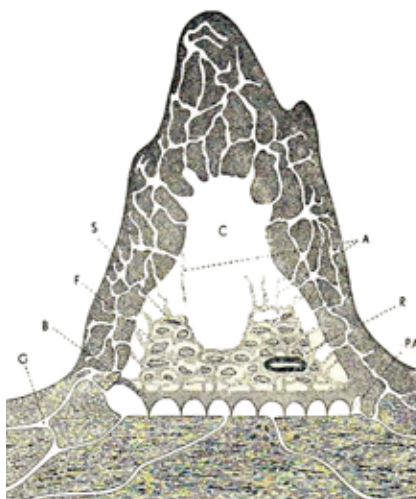


Heilzaam voor het binnenmilieu

Natuurlijke airconditioning

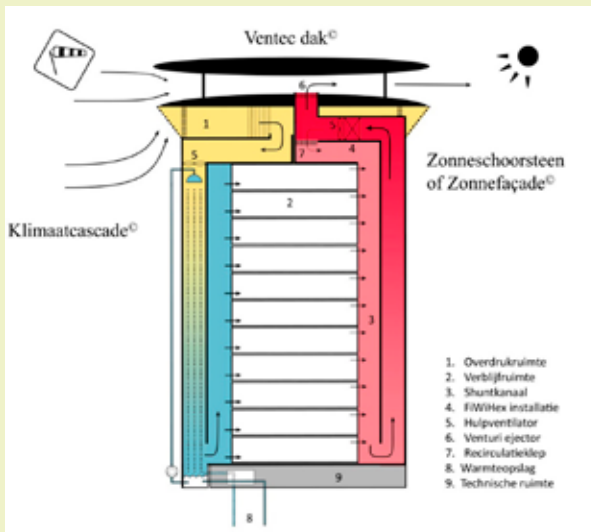
Kunnen we een eenvoudigere airconditioning ontwerpen met een hogere gebruikerstevredenheid? Kunnen we de architect hierbij betrekken en zo tegelijkertijd het bouwproces verbeteren? En kunnen we dan ook de onderhoudskosten en het energiegebruik reduceren? Het strategische uitgangspunt van het onderzoek Earth, Wind & Fire hiernaar richtte zich op de ontwikkeling van klimaatresponsieve architectuur, waarbij klimaatontwerp, bouwfysica en installatietechniek samenwerken met de architecturale opdracht. De architect krijgt zo een belangrijke rol als co-ontwerper van het klimaatsysteem als element van architecturale expressie. Hierdoor wordt de architect ook mede verantwoordelijk voor het binnenmilieu en het energiegebruik van het gebouw.

Dr.ing. B. (Ben) Bronsema, Bronsema Consult en TU Delft, Faculteit Bouwkunde, Architectural Engineering +Technology; R. (Regina) Bokel, TU Delft, Faculteit Bouwkunde, Architectural Engineering +Technology; W. (Wim) van der Spoel, Landstra Bureau voor Bouwfysica en TU Delft Faculteit Bouwkunde, Architectural Engineering +Technology

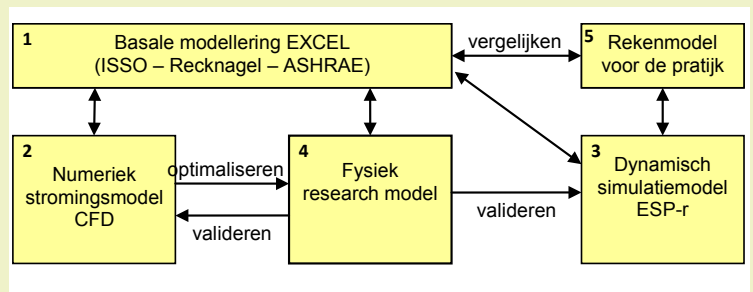


-Figuur 1- Het Bio-mimicry principe Natuurlijke Airconditioning in een Termieten Heuvel

Termieten in Afrika bouwen voor hun onderkomen enorme heuvels (zie figuur 1) waarin ze een schimmel verbouwen die als hun primaire voedsel dient. Voor een optimale schimmelgroei is een temperatuur van 30°C nodig, terwijl de buitentemperatuur kan variëren van 0°C 's nachts tot 40°C overdag bij felle zonnestraling. De termieten realiseren deze opmerkelijk prestatie door het voortdurend openen en sluiten van ventilatieopeningen in hun 'woningen' voor afvoer en toevoer van warmte en koude gedurende de dag/nachtcyclus. Zover we weten splitsen termieten het ontwerp van hun woningen niet in architectuur en engineering. En voor zover we weten zijn termieten zeer tevreden met hun woningen. Zouden we de bouwtechniek van termieten niet kunnen toepassen in de mensenwereld?



-Figuur 2- Principes Earth, Wind & Fire concept. In deze schematische weergave is ter wille van de duidelijkheid de Klimaatcascade aan de buitengevel getekend. In plattegrond zal de Klimaatcascade meestal in een inpandige schacht worden opgenomen.



-Figuur 3- Modelleren, Simuleren en Valideren

Zouden we, zoals termieten dat doen, een gebouw kunnen ontwerpen als 'klimaatmachine' met natuurlijke airconditioning? Zouden we hierdoor wellicht de kloof tussen architectuur en engineering kunnen overbruggen? En zouden we hierdoor in staat zijn energie-neutrale gebouwen te ontwerpen met een natuurlijk, gezond en productief binnenmilieu? Een nieuw begrip was met deze gedachten geboren: 'klimaatresponsieve architectuur'. Een gebouw ontworpen als klimaatmachine die wordt geactiveerd door de omgevingsenergie van zwaartekracht, aardmassa, wind en zon, metaforisch aangeduid met Earth, Wind & Fire.

IN HET KORT

Figuur 2 toont een dwarsdoorsnede van een hoog kantoorgebouw. De wind waait tegen de gevel en wordt op dak niveau opgevangen door dakoverstekken.

Ventecdak

Het Ventecdak (Van Vent en Tect, Latijn voor Wind en Dak, maar ook voor Ventilation & Technology) gebruikt positieve winddrukken om ventilatielucht via een overdrukruimte en de klimaatcascade aan het gebouw toe te voeren. Negatieve winddrukken worden gebruikt om het gebouw via de zonneschoorsteen en een venturi-ejector af te zuigen. Met dit concept wordt gebruik gemaakt van de relatief goede luchtkwaliteit op grotere hoogte. Verder wordt door de horizontale scheiding tussen toevoer- en afvoerlucht kortsluiting tussen beide luchtstromingen

voorkomen. Het Ventecdak kan in principe ook worden benut voor het opwekken van windenergie en zonne-energie, waarmee een belangrijke bijdrage kan worden geleverd aan de energieneutraliteit van gebouwen.

Klimaatcascade

Kern van het klimaatsysteem is de klimaatcascade, een door zwaartekracht geactiveerde warmtewisselaar voor de conditionering van ventilatielucht, uitgevoerd als bouwkundige schacht. In de klimaatcascade wordt de ventilatielucht al naar behoefte gekoeld of verwarmd, gedroogd of bevochtigd. Aan de top wordt zomer en winter via sproeiers water van ca. 13°C toegevoerd, waarbij door impulsverdracht van druppels op lucht de neerwaartse luchtbeweging vanuit de overdrukruimte wordt versterkt. Deze aerodynamische druk maakt tezamen met de hydraulische druk en de neerwaartse thermische trek ventilatoren overbodig. De benodigde koude wordt aan de bodem onttrokken, en warmte wordt direct of indirect door de zonneschoorsteen geleverd. Door de hoge warmteoverdrachtscoëfficiënt van de vallende druppels en het grote actieve oppervlak van het miljoenen druppels tellende sproeispectrum werkt de klimaatcascade met een zeer klein temperatuurverschil tussen lucht en water.

Zonneschoorsteen

Ventilatielucht wordt afgezogen via de zonneschoorsteen of zonnefaçade waarin tevens zonne-energie wordt geogst, die wordt gebruikt voor verwarming van het gebouw in

het stookseizoen. Met behulp van een warmtewisselaar aan de top van de zonneschoorsteen wordt de zonnearmte overgedragen op circulerend water en in de bodem onder het gebouw opgeslagen. De venturi-ejector in het Ventecdak dient mede om het drukverlies van de warmtewisselaar te compenseren. Voor de morfologie van een zonneschoorsteen zijn vele varianten denkbaar, waarbij de gevel bedekkende zonnefaçade de grootste energieprestatie levert.

ONDERZOEKSMETHODE

Het Ventecdak, de klimaatcascade en de zonneschoorsteen zijn onderzocht en ontwikkeld volgens de methode van modelleren, simuleren en valideren (zie figuur 3)

Basale modellering (1)

De ontwikkeling van de drie sub-concepten is in eerste instantie uitgevoerd met behulp van eenvoudige rekenmodellen, die een eerste indruk gaven van de haalbaarheid en de potentie van het concept. Met behulp van technische berekeningsgegevens uit het repertoire van de klimaatingenieur werden warmteoverdracht en stromingen op macroniveau globaal geanalyseerd.

Gedetailleerde modellering (2)

De sub-concepten werden vervolgens met behulp van Computational Fluid Dynamics (CFD), uitgewerkt in virtuele prototypes, die inzicht gaven in warmteoverdracht en stromingen op microniveau. Met gebruikmaking van simulatietechnieken werden de fysieke ver-

schijnselen in detail geanalyseerd, waardoor mede kon worden bepaald of en in hoeverre modellen konden worden opgeschaald naar bouwdelen op ware grootte.

Dynamische modellering (3)

Het basale rekenmodel en het CFD-model zijn gebruikt voor het ontwerp en de berekening van de klimaatcascade en de zonneshoortsteen bij stationaire condities. Voor het bestuderen van het dynamisch gedrag en de bepaling van de jaarlijkse energieprestaties van deze responsieve bouwdelen is het dynamisch simulatiemodel ESP-r gebruikt.

Validatie in fysieke researchmodellen (4)

Op basis van de basale en gedetailleerde simulatiemodellen zijn fysieke mock-ups gemaakt van de zonneshoortsteen, de klimaatcascade en het Ventecdak. Hierin zijn in real-time de werkelijk optredende effecten van warmteoverdracht en stroming gemeten bij verschillende condities. Met behulp van de meetresultaten zijn de basale en de gedetailleerde modellen gekalibreerd en gevalideerd.

Rekenmodel voor de praktijk (5)

Voor de zonneshoortsteen, een dominant architecturaal bouwdeel, is een gebruiksvriendelijk rekenmodel ontwikkeld. Met behulp hiervan kan de architect in de conceptuele ontwerpfase van een gebouw de afmetingen van een zonneshoortsteen manipuleren en met een muisklik de bijbehorende prestaties bepalen.

RESULTATEN

Ventec dak

De aerodynamische prestaties zijn afhankelijk van de windsnelheid op dakniveau, die hoofdzakelijk wordt bepaald door de hoogte van het gebouw en de omliggende bebouwing. De gevalideerde CFD-simulaties toonden aan dat het Ventecdak windrichtingonafhankelijk is. Voor de prestatieberekening van de venturiejector is een elegante formule opgesteld. Verder zijn randcondities bepaald voor het optimaliseren van het Ventecdak in een stedelijke omgeving.

Klimaatcascade

Het basale rekenmodel in Excel en het CFD-model zijn gevalideerd in de fysieke mock-up. Beide modellen kunnen de psychrometrische en aerodynamische prestatie van een klimaatcascade in alle seizoenen nauwkeurig voorspellen. De COP van een klimaatcascade is afhankelijk van de water/luchtverhouding en de hoogte van het gebouw, en kan variëren van 15 tot 50 bij gebouwen van respectievelijk 20 tot 4 verdiepingen.

Zonneshoortsteen

Het fysieke researchmodel is gebruikt voor meting van temperaturen en luchtsnelheden tijdens de vier seizoenen als functie van de opvallende zonnestraling en de buitentemperatuur. De metingen gaven een goed beeld van de gecompliceerde thermodynamische processen in een zonneshoortsteen. Door grote onzekerheden met betrekking tot de dynamische warmteoverdrachtscoëfficiënt werden met het CFD-model geen succesvolle resultaten geboekt. Het basale thermische en stromingsmodel, gevalideerd met metingen in de fysieke mock-up bleken echter nauwkeurig genoeg te zijn om een rekenmodel voor de praktijk op te kunnen stellen. Het gevalideerd dynamische simulatiemodel in ESP-r, leverde een redelijk betrouwbaar rekenmodel voor de berekening van de energieprestatie van een zonneshoortsteen.

Het thermisch rendement van een zonneshoortsteen, gedefinieerd als de verhouding tussen de door de luchtstroom geabsorbeerde warmte en de opvallende zonnestraling, wordt hoofdzakelijk bepaald door de g-waarde en U-waarde van de glaswand. Bij een goede keus hiervan kan een jaarrendement van ca. 60% worden gerealiseerd.

Vanaf de herfst tot de lente kan de zonnewarmte direct of via een korte-termijn opslag worden benut voor de gebouwverwarming. Tijdens de zomermaanden wordt de zonnewarmte in een aquifer van de WKO-installatie opgeslagen.

TOEPASSING

Het ontwikkelde Earth, Wind & Fire-concept kan als vervanging dienen van de luchttechnische voorzieningen van een centraal water/luchtsysteem voor de klimaatregeling van gebouwen. Het kan uitstekend worden gecombineerd met decentrale systemen voor verwarming en koeling op werkplekniveau, zoals klimaatplafonds, fancoil units, radiatoren e.d.

Het is een totaalconcept. Dit houdt niet in dat de responsieve bouwdelen die in het onderzoek ontwikkeld zijn alleen in combinatie kunnen worden toegepast. Een stand-alone toepassing van een zonneshoortsteen of zonnefaçade, een ventecdak of een klimaatcascade in kantoorgebouwen is goed mogelijk. De natuurlijk luchtstromingen komen tot stand door aerodynamische, thermische en hydraulische drukverschillen, waarbij de hoogte van het gebouw een belangrijke rol speelt. Bij het onderzoek is uitgegaan van gebouwen van minimaal vier verdiepingen, Randvoorwaarde voor een optimale werking van natuurlijke airconditioning op basis van het Earth, Wind & Fire-concept is dat de

invloed van wind en zon op het gebouw niet substantieel wordt verstoord door de omliggende bebouwing. Idealiter moet de wind vrij spel hebben op het Ventecdak en mag de zonneshoortsteen niet beschaduwd worden door andere gebouwen.

ENERGIE EN BINNENMILIEU

In de Europese Unie wordt energiezuinigheid gereguleerd via de Energy Performance of Buildings Directive, in Nederland uitgewerkt in de EnergiePrestatieNorm (EPN), waarmee de energieprestatie van een gebouw of woning wordt voorspeld. De uitkomst van een EPN-berekening is de maat voor de energieefficiëntie: de Energie Prestatie Coëfficiënt (EPC), sinds 1995 een instrument van het Nederlandse klimaatbeleid. Grenswaarden voor de EPC worden in het Bouwbesluit genoemd en periodiek aangescherpt. Doordat de eis is gesteld op het niveau van de gebruiksfunctie, heeft de ontwerper een maximale vrijheid bij het bepalen van de manier waarop aan de verlangde energieprestatie zal worden voldaan. Daarbij geeft de eis een prikkel tot het geïntegreerd ontwerpen van casco en installaties en het ontwerp van energiezuinige gebouwconcepten.

Bij dit uitgangspunt, hoe aantrekkelijk ook voor het stimuleren van integraal ontwerpen, kunnen wel enkele kritische vragen en kanttekeningen worden geplaatst, bijvoorbeeld:

- om de geëiste EPC-waarde te realiseren kan vaak gemakkelijker en goedkoper worden gescoord met minder duurzame installatietechnische voorzieningen dan met meer duurzame bouwkundige voorzieningen, die dan achterwege worden gelaten (Shaviv, Edna 2011);
- de nadruk op de installatietechniek heeft in de loop van de ontwikkeling geresulteerd in steeds complexere en onderhoudsgevoelige klimaatinstallaties. Dergelijke installaties leveren vaak niet het gezonde binnenklimaat dat ervan verwacht mag worden en een eenvoudige en intuïtief begrijpelijke bediening wordt door de complexiteit bemoeilijkt (Mendell 2000, Juricic et al 2012);
- de energie die is gebruikt om de betreffende voorzieningen te produceren, de zgn. embedded energy, wordt in het EPC-model niet gewaardeerd;
- ontwikkelingen, zoals het hierna omschreven Earth, Wind & Fire-concept, vallen geheel buiten de genormeerde bepalingmethode. Ingewikkelde en kostbare procedures voor het verkrijgen van gelijkwaardigheidverklaringen zijn dan noodzakelijk;
- onderzoek wijst uit dat er nauwelijks statistisch significante correlatie is tussen de voorspelde en de naderhand in de gebruiksfase

gemeten energieprestatie van gebouwen

Zorgwekkende scenario's bij het verlagen van de EPC-eis zijn verder potentiële mogelijkheden het energiegebruik in gebouwen te reduceren door:

- verlaging van de ventilatiecapaciteit met als dreigend gevolg een verslechtering van de binnenluchtkwaliteit en inherent grotere gezondheidsproblemen op de werkplek (Seppanen 2012);
- vermindering van klimaatregeling door alleen natuurlijke ventilatie toe te passen met als gevolg een verslechtering van het thermisch comfort op de werkplek in de zomerperiode en inherent lagere productiviteit van kantoorwerkers (Olesen et al 2010);
- realisatie van de gewenste energieprestatie door toepassing van goedkopere maar minder duurzame installatietechnische voorzieningen in plaats van duurere maar meer duurzame bouwkundige voorzieningen (Shaviv, Edna 2011).

Deze scenario's staan ook op gespannen voet met de Energy Performance of Buildings Directive die eveneens stelt dat *"...requirements shall take into account not just the energy performance but also general indoor climate conditions, in order to avoid possible negative effects such as inadequate ventilation..."*

... measures should take into account climatic and local conditions as well as indoor climate environment and cost effectiveness".

Een gebouw met een hoge score op het gebied van duurzaamheid en energiezuinigheid kan soms het belangrijkste aspect van architectuur hebben genegeerd, namelijk het bieden van een prettige, gezonde, behaaglijke en productieve werkplek, een combinatie van welzijn en ontwerpqualiteit (Chen et al 2011).

■ VOORDELEN BINNENMILIEU

Geen luchtfilters nodig

Het drukverlies van luchtfilters in traditionele klimaatinstallaties is aanzienlijk, waardoor ze niet geschikt zijn voor toepassing in de natuurlijke airconditioning van het Earth, Wind & Fire-concept. Bovendien laboreren deze filters aan de zogenaamde filterparadox: stofdeeltjes worden uit de lucht verwijderd maar na verloop van tijd emitteert het afgescheiden stof een geur die door mensen als onprettig wordt ervaren. Deze geuremissie werd door P.O. Fanger aangeduid met 'hidden olfs'. Dit effect wordt nog versterkt als filters nat worden, bijvoorbeeld in geval van mist als kleine waterdruppels in het filter worden afgescheiden. Bij deze omstandigheden kunnen luchtfilters een uitstekende voedingsbodem

vormen voor microbiële groei, die op de werkplek oorzaak kunnen zijn van een allergische reactie bij hiervoor gevoelige personen. In feite kunnen luchtfilters in klimaatinstallaties als een noodzakelijk kwaad worden beschouwd om te voorkomen dat de luchtbehandelingskast en de luchtkanalen vervuild raken met alle gevolgen van dien. Bij het Earth, Wind & Fire-concept ontbreken deze installatiecomponenten en zijn luchtfilters in principe niet nodig, mede door de gunstige aanzuiglocatie op dakniveau. Indien onder bepaalde omstandigheden de ventilatielucht toch moet worden gefilterd kunnen elektrostatische filters worden toegepast.

Luchtreiniging in de klimaatcascade

De klimaatcascade werkt ook als scrubber of luchtwasser, omdat stofdeeltjes in de lucht $> \approx 5$ mm door de waterdruppels worden uitgewassen. Dit geldt niet voor vettige stofdeeltjes en roet, en de klimaatcascade kan daarom niet als echte luchtreiniger worden beschouwd. Voor gebouwen in een industriële of grootstedelijke omgeving, met soms sterk verontreinigde buitenlucht, is het een voordeel dat veel oplosbare gassen, SO_2 , NO_x , Ozon, NH_3 , formaldehyde, geurstoffen en smog door de waterdruppels in de klimaatcascade worden geabsorbeerd.

Luchtvochtigheid

Vocht in gebouwen kan bepaalde risico's voor het binnenmilieu met zich meebrengen, zoals corrosie en vorstschade. De klimaatcascade brengt gedurende het stookseizoen continu vocht in het gebouw en het is van groot belang eventuele risico's hiervan te onderkennen. Luchtbevochtiging in traditionele klimaatinstallaties kent riskante aspecten, in veel gevallen door een slecht ontwerp of onhygiënische bedrijfsvoering. In Nederland is luchtbevochtiging daarom niet erg populair en wordt dit in verband met negatieve gezondheidseffecten vaak achterwege gelaten.

Het handhaven van een minimum luchtvochtigheid in het binnenmilieu heeft echter ook veel positieve aspecten (Bronsema 2002) waarin de klimaatcascade kan voorzien. Potentiele risico's zijn zeer beperkt door de lage watertemperatuur en de goede toegankelijkheid van de klimaatcascade voor inspectie en reinigingsonderhoud. De druppels in het sproeispectrum zijn veel groter dan bij traditionele sproei-bevochtigers, waardoor het risico van vochtdoorslag in de vorm van aerosolen beperkt is.

Legionellapreventie

Een beruchte ziekteverwekker is de legionel-labacterie, die bij inademing infectie in de

luchtwegen kan veroorzaken. Omdat de klimaatcascade werkt met watertemperaturen tussen 10°C en 20°C is het risico voor overleving van legionellabacteriën uitgesloten. Het concept is met andere woorden intrinsiek veilig.

■ POTENTIELE VOORDELEN BINNENMILIEU

Watervaleffect en ionisatie

Een mogelijk positief effect van het fysisch proces in de klimaatcascade is de productie van negatieve ionen door het watervaleffect, ook Lenards-effect genoemd naar de Hongaarse fysicus en Nobelprijswinnaar P. Lenard (1892). Een soortgelijk effect treedt ook op bij de golfbeweging en de inherente druppelvorming van zeewater; dit wordt het Blanchard-effect genoemd naar de Franse meteoroloog D. Blanchard. Sinds de oudheid wordt de luchtkwaliteit in een dergelijke omgeving als gezond en prettig ervaren, hetgeen wordt toegeschreven aan de positieve werking van negatieve luchtionen.

In een waterval worden waterdruppels door de val langs de wand en door onderlinge botsingen gefragmenteerd. Hierbij zouden de meeste positieve ionen in de druppel achterblijven en negatieve ionen als vrije ionen in de lucht worden geëmitteerd. In metalen luchtkanalen slaan negatieve ionen neer op de wanden, waardoor de natuurlijke ionenbalans wordt verstoord. In de klimaatcascade, een bouwkundig element, treedt dit effect niet op, waardoor de ionenbalans wordt verbeterd, met als gevolg een gunstige invloed op het binnenmilieu.

'It has been suggested that the ion balance of the air is an important factor in human comfort in that negative ions tend to produce sensations of freshness and well-being and positive ions cause headache, nausea and general malaise. Present evidence on the effects of air ions and, in particular, the effectiveness of air ionizers is inconclusive and hence no design criteria can be established'. (CIBSE 1999).

De klimaatcascade zou dus een gunstig effect op het binnenmilieu kunnen hebben. Deze gedachtegang is speculatief, maar interessant genoeg voor vervolgonderzoek.

Ozon

Ozon is een bijzondere vorm van zuurstof. De ozonmolecule O_3 bestaat uit drie zuurstofatomen die echter een instabiele verbinding vormen. Dit betekent dat O_3 snel terugvalt in de stabiele zuurstofmolecule O_2 . Ozon komt in wisselende maar veelal kleine concentraties voor in de buitenlucht en wordt in het binnenmilieu geëmitteerd door kopieerapparaten en laserprinters. Ozon wordt ook als bijproduct

geëmitteerd in elektrostatistische luchtfilters. Ozon is verder een sterke oxidant en biocide die onder meer wordt gebruikt voor waterbehandeling en legionellapreventie in koeltorens. In het binnenmilieu wordt ozon in principe als een schadelijke en gezondheidsbedreigende stof beschouwd.

De positieve eigenschappen van ozon zouden kunnen worden benut door toevoeging aan het sproeiwater in de klimaatcascade, waar het wordt omgezet in zuurstof. Zuurstof verrijkt water en heeft een positief effect op de luchtkwaliteit. Bovendien worden micro-organismen in het sproeiwater onschadelijk gemaakt. Ook wordt ozon-emissie van een eventueel elektrostatisch luchtfilter in het sproeiwater geabsorbeerd. Deze gedachtegang is weliswaar speculatief, maar interessant genoeg voor vervolgonderzoek.

CONCLUSIES

Het Earth, Wind & Fire-concept voor natuurlijke airconditioning kan niet alleen een belangrijke bijdrage leveren aan de doelstelling van energieneutrale gebouwen, maar ook aan een gezond, behaaglijk en productief

binnenmilieu.

DANKBETUIGING

Het onderzoek is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie; regeling Energie Onderzoek Subsidie: lange termijn (artikel 18b)

REFERENTIES

1. Bronsema 2002. Vocht – Waar maken we ons druk om? TVVL Magazine 6/2002. www.bronconsult.org
2. Bronsema 2013. Earth, Wind & Fire – Natuurlijke Airconditioning. Proefschrift TU Delft. ISBN 978 90 5972 762 5.
3. Chen et al. 2011. What is the Relationship between Design Excellence and Building Performance? 27th International PLEA conference, 13 – 15 July 2011, Louvain Le Neuve.
4. CIBSE Guide A (1999). Environmental Design. The Chartered Institute of Building Services Engineers London – ISBN 0 900953 96 9.
5. ECBCS-Annex 53, 2012. Calculated energy performance seldom realised in practice. Expertmeeting 25 april 2012 Rotterdam.
6. Juricic 2012 et al. 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, Windsor UK, 12 – 15 April 2012.
7. Mendell 2000. Ventilation systems and building related symptoms: An epidemiological perspective. NIOSH, USA, presented at Healthy Buildings Conference 2000.
8. Olesen et al. 2010. Productivity and Indoor Air Quality. International Centre for Indoor Environment and Energy -Technical University of Denmark
9. Seppanen 2012. Effect of EPBD on future ventilation systems. Rehva Journal – February 2012.
10. Shaviv, Edna 2011. Do current environmental assessment methods provide a good measure of sustainability? Or what should be a good measure for Green Building Standard? PLEA 2011 – 27th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Louvain-la-Neuve, Belgium, 13-15 July 2011

PERFECTE LUCHTVERDELING MET EURO AIR LUCHTVERDEELSLANGEN

BLT

LUCHTTECHNIEK



ONTWERP
INMETEN
MONTAGE
ONDERHOUD

EURO  **AIR**
LUCHTVERDEELSLANGEN

NIEUW: LUCHTVERDEELPANELEN!

WWW.BLTLUCHTTECHNIEK.NL