore in zijn boek "An inconvenient truth" [37] aan geeft: "The truth about the climate crisis is an inconvenient one that means we are going to have to change the way we live our lives".

Sociale invloeden

Behalve de klimaatverandering als externe kracht, zijn er ook sociale krachten die de behoeften van de eindgebruikers en dus de voorwaarden voor een goed binnenmilieu kunnen beïnvloeden: De verandering van een familie georiënteerde maatschappij naar een multifunctionele en diverse maatschappij in de laatste decennia en de toenemende individualisering veroorzaakte door de veroudering en de toename in één en tweepersoons huishoudens. Meer en verschillende behoeften zijn het gevolg voor binnenmilieu. Het groeiende aantal ouderen zal langer onafhankelijk leven en actief zijn tot op hoge leeftijd. De toenemende groep van éénpersoonshuishoudens en de groeiende groep van paren met elk een inkomen vragen om meer kwaliteit en hebben behoefte aan een ander soort binnenmilieu dan de meerpersoonshuishoudens met één inkomen. De toenemende individualisering zal ook de behoefte aan flexibele gebouwen beïnvloeden. Dit geeft aan dat gebouwen in staat zullen moeten zijn om zich sneller aan te passen om aan de behoeften van de "nieuwe" gebrui-

ker te kunnen voldoen. Als gevolg zullen gebouwen een kortere economische levensduur hebben en de bouw-industrie zal daar op moeten anticiperen. De levensverwachting is toegenomen van 50 naar 80 jaar in minder dan een eeuw, terwijl de bouwvoor-raad slechts met 60 % is vernieuwd gedurende dezelfde periode [22]. Ter-wijl er wereldwijd in 2000 nog 600 miljoen mensen ouder dan 60 leefde; zullen er in 2025 meer dan 1,2 biljoen zijn en 2 biljoen in 2050 [61]. Deze toenemende ouder wordende bevolking veroorzaakt een even grote toename van de risicogroepen met het oog op gezondheid, veiligheid en welzijn. Zorg voor ouderen en sociale betrokkenheid zijn groeiende gebouw gerelateerde zaken.

Daarnaast wordt een verandering in de soort behoeften van eindgebruikers waargenomen. Op de ladder van Maslow, de hiërarchie van behoeften [51], hebben we het hoogste niveau van zelfactualisering bereikt. Het niveau waarin cognitieve behoeften (kennis, betekenis, etc.), esthetische behoeften (waardering en zoektocht naar schoonheid, balans, vorm, etc.), zelfverwezenlijking (realisatie van eigen potentieel, zelfvoldoening etc.) niet meer genoeg zijn. Transcendentiele (superioriteit) behoeften, het helpen van anderen om zelfactualisering te bereiken, zijn dominant. Totale klantervaring is een goed voorbeeld hiervan, i.e. het toepassen van eisen en wensen van een klant zodanig dat ze niet alleen afzonderlijke binnenmilieu-producten krijgen en gebruiken maar als een geheel ervaren [40].

Interacties

Het begrijpen van de interacties in het binnenmilieu op de verschillende niveaus en plaatsen is een vereiste voor het creëren en handhaven van een gezond en comfortabel binnenmilieu (zie figuur 4). De volgende interacties vinden plaats:

- interacties op menselijk niveau: fysisch, mentaal en tussen mensen. Ontvangen informatie (sensaties) kan vanuit de fysiologie van het lichaam worden beschouwd en/of vanuit psychologisch oogpunt. Op beiden niveaus vinden interacties plaats. Verder moeten interacties tussen mensen niet worden vergeeten; deze interacties kunnen een

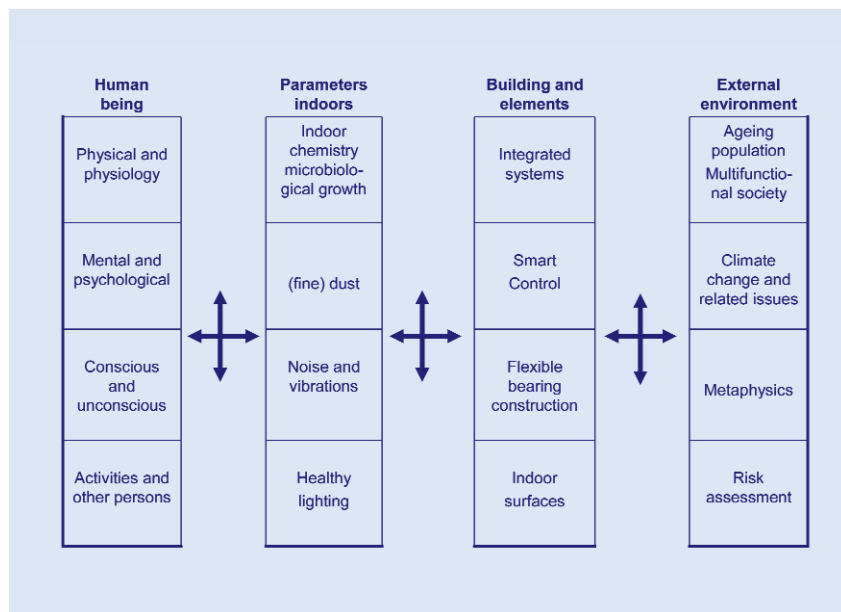
behoorlijk effect hebben op de lichamelijke en mentale toestand van een mens in een binnenmilieu.

- interacties op omgevingsparameter-niveau: interacties vinden plaats met het binnenmilieu en/of met het buitenmilieu. De interacties die belangrijk worden geacht op binnenmilieu parameter niveau zijn 'Indoor Chemistry', de chemische reacties tussen stoffen in de lucht, en microbiologische groei op binnenoppervlakken. Belangrijke interacties met het buitenmilieu zijn: lawaai van buiten, fijn stof en biologische verlichting;

Al deze interacties bepalen uiteindelijk hoe jij je voelt, hoe gezond je bent en hoe comfortabel jij bent op een bepaald moment in de tijd. Ze bepalen hoe de wisselwerking tussen jou en je omgeving in de tijd verloopt.

Belanghebbenden van het binnenmilieu en communicatie

De direct belanghebbenden van het binnenmilieu zijn alle partijen die het binnenmilieu initiëren, ontwerpen, bouwen en onderhouden. Deze partijen hebben allemaal hun eigen belan-



Interacties op verschillende niveaus [13].

- FIGUUR 4 -

- interacties op gebouw(element) niveau: tussen gebouwelementen (zoals in het Europese project TOBUS [18] en tussen gebouw en omgeving, zoals interactie van het gebouw met het oppervlak waarop het rust (de fundering van het gebouw), interactie van het buitenmilieu met het gebouw (de bescherming en doorgeef eigenschappen van de gevel) en interactie van het gebouw met het binnenmilieu (zoals onderhoud en emissie van de binnenwanden en de wel of niet in de gevel geïntegreerde licht-, verwarming-, koeling- en ventilatiesystemen);
- interacties van de mens (de eindgebruiker) met zijn/haar omgeving vanuit de omgeving of vanuit de mens: van binnen naar buiten of van buiten naar binnen.

gen en behoeften bij het deelnemen aan dat proces. In het traditionele proces, initieert in de meeste gevallen de projectontwikkelaar een nieuw project. Vanaf de koop of acquisitie van de bouwlocatie tot aan de oplevering, zijn de regelgever, de aannemer, het ontwerp team (gewoonlijk alleen de architect) en de eigenaar betrokken. De betrokken partijen maken vaak gebruik van de zogeheten over de schutting methode: wanneer men iets af heeft geeft men het aan de volgende zonder terug te kijken (het is niet langer mijn verantwoordelijkheid). Een echt team wordt niet gevormd. Partijen begrijpen elkaars belangen of producten niet. Uiteindelijk bepaald de meest dominante belanghebbende het resultaat, wat in ontevreden eindgebruikers kan resulteren. Tijdens onderhandelingen tussen de verschillende belanghebbenden worden de gebrui-

kersgerichte en lange duur aspecten vaak onderschat. De eisen en wensen van de eindgebruiker worden slechts op individuele basis meegenomen, i.e. de toeleverende industrie op onderdeel niveau, de architect in het esthetische ontwerp of via de aannemer die innovatieve manieren verzint om sneller, goedkoper en meer arbeidsvriendelijk te bouwen. Echter, geen enkel van deze aanpakken wordt geïnitieerd door of namens de eindgebruiker(s). Een wederzijds begrip door de belanghebbenden van het binnenmilieu, van behoeften en voorwaarden van de eindgebruikers is van cruciaal belang

bewust dat deze benadering niet toereikend is. Aan het begin van de 21^e eeuw staan we voor een grote uitdaging. Hoe moeten we het binnenmilieu beheersen zodanig dat gezondheid en welzijn kan worden bereikt voor iedereen die het aangaat? Hoe zorgen we dat onder invloed van de veranderende wensen en eisen van eindgebruikers en van de veranderende externe factoren, deze gezondheid en welzijn kan worden verzekerd? Het beheersen van het binnenmilieu is een zaak voor vele belanghebbenden op verschillende schaalniveaus (figuur 6). Het is een dynamisch geheel die rekening moet

bouw, onderhoud en afbraak), de verschillende belanghebbenden, de verschillende parameters en onderdelen (materialen, producten en systemen) van het binnenmilieu?

Bij het beantwoorden van deze vragen moet men tegelijkertijd het volgende begrijpen:

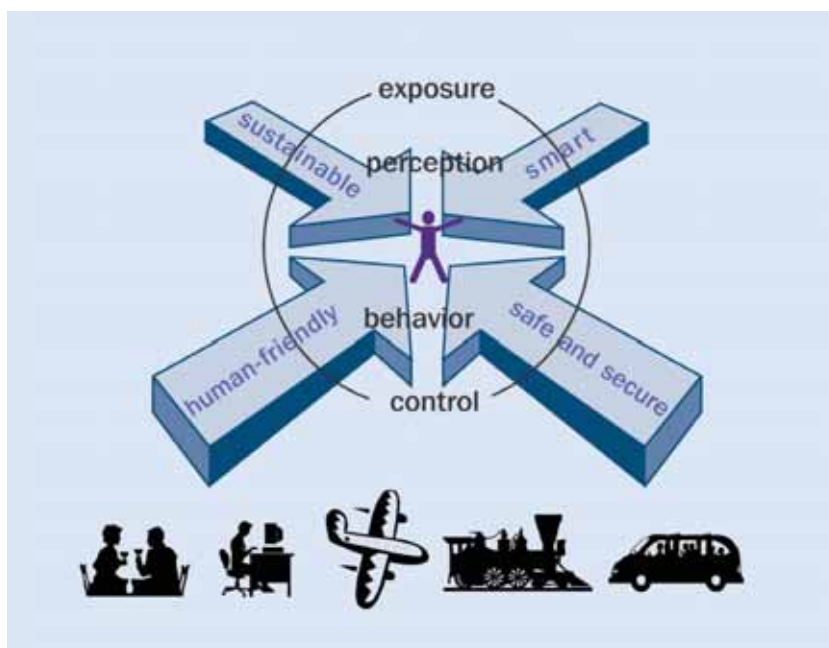
- de context (sociaal, economisch, politiek-juridisch en technologisch) op zowel globaal als lokaal niveau en de daaraan verwante attributen (invloedfactoren op gezondheid en comfort en randvoorwaarden);
- de interacties die plaatsvinden op alle interfaces van de mens, binnenmilieu, gebouw (elementen) en buitenmilieu.

Behalve het vaststellen van wensen en eisen van de eindgebruikers aan het begin van een project, is het proces tussen de betrokken belanghebbenden tijdens de hele levensduur net zo belangrijk voor het goed vertalen van die wensen en eisen. De gekozen *top-down benadering*, analoog aan systeem engineering [8], veronderstelt een nieuwe manier van samenwerken tussen vraag en aanbod. Eigenlijk een nieuwe samenwerking tussen alle belanghebbenden en misschien ook nog andere belanghebbenden dan normaliter betrokken zouden zijn.

In deze benadering bestaat een systeem uit samenhangende onderdelen, waarvan de onderdelen apart maar ook de relaties worden bestudeerd voordat ze terug in elkaar worden gezet. Een systeem heeft invoergegevens (vaststellen eindgebruikers behoeften en benodigdheden), uitkomstgegevens (een systeem dat effectief en efficiënt reageert om een gebruikersbehoefte), opgelegde externe belemmeringen (technologisch, economisch, sociaal, politiek, milieu), en benodigde mechanismen om de gewenste resultaten te realiseren (mens, machine/software, faciliteiten/data, materialen, onderhoud). Er zijn producten en processen in het systeem aanwezig. De levenscyclus van het systeem bevat: vaststellen behoefte, ontwerp en ontwikkeling, productie en/of bouw, gebruik en onderhoud, hergebruik en afval.

De top-down benadering bevat de volgende stappen:

- stap 1 *Wensen en eisen*: systeemgren-



Waarden van belanghebbenden in de gebouwde omgeving [12].

- FIGUUR 5 -

voor het leveren van een goede prestatie. Met andere woorden, professionals zullen eerst de behoeften van de eindgebruiker moeten bepalen, en begrijpen voordat ze in oplossingen beginnen te denken (figuur 5).

DE INTERACTIEVE TOP-DOWN BENADERING

De (wetenschappelijke) benadering voor het beheersen van het binnenmilieu met als doel een goede gezondheid en welzijn van mensen in het binnenmilieu, heeft zich vooral gericht op enkelvoudige onderdelen en tot op zekere hoogte op relaties tussen deze onderdelen. Zowel de wetenschappelijke wereld als de bouwindustrie en regelgevers, worden zich steeds meer

houden met veranderingen in de tijd op die verschillende niveaus en van de belanghebbenden.

Een interactieve top-down benadering wordt daarom voorgesteld, die naast de traditionele bottom-up benadering kan worden toegepast om de behoeften van eindgebruikers te bepalen. In de 'top-down' benadering gaat het om het beantwoorden van de volgende twee vragen:

- hoe moet het beginpunt worden gedefinieerd: wat zijn de voor de gezondheid en comfort relevante voorwaarden van eindgebruikers en andere belanghebbenden?
- hoe moeten deze voorwaarden worden vertaald naar de verschillende gebouwfasen (initiatie, ontwerp,

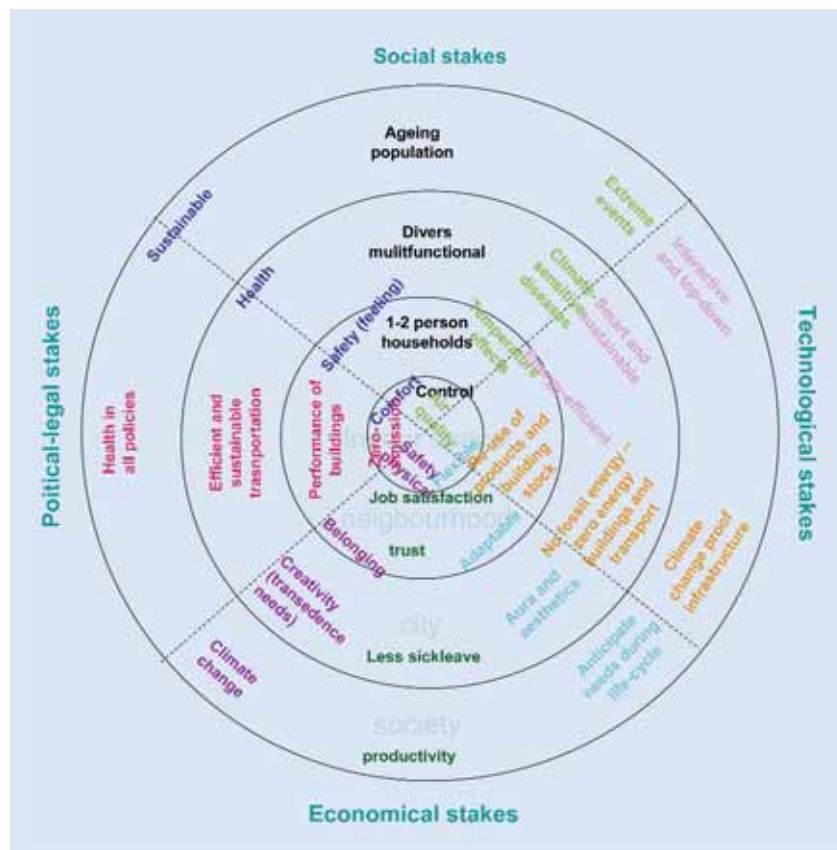
- zen en voorwaarden (systeemcriteria);
- *stap 2 Van eisen en wensen naar technische voorwaarden:* conceptueel ontwerp;
- *stap 3 Van technisch voorwaarden naar experimenteren:* voorontwerp;
- *stap 4 Prototypen:* detail ontwerp en ontwikkeling;
- *stap 5 Demonstratie en marketing:* productie en/of uitvoering;
- *stap 6 Bewoning en verandering:* operationeel gebruik en ondersteuning;
- *stap 7 Afbraak en hergebruik:* afscheid van het systeem en materiaalhergebruik/afval.

Tijdens het hele ontwerp en ontwikkeling van het systeem zijn er vele verschillende alternatieven (of onderhandelingen) die een bepaalde evaluatie vereisen. Een goede communicatie tussen de belanghebbenden is dus belangrijk vanaf het begin. Het benodigde "team" varieert in elke fase omdat bij de ontwikkeling van het systeem de benodigde kennis verandert. Terwijl aan het begin individuen met een meer breed georiënteerde achtergrond gewenst zijn, zal bij het detail ontwerp en de ontwikkelingsfase dieptekennis nodig zijn en dus experts. De behoefte aan goede communicatie tussen de teamleden geldt echter voor alle stappen, net zoals het begrijpen van de vele bestaande interfaces. Het missen van een bepaalde discipline is vaak een oorzaak van problemen. Het is daarom belangrijk om alle mogelijke disciplines in alle stappen/fasen van het proces te mee te nemen, zeker aan het begin wanneer de randvoorwaarden en de benodigdheden van het systeem worden vastgelegd.

Met het beginteam worden de systeemcriteria bepaald en de ontwerpen voor de verschillende disciplines gemaakt. Systeemanalyses en onderhandelingen worden uitgevoerd, de ontwerpen worden getoetst en geëvalueerd. De ontwerpen worden herzien, veranderd en aangepast voor de volgende ronde totdat de resultaten voor ieder teamlid acceptabel zijn en de volgende stap in het proces kan worden genomen. Alle keuzes worden gemaakt op basis van onderhandelingen over opties voor materialen, dimensies, installaties, structuur, vorm, etc. maar altijd met de vastgestelde systeemcriteria als controle.

Bij een eerste toepassing van deze systeemengineering benadering voor een geïntegreerd ontwerp voor sociale woningbouw, werd een team samengesteld voor het zogeheten OMNIUM project [12]. Ten behoeve van het vaststellen van de systeemcriteria (stap 1) en het conceptueel ontwerp (stap 2) werd de "concurrent design approach", gebaseerd op de succesvolle gebruikte

haalbaar is en wat door dan voor nodig is, toch kunnen er een aantal kanttekeningen worden gemaakt bij de gevolgde methodiek. Ten eerste bleek het heel moeilijk voor sommige teamleden om open te staan voor meerdere opties tegelijk, zonder daarbij direct in technische of architectonische oplossingen te denken. Dit is een belemmering voor de eerste stap waar-



Belangen op verschillende niveaus [13].

- FIGUUR 6 -

methode in de European Space Agency Concurrent Design Facility (ESA CDF) (esa.int/cdf), toegepast. Deze methode maakt het mogelijk voor ESA om de tijdsduur van een conceptueel ontwerp en/of haalbaarheid studies met een factor vier in tijd te reduceren en daarom de kosten voor dergelijke activiteiten met een factor twee. Afhankelijk van de gewenste resultaten en de systeemcriteria, worden de vereiste expertises bepaald en de experts uitgenodigd door de klant (in OMNIUM: een Nederlands sociale woningbouw corporatie) om aan het team mee te doen.

Ook al heeft deze oefening inderdaad geleid tot de benodigde informatie om een beoordeling te kunnen maken of een dergelijk project (OMNIUM)

in de grenzen en benodigdheden van het systeem worden vastgesteld en vooral nog niet in oplossingen moet worden gedacht. Niet iedereen is geschikt voor deze werkwijze. Leden van het beginteam zullen dus daarop moeten worden geselecteerd. Ten tweede, hadden sommige teamleden moeite met het loslaten van de traditionele rol die ze gewend zijn te spelen. Dit werkt destructief voor de andere teamleden. Het is belangrijk dat iedereen gelijkwaardig wordt behandeld en zichzelf ook gelijkwaardig ziet. En ten derde, het betrekken van teamleden die normaal niet betrokken zijn in het bouwproces, zoals een industrieel ontwerper of een vliegtuigbouwer, zijn meer bereid om 'out of the box' te denken. Het lijkt

dus een goede aanbeveling om niet-traditionele partijen erbij te betrekken. Tot slot, treden conflicten tussen sommige systeemcriteria op omdat dit een gecombineerde ontwerpinspanning vereist. Het scheiden van de technische verantwoordelijkheid en de functionele en architectonische verantwoordelijkheid is niet de oplossing, maar wel een makkelijke valkuil.

TOT SLOT

Het is duidelijk dat de eindgebruiker betrokken moet zijn in het ontwerp-proces om zijn/haar wensen en eisen te identificeren. Daarom is er een procedure nodig waarbij zowel de traditionele bottom-up benadering als de top-down benadering worden gebruikt (interactief). Een dergelijke procedure zou uit de volgende stappen kunnen bestaan (geïnspireerd door [38]):

1. bepaal de wensen en eisen van de eindgebruiker, hun profiel (indien mogelijk de mentale en fysieke condities van de eindgebruiker(s) inclusief de context en attributen zoals eerder genoemd) en probeer deze te vertalen in grenzen en voorwaarden van het binnenmilieu criteria;
2. bepaal de mogelijke risico's, met behulp van alle betrokken belanghebbenden (inclusief de eindgebruikers), gerelateerd aan de bepaalde binnenmilieu criteria en de profielen van de eindgebruikers;
3. voor eenvoudige of bekende risico's met weinig onzekerheden, kan de klassieke benadering worden toegepast met behulp van kwantitatieve statistiek. Bijvoorbeeld bij het gebruik van bestaande regelgeving voor formaldehyde en fijn stof;
4. voor comfort gerelateerde risico's (altijd met de mogelijkheid een gezondheidsrisico te worden), moet de eindgebruiker direct worden betrokken. Een prototype van het betreffende object of reconstructie van de activiteit kan worden gebruikt. Indien nodig kunnen (wetenschappelijke) experts worden geraadpleegd. Ga echter niet zomaar uit van een gemiddeld reagerende persoon;
5. voor gezondheidsgerelateerde risico's die met meer dan één factor samenhangen en waarvoor geen acceptabele richtlijnen of regelgeving beschik-

baar zijn, zal de balans tussen efficiëntie en redelijkheid moeten worden bepaald. Bijvoorbeeld het risico ziek te worden van microbiologische groei op een bepaald materiaal dat bekendstaat geschikt te zijn voor groei, is niet zo duidelijk ook al weet men dat het kan gebeuren. Men kan afwegen of het redelijk is om dit materiaal te gebruiken op plaatsen waar de condities voor groei gunstig zijn zoals in een badkamer. Een ander voorbeeld is het gebruik van luchtbehandelingsinstallaties gezien in het licht van energie versus gezondheid;

6. als controversie bestaat over een zeker risicoaspect (anders dan kans en mate van gezondheidsschade), of een risico wordt bestempeld als onbekend en nieuw, dan zullen de belanghebbenden moeten worden betrokken. Bijvoorbeeld bij het bepalen van het risico van GSM-masten of voor ontwerpconcepten waarbij nieuwe materialen en nieuwe configuraties worden toegepast. Het is dan wellicht nodig om gedragsonderzoek, interviews, etc. uit te voeren;
7. wanneer onzekerheden tegelijkertijd met de ernst en mate toenemen (bijvoorbeeld klimaatveranderingseffecten of (fijn) stof van buiten), is een wetenschappelijk onderzoek en/of zelfs een politiek debat nodig. Dit moet dan leiden tot een breder geaccepteerde definitie van het risico, een strategie om het probleem te meten of om erop geattendeerd te blijven, en uiteindelijk een beslissingsprotocol (plan de campagne).

Voor vertaling van binnenmilieucriteria naar technische criteria van de gebouwde omgeving, zijn de gepresenteerde interacties maar ook het gehanteerde communicatieproces in de top-down benadering heel belangrijk. De eisen en wensen van de eindgebruiker zullen uiteindelijk moeten worden omgezet in concrete bouwproducten (gebouw en elementen) en processen (onderhoud, energiegebruik, beveiliging, klimatisering) door de belanghebbenden in het bouwproces gedurende de hele levensloop van dat binnenmilieu. 

REFERENTIES

1. Adan, O.C.G., 1994, *On the fungal defacement of interior finishes, doctoral thesis*, Technical University of Eindhoven.
2. Adan, O.C.G. and Bluysen, P.M., 2004, *(Ver)huren in de nabije toekomst: verkennende studie naar toepassingsmogelijkheden van ruimtevaarttechnologie voor innovatie van wonen in de context van energie*, TNO-rapport.
3. Apte, M.G., Fisk, W.J., Daisey, J.M., 2000, *Associations between indoor CO₂ concentrations and Sick building syndrome symptoms in US office buildings: an analysis of the 1994-1996 BASE study*, Indoor Air vol.10, no.4, December, pp.246-257.
4. ASHRAE, 2004a, *Thermal Environment Conditions for human occupancy*, Atlanta, GA, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE Standard 55-2004).
5. ASHRAE, 2004b, *Ventilation for acceptable indoor air quality*, Atlanta, GA, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE Standard 62.1-2004).
6. Berglund, L.G. and Cain, W.S., 1989, *Perceived air quality and the thermal environment*, proceedings of IAQ 89, ASHRAE.
7. Berglund, B., Lindvall, T., Schwela, D.H., 1999, *Guidelines for community noise*, WHO, Geneva.
8. Blanchard, B.S., 2004, *System engineering management*, third edition, John Wiley & Sons, Inc., ISBN 0-471-29176-5.
9. Bluysen, 1990, *Air quality evaluated by a trained panel*, Dissertation, October, Laboratory of Heating and Air Conditioning, Technical University of Denmark, Lyngby.
10. Bluysen, P.M., 1996, E. de Oliveira Fernandes, L. Groes, G.H. Clausen, P.O. Fanger, O. Valbjørn, C.A. Bernhard, C.A. Roulet, *European Audit project to optimize indoor air quality and energy consumption in office buildings*, Indoor Air Journal.
11. Bluysen, P.M., 2001, *State-of-the-Art on Performance concepts and tools for buildings*, TNO report 2001-GGI-R100, Delft, The

- Netherlands.
12. Bluysen, P.M. and Adan, O.C.G., 2006, *Marketing the indoor environment: standardization or performance on demand?*, Healthy buildings 2006, Lisboa, Portugal, June 2006.
 13. Bluysen, P.M., 2008, *Handbook for managing the indoor environment*, in press.
 14. Bonnefoy, X.R., Annesi-Maesona, I., Aznar, L.M., Braubachi, M., Croxford, B., Davidson, M., Ezraty, V., Fredouille, J., Ganzalez-Gross, M., van Kamp, I., Maschke, C., Mesbah, M., Moissonnier, B., Monolbaev, K., Moore, R., Nicol, S., Niemann, H., Nygren, C., Ormandy, D., Röbbel, N., and Rudnai, P., 2004, *Review of evidence on housing and health, Fourth Ministerial Conference on Environment and Health*, Budapest, Hungary, 23-25 June 2004.
 15. Bornehag, C.-G., Sundell, J., Weschler, C.J., Sissgaard, T., Lundgren, B., Hasselgren, M., and Hägerhed-Engmann, 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, pp.1393-1397.
 16. Burge, S., Hedge, A., Wilson, S., Bass, J.H., Robertson, A., 1987, *Sick Building Syndrome: a study of 4373 office workers*, Ann.Occup.Hyg., vol.31, no.4A, pp.493-504.
 17. Cain, W.S., Leaderer, B.P., Isseroff, R., Berglund L.G., Huey, R.J., Lipsitt, E.D. and Perlman, D., 1983, *Ventilation requirements in buildings: control of occupancy odor and tobacco smoke odor*, Atmos. Environment, 17.6.
 18. Caccavelli, D., Balaras, C., Gügerli, H., Allehaux, D., Witchen, K., Rasmussen, M.H., Bluysen, P.M., Flourentzous, F., 2000, *EPIQR-TOBUS: a new generation of decision-aid tools for selecting building refurbishment strategies*, Second International Conference on Decision making in urban and civil engineering, Lyon, France, November.
 19. Carslaw, N., and P. Wolkoff, *Guest Editorial 2006*, Indoor Air, 16, p.4-6.
 - 19a. Clinch J.P. and J.D. Healy, 2000, *Environmental studies research series*, ESRS, 00/05.
 20. De Dear, R. and Brager, G.S., 1998, *Developing an adaptive model of thermal comfort and preference*. ASHRAE Trans., V.104 (1a), pp. 145-167.
 21. Defra, 2007, *Human exposure to vibration in residential environment*, Department of Environment, food and rural affairs, NANR172, London, UK.
 22. Doll, C.P. and M.E.A Haffner, 2001, *House statistics in the European Union 2001*.
 23. Elkhuizen, B. en Rooijackers, E., 2006, *De kwaliteit van installaties in gebouwen*, Verwarming en ventilatie, april.
 24. Encyclopaedia Britannica, 1991a, Macropedia vol.23, 15th edition, *Chapter light* pp.1-28 and *chapter lighting and lighting devices*, pp. 29-38.
 25. Encyclopaedia Britannica, 1991b, Macropedia, vol.27, 15th edition, *Chapter Human sensory reception*, pp. 163-221.
 26. EU, 1989, *Council directive 89/391/EEC of 12 June 1989 on the introduction of measures to encourage improvements in the safety and health of workers at work*, Brussels, Belgium.
 27. EU, 1996, *Future noise policy*, European Commission Green paper COM(96) 540, Brussels, Belgium.
 28. EU, 2002, *European Directive 2002/91/EC 2002 on the energy performance of buildings*, Brussels, Belgium.
 29. EU, 2004, COM 160 final, *Report from the commission to the European Parliament and the council concerning existing Community measures relating to sources of environmental noise, pursuant to article 10.1 of Directive 2002/49/EC relating to the assessment and management of environmental noise*.
 30. EU, 2005, European Commission, M/366, *Development of horizontal standardised assessment methods for harmonised approaches relating to dangerous substances under the construction products directive (CPD), Emission to indoor air, soil, surface water and ground water*.
 31. EU, 2007a, White paper, *Together for health: A Strategic approach for the EU: 2008-2013*, COM(2007) 630 final, Brussels. Belgium.
 32. EU, 2007b, *Improving quality and productivity at work: Community strategy 2007-2012 on health and safety at work*, COM(2007) 62 final, Brussels, Belgium.
 33. Fanger, P.O., 1970, *Thermal Comfort, Danish technical press*, Copenhagen, doctoral thesis.
 34. Fanger, P.O. and Berg-Munch, B., 1983, *Ventilation requirements for the control of body odor*, Proceedings of Engineering Foundation Conference on Management of Atmospheres in Tightly enclosed space, ASHRAE, Atlanta, G.A..
 35. Fisk, W.J., Q.Lei-Gomez, M.J. Mendell, 2007, *Meta-analysis of the associations of respiratory health effects with dampness and mold in homes*, Indoor Air, vol.17, no.4, pp. 284-296.
 36. Government of Japan, 2000, *Ministry of Environment, Law No. 98 of 1968, latest amendment by Law No.91 of 2000*.
 37. Gore, A, 2006, *An inconvenient truth, The planetary emergency of global warming and what we can do about it*, 2006, Great B retain, Bloomsbury, ISBN 0 7475 8906 2.
 38. Hollander, A.G.M., Hanemaaijer, A.H., 2007, *Nuchter omgaan met risico's*, TVVL magazine, nr.11, jaargang 35, pp.60-67.
 39. Houghton, J., 2004, *Global warming, the complete briefinf, third edition*, 2004, ISBN 0521 52874 7.
 40. Iacobucci, D., 2001, *Kellog on marketing*, ISBN 0-471-35399-X, John Wiley & Sons, inc., USA.
 41. Institute of Medicine, 2000, *Committee on the assessment of asthma and indoor air, Cleaning the air, Asthma and indoor exposures*, National Academy Press, Washington DC, pp. 438. Institute of Medicine, 2000, Committee on the assessment of asthma and indoor air, Cleaning the air, Asthma and indoor exposures, National Academy Press, Washington DC, pp. 438.
 42. ISO, 1997, ISO 2631-1 *Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – International Organization for Standardization*, Geneva.
 43. ISO, 2003, ISO2631-2 *Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body*

- vibration – Part 2: Vibration in buildings (1Hz to 80Hz)*. Second edition, 2003. International Organization for Standardization, Geneva.
44. ISO, 2005, EN ISO 7730, *International Organization for Standardization, Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*.
 45. ISSO/SBR, 2007, *Cahier Gezonde verlichting in gebouwen*, ISBN 90-5367-447-0, Rotterdam.
 46. IUMS, 2005, *International Union of Microbiological Sciences, International Commission on Indoor Fungi, Statements and recommendations from the second international workshop on fungi in indoor environments: towards strategies for living in healthy buildings*, Utrecht, The Netherlands, 17-19 March 2005.
 47. Janssen, J.E., 1999, *The history of ventilation and temperature control, the first century of air conditioning*, ASHRAE Journal, October, pp.48-70.
 48. Jantunen, M.J., Hänninen, O., Katsouyanni, K., Knöppel, H., Keunzli, N., Lebre, E., Maroni, M., Saarela, K., Sram, R., and Zmirou, D., 1998, *Air pollution exposure in European cities: The "Expolis study"*, JEAEE, 8(4), pp.495-518.
 49. Levy et al, 2003, *Environmental Health*. 2:4.
 50. LHRF, 2002, *Light & Health Research foundation, Proceedings of Symposium Healthy Lighting*, November, Eindhoven, The Netherlands.
 51. Maslow, A., 1943, *A theory of human motivation, psychological review*, 50, pp.370-396.
 52. NCA, 1988, Public Law No. 92-574, 86 Stat. 1234, *Noise Pollution and Abatement Act of 1972*, codification amended at 42 U.S.C. 4901-4918 (1988).
 53. Persily, A. *What we think we know about ventilation*, Indoor Air 2005, pp.24-35.
 54. Preller, L., T.Zweers, J.S.M. Boleij, B. Brunekreef, 1990, *Gezondheidsklachten en klachten over het binnenklimaat in kantoorgebouwen*, Directoraat-Generaal van de Arbeid, Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, S83, Voorburg, mei.
 55. Skov, O. Valbjorn, and DISG, 1987, *The "Sick" building syndrome in the office environment*, The Danish town hall study, Environmental International, vol.13, p.339-349.
 56. Svensmark, H., 2007, *Cosmoclimatology: a new theory emerges*, Astronomy and Geophysics, Royal Astronomy Society, London, vol.48, pp.1.18-1.24.
 57. Taylor, J., 2006, *The mind, A user's manual*, John Wiley&Sons, Ltd., England, ISBN 0-470-02222-1.
 58. Weichenthal, S., Dufresne, A., Infante-Rivard, C., 2007, *Indoor ultrafine particles and childhood asthma – exploring a potential public health concern*, Indoor Air, vol.17, no.2, pp.81-91.
 59. Weschler, C.J., *Chemical reactions among indoor pollutants: what we've learned in the new millennium*, Indoor Air, 2004, 14 (Suppl 7), pp.184-194.
 60. WHO, 2000, *Guidelines for Air Quality*, second edition, World regional publication European series no.91 Health Organisation, Geneva.
 61. WHO, 2002, *Active ageing: a policy framework, A contribution of the World Health Organization to the Second United Nations World Assembly on Ageing*, Madrid, Spain.
 62. WHO, 2003, *WHO Technical meeting on exposure-response relationships of noise on health 19-21 September 2002*, Bonn, Germany.
 63. WHO, 2006, *Air quality guidelines, global update 2005, Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide*, ISBN 92 890 2192 6, WHO Regional office for Europe, Denmark.
 64. Wilkins, A.J., I.Nimmo-Smith, A.I.Slater, L.Bedocs, 1989, *Fluorescent lighting, headaches and eye-strain*, Lighting Res.Technol., 21(1), pp.11-18.
 65. Yaglou, C.P.E., C.Riley and D.I. Coggins, 1936, *Ventilation requirements*, ASHVE Transactions, v.42.