

Mogelijkheden van natuurlijke of hybride ventilatie

Wanneer is natuurlijke ventilatie zinvol en wanneer niet? Waarom zijn we in veel gevallen overgegaan naar volledig mechanisch geventileerde gebouwen? Hoeveel ventilatie is eigenlijk nodig? Dit soort vragen zijn niet zo eenvoudig en eenduidig te beantwoorden. Er zijn vele meningen over.

Dr.ir. P.J.W. (Peter) van den Engel, Deerns Nederland en TU Delft, en ing. S.R. (Stanley) Kurvers, TU Delft

De voorkeur voor natuurlijke of mechanische ventilatie heeft te maken met wisselende opvattingen, toenemende kennis en inzichten, en daarnaast met veranderend gebruik. Verwachtingen over en kennis van luchtkwaliteit, het comfort en het energiegebruik zijn in de loop van de tijd gewijzigd. Ook spelen andere ontwikkelingen een rol:

- commerciële argumenten. Comfort is een product geworden dat moet worden geleverd. Ook de Deense klimaatonderzoeker Fanger is dat zo gaan benoemen. Nieuwe inzichten gaan uit van een andere benadering van comfort. Thermisch comfort is geen 'product' dat aan gebouwgebruikers wordt geleverd, maar een 'doel' dat gebruikers nastreven, als het gebouw hiervoor de mogelijkheden biedt;
- architectonische ontwikkelingen. Bij het nieuwe bouwen werd van oudsher veel glas gebruikt, waarmee de noodzaak tot koeling is toegenomen;
- technische ontwikkelingen. Door klimaatbeheersing met technische installaties verschuift de aandacht van wat kan zonder machines naar wat mogelijk is met machines;
- vertrouwdheid met een systeem. Hoe meer ervan bekend is hoe meer neiging bestaat om het toe te passen.

■ NATUURLIJKE VENTILATIE

Door de toenemende behoefte aan herstel van het contact met de natuur leeft gebruik van natuurlijke ventilatie weer op. Een ander argument voor natuurlijke ventilatie kan

bijvoorbeeld een groter gebruikerscomfort zijn (zie hierna). De meeste gebruikers hebben daarom voorkeur voor een bepaalde vorm van natuurlijke ventilatie, zo blijkt uit evaluaties. Vergeleken met niet goed werkend mechanisch systeem zijn er meer mogelijkheden om de temperatuur en ventilatie aan te passen. Gedurende een groot deel van het jaar zijn er bovendien aantoonbare energetische voordelen.

Succesvol volledig natuurlijk geventileerde gebouwen komen in nieuwbouw maar weinig voor en ze zijn vaak complex ontworpen. In bestaande gebouwen gaat het vaak om relatief oude gebouwen met te openen ramen, waarbij concessies gelden voor het energiegebruik, maar waarin gebruikers vaak wel tevreden verblijven. Kennelijk spelen er nog andere factoren een doorslaggevende rol. Bij nieuwbouw zijn er veel meer mogelijkheden voor natuurlijke ventilatie, maar ligt de keuze voor hybride ventilatie nog steeds het meest voor de hand.

■ EVALUATIES

Wat is er bekend over het verschil in comfort en gezondheidsbeleving in natuurlijk geventileerde gebouwen in vergelijking met gebouwen met volledige airconditioning? Hiernaar is de afgelopen 30 jaar het nodige onderzoek uitgevoerd. Het blijkt dat gebruikers en bewoners in natuurlijk geventileerde gebouwen het binnenmilieu anders ervaren en beoordelen dan in gebouwen met volledige klimaatbeheersing (zie onder andere Burge 1987, Zweers 1990, Mendell 1990, Bluyssens 1996).

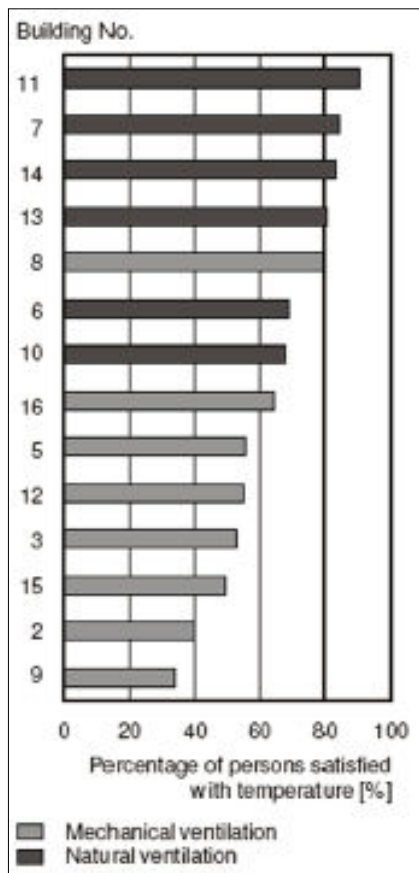
Ook blijkt vaak het energiegebruik lager te zijn (Bordass 2001, Juricic 2012). In deze onderzoeken zijn van de gebouwen tal van gebouwkenmerken vastgelegd, waaronder installatietype, en zijn onder werknemers enquêtes afgenomen naar het ervaren comfort, zoals:

- thermisch comfort (wel of niet comfortabel, acceptabel, te warm, te koud, tocht);
- luchtkwaliteit (droog, bedompt, stank);
- geluidhinder;
- daglicht en kunstlicht.

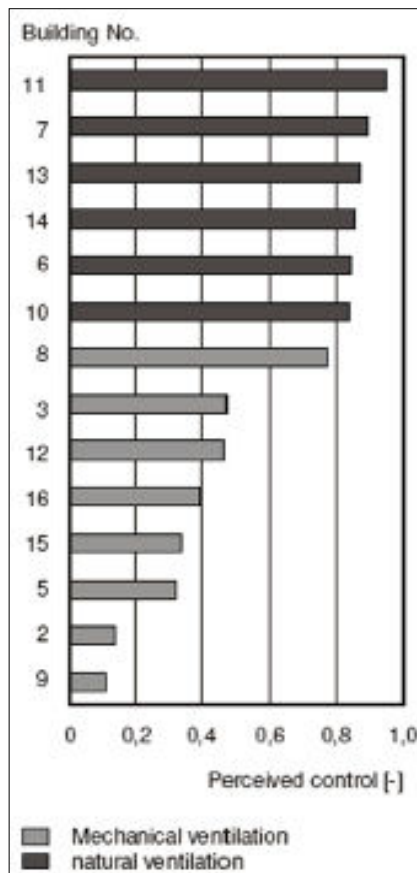
Ook is onderzoek gedaan naar gebouw gerelateerde gezondheidssymptomen, zoals:

- vermoeidheid;
- hoofdpijn;
- zwaar gevoel in het hoofd;
- lusteloosheid;
- concentratieproblemen;
- oogklachten;
- verstopte neus, loopneus;
- keelirritatie;
- huidklachten.

De resultaten van deze onderzoeken laten grotendeels een vergelijkbaar patroon zien. Koeling en bevochtiging van de ventilatie-lucht geven een hogere kans op comfort- en gezondheidsklachten. Gebouw- en installatiefactoren die bijdragen aan een verhoogde kans op klachten zijn het luchttoevoerfilter, de koelsectie, de bevochtigungssectie en een warmtewiel. Daarnaast hebben factoren als een gesloten gevel, het niet kunnen openen van de ramen, onvoldoende beïnvloedbaar-



-Figuur 1- Percentage personen per gebouw dat tevreden is met de binnentemperatuur in natuurlijk en mechanisch geventileerde gebouwen (Hellwig, 2006)



-Figuur 2- Ervaren beïnvloedingsmogelijkheden (0=geen beïnvloeding mogelijk; 1= wel beïnvloeding mogelijk). Voor natuurlijk geventileerd: gemiddeld: 0.87; voor mechanisch geventileerd, gemiddeld 0.32 (Hellwig, 2006)

heid van de temperatuur en de aanwezigheid van groeps kantoren, een ongunstige invloed op het ervaren comfort en de gezondheid. In het Europese Airless-project (Bluyssen, 2003) bleek dat onderdelen van luchtbehandelingsinstallaties, zoals filters, kanalen, bevochtigers, koelunits en warmtewielen, een verhoogde kans op gezondheidssymptomen geven. In het Europese onderzoek HOPE (Roulet, 2006) bleek dat klachten over luchtkwaliteit en thermisch comfort vaker voorkwamen wanneer de gebruikers de omgeving niet konden beïnvloeden met een te openen raam. Gebruikers die de beschikking hebben over een te openen raam zijn beduidend tevredener over de omgeving (Huizenga, 2006). Uit een Duits onderzoek in 16 kantoorgebouwen (Helwig, 2006) blijkt dat bewoners van gebouwen met natuurlijke ventilatie het meest tevreden zijn over de temperatuur en de temperatuurregeling vergeleken met bewoners in gebouwen met mechanische ventilatie (figuur 1). Tevens werd onderzoek gedaan naar de mate van ervaren beïnvloedingsmogelijkheden. Figuur 2 laat zien dat deze in de natuurlijk geventileerde gebouwen beter zijn. Gebouw 8 had naast mechanische ventilatie ook te openen ramen en geen koeling.

Gebouwen 2 en 9 zijn gebouwen met een gesloten gevel, een all air-systeem en grote werkruimten. Wanneer gebruikers hun omgeving kunnen beïnvloeden neemt het thermisch en visueel comfort toe en zijn ze meer tevreden over de luchtkwaliteit. De algehele tevredenheid over het binnenmilieu wordt vooral positief beïnvloed door een goed thermisch comfort (Frontczak, 2011). In natuurlijk geventileerde gebouwen is de temperatuur over het algemeen hoger dan in airconditioned gebouwen en volgt deze het buitenklimaat beter bij een gelijk of betere perceptie van comfort (Frontczak 2011, Nicol 2010).

MECHANISCH ALS HET MOET

Als het nodig is blijft volledige mechanische ventilatie een goed alternatief, zolang de gebruiker maar de mogelijkheid heeft om een raam open te zetten en er goed wordt nagedacht over de regelbaarheid, de drukverliezen, hygiëne en schoonmaakbaarheid van het systeem. Kennis over het nuttig gebruik van fysieke krachten van luchtstromingen is voor beide systemen van belang. Niet voor niets krijgen hybride systemen recent internationaal

gezien zo veel aandacht.

Gunstige bouw fysieke eigenschappen van de schil van een gebouw (zoals goede zonwering) zijn een belangrijke randvoorwaarde. Een mechanisch systeem alleen kan niet voor een goed comfort zorgen; mogelijk wel op papier, maar niet in de praktijk.

GESCHIEDENIS

Waar is het begonnen?

In het verleden werden vrijwel alle gebouwen natuurlijk geventileerd, zelfs een hoog gebouw als het Empire State building. De kantoor-kamers hiervan zijn niet diep en er is overal daglicht.

Oude 'high tech'-oplossingen met natuurlijke ventilatie zijn in Engeland te vinden met natuurlijke ventilatie in theaters en in het parlamentsgebouw. Veel van die principes zijn inmiddels vergeten, maar worden op dit moment weer onderzocht met als doel ze opnieuw in een andere vorm toe te passen. Aan het einde van de 19^e en in de loop van de 20^e eeuw kwam mechanische ventilatie in kantoren steeds vaker voor, met name nadat in de VS Carrier de koelmachine introduceerde. In de jaren vijftig van de vorige eeuw deed vervolgens de gesloten vliesgevel zijn intrede, vaak gecombineerd met diepe kantoortuinen. De verwachting was dat dit de productiviteit van mensen zou bevorderen. Verwachtingen over schoonheid en comfort wisselen in de tijd.

Voorbeelden natuurlijke ventilatie

Halverwege jaren negentig van de vorige eeuw werd door Mick Pierce een winkelcentrum in Harare ontworpen waarin de ventilatie van een termietenheuvel de inspiratiebron vormt. Deze vorm van ventilatie is nog steeds actueel en niet helemaal begrepen.

In Nederland is bij nieuwbouw volledige natuurlijke ventilatie maar in een paar gebouwen toegepast. Het gaat om gebouwen waar lucht via de gevel wordt toegevoerd en centraal via een schoorsteen afgevoerd. Dit is het meest basale concept, waarbij gebruikers direct contact met buiten houden. Een voorbeeld is het kantoor van Rijkswaterstaat in Terneuzen (2000), dat in 2011 nog een duurzaamheidsnominatie kreeg van het programma 'Vroege vogels'.

In Engeland zijn diverse gebouwen van Short Associates overtuigend voorzien van natuurlijke ventilatie. De lucht wordt meestal via kleine atria toegevoerd en via schachten in de gevel afgevoerd (Short 2004, Krausse 2007, Lomas 2007). Bij al deze concepten is het vooral het schoorsteeneffect dat voor de vereiste ventilatie zorgdraagt. Wind ondersteunt daarbij het thermische concept in meer of mindere mate.

Hybride ventilatie

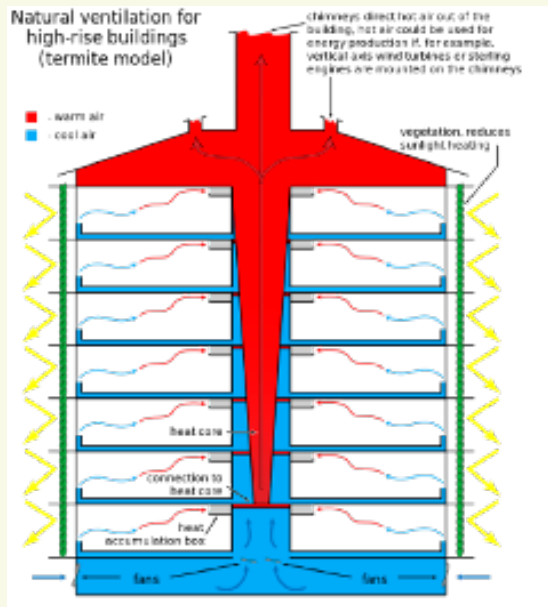
Hybride geventileerde gebouwen komen veel meer voor en zijn zelfs vrij gebruikelijk. Hybride ventilatie kan worden beschouwd als een combinatie van natuurlijke met mechanische ventilatie, zoals bij natuurlijke toevoer en mechanische afvoer. Dit is al het geval bij te openen ramen gecombineerd met mechanische ventilatie. Een andere vorm van hybride ventilatie is het tijdelijk verminderen of uitzetten van de mechanische ten gunste van natuurlijke ventilatie. Dit gebeurt om meer te ventileren of koelen met minder energie of om de gebruiker de keuze te geven voor een ander type comfort. Zo zijn er talloze gebouwen met tweede huidgevels of atria die deels natuurlijk worden geventileerd. Daaronder vallen ook zeer hoge gebouwen, zoals de Commerzbank in Frankfurt, waarbij gebruikers aantoonbaar tevreden zijn en zelfs een voorkeur hebben voor natuurlijke ventilatie bij de keuze mechanisch/natuurlijk (Wood, 2013).

Woningen en kantoren

In Nederland wordt bij woningen inmiddels natuurlijke luchttoevoer via de gevel weer vaker toegepast dan volledige mechanische ventilatie met warmteterugwinning. Er zijn zelfs toepassingen van passieve woningen met natuurlijke ventilatie. De toename van natuurlijke toevoer via de gevel is vooral ontstaan na gezondheidsklachten van de bewoners in de Amersfoortse wijk Vathorst, die grotendeels aan mechanische ventilatie zijn toegeschreven. Het is daarbij onduidelijk waarom er zo'n groot onderscheid wordt gemaakt tussen woningen en kantoren, omdat de warmtelast bij kantoren de laatste jaren zo sterk is afgenomen. Er is niet veel reden om het systeem, zoals bij woningen wordt toegepast, ook niet bij kantoren te gebruiken zodra bij kantoren de bezettingsgraad relatief laag is. Een voorwaarde is wel dat er in kantoren minder (voornamelijk) grote ruimten (groepskantoren) zouden moeten worden gemaakt, iets wat ook om andere redenen (geluidhinder, gebrek aan beïnvloedingsmogelijkheden en privacy, ongunstig visueel comfort) wenselijk is.

Architecten en natuurlijke ventilatie

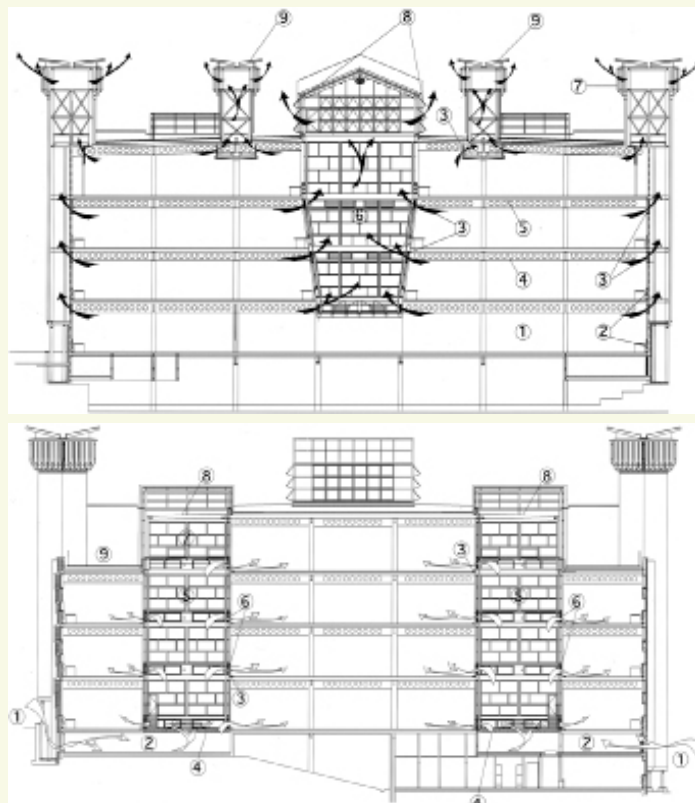
Het valt op dat er nu diverse internationaal opererende architecten zijn die zich hebben gespecialiseerd in hybride ventilatie en het vaak gebruiken voor hun acquisitie, zoals Louisa Sauerbruch en Matthias Hutton, Thomas Herzog, Norman Foster, Mick Pierce, Stephan Behnisch, Hamzah & Yean en KPMB Architects (voor een uitgebreid overzicht zie Wood, 2013). De principes van hun gebouwen zijn ook voor veel andere projecten te gebruiken.



3a. 1996, Mick Pierce, East Gate Centre Harare; thermiek, centrale toe- en afvoer, vrije gevelindeling mogelijk, goede zonwering aanwezig



3b. 2000, Opmaat, kantoor Rijkswaterstaat Terneuzen; thermiek, toevoer via de gevel afvoer via een hoge schoorsteen op het dak



3c. 2003, Ford and Associates, Frederick Lancaster Library, Coventry; thermiek, lage toevoer via atria, afvoer via schachten in de gevel, op het dak en via een centraal atrium

-Figuur 3- Voorbeelden van natuurlijke ventilatieconcepten van meer dan tien jaar terug

Argumenten tegen te openen ramen	Argumenten voor te openen ramen
de gevel is goedkoper	waarom geldt dit voor woningen niet?
Bij warm en vochtig weer hoeft de koelinstallatie minder te koelen dan als er ramen open zouden staan	Het effect van vrije koeling wordt over het hoofd gezien; gebruikers kunnen zich bovendien ook aanpassen aan het weer; de combinatie met zonwering, waarbij zo veel mogelijk wordt voorkomen dat zonnewarmte naar binnenkomt, is een belangrijk aandachtspunt
Er is angst voor tocht bij kantoortuinen	De regel mogelijkheden van de ramen kunnen groot zijn, bijvoorbeeld als er een optie van kleine kierstanden is, de kier zich op een zo hoog mogelijke plek bevindt en er een afscherming tegen regen en wind is; tweede huidramen geven nog de meeste mogelijkheden
De omgeving is lawaaierig en enigszins vervuild	Dit is in Nederland maar op weinig plaatsen het geval, doorgaans is de lucht buiten schoner dan binnen (Ragas, 2011); de kennis hierover bij A1-locaties is evenwel beperkt. Gebruikers kunnen zelf de afweging maken of er op een bepaald moment geluidhinder wordt geaccepteerd als hiermee de temperatuur en de luchtkwaliteit positief kan worden beïnvloed.
Het idee bestaat dat gefilterde lucht via het mechanische ventilatiesysteem schoner is dan lucht via te openen ramen	In veel gevallen is juist het mechanisch ventilatiesysteem de grootste vervuiler van de binnenlucht. De Amerikaanse hoogleraar Jessica Green laat zien dat bepaalde pathogene bacteriën zich graag in mechanische ventilatiesystemen nestelen en dat in dit geval lucht via te openen ramen schoner is (zie http-verwijzing bij 7);
Het idee bestaat dat het drukregime in het ventilatiesysteem wordt verstoord, zodat sommige gebruikers bijna geen verse lucht meer zouden krijgen	Hierover is nog weinig bekend. Het effect van drukverschillen bij open/gesloten ramen is doorgaans beperkt, zelfs bij hoogbouw zijn voldoende toepassingen bekend. Ramen staan bovendien maar een deel van de dag open. Er zou daarbij ook veel meer naar de gemiddelde luchtkwaliteit in de tijd moeten worden gekeken.

-Tabel 1- Argumenten voor en tegen te openen ramen

■ TE OPENEN RAMEN?

Bij kantoren wordt helaas nog vaak gekozen voor een gevel die volledig is gesloten en waarvan het gebouw volledig afhankelijk is van het mechanische ventilatiesysteem. De redenen daarvan zijn divers en kunnen met de factoren in tabel 1 te maken hebben. In feite is er geen enkele fysische reden om geen te openen raam aan te brengen, tenzij de omgeving erg vervuild is en er veel lawaai in de omgeving is. Het zijn vooral economische korte termijn factoren die doorslaggevend zijn. Bovendien vindt hierover doorgaans niet voldoende discussie met gebruikers plaats.

■ WAT IS MOGELIJK?

Met de huidige technologie is het goed mogelijk om met natuurlijke of hybride ventilatie een energiezuinig gebouw te ontwerpen, zowel in het stook- als koelseizoen. Het vraagt wel om een heel ander ontwerpproces dan nu gangbaar is.

Regeling

Door gericht gebruik te maken van interne warmte, zonnewarmte en thermische massa kan het energiegebruik zowel bij natuurlijk als mechanisch geventileerde gebouwen laag worden gehouden. Door bewust te ventileren, minder bij koud en heel warm weer en meer bij buitentemperaturen tussen de 15 en 25°C, is bovendien een grote speelruimte in de hoeveelheid ventilatie aanwezig. Bij heel warm

weer is er daarnaast de optie om juist veel te ventileren omdat met een hogere luchtsnelheid afkoeling plaatsvindt (comfortkoeling). De start van een ontwerp is altijd het weren van zonnewarmte in de zomer en behoud van warmte in de winter. De vraag hoeveel lucht nodig is om de luchtkwaliteit te waarborgen is daarom uiterst relevant.

Toevoer

Bij natuurlijke toevoer is de kwaliteit van het toevoersysteem het meest belangrijk. Hiermee moet tocht worden voorkomen, de volumestroom worden geregeld en bij storm moet deze volledig afsluitbaar zijn. Fabrikanten spelen hier steeds meer op in. Hoe minder de hoeveelheid lucht per meter gevel, hoe makkelijker beheersbaar het systeem met roosters is en hoe kleiner de drukverschillen zijn waarmee gewerkt kan worden.

Voor grote debieten, zoals bij scholen, zijn er inmiddels ook oplossingen, maar hiervoor is een vrij groot drukverschil nodig. Er is vooral behoefte aan robuuste en eenvoudige systemen die bij kleine en grote drukverschillen goed functioneren.

Koeling

Met nachtventilatie kan al minstens 30 W/m² worden gecoeld, mede afhankelijk van de weersomstandigheden. De vorm en grootte van het te openen raam is belangrijk voor de effectiviteit van vrije koeling of de hoeveelheid

ventilatie. Er zijn inmiddels voorzieningen op de markt die gericht gebruik maken van vrije koeling, zoals:

- lamellenroosters opgenomen in ramen waardoor er geen kans op inregenen en inbraak is;
- schoorstenen op het dak die lucht zowel toe- als afvoeren (Monodraught Ltd).

Aanvullende koeling is ook bij natuurlijke ventilatie mogelijk, zolang een gekoeld vlak maar boven de dauwpunttemperatuur blijft. Deze ligt in de meest ongunstige situatie in Nederland vrijwel nooit hoger dan 18 °C. Gedacht kan worden aan koelvermogens tot 80 W/m² die kunnen worden gecombineerd met natuurlijke ventilatie zonder dat er risico is op condensatie.

Gebruikers en natuurlijke ventilatie

Het bewustzijn van de gebruiker over en de voorkeuren voor een bepaald type binnenklimaat spelen ook een rol bij de keuze voor een systeem.

Bij de researchinstututen Alterra (Stephan Behnisch) en Amolf (Dick van Gameren) speelde de wens voor natuurlijke ventilatie een grote rol. Bij de hoogbouw van het ministerie van Justitie en Binnenlandse zaken (Hans Kolhoff) wilde de gebruiker ook graag natuurlijke ventilatie. Vrijwel volledige natuurlijke ventilatie (zoals in het Kfw Westarkadegebouw van Sauerbruch Hutton, figuur 4)

bleek hier nog een brug te ver, maar wel zijn er tweede huidramen toegepast, zodat elke gebruiker toch contact met buiten heeft.

Productontwikkeling

Er is nog steeds behoefte aan de ontwikkeling van systemen zoals die bij zowel lage druk als temperatuur grotere hoeveelheden lucht kunnen toevoeren en ook in bijvoorbeeld de omgeving van de vloer kunnen worden opgenomen. Hiervoor is aanvullende productontwikkeling nodig. Bij de systemen voor vrije koeling en nachtventilatie ontbreekt het vaak aan goede bouwkundige integratie.

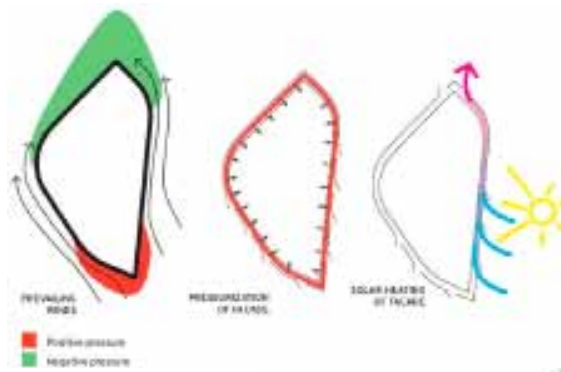
OPLEIDING

Zowel op hogescholen als universiteiten blijken de studenten in toenemende mate gefascineerd te zijn door natuurlijke of hybride ventilatie. Het lesprogramma dat daarvoor nodig is moet nog verder worden ontwikkeld. Het zou ook een onderdeel kunnen worden van een TVVL-cursus. Figuur 5 laat een recent gebouwde zonneshoorsteen zien die door Kimberly Beerkens en Gertjan Schoneveld van de Hogeschool van Rotterdam is getest voor te renoveren woningen met natuurlijke ventilatie. Inspirator van het project is de architect Arjan Karssenberg, ontwerper van kaswoningen in Culemborg.

Het ontbreekt momenteel aan voldoende praktische informatie op het gebied van natuurlijke of hybride ventilatie voor ontwerpers. Dit is een probleem wat zich zowel nationaal als internationaal voordoet. Daarom wordt momenteel in een samenwerkingsproject tussen de TU-Delft en de Heriot-Watt-universiteit in Edingburgh (prof. Susan Roaf) gewerkt aan een handboek op het gebied van natuurlijke en hybride ventilatie.



-Figuur 5- Voorbeeld van een laboratoriumopstelling van een zonneshoorsteen bedoeld voor te renoveren woningen met volledige natuurlijke ventilatie in Heijlplaat



Lucht wordt via drukverschillen door de wind op de tweede huidgevel toegevoerd of via een mechanisch toevoersysteem in de borstwering. Afvoer vindt centraal met schachten plaats.

Figuur 4- Voorbeeld van een recent gebouw met hybride ventilatie en een zeer laag energiegebruik: het Kfw Westarkade gebouw van Sauerbruch Hutton.



LITERATUUR

1. RT Hellwig, S Brasche, W Bischof. Thermal Comfort in Offices – Natural Ventilation vs. Air Conditioning, Proceedings of congress Comfort and Energy Use in Buildings – Getting it Right, Windsor 2006.
2. MJ Mendell, AH Smith, Consistent Pattern of Elevated Symptoms in Airconditioned Office Buildings: A Reanalysis of Epidemiologic Studies, Am. J. Public Health 80 (10) (1990) 1193-1199.
3. S Burge, A Hedge, S Wilson, J Bass, and A Robertson, 1987. Sick Building Syndrome: A Study of 4373 Office Workers; Ann. Occup. Hyg. 31, 493-504.
4. T Zweers, L Preller, B Brunekreef, JSM Boleij, Health and Indoor Climate Complaints of 7043 Office Workers in 61 Buildings in the Netherlands, Indoor Air 2 (1992) 127-136.
5. PM Bluysen e.a., European Indoor Air Quality Audit Project in 56 Office Buildings, Indoor Air, Volume 6, Issue 4, pages 221-238, December 1996.
6. PM Bluysen, C Cox, O. Seppänen, E de Oliveira Fernandes, G Clausen, B Müller, CA Roulet, Why, when and how do HVAC-systems pollute the indoor environment and what to do about it? the European AIRLESS project, Building and Environment, Volume 38, Issue 2, February 2003, Pages 209-225.
7. SMM Juricic, ER van den Ham, SR Kurvers, Robustness of a building - Relationship between building characteristics and energy use and health and comfort perception, Proceedings of 7th Windsor Conference: The changing context of comfort in an unpredictable world Cumberland Lodge, Windsor, UK, 12-15 April 2012.
8. CA Roulet. Indoor air quality and energy performance of buildings. Proceedings Healthy Buildings 2006 (1) 37-47.
9. C Huizenga, S Abbaszadeh, L Zagreus, EA Arens. Air Quality and Thermal Comfort in Office Buildings: Results of a Large Indoor Environmental Quality Survey, Proceedings of Healthy Buildings 2006, Lisbon, Vol. III, 393-397.
10. B Bordass, R Cohen, M Standeven, A Leaman. Assessing building performance in use 3: energy performance of the Probe buildings. Building Research & Information (2001) 29(2), 114-128.
11. B Krausse, M Cook, K Lomas. Environmental performance of a naturally ventilated city centre library. Energy and Buildings 39 (2007) 792-801.
12. KJ Lomas. Architectural design of an advanced naturally ventilated building form. Energy and buildings 39 (2007) 166 -189.
13. CA Short, KJ Lomas, A Woods. Design strategy for low-energy ventilation and cooling within an urban heat island. Building Research & Information (2004) 32(3), 187-206.
14. A Wood, R Salib. Natural ventilation in high rise office buildings. Routledge 2013.
15. AMJ Ragas, R Oldenkamp, NL Preeker, J Wernicke, U Schlink. Cumulative risk assessment of chemical exposures in urban environments. Environment International 37 (2011) 872-881.
16. http://www.ted.com/talks/jessica_green_are_we_filtering_the_wrong_microbes.html
17. M. Frontczak, P Warkocki. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. Building and Environment 46 (2011) 922-937
18. F. Nicol, M Humphreys. Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard EN15251. Building and Environment 45 (2010) 11-17