

## Rookverspreiding door het gebouw

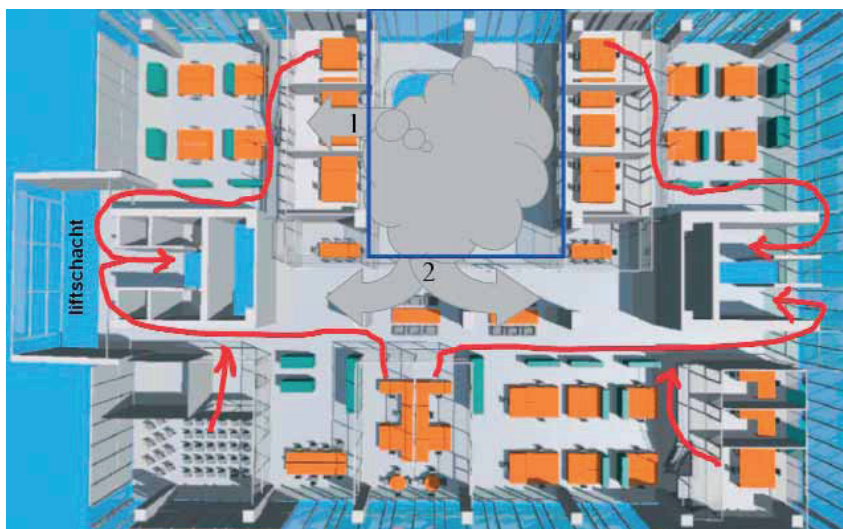
# Beoordeling RWA-installatie Atrium Vertigo

*Het atrium van het Vertigo-gebouw is bouwkundig bedoeld als één groot brandcompartiment. De schuifdeuren en ramen naar aanliggende vertrekken staan echter vaak open. Hierdoor kan de rook zich in het geval van een brand in het atrium gemakkelijk door het gebouw verspreiden door een overdruk in het atrium. Deze overdruk ten opzichte van aanliggende de vertrekken veroorzaakt door de expansie van de rookgassen, het drijfvermogen, van de rook, het schoorsteeneffect en winddruk door openstaande ramen en kieren in de gevel. Om de invloeden op de verspreiding van rook door het gebouw na te gaan zijn verschillende effecten bestudeerd. Het artikel gaat hierop in.*

*-door Ing. E. Neuhaus\**

**H**et atrium is een rookcompartiment. Dit is echter geen luchtdichte ruimte. Rookver-

spreiding op het horizontale vlak vindt plaats via openingen tussen compartimenten en door drukverschillen hier-



Weergegeven is een plattegrond van de tussenverdiepingen. In het geval van volvulling van het atrium stroomt de rook (grijze pijlen) door de eventueel openstaande kantoorramen/deuren (1) of een openstaande schuifdeur (2) de verdiepingvloer op en kan daar de vluchtroutes van rook voorzien. Met rode pijlen zijn de vluchtroutes weergegeven.

-FIGUUR 1-



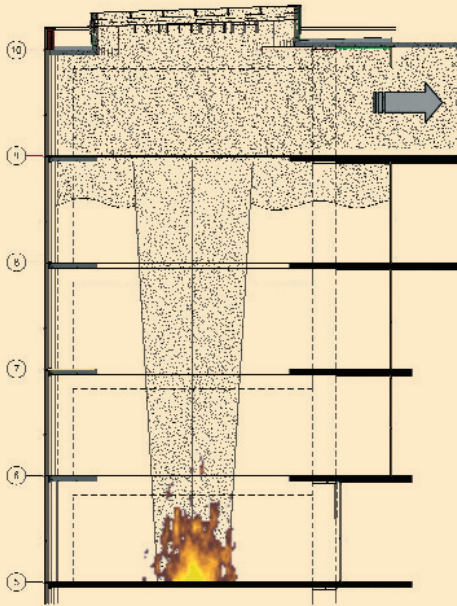
tussen.

De voornaamste openingen waar rook van het ene naar het andere compartiment of ruimte kan stromen zijn:

- openstaande schuifdeuren en ramen;
- kieren rond ramen en deuren;
- roosters.

Via schuifdeuren heeft men toegang tot het atrium. De aan het atrium gelegen kantoren zijn voorzien van ramen en deuren. Uit de praktijk blijkt dat deze schuifdeuren en ramen geregeld open staan. In het geval van een forse rookontwikkeling in het atrium zal deze rook zich door de overdruk ten gevolge van de brand en het optredende temperatuurverschil, door de schuifdeuren en ramen de verblijfsruimtes instromen. Deze situatie zal zich het eerst voordoen op de bovenste verdiepingen doordat de rooklaagdikte onder het plafond steeds dikker wordt door een onvoldoende afvoer van de ontwikkelende rook. Hierdoor kunnen de vluchtroutes (zie figuur 1) ontoelaatbare rookhoeveelheid toegevoerd krijgen. Vooral door de grote oppervlakken

\* Student Installatietechnologie TU/e



In het geval van openstaande schuifdeuren (vloer 9) zal rook zich naar de aangrenzende vertrekken verspreiden.

-FIGUUR 2-

van de schuifdeuren is het van groot belang dat deze in het geval van een brand gesloten blijven. Hetzelfde geldt voor de deuren en ramen van de kantoren aan het atrium.

### OORZAKEN VAN ROOKVERSPREIDING

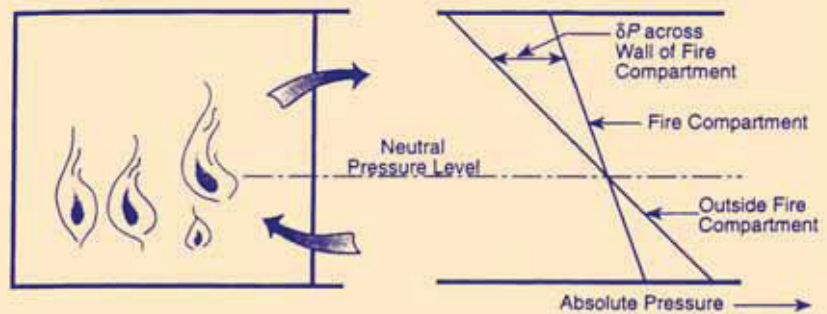
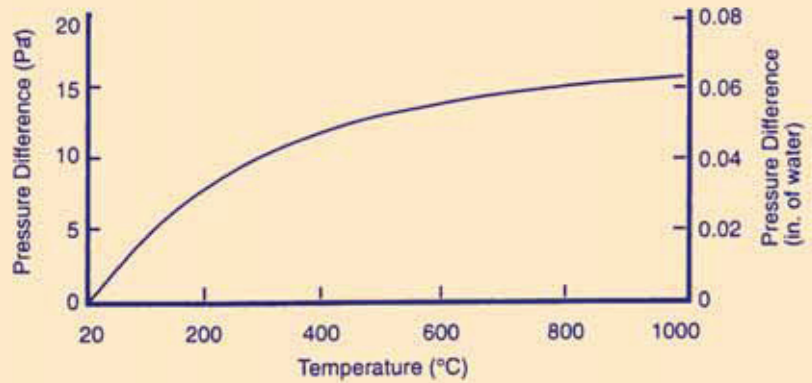
Rookbeweging door een hoogbouw wordt veroorzaakt door een drukverschil. De krachten die zorgen voor dit drukverschil zijn:

- expansie van de rookgassen;
- het drijfvermogen van rook;
- het schoorsteen effect (stack-effect);
- windaanval op het gebouw;
- het ventilatiesysteem.

Ook de zuigerbeweging van liften kan voor rookverspreiding in een gebouw zorgen. Dit effect is hier achterwege gelaten doordat de liften in het Vertigo gebouw vrij ver van het atrium aflaggen en gescheiden zijn door branddeuren (zie fig. 1). Ook is het gebruik van de liften bij een brandsituatie minimaal zodat de invloed hiervan minimaal kan worden verondersteld

### EXPANSIE ROOKGASSEN

Door de bij de brand gegenereerde warmte neemt het gasvolume toe. Volgens de algemene gaswet volgt dat:



- a) In deze grafiek is het drukverschil in relatie tot de luchttemperatuur weergegeven, die zorgt voor de opwaartse kracht ten opzichte van koelere omgevingslucht.  
 b) De buitenlucht heeft een hogere dichtheid door de lagere temperatuur. Hierdoor is de drukafname in relatie tot de hoogte sneller dan in de brandruimte. Het niveau waar de druk in de brandruimte gelijk is aan de druk eruiten wordt het neutrale drukniveau genoemd (neutral pressure level).

-FIGUUR 3-

$$PV=RT$$

waarin

P = absolute druk (Pa)

V = gasvolume (m<sup>3</sup>)

R = universele gasconstante (-)

T = absolute temperatuur (K)

Aangenomen dat het brandcompartiment onvoldoende lekverliezen heeft zodat er zich een druk kan opbouwen, geldt:

$$V \propto T$$

Dat wil zeggen dat het gasvolume ongeveer evenredig toeneemt tot de absolute temperatuur. Dit komt omdat de absolute druk slechts weinig varieert. De drukopbouw in het brandcompartiment (atrium) is namelijk relatief gezien insignificant in vergelijking met de atmosferische druk.

Het drukverschil tussen de compartimentgrenzen ontstaan door het expanderende gas en zijn afhankelijk van drie factoren:

- lekoppervlak compartiment;
- volume van het compartiment;
- mate van temperatuurstijging.

Als gevolg hiervan neemt de druk in de brandruimte toe, waardoor er gassen

door de openingen van het compartiment worden gestuwd. Deze stroom van gassen uit het compartiment zullen aanhouden zolang de druk in het compartiment stijgt.

### KWANTIFICERING EXPANSIE ROOKGASSEN ATRIUM VERTIGO

Aangenomen dat de rookgassen boven de brandhaard 338K zijn (aanspreektemperatuur sprinklers), en de omgevingstemperatuur in het atrium 290K, kan men met behulp van de volgende formule het drukverschil t.g.v. de expansie van de rookgassen dat optreedt in de groeifase kwantificeren:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

hier zijn:

P<sub>1</sub> = druk in atrium (=absolute druk)  
= 101,3kPa

T<sub>1</sub> = omgevingstemperatuur in atrium  
= 290K

P<sub>2</sub> = druk ter plaatse van rookgassen  
= onbekende

T<sub>2</sub> = temperatuur rookgassen = 338K

dit levert

$$P_2 = \frac{P_1 \cdot T_2}{T_1} = \frac{101,3 \cdot 10^3 \cdot 338}{290}$$

$$= 118,07 \text{ kPa}$$

Het drukverschil dat optreedt t.g.v. expanderende rookgassen is nu  $118,1 - 101,3 = 16,8 \text{ kPa}$

### DRIJFVERMOGEN ROOK

Als de brandtemperatuur in het compartiment een stationaire waarde bereikt, houden de gassen in het compartiment op te expanderen. Op dit moment verplaatst de rook zich voornamelijk door middel van opwaartse druk. De lucht in het brandcompartiment is warmer en daarom lichter dan de buitenlucht. Daardoor stijgt het op en wil ontsnappen via openingen in het bovenste gebied van het compartiment. Dit stromingspatroon is veroorzaakt door drukverschillen (zie fig. 3a) in het compartiment ten gevolge van de opwaartse druk van de warme rookgassen. Het diagram rechts in figuur 3 toont de variatie van de absolute druk in en buiten de brandruimte in relatie tot de hoogte. De absolute druk neemt af met de hoogte door de afname van de hoeveelheid lucht erboven. De locatie van het neutrale drukk niveau hangt af van de verticale verdeling van de lekopeningen in het compartiment. In mindere mate ook van de temperatuur van de gassen in het compartiment en de omringende ruimte. Het drukverschil ten gevolge van de opwaartse kracht tussen een brandruimte en zijn omgeving kan worden berekend met de volgende expressie:

$$\delta P_f = g(h - h_{npl}) \cdot \rho_a \cdot (T_f - T_a) / T_f$$

waarin:

- $\delta P_f$  = drukverschil veroorzaakt door brand (Pa)
- $g$  = gravitatie constante ( $\text{m/s}^2$ )
- $h$  = hoogte van interesse (m)
- $h_{npl}$  = hoogte van het neutrale drukk niveau (m)
- $\rho_a$  = dichtheid lucht omgeving ( $\text{kg/m}^3$ )
- $T_f$  = temperatuur brandruimte (K)
- $T_a$  = temperatuur omgeving (K)

Verwarmde rook afkomstig van een brand drijft als het ware. Het heeft de neiging om te stijgen en te ontsnappen via lekken op hogere niveaus in het compartiment.

### KWANTIFICERING DRIJFVERMOGEN ROOK ATRIUM VERTIGO

In dit rekenvoorbeeld wordt m.b.v. realistische waardes een beeld geschetst van het drukverschil dat optreedt in het atrium op een hoogte van 15 meter t.g.v. het drijfvermogen van rook:

Gegevens:

- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- $h = 15 \text{ m}$
- $h_{npl} = 8 \text{ m}$
- $\rho_a$  = dichtheid lucht omgeving ( $\text{kg/m}^3$ )
- $T_f = 338 \text{ K}$
- $T_a = 290 \text{ K}$

$$\delta P_f = 9,81 \cdot (15 - 8) \cdot 1,19 \cdot (338 - 290) / 338$$

$$= 11,6 \text{ Pa}$$

### SCHOORSTEEN EFFECT

Het schoorsteen effect is de verticale stroming van de vloer naar het dak, van lucht, veroorzaakt door een verschil in dichtheid tussen de lucht in het compartiment en de omgevingslucht. Dit verschil in dichtheid wordt veroorzaakt door temperatuur/drukverschillen tussen de lucht in het gebouw en de omgevingslucht. Het drukverschil ten gevolge van het schoorsteeneffect in een brandruimte kan worden berekend met de volgende expressie:

$$\delta P_s = g(h - h_{npl}) \cdot \rho_i \cdot (T_i - T_o) / T_o$$

waarin

- $\delta P_f$  = drukverschil veroorzaakt door schoorsteeneffect (Pa)
- $g$  = gravitatie constante ( $\text{m/s}^2$ )
- $h$  = hoogte van interesse (m)
- $h_{npl}$  = hoogte van het neutrale drukk

niveau (m)

- $\rho_i$  = dichtheid lucht intern ( $\text{kg/m}^3$ )
- $T_i$  = temperatuur brandruimte (K)
- $T_o$  = temperatuur buiten (K)

### KWANTIFICERING SCHOORSTEEN-EFFECT ATRIUM VERTIGO

In dit rekenvoorbeeld wordt m.b.v. realistische waardes een beeld geschetst van het drukverschil dat optreedt in het atrium op een hoogte van 15 meter t.g.v. het schoorsteeneffect:

Gegevens:

- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- $h = 15 \text{ m}$
- $h_{npl} = 8 \text{ m}$
- $\rho_i$  = dichtheid lucht intern ( $\text{kg/m}^3$ )
- $T_i = 338 \text{ K}$
- $T_o = 283 \text{ K}$

Dit levert:

$$\delta P_s = 9,81 \cdot (15 - 8) \cdot 1,26 \cdot (338 - 283) / 283$$

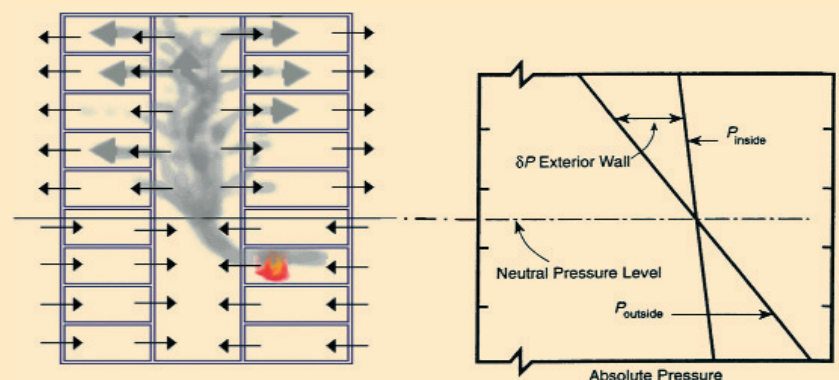
$$= 16,8 \text{ Pa}$$

### WINDAANVAL

Wind veroorzaakt een significant drukverschil, lucht lekkage en een verhoogde rookverspreiding in een gebouw. Het effect van de wind op de rookverspreiding in een gebouw is voornamelijk afhankelijk van:

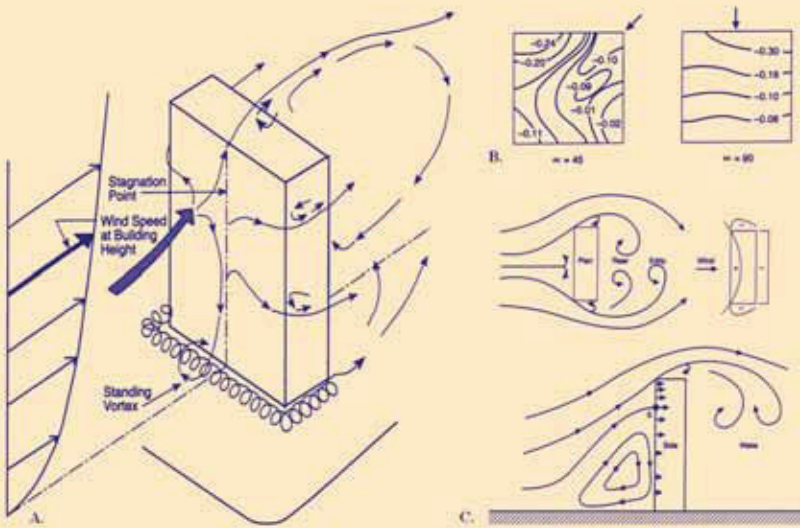
- soort terrein;
- windrichting op de gevel;
- hoogte van het gebouw;
- omliggende gebouwen.

Zoals in figuur 5 weer is gegeven heersen er rond een gebouw verschillende drukken. Deze drukken werken door



**Het schoorsteeneffect in een atrium met gelijke openingen aan de onder- en bovenkant. In het rechter plaatje is te zien dat er boven het neutrale drukk niveau een overdruk heerst. Hierdoor kan de rook in het atrium zich boven dit niveau verspreiden naar aangrenzende ruimtes door openingen zoals deuren, ramen, roosters en kieren. De pijlen geven de richting van de luchtstroming weer.**

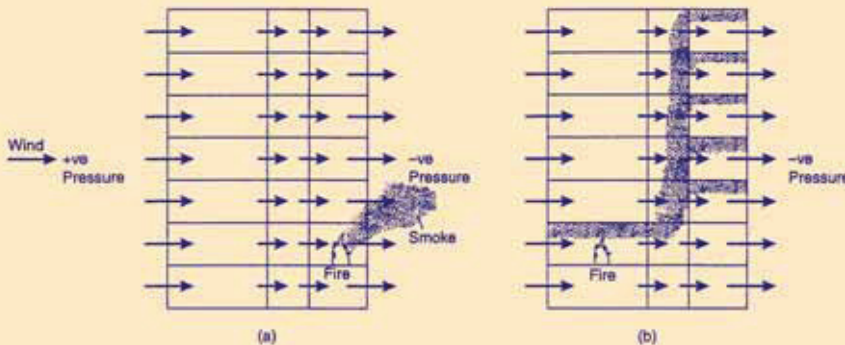
- FIGUUR 4 -



**De luchtstroming rond een gebouw veroorzaakt door wind.**

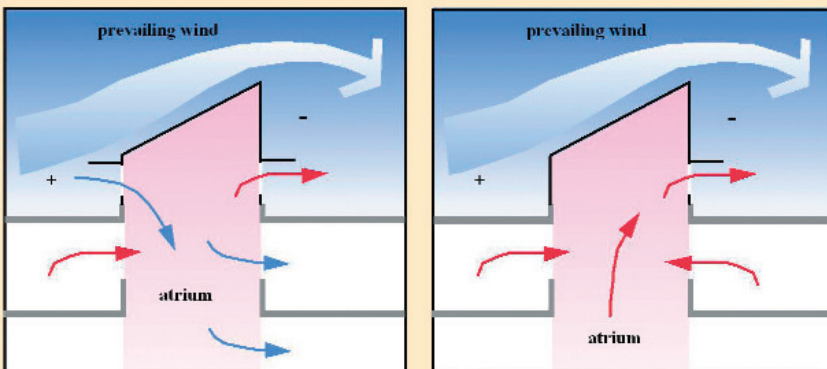
- a) Uit de figuur komt naar voren dat er op grotere hoogte een hogere windsnelheid heerst. De druk op het de gevel is echter het grootst op het stagnatiepunt S omdat de wind daar het meest frontaal op de gevel botst. Op het dak en achter het gebouw vindt een soort werveling plaats die kan zorgen voor een onderdruk. Hier kan handig gebruik van worden gemaakt voor de rookafvoer
- b) Deze figuur geeft de drukcontouren weer op het dak van een hoogbouw bij twee verschillende windrichtingen. In beide gevallen heerst er een onderdruk t.o.v. de gemiddelde atmosferische druk.
- c) Luchtstromingen rond een gebouw gezien van bovenaf en van de zijkant. Duidelijk weergegeven is de overdruk op de gevel die het grootst is op punt S.

-FIGUUR 5-



**Het effect van de winddruk door geopende ramen: figuur (a) laat zien dat de wind kan helpen de rook uit een gebouw te dringen. Situatie (b) echter toont dat de winddruk ook rook door een gebouw kan verspreiden.**

-FIGUUR 6-



**Bij een onjuiste plaatsing van de dakluiken kan de wind de rook terug het atrium inblazen. Openingen moeten bij voorkeur worden geplaatst in het lagedrukgebied van het dak.**

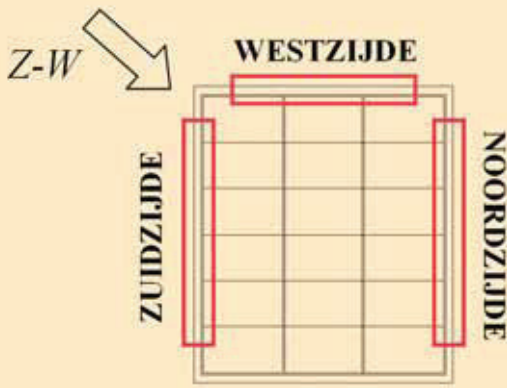
-FIGUUR 7-

openingen in de gevel door op de binnencondities en beïnvloeden daar de luchtstromingen. De luchtstroom in een gebouw veroorzaakt door wind is voornamelijk horizontaal onder normale condities. Door bijvoorbeeld een gebroken of openstaand raam, kan in het geval van brand de wind rook naar aanliggende verdiepingen en verticale schachten verspreiden (zie fig. 6). Afhankelijk van de locatie van de brand en de windrichting, kan de wind ook juist helpen de rook uit het gebouw af te voeren zoals weergegeven in figuur 6.

De standaard ontwerpstrategie voor natuurlijk geventileerde atria is om deze te ontwerpen met het oog op het schoorsteen effect. Er wordt dan aangenomen dat de wind een gunstige invloed heeft voor dit effect. Echter, de wind kan deze ventilatiestrategie verstoren als er niet zorgvuldig genoeg ontworpen wordt. De hooggeplaatste openingen moeten gepositioneerd zijn op de lagedrukzijde van de dakopbouw, zodat de wind het schoorsteeneffect versterkt in plaats van tegenwerkt. Dit kan voor het ontwerp betekenen dat er op verschillende zijden openingen moeten worden aangebracht die automatisch kunnen openen en sluiten, rekening houdende met de richting van de wind. Zie onderstaande afbeelding.

De positionering van de rookafvoerluiken in het Vertigo-gebouw is als volgt: vier stuks luiken naast elkaar gemonteerd op de zuid-, west- en noordzijde van de dakuitbouw op het atrium. Aangezien de wind gemiddeld uit het zuidwesten komt kan het theoretisch gebeuren dat de wind door de luiken aan de west- en zuidzijde naar binnen dringt en naar beneden het atrium inblaast door de overdruk, of door de noordzijde weer naar buiten blaast. Er kan mogelijk doorspoeling op van de bovenste luchtlaag in het atrium optreden door de tegenover elkaar geplaatste roosters. De vraag is nu of het gewenste effect van deze luiken, namelijk het afvoeren van rook uit het atrium, nog wel zal optreden.

Het is moeilijk om uitspraken te doen over de daadwerkelijke invloed van de wind op de binnencondities ten gevolge van het veranderlijke karakter van de wind. Een praktijkproef tijdens verschillende windsituaties kan hier meer inzicht in geven. Ook omdat het om



Aan de zuid-, west- en noordzijde van de dakopbouw zijn per zijde vier automatisch luiken gemonteerd. Bij de windrichting uit zuid-west wordt buitenlucht mogelijk het atrium ingeblazen door de openingen aan de west en zuidzijde. Theoretisch zouden de roosters beter aan de oost en noordzijde kunnen worden gemonteerd om dat daar waarschijnlijk een onderdruk zal heersen.

-FIGUUR 8-

bij het Vertigo-gebouw om een dakopbouw gaat die zich hoger dan het dakniveau bevindt, heersen hier waarschijnlijk andere windcondities dan in figuur 5 zijn weergegeven. Zo zou er mogelijk een overdruk kunnen heersen omdat de uitbouw hoger is dan het dakniveau.

### KWANTIFICERING WINDDRUK ATRIUM VERTIGO

Het drukverschil dat in het atrium zal optreden t.g.v. de winddruk door kieren in de gevel valt moeilijk te kwantificeren door het hier geen uniforme stroming betreft.

Met behulp van onderstaande simpele benadering is een grove indicatie mogelijk van de druktoename in een gebouw ten gevolge van de winddruk op de gevel. Moderne gevels zijn vrijwel winddicht.

Winddruk op gevel:

$$\frac{1}{2} \rho \cdot C \cdot v^2$$

Waarin:

$\rho$  = dichtheid lucht ( $\text{kg/m}^3$ )

=  $1,20 \text{ kg/m}^3$

$C$  = coëfficiënt (-) = 0,8

$V$  = windsnelheid ( $\text{m/s}$ ) =  $10 \text{ m/s}$

geeft

$$\frac{1}{2} \cdot 1,21 \cdot 0,8 \cdot 10^2 = 48,4 \text{ Pa}$$

Bij een lekverlies van 2% over de gevel levert dit ongeveer 1 Pa. winddruk in het atrium.

### CONCLUSIE EFFECT WIND

Wind kan zowel een negatief als een positief effect op de rookafvoer uit een gebouw hebben. Door rookafvoerluiken op de onderdrukzijde van het gebouw te monteren wordt het schoorsteen-effect versterkt. In het geval van het Vertigo-gebouw zijn de rookafvoerluiken op een soort uitbouw gemonteerd. De vraag is of hier een onder- of overdruk heerst. Metingen kunnen deze vraag beantwoorden. Winddruk t.g.v. infiltratie door de gevel is echter nagenoeg verwaarloosbaar door de huidige dichte gevelconstructies.

### COMBINATIE VAN FACTOREN

Als de bovengenoemde factoren tegelijkertijd optreden, mogen de afzonderlijke drukverschillen worden opgeteld om het totale drukverschil te berekenen:

$$\delta P_t = \delta P_f + \delta P_s + \delta P_w$$

waarin

$\delta P_t$  = totaal optredende drukverschil t.g.v. verschillende factoren (Pa)

$\delta P_f$  = drukverschil t.g.v. drijfvermogen rook (Pa)

$\delta P_s$  = drukverschil t.g.v. schoorsteen-effect (Pa)

$\delta P_w$  = drukverschil t.g.v. windaanval op gebouw (Pa)

In het rekenvoorbeeld komt dit neer op een totaal drukverschil van  $11,6 + 16,8 + 1 = 29,4 \text{ Pa}$  tussen het atrium en omgeving.

### CONCLUSIE

Doordat de rookafvoerluiken tegenover elkaar zijn gemonteerd, zal er mogelijk een doorspoeling optreden in het atrium van de bovenste laag. Ook kan de rook naar beneden worden geblazen door de buitenlucht die via de roosters, door de windaanval hierop, is binnengedrongen.

Er kan worden geconcludeerd dat er in het geval van brand, in of rond het atrium, de ontwikkelde rook niet efficiënt kan worden afgevoerd met als gevolg dat er zich onveilige situaties kunnen voordoen in en om het atrium. Echter moet in de beschouwing worden meegenomen dat er door het atrium geen vluchtwegen lopen. Dit is een belangrijk aspect dat de wegging van dit oordeel verzacht.

### AANBEVELINGEN

Indien de automatische ramen en luiken in het atrium als RWA-installatie dienen te functioneren, zijn de belangrijkste aanbevelingen die uit dit onderzoek naar voren komen:

- montage van dakluiken met verticale openingsrichting, indien dit niet mogelijk is een montage van gevelluiken op de loefzijde van de dakuitbouw wenselijk;
- gevelluiken niet tegenover elkaar te monteren.

Voorts verdient het de aanbeveling om:

- schuifdeuren naar het atrium gesloten te houden of indien mogelijk zelfsluitend uitvoeren;
- en deuren die vanaf de kantoren toegang naar het atrium verschaffen voorzien van deurdrangers om zo rookverspreiding buiten het atrium te voorkomen.

### LITERATUUR

1. *Een brandveilig gebouw installeren*, Nederlandse Brandweerfederatie, Den Haag 1993
2. NEN 6093 *Beoordelingsmethode van rook- en warmteafvoerinstallaties*, NEN, Delft, 1995.
3. *Bouwbesluit 2003*
4. *Dictaat Brandveiligheid*, PH.H. Leijendeckers
5. *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, third edition*, ISBN 087765451-4, 2001
6. *Brandveiligheid atriumgebouwen*, Nederlandse Brandweerfederatie werkgroep atriumgebouwen, Den Haag 1990
7. *DIN 18232-2 Natürliche Rauchabzugsanlagen, Bemessung, Anforderungen und Einbau*, juli 2003
8. *Rookverspreiding in kantoorgebouwen met atria*, R.J.M. van Mierlo, TNO-bouw Delft, februari 1990
9. *Smoke movement and control in high-rise buildings*, Tamura, George T., National Fire Protection Association 1994, ISBN 0-87765-401-8
10. *Malls, Sprinklers and Smoke*, G.D. Loughheed, Canadian Consulting Engineer, v. 43, no. 3, May 2002