

Natuurlijke ventilatie in industriële gebouwen

Al sinds mensenheugenis is het principe van natuurlijke ventilatie dé manier om rook of warme lucht af te voeren. Wie in de holen gezond wilde leven, maakte er een gat bovenin. In de tweede helft van de vorige eeuw paste vooral de industrie natuurlijke ventilatie toe, met name in hoge gebouwen met hitte-intensieve processen. Toch bleef de techniek tot het einde van die eeuw controversieel. Maar de 21^e eeuw wordt de eeuw van de duurzame waarden. Hierdoor staat natuurlijke ventilatie opnieuw in de belangstelling. Nieuw is de natuurlijke adiabatiese ventilatiewand: een systeem dat zonder gebruik te maken van elektrische bronnen een adiabatiese ventilatiewand creëert met een dusdanige lage weerstand dat deze geschikt is als 'toevoerrooster' bij een natuurlijk ventilatiesysteem. Zo zijn aanzienlijk lagere temperaturen haalbaar, waardoor het toepassingsgebied sterk wordt vergroot.

Ing. S.J.M. (Stefan) van der Velden, Colt International

Iedere vorm van ventileren richt zich op datgene wat in een ruimte vrijkomt. Factoren zoals het gebouw, de machines, de verlichting, de mensen en het soort werk dat ze doen, zonne-instraling en andere weersinvloeden, zijn allemaal bepalend voor de totale warmtebelasting; de warmte die afgevoerd moet worden. Natuurlijke ventilatie, hoe onlogisch ook, werd vaak als te gecompliceerd beschouwd. Onlogisch, omdat natuurlijke ventilatie de meest elementaire vorm van ventileren is. Debet hieraan was het feit dat de kennis over de werking en de juiste berekeningsmethode in handen lag van een klein aantal ingenieursbureaus en een beperkt aantal toeleveranciers. Vooral voor het toepassen van natuurlijke ventilatie in gebouwen met lagere warmtelasten was men huiverig en

werd meestal de 'veilige' weg van mechanische ventilatie gekozen. TNO [1] concludeerde terecht in 1983 dat er weinig onderzoek en kennis was over natuurlijk ventilatiegedrag. Juist dit is het belangrijkste criterium om te kiezen tussen natuurlijk of mechanisch ventileren. Opvallende conclusie was verder dat toevoeropeningen veel te klein (5 tot 10 maal te klein) werden ontworpen en dat er niet of nauwelijks aandacht was voor de verdeling van de toevoer over alle gevels. Vaak ging men er eenvoudigweg van uit dat de deuren wel open zouden staan. In dezelfde tijd werden de eisen voor geluid(overlast) steeds strenger. Woonwijken rukten op richting industrieterreinen en de deuren moesten gesloten worden. Bovendien deed de architectuur haar intrede in de indus-

trie. Akoestische en esthetische voorzieningen vormden extra weerstanden bij te klein gekozen openingen. Het ging tochten, klachten namen toe en natuurlijke ventilatie kwam nog meer in een kwader daglicht te staan.

DE OMMEKEER

Een ommekeer in de visie op natuurlijke ventilatie werd in Nederland (en gelukkig ook daar buiten) bewerkstelligd door het Kyoto-protocol. Dit, in 1997 in de Japanse stad Kyoto opgestelde, protocol regelt de vermindering van de uitstoot van broeikasgassen. Energiebesparing is geboden. Nieuwe kansen voor de toepassing van natuurlijke ventilatie zijn evident. Om natuurlijke ventilatie te laten wedijveren in deze hoogtechnologische wereld, is er echter

meer nodig dan een opening in de wigwam of een gat in het dak. Zo worden er hogere eisen gesteld aan de regeling voor natuurlijke ventilatie, moet in het ontwerp stadium van een systeem de betrouwbaarheid aangetoond worden en kan de werking met CFD-simulatie vooraf in kaart gebracht worden. Het is inmiddels 2014, de duurzaamheidsgedachte heeft doorgezet en het belangrijkste kenmerk van natuurlijke ventilatie – het systeem gebruikt geen energie en draagt in het gebruik ook niet bij aan de CO₂-problematiek – sluit hier naadloos op aan. Een auto zonder airconditioning is tegenwoordig een zeldzaamheid; we verblijven in geconditioneerde kantoren en ook op de industriële werkvloer wil men een prettig, fris werkklimaat. Kan dit bereikt worden met natuurlijke ventilatie of is toch enige vorm van hybride ventilatie vereist?

DE GRENZEN

De grenzen van een natuurlijk ventilatie-ontwerp zijn vast te stellen met de wet van Bernoulli: $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 + g \cdot h \cdot \rho + P = \text{constant}$.

Hierin is:

v de snelheid (m/s)

g de valversnelling (m/s²)

h het hoogteverschil (m)

P de druk (Pa)

ρ de (massa)dichtheid (kg/m³)

In de formule zien we de dynamische druk component als $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$

en de gravitatie druk als $g \cdot h \cdot \rho$.

Voor natuurlijke ventilatie wordt vaak uitgegaan van het worst-case-scenario. Een scenario waarin er sprake is van 'geen wind'. Hierdoor ontbreekt theoretisch de dynamische component. Beperken we ons tot de statische component dan geldt: $\Delta P_{\text{st}} = \int_0^h g \cdot h \cdot \rho$. De gravitatie kunnen we niet veranderen. Roosters worden over het algemeen op werkniveau aangebracht, zo laag mogelijk. In het geval van natuurlijke ventilatie is de $\Delta \rho$ (ρ) via de temperatuur ook aan beperkingen onderhevig.

Figuur 1 toont het voorbeeld van een hal met een totaal warmtelast van 500 kW. De buitentemperatuur bedraagt 25°C. De halhoogte bedraagt 20 meter en de afvoertemperatuur op hoog niveau mag maximaal 40°C bedragen. Conform $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$

$Q =$ warmtehoeveelheid in kW

M = massastroom in kg/s

C = soortelijke warmte in kJ/kg.K

$\Delta T =$ temperatuurverschil tussen toevoer en afvoer binnentemperatuur

In het voorbeeld betekent dit een massadebiet van 33,2 kg/s en in volumestroom, waarbij de soortelijke massa van de toevoer is genomen, 28,0 m³/s.

Bij een hoogteverschil tussen toevoer en

afvoer van 18 meter en even groot aerodynamisch oppervlak in zowel toevoer als afvoer en tevens de aanname dat de warmte gelijkmatig over de hoogte van de ruimte verdeeld is en dus van een gemiddelde binnentemperatuur van $((40+25)/2) = 32,5^\circ\text{C}$ uitgegaan kan worden, ziet de berekening er als volgt uit:

$$\Delta P = g \cdot h \cdot \Delta \rho$$

$$G = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$h = 18 \text{ m}$$

$$\rho_{25} = 1,1846 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{32,5} = 1,155 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta \rho_{\text{totaal}} = 5,22 \text{ Pa}$$

Voor de toevoer en de afvoer is elk $5,22/2 = 2,61 \text{ Pa}$ ter beschikking. Vertaald in dynamische druk volgens $\Delta P_{\text{dyn}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$ betekent dit dat de aerodynamische snelheid door het rooster 2,13 m/s bedraagt. Het benodigde aerodynamisch oppervlak ($A_v C_v$) bedraagt dan: Volumestroom/snelheid = $28,0/2,13 \text{ m}^2 = 13,14 \text{ m}^2 A_v C_v$.

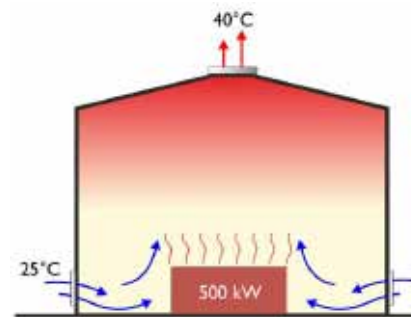
Veel lagere temperaturen dan de genoemde 32,5°C in het hiervoor uitgewerkte voorbeeld kunnen we het in een hal niet krijgen. Is dat zo? De ontwikkelingen in de techniek staan niet stil en ook op het gebied van natuurlijke ventilatie is research gedaan en zijn nieuwe mogelijkheden op de markt gebracht.

DE GRENS VOORBIJ

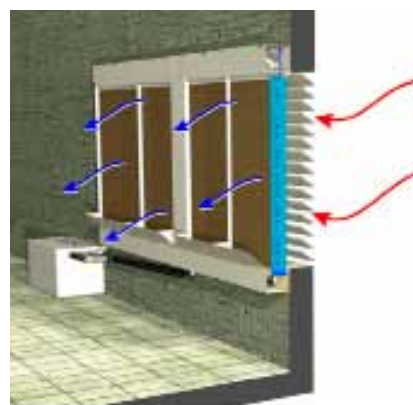
De grote vraag waar researchafdelingen voor gesteld stonden, was: 'Is het mogelijk om bij warmere buitentemperaturen de binnentemperatuur te verlagen met behulp van het principe van natuurlijke ventilatie?' Eén van de oplossingen is het gebruik van adiabatische koeling (het koelen van de lucht door het laten verdampen van water). Adiabatische koeling wordt bij duizenden industriële installaties in Europa toegepast, echter altijd op mechanische wijze. Nieuw is de natuurlijke adiabatische ventilatiewand. Een innovatief systeem dat zonder gebruik te maken van elektrische bronnen een adiabatische ventilatiewand creëert met een dusdanige lage weerstand dat deze geschikt is als 'toevoerrooster' bij een natuurlijk ventilatiesysteem.

Het principe (zie figuur 2) is als volgt: een ventilatiewand bestaande uit een aanzuigrooster met daar achter een speciaal desorptiemedium dient als toevoeroppervlak. Aan de bovenzijde wordt water toegevoerd, dat wordt opgepompt uit een voorraadtank. Het water bevochtigt het medium en de langstromende lucht wordt gekoeld als gevolg van het adiabatisch verdampingseffect.

Het gevaar voor legionella in dergelijke systemen is verwaarloosbaar door een goed watermanagement (water-frisregeling en aerosolpreventie) en continue temperatuurcontrole. De watertemperatuur wordt



-Figuur 1- Voorbeeld van een hal met een totaal warmtelast van 500 kW

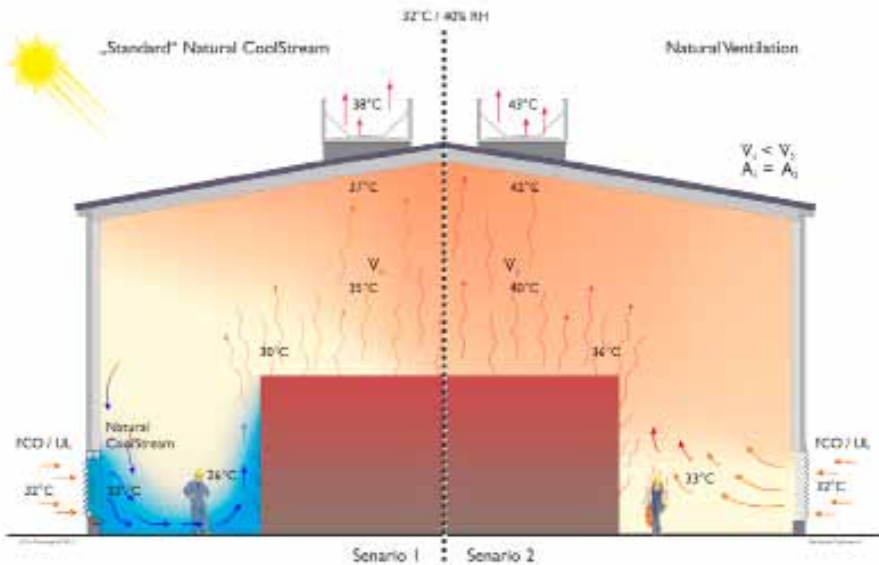


-Figuur 2- Het principe van een adiabatische ventilatiewand

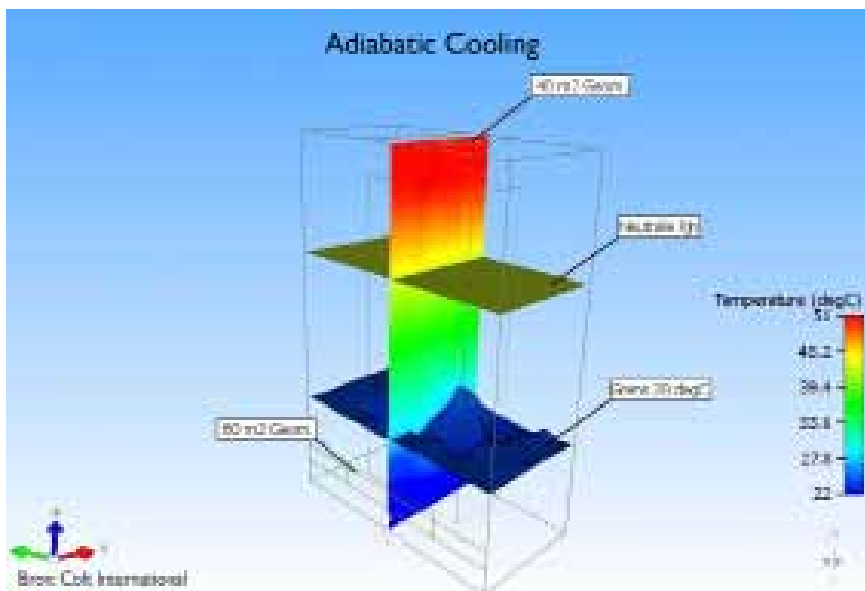
continue gemeten en indien deze de kritische temperatuur van 25°C bereikt wordt deze direct geloosd en wordt nieuw water toegevoerd. Het desorptiemedium is in een zigzagconstructie uitgevoerd, waardoor daglichttoetreding en daardoor groei van micro-organismen wordt voorkomen. Belangrijk is dat dergelijke systemen voldoen aan de hygiëne voorschriften conform de VDI 6022 Part I richtlijn.

Op het eerste gezicht lijkt dit succesvol en het temperatuurbeeld (figuur 3.) verbeterd ten opzichte van het standaard natuurlijke ventilatieprincipe.

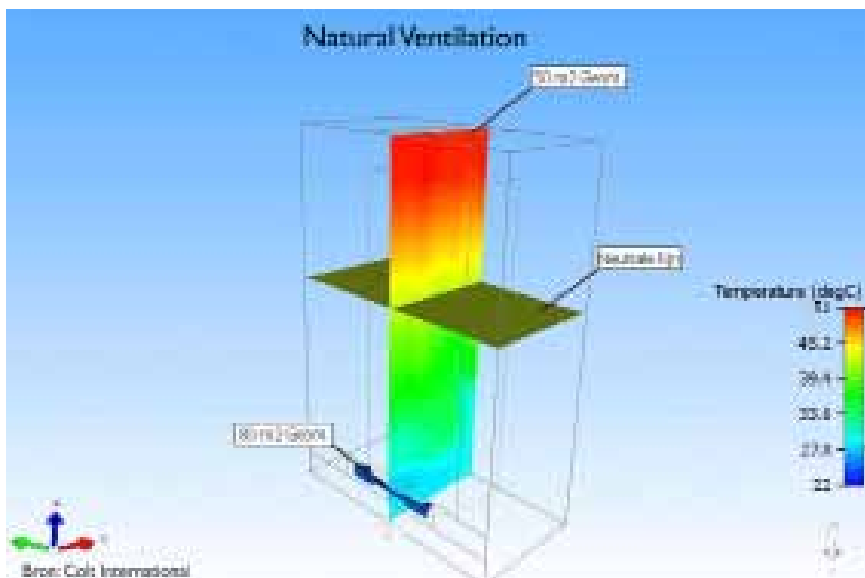
Maar hoe zit het dan met de principes van de Bernoulli, $\Delta P_{\text{st}} = g \cdot h \cdot \Delta \rho$? We kunnen niets aan de gravitatie veranderen. En ook niet aan het hoogteverschil tussen de toevoer en de afvoer in het gebouw. Maar de $\Delta \rho$ lijkt in eerste instantie positief te veranderen als gevolg van de lager ingebrachte temperatuur. Natuurlijke ventilatie is een verdringingsprincipe en daardoor is het met deze techniek op laag niveau binnen kouder. Uit testen en CFD (Computational Fluid Dynamics) simulaties blijkt dat bij te laag gesitueerde buitenluchtroosters met een natuurlijke adiabatische installatie de lucht in het lagere gedeelte van het rooster naar buiten stroomt in plaats van naar binnen. Dit is te voorkomen door toevoerroosters wat hoger te plaatsen en het zogenaamde 'badkui principe' na te streven. De koude lucht valt naar beneden en zorgt



-Figuur 3- Temperatuurbeeld t.o.v. het standaard natuurlijke ventilatieprincipe



-Figuur 4-



-Figuur 5-

voor een koude zone op laag niveau. Precies daar waar vaak de mensen werken. Aan de bovenzijde van het rooster zal de warmere lucht van hoger niveau deels mengen met de koude toevoerlucht. Dit is voor de temperatuur op de werkplek echter niet van belang.

■ NAAR ZERO ENERGY KOELING

De berekeningsmethode voor natuurlijke ventilatie werkt met standaard formules. Kunnen deze ook toegepast worden op de nieuwe ontwikkelingen? Onderzoeken met behulp van CFD-techniek laten zien dat bij toepassing van de natuurlijke adiabatische ventilatiewand er in bepaalde gevallen onverklaarbare sprongen in de temperatuur kunnen zitten. Zoals in het voorbeeld (figuur 4) van een ketelhuis van een elektriciteitscentrale waar het ventilatiesysteem gerenoveerd werd.

Het beoogde resultaat wordt echter wel gehaald. De temperatuur op laag niveau wordt aanmerkelijk verlaagd (figuur 4) ten opzichte van het oorspronkelijke ontwerp zoals in figuur 5 weergegeven. Waar in de situatie van natuurlijk ventilatie de lucht wordt binnengebracht met 28° C wordt bij het natuurlijk adiabatisch koelingsprincipe de toevoerlucht afgekoeld naar 22° C. De ruimtecondities zullen dan ook veel dichter richting de streefwaarden van de NEN-ISO 7730 [2] komen.

Een bijkomend, zeer belangrijk voordeel bij het ontwerpen van nieuwe installaties is dat de ventilatievoorzieningen in principe kleiner uitgevoerd kunnen worden wanneer hetzelfde temperatuurverschil wordt gehanteerd. Dit kan oplopen tot 25% reductie, zowel in de toevoer als in de afvoer, hetgeen ook bouwkundige en installatietechnische besparingen oplevert.

Natuurlijk wordt het nog interessanter als we de volledige valhoogte kunnen benutten, waardoor de hoogte van de koude kolom ten goede komt aan de drijvende kracht van de natuurlijke ventilatie. Plaatsing van een wand afgeschermd in een kanaalconstructie op hoog niveau (figuur 6) kan hieraan voldoen. Dr.ing. Ben Bronsema [3] beschrijft een deel van dit principe in Earth, Wind & Fire – Natuurlijke Airconditioning, maar dan een stap verder. Gekoeld water, bijvoorbeeld afkomstig uit bodemopslag, draagt energie over op de vallende lucht die boven in een gebouw wordt toegevoerd. In het R&D-centrum van Colt International zijn de eerste testen gedaan met natuurlijke adiabatische ventilatiewanden waarbij koud water gebruikt wordt. De resultaten zijn veelbelovend. Wel is geconstateerd dat de luchtsnelheid in combinatie met de waterfilm op het koeloppervlak cruciaal is. Een beetje hulp van steunventilatoren met een heel laag elektrisch vermogen kan dit proces

beter in de hand houden. Wanneer dit met elektrische zonnepanelen gebeurt, blijft de zero-energy-oplossing gehandhaafd.

TOEKOMSTPERSPECTIEF

Samenvattend zijn de kenmerken voor een natuurlijk, al dan niet adiabatisch, ventilatiesysteem in de industrie als volgt:

Een natuurlijk ventilatiesysteem gebruikt geen energie en daardoor draagt het in het gebruik ook niet bij aan de CO₂-problematiek. Het is een zelfregelend systeem. Naar mate er meer energie vrijkomt, wordt de Δp groter en derhalve de stijgsnelheid en het ventilatievolume. Een natuurlijk ventilatiesysteem maakt geen geluid. Door het ontbreken van draaiende delen is het onderhoud minimaal.

De nieuwe generatie producten op de markt van natuurlijke ventilatie voldoen aan alle moderne eisen van esthetica, lekdichtheid, isolatie en geluidreductie. Wordt adiabatische koeling geïntegreerd in natuurlijke ventilatie systemen dan zijn aanzienlijk lagere temperaturen haalbaar waardoor het toepassingsgebied sterk wordt vergroot. Tegelijkertijd is minder gevel/dakoppervlak benodigd bij een gelijkblijvende temperatuureis op hoog niveau.

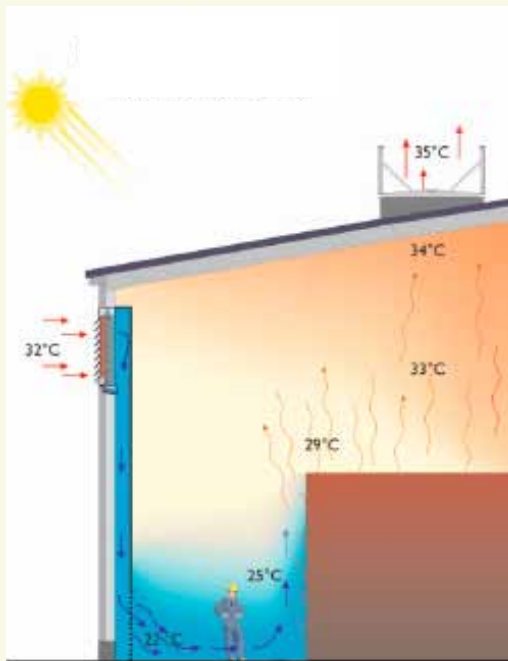
Daarentegen is een natuurlijk (adiabatisch) ventilatiesysteem onderhevig aan de op dat moment geldende omstandigheden. Verandering van buitencondities en warmtelasten beïnvloeden de effectiviteit van het systeem. Ook gebouwhoogte, het ontbreken van warmte en/of minimaal benodigde ventilatiebehoefte kunnen een natuurlijk systeem in de weg staan.

De keuze voor een hybride (deels mechanisch) ventilatiesysteem kan dan de oplossing zijn. In een tijd met steeds strengere regelgeving, steeds hogere druk om energie te besparen en de sterke focus op een gezond werkklimaat, krijgt het natuurlijk ventilatiesysteem een

herkansing. En terecht, want het zijn juist de kenmerken van het natuurlijke systeem die maken dat dit naadloos aansluit bij het duurzame (industrie)gebouw.

LITERATUUR

1. TNO. 1983 Publicatie no. 874. Ventilatieonderzoek in grote gebouwen door W.F. de Gids; B. Knoll en J.C. Phaff
2. Fanger. Prof. P. Ole Fanger 1934-2006 en NEN-ISO 7730. Klimaatomstandigheden – Analytische bepaling en interpretatie van thermische behaaglijkheid door berekeningen van de PMV en PPD-waarden en lokale thermische behaaglijkheid
3. Dr.ing. Ben Bronsema. Earth, Wind & Fire – Natuurlijke Airconditioning. Info [www. Bronconsult.org](http://www.Bronconsult.org) 2013, Uitgeverij Eburon



-Figuur 6- Een wand afgeschermd in een kanaalconstructie op hoog niveau

Advertentie: 1/4L Nijburg