

96-CVB-R0330(1) **RICHTLIJN VULTIJDENMODEL GROTE
BRANDCOMPARTIMENTEN**

Centrum voor Brandveiligheid

Oktober 1996

ir. N.J. van Oerle
ir. E.W. Janse
ir. P.H.E. van de Leur

Opdrachtgever:
Ministerie van VROM
T.a.v. dhr. G. Straatsma
Postbus 30941
2500 GX DEN HAAG

Projectnaam : Grote brandcompartimenten
Projectnr. : 05.20.3.7776

Pagina's : 39
Tabellen : 5
Figuren : 4
Bijlagen : -

Dit rapport is technisch niet meer actueel. Bij gebruik ervan wordt u verzocht contact op te nemen met Efectis Nederland BV (waarin de activiteiten van TNO Centrum voor Brandveiligheid zijn ondergebracht).

1996

Thema :

WP-onderwerp : rookverspreiding

Trefwoord(en) : rookverspreiding, ontruiming, vultijd, grote brandcompartimenten

INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding	4
1.1	Achtergrond	4
1.2	Werkwijze algemeen	6
1.3	Definities	6
2	Bepalingsmethode vultijd	8
2.1	Aanpak	8
2.2	Voorwaarden toepasbaarheid van het vultijdenmodel	8
2.3	Stappenplan vultijdenmodel	9
3	Ontwikkeling van de dikte, temperatuur en rookdichtheid van de rooklaag ..	10
3.1	Algemeen	10
3.2	Gestratificeerde situatie (rooklaag)	10
3.3	Homogene opmenging	12
4	Brand in een aangrenzende ruimte: brandscenario	15
4.1	Algemeen	15
4.2	Uitwerking	15
5	Brandscenario : Brand in de grote ruimte	18
5.1	Klasse indeling van gebouwen voor het brandscenario	18
5.2	Klasse I	18
5.3	Klasse II	19
5.4	Klasse III	20
5.5	Klasse IV	22
6	Modellering rookverspreiding : Brand in een aangrenzende ruimte	26
6.1	Algemeen	26
6.2	Brandscenario	27
6.3	Rookstroming door de gevelopening: brandstof-beheerst (index 'bb') ..	27
6.4	Rookstroming door de gevelopening: ventilatie-beheerst (index 'vb') ..	28
6.5	Bepaling van de eigenschappen van de rookstroming door de gevelopening	28
6.6	Rookstroming naar de rookbuffer	29
7	Modellering rookverspreiding : Brand in de grote ruimte	32
7.1	Algemeen	32
7.2	Rookstroming naar de rookbuffer	32
7.3	Invloed van een tussenvloer	33

8	Rook- en warmteafvoer: Rookluiken of rookventilatoren	34
8.1	Inleiding	34
8.2	Natuurlijke afvoer (rookluiken)	34
8.3	Mechanische afvoer (rookventilatoren)	35
9	Afkoeling aan wanden en plafond van de grote ruimte	36
9.1	Algemeen	36
9.2	Modellering afkoeling	36
9.3	Materiaal eigenschappen	37
10	Automatische detectie	38
11	Referenties	39

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Het onderzoek "Grote brandcompartimenten" is beschreven in dit rapport, alsmede 3 andere rapporten. Voor een uitgebreide beschrijving van de achtergronden van het model wordt verwezen naar het rapport "Achtergronden vultijdenmodel grote brandcompartimenten" [2]. De rapporten 96-CVB-R0330(3) en 96-CVB-R0330(4) beschrijven de vluchtmethodiek.

In dit rapport is een model beschreven, waarmee op eenvoudige wijze zowel de snelheid bepaald kan worden waarmee een grote ruimte in geval van brand door rook zal worden gevuld, als de resulterende rookdichtheid en rooktemperatuur.

Met deze gegevens kan vervolgens worden bepaald hoe lang na het ontstaan van brand de vluchtroutes in de grote ruimte beschikbaar blijven. In combinatie met de vluchtmethodiek [1] kan dan worden gecontroleerd of een gebied tijdig ontruimd kan worden in geval van brand.

De snelheid waarmee de rooklaag dikker wordt (de vulsnelheid) en daarnaast de rooktemperatuur en rookdichtheid hangen af van de volgende factoren:

- de ontwikkeling van de omvang en het vermogen van de brand, het brandscenario;
- de afmetingen van de grote ruimte;
- obstructies in de rookstroom;
- afkoeling aan wanden en plafond.

Met brandscenario wordt bedoeld de ontwikkeling van de vloeroppervlakte en het vermogen van de brand als functie van de tijd. In het vultijdmodel worden de volgende situaties onderscheiden.

- A: Brand in de grote ruimte (hfdst 5)
- B: Brand in een aangrenzende ruimte (hfdst 4)

Zie figuren 1, 2 en 3 voor een schematische weergave van de methodiek

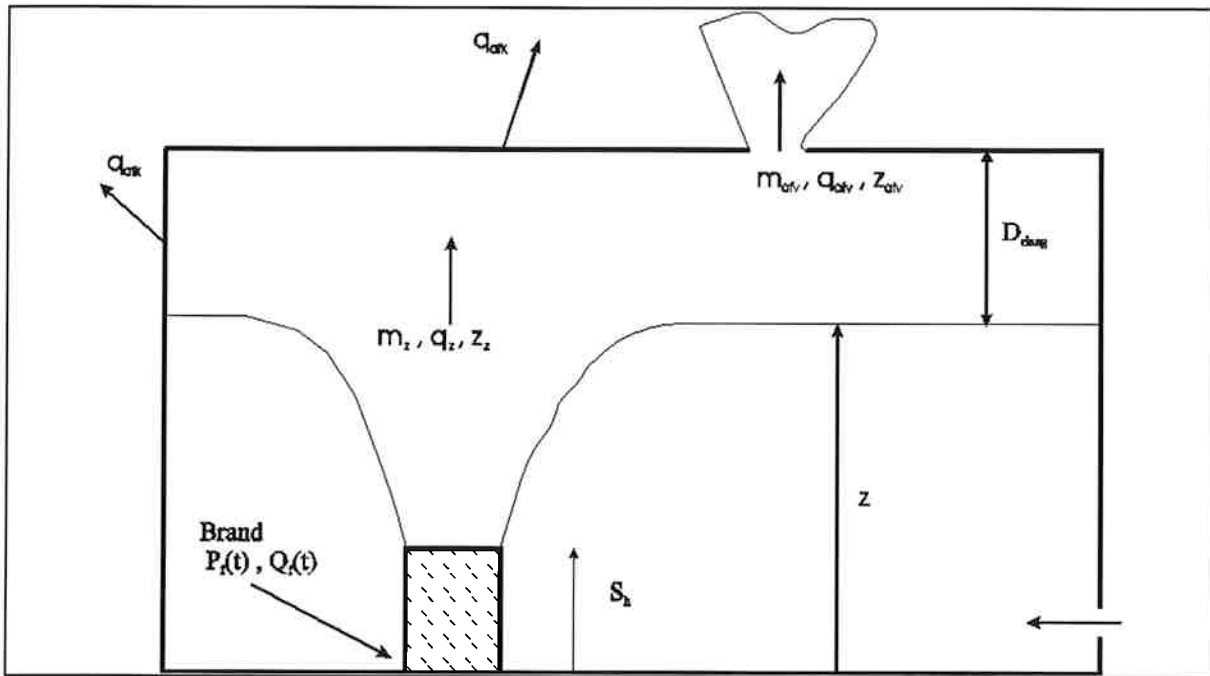


Figure 1: Brand in de grote ruimte

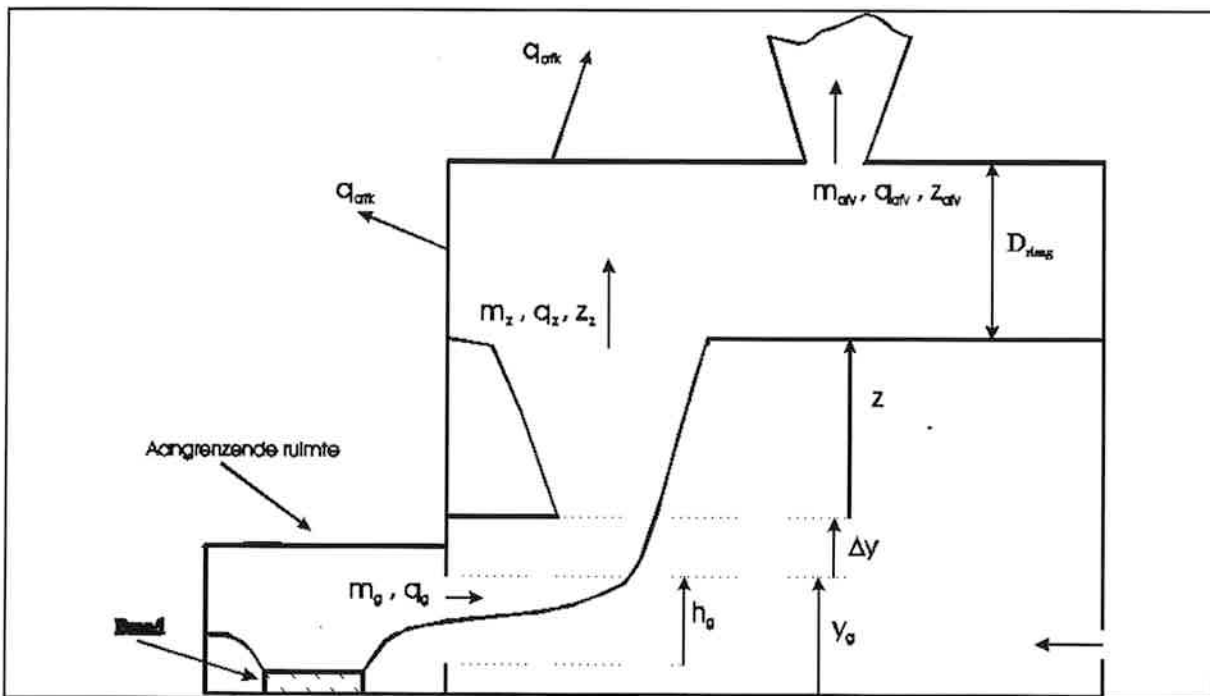


Figure 2: Situatie bij brand in een aangrenzende ruimte

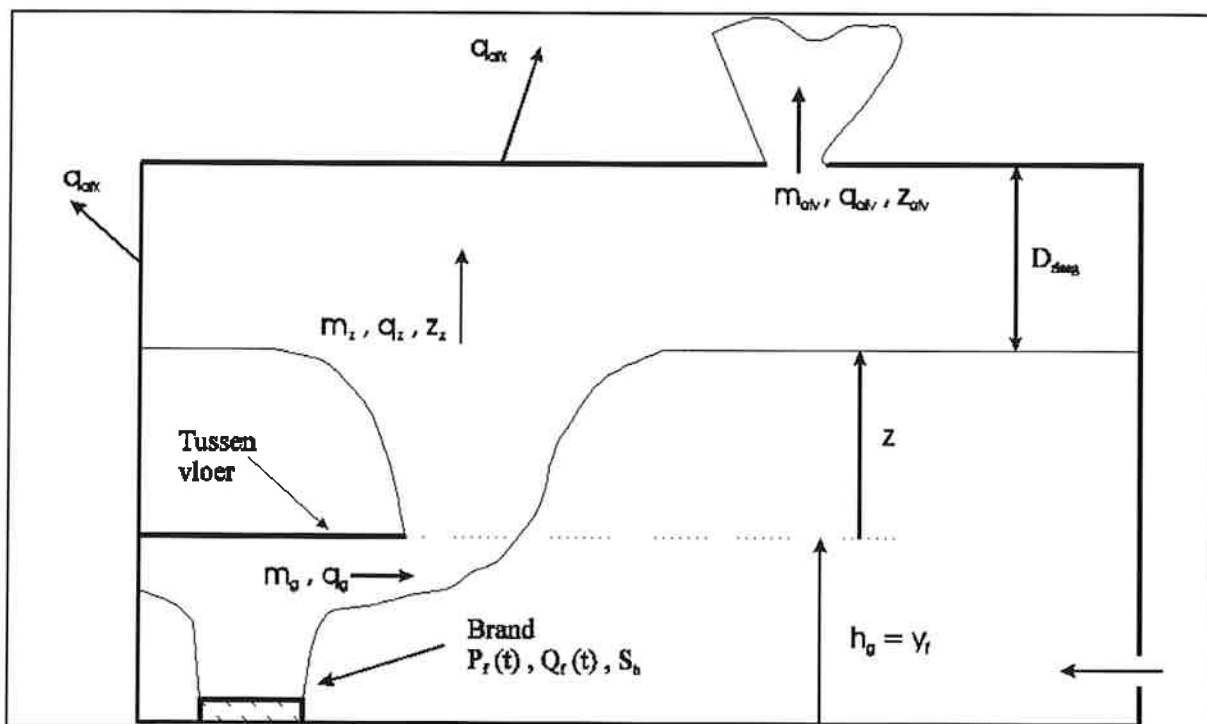


Figure 3: Situatie met tussenvloer

1.2 Werkwijze algemeen

Met het stappenplan in hoofdstuk 2 kan de ontwikkeling van de condities in de grote ruimte worden bepaald voor alle brandlokaties cq. brandscenario's in het brandcompartiment. Deze gegevens kunnen worden gebruikt als invoer voor de bepaling van de vluchtmethodiek [1]. Op deze wijze kan worden bepaald of een gebied voldoende snel ontruimd kan worden. Alle vergelijkingen in dit rapport zijn getalswaardevergelijkingen, waarbij de parameters in SI-eenheden worden gebruikt; dit geeft de mogelijkheid om de dimensie van de (empirische) constanten weg te laten.

1.3 Definities

Noot:

Het onderzoek betreft grote brandcompartimenten, bestaande uit één grote ruimte, met eventueel één of meer kleine aangrenzende ruimten en eventueel één tussenvloer.

Grote ruimte : Enkelvoudige -niet ingedeelde- ruimte in het grote brandcompartiment waarvan de "vultijd" bepaald moet worden. De grote ruimte mag niet zijn ingedeeld met wanden ed., en de horizontale vrije oppervlakte op enige hoogte mag niet meer dan 10% afwijken van de vloeroppervlakte van de grote ruimte. (uitgezonderd hierbij is de tussenvloer)
De grote ruimte heeft een horizontale overkapping.

- Aangrenzende ruimte Kleine ruimte met een vlak plafond met een gebruiksoppervlakte kleiner dan 250m², en een hoogte van maximaal 4,5 m. Deze ruimte grenst aan de grote ruimte.
- Gebied: Aaneengesloten oppervlakte op één vloerniveau in de grote ruimte; het gebied is niet ingedeeld en is open verbonden met de grote ruimte, en eventuele andere gebieden.
- RWA: Rook- en warmteafvoer installatie als bedoeld in NEN6093.
- Brandlokatie: Globale aanduiding van de plaats van een brand. Er wordt verondersteld dat slechts op één plaats brand ontstaat. Een brand is mogelijk in een aangrenzende ruimte, of in elk gebied in de grote ruimte. Voor het vultijdenmodel is de exacte plaats van een brand binnen een gebied of aangrenzende ruimte niet van belang. Uitsluitend bij de bepaling of een brand één of meer uitgangen blokkeert moet rekening worden gehouden met de exacte plaats van de brand in een gebied.
- Tussenvloer Gesloten vloer in de grote ruimte op een hoogte van maximaal 4,5 m.
N.B.: Niet (geheel) gesloten tussenvloeren worden in de modellering van de rookstroming niet meegenomen. Als criterium wordt een brandwerenheid van minimaal 20 minuten gesteld. Eventuele brandbare goederen op zo'n tussenvloer moeten bij de bepaling van de stapelhoogte in rekening worden gebracht. In de praktijk en in het model zal dit tot hevige brandscenario's en korte vultijden leiden

2 Bepalingsmethode vultijd

2.1 Aanpak

Het vultijdenmodel bestaat uit een aantal rekenregels waarmee in geval van brand de ontwikkeling van de condities in de tijd (rooktemperatuur, rookdichtheid en dikte rooklaag) in een groot brandcompartiment kan worden bepaald.

Het is een dynamische methode waarbij in kleine tijdstapjes een berekening wordt uitgevoerd van de dikte, de temperatuur en de rookdichtheid van de rooklaag in de grote ruimte op dat moment.

In elke tijdstap worden opnieuw alle condities zoals de brandomvang, de temperatuur in de rooklaag, afkoeling aan wanden, toevoer van rook naar de rooklaag vanuit de brand en rookafvoer door een eventuele RWA-installatie, berekend. Na elke tijdstap wordt een energie- en massabalans opgelost om de ontwikkeling van de rooklaag te bepalen.

Door het expliciete karakter van de berekeningen is een kleine tijdstap noodzakelijk om de berekening te laten convergeren. Voor een voldoende nauwkeurige berekening is een tijdstap voor de berekeningen van 0.1 s voldoende. Een berekening van de condities in een ruimte gedurende 15 minuten met deze tijdstap duurt op een gemiddelde PC ongeveer 10 s.

Noot:

In sommige gevallen kan worden volstaan met een veel grotere tijdstap, met name bij de bepaling van de condities geruime tijd na aanvang van de brand. Indien voor een grotere tijdstap wordt gekozen, dan moet de nauwkeurigheid van de berekeningen worden gecontroleerd. Dit moet worden gedaan door het uitvoeren van twee berekeningen: een berekening met de gewenste tijdstap, en een berekening met twee maal de gewenste waarde voor de tijdstap. De gewenste tijdstap mag worden toegepast als de resultaten van beide berekeningen m.b.t. het tijdstip waarop de verschillende criteria optreden (detectie, ruiken, vullen etc.) niet meer dan 5% van elkaar afwijken. Indien hier niet aan wordt voldaan moet een kleinere tijdstap worden gekozen, waarmee wel aan de voorwaarde wordt voldaan.

2.2 Voorwaarden toepasbaarheid van het vultijdenmodel

- a. Het vultijdenmodel is van toepassing op enkelvoudige -niet ingedeelde- grote ruimten met een gebruiksoppervlakte tussen 1.000 en 15.000 m² en een hoogte boven die oppervlakte van 5 - 50 m
- b. In de grote ruimte mag een tussenvloer of een balkon aanwezig zijn die niet meer dan 50% van de grondoppervlakte van de grote ruimte beslaat.
De tussenvloer mag zich maximaal op een hoogte van 4,5 m boven de vloer van de grote ruimte bevinden.
De onderkant van het balkon boven een aangrenzende ruimte mag ten hoogste 2 m hoger zijn gelegen dan de bovenzijde van de niet brandwerende geveldelen van de gevel tussen aangrenzende en grote ruimte. (Eis: $\Delta y < 2$ m in figuur 2)

- c. Elke aan de grote ruimte grenzende ruimte moet minimaal 20 minuten brandwerend (zelfsluitend) gescheiden zijn van de grote ruimte, met uitzondering van kleine ruimten met een oppervlakte van maximaal 250 m² en een hoogte van maximaal 4,5 m: de zogenoemde 'aangrenzende' ruimten.
 - d. Elke aangrenzende ruimte is langs ten hoogste 1 zijde minder dan 20 min brandwerend (zelfsluitend) gescheiden van de grote ruimte en tenminste 20 minuten brandwerend gescheiden van andere (aangrenzende) ruimten. Het niveau van het plafond van de aangrenzende ruimte mag niet hoger liggen dan het dakniveau van de grote ruimte; de aangrenzende ruimte heeft een winkel- of een kantoorfunctie.
Noot: Een 'aangrenzende ruimte' mag zijn ingedeeld in kleine ruimten.
- Beoogd is dat het model onder deze strikte voorwaarden onverkort van toepassing is.

2.3 Stappenplan vultijdenmodel

- a. Identificeer alle aangrenzende ruimten *i* die niet minimaal 20 minuten brandwerend zijn gescheiden van de grote ruimte, en identificeer voor alle deze ruimten de geveldelen die niet 20 minuten brandwerend (zelfsluitend) zijn uitgevoerd. Als er helemaal geen inwendige scheidingsconstructie tussen aangrenzende en grote ruimte aanwezig is, veronderstel dan toch de aanwezigheid van een (niet-brandwerende) glaspui.
- b. Identificeer alle gebieden *j* in de grote ruimte, en een eventuele tussenvloer.
- c. Bepaal voor alle afzonderlijke aangrenzende ruimten *i* de ontwikkeling in de tijd van de rooklaagdikte en rooktemperatuur in de grote ruimte volgens hoofdstuk 3, uitgaande van de aangrenzende ruimte *i* als brandlokatie. Voer hiervoor twee berekeningen uit, nl:
1: de niet brandwerende geveldelen zijn geopend bij aanvang brand, en
2: de niet brandwerende delen zijn gesloten bij aanvang brand, en bezwijken na enige tijd.
Bepaal -bij aanwezigheid van een gesloten tussenvloer- ook de ontwikkeling van de condities in de grote ruimte volgens hfdstuk 3, uitgaande van een brand onder de tussenvloer; beschouw de ruimte onder de tussenvloer als aangrenzende ruimte, waarbij deze ruimte langs de vloerrand geheel open verbonden is met de grote ruimte.
- d. Bepaal voor alle gebieden *j* de ontwikkeling van de temperatuur en de dikte van de rooklaag in de grote ruimte volgens hoofdstuk 3, uitgaande van gebied *j* als brandlokatie.
- e. Bepaal voor alle brandlokaties *k* (dit zijn alle aangrenzende ruimten *i* en alle gebieden *j*) de detectietijd $t_{1-det,k}$ volgens paragraaf ?, en de tijd tot glasbreuk van de gevel van de aangrenzende ruimte *i*: $t_{1-breuk,i}$ volgens hoofdstuk 4, en de tijd tot vlamoverslag in de aangrenzende ruimte: $t_{1-vo,i}$ volgens hoofdstuk 6, en de vultijd t_{vul} van elk gebied volgens hoofdstuk 3, uitgaande van de hierboven bepaalde condities in de grote ruimte.

Resultaat:

Het resultaat van de berekeningen is de ontwikkeling in de tijd van de condities in de grote ruimte voor elke hierboven genoemde situatie. Deze gegevens kunnen gebruikt worden als invoer voor het vluchtmodel, zoals weergegeven in het rapport "richtlijn vluchtmethodiek grote brandcompartimenten" [1]; voor alle situaties (brandlokaties, scenario etc.) moet worden gecontroleerd of de aanwezigen in de grote ruimte voldoende tijd hebben om veilig te kunnen vluchten.

3 Ontwikkeling van de dikte, temperatuur en rookdichtheid van de rooklaag

Noot:

De bepalingsmethode van de ontwikkeling van de rookbuffer in de grote ruimte is dezelfde voor het geval van brand in de grote ruimte als voor het geval van een brand in een aangrenzende ruimte.

3.1 Algemeen

De ontwikkeling van de temperatuur, dikte en de rookdichtheid van de rooklaag wordt bepaald met de formules in paragraaf 3.2 (stratificatie).

Indien de temperatuur in de rooklaag minder dan 298 [K] bedraagt op het moment dat de rooklaag D_{rlaag} een dikte heeft van 2 m, voer dan niet alleen de berekeningen volgens paragraaf 3.2 (stratificatie) uit, maar ook de berekeningen volgens paragraaf 3.3 (homogene opmenging); beide resultaten (stratificatie en homogene opmenging) moeten in dit geval worden gebruikt als invoer voor de vluchtmodel.

3.2 Gestratificeerde situatie (rooklaag)

3.2.1 Inleiding

Bepaal de begintoestand op tijdstip $t=0$ als volgt :

$D_{\text{rlaag}} = 0$	Dikte rooklaag, in m
$T_{\text{omg}} = 293$	Temperatuur omgeving (buitenlucht), in K
$V_{\text{rook}} = 0$	Volume van de rooklaag, in m^3
$M_{\text{rook}} = 0$	Massa in de rooklaag, in kg
$E_{\text{rook}} = 0$	Energie in de rooklaag, in J

De dikte en temperatuur van de rooklaag in de grote ruimte kan op tijdstip $t = T$ als volgt worden bepaald:

- Vergroot de tijd t (beginnend met $t=0$) elke keer met tijdstap Δt ($= 0.1\text{s}$).
- Bereken voor de nieuwe tijd de nieuwe rooklaagdikte en temperatuur door achtereenvolgens de formules in paragrafen 3.2.2 t/m 3.2.5 uit te rekenen.
- Ga door met vergroten van de tijd met tijdstap Δt tot het gewenste tijdstip.
- De eindresultaten van par. 3.2.5 zijn de dikte, temperatuur en rookdichtheid van de rooklaag op het gewenste tijdstip.

3.2.2 Bepaling toevoer van rook naar de rooklaag vanuit de brand

Bepaal het massadebiet m_z en het vermogen q_z die op tijdstip t de rooklaag instromen volgens hoofdstuk 6 cq. 7 voor resp. een brand in een aangrenzende ruimte en een brand in de grote ruimte.

3.2.3 Bepaling afvoer rook door een systeem voor rook- en warmte afvoer (RWA)

Bepaal het massadebiet m_{afv} , het vermogen q_{afv} en de zichtmassa z_{afv} dat op tijdstip t door de RWA-installatie wordt afgevoerd bij aanwezigheid van een dergelijke installatie volgens hoofdstuk 8. Indien geen RWA installatie conform de voorwaarden volgens NEN 6093 aanwezig is neem dan m_{afv} , q_{afv} en z_{afv} gelijk aan 0.

3.2.4 Bepaling afkoeling van de rooklaag aan wanden en plafond in de grote ruimte

Bepaal het vermogen q_{afk} dat op tijdstip t door de wanden en het plafond van de grote ruimte wordt onttrokken aan de rooklaag volgens hoofdstuk 9.

3.2.5 Bepaling van de dikte en temperatuur van de rooklaag op tijdstip $t + \Delta t$

Voer de volgende berekeningen uit:

$$z_z = \frac{q_z \cdot RP}{E_{mat}} \quad (1)$$

$$E_{rook}(t+\Delta t) = \max [(E_{rook}(t) + \Delta t \cdot (q_z - q_{afv} - q_{afk})) ; 0] \quad (2)$$

$$M_{rook}(t+\Delta t) = \max [(M_{rook}(t) + \Delta t \cdot (m_z - m_{afv})) ; 0] \quad (3)$$

$$Z_{rook}(t+\Delta t) = \max [(Z_{rook}(t) + \Delta t \cdot (z_z - z_{afv})) ; 0] \quad (4)$$

$$T_{rook}(t+\Delta t) = 293 + E_{rook}(t+\Delta t) \cdot \frac{1}{1000} \cdot \frac{1}{M_{rook}(t+\Delta t)} \quad (5)$$

$$V_{\text{rook}}(t+\Delta t) = \frac{T_{\text{rook}}(t+\Delta t)}{353} \cdot M_{\text{rook}}(t+\Delta t) \quad (6)$$

$$RD(t+\Delta t) = \frac{Z_{\text{rook}}(t+\Delta t)}{V_{\text{rook}}(t+\Delta t)} \quad (7)$$

$$D_{\text{r laag}}(t+\Delta t) = \frac{V_{\text{rook}}(t+\Delta t)}{\text{Opp}_{\text{hal}}} \quad (8)$$

met daarin:

z_z Zichtmassadebiet dat ontstaat bij de brand, in $\text{m}^{-1} \text{m}^3 \text{s}^{-1}$
 Z_{rook} Zichtmassa in de rooklaag, in m^2
Noot: Zichtmassa delen door volume rooklaag levert RD, in m^{-1}

T_{rook} Temperatuur in de rooklaag, in K
 E_{rook} Energie in de rooklaag, in J
 M_{rook} Massa in de rooklaag, in kg
 V_{rook} Volume van de rook(laag), in m^3
RD Rookdichtheid in de rooklaag, in m^{-1}
 $D_{\text{r laag}}$ Dikte rooklaag, in m
RP Rookpotentieel van de brandbare materialen (houtachtig = $100 [\text{m}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^3]$)
 E_{mat} Verbrandingswarmte brandstof (houtachtig = $17 \cdot 10^6 [\text{J/kg}]$)
 q_z Vermogen dat de rookbuffer instroomt, in W
 q_{afk} Vermogen onttrokken aan de rook door afkoeling (hfdst 10)
 q_{afv} Vermogen afgevoerd door een RWA installatie (par 3.2.3)

3.3 Homogene opmenging

Noot: In dit submodel wordt verondersteld dat de rook zich homogeen opmengt over de gehele grote ruimte.

De (uniforme) rookdichtheid en de temperatuur in de grote ruimte op bepaald tijdstip kunnen als volgt worden bepaald:

Bepaal de begintoestand op $t=0$ als volgt

$$\begin{aligned} T_{\text{omg}} &= 293 && \text{Temperatuur omgeving, in K} \\ E_{\text{rook}} &= 0 && \text{Energie in de rooklaag, in J} \\ Z_{\text{rook}} &= 0 && \text{Zichtmassa in de rooklaag, in m}^2 \end{aligned}$$

De berekening gaat verder als volgt:

- Vergroot de tijd t (beginnend met $t=0$) elke keer met tijdstap Δt .
- Bereken voor de nieuwe tijd de nieuwe rooklaagdikte en temperatuur volgens de onderstaande formules.
- Ga door met vergroten van de tijd met tijdstap Δt tot het gewenste tijdstip.

Bepaal het vermogen q_z , dat op tijdstip t de rooklaag instroomt volgens hfdst 6 of 7 voor resp. een brand in een aangrenzende ruimte of een brand in de grote ruimte.

Voer daarna de volgende berekeningen uit:

$$z_z = \frac{q_z \cdot RP}{E_{\text{mat}}} \quad (9)$$

$$E_{\text{rook}}(t+\Delta t) = E_{\text{rook}}(t) + \Delta t \cdot q_z \quad (10)$$

$$Z_{\text{rook}}(t+\Delta t) = Z_{\text{rook}}(t) + \Delta t \cdot z_z \quad (11)$$

$$T_{\text{rook}}(t+\Delta t) = T_{\text{omg}} + \frac{T_{\text{rook}}(t) \cdot E_{\text{rook}}(t+\Delta t)}{1000 \cdot 353 \cdot V_{\text{hal}}} \quad (12)$$

$$RD(t+\Delta t) = \frac{Z_{\text{rook}}(t+\Delta t)}{V_{\text{hal}}} \quad (13)$$

met daarin:

z_z	Zichtmassadebiet dat ontstaat bij de brand, in $m^{-1} \cdot m^3 \cdot s^{-1}$
Z_{rook}	Zichtmassa in de rooklaag, in m^2
	Noot: Zichtmassa delen door volume rook levert RD, in m^{-1}
$RD(t+\Delta t)$	Rookdichtheid op tijdstip $(t+\Delta t)$, in m^{-1}
E_{rook}	Energie in de rook, in J
M_{rook}	Massa in de rook, in kg
V_{hal}	Volume van de grote ruimte, in m^3
RP	Rookpotentieel van de brandbare materialen ($= 100 m^{-1} kg^{-1} m^3$)
E_{mat}	Verbrandingswarmte brandstof ($= 17 \cdot 10^6 [J/kg]$)
q_z	Vermogen dat de rook instroomt, in [W]

4 Brand in een aangrenzende ruimte: brandscenario

4.1 Algemeen

Voor een brand in een aangrenzende ruimte wordt onderscheid gemaakt in de bestemming en inrichting van deze ruimte, nl. de functie kantoor of winkel. Het brandscenario voor de twee gevallen verschilt.

In de scheiding naar de grote ruimte kunnen geveldelen die geopend zijn bij aanvang van de brand of in geval van brand bezwijken.

Voor het model worden alle delen van de scheiding, die minder dan 20 minuten brandwerend zijn uitgevoerd, beschouwd als gevelopening, die

- a. volledig geopend zijn bij aanvang van brand, of
- b. na enige tijd geheel bezwijken in geval van brand;

Beide varianten a en b (zie 4.2) moeten worden doorgerekend, en de resultaten moeten worden gebruikt voor de bepaling van de vultijd. Alle geveldelen van de scheiding met een brandwerendheid (inclusief zelfsluitendheid) van minstens 20 minuten worden verondersteld gesloten te blijven gedurende de periode waarvoor het vultijdenmodel is bedoeld (beginfase brand). In hoofdstuk 6 spelen de afmetingen van de gevelopeningen een belangrijke rol. In dat hoofdstuk wordt de manier gegeven hoe om te gaan met meerdere openingen.

4.2 Uitwerking

Bepaal de tijdconstante t_c , en de vermogensdichtheid k_{ref} en het maximum vermogen Q_{max} uit de tabel.

“Functie” aangrenzende ruimte	k_{ref} [W/m ²]	Q_{max} [W]	Tijdconstante t_c in [s]
Kantoor	$0,3 \cdot 10^6$	$4,5 \cdot k_{ref}$	300
Winkel	$0,5 \cdot 10^6$	$4,5 \cdot k_{ref}$	150

variant a: geveldelen open bij aanvang

Veronderstel: $t_{1-breuk} = 0$.

variant b: bezwijken geveldelen na enige tijd

Bepaal het tijdstip van bezwijken van de -minder dan 20 min brandwerende- geveldelen volgens:

$$t_{\text{breuk}} = \left[\frac{2,34 \cdot 10^5 \cdot t_c^2 \cdot V}{k_{\text{ref}}} \right]^{1/3} \quad (14)$$

Voer de volgende berekeningen uit voor variant a als b:

$$A_h = 2 \cdot \left[\frac{t + t_{\text{breuk}}}{t_c} \right]^2 \quad (15)$$

Als de aangrenzende ruimte niet gesprinklerd is bereken dan $A_f(t)$ en $Q_f(t)$ als volgt:

$$A_f(t) = A_h \quad (16)$$

$$Q_f(t) = A_h \cdot k_{\text{ref}} \quad (17)$$

Als de aangrenzende ruimte gesprinklerd is bereken dan $A_f(t)$ en $Q_f(t)$ als volgt:

Als $A_h < 9,0$ dan:

$$Q_f(t) = A_h \cdot k_{\text{ref}} \quad \text{én} \quad A_f(t) = A_h \quad (18)$$

Als $A_h \geq 9,0$ dan:

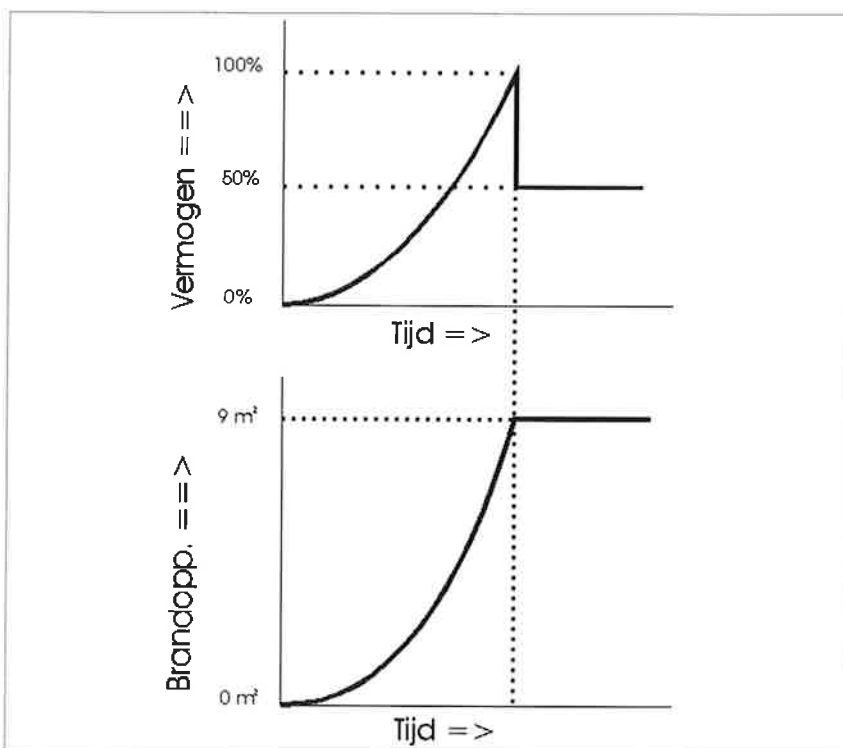
$$Q_f(t) = Q_{\text{max}} \quad \text{én} \quad A_f(t) = 9 \quad (19)$$

waarin :

Q_{max}	Hulpfactor, in W
A_h	Hulpfactor, in m^2
$A_f(t)$	Oppervlakte van de brand op tijdstip t , in m^2
$Q_f(t)$	Vermogen van de brand op tijdstip t , in W
k_{ref}	de vermogensdichtheid van de brand, in W/m^2
t_c	Tijdconstante brandontwikkeling, in s

V_{aangr}
Noot.

Volume van de aangrenzende ruimte, in m^2 ;
De bovenstaande formules voor aangrenzende ruimtes met sprinklers zijn gebaseerd op de veronderstelling dat de sprinklerinstallatie de groei van de brand stopt op het moment dat de brandoppervlak $9 m^2$ is, het moment t_{1-abi} . Het vermogen van de brand wordt daarna met 50% gereduceerd door afkoeling aan het sprinklerwater. (zie onderstaande figuur)



Ontwikkeling van vermogen en oppervlakte van een gespreinklerde de brand in de tijd.(schematisch)

5 Brandscenario : Brand in de grote ruimte

5.1 Klasse indeling van gebouwen voor het brandscenario

Bepalend voor de indeling van gebouwen voor het brandscenario in klassen, is de vuurbelasting.

Met vuurbelasting wordt de totale vuurbelasting bedoeld (permanent en variabel), bepaald volgens NEN 6090.

In afwijking daarvan moet voor de vuurbelasting de waarde genomen worden gelijk aan de hoogste vuurbelasting in enig deel (met een oppervlakte van 50 m²) van de ruimte.

Bepaal voor het gebouw de klasse brandscenario als volgt :

Klasse I	-Niet industriegebouw én vuurbelasting ≤ 152 MJ/m ² .
Klasse II	-Niet industriegebouw, én vuurbelasting > 152 MJ/m, én vuurbelasting is geconcentreerd in een zone van maximaal 3 m boven de vloer.
Klasse III	-Niet-industriegebouw én past niet in Klasse I of Klasse II, óf -Industriegebouwen met opslagfunctie
Klasse IV	-Industriegebouwen met productiefunctie

Noot:

1. Voor industriegebouwen met zowel opslag- als productiefunctie moeten beide klassen III en IV worden toegepast. De klasse die leidt tot de ongunstigste omstandigheden is uiteraard bepalend.
2. Voor gebouwen met sprinklers wordt uitgegaan van de bovenstaande indeling, zij het dat geen groter brandoppervlakte dan 9 m² in rekening hoeft te worden gebracht, terwijl het vermogen daarna met 50% gereduceerd wordt door afkoeling aan het sprinklerwater.
Dit is gebaseerd op de veronderstelling dat de sprinklerinstallatie de groei van de brand stopt op het moment dat de brandoppervlak 9 m² is, het moment t_{1-abi} .
3. De grenswaarde van 152 MJ/m² (uitgaande van 8 kg vurehout per m², met een verbrandingswarmte van 19 MJ/kg) is overgenomen uit het Brandbeveiligingsconcept "Beheersbaarheid van brand". Voor klasse I wordt gedacht aan gebouwfuncties zoals bijvoorbeeld stations- en sportgebouwen.

5.2 Klasse I

Het brandscenario dat voor deze klasse moet worden gehanteerd, kan op basis van literatuurgegevens omschreven worden als 'langzaam', met een 'lage' vermogensdichtheid.

De omtrek, het vermogen en de oppervlakte van de brand, op tijdstip t sec na het ontstaan van de brand, kan als volgt worden berekend:

$$k_{\text{ref}} = 0,2 \cdot 10^6 \quad (20)$$

$$Q_f(t) = 2 \cdot k_{\text{ref}} \cdot \left(\frac{t}{600}\right)^2 \quad (21)$$

$$A_f(t) = \frac{Q_f}{k_{\text{ref}}} \quad (22)$$

$$P_f(t) = 2 \cdot (\pi \cdot A_f(t))^{0,5} \quad (23)$$

met daarin:

$A_f(t)$	de brandoppervlakte op tijdstip t , in m^2
$Q_f(t)$	het brandvermogen op tijdstip t , in W
$P_f(t)$	de omtrek van de brand op tijdstip t , in m
k_{ref}	de vermogensdichtheid van de brand, in W/m^2

5.3 Klasse II

Het brandscenario dat voor deze klasse moet worden gehanteerd, kan op basis van literatuurgegevens omschreven worden als 'snel'; een 'normale' vermogensdichtheid voor goederen tot 1 m hoog (meubilair, bedden enz.) wordt verwacht; voor vuurbelasting tot 3 m hoog (bijvoorbeeld beurs-stands) zal de vermogensdichtheid groter zijn. In formulevorm:

$k_{ref} = 0,5 \cdot 10^6 \text{ W/m}^2$ als de hoogte van de brandbare goederen (vuurbelasting) niet groter is dan 1 m;
 $k_{ref} = 0,5 \cdot 10^6 \text{ W/m}^2$ per m hoogte van de vuurbelasting, voor vuurbelasting met een grotere hoogte.

$$A_f(t) = 2 \cdot \left(\frac{t}{150}\right)^2 \quad (24)$$

$$P_f(t) = 2 \cdot (\pi \cdot A_f(t))^{0,5} \quad (25)$$

$$Q_f(t) = A_f \cdot k_{ref} \quad (26)$$

met daarin:

$A_f(t)$ is de brandoppervlakte op tijdstip t , in m^2
 $Q_f(t)$ is het brandvermogen op tijdstip t , in W
 $P_f(t)$ is de omtrek van de brand op tijdstip t , in m
 k_{ref} de vermogensdichtheid van de brand, in W/m^2

5.4 Klasse III

5.4.1 Inleiding

Industriegebouwen met een "opslagfunctie" worden in het vultijdenmodel ingedeeld in 4 klassen 'verpakkingswijze' en 4 klassen 'goederen', die verschillen in brandgedrag. Voor het onderscheid naar brandgedrag van materialen wordt verwezen naar de Nederlandse normen voor "brandvoortplanting", NEN 6065 en "onbrandbaarheid", NEN 6064. Belangrijk onderdeel voor de indeling in vier klassen is het percentage brandbaar schuim dat wordt toegepast, zowel in de verpakking als in de opgeslagen goederen. Meestal wordt schuim toegepast als bescherming voor de opgeslagen goederen. Het schuim wordt omschreven in termen van kunststof met een massadichtheid kleiner dan $50 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ én brandvoortplantingsklasse 4 of slechter (NEN 6065). Bepalend voor het uiteindelijke brandgedrag is de relatieve hoeveelheid schuim die wordt toegepast; het volume schuim uitgedrukt als percentage van het gezamenlijk volume van de goederen plus verpakking.

5.4.2 Bepaling brandscenario

Kies een indeling van de goederen en verpakkingswijze volgens de volgende tabel.

Goederen (klasse)	G1	-NEN 6064, onbrandbaar óf -NEN 6065, klasse 2 of beter, of -Voedingsmiddelen in blik/glas
	G2	-NEN 6065 klasse 3 of beter, én schuim% < 5 %
	G3	-NEN 6065 klasse 4 of beter, óf 5% < schuim% < 15%)
	G4	-NEN 6065 klasse 5 of beter, óf schuim% > 15 %)
Verpakking (klasse)	V1	- NEN 6064 onbrandbaar, óf - NEN 6065, klasse 2 of beter
	V2	- NEN 6065, klasse 3 of beter, én schuim% < 5%
	V3	- NEN 6065, klasse 4 of beter, óf 5% < schuim% < 15 %
	V4	- NEN 6065, klasse 5, óf schuim % > 15%.

Voor gerede produkten moeten alle materialen, die aanwezig zijn over een diepte van 15 cm vanaf het produktoppervlak, afzonderlijk worden beoordeeld; het ongunstigste materiaal is bepalend voor de indeling. Om te voorkomen dat zeer geringe hoeveelheden van een 'slecht' materiaal een onevenredige invloed krijgen op de indeling, worden alleen die materialen beoordeeld, die ten minste 1 % (massa) uitmaken van de totale massa van alle materialen in de genoemde 15 cm diepte.

Kies vervolgens de van toepassing zijnde subklasse brandgedrag (F1-F4) uit de volgende tabel

Tabel 1: Subklasse brandgedrag voor de combinatie verpakking en goederen.

Goederen\Verpakking	V1	V2	V3	V4
G1	1	2	3	4
G2	2	2	3	4
G3	3	3	3	4
G4	4	4	4	4

Bepaal de waarde voor t_c en de maximaal toegestane stapelhoogte uit tabel 2, op basis van de gevonden subklasse brandgedrag.

Tabel 2: Tijdconstante t_c voor de bepaling van het brandscenario voor de diverse subklassen brandgedrag, en maximaal toegestane stapelhoogte.

Subklasse brandgedrag	Tijdconstante t_c [s]	Max. toegestane stapelhoogte $S_{h,max}$ [m]
1	600	8
2	300	6
3	150	5
4	75	3

Voer vervolgens de volgende berekeningen uit :

$$A_f(t) = 2 \cdot \left(\frac{t}{t_c}\right)^2 \quad (27)$$

$$k_{ref} = 0,5 \cdot 10^6 \cdot S_h \quad (28)$$

$$Q_f(t) = A_f(t) \cdot k_{ref} \quad (29)$$

$$P_f(t) = 2 \cdot (\pi \cdot A_f(t))^{0,5} \quad (30)$$

waarin:

$Q_f(t)$	Vermogen van de brand als functie van de tijd t na ontstaan [W];
$A_f(t)$	Grondoppervlakte brand als functie van de tijd t na ontstaan [m ²];
$P_f(t)$	De omtrek van de brand op tijdstip t [m]
S_h	Stapelhoogte goederen [m].
k_{ref}	Vermogensdichtheid [W/m ²]

5.5 Klasse IV

Voor industriegebouwen met een “produktiefuncties” is de klasse indeling opgenomen in de volgende tabel; de subklasse is direct af te lezen.

<u>Productie</u>	<u>Subklasse</u>		
Accu fabriek	3	Kunstmestfabriek	2
Alcoholdestillatie	4	Kunstrubberfabriek	4
Aluminiumbewerking	3	Kunststofbewerking (geen schuim)	3
Aluminiumfabriek	2	Kunststoffabriek (geen schuim)	3
Autofabriek	3	Kunststoffabriek, schuim	5
Autowerkplaats (garage)	2	Laboratorium, chemisch	4
Azijnfabriek	1	Laboratorium, fysisch	2
Bitumenbewerking	4	Leerbewerking	2
Boekbinderij	3	Linoleumfabriek	4
Bootswerf	4	Luciferfabriek	4
Brouwerij	1	Lijmfabriek	5
Chocoladefabriek	2	Machinefabriek	2
Cacaobewerking	2	Machinefabriek, electr.app.	3
Cellulosefabriek	6	Mandenmakerij	2
Confectiefabriek	3	Matrassenfabriek (zonder schuim)	3
Conservenfabriek	1	Matrassenfabriek (met schuim)	5
Cosmeticafabriek	6	Meelfabriek	2
Deurenfabriek (aluminium)	2	Melkpoederfabriek	2
Deurenfabriek (hout/kunststof)	3	Metaalbewerking (licht metaal)	2
Drukkerij	3	Meubelfabriek (zonder schuim)	3
Edelsteenbewerking	1	Meubelfabriek (met schuim)	3
Electr.huishoudapp.fabriek	3	Motorfietsenfabriek	2
Electronica fabriek	3	Naaiatelier	2
Fietsfabriek	2	Olieverwerking (restolie)	3
Filmstudio	4	Ontwikkelcentrale (foto/film)	2
Fotomateriaalfabriek	2	Oplosmiddelenfabriek (destillatie)	4
Gedroogde levensmiddelenfabriek	3	Papierfabriek	3
Geneesmiddelenfabriek	2	Papier-recycling	2
Glasfabriek	2	Parketfabriek	3
Houtbewerkingsbedrijf	3	Pelsbewerking	2
Houtwolfabriek	6	Platenindustrie	2
Jutebewerking	4	Rubberfabriek	3
Kabelfabriek	3	Schoenfabriek	3
Kartonfabriek	3	Sleurhuttenfabriek	4
Katoenbewerking	4	Spinnerij	3
Keramiekenfabriek	1	Spuitgietsfabriek (kunststof)	2
Kleding reiniging (chemisch)	4	Spuitgieterij (metaal)	1
Kleding wasserij	2	Slachthuis	1
Klokkenfabriek	2	Suikerfabriek	3
Koelkastenfabriek	2	Tabaksfabriek	2
Koffiebewerking	2	Tapijtfabriek (zonder schuim)	3
Kozijnfabriek (aluminium)	2	Tapijtfabriek (met schuim)	4
Kozijnfabriek (hout)	3	Tegelfabriek (steen/dakpan)	1
		Textielbewerking	3

Transformatorfabriek	2	Wapenfabriek	2
Treinstelfabriek	3	Wasmachinefabriek	2
Veevoederfabriek	4	Wasmiddelenfabriek	2
Verffabriek	4	Weverij	3
Verfspuiterij	4	Zeepfabriek	3
Vliegtuigfabriek	5	Zoetwarenfabriek	2
Voedingsmiddelenfabriek	3	Zuivelfabriek	1
Vulcaniseerbedrijf	3	Zijde fabriek (natuur- en kunst-)	3

Bepaal uit de volgende tabel de parameter t_c behorend bij de subklasse

Tabel : Parameter t_c voor een brand Klasse IV : industriegebouw (productie)

Subklasse	k_{ref} [$10^6 \cdot W/m^2$]	Tijdconstante t_c [s]
1	0,4	600
2	0,7	600
3	1,5	300
4	2,0	300
5	2,5	300
6	2,5	150

Voer de volgende berekeningen uit :

$$A_f(t) = 2 \cdot \left(\frac{t}{t_c}\right)^2 \quad (31)$$

$$Q_f(t) = k_{ref} \cdot A_f(t) \quad (32)$$

$$P_f(t) = 2 \cdot (\pi \cdot A_f(t))^{0,5} \quad (33)$$

waarin:

$Q_f(t)$ Vermogen van de brand als functie van de tijd t na ontstaan, in W;

$A_f(t)$ Grondoppervlakte brand als functie van de tijd t na ontstaan, in m;

$P_f(t)$ Omtrek van de brand als functie van de tijd t na ontstaan, in m;
 k_{ref} Vermogensdichtheid, in W/m^2 .

6 Modelling rookverspreiding : Brand in een aangrenzende ruimte

6.1 Algemeen

Het rookdebiet en het vermogen, die uit een aangrenzende ruimte de grote ruimte instromen worden bepaald door de geometrie van de aangrenzende ruimte en de omvang en het vermogen van de brand, en de afmetingen van de gevelopeningen in de scheiding tussen de grote ruimte en de aangrenzende ruimte.

In de berekening wordt gerekend met één opening met resp. A_g , h_g , w_g en y_g , als de oppervlakte, de hoogte en de breedte van de gevelopening, en de stijghoogte tot bovenzijde van de gevelopening.

Bij aanwezigheid van meerdere openingen n moet de waarde voor A_g , h_g , w_g en y_g als volgt worden bepaald aan de hand van de waarden van A_n , h_n , w_n en y_n van deze openingen.

$$A_g = \sum A_n \quad (34)$$

$$y_g = \frac{\sum (y_n \cdot A_n)}{A_g} \quad (35)$$

$$h_g = \frac{\sum (h_n \cdot A_n)}{A_g} \quad (36)$$

w_g de grootste horizontale afstand tussen twee punten van alle geveldelen die niet 20 minuten brandwerend zelfsluitend zijn uitgevoerd.

Met behulp van hoofdstuk 4 kan de omvang en het vermogen van de brand worden bepaald op elk tijdstip t na het ontstaan van de brand. Met de regels in deze paragraaf kan worden bepaald of de brand (op dat moment) ventilatiebeheerst of brandstof beheerst is.

Vervolgens kunnen het debiet en het vermogen bepaald worden van de rook die de grote ruimte instroomt, opstijgt en uiteindelijk de rookbuffer instroomt. De hoogte van de grote ruimte, en de dikte van de rooklaag die op dat moment al aanwezig is in de grote ruimte, zijn daarbij bepalend.

Noot: De overgang van brandstofbeheerst naar ventilatie beheerst wordt aangeduid met "vlamoverslag". Het tijdstip waarop dit gebeurt wordt aangeduid als t_{1-vo} , benodigd voor de "vluchtmethodiek".

6.2 Brandscenario

Bepaal het vermogen $Q_f(t)$ en de omtrek $P_f(t)$ van de brand op tijdstip t volgens hoofdstuk 4.

6.3 Rookstroming door de gevelopening: brandstof-beheerst (index 'bb')

Het massadebiet van de rook door de gevelopening op enig moment bedraagt bij de brandstof-beheerste brand:

$$m_{bb} = 0,2 \cdot P_f(t) \cdot y_g^{3/2} \quad (37)$$

$$q_{bb} = Q_f(t) \quad (38)$$

$$T_{bb} = T_{omg} + \frac{q_{bb}}{m_{bb} \cdot 1000} \quad (39)$$

waarin:

m	Massadebiet, in kg/s;
A_g	Oppervlakte gevelopening (dagmaat), in m^2 ;
h_g	Hoogte gevelopening, in m;
q_g	Thermisch vermogen door de gevelopening, in W;
$Q_f(t)$	Vermogen van de brand op tijdstip t bepaald volgens hoofdstuk 5, in W;
$P_f(t)$	Omtrek van de brand op tijdstip t , in m;
T_{bb}	Temperatuur rookstroom door gevelopening, in K;
y_g	Stijghoogte tot bovenzijde gevelopening, in m.
T_{omg}	Omgevingstemperatuur

indices:

g: gevelopening

f: brand

bb: brandstof-beheerste brand

vb: ventilatie-beheerste brand

6.4 Rookstroming door de gevelopening: ventilatie-beheerst (index 'vb')

Voer de volgende berekeningen uit :

$$m_{vb} = 0,5 \cdot A_g \cdot \sqrt{h_g} \quad (40)$$

$$q_{vb} = 0,46 \cdot 10^6 \cdot A_g \cdot \sqrt{h_g} \quad (41)$$

$$T_{vb} = 1200 \quad (43)$$

6.5 Bepaling van de eigenschappen van de rookstroming door de gevelopening

Indien $q_{bb} < q_{vb}$ én $T_{bb} < 873$ [K] dan is de brand op tijdstip t brandstof beheerst (bb), in alle andere gevallen is de brand ventilatie beheerst (vb). Voor de twee situaties - ventilatie beheerst of brandstofbeheerst- verschilt de bepalingsmethode als volgt:

Ventilatie beheerst (vb):

$$q_g = \text{minimum} \left(3 \cdot q_{vb}, k_{ref} \cdot \frac{A_{aangr}}{2} \right) \quad (44)$$

$$m_g = m_{vb} \quad (45)$$

$$T_g = T_{vb} \quad (46)$$

Brandstof beheerst (bb):

$$q_g = q_{bb} \quad (47)$$

$$m_g = m_{bb} \quad (48)$$

$$T_g = T_{bb} \quad (49)$$

waarin:

A_{aangr}	Oppervlakte aangrenzende ruimte, in m^2
q_g	Vermogen van de rookstroom door de gevelopening, in W
m_g	Massadebiet van de rookstroom door de gevelopening, in kg/s

6.6 Rookstroming naar de rookbuffer**6.6.1 Massadebiet (m_b), temperatuur (T_b) en de breedte (w_b) van de rookstroom die de grote ruimte instroomt**

Bij afwezigheid van een balkon, tussenvloer of anderszins uit de gevel stekend vlak boven de gevelopening zijn m_b en T_b gelijk aan de waarden in de gevelopening m_g en T_g zoals is berekend in de voorgaande paragraaf.

De breedte w_b van de rookstroom is gelijk aan w_g , met w_g is de grootste horizontale afstand tussen twee punten van geveldelen die minder dan 20 minuten brandwerend zelfsluitend zijn.

Bij aanwezigheid van een balkon of anderszins uit de gevel stekend vlak boven de gevelopening zijn m_b en T_b gelijk aan:

$$m_b = (1 + \Delta y) \cdot m_g \quad (50)$$

$$T_b = \text{minimum} \left(T_{omg} + \frac{q_g}{1000 \cdot m_b} ; 1200 \right) \quad (51)$$

$$w_{nr} = w_g + 2 \cdot d_b \quad (52)$$

waarin:

d_b	diepte van het balkon, gemeten loodrecht op de gevel naar aangrenzende ruimte, in m;
m_b	massadebiet onder het 'balkon', in kg/s;
m_g	massadebiet door de gevelopening, in kg/s;
Δy	stijghoogte van bovenzijde gevelopening tot onderzijde balkon, in m;
T_{omg}	Temperatuur omgeving, in K.
w_g	Breedte gevelopening, in m
w_{nr}	Breedte rookstroming na rotatie om de gevelopening

6.6.2 Massadebiet (m_{nr}) en de temperatuur (T_{nr}) van de rook na rotatie rond de plafond/balkonrand

$$m_{nr} = (1 + 0,8 \cdot T_b / T_{omg}) \cdot m_b \quad (53)$$

$$T_{nr} = T_{omg} + \frac{q_g}{1000 \cdot m_{nr}} \quad (54)$$

waarin:

m_{nr}	massadebiet na rotatie, in $kg \cdot s^{-1}$;
m_b	massadebiet onder het 'balkon', in $kg \cdot s^{-1}$;
T_b	rooktemperatuur onder het 'balkon', in K;
T_{omg}	omgevingstemperatuur, in K.
q_g	vermogen dat door de gevelopening stroomt, in W

6.6.3 Massadebiet (m_z) en temperatuur (T_z) van de rook na opstijgen over hoogte z

Voer de volgende berekeningen uit:

$$a = \left[\frac{m_{nr} \cdot \sqrt{T_{nr}}}{3 \cdot w_{nr}} \right]^{1/3} \quad (55)$$

Noot:

Indien de stijghoogte z kleiner is dan 1 m, reken dan in de volgende formule toch met $z=1$ m. (De onderzijde van de rookbuffer is bijna tot op het niveau van de brand gedaald)

$$m_z = (1 + z/a)^{3/2} \cdot m_{nr} \quad (56)$$

$$q_z = q_g \quad (57)$$

$$T_z = T_{omg} + \frac{q_g}{1000 \cdot m_z} \quad (58)$$

waarin:

a hulpfactor

m_z massadebiet dat de rookbuffer binnen stroomt, in kg/s;

m_{nr} massadebiet na rotatie rond het balkon/plafond, in kg/s;

z stijghoogte van balkon tot onderzijde rookbuffer, in m;

Noot: Bij afwezigheid van een balkon is z gelijk aan de stijghoogte van de bovenzijde van de gevelopening tot onderzijde rookbuffer;

T_{nr} temperatuur na rotatie, in K;

w_{nr} breedte van de stroming na rotatie, in m.

7 Modelling rookverspreiding : Brand in de grote ruimte

7.1 Algemeen

Met de rekenregels in paragraaf 7.2 kunnen de eigenschappen van de rookstroom die de rookbuffer instroomt worden bepaald.

Indien een tussenvloer aanwezig is in de grote ruimte, dan moet ook de berekening volgens paragraaf 7.3 worden uitgevoerd. De resultaten komen overeen met resp. de situatie van een brand onder de tussenvloer en een brand elders in de grote ruimte.

Beide resultaten moeten worden meegenomen als invoer voor de vluchtmethodiek [1].

7.2 Rookstroming naar de rookbuffer

Bepaal van de brand op tijdstip t de omtrek (P_f), het vermogen (Q_f) en vermogensdichtheid k_{ref} volgens hoofdstuk 5.

De massa m_z en het vermogen q_z die de rookbuffer instromen kunnen als volgt bepaald worden:

$$q_z = Q_f(t) \quad (59)$$

$$T_z = T_{omg} + \frac{q_z}{1000 \cdot m_z} \quad (60)$$

Noot:

Indien de stijghoogte z kleiner is dan 1 m, reken dan in de volgende formule toch met $z=1$ m (De onderzijde van de rookbuffer is bijna tot op het niveau van de brand gedaald).

$$m_z = 0,2 \cdot P_f(t) \cdot z^{3/2} \cdot \left(\frac{k_{ref}}{0,5 \cdot 10^6} \right)^{1/3} \quad (61)$$

waarin:

q_z Vermogen dat de rookbuffer instroomt, in W;

T_z	Temperatuur van de rookgassen in de rookbuffer, in K;
m_z	Massadebiet dat de rookbuffer instroomt, in kg/s;
z	Stijghoogte van de brand tot de onderkant van de rookbuffer, in m.

7.3 Invloed van een tussenvloer

Bij aanwezigheid van een tussenvloer kán de brand in de grote ruimte onder de tussenvloer plaatsvinden. Dit is alleen van invloed op de rookverspreiding als de kleinste horizontale afmeting van de vloer groter is dan 4 m. In dat geval moeten óók berekeningen gemaakt worden volgens hoofdstuk 6. Voor die berekeningen moet de ruimte onder de tussenvloer beschouwd worden als een aangrenzende ruimte, met de volgende aanpassingen:

- de oppervlakte van de aangrenzende ruimte A_{aangr} is gelijk aan de oppervlakte van de tussenvloer,
- de breedte van de gevelopening w_g is gelijk aan de lengte van de langrand van de tussenvloer,
- de hoogte van de gevelopening h_g is gelijk aan de hoogte van de tussenvloer,
- de bovenzijde van de gevelopening y_g is gelijk aan de hoogte van de tussenvloer,
- Het brandscenario is gelijk aan het brandscenario behorend bij een brand in de grote ruimte, bepaald volgens hoofdstuk 5.

Noot: Aangenomen wordt dat geen scheidingsconstructie aanwezig is langs de rand van de tussenvloer; ($t_{1\text{-breuk}} = 0$).

Het ongunstigste resultaat van beide berekeningen is bepalend; in de meeste gevallen zal de situatie van brand onder de tussenvloer het ongunstigst zijn voor de vultijd van de grote ruimte.

8 Rook- en warmteafvoer: Rookluiken of rookventilatoren

8.1 Inleiding

Een rook- en warmteafvoerinstallatie in de grote ruimte is van invloed op de vultijd in een gebouw; afhankelijk van de capaciteit zal (een deel van) de rook die de rookbuffer instroomt worden afgevoerd. De snelheid waarmee de ruimte gevuld wordt is daardoor lager.

Een RWA-systeem bestaat uit voorzieningen voor de afvoer van rook in de overkapping van de grote ruimte (luiken of ventilatoren), gecombineerd met openingen op laag niveau in de grote ruimte voor de toevoer van frisse lucht.

Een RWA-installatie kan zowel mechanisch (ventilatoren) als natuurlijk (rookluiken) worden uitgevoerd. Uitgegaan wordt van een RWA-installatie die voldoet aan de voorwaarden in de norm NEN 6093, en die wordt aangestuurd door een brandmeldinstallatie met rookmelders.

In het vultijdenmodel mag de invloed van de RWA-installatie uitsluitend worden meegenomen als op basis van de berekeningen de vorming van een rookbuffer kan worden gegarandeerd (hoofdstuk 3.2), en detectie (bepaald volgens par ?) heeft plaats gevonden.

8.2 Natuurlijke afvoer (rookluiken)

Het debiet en het vermogen van de rook die wordt afgevoerd kan als volgt worden berekend:

$$m_{afv} = 3,2 \cdot A_u \cdot \left[\frac{D_{rtaag} \cdot (1 - T^*) \cdot T^*}{1 + \left(\frac{A_u}{A_i} \right)^2 \cdot T^*} \right]^{1/2} \quad (62)$$

$$q_{afv} = m_{afv} \cdot 1000 \cdot (T_{rook} - T_{omg}) \quad (63)$$

$$z_{afv} = m_{afv} \cdot \frac{T_{rook}}{353} \cdot RD \quad (64)$$

met daarin:

$$T^* = T_{omg} / T_{rook};$$

T_{rook}	Temperatuur van de rooklaag, in K;
A_u	Oppervlakte (dagmaat) van de afvoeropeningen in m^2 ;
A_i	Oppervlakte (dagmaat) van de aanvoeropeningen in m^2 ;
m_{afv}	Massadebiet aan rook dat wordt afgevoerd in kg/s ;
q_{afv}	Vermogen dat wordt afgevoerd in W;
D_{rilaag}	Dikte rooklaag, in m;
RD	Rookdichtheid in de rooklaag op tijdstip t, in m^{-1} .

8.3 Mechanische afvoer (rookventilatoren)

Het debiet en het vermogen van de rook die mechanisch wordt afgevoerd kan als volgt worden berekend:

$$q_{\text{afv}} = m_{\text{afv}} \cdot 1000 \cdot (T_{\text{rook}} - T_{\text{omg}}) \quad (65)$$

$$m_{\text{afv}} = v_{\text{afv}} \cdot \frac{353}{T_{\text{rook}}} \quad (66)$$

$$z_{\text{afv}} = v_{\text{afv}} \cdot \text{RD} \quad (67)$$

met daarin:

T_{rook}	Temperatuur rook in de rookbuffer in K;
T_{omg}	Omgevingstemperatuur(buitenlucht), in K
m_{afv}	Massadebiet aan rook dat wordt afgevoerd in kg/s ;
v_{afv}	Volumedebiet RWA-ventilatoren; in m^3/s ;
q_{afv}	Vermogen dat wordt afgevoerd in W;
RD	Rookdichtheid in de rooklaag op tijdstip t, in m^{-1} .

9 Afkoeling aan wanden en plafond van de grote ruimte

9.1 Algemeen

Afkoeling aan wanden en plafond van de grote ruimte is in het model opgenomen, omdat dit invloed heeft op de rooktemperatuur en de vultijd. Het model is gebaseerd op de penetratie theorie. Afkoeling treedt op aan het plafond van grote ruimte en aan dat deel van de wanden dat in contact is met rook (het deel van de wanden in de rookbuffer) .

9.2 Modellerings afkoeling

Het totale vermogen $q_{afk}(t)$ dat op tijdstip t door afkoeling via plafond/wanden aan de rookgassen wordt onttrokken kan als volgt worden bepaald:

$$Opp_{afk} = Opp_{hal} + Omtrek_{hal} \cdot D_{rlaag} \quad (68)$$

$$q_h = Opp_{afk} \cdot 2 \cdot b_{factor} \cdot \Delta T \cdot \left(\frac{1}{\pi t} \right)^{0,5} \quad (69)$$

$$q_{afk}(t) = \text{minimum} [q_h ; 20 \cdot \Delta T \cdot Opp_{afk}] \quad (70)$$

waarin :

ΔT	Temperatuurverschil tussen rookgas T_{rook} en omgeving T_{omg} op tijdstip t , in K;
t	tijd vanaf het ontstaan van de rookbuffer, in s;
λ	warmte geleidingscoëfficiënt van de wand, in W / (K·m);
C_p	warmte capaciteit van de wand, in J / (kg·K);
ρ	soortelijke massa van de wand, in kg /m ³ ;
b-factor	thermische traagheid van de wand (**), in J/(m ² ·s ^{0.5} ·K);
$q_{afk}(t)$	Afkoeling (vermogen) op tijdstip t , in W;
q_h	Hulpfactor, in W;
D_{rlaag}	Dikte rooklaag in de grote ruimte, in m;
Opp_{afk}	Totaal oppervlak (dak + deel van de wand) in aanraking met rook, in m ² ;
Opp_{hal}	Oppervlakte van de grote ruimte, in m ² ;
$Omtrek_{hal}$	Omtrek van de grote ruimte, in m.

(**) Te bepalen volgens par 9.3

9.3 Materiaal eigenschappen

9.3.1 Algemeen

De thermische eigenschappen van de wandmaterialen bepalen de mate van afkoeling van de rookgassen. Voor de bepaling van de afkoeling is gebruik gemaakt van een eenvoudig model dat uitgaat van één samengestelde parameter waarmee het thermische gedrag van een wand wordt omschreven, de zgn. b-factor.

Voor wanden bestaand uit één materiaal moet de b-factor worden bepaald volgens par. 9.3.2.

Voor wanden bestaand uit meerdere materialen, (sandwich constructie / isolatie) kan de b-factor worden bepaald aan de hand van par 9.3.3.

9.3.2 b-factor : wanden met één materiaal

De b-factor van wanden bestaand uit één materiaal kan op de volgende wijze worden bepaald. Deze benadering gaat alleen op voor wanden met een dikte groter dan 10 cm.

$$b\text{-factor} = (\lambda \cdot \rho \cdot C_p)^{0,5} \quad (71)$$

waarin :

λ	warmte geleidingscoefficient, in W / (m·K);
C_p	soortelijke warmte, in J / kg K;
ρ	dichtheid, in kg/m ³ ;
b-factor	thermische traagheid, in J m ⁻² s ^{-0.5} K ⁻¹

9.3.3 b-factor : wanden met meerdere materialen.

Bij sandwich-constructies wordt voorgesteld om te rekenen met een b-factor gelijk aan de kleinste b-factor van de samenstellende materialen in de binnenste 10 cm van de wand.

10 Automatische detectie

Indien de grote ruimte is voorzien van rookdetectie met rookmelders onder het dak, moet worden aangenomen dat een detectie heeft plaatsgevonden 60 s na het moment waarop de rookdichtheid ter plaatse van een rookdetector groter is dan $0,05 \text{ m}^{-1}$ mits het ontstaan van een rookbuffer gegarandeerd kan worden (zie paragraaf 3.2) Indien een dergelijke rookbuffer niet kan worden gegarandeerd dan moet worden uitgegaan dat pas detectie optreedt op het moment dat de gemiddelde rookdichtheid, bepaald volgens het model van homogene opmenging (zie paragraaf 3.3) groter wordt dan $0,05 \text{ m}^{-1}$.

Automatische detectie systemen met een ander type sensoren (bijv. temperatuur of straling) zullen over het algemeen trager aanspreken en worden in het kader van de vluchtmethodiek niet meegenomen.

Indien de aangrenzende ruimte is voorzien van rookdetectie conform NEN 6093 kan worden aangenomen dat detectie plaats heeft gevonden binnen 60 s na aanvang van de brand in de aangrenzende ruimte.



ir. N.J. van Oerle

11 Referenties

- [1] ir. E.W. Janse, ir. N.J. van Oerle, ir. P.H.E. van de Leur:
"Richtlijn vluchtmethodiek grote brandcompartimenten"
TNO-rapport 96-CVB-R0330(3), Delft 1996.
- [2] ir. N.J. van Oerle, ir. E.W. Janse, ir. P.H.E. van de Leur:
"Achtergronden vultijdenmodel grote brandcompartimenten"
TNO-rapport 96-CVB-R0330(4), Delft 1996.