

# Earth, Wind & Fire – natuurlijke airconditioning (1)

Het Earth, Wind & Fire-concept voor natuurlijke airconditioning biedt meer zekerheid voor het realiseren van energieneutrale kantoorgebouwen dan mogelijk zou zijn door verbetering van bestaande technieken. Het concept maakt gebruik van de omgevingsenergie van aardmassa, wind en zon. Enerzijds wordt deze energie passief gebruikt voor het realiseren van een natuurlijke airconditioning, waarbij de gewenste luchtstromingen tot stand komen onder invloed van thermisch gedreven drukverschillen. Anderzijds worden zon en wind benut voor actieve energieopwekking, waardoor een gebouw in principe energieneutraal kan worden. Een dergelijk gebouw kan worden beschouwd als 'klimaatmachine', geactiveerd door zwaartekracht, wind en zon.

Dr.ing. B. (Ben) Bronsema, Technische Universiteit Delft, Faculteit Bouwkunde, afdeling Architectural Engineering + Technology  
Samenvatting van het gelijknamige proefschrift dat op 7 juni jl. door de auteur is verdedigd. Dit is een bewerkte vertaling van het artikel dat is gepresenteerd op Clima 2013

Energiebesparing in de gebouwde omgeving is een belangrijke opdracht voor de bouwsector. De formele doelstelling binnen de EU, aangegeven in de EPBD Recast is (Directive 2010/31/EU):

*As of 31 December 2020 new buildings in the EU will have to consume 'nearly zero' energy... Nearly zero-energy building means a building that has a very high energy performance... The nearly zero, or very low amount of energy required should be covered to a very significant extent by energy from renewable sources, including energy from renewable sources produced on site or nearby.*

Het is onwaarschijnlijk dat dergelijke *nearly zero-energy buildings* (in Rehva-jargon nZEB) kunnen worden gerealiseerd door verbeterde bouw- en installatietechnieken. Zorgwekkende

scenario's bij de reductie van het energiegebruik zijn het verlagen van de ventilatiecapaciteit en/of het vermijden van klimaatregeling door alleen natuurlijke ventilatie toe te passen. Deze scenario's staan ook op gespannen voet met de EPBD, 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.*

### ■ UITDAGING

Energiebesparing in de gebouwde omgeving is tot dusver voornamelijk het domein geweest van de bouw fysica en de klimaattechniek.

Beide hebben in de afgelopen decennia uitstekende prestaties geleverd. Het einde van deze ontwikkeling lijkt echter in zicht. Volgens het IEA Annex 44 (International Energy Agency – Energy Conservation in Buildings and Community Systems) kan er in deze sectoren een afnemende meerwaarde worden waargenomen [1]: *Research into building energy efficiency over the last decade has focused on efficiency improvements of specific building elements like the building envelope, including its walls, roofs and fenestration components (windows, day lighting, ventilation, etc.) and building equipment such as heating, ventilation, air handling, cooling equipment and lighting. Significant improvements have been made, and whilst most building elements still offer some opportunities for efficiency improvements, the*

*greatest future potential lies with technologies that promote the integration of active building elements and communication among building services.*

De door Ecbs gepropageerde integratie van actieve bouwelementen en klimaatvoorzieningen ligt binnen het domein van de bouwfysica en de klimaattechniek. De architectuur, de discipline met de grootste impact op de gebouwde omgeving, staat hierbij echter nog grotendeels afzijdig. Door de architect, met zijn grote creativiteit en invloed op het bouwproces, direct te betrekken bij de problematiek van energie en binnenmilieu, openen zich in principe nieuwe mogelijkheden op basis van een werkelijk integraal ontwerp.

## ■ KLIMAATRESPONSIEVE ARCHITECTUUR

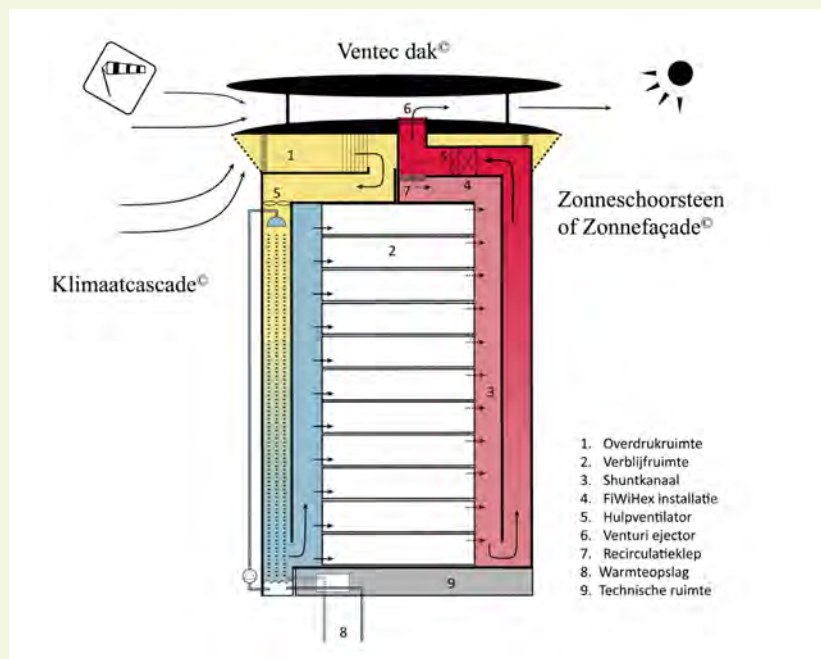
*Klimaatresponsieve architectuur*, uitgewerkt in het *Earth, Wind & Fire-concept*, maakt gebruik van de natuurlijke omgevingsenergie. Hierdoor kan in principe een energieneutraal gebouw worden gerealiseerd met vermindering van negatieve effecten voor het binnenmilieu, zoals onvoldoende ventilatie en te hoge ruimtetemperaturen in de zomerperiode. Volgens dit concept wordt een gebouw ontworpen als 'klimaatmachine' die wordt geactiveerd door de gecombineerde krachten van zon, wind en zwaartekracht.

Als klimaatresponsieve architectuur koppelt het *Earth, Wind & Fire-concept* klimaatontwerp, bouwfysica en installaties aan een architecturale opgave. De architect krijgt hierbij per axioma een grote rol bij het klimaatontwerp en de energie-efficiency van gebouwen. Door de klimaatvoorzieningen uit te voeren als elementen voor architectonische expressie, is klimaattechniek niet meer ondergeschikt aan architectuur maar wordt deze zelf deel van architectuur. Het ontwerpen van een gebouw als klimaatmachine is hierdoor ook een taak geworden van de architect, die tevens mede verantwoordelijk wordt voor het binnenklimaat en de energiehuishouding. Een groot intellectueel en artistiek potentieel wordt hierdoor ingeschakeld voor een intrinsiek integraal ontwerp.

## ■ PARADIGMAVERANDERING

Het onderzoek heeft aangetoond dat met de *natuurlijke airconditioning* volgens het *Earth, Wind & Fire-concept* energieneutrale gebouwen kunnen worden gerealiseerd. Hiervoor is echter een geheel andere denkwijze en ontwerpmethodologie voor het ontwerp van gebouwen nodig, die met recht een paradigmaverandering kan worden genoemd.

*Earth, Wind & Fire* staat metaforisch voor zwaartekracht en de omgevingsenergie van



-Figuur 1- Principes Natuurlijke Airconditioning volgens het *Earth, Wind & Fire-concept* Zonneschoorsteen of Zonnefaçade

aardmassa, wind en zon. Het innovatieve idee achter het onderzoek is het gebruik hiervan voor de klimaatregeling van gebouwen. De centrale vraagstelling voor het onderzoek was of het mogelijk is een gebouw te ontwerpen als 'klimaatmachine' die door deze omgevingsenergie, in combinatie met de zwaartekracht, wordt geactiveerd.

In een dergelijk gebouw reageren architectuur, bouwmassa, constructies en klimaatvoorzieningen gezamenlijk en interactief zodanig op het buitenklimaat dat er een *natuurlijke airconditioning* tot stand komt. De luchtbehandeling in dit gebouw komt dan in principe door de natuur tot stand en is daardoor veel minder afhankelijk van technische installaties. Volgens de doelstelling van de EPBD Recast moet dit gebouw (bijna) energieneutraal zijn, en moet de nog benodigde restenergie door zon en wind worden opgewekt.

## ■ HET CONCEPT IN HET KORT

Na een lange loopbaan als ontwerper van klimaatinstallaties en jarenlange samenwerking met architectuur- en bouwkundestudenten, ontstonden verschillende intuïtieve ideeën over de mogelijkheden klimaattechniek en energieaspecten te koppelen aan architectuur. In eerste instantie zijn verschillende intuïtieve ideeën analytisch en rekenkundig uitgewerkt, waarna een keuze is gemaakt uit de meest belovende concepten. Deze omvatten drie responsieve architecturale elementen, het Ventecdak, de Klimaatcascade, en de Zonneschoorsteen of Zonnefaçade. Deze elementen zijn in eerste instantie afzonderlijk

ontwikkeld, geoptimaliseerd en geëvalueerd, maar ze vormen uiteindelijk in het totaalconcept van klimaatregeling een symbiose met de architectuur van een gebouw (zie figuur 1).

### Ventecdak

Het Ventecdak gebruikt positieve winddrukken om ventilatielucht via de overdrukruimte (1) en de Klimaatcascade aan het gebouw toe te voeren. Negatieve winddrukken worden gebruikt om het gebouw via de Zonneschoorsteen en de Venturi-ejector (6) af te zuigen. Met dit concept wordt gebruik gemaakt van de relatief goede luchtkwaliteit op grotere hoogte [2, 3, 4, 5]. Verder wordt door de horizontale scheiding tussen toevoerlucht en afvoerlucht kortsluiting tussen beide luchtstromingen voorkomen. Het Ventecdak kan in principe ook worden benut voor het opwekken van wind- en zonne-energie, waarmee wordt voldaan aan de tweede voorwaarde van de EPBD Recast – zie deel [2].

### 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 ongeveer 13°C toegevoerd, waarbij door impulsoverdracht 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 (in het koelseizoen) ventilatoren overbodig. De benodigde koude wordt aan de bodem onttrokken, en warmte wordt direct of indirect door de zonneshoorsteen geleverd. Door de hoge warm-teoverdrachtscoëfficiënt 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.

### Zonneshoorsteen

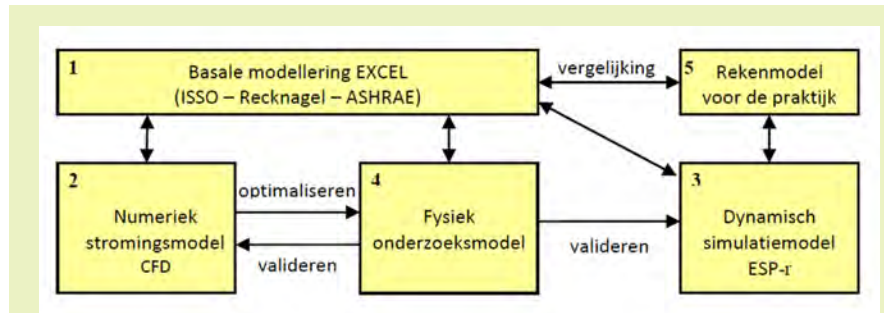
Ventilatie lucht wordt afgezogen via de Zonneshoorsteen of Zonnefaçade, waarin tevens zonne-energie wordt geoogst die wordt gebruikt voor verwarming van het gebouw in het stookseizoen. Met behulp van een warmtewisselaar aan de top van de zonneshoorsteen wordt de zonnwarmte overgedragen op circulerend water en in de bodem onder het gebouw opgeslagen. Deze techniek wordt in de tuinbouw toegepast voor het koelen en verwarmen van kassen. De Venturi-ejector in het Ventecdak dient mede om het drukverlies van de warmtewisselaar te compenseren. Voor de morfologie van een zonneshoorsteen zijn vele varianten denkbaar, waarbij de gevel bedekkende Zonnefaçade de grootste energieprestatie levert.

### TOEPASSING CONCEPT

De luchtstromingen voor de toevoer van ventilatielucht via de Klimaatcascade en de afvoer hiervan via de Zonneshoorsteen of Zonnefaçade, worden veroorzaakt door drukverschillen. Deze komen tot stand door dichtheidsverschillen tussen koudere en warmere lucht en zijn evenredig met de hoogte van Klimaatcascade en Zonneshoorsteen of Zonnefaçade. Omdat het om relatief kleine temperatuur- en drukverschillen gaat is een bepaalde minimum hoogte van het gebouw noodzakelijk. Het onderzoek gaat uit van gebouwen van minimaal 4 bouwlagen à 3,5 meter ('Low-rise buildings').

Het ontwikkelde *Earth, Wind & Fire-concept* moet worden beschouwd als een centrale voorziening voor luchtbehandeling van gebouwen die de centrale mechanische luchtbehandeling van een gebouw kan vervangen. Decentrale voorzieningen voor verwarming en koeling op werkplekniveau, zoals klimaatplafonds, ventilatorconvectoren, radiatoren e.d. kunnen uitstekend met het concept worden gecombineerd.

Het *Earth, Wind & Fire-concept* is een totaalconcept. Dit houdt niet in dat de responsieve bouwdelen die in het onderzoek ontwikkeld zijn alleen in combinatie kunnen worden



-Figuur 2 – Modelleren en Simuleren

toegepast. Een *stand alone* toepassing van een Zonneshoorsteen of Zonnefaçade, een Ventecdak of een Klimaatcascade in kantoorgebouwen is goed mogelijk. Het *Earth, Wind & Fire-concept* kan in elke architectuurstijl worden toegepast, klassiek, modern, internationaal, postmodern, bioklimatisch etc. Het is de architect die vorm geeft aan de uitwerking van het gebouw als *klimaatmachine*. Nieuwbouw kan uiteraard volledig op het *Earth, Wind & Fire-concept* worden ontworpen. Bij grote renovaties van bestaande gebouwen kan het concept echter eveneens worden toegepast, zowel gedeeltelijk als in zijn geheel. Een Ventecdak en een Zonneshoorsteen zijn mogelijke toevoegingen aan een gebouw. Bestaande gevels kunnen worden omgebouwd tot Zonnefaçades. Bestaande installatieschachten kunnen worden omgebouwd tot Klimaatcascade. De in het proefschrift beschreven case-study geeft hiervan een voorbeeld.

### ONDERZOEKSVRAGEN

1. Wat zijn de potentiële mogelijkheden van de subconcepten van Ventecdak, Klimaatcascade en Zonneshoorsteen voor het realiseren van een natuurlijke airconditioning in gebouwen?
2. Wat zijn de ontwerpcriteria voor het Ventecdak, de Klimaatcascade en de Zonneshoorsteen voor het realiseren van de gewenste volumestromen voor een goede kwaliteit van de binnenlucht?
3. Wat zijn de potentiële mogelijkheden van de drie subconcepten voor actieve energie-opwekking met wind en zon?
4. In hoeverre kan het *Earth, Wind & Fire-concept* bijdragen aan de energieneutraliteit van gebouwen?
5. Welke betrouwbare ontwerptools en/of rekenmodellen kunnen worden ontwikkeld voor gebruik in de praktijk?
6. Wat zijn de randvoorwaarden voor toepassing van deze strategie op bestaande gebouwen?

### ONDERZOEKSMETHODEN

Het Ventecdak, de Klimaatcascade en de

Zonneshoorsteen zijn ontwikkeld volgens de methode basaal modelleren → gedetailleerd modelleren met CFD → dynamisch modelleren met ESP-r → simuleren → valideren met fysieke onderzoeksmodellen (zie figuur 2).

### Basaal modelleren [1]

Bij de ontwikkeling van de verschillende concepten is begonnen met het maken van eenvoudige rekenmodellen, die een eerste indruk gaven van de haalbaarheid en de potenties van het betreffende concept. De gebruikte formules hebben uiteraard betrekking op stationaire omstandigheden, maar door discretisering konden de processen met behulp van MS Excel quasi dynamisch worden gesimuleerd. Deze werkwijze leverde niet alleen een goed inzicht op in de onderliggende verschijnselen van warmteoverdracht en stroming en de koppeling van beide. Er kwamen ook vele onzekerheden aan het licht, die de noodzaak aantoonde van verdere simulaties met een hoger resolutieniveau.

### Gedetailleerd modelleren met CFD [2]

De met de Excel rekenmodellen geanalyseerde concepten zijn met behulp van CFD numerieke stromingsmodellen uitgewerkt tot virtuele prototypes, die inzicht gaven in de warmteoverdracht en stromingspatronen op microniveau. Hierdoor konden de fysische effecten nader worden geanalyseerd en werd met behulp van simulatietechnieken nagegaan of en in hoeverre modellen konden worden opgeschaald naar bouwdelen op ware grootte. Voor het onderzoek *Earth, Wind & Fire* zijn met behulp van CFD virtuele prototypes gemaakt van de Klimaatcascade, het Ventecdak en de Zonneshoorsteen en zijn de prestaties hiervan geanalyseerd en geoptimaliseerd. Op basis van de virtuele prototypes zijn van deze responsieve bouwelementen fysieke schaalmodellen gebouwd voor experimenteel onderzoek (zie hierna). Hiermee konden de CFD-simulaties worden gevalideerd. De fysieke schaalmodellen zijn op hun beurt weer prototypes voor de in de werkelijke bouwpraktijk te realiseren bouwdelen. Met behulp van CFD is nagegaan of de geteste schaalmodellen representatief

zijn voor de modellen op ware grootte

### Dynamisch simuleren met ESP-r [3]

Het Excel rekenmodel en het CFD-simulatiemodel zijn gebruikt als instrument voor de berekening en het ontwerp van Klimaatcascade en Zonneschoorsteen onder stationaire omstandigheden. Voor de bestudering van het dynamisch gedrag en ramingen van de jaarlijkse energieprestatie van deze responsieve bouwdeelen is het dynamische simulatiemodel ESP-r gebruikt. Dit model biedt aan ontwerpers de mogelijkheid om de complexe relaties te bestuderen tussen het buiten- en binnenklimaat van een gebouw op basis van architectuur, bouwmassa, luchtstromingen en de klimaatvoorzieningen inclusief regelsysteem. Het is flexibel en krachtig, en daardoor zeer geschikt voor het simuleren van innovatieve technieken.

### Valideren door metingen in een fysiek onderzoeksmodel [4]

Op basis van de basale modellering in Excel en de bestudering, verificatie en detaillering hiervan met behulp van CFD-simulaties zijn fysieke modellen gemaakt van de Zonneschoorsteen, de Klimaatcascade en het Ventecdak. Met behulp hiervan zijn onder verschillende condities en in *real-time* de in werkelijkheid optredende fenomenen van

warmteoverdracht en stromingen gemeten.

Uiteraard gaat het hier om schaalmodellen, maar met zodanige afmetingen dat de processen betrouwbaar konden worden gemonitord en geregistreerd.

### Rekenmodel voor de praktijk [5]

Een rekenmodel voor de praktijk, gebaseerd op de onderzoeksresultaten, geeft aan architecten en ingenieurs de mogelijkheid om de concepten voor concrete bouwprojecten globaal uit te werken en te dimensioneren. Voor de Zonneschoorsteen, een dominant architectonisch bouwdeel, is in het kader van het onderzoek een gebruiksvriendelijk rekenmodel ontwikkeld. In de conceptuele fase van het gebouwontwerp kan de architect met dit model de afmetingen van een zonneschoorsteen variëren, en direct de hierbij behorende prestaties aflezen. Voor het conceptueel ontwerp van een Ventecdak en een Klimaatcascade zijn globale ontwerpgegevens ontwikkeld. De klimaatingenieur blijft uiteraard verantwoordelijk voor de dimensionering van deze elementen in het definitief ontwerp.

### REFERENTIES

1. Bronsema, B 2013. Earth, Wind & Fire – Natuurlijke airconditioning. Proefschrift Technische Universiteit Delft. Uitgeverij

Eburon Delft. ISBN 978 90 5972 762 5

2. IEA ECBCS-Annex 44, 2009. Expert Guide Part 2 Responsive Building Elements. Exco Review Draft June 2009
3. Luria, M. et al. 1984. Comparison of air quality data obtained from roof top, side walk and suburban areas. Environmental Monitoring and Assessments 5 (1985) pp 249-254
4. Rubino, F.M. et al. 1998. Height Profile of some Air Quality Markers in the Urban Atmosphere Surrounding a 100 m Tower Building. Atmospheric Environment Vol. 32 No. 20 (1998) pp 3569-3580
5. Hitchins, J. et al. 2002. Concentrations of sub micrometer particles from vehicle emissions near a major road. Atmospheric Environment 34 (2000) pp 51-59
6. Mendell, M.J. et al. 2008. Risk factors in heating, ventilating and air-conditioning systems for occupant symptoms in US office buildings: the US EPA BASE study. Indoor Air 2008: 18: pp 301-316. Atmospheric Environment 33 (1999) pp 1261-1274

*Het vervolg op dit artikel (deel 2) behandelt de onderzoeksresultaten. Zie elders in deze uitgave.*

Nieuw in ons assortiment:

# Doorsteekveilige ventilatieroosters.

Smitsair heeft haar productrange uitgebreid met doorsteekveilige roosters. De roosters zijn speciaal ontwikkeld voor ventilatie van hoog-, midden- en laagspanning ruimtes, trafo ruimtes, schakelstations, telecom ruimtes, parkeergarages, etc.

## DVA-30

- Vrije doorlaat circa 32%
- Doorsteekveilig IP 2XD volgens IEC 60529
- Regendicht klasse A volgens EN 13030
- Inbraakwerend klasse II volgens NEN 5096
- Geringe inbouwdiepte
- Duurzaam
- Licht
- Esthetisch
- Stof en (stui)fsneeuw werend
- Vlam dovend
- Muisdicht

**Meer informatie?** Neem contact op met Smitsair B.V. 0297-564455, of kijk voor documentatie op [smitsair.nl](http://smitsair.nl)

**Smitsair**