

# Beoordeling RWA-installatie Atrium Vertigo

*Hoogbouw zoals moderne kantoorgebouwen zijn uit architectonisch oogpunt en energiebesparing vaak voorzien van één of meerdere atria. Deze glasoverkapt ruimtes hebben dan verschillende gebruiksfuncties, te denken valt aan expositieruimte of een algemene ruimte voor het personeel. Het grote gevaar van een brand in een atrium is de forse rookontwikkeling die kan optreden. Bekend is dat rook voor 95 % verantwoordelijk is voor alle dodelijke slachtoffers bij branden en niet de hitte van het vuur zelf. In het nieuwe Bouwbesluit staat een functioneel voorschrift voor een 'niet besloten ruimte (atria en galerijen) waardoor een rookvrije vluchtroute voert'. Deze functionele eis moet garanderen dat bij brand de rook zo snel mogelijk wordt afgevoerd. In dergelijke gevallen kan een rook- en warmte afvoerinstallatie uitkomst bieden.*

*Doel van dit artikel is om inzicht te geven in RWA-installaties (rook en warmte afvoerinstallaties), branden in atria en de factoren die van invloed zijn op de rookverspreiding door het gebouw. Als voorbeeld is hiervoor het atrium in het Vertigo-gebouw op de TU/e-campus gebruikt. De toepasbaarheid van de automatische ramen als RWA-systeem is nader onderzocht en er is een kwantificering gedaan van de optredende effecten in een tweetal brandscenario's. Scenario 1 en 2 gaan uit van een lichte en zware brand op de vloer van het atrium.*

*- door ing E. Neuhaus\**

**D**oor de grote vrije hoogte en vaak de aanwezigheid van balkons in het atrium zal een forse inmenging van omgevingslucht optreden in de opstijgende rookstroom. Hierdoor kunnen vaak binnen korte tijd de bovenste lagen in het atrium niet meer worden gebruikt voor ontvluchting, omdat de rookconcentraties te hoog worden. Ook ontstaat er door

de oplopende temperatuur een toenemende kans op het spontaan ontbranden (flash-over) van de in het atrium toegepaste materialen. Om deze situatie te voorkomen moeten atria met vluchtroutes worden voorzien van zogenaamde RWA-installaties. Deze rook en warmte afvoerinstallaties zorgen er voor dat de vluchtroutes vrij van rook blijven in het geval van een brand,



ing E. Neuhaus

zodat veilig vluchten gewaarborgd is. RWA-installaties kunnen natuurlijk of mechanisch zijn uitgevoerd. Bij een natuurlijke RWA-installatie worden na detectie van een brand in het atrium toevoeropeningen (onder de rooklaag) en afvoeropeningen (boven in de ruimte) opengesteld, om de warme rook af te voeren. De rookafvoer berust dan op het natuurkundige principe van het schoorsteeneffect. Bij grotere rookdebieten worden mechanische RWA-installaties toegepast. Deze bestaan uit een opening onder in de gevel en een ventilator voor de rookafvoer zo hoog mogelijk geplaatst in het atrium.

Om te kunnen bepalen binnen welke tijd de ruimte of bijvoorbeeld de galerijen in een atrium vol komen te staan met rook en wat de temperatuur van de rooklaag zal worden, kan op basis van NEN 6093 of een CFD-model, een berekening worden uitgevoerd. Door meerdere situaties door te rekenen, kan vervolgens de optimale rook- en warmteafvoerinstallatie worden gedimensioneerd.

\* Student Installatietechnologie TU/e

Het atrium van het Vertigo-gebouw is voorzien van automatische luiken onderin de gevel en boven in het dak. Deze luiken doen dienst als ventilatie luiken indien de temperatuur in het atrium te hoog wordt in de zomer. Volgens het bestek doen deze luiken tevens dienst als rookafvoersysteem in het geval van brand.

### SPECIFICATIES GEMONTEERDE RWA-SYSTEEM

Vloer oppervlak	11,2x13,7=155 m <sup>2</sup>
Hoogte	28,6 m
Inhoud	4.500 m <sup>3</sup>
Bouwlagen	5 (verdieping 5 t/m 9)
Gebruik vloer atrium	o.a. tentoonstellingen

#### Gegevens atrium Vertigo.

- TABEL 1-

#### Rook & warmte afvoer

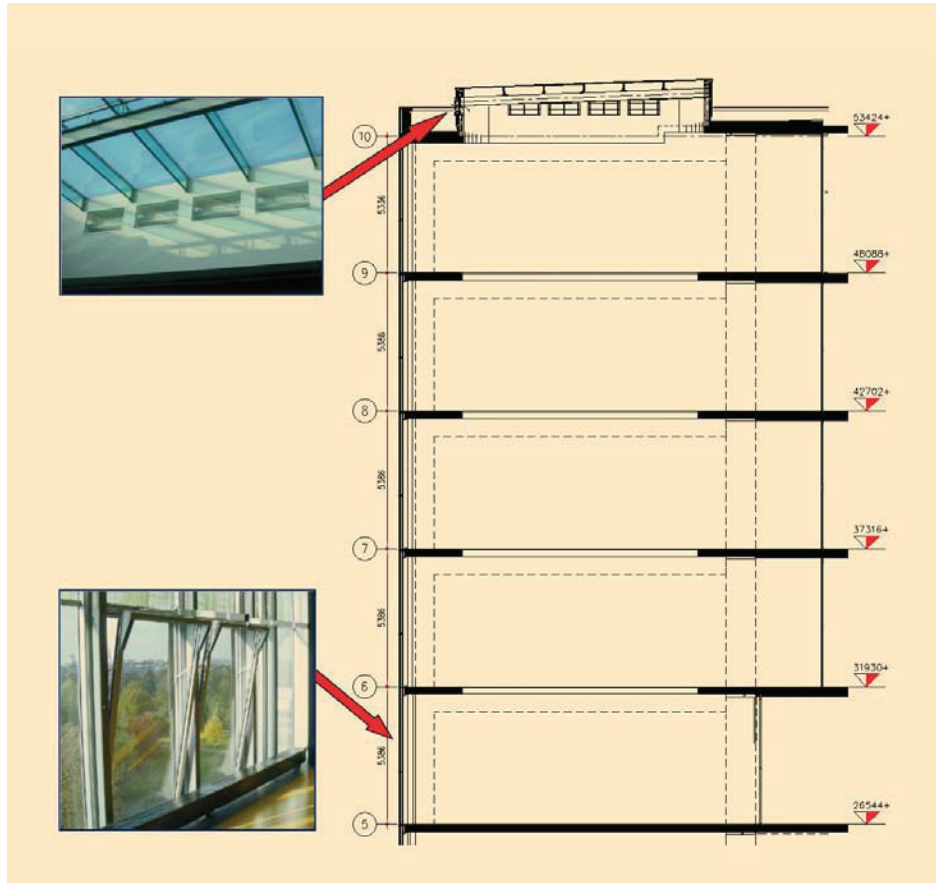
In het atrium zijn op verschillende plaatsen rookmelders gemonteerd. Wordt er in het atrium een brandmelding gedetecteerd, dan worden door de brandmeldcentrale automatisch de dakluiken van het atrium opengestuurd. De functie van het rook- en warmteafvoersysteem is vierledig:

- de vluchtroute blijft gevrijwaard van rook;
- de brandweer heeft zicht op de vuurhaard en kan tot een binnenaanval over gaan;
- de temperatuur van de rook loopt niet te hoog op. Hiermee wordt een secundaire brand voorkomen en wordt de constructie van het gebouw niet verzwakt.
- verkleinen kans op brandoverslag door flash-over.

Een RWA-systeem kan zijn gebaseerd op natuurlijke rookafvoer, voornamelijk veroorzaakt door het optredend schoorsteen effect. Er is sprake van een natuurlijke RWA-installatie. Dit principe is toegepast in het atrium van het Vertigo-gebouw. Indien de rook mechanisch wordt afgevoerd spreekt men van een mechanische RWA-installatie.

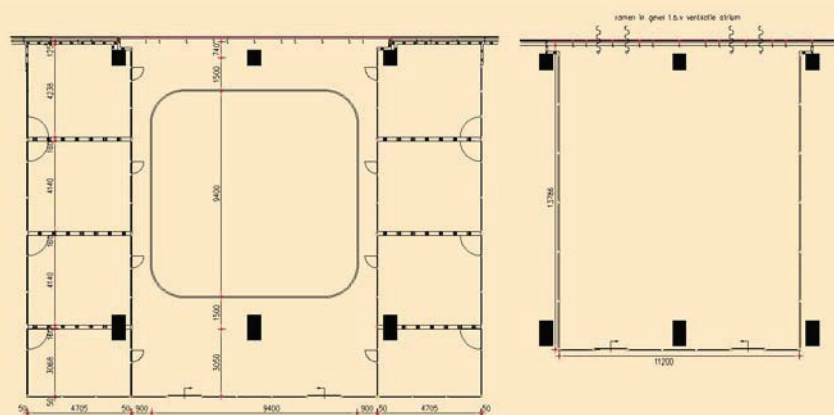
#### BRANDSITUATIES

De primaire gegevens voor het dimensioneren van een RWA-installatie zijn



Doorsnede van het atrium west-oost.

- FIGUUR 1-



Plattegrond atrium met omliggende kantoren op vloer 6 t/m 9 (links) en plattegrond atrium op vloer 5 (rechts).

- FIGUUR 2-

de hoeveelheid en de temperatuur van de rook die moet worden afgevoerd. In dit artikel wordt met behulp van vuistregels uit wetenschappelijke literatuur en dimensioneringsmethoden uit de NEN 6093 een (grof) beeld geschetst van de hoeveelheid en de temperatuur van de rook die kan ontstaan. Uitgangspunt is dat de rook afgevoerd wordt uit de rooklaag onder het plafond van het atrium en wordt aangevoerd vanaf de brandhaard recht onder het plafond, brand in het atrium.

- brand onderin atrium met lichte vuurbelasting (situatie I)
- brand onderin atrium met zware vuurbelasting (situatie II)

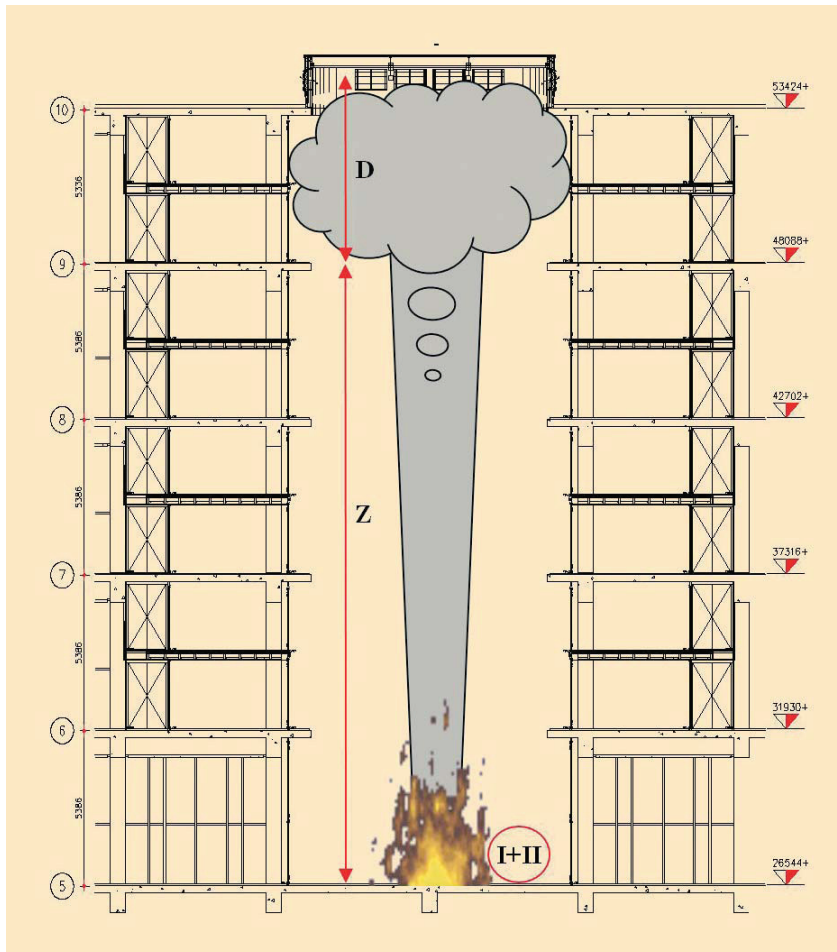
#### BRAND IN HET ATRIUM, SITUATIE I EN II

Bij een brand in het atrium zelf zal de rookpluim boven de brand opstijgen naar de rooklaag onder het plafond zonder belangrijke koerswijzigingen. De oppervlakte van de ontwerpbrand waarop de dimensionering van het RWA-systeem wordt gebaseerd is van groot belang maar tegelijkertijd een onzekere factor.

#### Berekeningsmethode

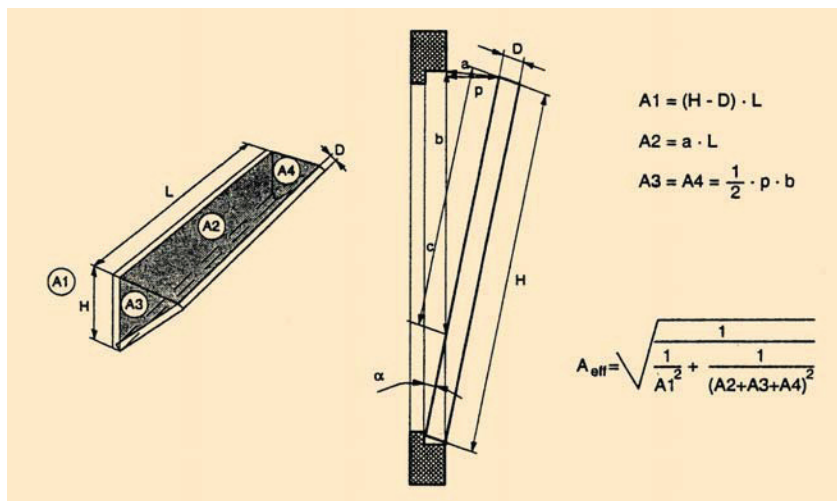
Onderstaande berekeningsmethodes zijn hoofdzakelijk ontleend uit de NEN6093 [2] en het TNO-rapport "rookverspreiding in kantoorgebouwen met atria" [8]. Uitgangspunten:

- brandend expositiemateriaal onder



Doorsnede atrium noord-zuid met de locaties van de twee brandsituaties I t/m II. Aangegeven is de vereiste rookvrije hoogte z, in het rekenvoorbeeld gesteld op 22 meter en de rooklaag dikte D, in dit geval 6 meter.

- FIGUUR 3-



?????

- FIGUUR 4-

- in atrium;
- lichte brand: brandoppervlak = 2 x 2 meter,  $k_{\text{ref}} = 300 \text{ kW/m}^2$ ;
  - zware brand: brandoppervlak = 4 x 4 meter,  $k_{\text{ref}} = 500 \text{ kW/m}^2$ ;
  - omgevingstemperatuur = 17 °C;
  - buitentemperatuur = 17 °C;
  - windsnelheid ter plekke van dak uitbouw = 10 m/s.

Vereiste rookvrije hoogte = niveau vloer 9 = rookvrije laag van 22 meter

#### Specificaties automatische luiken

De onderste verdieping van het atrium is voorzien van zes automatisch te openen gevelluiken. De uitbouw op het dak van het atrium is voorzien van twaalf automatisch te openen dakluiken.

#### Berekening vrije doorlaat automatische gevelramen

H (mm)	2.000
D (mm)	90
L (mm)	1.000
a (mm)	390
b (mm)	1.450
P (mm)	355
A1 (m <sup>2</sup> )	1,91
A2 (m <sup>2</sup> )	0,39
A3 = A4(m <sup>2</sup> )	0,26
Openingshoek	13,9°
Effectieve doorlaat $A_{\text{eff}}$ (m <sup>2</sup> )	0,67
Aantal	6
Totale vrije doorlaat (m <sup>2</sup> )	4,9
Oriëntatie	westgevel

#### Specificaties gevelramen.

- TABEL 2-

#### BRANDSTOF OF VENTILATIEBEHEERST

Bij een brand in het atrium zelf zal de rookpluim boven de brand opstijgen naar de rooklaag onder het plafond. Omdat het atrium een dusdanig grote inhoud heeft (hier 4.500 m<sup>3</sup>) kan er vanuit worden gegaan dat optredende branden brandstofbeheerst zijn en er zich altijd een rooklaag onder het plafond zal vormen.

Het ontstane thermische vermogen van de brand bedraagt:

$$q_{g\_bb} = k_{\text{ref}} \cdot A_{\text{ref}}$$

waarin:

$q_{g\_bb}$  = thermisch vermogen brandstof beheerste brand (kW)

$k_{\text{ref}}$  = referentievermogensdichtheid van de brand (kW/m<sup>2</sup>)

$A_{\text{ref}}$  = referentie brandoppervlak (m<sup>2</sup>)

Het massadebiet van de rook dat ontstaat tijdens de brand, kan benaderd worden met:

$$\dot{m} = 0,19 \cdot O \cdot z^{3/2}$$

waarin:

$\dot{m}$  = massadebiet rookpluim (kg/s)

O = omtrek brandhaard

z = stijghoogte tot onderzijde rooklaag (m)

Specificaties automatische dakluiken	
Afmetingen b x h (mm)	1.250 x 640
Effectieve doorlaat (%)	50*
Effectieve doorlaat A <sub>eff</sub> (m <sup>2</sup> )	0,4
Aantal	12
Totale vrije doorlaat (m <sup>2</sup> )	4,8
Oriëntatie	4x westgevel 4x zuidgevel 4x noordgevel
*Opgave fabrikant	

### Specificaties dakluiken.

- TABEL 3-

De volgende vergelijking geeft het verband tussen massa- en volumedebiet:

$$\dot{V} = 3600 \cdot \dot{m} / \rho$$

waarin:

- $\dot{V}$  = volumedebiet rookpluim (m<sup>3</sup>/h)
- $\dot{m}$  = massadebiet rookpluim (kg/s)
- $\rho$  = dichtheid van de rookstroom (ongeveer 353/T) (kg/m<sup>3</sup>)

Met behulp van de methode van Phaff kan de ventilatiehoeveelheid ten gevolge van thermische trek door een raam worden bepaald.

$$\Phi_{vent} = A_{eff} \cdot \sqrt{c_1 \cdot H \cdot \Delta T + c_2 \cdot v^2 + c_3}$$

waarin:

- $\Phi_{vent}$  = optredende ventilatie (m<sup>3</sup>/h)
- $A_{eff}$  = effectieve raamopening (totale oppervlak boven en onderraam/2) (m<sup>2</sup>)
- H = hoogteverschil tussen twee openingen (m)
- $\Delta T$  = verschil tussen binnen en buitentemperatuur (K)
- v = windsnelheid (m/s)
- $c_1$  = 0,0035
- $c_2$  = 0,001
- $c_3$  = 0,01

De invullingstijd van het atrium bij een volledig ontwikkelde brand is te benaderen met:

$$T_v = V_{tot} / (Q_{toe} - Q_{af})$$

Waarin:

- $T_v$  = de vullingstijd (sec)
- $V_{tot}$  = totale inhoud (m<sup>3</sup>)
- $Q_{toe}$  = geproduceerde rook (m<sup>3</sup>/h)
- $Q_{af}$  = afgevoerde rook (m<sup>3</sup>/h)

De temperatuur in de rookpluim na opstijging bedraagt:

$$T_z = T_0 + \frac{k_{ref} \cdot A_{ref} \cdot 1.000}{\dot{m} \cdot c_p}$$

waarin

- $T_z$  = temperatuur in rookpluim (K)
- $T_0$  = omgevingstemperatuur (K)
- $k_{ref}$  = referentie vermogensdichtheid van een brand (kW/m<sup>2</sup>)
- $A_{ref}$  = referentie oppervlak van de brand (m<sup>2</sup>)
- $C_p$  = soortelijke warmte van lucht (J/(kg\*K))
- $H_{rv}$  = vereiste rookvrije hoogte (m)
- $\dot{m}$  = massadebiet rook na opstijging (kg/s)
- $P_{ref}$  = referentie omtrek van de brand (m)
- $z$  = stijghoogte tot onderzijde rooklaag (m)

Totaal benodigde effectieve oppervlakte van de rookluiken volgt uit:

$$A_u = \frac{\dot{m}}{\rho_0 \cdot C_u} \cdot \sqrt{\frac{T_z^2 + T_z \cdot T_0 \cdot C_f^2}{2 \cdot g \cdot D_z \cdot (T_z - T_0) \cdot T_0}}$$

waarin

- $A_u$  = effectief oppervlakte van de afvoer (m<sup>2</sup>)
- $\dot{m}$  = massadebiet na opstijging (kg/s)
- $\rho_0$  = dichtheid van de lucht bij omgevingstemperatuur (kg/m<sup>3</sup>)
- $C_u$  = contractiefactor van het vloeroppervlak
- $T_0$  = omgevingstemperatuur (K)
- $T_z$  = temperatuur van de rookpluim na opstijging (K)
- $C_f$  = verhouding van de toevoer en afvoer oppervlakken
- $D_z$  = rooklaag dikte (m)
- $g$  = zwaarteveldsterkte (9,81 m/s<sup>2</sup>)

- Verhouding toevoer/afvoeroppervlak gesteld op 2.
- Rooklaagdikte  $D_z$  = verticale afstand van bovenkant vloer tot geometrisch middelpunt van afvoervoorziening MIN de vereiste rookvrije hoogte.
- Vereiste rookvrije hoogte = hoogte tot en met aan de ruimte die in het geval van nood rookvrij dient te blijven, hier gesteld op de hoogte tot aan de 9<sup>de</sup> verdiepingvloer = 22 meter.
- Rooklaagdikte wordt nu: 28 - 22 = 6 meter.
- Contractiefactor afvoeroppervlak = 0,8.

Totaal benodigde effectieve oppervlakte van de toevoeringen volgt uit:

$$A_i = \frac{C_u \cdot A_u}{C_f \cdot C_i}$$

waarin:

- $A_i$  = effectieve afvoeroppervlak (m<sup>2</sup>)
- $C_u \cdot A_u$  = aërodynamisch oppervlak van de afvoer (m<sup>2</sup>)
- $C_f$  = verhouding afvoer en toevoeroppervlak
- $C_i$  = contractiefactor van de toevoering (=0,8)

### SITUATIE I: LICHTE VUURBELASTING

Bij een lichte vuurbelasting is wordt aangenomen:

- spec. vuurbelasting  $k_{ref}$  = 300 kW/m<sup>2</sup>
- brandoppervlak = 2 x 2 meter

Nu kan worden berekend m.b.v. bovenstaande formules:

- massadebiet rook = 0,19 \* 4 \* 223/2 = 78 kg/s
- volumedebiet rook = 3600 \* 78 / (353/305) = 240.000 m<sup>3</sup>/h
- vermogen brand =  $q_{g-bb} = 0,3 * 4 = 1,2$  MW
- temp. in rookpluim =

$$T_z = 290 + \frac{300 \cdot 4 \cdot 1.000}{78 \cdot 1.000} = 305 K = 32 \text{ } ^\circ C$$

- benodigd afvoeropp. =

$$A_u = \frac{78}{1,2 \cdot 0,8} \cdot \sqrt{\frac{305^2 + 305 \cdot 290 \cdot 2^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 6 \cdot (305 - 290) \cdot 290}} = 76 \text{ m}^2$$

- benodigd toevoer oppervlak bedraagt bij een  $C_f$  van 2:  
 $76 / 2 = 38 \text{ m}^2$

- afvoer door rookluik =

$$\frac{4,8 + 4,9}{2} \cdot \sqrt{0,0035 \cdot 25 \cdot (305 - 290) + 0,001 \cdot 10^2 + 0,01}$$

$$= 5,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

- volvullingstijd =  $4.500 / (240.000 - (5,7 \cdot 3.600)) = 74 \text{ sec.}$

### CONCLUSIE SITUATIE 1

Als de effectieve doorlaat van de luchttoevoer- en rookafvoerluiken wordt vergroot tot 38 resp. 76 m<sup>2</sup> dan is het RWA-systeem in staat het atrium rookvrij te houden in het geval van een lichte brand onderin het atrium.

### SITUATIE II: ZWARE VUURBELASTING

Bij een zware vuurbelasting is wordt aangenomen:

- spec. vuurbelasting  $k_{ref} = 500 \text{ kW/m}^2$

- brandoppervlak =  $4 \times 4 \text{ meter}$

Nu kan worden berekend m.b.v. de gegeven formules:

- massadebiet rook =  $\dot{m} = 0,19 \cdot 16 \cdot 223 / 2 = 314 \text{ kg/s}$

- Volumedebiet rook =

$$\dot{V} = 3.600 \cdot 314 / (319 / 353) = 1.250.000 \text{ m}^3/\text{h}$$

- vermogen brand =  $q_{g\_bb} = 0,5 \cdot 16 = 9 \text{ MW}$

- temp. in rookpluim =

$$T_z = 290 + \frac{500 \cdot 16 \cdot 1.000}{314 \cdot 1.000} = 319 \text{ K} = 46 \text{ }^\circ\text{C}$$

- benodigd afvoeropp.=

$$A_u = \frac{314}{1,2 \cdot 0,8} \cdot \sqrt{\frac{319^2 + 319 \cdot 290 \cdot 2^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 6 \cdot (319 - 290) \cdot 290}} = 226 \text{ m}^2$$

- benodigd toevoer oppervlak bedraagt bij een  $C_f$  van 2:

$$226 / 2 = 113 \text{ m}^2$$

- afvoer door rookluik =

$$\frac{4,8 + 4,9}{2} \cdot \sqrt{0,0035 \cdot 25 \cdot (319 - 290) + 0,001 \cdot 10^2 + 0,01}$$

$$= 12,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

- volvullingstijd =  $4.500 / (1.250.000 - (12,8 \cdot 3.600)) = 13,5 \text{ sec.}$

### CONCLUSIE SITUATIE 2

Bij een zware brandbelasting onderin het atrium is de rookontwikkeling dusdanig, dat alleen een mechanisch RWA-systeem met afzuigventilatoren een uitkomst kan bieden. Er kunnen zich namelijk zeer forse rookdebieten ontwikkelen, die niet af te voeren zijn met de bestaande natuurlijke RWA-installatie.

### EINDCONCLUSIE

Voor het dimensioneren van het rook- en warmte afvoersysteem moet de hoeveelheid af te voeren rook bekend zijn. Bij het modelleren van de rookstromen moeten noodzakelijkerwijs grove aannamen worden gemaakt, die kunnen leiden tot grote afwijkingen ten opzichte van de werkelijkheid of ten opzichte van meer geavanceerde berekeningsmethoden of software. Bij het toepassen van vuistregels moet daarom een ruime veiligheidsmarge worden ingebouwd. Dit geldt vooral voor de slechtst bekende grootheden: de brandomvang en het vrijkomende vermogen per oppervlakte eenheid.

Uit dit onderzoek komt naar voren dat zelfs al bij een kleine brand onderin het atrium forse rookhoeveelheden kunnen ontstaan. De rookontwikkeling zou eventueel nog kunnen worden beheerst bij een voldoende grote buffer- en afvoercapaciteit onder het plafond. Deze buffercapaciteit in het atrium is echter niet toereikend. De afvoercapaciteit is ook ontoereikend. Het gevolg hiervan is een snelle vulling van het atrium met rook en verspreiding hiervan door openingen, als openstaande schuifdeuren.

De luchttoevoer- en rookafvoerluiken zijn te klein gedimensioneerd. 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 weging 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:

- de vrije doorlaat van de geveluiken vergroten naar minimaal 38 m<sup>2</sup> en de vrije doorlaat van de dakluiken vergroten naar minimaal 76 m<sup>2</sup>.
- beter is de montage van een mechanische RWA-installatie, omdat bovenstaande afmetingen vrij groot zijn in verhouding tot het atrium. 

### REFERENTIES

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*, prof. ir. P.H.H. Leijendeckers
5. *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, third edition, ISBN 087765451-4, 2001
6. *Brandveiligheid atrium-gebouwen*, 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*, ir. 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. Lougheed, Canadian Consulting Engineer, v. 43, no. 3, May 2002