

Ventileren bij brand?

Ventilating at a fire



R.A.G. van Beek*

In eerste instantie klinkt het vreemd: ventileren bij brand. Het toevoeren van zuurstof dus, lijkt niet zo'n goed idee.

Toch zijn er enkele, goede redenen om te ventileren bij brand.

Om de drie belangrijkste te noemen:

- Voorkomen van "Backdraught";
- Voorkomen van een "Flash-over";
- Vluchtroutes vrijhouden van rook;

Stel in een gesloten ruimte ontstaat brand. Er wordt niet geventileerd. Na verloop van tijd zal door gebrek aan zuurstof onvolledige verbranding plaatsvinden. In de ruimte ontstaan onverbrande gasmengsels. Zodra hier zuurstof bijkomt zal een explosie het gevolg zijn, "Backdraught" genoemd. (fig. 1)

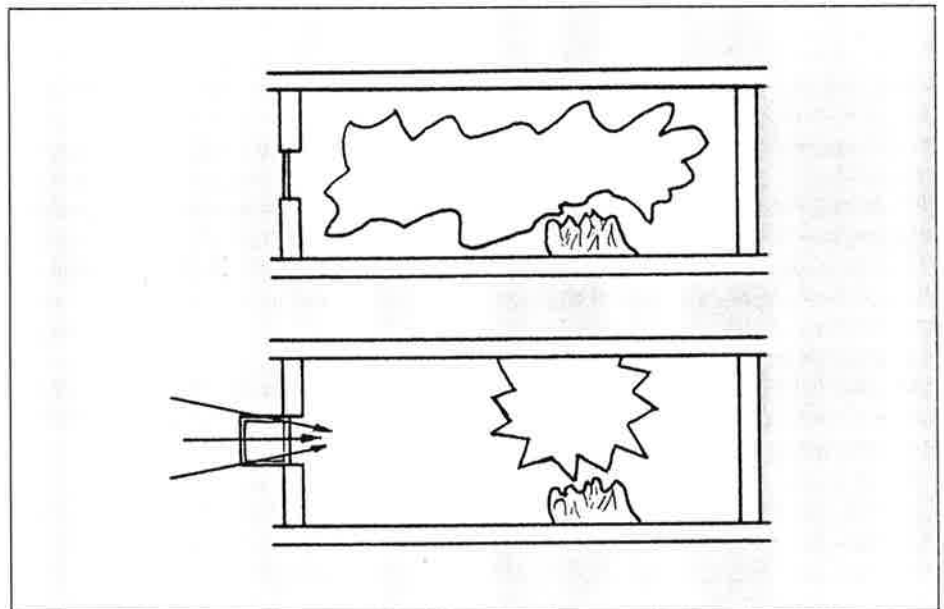
bereikt. Dit is de temperatuur waarbij een stalen constructie zal bezwijken. Bovendien ontstaat door deze hoge temperatuur een zogenaamde "Flash-over". Elders in de ruimte ontstaat een 2e, 3e en volgende brandhaard. Vluchtende personen, maar ook brandweermensen, worden ingesloten door de diverse brandhaarden. (fig. 2)

Samenvatting

Het is algemeen bekend dat de voornaamste doodsoorzaak bij brand, verstikking door rook is. Controleren en afvoeren van deze rook in een gebouw is één van de belangrijke onderdelen van het brandbeveiligingssysteem. De kennis over brand- en rookgedrag neemt toe. De traditionele rook- en warmteafvoersystemen, gebruikmakend van natuurlijke ventilatie, kunnen met de huidige mechanische ventilatietechnieken aanzienlijk veiliger worden gemaakt en verbeterd. Dit artikel geeft een kijkje achter de schermen waarom deze veranderingen plaatsvinden. Tevens wordt een goede indruk gekregen over wat het onderwerp brandventilatie inhoudt.

Summary

It is well known that the major cause of deaths at a fire is from the hot toxic smoke, rather than from the fire itself. The control and essential removal of this smoke from the building is, therefore, a vital component in any fire protection schemes. As our knowledge of the behaviour of fire increases, the traditional methods of exhausting the fire smoke, natural venting, can sometimes be inadequate and systems using more positive and readily controlled fan powered units are often used instead. This paper examines the motivations behind these changes and discusses the requirements of the fans to power smoke venting systems.



Figuur 1: Backdraught

Dit overkomt de eerste brandweerman die een deur opent om te gaan blussen. Dus ventileren bij brand moet om voldoende zuurstof toe te voeren en dit gevaar te voorkomen.

In een ruimte die niet wordt geventileerd ontstaat een brand. De temperatuur van de rook blijft stijgen. Na verloop van tijd wordt een temperatuur van 600°C

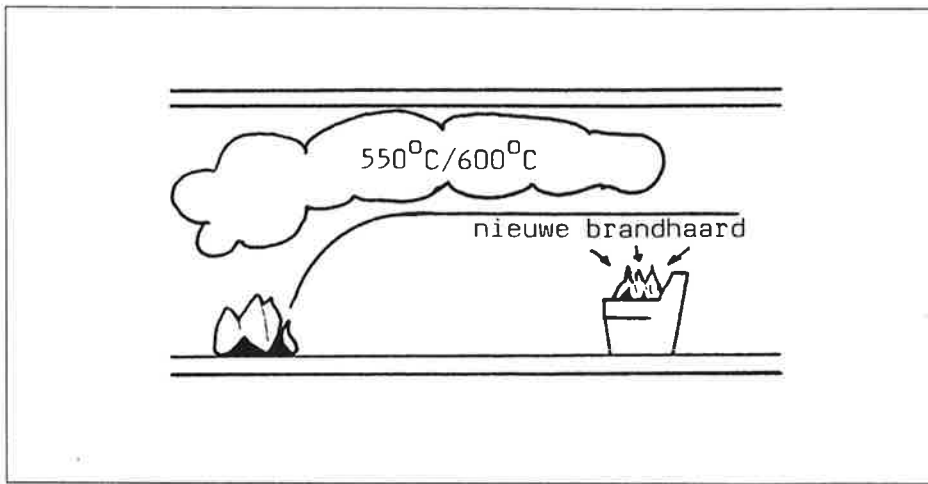
Voldoende ventilatie zal de rooktemperatuur laag houden en ook dit gevaar voorkomen.

Bij een brand zal de rook opstijgen tot het plafond. Daarna verspreidt het zich in alle richtingen tot het een verticale obstructie (wand) tegenkomt. De rook daalt en zal zich bewegen terug in de richting van de brandhaard. Een vuurhaard is wat dit betreft een krachtige pomp. (fig. 3)

Iemand die rook tegenkomt zal in de tegenovergestelde richting vluchten. In dit geval dan naar de brand toe.

* Vanandel B.V. te Rotterdam.

Dit artikel is een bewerking van een publicatie van J.A. Wild van Woods at Colchester.



Figuur 2: Flashover

Rook is de voornaamste doodsoorzaak bij brand. Door de zich verspreidende rook zullen mensen problemen met de luchtwegen krijgen. Het zicht kan zelfs tot nul reduceren.

Duidelijk is dat rookverspreiding voorkomen moet worden. Het afvoeren van deze rook en warmte, zodanig dat vluchtroutes vrij zijn, is van levensbelang.

Ventileren bij brand lost ook dit levensgevaarlijke probleem op.

Hoe moet echter worden geventileerd en aan welke zaken moet worden gedacht?

Het vervolg van dit artikel zal hierin duidelijkheid verschaffen.

Rookproductie en afvoer van rook en warmte

In tegenstelling tot normale ventilatiesystemen, is het bepalen van een af te voeren "volume" in geval van brandventilatie nauwelijks afhankelijk van de

afmetingen van de ruimte.

Zodra de rookpluim opstijgt, mengt de koelere omgevingslucht zich goed met deze rook. Hierdoor ontstaat een mengsel van warme rookgassen. (figuur 4)

De hoeveelheid geproduceerde rook is afhankelijk van de omvang van de brandhaard. Hiervoor zijn 3 factoren belangrijk.

- De omtrek van de brandhaard (m.)
- De temperatuur van de brandhaard (°C)
- De effectieve rookvrije hoogte van de rooklaag.(m.)

De twee meest van invloed zijnde factoren hiervan zijn:

- De omtrek, deze beïnvloedt de rookhoeveelheid lineair
- De effectieve rookvrije hoogte, deze beïnvloedt de rookhoeveelheid tot de macht 1,5.

De geproduceerde hoeveelheid rook is met een eenvoudige formule (1) te berekenen. (fig.4)

$$q_m = 0,19 O \cdot h^{1,5} \quad (1)$$

q_m = Massa geproduceerde rook (kg/s.)

O = Omtrek brandhaard (m)

h = Hoogte van rookvrije laag, (de afstand tussen onderkant rooklaag en vloer) (m.)

Berekenen van de temperatuur van de rook kan geschieden met de volgende formule (2).

$$\Theta_R = \frac{P_R}{q_m} \quad (2)$$

Θ_R = Temperatuur van de rook ten opzichte van de omgevingstemperatuur (°C)

P_R = Vermogen van de brandhaard (kW)

q_m = Massa geproduceerde rook (kg/s)

Berekening van het rookvolume en de rooktemperatuur

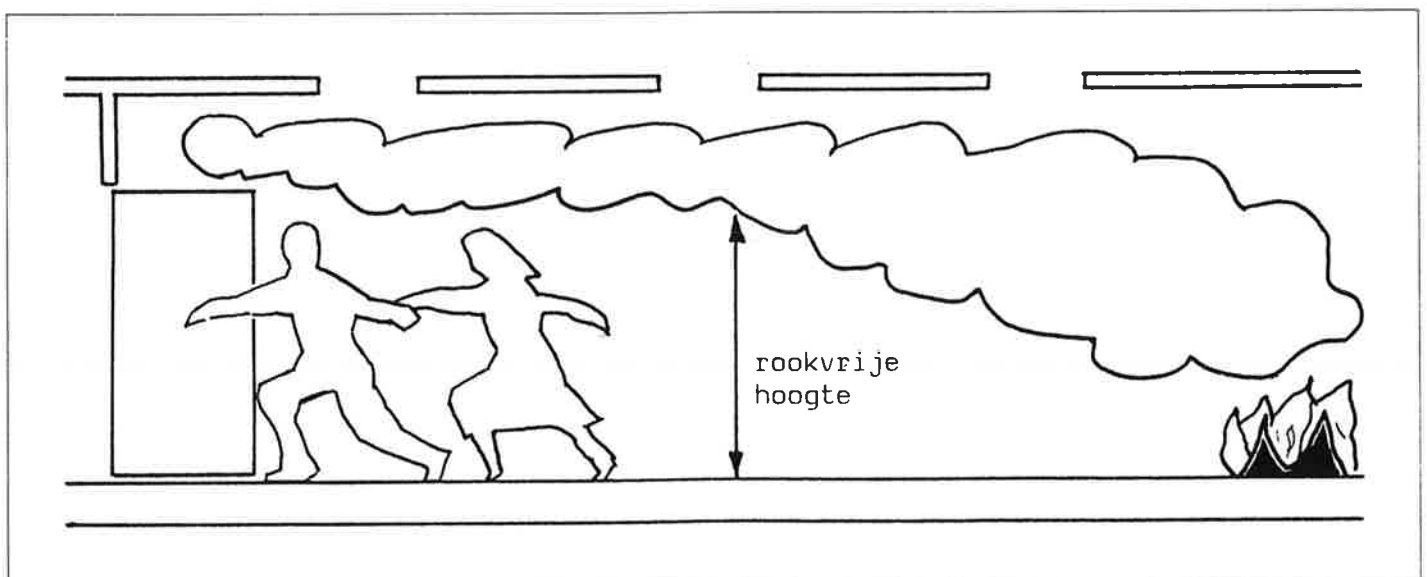
Het vermogen van een brandhaard kan als volgt worden bepaald:

$$P_R = H \times A \quad (3)$$

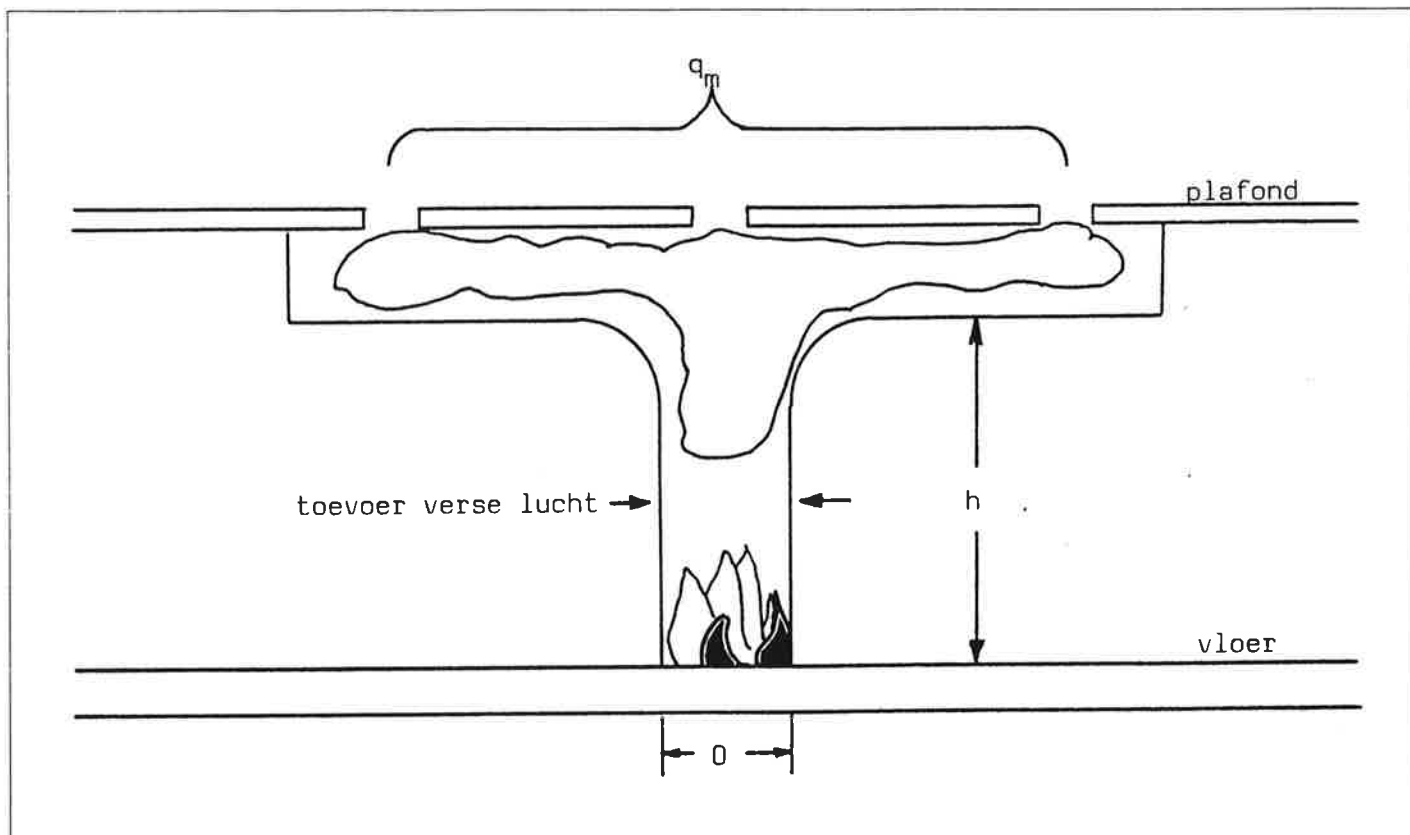
H = Verbrandingswaarde in kW/m² van een bepaald materiaal, zie tabel 1

A = Oppervlakte van de brandhaard (m²).

De oppervlakte A kan een aangenomen waarde zijn. Vaak is het in de praktijk



Figuur 3: Vluchtroutes vrij van rook houden



Figuur 4: Berekening rookvolume en rooktemperatuur

beter P_R in overleg met de plaatselijke brandweerautoriteiten te bepalen. Dit wordt verderop uitgebreid toegelicht.

Verder is:

$$V = \frac{q_m (\Theta_R + 273)}{\rho (\Theta_L + 273)} \quad (4)$$

V = Volume af te voeren rookhoeveelheid (m^3/s)

q_m = Massa geproduceerde rook (kg/s)

Θ_R = De rooktemperatuur ten opzichte van de omgevingstemperatuur

Θ_L = De omgevingstemperatuur ($^{\circ}C$)

ρ = Dichtheid van de omgevingslucht. Deze is afhankelijk van de omgevingstemperatuur.

Deze formules zijn de basis voor de brandventilatieberekening.

Vuurafmetingen en vuurtoename

Hoe groot is een brand? Een 5 MEGA-WATT brand is een veel gebruikte waarde als uitgangspunt. Wat houdt dit in?

Om een indruk te geven:

17 kg hout compleet opgebrand binnen 1 minuut produceert circa 5 MEGA-WATT warmte.

Ieder materiaal heeft een bepaalde ver-

brandingswaarde aangeduid in kW/m^2 . Tabel 1 geeft een overzicht van veel voorkomende materialen met de bijbehorende verbrandingswaarden. Met deze waarden kan samen met de afmetingen van de brandhaard een vuurafmeting worden bepaald.

Voorbeeld

Op een oppervlak van $3 \times 3 m^2$ en een verbrandingswaarde van het materiaal van $500 kW/m^2$, wordt geproduceerd: $3 \times 3 \times 500 = 4,5 MW$.

Dit is een praktische waarde.

- $3 \times 3 m$ is de afstand tussen sprinklers

onderling. Afgerond wordt in deze publicatie $10m^2$ aangenomen.

- In de textielindustrie is veel ervaring en kennis opgedaan over verbrandingswaarden van textielmaterialen. Aangezien in gebouwen ca. 70% van het interieur bestaat uit textiel, is de verbrandingswaarde hiervan een goed uitgangspunt. Uit tabel 1 blijkt dat $500 kW/m^2$ een veilige praktische waarde is om mee te rekenen.

Bij de berekeningen in deze publicatie, bedoeld voor het ontwerpen van een brandventilator, is gerekend met een 5 MW brand. Het uiteindelijke product is dan ook voor alle situaties geschikt. Dit wil echter niet zeggen dat een 5 MW brand standaard voor praktijksituaties het uitgangspunt is.

Tabel 2 geeft een overzicht van een brandhaardvermogen van enkele soorten gebouwen en voorwerpen. Niet alle warmte gaat echter in rook op. Bij een brand in de open lucht wordt 25% van de warmte afgestraald aan de omgeving. 75% van de warmte bevindt zich dan in de rook.

In een gesloten ruimte wordt er ook warmte door wanden, vloeren en plafonds geabsorbeerd. Hier ligt de verhouding op 67% afgestraald in een vroeg stadium van de brand tot 33% afgestraald voor een constant brandend vuur.

Praktisch zal de verhouding rookwarm-

Materiaal	Verbrandingswaarde (kW/m^2)
Spaanplaat	85
Boeken	93
Meubels	93
Verpakte meubels	100
Cellulose	160
Voertuigen/benzine/verf	260
Electrische goederen	310
Karton verpakt	320
Verpakt hout	390
Textiel	500
Kartonnen dozen	630
Brandspiritus	740
Olie	1475
Benzine	1590

Tabel 1: Verbrandingswaarden van diverse materiaalsoorten

Soort gebouw/ Voorwerp	Brandhaard- vermogen
Stoffenwinkel	5,0 MW
Winkel in winkelcentrum	2,5 MW
Alleenstaande winkel	1,0 MW
Fabriek	2,5 MW tot 5 MW
Auto	2,5 MW
Geladen vrachtwagen	7,0 MW

Tabel 2: Verbrandingswaarden van diverse soorten gebouwen/voorwerpen

te/afgestraalde warmte op 50%-50% liggen.

De genoemde waarden gelden zonder toepassing van sprinklers.

Om een veilig resultaat te bereiken is in deze publicatie met deze warmteafstraling verder niet gerekend. Uitgangspunt is dat alle warmte in rook opgaat ook al is dit praktisch onjuist.

Het is onjuist te veronderstellen dat een brand bij het ontstaan al 5 MW is. Een brand ontsteekt en groeit.

In oppervlakte (m²):

Een brand ontstaat bijvoorbeeld als gevolg van een brandende stoel stel 0,6 m². Na verloop van tijd zal deze brand zijn uiteindelijke afmetingen bereiken. Analyse van branden in het verleden heeft geleerd dat de oppervlakte van een brand zich verdubbelt in een bepaalde tijd. Dit geldt tot het moment van de eerder besproken "flash over". Dus tot het moment dat de rook een temperatuur van 550/600°C heeft bereikt.

Tot aan dit punt wordt als gemiddelde waarde aangenomen dat een brand zich ieder 4 minuten verdubbelt in oppervlak.

In brandomvang (MW):

Ook voor de brandomvang geldt dat deze zich iedere 4 minuten in vermogen verdubbelt.

Alle branden hebben de volgende kenmerken:

- toename periode,
- maximum waarde periode,
- verstikkingsperiode.

Voor het bepalen van de toenameperiode heeft het Fire Research Station in Borehamwood testen gedaan. Hieruit is een curve gekomen die het verloop van de toenameperiode weergeeft.

Deze curve is omgezet in een tabel. (tabel 3)

Voor deze tabel is uitgegaan van een rookvrije hoogte van 4 meter bij een gebouw met 2 verdiepingen (begane grond en 1e etage) en een omgevingstemperatuur van 17°C.

De resultaten zijn in tabel 3 in 2 blokken weergegeven:

blok (A)

Een vereenvoudigde voorstelling dat een toenemende brand een constante verbrandingswaarde houdt van 0,5 MW/m².

blok (B)

Hier is uitgegaan van een toenemende brand met een toenemende verbrandingswaarde die klein begint en tijdsafhankelijk toeneemt.

Uit de tabel kan worden gelezen dat:

- Bij blok A de brand 16 minuten nodig heeft om toe te nemen tot 5 MW;
- Bij blok B de brand 22½ minuten nodig heeft om toe te nemen tot 5 MW;
- Beide perioden lang genoeg zijn om bij normale situaties de personen te laten vluchten;
- De temperatuur in een vroegtijdig stadium van de brand duidelijk onder de temperatuur van de waarde van 5 MW ligt.

Een 5 MW is dus geen standaard uitgangswaarde, maar wel bruikbaar als een brandventilator ontworpen moet worden.

Blok B laat zien dat een toenemende brand pas na 22½ minuut de waarde van 5 MW zal bereiken. Tegen de tijd dat deze brand het oppervlakte van 3 x

4 m heeft bereikt is de brandomvang pas 3 MW.

Dit geeft een rooktemperatuur van 159°C, in tegenstelling tot een brand met een constante verbrandingswaarde (blok A). Dan geldt bij 5MW een rooktemperatuur van 277°C.

Overigens is het wel belangrijk te letten op het feit dat bij het ontstaan van een brand in een gebouw dat niet is voorzien van een sprinklerinstallatie, bij voldoende tijd om de brandomvang toe te laten nemen tot 5 MW, de oppervlakte dan ook is toegenomen tot 20 m².

Met een rookvrije hoogte van 4 meter is voor deze brand een ventilatievolume van 37,69 m³/s nodig in tegenstelling tot een ventilatievolume van 29,9 m³/s bij een 3 x 3 x 5 MW brand.

De uitgangswaarde van 3 x 3 x 5 MW geeft dan een uitkomst die niet toereikend is.

Het is duidelijk dat het bepalen van een ontwerpwaarde uitermate ingewikkeld en belangrijk is voor een berekening en ontwerp.

Het wordt aanbevolen dat altijd in samenspraak te doen met de plaatselijke brandweerautoriteiten.

Voor de toekomst zal wellicht de tijd die nodig is voor de brandweer om het gebouw en/of de brandhaard te bereiken, als basis gelden voor de ontwerpwaarde van een brand voor dat specifieke gebouw.

De te volgen methode is dan:

- 1e stap - Bepalen van de tijdperiode in samenwerking met de brandweer;
- 2e stap - Bepalen van de verbrandingswaarde van het interieur of de opgeslagen materialen;
- 3e stap - Bepalen van de oppervlakte van een ontdekte brandhaard;
- 4e stap - Berekenen van de ontwerpwaarde van de brand.

Voor het bepalen van de juiste waarden is veel ervaring en kennis nodig. Er is eigenlijk meer sprake van een kunst dan van een wetenschap.

Tijd na ontdekking min.	(A)			(B)		
	Constate verbrandingswaarde 0,5 MW/m ²			Toenemende verbrandingswaarde		
	Vermogen (MW)	Vuuropp. (m ²)	Rooktemp. (°C)	Vermogen (MW)	Vuuropp. (m ²)	Rooktemp. (°C)
0	0,3	0,6	80	0,1	0,4	43
8	1,2	2,4	144	0,4	1,5	66
16	5,0	10,0	277	1,5	6,0	118
20	10,0	20,0	384	3,0	12,0	159
22	-	-	-	4,6	18,0	196
22,5	-	-	-	5,0	20,0	200

Tabel 3: Het effect van een toenemende vuuromvang op de rooktemperatuur

Rookbeheersing in gebouwen

De oorspronkelijke rookafvoersystemen waren ontworpen voor gebouwen met maximaal 1 verdieping.

Door de beperkte gebouwhoogte bleef de rooktemperatuur hoog. Als gevolg van het schoorsteeneffect kon de rook uit eigen kracht door de natuurlijke ventilatie-openingen in het dak worden afgevoerd. Dit echter alleen door toe te staan dat de rookvrije hoogte relatief klein was.

Bij grotere en meer gecompliceerde bouwvormen zoals atria en winkelcentra werkt een natuurlijk brandventilatiesysteem niet altijd. Een brandventilatiesysteem moet altijd werken omdat alleen dan de mensen, zeker in een vroegtijdig stadium van een brand veilig kunnen vluchten.

In de genoemde situaties zal als gevolg van de hogere gebouwen de rook opstijgen en zich vermengen met de grote hoeveelheid omgevingslucht van ca. 17°C. Het gevolg hiervan is dat de rook afkoelt, niet meer opstijgt, in volume toeneemt en zal gaan "dwarrelen". Dit is een levensgevaarlijke situatie voor de vluchtende mensenmassa.

Voor twee soorten bouwvormen wordt dit effect in beeld gebracht, namelijk voor:

- atria en
- winkelcentra.

Het Atrium

Een centrale hal van een gebouw die overkapt is met glas om een buitenlucht-atmosfeer te scheppen, noemt men een ATRIUM.

Bij een atrium is het moeilijk, zo niet onmogelijk, om in geval van brand ergens in het gebouw, de rook buiten het atrium te houden.

De rook zal in het atrium opstijgen, in volume toenemen en gaan "dwarrelen". Het dak van een atrium is vaak de enige praktische plaats om rook af te voeren.

In deze gevallen zal de rook door de hoge bouw niet vanzelf dit dak bereiken om vervolgens naar buiten te worden afgevoerd.

Tabel 4 laat zien wat het effect van de hoogte is op de geproduceerde massa rook, het af te voeren volume en de rooktemperatuur. Uitgangspunt is een brand van 3 x 3 x 5 MW en een omgevingstemperatuur van 17°C.

Tabel 4 wordt gegeven:

- De rookvrije hoogte (m);
- de geproduceerde massa rook (kg/s);
- het volume van de af te voeren hoeveelheid rook (m³/s);

Rookvrije hoogte (m)	Massa (kg/s)	Volume (m ³ /s)		Rooktemperatuur (°C)	
		MIN	MAX	MIN	MAX
4	19,2	23,0	29,9	147	277
8	55,0	52,0	59,0	63	108
12	100,0	89,0	96,0	42	67
24	280,0	236,0	244,0	26	35

Tabel 4: Effect van hoogte op rookmassa en rooktemperatuur

- de rooktemperatuur (°C);

waarbij:

MIN = met toepassing van sprinklers, 50% warmteverlies

MAX = zonder toepassing van sprinklers, 100% warmte gaat in rook op.

Alle genoemde temperaturen zijn ten opzicht van de omgevingstemperatuur (b.v. 17°C).

De minimale rookvrije hoogte van goederen: 2,5 m, de minimale rookvrije hoogte van personen: 3 m

Duidelijk is dat hoe hoger de rookvrije hoogte is, dus hoe hoger het gebouw, des te groter de hoeveelheid rook is en wat belangrijker is, des te lager de rooktemperatuur. Bij 12 m rookvrije hoogte zelfs maximaal 67°C.

Het is duidelijk dat deze rookhoeveelheid niet vanzelf door de openingen in het dak zal verdwijnen.

Ergens is er een kritisch punt met betrekking tot deze hoogte. Dit wordt duidelijk uit tabel 5, waaruit blijkt dat bij een rookvrije hoogte van 8 m, dit is een gebouwhoogte van 12 m (3 verdiepingen), de natuurlijke ventilatie nog net zou voldoen. Wordt het gebouw hoger, dan werkt deze natuurlijke ventilatie niet meer. Mechanische ventilatie biedt dan dé oplossing.

Rookgedrag in een winkelcentrum

Het winkelcentrum

De problemen die hier spelen worden het beste tot uitdrukking gebracht door figuur 5.

Grote warenhuizen met een oppervlak van 1000 m² en groter behoren voorzien

te zijn van een eigen rook- en warmteafvoerinstallatie.

Praktisch is dit bijna onmogelijk.

Dit is de reden waarom vaak wordt gekozen om bij brand de rook via het atrium af te voeren.

Het is dan noodzakelijk de rook in het atrium toe te laten. Op het punt waar de rook uit de winkel het atrium binnengaat ontstaat veel werveling. Hierdoor wordt omgevingslucht uit het atrium geïnduceerd.

Het gevolg hiervan is dat de hoeveelheid af te voeren rook via het atrium verdubbelt ten opzichte van rechtstreekse afvoer.

De formule (1) wordt dan:

$$q_m = 0,38 O.h.^{1.5} \quad (5)$$

Een tweede belangrijk gevolg is dat de rooktemperatuur nog lager wordt. De rook zal dus niet meer vanzelf opstijgen. Mechanische brandventilatie heeft in deze situatie zijn nut al bewezen.

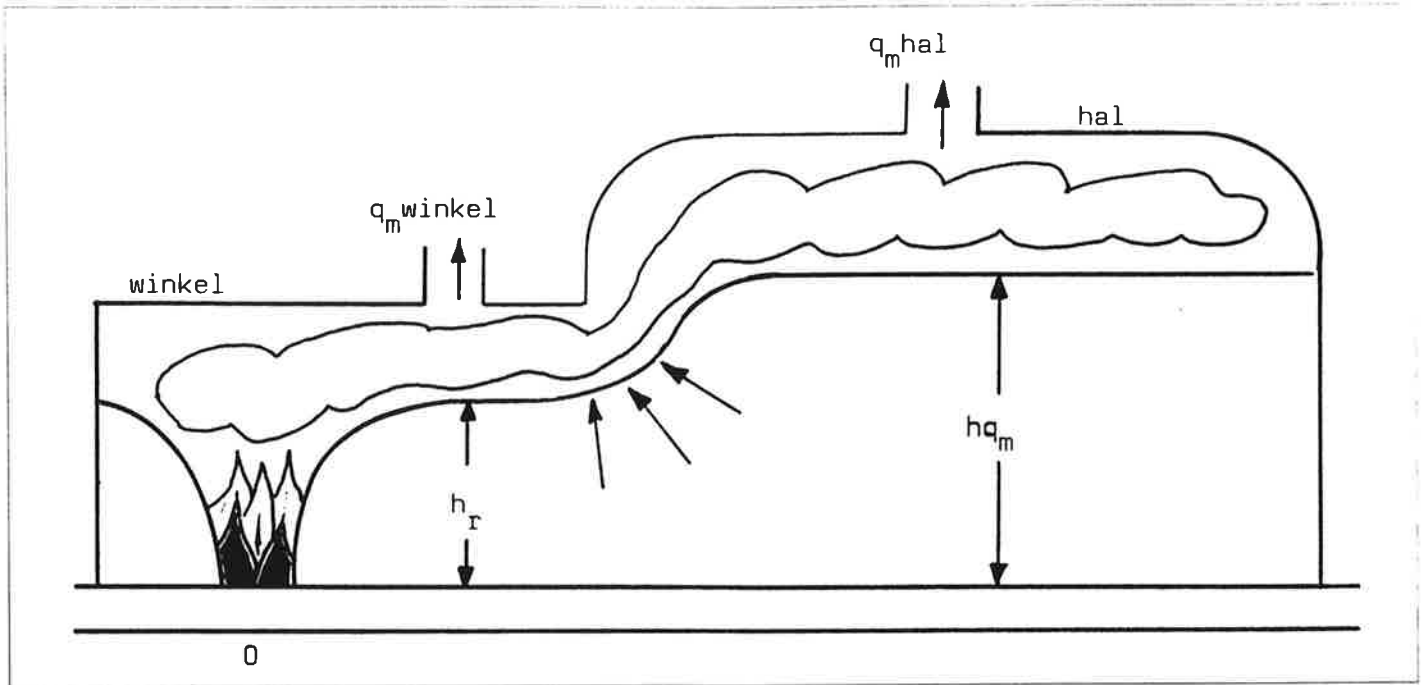
Uit tabel 6 blijkt dat de temperaturen inderdaad niet hoog worden: bij 8 m rookvrije hoogte (3 verdiepingen) slechts 41°C indien afvoer via het atrium plaatsvindt en er vanuit wordt gegaan dat er 50% van de warmte in de rook meegaat.

Hierbij in overweging genomen dat sprinklerinstallaties worden toegepast en dat de rooktemperatuur zeker in een vroegtijdig stadium van een brand nog lager is, zal duidelijk zijn dat brandventilatie van levensbelang is.

Mechanische brandventilatie wordt wellicht de norm in de nabije toekomst bij hoge en complexe gebouwen.

Rookvrije hoogte (m)	Volume van de rook (m ³ /s)	Afgevoerd volume bij toepassing van een natuurlijke ventilatie-opening in het dak van 20 m ² (m ³ /s)
4	29,9	103,0
8	59,0	57,0
12	96,0	36,5
24	244,0	0

Tabel 5: Vergelijk rookproductie/afvoer d.m.v. natuurlijke ventilatie



Figuur 5: Rookgedrag in een winkelcentrum

Rook reservoirs

Een rookpluim die beweegt en opstijgt mengt zich met de omgevingslucht waardoor het volume toeneemt. Eén van de belangrijkste principes van rookbeheersing is de verspreiding van de rookpluim te voorkomen, althans voor zover dit mogelijk is. Horizontale verspreiding kan worden beperkt door zogenaamde rookschermen of rookgordijnen aan het plafond. Hierdoor vormt zich een rookreservoir. De rook wordt in dit reservoir verzameld en van daaruit naar buiten gevoerd. Het is de bedoeling dat er een dynamische balans ontstaat tussen de hoeveelheid rook die in het reservoir wordt verzameld en het volume dat wordt afgevoerd. Duidelijk mag zijn dat het ontwerp van een systeem met rookreservoirs een wezenlijk onderdeel is van de rook- en

warmte-afvoerinstallatie. Samen met de luchttoevoeropeningen zijn dit belangrijke onderdelen van het systeem.

Afmetingen van rookreservoirs

In industriële gebouwen (magazijnen), waar weinig mensen zijn per oppervlakte, mag een rookreservoir nooit groter zijn dan 3.000 m² (compartiment). Is een compartiment groter dan 3.000 m² dan zal de rook afkoelen en gaan "dwarrelen". De rook daalt en brengt vluchtende mensen in gevaar. Beter en praktischer is een maximale oppervlakte van een compartiment te beperken tot 2.000 m² waarbij de maximale lengte van één zijde 60 m is. Voor winkelcentra waar bijvoorbeeld een koepel of een atrium het rookreservoir vormt, is het maximale oppervlak per reservoir:
- 1.300 m² indien mechanische rookaf-

voer wordt toegepast.
- 1.000 m² bij gebruik van natuurlijke afvoer van rook.
Ook hier geldt dat de lengte van een zijde niet langer dan 60 m mag zijn. In de toekomst zullen deze regels wat soepeler worden gehanteerd. Een ander criterium kan namelijk de maximale afstand zijn die vluchtende personen binnen 30 seconden af kunnen leggen om buiten het compartiment te komen. Dit vanuit iedere denkbare plaats binnen het compartiment. Bij het bepalen van de genoemde compartimenten is het noodzakelijk altijd te overleggen met de plaatselijke brandweerautoriteiten. Zodra is bepaald hoe de compartimentering wordt, moet voor ieder compartiment een rookreservoir worden toegepast dat samen met de rookafvoer geschikt is voor het beheersen van de

Rookvrije hoogte (m)	Winkel			Atrium		
	q _m (kg/s)	V (1) (m ³ /s) (2)	θ _s (1) (°C) (2)	q _m (kg/s)	V (1) (m ³ /s) (2)	θ _s (1) (°C) (2)
2,5	9,0	14 - 22	295 - 573	18,0	22 - 29	56 - 295
3,0	12,0	17 - 24	227 - 437	24,0	27 - 34	122 - 227
3,5	15,0	19 - 27	184 - 350	30,0	32 - 39	100 - 184
4,0	18,3	22 - 29	154 - 291	36,6	37 - 44	85 - 154
5,0	25,5	28 - 35	115 - 213	41,0	49 - 56	66 - 115
6,0	33,5	36 - 42	92 - 166	67,0	62 - 69	54 - 92
8,0	51,5	49 - 57	66 - 114	103,0	92 - 99	41 - 66
12,0	95,0	85 - 92	43 - 70	190,0	163 - 170	30 - 43

θ_s = rooktemperatuur ten opzichte van de omgevingstemperatuur. Voor de waarden van volume (V) en rooktemperatuur (θ_s) geldt: 1e waarde - minimum - gerekend met 50% warmte in de rook; 2e waarde - maximum - gerekend met 100% warmte in de rook. Minimum hoogte h voor goederen = 2,5 m. Minimum hoogte h voor personen = 3 m.

Tabel 6: Effect van de hoogte op de rookmasse en rooktemperatuur in een winkelcentrum

brandgrootte.

Het is dus fout om de af te voeren hoeveelheid rook door het aantal rookreservoirs te delen.

Ieder reservoir moet geschikt zijn voor de volledige brandgrootte. Immers, de brand kan alleen in het desbetreffende compartiment woeden.

Minimale inwendige hoogte van het rookreservoir

Als rook een rookreservoir binnenkomt dan moet de rook doorstijgen naar de afvoerpunten.

Deze rookverplaatsing ontstaat door het schoorsteeneffect. Het reservoir vult zich met rook met een rooklaagdikte die afhankelijk is van:

- de massa van de rook
- de temperatuur van de rook
- de breedte van het reservoir

Dit is onafhankelijk van de neerwaartse ventilatie of de methode van rookafvoer. Uitgangspunt is wel dat het rookafvoersysteem zo gekozen is dat het voldoende rook af kan voeren.

Een te kleine rookafvoer zal de rooklaagdikte doen toenemen.

Tabel 7 maakt duidelijk wat de minimale toelaatbare inwendige hoogte van het rechthoekige rookreservoir moet zijn voor een rookpluim geproduceerd door eerder genoemde ontwerpbrand van 3 x 3 x 5 MW.

Is de inwendige hoogte minder dan zal er ook in naastliggende reservoirs rook stromen.

Minimum aantal rookafvoerpunten per rookreservoir

De verdeling van de rookafvoerpunten moet zodanig zijn dat er geen hoeken of plaatsen zijn waar de rook stil kan staan en zich zou kunnen verzamelen.

Het aantal rookafvoerpunten is dus belangrijk.

Voor iedere rookvrije laag of rooklaagdikte is er een maximum volume aan

q_m (kg/s)	Inwendige hoogte van het rookreservoir (m)							
	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	7,0	10
9	5	2	1	1	1	1	1	1
12	6	3	1	1	1	1	1	1
15	8	3	2	1	1	1	1	1
18	9	4	2	1	1	1	1	1
20	10	4	2	1	1	1	1	1
25	13	5	3	1	1	1	1	1
30	16	6	3	1	1	1	1	1
40		8	4	2	1	1	1	1
50		11	5	2	1	1	1	1
70			8	3	2	1	1	1
90				3	2	1	1	1
110				4	3	2	1	1
130				5	3	2	1	1
150					4	3	1	1

Tabel 8: Minimum aantal rookafvoerpunten per rookreservoir

rook dat door een bepaalde luchtafvoeropening kan worden afgevoerd.

Voorwaarde is dat er voldoende toevoerlucht beschikbaar is die onder de rooklaag wordt toegevoerd.

Tabel 8 geeft een richtlijn voor het bepalen van het minimum aantal rookafvoerpunten.

De gegevens in tabel 8 zijn gebaseerd op een relatief kleine rookafvoeropening voor de rooklaagdikte. Actuele informatie hierover wordt binnenkort verwacht.

Het genoemde minimum aantal rookafvoerpunten moet 10% tot 20% meer zijn om aan de veilige kant te zitten. Vaak geeft het praktische problemen om rookreservoirs toe te passen zoals reeds eerder besproken.

Een veel toegepaste oplossing is om de ruimte tussen het verlaagde plafond en het bouwkundige plafond als rookreservoir te gebruiken.

Voor wat betreft het ontwerpen ervan kan van de voorgaande regels worden uitgaan, waarbij enkele bijkomende punten zijn:

Het verlaagde plafond dient 25% vrije doorlaat te hebben. De rook zal dan zonder problemen naar het rookreservoir boven het verlaagde plafond stijgen. De ruimte boven het verlaagde

plafond dient als plenum, waaruit de brandventilatoren afzuigen.

Hiermee kan worden voorkomen dat er valse lucht door de rooklaag heen wordt afgezogen.

Bij een gesloten verlaagd plafond kunnen afzuigroosters worden toegepast. Voor het aantal roosters kan tabel 8 als richtlijn worden aangehouden.

Ook bij deze twee, praktische, oplossingen helpt mechanische ventilatie afdoende.

De brandventilatoren moeten zodanig gekozen worden, dat zij de weerstand van de roosters of het doorlatende plafond kunnen overwinnen.

Luchttoevoer

Bij het afvoeren van een rookvolume moet er altijd voldoende luchttoevoercapaciteit zijn. Dit stelt bepaalde eisen aan de luchttoevoeropeningen.

Ten eerste is de plaats belangrijk. De luchttoevoer dient altijd te geschieden onder de rooklaag. Hierbij wordt de afvoer van deze rook niet verstoord en wordt verspreiding van de rook voorkomen.

Bij natuurlijke brandventilatie dient de toevoeropening 1/2 tot 2 maal zo groot te zijn als de afvoeropening in het dak. De exacte verhouding is o.a. afhankelijk van de rooktemperatuur ter plaatse.

Indien mechanische brandventilatie wordt toegepast zijn de afmetingen van de toevoeropeningen minder kritisch. Een ventilator kan immers worden uitgelegd om een bepaalde weerstand te overwinnen, die veroorzaakt zou worden door de inlaatopening.

De snelheid van de toegevoerde lucht ligt normaal tussen de 3 en 5 m/s.

De toevoer kan op verschillende manieren plaatsvinden.

- Door deuren die automatisch openen in geval van brand.
- Door roosters die automatisch ope-

q_m (kg/s)	Breedte van het reservoir (m)					
	4	6	8	10	12	15
10	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,5
15	1,4	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6
20	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8	0,7
25	2,0	1,5	1,3	1,1	1,0	0,8
30	2,3	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0
40	2,8	2,2	1,8	1,5	1,4	1,2
50	3,4	2,6	2,1	1,8	1,6	1,4
70	4,5	3,4	2,8	2,4	2,2	1,9
90	5,6	4,3	3,5	3,0	2,7	2,3
110	6,7	5,1	4,2	3,6	3,2	2,8
130	7,7	5,9	4,9	4,2	3,7	3,2
150	8,8	6,8	5,6	4,8	4,3	3,7

Tabel 7: Minimum inwendige hoogte van een rookreservoir

nen. Deze schakelen mee met het inschakelen van de ventilatoren.

- Via een naastliggend rookvrij rookreservoir. De lucht zou dan door toevoeropeningen in het naastliggende rookreservoir worden toegevoerd. Het is echter wel noodzakelijk er zorg voor te dragen dat geen luchttoevoeropeningen worden geactiveerd in een met rook gevuld reservoir.
- Met behulp van toevoerventilatoren die met toevoerkanalen de lucht onder de rooklaag brengen. Hierbij dienen de hoeveelheden nauwkeurig te worden geregeld.

Tenslotte is het belangrijk om in geval van brand, de normale luchttoevoer af te schakelen. De toevoer van deze lucht vindt meestal hoog in de ruimte, dus boven de rooklaag, plaats, wat ongewenst is.

Methoden van afvoer van rook en warmte

Er zijn twee methoden om ventilatie bij brand te verkrijgen.

- gebruik maken van natuurlijke ventilatie door middel van openingen in het dak
- gebruik maken van ventilatoren om de rook en warmte geforceerd af te voeren.

Beide methoden kunnen op technische en/of commerciële gronden worden toegepast.

De uiteindelijke keus zal door de ontwerper moeten worden gemaakt.

De belangrijkste voor- en nadelen van natuurlijke en mechanische ventilatie bij brand zijn in tabel 9 naast elkaar gezet.

De functies van de mechanische brandventilator zijn:

- Afvoeren van rook en warmte voor een periode die voldoende lang is, met het doel de mensen veilig te laten vluchten. (Dit is de hoofdfunctie).
- Het gebouw vrij van rook houden, zó lang tot de brandweer in staat is de vuurhaard te lokaliseren en te bestrijden.
- Indien mogelijk, na afloop van een brand de koude rookresten afvoeren.
- Indien mogelijk ook voorzien in de normale ventilatiebehoefte
- Het afvoeren van koude rook in het beginstadium van een brand.

Het voldoen aan de tweede tot en met vierde nevenfunctie mag nooit afbreuk doen aan de eerste hoofdfunctie.

Tabel 6 laat zien dat een brand van 3 x 3 x 5 MW een rooktemperatuur tot gevolg heeft die slechts in extreme gevallen de 300°C te boven gaat.

Beschreven is reeds dat in een vroegtijdig stadium van een brand de rooktemperatuur veel lager is. Wordt dan ook nog rekening gehouden met het koelende effect van b.v. sprinklers, dan wordt duidelijk dat een ventilator die tegen 300°C bestand is goed toepasbaar is. De praktijk heeft uitgewezen, dat het ontruimen van b.v. een groot winkelcentrum in geval van brand, binnen 20 minuten kan geschieden.

Dit zou dan betekenen dat een ventilator die gedurende 30 minuten de rook en warmte afvoert, teneinde de vluchtroute veilig te houden, ruimschoots zou voldoen.

Het kan gebeuren dat de brandweer gedurende langere tijd een gegaran-

deerde afvoer van rook en warmte eist. Dit om het vinden en bestrijden van de brandhaard te vereenvoudigen.

In dit geval zou een ventilator gedurende minimaal 1 uur bestand moeten zijn tegen 300°C.

Al deze informatie bevestigt dat een ventilator met de temperatuur/tijd specificatie van 300°C/ 0,5 h geschikt is voor bijna alle situaties.

Het is tijdens de testprocedures gebleken dat bij een temperatuur lager dan 300°C, de ventilator langer dan 2-3 uur zal blijven functioneren.

Standaarden

De BS7346 deel 2, 1990 beschrijft als enige standaard, tot nu toe, hoe een brandventilator moet worden getest voor brandventilatie.

In deze test is de methode opgenomen voor controlemetingen van de luchtopbrengst bij een vastgestelde temperatuur en tijd.

Er bestaat nog geen DIN standaard voor het beproeven van brandventilatoren.

DIN18232 geldt voor natuurlijke ventilatie. De basis voor deze norm is een hogere temperatuur (< 550°C). Het nadeel is dat een dergelijk hoge temperatuur ook de constructie van een gebouw aantast.

Een Europese standaard voor zowel mechanische, als natuurlijke brandventilatie is in voorbereiding.

Als gevolg van de verscheidenheid aan temperaturen en tijden is een tabel gemaakt voor een flexibele categorie-indeling.

Deze temperaturen/tijd specificatie van brandventilatoren is te zien in tabel 10.

Methode	Voordelen	Nadelen
Natuurlijke ventilatie bij brand	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lichtgewicht 2. Zelf regelend 3. Vaak blijvend bruikbaar na gebruik in geval van brand 4. Werkt goed bij extreem hoge temperaturen 5. Openingen in een rookvrije zone kunnen als toevoer dienen 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Snel beïnvloed door wind 2. Grote luchttoevoeropeningen nodig 3. Veel grote openingen in het dak nodig 4. Voert geen koude rook af 5. Beperkt toepasbaar bij hoge gebouwen 6. Alleen toepasbaar bij eenvoudige gebouwen.
Mechanische ventilatie bij brand	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gegarandeerde hoeveelheid afgevoerde volume rook 2. Minder kleine openingen in het dak 3. Voert ook koude rook af 4. Kleine toevoeropening nodig 5. Kan met kanalen gebruikt worden 6. Kan gemonteerd worden buiten de gevarezone 7. Kan ook worden gebruikt voor de normale ventilatie 8. Ook bruikbaar voor afvoer van koude rook na een brand 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gewicht hoger 2. Electricische aansluiting nodig 3. Na gebruik bij brand niet altijd blijvend bruikbaar

Tabel 9: Voor- en nadelen van natuurlijke en mechanische brandventilatie

Categorie	Temperatuur °C	Tijd in uren	Axiaal Vent-type	Dakvent-type
HT150/2	150	2	Aerofoil, Bifurcated, Varofoil	DVA, UDA
HT300/0,5	200	0,5	Aerofoil, Bifurcated, Varofoil	DVA, UDA
	250	2		
HT300/1	300	1	Aerofoil, Bifurcated, Varofoil	DVA, UDA
HT400/2	400	2	Aerofoil, Bifurcated	UDA
HT600/1,5	600	1,5	Bifurcated	UDA
	650	1		

Tabel 10: Hoge temperatuur brandventilatoren

Deze tabel vormt de basis voor een juiste indeling voor brandventilatoren en geeft de beproevingscriteria aan. In deze tabel zijn Woods-ventilatoren aangegeven die geschikt zijn voor een bepaalde categorie.

Ventilatorkeurze

Bij het kiezen van een geschikte ventilator zijn de volgende punten van belang:

Stap 1

Bereken het volume van de af te voeren hoeveelheid rook en minimum rooktemperatuur.

Bepaal vervolgens met welke methode de rook en warmte-afvoerinstallatie wordt ontworpen:

- op natuurlijke wijze
- met mechanische ventilatie.

Stap 2

Bij een keuze voor mechanische ventilatie is het noodzakelijk om altijd een ventilator te nemen uit een categorie waar bij de temperatuur hoger ligt dan de berekende rooktemperatuur. B.v. berekend 210°C neem categorie 300°C.

Stap 3

De ventilator verplaatst niet alleen hete rook. In een vroegtijdig stadium van een brand zal de ventilator ook rook verplaatsen met een veel lagere temperatuur.

Stap 4

De ventilator moet voor wat betreft het motorvermogen gedimensioneerd zijn om lucht met normale omgevingstemperatuur te verplaatsen. Brandventilatoren zullen regelmatig proefdraaien. Dit gebeurt bij normale omgevingstemperatuur. Indien het motorvermogen omlaag is gebracht, omdat bij 300°C de soortelijke massa van de lucht lager is dan bij normale omgevingstemperatuur zal de motor bij lagere temperaturen overbelast worden.

Dat wil zeggen na enkele keren proefdraaien zal de ventilator niet werken in geval van brand.

Ditzelfde geldt ook indien de rooktem-

peratuur lager is dan berekend. De zwaardere lucht zal de motor overbelasten.

Het reduceren van kosten door een lichtere motor te nemen zal fatale gevolgen hebben.

Stap 5

Het is mogelijk om de brandventilatoren ook voor de dagelijkse ventilatie te gebruiken. Het is dan praktisch om een twee-toeren motor toe te passen. Dit geeft een lagere capaciteit met een laag geluidsniveau wat onder normale omstandigheid goed kan voldoen.

Stap 6

De elektrische bekabeling moet dezelfde temperatuur/tijd specificaties hebben als de ventilator. Bij bekabeling geldt de z.g. MB standaard.

Stap 7

Bij ventilatoren van het type bifurcated (de motor gescheiden van de luchtstroom) wordt de motor gekoeld met omgevingslucht. Deze ventilator mag dus nooit in de rooklaag worden gesitueerd.

Het is noodzakelijk om dit type ventilator buiten de gevarezone te plaatsen. Toepassen van kanalen is in dat geval noodzakelijk.

Conclusies

Enkele conclusies die na het bestuderen van deze materie kunnen worden getrokken zijn:

- Een brand heeft ca. 22 minuten om de waarde van 5 MW te bereiken. Gedurende de vroegtijdige kritische fase van een brand is de rooktemperatuur laag. Rook met een lage temperatuur kan alleen met mechanische ventilatie worden afgevoerd.
- Niet alle warmte van de vuurhaard zal zich in de rook bevinden. Een gedeelte van ca. 50% zal door straling verloren gaan.
- Als rook zich door een gebouw verplaatst zal het afkoelen en in volume toenemen. Boven 10-12 meter gebouwhoogte (atrium) is mechanisch

afvoeren de veiligste oplossing.

- De invloed van sprinklers is onder andere dat het brandhaardoppervlak beperkt blijft. Echter ook de rook zal afkoelen. Sprinklers kunnen een koel-effect teweeg brengen van maximaal 1 MW.
- Met de toegenomen kennis en ervaring is het overduidelijk dat rook- en warmte-afvoersystemen zowel "koude" als "warme" rook moeten kunnen verwerken. De "koude" rook is hierbij de meest kritische en moeilijkste situatie.
- Toepassing van steeds meer mechanische ventilatie is het gevolg.
- Met de bestaande kennis van axiale ventilatie technieken kunnen aan de huidige en toekomstige eisen op het gebied van ventilatie bij brand worden voldaan.

Literatuurlijst

- H.D. Morgan, *A simplified approach to Smoke Venting Calculation*, ARE information paper 19/85
- H.P. Morgan, *Smoke Control, Methods in enclosed shopping complexes of one or more storeys. A design summary*, BRE 34. K2,3 1976
- E.G. Butcher, *Fire Progression, Spread and Growth Fire Size*, Mid Career College October 87.
- P.H. Thomas/D.L. Hinley, *Design of Roof Venting Systems For Single storey buildings*, Fire Research Technical Paper 10.1964.
- *Fire Safety Journal* 12 1987 (Pg. - 35) Morgan & Hansell.
- *Fire Safety Journal* 8 1984/85 (Pg. 227-237) Morgan & Hansell.
- *Fire Safety Guide No. 1 Fire Safety in Section 20 Buildings London District Survey or Associate* June 1990
- *Brandveiligheid Atrium gebouwen* nov. 1990
- *Rookafvoer uit hoge ruimten*, SBR rapport nr. 233 1991
- Met dank aan Mr. Howard Morgan, hoofd afdeling Smoke Production and Control, van het Fire Research Station te Borehamwood voor zijn medewerking aan het tot stand brengen van deze publicatie.