

# Klimaatinstallaties: oude en nieuwe risico's

*Van klimaatinstallaties wordt verwacht dat ze de gebruikers een productief, veilig, gezond en behaaglijk binnenklimaat zullen bieden. Dat de klimaattechniek er niet altijd in is geslaagd aan deze verwachting te voldoen heeft het beruchte Sick building syndrome wel bewezen. Te weinig ventilatielucht, slecht onderhoud en een gecompliceerd installatieontwerp vormen hiervoor, tezamen met psychologische factoren, de belangrijkste risicofactoren. De menselijke kant van klimaatregeling heeft daardoor meer aandacht gekregen dan voorheen, en de klimaattechniek tegen het eind van de vorige eeuw een ander gezicht gegeven.*

*Naast deze potentiële inherente onveiligheid van installaties zijn er ook externe risico's. Wat te doen als de kwaliteit van de buitenlucht niet voldoet aan hygiënische maatstaven? Als uitlaatgassen, fijnstof, smog, rook, roet e.d. de lucht ongeschikt maken voor menselijke consumptie? Als de buitenlucht door een milieucatastrofe is verontreinigd? Of als vandalen of terroristen de ventilatielucht opzettelijk verontreinigen of besmetten? Luchtvervuiling, milieucatastrofes en bio-terreur maken een herbezinning op het ontwerp van bepaalde gebouwen en klimaatinstallaties noodzakelijk.*

**- door ing. B. Bronsema\***

**D**it symposium staat in het teken van "Veiligheid in Gebouwen", maar het aspect veiligheid heeft bij de ontwikkeling van de klimaattechniek, die in het begin van de negentiende eeuw op gang kwam, pas heel laat de aandacht gekregen die het verdient. "Behaaglijkheid" of "Thermisch Comfort" is in de klimaattechniek lange tijd het belangrijkste thema geweest, en heeft in de opleiding en beroepsuitoefening van hele generaties klimaattechnici, mijzelf niet uitgezonderd, de grootste rol gespeeld. Verwonderlijk is dat niet, want de verbreiding van de klimaattechniek is begonnen in de zuidelijke staten van Noord Amerika met het doel ook in de warme zomermaanden de bioscopen en theaters vol te krijgen. Ook wetenschappers zijn lange tijd

sterk gericht geweest op de ontwikkeling van modellen voor thermisch comfort, culminerend in het PMV / PPD model van de helaas in september 2006 overleden P.O. Fanger. Pas in de jaren tachtig van de vorige eeuw is er aandacht gegroeid voor gezondheidsaspecten en P.O. Fanger heeft hierbij opnieuw een belangrijke rol gespeeld.

## **VAN BEHAAGLIJKHEID NAAR GEZONDHEID (1)**

Gepokt en gemazeld in Thermisch Comfort met steeds geavanceerdere systemen werd mij in de loop van de jaren tachtig van de vorige eeuw duidelijk dat dit geen tevredener gebruikers opleverde; integendeel. De vaak negatieve gevoelens van het publiek over *airconditioning* werden sterk in de

hand gewerkt door het optreden van het *Sick building syndrome* in geklimatiseerde gebouwen. Opvallend hierbij was dat een aangename ruimtetemperatuur in warme zomermaanden wel werd gewaardeerd. Tocht, geluid, luchtkwaliteit, en de beperkte mogelijkheden voor beïnvloeding van het binnenklimaat door de gebruiker gaven de grootste klachten.

Mede mogelijk gemaakt door verlaging van de thermische belastingen door verlichting, computerapparatuur en gevelsystemen heeft de klimaattechniek hierop ingespeeld door de ontwikkeling van nieuwe klimaatconcepten. Systemen met recirculatie van lucht die geuren door een gebouw verspreiden werden vervangen door systemen met 100 % buitenlucht.

All-air systemen zoals het variabel debietsysteem werden vervangen door klimaatsystemen met stille koeling zoals klimaatplafonds en bouwdeelactivering die minder tocht risico's en geluid met zich meebrengen en gunstiger energieprestaties hebben. Het rendement van de toegepaste luchtfilters werd verbeterd. Een ontwikkeling buiten de klimaattechniek die een positieve invloed had op het binnenmilieu was het uitbannen van roken op de werkplek. Verder zijn te openen ramen, die de gebruiker een grotere invloed op zijn binnenklimaat geven, min of meer een vanzelfsprekendheid geworden.

## **VAN BEHAAGLIJKHEID NAAR GEZONDHEID (2)**

Op initiatief van ISIAQ, de *International Society of Indoor Air Quality and Climate* werd in 1988 de eerste van de *Healthy Buildings Conferences* gehouden. Na deelname aan vijf van deze conferenties begon ik in 2000 na te denken over de vraag of en hoe ik het geleerde

TU Delft - Faculteit Bouwkunde -  
Leerstoel Installaties

zou kunnen overdragen, een bijna onmogelijke opgave gezien de duizenden *papers* en de tienduizenden pagina's tekst van de *proceedings*. Uiteindelijk besloot ik de hoofdlijnen van mijn ervaringen te verwoorden in een aantal eenvoudige "voorschriften", en omdat het er tien bleken te zijn heb ik ze "Tien Geboden" genoemd. [7]. Veel risico's worden vermeden als aan deze geboden de hand wordt gehouden. Ondanks het feit dat veel van het onderstaande de neerslag is van wetenschappelijke conferenties, hebben de tien geboden zelf geen wetenschappelijke pretenties. Ook de volgorde geeft niet direct het relatieve belang aan.

## **TIEN GEBODEN VOOR EEN GEZOND BINNENMILIEU**

### **1. Bouw met gezonde materialen**

In Nederland is het nog niet mogelijk op een eenvoudige manier gezonde materialen te selecteren. Dit in tegenstelling tot een land als Finland, waar al enkele jaren een catalogus van emissiearme materialen beschikbaar is. Voorlopig zijn we hier nog aangewezen op ons gezond verstand, ons reukorgaan en/of gespecialiseerde adviseurs. Laten we daar gebruik van maken. Surf ook eens naar [www.ISIAQ.nl](http://www.ISIAQ.nl)

### **2. Houd het gebouw droog**

Vocht is een van de ergste vijanden van het gezonde binnenmilieu vooral door de potentiële kans op schimmelvorming en de allergenen en micro-organismen die hierdoor in de binnenlucht kunnen worden gebracht. Gebouwen moeten daarom droog worden opgeleverd en tijdens gebruik ook droog worden gehouden.

### **3. Houd het gebouw schoon**

Het realiseren van een schoon gebouw begint al in de bouwperiode. Bouwen is op zichzelf niet zo'n stoffige activiteit, maar hakken, breken en boren des te meer. Gebouwen worden weliswaar meestal bezemschoon opgeleverd, maar stof dat op verborgen plaatsen blijft liggen kan nog jaren later in het interieur terecht komen.

Het spreekt vanzelf dat luchttoevoerkkanalen, de "longen van een gebouw," schoon moeten zijn. Dit vraagt grote discipline bij het transport, de opslag en de verwerking op de bouwplaats. Kanalen moeten schoon en vetvrij worden aangevoerd en de open einden

moeten zoveel mogelijk afgedicht blijven om inwendige vervuiling te voorkomen.

In de gebruiksfase is het schoonmaakonderhoud belangrijk; niet alleen van het interieur maar ook van de luchtkanalen. De ventilatielucht moet van smetteloze kwaliteit zijn.

### **4. Houd het binnenklimaat koel en droog**

Koele en droge ruimtelucht heeft een positief effect op de waargenomen luchtkwaliteit. Fanger heeft dit ooit als volgt onder woorden gebracht:

---

*Serveer de lucht koel en droog, voer de lucht toe dicht bij de mensen en verminder daardoor het ventilatiedebiet, verhoog de productiviteit en bespaar energie".*

---

Hierop valt wel het één en ander af te dingen, maar in essentie is de boodschap duidelijk.

Een ruimteconditie van 20 °C / 40 % RV is voor kantoren in de winterperiode een goede waarde, al zullen sommigen de RV wat aan de hoge kant vinden. Een hogere temperatuur is af te raden; vele onderzoeken hebben ondubbelzinnig aangetoond dat het aantal klachten over *sick building* hierbij sterk toeneemt, vice versa. Voor de zomerperiode is 24 °C met eventueel een aantal toe te laten overschrijdingsuren een beter uitgangspunt dan de algemeen gehanteerde waarde van 25 °C.

### **5. Niet roken in gebouwen**

Tabaksrook in het binnenmilieu is één van de grootste bronnen van luchtverontreiniging, en tevens één van de gemakkelijkste om te bestrijden. Een gezond gebouw behoort dan ook een rookvrij gebouw te zijn. Als concessie aan de rokers kunnen speciale rokersruimten worden ingericht, die door afzuiging onder voldoende onderdruk ten opzichte van de rest van het gebouw worden gehouden. Maar ook dan nog kan rokerige kleding overlast bezorgen aan niet-rokers.

### **6. Ventileer – Ventileer – Ventileer**

Ventileren is in de eerste plaats bedoeld om menselijke "bio-effluenten", zeg

maar lichaams- en ademgeuren af te voeren inclusief door de mens in het interieur gebrachte virussen en bacteriën. In de tweede plaats moeten de emissies uit het gebouw en het interieur worden afgevoerd.

Op Healthy Buildings 2000 werden zeer bruikbare gegevens gepresenteerd, gebaseerd op uitgebreid mondiaal onderzoek. Conclusies hiervan zijn:

- bij een ventilatiedebiet van minder dan 10 l/s per persoon worden in verhoogde mate gebouwgerelateerde gezondheidsklachten (SBS) waargenomen;
- bij een verhoging van het ventilatiedebiet van 10 l/s naar 20 l/s per persoon worden de SBS klachten significant minder;
- boven 20 l/s per persoon is er geen aantoonbaar verband meer tussen ventilatiedebiet en SBS klachten.

Het minimum debiet van 10 l/s per persoon is ook in Nederland een algemeen gehanteerde praktijkwaarde. Afhankelijk van de "gezondheidskwaliteit" van het gebouw is het verstandig deze waarde op te voeren naar maximum 20 l/s. Ook als aan de eerste vijf geboden is voldaan is het verstandig voldoende tolerantie in te bouwen.

### **7. Pas het KISS principe toe**

Onderzoek heeft aangetoond dat gecompliceerde klimaatinstallaties, direct na onvoldoende ventilatie en slecht onderhoud, de derde risicofactor voor een gezond binnenklimaat vormen. Ik heb hiervoor de KISS factor geïntroduceerd, waarbij KISS staat voor "Keep It Stupid Simple". Voor zover ik weet is aan deze risicofactor in ons vakgebied nimmer aandacht besteed. De meeste SBS-onderzoekers weten weinig of niets van klimaatinstallaties en de meeste klimaatingenieurs en technici zijn dol op gecompliceerde installaties.

### **8. Geef de gebruiker invloed op het binnenklimaat**

Klimaatinstallaties worden ontworpen op basis van een Predicted Mean Vote, maar de gemiddelde mens bestaat niet, en dat is maar goed ook. Geef dan ook de gebruiker invloed, en dat niet alleen op het binnenklimaat maar ook op de zonwering, het te openen raam, de lichtwering en de verlichting. En bovendien, maak het systeem gebruiksvriendelijk en geef de gebruiker goede instructies

<b>Algemeen</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Vermoeidheid</li> <li>2. Zwaar hoofd</li> <li>3. Hoofdpijn</li> <li>4. Misselijkheid, duizeligheid</li> <li>5. Concentratieproblemen</li> </ol>	<p>Het onderzoek laat de volgende resultaten zien:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Voor de symptomen 1. Vermoeidheid; 2. Zwaar hoofd en 11. Droge gezichtshuid is er een duidelijk optimum van de ruimtetemperatuur, te weten 21 °C. Dit optimum geldt zowel voor de frequentie als voor de intensiteit van de symptomen.</li> <li>- Bij de overige symptomen was de frequentie en de intensiteit het laagst beneden de 23 °C. Daarboven was in het algemeen een toename te constateren.</li> </ul>
<b>Slijmvliezen</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>6. Jeukende, branderige ogen</li> <li>7. Geprikkelde, verstopte, lopende neus</li> <li>8. Schorre, droge keel</li> <li>9. Keelpijn</li> <li>10. Hoesten</li> </ol>	
<b>Huid</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>11. Droge gezichtshuid</li> <li>12. Koortsige gezichtshuid</li> <li>13. Jeuk, kriebelig, gespannen gezicht</li> <li>14. Droge jeukende oren en schedel</li> <li>15. Droge jeukende, rode handen</li> </ol>	

#### Geregistreeerde SBS-symptomen

- TABEL 1 -

en een goede gebruiksaanwijzing voor zijn en haar werkplek.

#### 9. Houd de luchtfilters en de luchtkanalen droog

Stoffilters moeten in staat zijn ook submicron deeltjes af te scheiden die in regio's met een hoge bevolkings- en verkeersdichtheid zijn besmet met schadelijke stoffen. Veelal worden hiervoor filters EU 8/9 geïnstalleerd, die ook wateraerosolen uit de lucht afscheiden. Het is belangrijk luchtfilters droog te houden, omdat daardoor corrosie en vochtdoorslag worden voorkomen, en microbiologische groei in het filter wordt tegengegaan. Luchtkanalen kunnen als de longen van een gebouw worden beschouwd. Ondanks uitstekende luchtfilters kan zich in de loop van de jaren op bepaalde plaatsen in kanalen stof afzetten. Als dit stof droog blijft is het in het algemeen betrekkelijk onschadelijk, maar als door vochtdoorslag van filters, wassers, koelbatterijen en bevochtigers de kanalen nat worden, vormt de combinatie van stof, water en lucht een uitstekende voedingsbodem voor microbiële groei die allergische problemen en geuroverlast kan opleveren. Zorg er dus voor dat de luchtkanalen droog blijven.

#### 10. Onderhoud – Onderhoud – Onderhoud

Slecht onderhoud is na onvoldoende ventilatie de grootste risicofactor voor het gezonde binnenmilieu. Dit geldt vooral voor luchtbehandelingsinstallaties, waarbij naast het technisch onderhoud ook het schoonmaakonderhoud belangrijk is. Onderhoud is kostbaar, en er wordt in de praktijk vaak en ge-

makkelijk op bezuinigd. Bij toepassing van het KISS-principe zal het onderhoud meestal ook eenvoudiger en minder kostbaar zijn waardoor minder gauw de neiging ontstaat in de onderhoudskosten te snijden. Het mes snijdt hierbij dus aan twee kanten.

#### KAN THERMISCH COMFORT DE GEZONDHEID BEDREIGEN?

Een probaat middel om tochtklachten in de winter te verhelpen is het verhogen van de ruimtetemperatuur. Een temperatuurverhoging van bijvoorbeeld 22 °C tot 24 °C leidt op iets langere duur echter tot gezondheidsklachten. Dat is merkwaardig want volgens het thermofysiologisch model van Fanger, de grondslag van NEN-ISO 7730 (NEN 1989) zou een ruimtetemperatuur van 24 °C zonder meer aanvaardbaar zijn. Kan een thermisch behaaglijk binnenklimaat bedreigend zijn voor de gezondheid? Anders gezegd: kan de thermische gewaarwording de welzijnsgewaarwording bedriegen? De mens heeft zintuigen gekregen om, onder meer, onraad te signaleren wanneer dat zich aandient. Niet alle onraad hoeft direct levensbedreigend te zijn, maar een snelle waarschuwing kan wel levensreddend zijn. Kunnen zintuigen dan bedriegen? Is de mens uitgerust met onbetrouwbare sensoren of een onbetrouwbare signaalverwerking? Of zit er misschien een fout in het model van Fanger, dan wel onze toepassing ervan en kunnen we rustig onze thermische gewaarwording vertrouwen en erop rekenen dat dit snelle signaal ook de beste garantie is voor onze gezondheid op langere termijn?

#### EEN ANALOGIE MET GEURWAARNEMING EN LUCHTKWALITEIT

Fanger heeft in 1987 verband gelegd tussen de geur van de lucht en de kwaliteit van de lucht als potentiële bedreiger van de gezondheid [8]. Volgens Fanger is de eerste indruk van de geur bepalend voor de kwaliteit van de lucht. Na enige tijd ebt de geurwaarneming vaak weg door gewenning (adaptatie) en verliest het reuksignaal zijn functie als waarschuwing. In de zintuigfysiologie geldt de *eerste indruk* met het krachtigste signaal, als meest betrouwbare. Gewenning heft wel de alarmtoestand op maar niet de potentiële bedreiging. Zou misschien een soortgelijk effect kunnen optreden bij de thermische gewaarwording?

#### RUIMTETEMPERATUUR EN GEZONDHEID

Versillende onderzoekers hebben er op gewezen dat veel *Sick building* klachten als sneeuw voor de zon verdwijnen door de ruimtetemperatuur enkele graden te verlagen [28, 26]. Als voorbeeld geldt een onderzoek uit de jaren negentig, uitgevoerd bij Volvo ruck Corp. en Volvo Data [10]. De ruimtetemperatuur werd volgens een vast schema gevarieerd. Met behulp van vragenlijsten werden 15 verschillende SBS-symptomen geregistreerd, zowel in aantal als intensiteit; zie tabel 1.

De conclusie van de onderzoekers luidde dat vooral de algemene symptomen sterk kunnen worden teruggebracht door hoge ruimtetemperaturen in kantoren te vermijden. Als optimale temperatuur in kantoren wordt 20 °C-21 °C

aanbevolen. De maximum temperatuur dient niet hoger te zijn dan 22 °C.

### IS EEN BEHAAGLIJK BINNENKLIMAAT OOK GEZOND?

In figuur 1 is de informatie uit het bovengenoemde onderzoek grafisch weergegeven in het bekende behaaglijkheidsdiagram van Fanger/ISO 7730. Verticaal staat de PPD (= *Predicted Percentage Dissatisfied*) populair gezegd het *percentage potentiële klagers*. De verschillende curven zijn aangeduid met de nummers van de symptomen volgens tabel 1.

De arcering die de bundels van curven omvat geeft een goede indruk van de relatie tussen SBS-symptomen en de ruimtetemperatuur met als optimale waarde 20 °C-21 °C.

In het diagram is verder de behaaglijkheidscurve volgens Fanger/ISO 7730 aangegeven voor een kledingweerstand van 0,8 Clo en een activiteitsniveau van 1,4 met. Naast deze theoretische curve is voor dezelfde parameters de meer met de praktijk overeenkomende curve van Brager ingetekend, waarin het PPD over de hele linie ca. 7 % hoger ligt [3].

### CONCLUSIE

De conclusie die bij het bekijken van figuur 1 kan worden getrokken is duidelijk. Er is geen discrepantie tussen

thermische gewaarwording en welzijns-gewaarwording. Een goed thermisch comfort is op langere duur ook goed voor de gezondheid. De thermische sensoren van de mens zijn betrouwbaar. Als we naar hun signalen luisteren, bevorderen we ook onze gezondheid.

### LUCHT: EEN VITAAL LEVENSMIDDEL

Lucht is een vitaal levensmiddel waaraan hoge eisen moeten worden gesteld. Ventilatie van verblijfsruimten is dan ook voor de hygiëne en de gezondheid van het binnenmilieu van groot belang. Volgens het woordenboek (Van Dale 2000) is ventilatie

“de aanvoer van verse en afvoer van bedorven lucht naar en van een ruimte”.

Naast de hiervoor genoemde *inherent* onveiligheid van installaties zijn er ook externe risico's. Wat te doen als de kwaliteit van de buitenlucht niet voldoet aan hygiënische maatstaven? Als vuile lucht, smog, rook, roet e.d. de lucht ongeschikt maken voor *menselijke consumptie*? Als de buitenlucht door een milieucatastrofe is verontreinigd? Of als vandalen of terroristen de ventilatielucht opzettelijk verontreinigen of besmetten? In deze gevallen is de aan-

voer van verse lucht een probleem, maar dat niet alleen. Chemische, Biologische en Radioactieve stoffen, hierna aangeduid met CBR, kunnen via de gevel infiltreren en door het kanalenstelsel van de luchtbehandeling door een heel gebouw worden verspreid. Is het mogelijk de luchtkwaliteit te monitoren? Kan een klimaatinstallatie de ventilatielucht zuiveren? Moet de installatie altijd worden uitgeschakeld? Wat betekent dit voor de kwaliteit van de binnenlucht en voor het functioneren van de organisatie in een gebouw? Kunnen installaties bescherming bieden of vergroten ze de risico's? Zijn er wat dit aspect betreft verschillen tussen de diverse klimaatsystemen?

### VDI-RICHTLIJNEN

De *Verein Deutscher Ingenieure* heeft richtlijnen gepubliceerd voor het functioneren van luchttechnische installaties in perioden van luchtverontreiniging [27]. Onderscheiden worden algemene principes, smogsituaties, radioactieve emissies en overige verontreinigingen. Als algemene, en min of meer vanzelfsprekende principes worden genoemd:

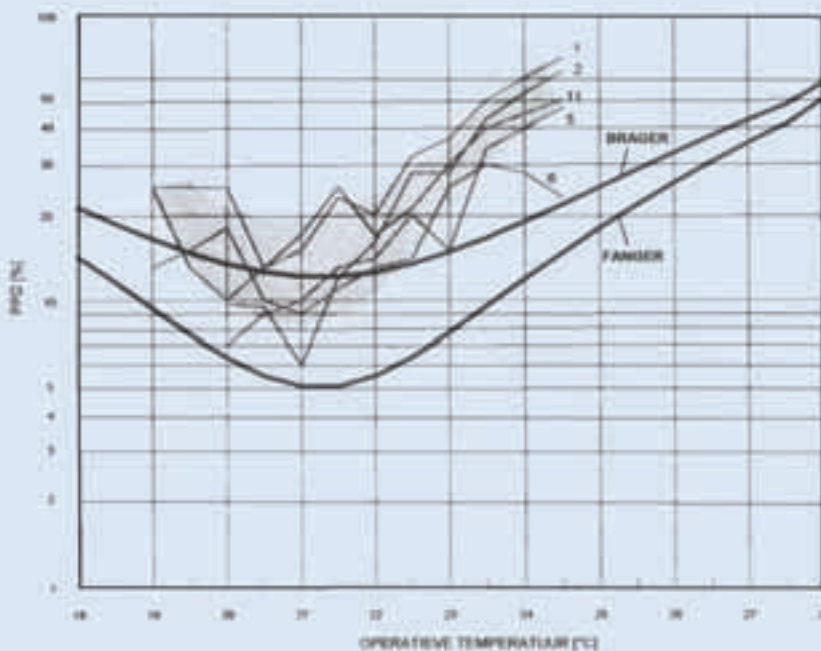
- Uitschakelen van de ventilatie. Bij een infiltratievoud van 0,3 h<sup>-1</sup> duurt het dan, afgezien van adsorptie- en desorptie in het interieur, 13 uur voordat de verontreiniging van de binnenlucht die van de buitenlucht benadert. Bij een infiltratievoud van 0,1 h<sup>-1</sup> is dit zelfs 39 uur. Zie ook figuur 7.

- Reinigen van de ventilatielucht met behulp van filters, luchtwassers, absorptie, katalytische oxidatie enz.
- De bedrijfsvoering van de ventilatie afstemmen op pieken en dalen in de luchtverontreiniging door bedrijfsbeperking, intervalschakeling e.d.

De rol van de klimaatinstallatie wordt hierna uitgebreid besproken.

### KORTSLUITING

Kortsluiting treedt op als de aangezogen buitenlucht wordt “besmet” door de uitstoot van gassen en verontreinigde lucht uit het gebouw. Luchtverontreinigingen kunnen hierdoor in principe door het gebouw worden verspreid. Veel mensen zijn met dit verschijnsel bekend als ze op hun werkplek op gezette tijden of bij een bepaalde windrichting de kroketten ruiken die op dat moment in de keuken worden ge-



Behaaglijkheid en Gezondheid: Geen discrepantie.

- FIGUUR 1 -

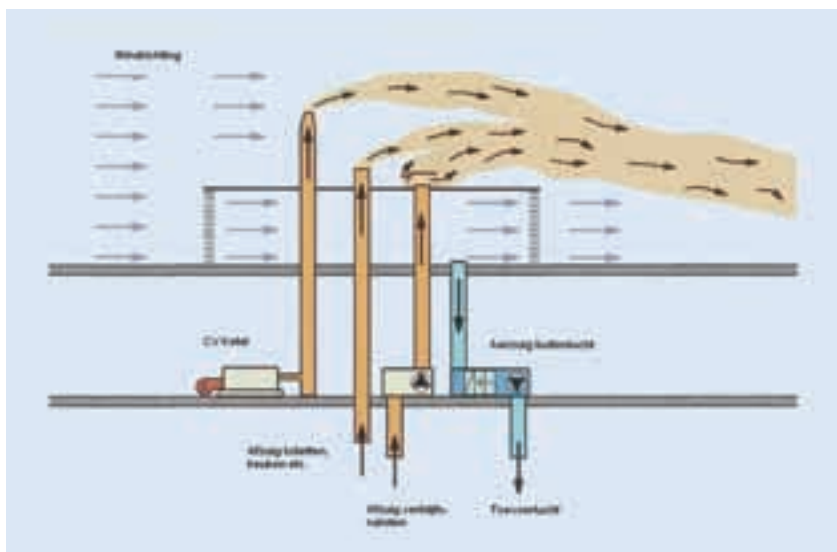


bakken. De afzuiglucht uit de keuken wordt in deze gevallen door de wind in de richting van de aanzuigopening van de buitenlucht gedreven en komt daar, meestal sterk verdund, via de luchtbehandeling in het gebouw terecht. Erger wordt het als met legionella bacteriën besmette lucht, bijvoorbeeld uit een koeltoren, in een gebouw terecht komt. Een berucht risico bij ziekenhuizen is verder de verspreiding van ziektekiemen uit de afgezogen lucht door kortsluiting. De geschiedenis van de klimaattechniek kent hiervan verschillende voorbeelden, ook in Nederland. We komen dan al dicht in de buurt van het risico van bio-terreur. Het is een wezenlijke taak van installatieontwerpers het kortsluitrisico uit te sluiten, al is dit soms niet eenvoudig. Figuur 2 toont een voorbeeld van een zogenaamde “kortsluitveilige” lucht-aanzuiging. Hierbij wordt, onafhankelijk van de windrichting, vanaf de loefzijde van het gebouw altijd schone

buitenlucht aangezogen en verontreinigde lucht met de wind mee aan de lijzijde afgevoerd. Een dergelijke oplossing moet in een vroeg stadium van het bouwkundig ontwerp worden ingebracht. Hiervoor is noodzakelijk dat de installatie-ontwerper al in het schetsplanstadium bij de planontwikkeling is betrokken, en zich dan ook al een goed beeld heeft gevormd van de mogelijke klimaatsystemen inclusief de grootte en optimale lokatie van de bijbehorende techniekruimten. Het gaat hier om wat met recht een “Planologische Kernbeslissing” zou kunnen worden genoemd, waar de architect uiteraard een belangrijke stem in heeft. Daag hem uit er iets moois van te maken!!

### EEN VEILIGE LUCHTAANZUIG

Het is niet de bedoeling van dit artikel alle *ins* en *outs* van de luchtaanzuig te behandelen; daarvoor wordt verwezen



**Kortsluitveilige luchtaanzuiging.**

- FIGUUR 2 -



**Het Haags Gemeentemuseum links de voorzijde, rechts de achterzijde.**

- FIGUUR 3 -

naar de literatuur. Een uitgebreid referentieoverzicht, is door het AIVC gepubliceerd [12]<sup>4</sup>.

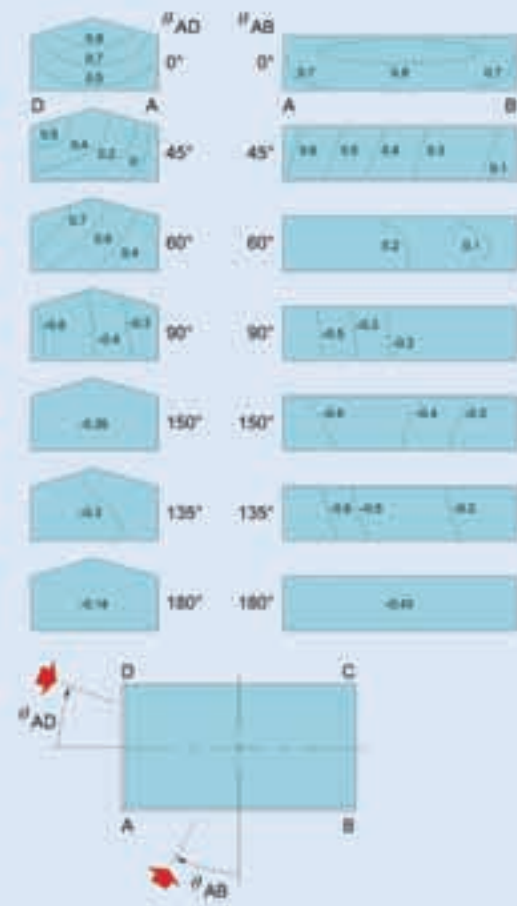
Moedwillige vervuiling van de aangezogen lucht door baldadigheid, molest en terreur moet worden voorkomen. Een rookbommetje in de aanzuigopening van de buitenlucht kan nog een vrij onschuldige grap lijken. Erger wordt het al met een traangaspatroon. Levensbedreigende terreur wordt het als dodelijke ziektekiemen opzettelijk in de lucht terecht komen. Berichten hierover kwamen na 11/09 uit Amerika, waar terroristen ervan werden verdacht de luchtbehandeling van het Capitool te hebben willen gebruiken voor hun lugubere en perverse doeleinden.

De aanzuigopening van de ventilatie-lucht moet daarom op een van buitenaf onopvallende en/of ontoegankelijke plaats zijn aangebracht. Aanzuigopeningen op maaiveldniveau zijn niet aanvaardbaar, niet alleen in verband met molestrisico, maar ook omdat vervuiling van de aangezogen lucht door uitlaatgassen, stofmeel en andere verontreinigingen hierbij vaak groot is. Luchtaanzuig via een koekoek onder maaiveldniveau, zoals men soms ziet bij in kelders opgestelde luchtbehandelingskasten, is helemaal uit den boze vanwege de te verwachten opeenhoping van vocht, vuil en de inherente schimmel- en bacteriehaarden in deze ruimten.

Als voorbeeld van een onopvallende en moeilijk bereikbare plaats van de aanzuigopening toont figuur 3 een foto van de achterzijde van het Haags Gemeentemuseum, waar in het kader van de grote renovatie van enkele jaren geleden ook een klimaatinstallatie is aangebracht. De luchtbehandelingscentrale is ondergebracht in de kelder. De luchtaanzuiging is prominent op de foto aanwezig, maar waar?<sup>5</sup>

### OVERDRUK

Het lijkt een aantrekkelijke gedachte om CBR stoffen in de buitenlucht te weren door een gebouw onder overdruk te zetten. Bij windstil weer en een binnentemperatuur gelijk aan de buitentemperatuur is dit in principe mogelijk, maar deze situatie doet zich in Nederland nauwelijks voor. Deze optie veronderstelt verder de beschikbaarheid van efficiënte CBR luchtfilters; de overdruk zal immers moeten



Deze figuur, ontleend aan het genoemde ASHRAE Handbook, maar ook opgenomen in andere publicaties (Allard, Francis 1998), geeft de globale winddrukcoëfficiënten aan bij verschillende windrichtingen. De winddrukcoëfficiënt is de waarde waarmee de dynamische druk van de wind moet worden gecorrigeerd om de stuwdruk op een obstakel te berekenen.

De stuwdruk wordt als volgt berekend:  
 $p_s = C_p * p_d$  waarin  
 $p_s$  = stuwdruk in Pa  
 $C_p$  = winddrukcoëfficiënt  
 $p_d$  = dynamische winddruk in Pa

De dynamische winddruk wordt berekend met de formule van Bernoulli:  $p_d = \rho * v^2 / 2$

De figuur toont de kopgevel en langsgewel van het gebouw bij verschillende windrichtingen. De gestippelde lijnen met de bijgeschreven waarden geven de winddrukcoëfficiënten aan.

In het voorbeeld van figuur 2 is voor de langsgewel uitgegaan van een  $C_p$  waarde van  $\approx 0,7$  bij wind loodrecht op de gevel. ( $\Phi_{AB} = 0^\circ$ ). De  $C_p$  waarde voor de kopgevel is in dit geval  $\approx -0,4$  ( $\Phi_{AD} = 90^\circ$ )

### Winddrukcoëfficiënten.

- VENSTER 1 -

worden gerealiseerd met buitenlucht. Voor wat betreft de wind is in dit kader een globale berekening gemaakt van de winddrukken op een kantoorgebouw op verschillende locaties en windrichtingen. Het beschouwde gebouw heeft zes verdiepingen bij een hoogte van 21 meter en een breedte van 60 meter. De berekeningen zijn

gemaakt met de methode uit het ASHRAE Handbook Fundamentals chapter 16 "Airflow around Buildings". Voor een toelichting zie venster 1.

Figuur 4 geeft de resultaten van de berekening weer voor windsnelheden 2 tot 8 Beaufort, windrichting loodrecht op de langsgewel. Het drukver-

schil over de gevel bij een gebouw in een buitenwijk (cat. 2) bedraagt bij een windsnelheid van 5 à 6 Beaufort ca. 50 Pa. (Dit drukverschil wordt ook in EN-NEN (NEN 2004) genoemd als defaultwaarde van de infiltratie op gebouwniveau). Hier komt de onderdruk nog bij ten gevolge van temperatuurverschillen in het gebouw, die bij een gemiddelde wintertemperatuur op de begane grond gauw 10 Pa kan bedragen. Het is uitgesloten een gebouw onder deze omstandigheden op overdruk t.o.v. de buitenlucht te houden, zelfs al de luchtdoorlatendheid tot het minimum teruggebracht.

Figuur 5 geeft de resultaten van de berekening weer voor windsnelheden 2 tot 8 Beaufort, windrichting evenwijdig aan de langsgewel. Het drukverschil over de kopgevel van hetzelfde gebouw bedraagt bij overigens gelijke omstandigheden bij 5 à 6 Beaufort nu ca. -10 Pa, d.w.z. dat het gebouw, afgezien van drukverschillen ten gevolge van temperatuurverschillen, nu onder relatieve onderdruk staat ten opzichte van de omgeving.

Overdruk in een gebouw is dus gemakkelijker te realiseren bij gunstige windrichtingen. Risicovolle gebouwen in een risicovolle omgeving kunnen daarom het beste zodanig worden georiënteerd dat bij de overheersende windrichting onderdruk bij de langsgewels ontstaat.

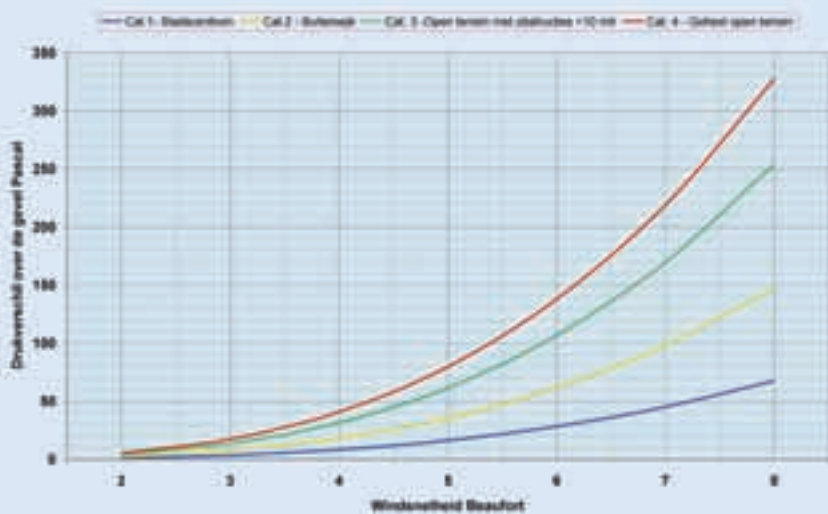
In Nederland is een ZW-NO oriëntatie van de kopgevels hiervoor optimaal. Niet alleen komt de wind >50 % van de tijd uit het Zuidwesten, maar ook zijn de windsnelheden hier het grootst. Windsnelheden groter dan 5 Beaufort komen bij andere windrichtingen niet of nauwelijks voor.

Een succesvolle toepassing van overdruksystemen hangt dus af van de gebouworiëntatie en de te bereiken luchtdoorlatendheid van de gevel, en is maar beperkt mogelijk.

Overdruksystemen zijn in principe wel geschikt om kwetsbare ruimten binnen een gebouw te separeren.

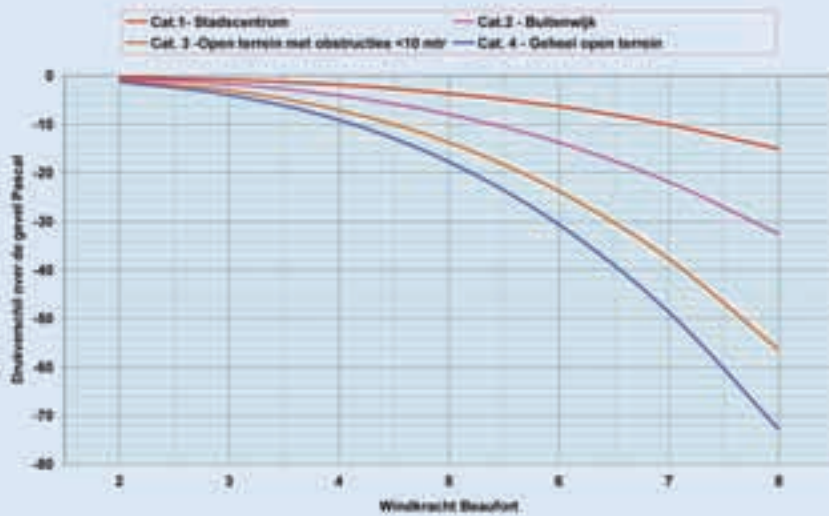
### INFILTRATIE

Minimalisering van de luchtinfiltratie is in principe een goede mogelijkheid om CBR-stoffen zoveel mogelijk buiten een gebouw te houden. Naast een gunstige oriëntatie op de wind moet



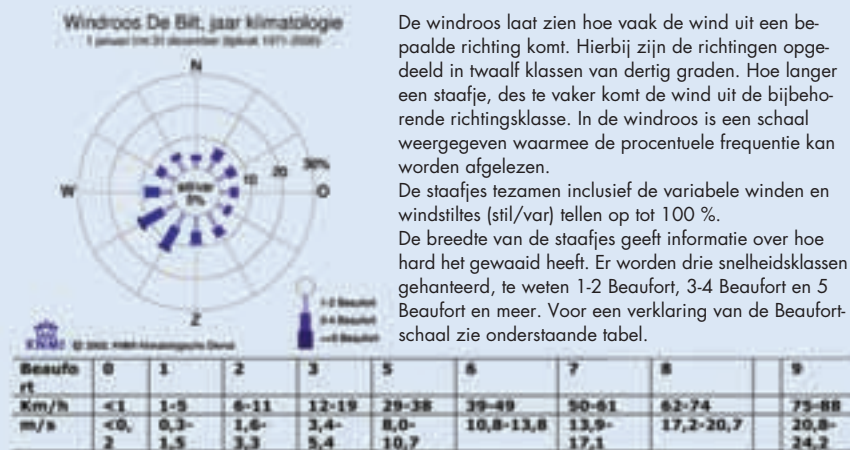
Drukverschillen over de langsgewel in Pa - Windrichting loodrecht op de gevel.

- FIGUUR 4 -



Drukverschillen over de langsgewel in Pa-Windrichting evenwijdig aan de gevel.

- FIGUUR 5-



Windroos De Bilt 1971 - 2000.

- KADER 2 -

de luchtdoorlatendheid van de gevel hiervoor zo klein mogelijk zijn.

Figuur 6 laat zien hoeveel luchtinfiltratie kan worden verwacht in de verschillende dichtheidsklassen en gebouwhoogten, gemakshalve omgerekend in de gangbare eenheid infiltratievoud in  $h^{-1}$ , berekend bij een ruimtehoogte van 3 m. Om te voldoen aan het Bouwbesluit is een infiltratievoud van  $3h^{-1}$  toelaatbaar. Bij de hoogste dichtheidsklasse van  $<0,2 \text{ dm}^3/(s.m^2)$  ligt het infiltratievoud in de orde van  $0,5 h^{-1}$ . Voor een toelichting zie venster 3.

### CBR CONCENTRATIES IN HET BINNENMILIEU

Wat deze infiltratie betekent voor de CBR concentraties in het binnenmilieu is berekend met de formule

$$\frac{C_i}{C_e} = (-e^{-n.t})$$

waarin

- $C_i$  = CBR concentratie binnen
- $C_e$  = CBR concentratie buiten
- $n$  = infiltratievoud  $h^{-1}$ , berekend met de waarden uit figuur 6.
- $t$  = tijd in uren

De resultaten van deze berekening zijn voor verschillende infiltratievouden weergegeven in figuur 7. Bij de laagste infiltratievoud, behorend bij de grootste dichtheidsklassen, duurt het in de *worst case* situatie 6 tot 8 uur voordat de CRB concentratie in het gebouw die van buiten benadert. Bij uitvoering volgens Bouwbesluit is dit binnen één uur het geval. Dit zegt uiteraard nog niets over de schadelijkheid voor de gezondheid, omdat ook

lage concentraties CRB schadelijk kunnen zijn.

Bij de berekeningen is geen rekening gehouden met absorptie en adsorptie in het interieur, waardoor de in de figuur aangegeven tijden in werkelijkheid langer kunnen zijn. Zoals uit veel onderzoek blijkt zijn deze verschijnselen echter niet te verwaarlozen [7] Het interieur kan gasvormige stoffen absorberen en stofdeeltjes adsorberen, waardoor de concentraties van verontreinigingen in het binnenmilieu meestal kleiner zijn dan die in de buitenlucht. Verder zijn de infiltratievouden ontleend aan de warmteverliesberekening, en hebben dus zoals gezegd een *worst case* karakter. Het is dus wel buitengewoon zinvol bij risicovolle gebouwen op dito locaties te streven naar een zo laag mogelijke luchtdoorlatendheid van de gevel.

### LUCHTKLEPPEN

Aansluitingen op de luchtbehandelingscentrale voor de aanzuig van buitenlucht en de afvoer van gebruikte lucht, moeten altijd worden voorzien van servomotorbediende luchtkleppen. Deze kleppen behoren te zijn uitgevoerd met goede afdichtingen, waardoor de gesloten stand ook inderdaad een goede luchtdichtheid verzekert. In geval van een dreigende milieucatastrofe of een bio-terroristische aanval moeten deze kleppen kunnen worden gesloten. Een interessante vraag is waar het signaal voor dit sluitcommando vandaan zou moeten komen. Geur en stank hebben beide de gunstige eigenschap dat ze mensen zich snel bewust doen worden van het feit dat iets aan de hand is. Dit geldt eveneens voor prikkelende chemische stoffen als chloor, ammoniak e.d. Op basis van menselijke waarneming zou een hiervoor bevoegde persoon of instantie het signaal "Buitenluchtkleppen Sluiten" kunnen geven. Hierbij moeten uiteraard ook eventuele open ramen worden gesloten.

Gezondheidsbedreigende gassen als koolmonoxide en bepaalde organismen van biologische oorsprong zoals legionella-en miltvuurbacteriën of sporen zijn voor mensen niet waarneembaar. Sensoren hiervoor zijn echter ofwel reeds beschikbaar, ofwel in ontwikkeling. Met behulp van massaspectrografie is men er in geslaagd roetdeeltjes, radioactieve isotopen, bacteriën en



sporen te detecteren “De kant-en-klare bacteriedetector lijkt slechts een kwestie van tijd” [13,24].

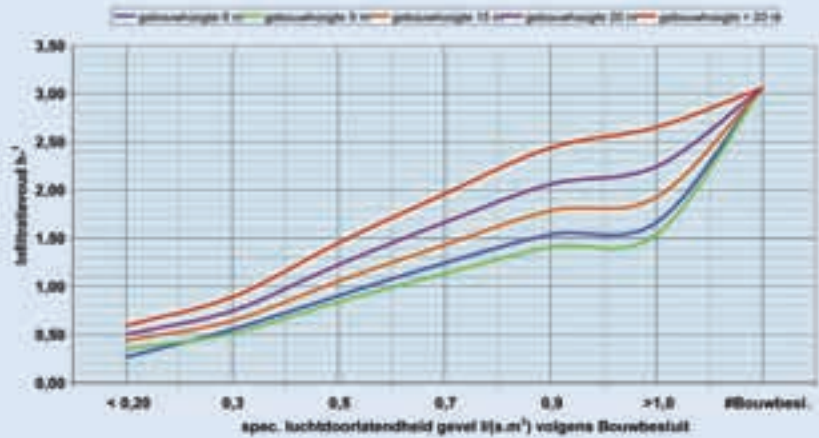
Regionale en gemeentelijke rampenplannen dienen te voorzien in waarschuwingen voor de verschillende alarmfases, en gebouwbeheerders moeten weten wat hen dan te doen staat. Hoe lang de luchtkwaliteit in een van de buitenlucht afgesloten gebouw aanvaardbaar zal blijven hangt sterk af van de personendichtheid in het gebouw, de luchtdichtheid van de buitengevel en de recirculatiemogelijkheden van de klimaatinstallatie.

### RECIRCULATIE VAN LUCHT

Aanzuigopeningen voor buitenlucht worden normaliter gedimensioneerd op het benodigde ventilatiedebiet van een gebouw, normaliter ca. 2 à 3 luchtwisselingen per uur betrokken op het nuttig vloeroppervlak. Bij de zgn. all-air systemen wordt de gehele ruimtekoeling van een gebouw door lucht verzorgd, waarvoor het luchtdebiet meestal aanzienlijk moet worden verhoogd. Een bekend voorbeeld hiervan is het VAV (Variable Air Volume) of Variabel Debietsysteem, waarbij een groot deel van de lucht wordt gerecirculeerd. Om energie te besparen werken deze systemen, als de buitenluchtcondities dit mogelijk maken, met 100 % buitenlucht gewerkt. Dit heeft twee implicaties, te weten:

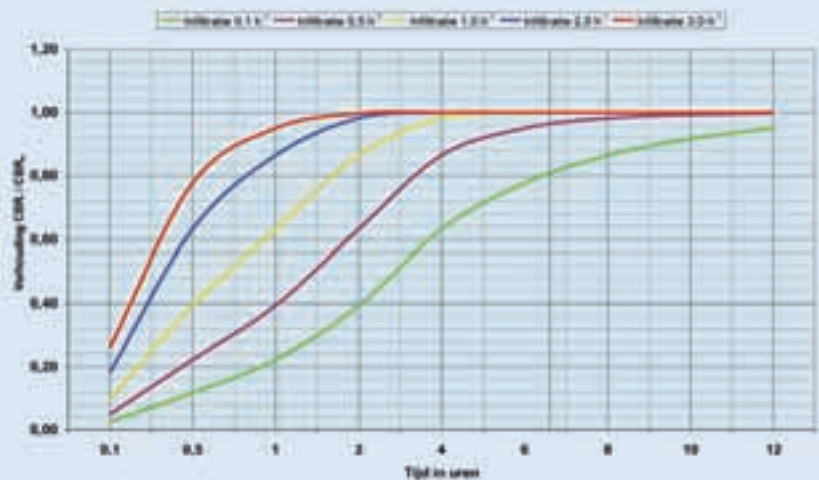
- de aanzuigopening van de buitenlucht wordt 2 à 3 keer zo groot, waardoor de potentiële risico's op kortsluiting worden vergroot;
- de gerecirculeerde lucht is voor een groot deel uit het gebouw zelf afkomstig en kan dus ook vanuit het gebouw worden besmet.

Onderzoek heeft aangetoond dat systemen die werken met recirculatie de risico's op het eerder vermelde Sick building syndroom vergroten, omdat hierbij ook tabaksrook en vluchtige organische componenten uit het interieur worden verspreid. De proceedings van de Healthy Buildings en Indoor Air conferenties geven hiervan talloze voorbeelden. In Noord-West Europa hebben deze systemen hierdoor sinds het midden van de jaren tachtig aan populariteit ingeboet. In kantoorgebouwen worden ze in Nederland niet vaak meer toegepast. In Amerika zijn ze echter nog onverminderd populair.



Infiltratie bij verschillende dichtheidsklassen van de gevel en gebouwhoogte.

- FIGUUR 6 -



Verloop van de CBR concentratie als functie van tijd en infiltratievoud.

- FIGUUR 7 -

De maximum luchtdoorlatendheid mag conform het Bouwbesluit niet hoger zijn dan 200 l/s per 500 m<sup>3</sup> gebouwinhoud. Onderzoek van de Rijksgebouwendienst heeft aangetoond dat gebouwen met dubbele naad- en kierdichting en massieve constructies in de gevel een luchtdichtheid kunnen halen van 200 l/s per 3.000 m<sup>3</sup> gebouwinhoud, dus zes keer lager als de waarde uit het Bouwbesluit (NPR 2917 1999). Dit gegeven is in de norm voor energieprestatie (NEN 2916, 1998) van utiliteitsgebouwen vertaald in verschillende dichtheidsklassen, uitgedrukt in de specifieke luchtvlomestroom van de gevel per m<sup>2</sup> gebruiksovervlakte  $q_{v,10;kar} / A_{g,sec}$  in dm<sup>3</sup>/(s.m<sup>2</sup>). Deze waarden worden eveneens gebruikt voor de bepaling van de infiltratieverliezen bij de warmteverliesberekening [9]. Aangezien ze met het oog op de bereiken binnentemperaturen als worst case kunnen worden beschouwd, lijken ze ook een veilig uitgangspunt te bieden voor de maximum te verwachten luchtinfiltratie, met de inherente CBR stoffen, in het geval van calamiteiten. Zie tabel onderstaande. De nieuwe norm voor warmteverliesberekeningen [17] geeft in tabel NA.10 dezelfde waarden, zij het bij een wat grotere spreiding van gebouwhoogten.

$q_{v,10;kar} / A_{g,sec}$	Infiltratie (m <sup>3</sup> /(s.m <sup>2</sup> gevelopp.))					
	Gebouwhoogte (m)					
	6	9	15	20	>20	Bouwbesluit
< 0,20	26*10 <sup>-5</sup>	34*10 <sup>-5</sup>	43*10 <sup>-5</sup>	49*10 <sup>-5</sup>	58*10 <sup>-5</sup>	300*10 <sup>-5</sup>
0,20 – 0,40	39*10 <sup>-5</sup>	50*10 <sup>-5</sup>	63*10 <sup>-5</sup>	73*10 <sup>-5</sup>	87*10 <sup>-5</sup>	300*10 <sup>-5</sup>
0,40 – 0,60	64*10 <sup>-5</sup>	82*10 <sup>-5</sup>	103*10 <sup>-5</sup>	120*10 <sup>-5</sup>	142*10 <sup>-5</sup>	300*10 <sup>-5</sup>
0,60 – 0,80	88*10 <sup>-5</sup>	111*10 <sup>-5</sup>	140*10 <sup>-5</sup>	163*10 <sup>-5</sup>	192*10 <sup>-5</sup>	300*10 <sup>-5</sup>
0,80 – 1,00	109*10 <sup>-5</sup>	138*10 <sup>-5</sup>	175*10 <sup>-5</sup>	202*10 <sup>-5</sup>	239*10 <sup>-5</sup>	300*10 <sup>-5</sup>
> 1,00	118*10 <sup>-5</sup>	151*10 <sup>-5</sup>	189*10 <sup>-5</sup>	220*10 <sup>-5</sup>	260*10 <sup>-5</sup>	300*10 <sup>-5</sup>

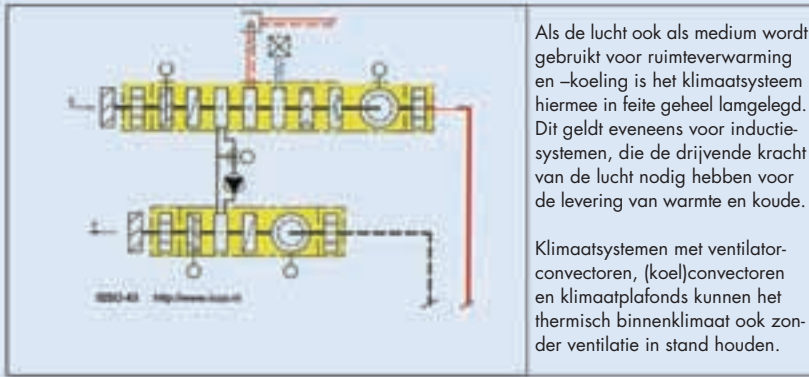
Infiltratiedebiet per m<sup>2</sup> geveloppervlak volgens NEN 2916

De waarden uit deze tabel zijn gebruikt voor de bepaling van de infiltratiedebieten per m<sup>2</sup> gebruiksovervlakte. Hierbij is uitgegaan van een gebruiksovervlakte van 85 % van het bruto vloeroppervlak (bvo) en een verhouding geveloppervlak/gebruiksovervlakte van 0,8.

### Infiltratie door gevels.

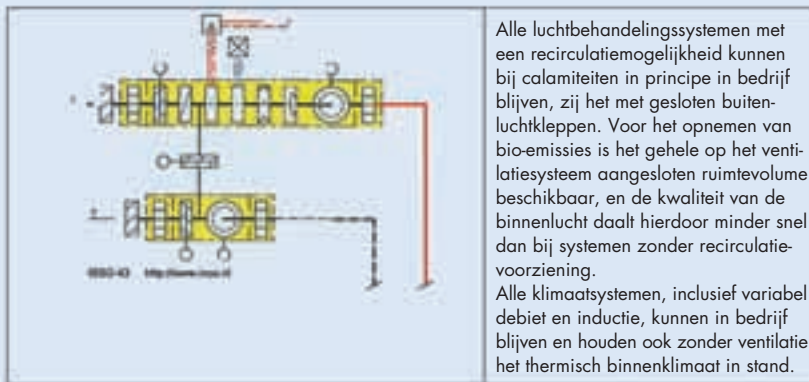
- VENSTER 3 -





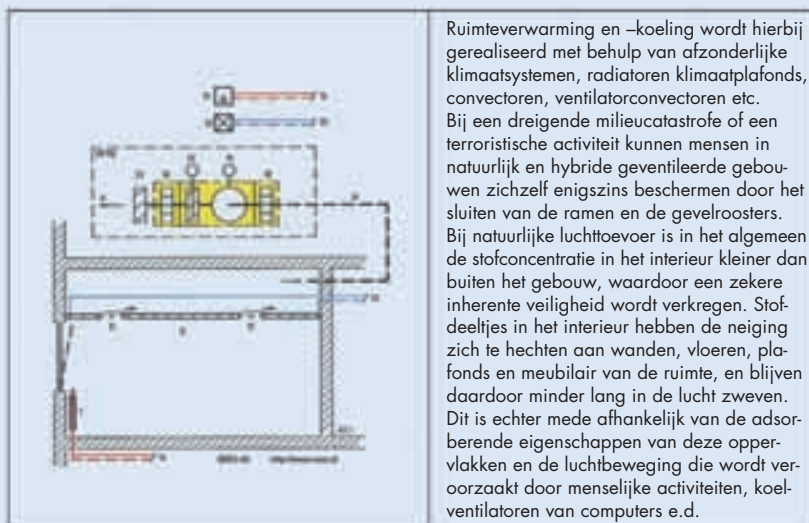
**Luchtbehandeling zonder recirculatievoorziening.**

- FIGUUR 8 -



**Luchtbehandeling met circulatievoorziening.**

- FIGUUR 9 -



**Natuurlijke en hybride ventilatie.**

- FIGUUR 10 -

Vooral het gegeven dat recirculerende systemen vanuit het gebouw zelf kunnen worden besmet, levert een groter risico voor bio-terreur. De terrorist kan een onopvallende medewerker uit de organisatie zijn, die vanaf zijn werkplek ongezien zijn lugubere werk kan uitvoeren.

### KLIMAATINSTALLATIE

Luchtbehandelingssystemen die werken met 100 % buitenlucht, zonder voorzieningen voor recirculatie, moeten bij calamiteiten buiten bedrijf worden gesteld. Zie figuur 8. De kwaliteit van de ruimtelucht gaat hierbij snel achteruit omdat voor opname van

de bio-emissies slechts het fysieke ruimtevolumen beschikbaar is. Systemen met recirculatievoorziening zijn hierbij in het voordeel. Zie figuur 9.

### NATUURLIJKE EN HYBRIDE VENTILATIESYSTEMEN

Bij natuurlijke ventilatie, en hybride systemen wordt de ventilatielucht direct van buiten door gevelroosters en/of ramen toegevoerd. Enerzijds wordt het hierbij moeilijker de ventilatielucht vanaf een centrale plek te besmetten. Anderzijds zijn deze systemen door de openingen in de gevel in geval van milieucatastrofes kwetsbaarder dan mechanische systemen.

### DEGRADATIE VAN DE BINNENLUCHTKWALITEIT

Als parameter voor de luchtkwaliteit kan de CO<sub>2</sub>-concentratie in de ruimtelucht worden gebruikt. Als uitgangspunt lijkt het redelijk te veronderstellen dat deze op het moment van het optreden van de calamiteit 800 ppm bedraagt.

De CO<sub>2</sub>-concentratie als functie van de tijd kan worden berekend met behulp van de formule:

$$C_{i(t)} = C_e + (C_0 - C_e) \cdot e^{-n \cdot t} + \frac{P}{(n \cdot V)} (1 - e^{-n \cdot t})$$

in ppm [23]

Waarin:

$C_{i(t)}$  = CO<sub>2</sub>-concentratie in de ruimte op tijdstip (t) in ppm

$C_e$  = CO<sub>2</sub>-concentratie in de buitenlucht, gesteld op 350 ppm

$C_0$  = CO<sub>2</sub>-concentratie in de ruimte op tijdstip (0), gesteld op 800 ppm

$P$  = CO<sub>2</sub>-productie in de ruimte cm<sup>3</sup>/h

$n$  = Infiltratievoud h<sup>-1</sup>

$V$  = Beschikbaar ruimtevolumen in m<sup>3</sup>

$t$  = Tijd in uur

Het beschikbaar ruimtevolumen  $V$  is bij systemen zonder recirculatiemogelijkheid gesteld op 27 m<sup>3</sup> berekend op basis van een werkplek van 10 m<sup>2</sup> en een vrije ruimte onder het plafond van 2,7 m<sup>1</sup>. Bij systemen met recirculatie is uitgegaan van een gemiddelde persoonsdichtheid van 1 persoon per 15 m<sup>2</sup> en een hoogte inclusief plafondruimte van 3 m<sup>1</sup> waaruit volgt  $V = 45$  m<sup>3</sup>.

De CO<sub>2</sub>-productie is gesteld op 20 l/h of 0,02.10<sup>6</sup> cm<sup>3</sup>/h per persoon. Voor het infiltratievoud is uitgegaan van 0,1 respectievelijk 0,2 h<sup>-1</sup>.

De ontwikkeling van de CO<sub>2</sub>-concentratie in de ruimte als functie van de tijd is voor de genoemde varianten aangegeven in figuur 11.

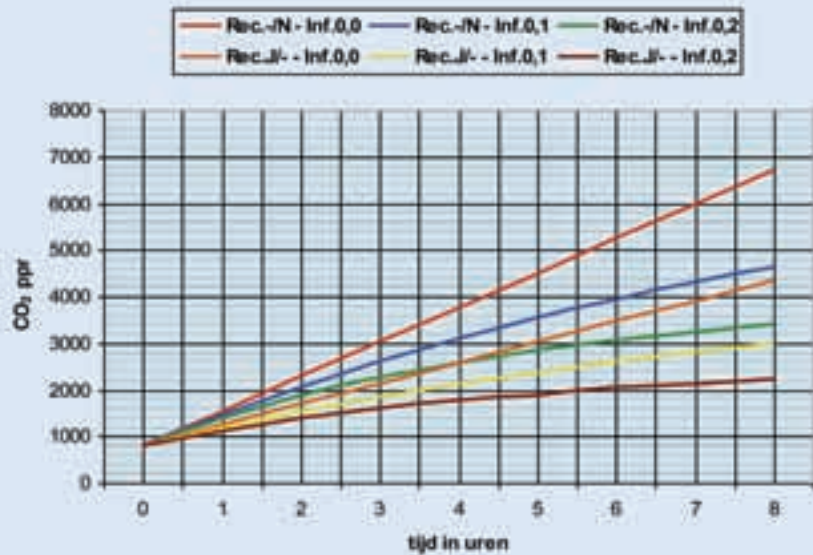
## DISCUSSIE

Volgens de Beleidsregels ARBO heeft een goede kwaliteit binnenlucht een CO<sub>2</sub>-concentratie minder dan 1.000 ppm; als grenswaarde wordt 1.200 ppm gehanteerd. Bij incidentele afwijkingen van het beoogde gebruik, waarbij een grotere verontreiniging optreedt, bijvoorbeeld tijdens een tijdelijk hoge bezetting van de arbeidsplaats, mag de CO<sub>2</sub>-concentratie ten hoogste 1.500 ppm bedragen. Dit zijn comfortgrenzen die betrekking hebben op de waardering van de geurkwaliteit van de lucht voor mensen die vanuit een frisse ruimte binnenkomen en dus niet zijn geadapteerd aan de luchtkwaliteit [21]. Voor openbare gebouwen en sommige kantoren met veel komen en gaan van ambulante, ongeadapteerde personen, is dit een goed uitgangspunt.

Voor sommige geuren vermindert na enige tijd de waarneming door gewening, in dit geval meestal adaptatie genoemd. Dit effect is het sterkst bij menselijke geuren, en treedt ook enigszins op bij matig roken. Als in geval van een calamiteit mensen tijdelijk verstoken zijn van frisse lucht kan de CO<sub>2</sub>-concentratie zonder enig bezwaar aanzienlijk hoger worden. Het is zelfs de vraag of geadapteerde personen dit überhaupt zullen waarnemen!

In dit verband kan worden gewezen op onderzoek naar de luchtkwaliteit in vliegtuigen, waar CO<sub>2</sub>-concentraties tussen 1.500 en 2.000 ppm eerder regelmaat dan uitzondering zijn. Desondanks werd in één onderzoek de luchtkwaliteit door slechts een kleine minderheid van 4 % van de passagiers als slecht beoordeeld [22, 14].

De mac-waarde van CO<sub>2</sub>-concentratie in de lucht is 5.000 ppm. Dit is de maximum concentratie die men zonder schade voor de gezondheid gedurende acht uur per dag kan inademen. Deze grens wordt in de bovenstaande analyse alleen overschreden (na 5,5 uur) als er niet wordt gerecirculeerd en bij een infiltratie van 0 (Rec./N-Inf.0,0).



Ontwikkeling CO<sub>2</sub>-concentratie in de ruimte zonder ventilatie.

- FIGUUR 11-

In alle andere gevallen wordt deze grenswaarde niet bereikt en kan de werkdag rustig worden afgemaakt. Het middel "ventilatie buiten bedrijf" is dus niet erger dan de kwaal "CBR in de buitenlucht"

## ADSORPTIE EN DESORPTIE IN HET INTERIEUR

Als bij het optreden van een calamiteit de ventilatie buiten bedrijf wordt gesteld zullen door infiltratie toch verontreinigingen uit de buitenlucht in het binnenmilieu terecht kunnen komen. Voor de snelheid waarmee dit gebeurt worden in VDI 3816 enkele waarden genoemd, waarbij geen rekening is gehouden met absorptie, adsorptie en desorptie in het interieur. Deze verschijnselen zijn echter niet te verwaarlozen zoals uit veel onderzoek blijkt [6]. Het interieur kan gasvormige stoffen absorberen en stofdeeltjes adsorberen, waardoor de concentraties van verontreinigingen in het binnenmilieu meestal kleiner zijn dan die in de buitenlucht<sup>1</sup>. Het omgekeerde is het geval als de verontreinigingen in de buitenlucht minder worden, bijvoorbeeld 's nachts, en het interieur door desorptie stoffen gaat emitteren. Het gaat hierbij in feite om dezelfde, bij ieder bekende, verschijnselen van rook, keuken- of mestgeuren die in kleding blijft hangen en in een schone ruimte weer wordt afgegeven. In de literatuur wordt dit meestal aangeduid als het "sink and source" effect. Dit effect wordt versterkt door een hoge "Pluisfactor", het totale oppervlak van

textiele materialen, vloerbedekking, gordijnen en stoelen, gedeeld door het volume van de ruimte. Eenheid m<sup>-1</sup>. [26]<sup>2</sup>.

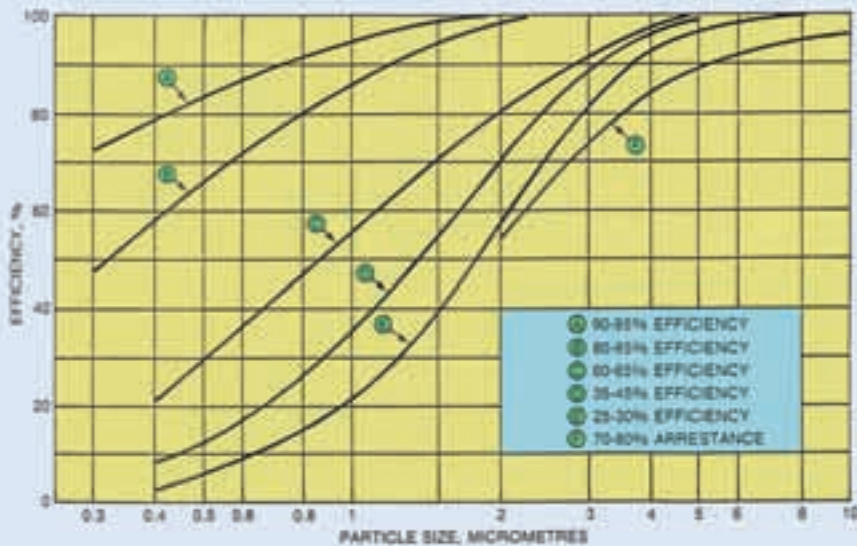
Het onderzoek naar deze effecten is nog volop gaande, zowel fysiek als met behulp van CFD-modellen.

## LUCHTFILTERS

Luchtfilters zijn bij klimaatregeling om hygiënische en technische redenen van cruciaal belang. Zij beschermen niet alleen mensen tegen stofdeeltjes uit de buitenlucht, maar voorkomen ook inwendige vervuiling van de luchtbehandelingsinstallatie, die op zijn beurt weer de luchtkwaliteit in het interieur kan bedreigen.

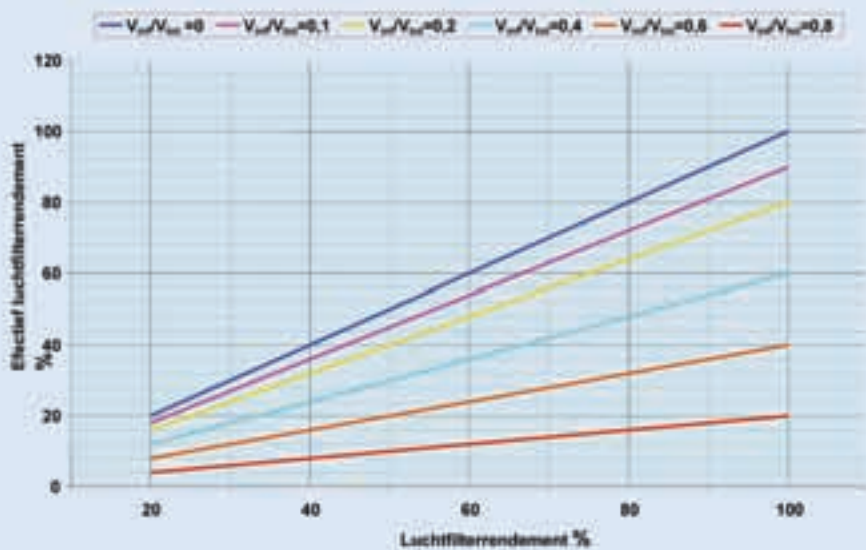
Hoe kleiner de stofdeeltjes, des te moeilijker wordt het ze in een luchtfilter te vangen. De tegenwoordig meestal toegepaste luchtfilters hebben een rendement van 80 – 85 % bij een deeltjesgrootte van 1 micron, terwijl 90 – 95 % voor comfortdoeleinden het best bereikbare is. Figuur 12 brengt dit in een beeld<sup>3</sup>.

De deeltjesgrootte van bacteriën ligt tussen 0,3 en 30 micron; de grafiek laat zien dat bij gebruik van de optimale filterkwaliteit (A) de submicrondeeltjes slechts gedeeltelijk worden afgescheiden. Virussen zijn kleiner dan 0,05 micron en kunnen dit filter grotendeels ongehinderd passeren. Het is trouwens ook maar de vraag wat het gedrag van deze micro-organismen in een luchtfilter zou zijn als ze wel zouden worden gevangen. Een weelderige vermenigvuldiging op de voedings-



Globaal rendement van luchtfilters in relatie tot de deeltjesgrootte volgens ASHRAE.

- FIGUUR 12 -



Effectief luchtfilterrendement bij infiltratie.

- FIGUUR 13 -

bodem van nutriënten (stof), vocht en zuurstof, zoals die in luchtfilters aanwezig is, ligt voor de hand en is overigens ook reeds meerdere malen vastgesteld.

Efficiënte luchtfilters voor veel CBR stoffen waren tot voor kort niet commercieel beschikbaar. VDI noemt hier o.a. luchtwassers, absorptie filters en katalytische oxidatie [27]. Een combinatie van een elektrostatisch filter en luchtwasser zou in principe ook een goede oplossing kunnen bieden [4;5] Bij ontbreken van effectieve CBR-filters moeten bij een CBR calamiteit de buitenluchtkleppen worden gesloten. Sinds kort brengt een Fins bedrijf een luchtfilter op de markt waarvan wordt geclaimd dat het ook geschikt is voor

CBR stoffen [11]. Dit zgn. 3G-filter bestaat uit verschillende filtertrappen. Ook als efficiënte luchtfilters zouden worden toegepast waardoor de ventilatie- en eventuele overdruksystemen in bedrijf zouden kunnen blijven, is een gebouw nog niet gevrijwaard van CBR-stoffen. Deze blijven namelijk via infiltratie het gebouw binnenkomen. Infiltratie kan worden opgevat als *filterbypass* en figuur 13 brengt in beeld wat dit betekent. Stel dat een luchtfilter is geïnstalleerd met een rendement van 100 %; het infiltratievoud bedraagt  $0,5 \text{ h}^{-1}$  en het ventilatievoud is  $2,0 \text{ h}^{-1}$ . Het totale luchtdebiet komt dan overeen met  $2,5 \text{ h}^{-1}$ , en de verhouding  $V_{\text{inf}}/V_{\text{tot}} = 0,2$ . Het effectieve filterrendement, inclusief *bypass*, is dan slechts 80 %.

## ELEKTROSTATISCHE LUCHTFILTERS

Een luchtfilter met een rendement van vrijwel 100 % bij deeltjes van ca 0,3 micron en groter is het elektrostatisch filter. In een ionisatiesectie worden de deeltjes elektrisch geladen en in een collectorsectie onder invloed van elektrostatische krachten neergeslagen. De collectorsectie wordt periodiek gereinigd met water waaraan een reinigingsmiddel is toegevoegd. Voor grotere installaties wordt veelal een automatische wasinrichting aangebracht.

Elektrostatische filters zijn zoals gezegd in staat zeer kleine deeltjes af te scheiden; naast microbiologische deeltjes ook tabaksrook, stuifmeel, vliegias, roet e.d. Tevens wordt in het hoogspanningsveld ozon geproduceerd dat door oxidatie geurstoffen neutraliseert en bacteriën en virussen doodt door verbranding. Vooral hun eigenschap ook zeer fijne stofdeeltjes te kunnen afscheiden, die bij verontreiniging van de buitenlucht in principe besmet dan wel verzadigd zijn met schadelijke stoffen, maakt deze filters interessant voor situaties waarin hoge eisen aan de luchtkwaliteit worden gesteld.

Een ideale filtercombinatie bestaat uit een elektrostatisch filter en een nageschakelde luchtwasser, die eventuele restozon neutraliseert, geurstoffen absorbeert, en de lucht koelt en droogt dan wel bevochtigt. Door de buitengewoon effectieve reiniging van de lucht kan in geval van nood zeer lange tijd met 100 % recirculatie worden gewerkt, zonder dat de luchtkwaliteit in gevaar komt [4;5].

De werking van deze filter/wassercombinatie kan worden vergeleken met een onweersbui na een hete en smogrijke dag als zuurstofrijk koud water de lucht niet alleen reinigt, maar tevens een tintelend frisse atmosfeer geeft. Dergelijke luchtfilters zouden bij milieucalamiteiten in principe een uitstekende bescherming kunnen bieden, ook in geval van bio-terreur, en eveneens een bijdrage kunnen leveren aan energiebesparing en verbetering van de kwaliteit van de binnenlucht bij alle systemen van luchtbehandeling en ventilatie. Ze zijn in allerlei uitvoeringen op de markt verkrijgbaar. Slechts de hoge prijs, 5 à 10 keer de prijs van traditionele luchtfilters, de lange terugverdientijd van ca. 15 jaar en het "hightech" karakter, dat installateurs en gebruikers afschrikt, hebben toepassing voor comfortdoelinden tot op heden verhinderd [4].



In Amerika, waar de meeste woningen zijn voorzien van luchtverwarming, is het elektrostatisch filter een heel gewoon gebruiksvoorwerp. Men wast ze één keer per week in de vaatwasser, en is daardoor altijd verzekerd van schone lucht in huis.

### NATUURLIJKE VENTILATIE?

De voorgaande beschouwingen gelden voornamelijk voor mechanisch geventileerde bedrijfsgebouwen. Woningen en woongebouwen worden overwegend natuurlijk geventileerd, maar ook voor bedrijfsgebouwen neemt de belangstelling voor natuurlijke en hybride ventilatiesystemen toe.

Bij natuurlijke ventilatie, en hybride systemen wordt de ventilatielucht direct van buiten door gevelroosters en/of ramen toegevoerd. Het wordt hierbij moeilijker de ventilatielucht vanaf een centrale plek te besmetten. Hybride ventilatiesystemen voor bedrijfsgebouwen zijn momenteel volop in ontwikkeling. Ruimtekoeling kan hierbij worden gerealiseerd met behulp van in het gebouw geïntegreerde systemen, zoals koelplafonds, gekoelde vloeren of bouwdeelactivering (koeling en/of verwarming van de bouwmassa). Bij natuurlijke luchttoevoer is in het algemeen de stofconcentratie in het interieur kleiner dan buiten het gebouw, waardoor een zekere inherente veiligheid wordt verkregen. Stofdeeltjes in het interieur hebben, zoals hiervoor reeds werd aangegeven, de neiging zich te hechten aan wanden, vloeren, plafonds en meubilair van de ruimte, en blijven daardoor minder lang in de lucht zweven. Dit is echter mede afhankelijk van de adsorberende eigenschappen van deze oppervlakken en de luchtbeweging die wordt veroorzaakt door menselijke activiteiten, koelventilatoren van computers e.d. Eén ding is zeker: Bij een dreigende terroristische activiteit, maar uiteraard ook in het geval van een milieucatastrofe kunnen mensen in natuurlijk en hybride geventileerde gebouwen zichzelf enigszins beschermen door het sluiten van de ramen en de ventilatorroosters.

### CBR BESMETTING VANUIT HET GEBOUW

In het voorgaande is uitgegaan van een calamiteit of een CBR-aanval in de

omgeving van het gebouw waardoor CBR-stoffen in de buitenlucht via infiltratie en ventilatiesysteem het gebouw kunnen binnendringen. Een moedwillige aanval vanuit het gebouw zelf is een heel andere zaak. Deze aanval kan zijn gericht op de aanzuigvoorziening van de buitenlucht maar ook op recirculatievoorzieningen.

Aanzuigvoorzieningen voor buitenlucht moeten daarom op een onopvallende en moeilijk toegankelijke plaats zijn aangebracht. Dit is eigenlijk een algemene eis voor gebouwen, die niet alleen terroristische aanslagen bemoeilijkt, maar ook molest en baldadigheid. Een CBR-aanval via een recirculatievoorziening heeft geen effect als de klimaatinstallatie met 100 % buitenlucht werkt, of op 100 % buitenlucht overschakelt zodra er een aanval is gesignaleerd.

Persily noemt in ASHRAE Journal verder de volgende mogelijkheden [20]:

- het isoleren van kwetsbare ruimten van waaruit het gemakkelijk is CBR-stoffen in het gebouw te verspreiden, bijvoorbeeld postkamers, laaddokken en centrale ruimten als lobby's. In deze ruimten zou dan een bepaalde onderdruk moeten worden gerealiseerd, bij voorkeur met behulp van een separatie klimaatinstallatie;
- gebruikmaking van hoogwaardige luchtfilters;
- het maken van *safe areas* in een gebouw die tijdens een CBR aanval door het personeel kunnen worden gebruikt, uitgevoerd met luchtdichte wanden en overdruksystemen. (De vergelijking dringt zich hier op met de atoomvrije kelders die tijdens de koude oorlog in sommige gebouwen werden ingericht);
- kleppenregelingen waarmee besmette ruimten kunnen worden afgesloten, vergelijkbaar met brandklep-regelingen. Een probleem is dat detectoren voor CBR momenteel (nog) niet op de markt zijn.

### CONCLUSIES

Klimaatinstallaties kunnen een risicofactor zijn in geval van milieucatastrofes, waarvan bio-terreur wellicht kan worden beschouwd als de meest ernstige vorm. Anderzijds zijn ze, mits goed ontworpen, ook in staat hiertegen bescherming te bieden.

In geval van een milieucatastrofe kan een klimaatinstallatie gedurende lange tijd in recirculatiebedrijf werken, zonder dat dit gezondheidsrisico's voor de gebruikers oplevert.

### AANBEVELINGEN

Om gebouwen optimaal te beschermen tegen milieucatastrofes en bio-terreur kunnen de volgende maatregelen worden genomen:

1. De langsgevels op ZO /NW te oriënteren. Bij de overheersende wind vanuit ZW-richtingen staan dan de ruimten op de langsgevels meestal op onderdruk. Dit kan worden gecombineerd met een ruimtelijke indeling waarbij op de ZW-gevels geen verblijfsruimten worden gesitueerd.
2. Minimalisering van de luchtinfiltratie door een zo klein mogelijke luchtdoorlatendheid van de gevel; dichtheidsklasse < 0,20 dm<sup>3</sup>/ (s.m<sup>2</sup>gebruiksoppervlak) volgens NEN 2916.
3. Luchtbehandelingsinstallaties bij voorkeur uit te voeren met recirculatiemogelijkheid, ook al zijn ze ontworpen voor 100 % buitenlucht.
4. Luchtbehandelingsystemen zonder recirculatievoorziening (figuur 7) moeten niet als all-air of inductiesysteem worden uitgevoerd.
5. Bij toepassing van een all-air of een inductiesysteem altijd een recirculatievoorziening inbouwen. Deze kan in normaal bedrijf gesloten blijven, maar bij calamiteiten worden geopend, waarbij de buitenluchtkleppen worden gesloten (figuur 8).
6. Gebouwen op potentieel kwetsbare locaties en gebouwen van groot openbaar belang waaronder crisiscentra, te voorzien van de best mogelijke CBR-filters.
7. Gebouwbeheerders moeten goed weten wat hen bij calamiteiten te doen staat, in grote trekken:
  - ramen en gevelroosters sluiten;
  - luchtbehandelingsystemen met 100 % buitenlucht:
  - ventilatoren stoppen en buitenluchtkleppen sluiten;
  - luchtbehandelingssystemen met recirculatie;
  - buitenluchtkleppen sluiten en overgaan op 100 % recirculatie.
8. Het signaal "Buitenluchtkleppen Sluiten en Retourkleppen Openen" dient hoog in de hiërarchie van

beslissingen te staan. Voorkomen moet worden dat hiervan misbruik wordt gemaakt, bijvoorbeeld om energie te besparen.

9. Voor elk gebouw moeten uitgewerkte scenario's beschikbaar moeten zijn, aangestuurd vanuit een rampenplan. Dergelijke scenario's bewijzen hun dienst bij alle milieucatastrofes.
10. Ruimten van waaruit CBR-stoffen zouden kunnen worden verspreid te isoleren en aan te sluiten op een onderdruk installatie. Verder het maken van safe area's in een gebouw die tijdens een CBR aanval door het personeel kunnen worden gebruikt. 

## REFERENTIES

1. Allard, Francis et al 1998. *Natural ventilation in buildings – a design handbook*. James & James (Science Publishers) Ltd, London. ISBN 1 873936 72 9.
2. ASHRAE 2003. *Risks Management Guidance for Health, Safety, and Environmental Security under Extraordinary Incidents*. 26 januari 2003. www.ashrae.org
3. Bronsema, B 1993. *Het binnenklimaat in de zomer: Conflict tussen theorie en praktijk?* Klimaatbeheersing 22 (1993) nr. 9 (september).
4. Bronsema, B. 1996. *Luchtfilters voor een beter milieu*. Syllabus Nationale Milieutechniekdag 1996.
5. Bronsema, B. 1997. *An Air Handling Unit for the Next Century*. *Proceedings Healthy Buildings Conference 1997*, Washington DC.
6. Bronsema, B. 1999. *Indoor Air '99 – Een impressie*. TVVL Magazine 12 /1999
7. Bronsema, B. 2001. *Healthy Buildings conferenties 1988 – 2000 – Een persoonlijke visie*. TVVL Magazine 2/2001.
8. Fanger.....
9. ISSO, 2002. *Handboek Installatietechniek uitgave 2002*. Instituut voor Studie en Stimulering van Onderzoek op het gebied van Gebouwinstallaties.
10. Jorulf, L. en Krogstad, A.L. 1993. *A longitudinal study of symptoms in office VDU-work at different room temperatures*.
11. LIFA AIR 2005. *The LIFA Concept*. <http://www.3gfilters.com/news.asp>
12. Limb, M.J. 1995. *Air Intake Positioning to Avoid Contamination of Ventilation Air. An Annotated Bibliography*. Air Infiltration and Ventilation Centre Document AIC-BIBLIOG-3-1995 ISBN 0 946075 84 0.
13. Marijnissen, J. *There's anthrax in the air – Particle analyser recognizes dangerous bacteria in an instant*. Delft Outlook 2001.4. Delft University of Technology.
14. Nagda, N.L. et al 1991. *Carbon dioxide levels in commercial aircraft cabins*. ASHRAE Journal August 1991.
15. NEN-ISO 7730 1989. *Gematigde thermische binnencondities. Bepaling van de PMV en PPD-waarde en specificatie van de voorwaarden voor thermische behaaglijkheid*.
16. NEN 2916, 1998. *Energieprestatie van utiliteitsgebouwen – Bepalingsmethoden*. Nederlands Normalisatie-instituut, 3e druk december 1998.
17. NEN-EN 12831 (en). *Verwarmingssystemen in gebouwen – Methode voor de berekening van de ontwerp-warmtebelasting*. Nederlands Normalisatie-instituut februari 2004.
18. NPR 2917, 1999. *Energieprestatie van utiliteitsgebouwen – Rekenprogramma (EPU) met handboek*. Nederlands Normalisatie-instituut, 3e druk maart 1999.
19. O'Donnel, A. et al 1999. *Air quality, ventilation, temperature and humidity in aircraft*. ASHRAE Journal April 1991.
20. Persily, A. 2004. *Building Ventilation And Pressurisation as a Security Tool*. ASHRAE Journal september 2004.
21. Pettenkofer, M.V. 1877. *Ueber das Verhalten der Luft zum Wohnhause des Menschen*. Populäre Vorträge von M.V. Pettenkofer, 1. Heft.
22. Pierce, W.M. et al. *Air Quality on Commercial Aircraft*. ASHRAE Journal September 1999.
23. Recknagel Sprenger Schramek 2000. *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik 69. Auflage*. R. Oldenburg Verlag München Wien.
24. Schrauwers, A. 1991. *Snuffelmachine tegen bio-terreur*. De Ingenieur 9 november 2001.
25. Skov, P. et al 1990. *Influence of indoor climate on the sick building syndrome in an office environment*. Scan J. Work Environ Health 16:363-71.
26. Reinikainen, L.M. en Kaakola, J.J.K. 1993. *The effect of room temperature on symptoms and perceived indoor air quality in office workers. A six week longitudinal study*. *Proceedings of Indoor Air 1993 – Volume 1*.
27. VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung. *Betreiben von Raumlufttechnischen Anlagen bei belastenden Aussenluftsituationen*. VDI 3816 Blatt 1 1993; Grundlagen. Blatt 2 1993; Smogsituationen. Blatt 3 1993; Radioaktive Emissionen. Blatt 4 1995; Sonstige gesundheitsschädliche Emissionen.
28. Wyon, D.P. 1993. *Current indoor climate problems and their possible solutions*. *Conference "Indoor Air Quality Problems- from science to practice"*. Warschau 1993.

## NOTEN

- <sup>1</sup> Absorberen is "in zich opnemen"- Adsorberen is "aan de oppervlakte vasthouden". Maximum Aanvaarde Concentratie Absorberen is "in zich opnemen"- Adsorberen is "aan de oppervlakte vasthouden"
- <sup>2</sup> Pluisfactor - oorspronkelijk "Fleece Factor" vertaling van de auteur.
- <sup>3</sup> Met "comfort" worden in dit verband klimaatsystemen aangeduid die bedoeld zijn voor menselijke behaaglijkheid. Dit in tegenstelling tot industriële toepassingen en klimaatregeling voor computers e.d.
- <sup>4</sup> Air Infiltration and Ventilation Centre – www.AIVC.org
- <sup>5</sup> Door de recente aansluiting op de Haagse Stadsverwarming zijn de schoorstenen overbodig geworden. Ze zijn voorzien van roestvast stalen voeringen en worden nu gebruikt voor de aanzuig van buitenlucht. Berlage zou ongetwijfeld blij zijn geweest met deze oplossing. De restauratie-architect, Job Roos, winnaar van de Berlageprijs 1998, was dit in elk geval. "Healthy Buildings" zijn de officiële conferenties van ISIAQ, de International Society of Indoor Air quality and Climate (www.isiaq.org en www.isiaq.nl). "Indoor Air"conferenties worden georganiseerd door ISIAS, de International Society for Indoor Air Sciences, een wetenschappelijke vereniging. ISIAQ is meer op de praktijk gericht.