

96-CVB-R0330(2) **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	VULTIJDEN MODEL	3
1.1	Achtergrond document	3
1.2	Doelstelling onderzoek	3
1.3	Gekozen rekenmethodiek	4
2	BRANDSCENARIO	5
2.1	Inleiding	5
2.2	Brandgedrag wanden	5
2.3	Brand in een aangrenzende ruimte	6
2.4	Brand in de grote ruimte	8
3	AFKOELING AAN WANDEN	12
3.1	Inleiding	12
3.2	Modellering afkoeling aan wanden	13
4	OBSTRUCTIES IN HET GROTE BRANDCOMPARTIMENT	15
5	UITBREIDING TOEPASSINGSGEBIED	17
5.1	Inleiding	17
5.2	Modellering	17
6	DETECTIE	19
7	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	20
7.1	Brandgedrag wanden	20
7.2	Toetsing aan praktijk	20
8	GERAADPLEEGDE LITERATUUR	21

1 VULTIJDEN MODEL

1.1 Achtergrond document

Dit document bevat de achtergronden bij het rapport "Richtlijn vultijdenmodel grote brandcompartimenten" in opdracht van VROM. Het betreft voornamelijk de motivatie voor de gemaakte keuzen van de modellen in de richtlijn, TNO-rapport 96-CVB-R0330(1).

1.2 Doelstelling onderzoek

Het opstellen van een model, 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 worden bepaald hoe lang na het ontstaan van brand de vluchtwegen in de grote ruimte beschikbaar blijven.

Voor het vultijdenmodel is uitgegaan van het bestaande programma "HallFill", waarmee de rookverspreiding in gebouwen kan worden bepaald.

Op een aantal punten zijn wijzigingen/toevoegingen aangebracht in het model. In de volgende hoofdstukken zijn deze aanpassingen weergegeven.

Toevoegen brandscenario:

In HallFill moet het brandscenario door de gebruiker worden ingevoerd. Deze aanpak is niet geschikt voor het vultijdenmodel. Daarom zijn regels in het model opgenomen om het brandscenario te kunnen bepalen.

Deze inschatting is gebaseerd op (zo weinig mogelijk) gegevens ten aanzien van het type, hoeveelheid, plaats van de brandbare inrichting/goederen in de grote ruimte, alsmede van de geometrie van het compartiment.

Afkoeling aan wanden en plafond van de grote ruimte:

Afkoeling aan wanden is in HallFill niet opgenomen. Dit is gecompenseerd door het toevoegen van een veiligheidsfactor. Om het toepassingsgebied uit te breiden, is een dergelijke aanpak voor het vultijdenmodel niet goed mogelijk. Een model voor het bepalen van de afkoeling is daarom opgenomen, zodat genoemde veiligheidsfactor niet nodig is.

Obstructies in de grote ruimte zoals een tussenvloer:

In HallFill kan de invloed van een tussenvloer in de grote ruimte niet worden bepaald. In het vultijdenmodel is daar een model voor ingebouwd.

Uitbreiding van toepassingsgebied:

HallFill is bedoeld voor het berekenen van rook- en warmteafvoer systemen in grote ruimten met een oppervlakte tot maximaal 2000 m² en een hoogte tot ongeveer 10 m.

Door het toevoegen van de afkoeling in het model, kan het toepassingsgebied worden uitgebreid tot - maximale oppervlakte tot 15.000 m², cq.

- maximale hoogte van de grote ruimte tot 50 m.

Bij grotere of hogere ruimten is het vultijdenmodel niet toepasbaar. Op andere wijze moet in dat geval een veilige ontruiming worden gerealiseerd.

Analyse Vluchtwegmethodiek:

Uit de resultaten van het vultijdenmodel (de condities in het grote brandcompartiment) kan worden bepaald hoe lang de vluchtroutes in een ruimte beschikbaar zijn. Met de vluchtmethodiek kan de ontruimingstijd van een ruimte worden bepaald. De vergelijking bepaalt of het gebouwoontwerp veilig is met betrekking tot het vluchten.

1.3 Gekozen rekenmethodiek

Het rekenmodel is gebaseerd op een expliciete methode, waarbij de condities in de ruimte worden berekend aan de hand van de condities in de vorige tijdstap, gecombineerd met de toevoer van rook en warmte door de brand, de afvoer door RWA etc. . Uit proefberekeningen blijkt dat een tijdstap van 0.1 s voldoende nauwkeurig is. (T.a.v. de rooktemperatuur en rooklaagdikte is de afwijking tussen een berekening met tijdstap 0.1 en dezelfde berekening met tijdstap 0.2 s kleiner dan 3%)

Om numerieke problemen te voorkomen bij het oplossen van het expliciete schema moet, in de beginfase na het ontstaan van de brand, de beperking worden opgelegd dat in een tijdstap nooit meer massa, energie etc. vanuit de rookbuffer kan worden afgevoerd (door RWA of afkoeling) dan in de vorige tijdstap in de rookbuffer aanwezig was.

In het model is een aantal beperkingen van het toepassingsgebied opgenomen.

2 BRANDSCENARIO

2.1 Inleiding

Voor de bepaling van de tijd waarin een grote ruimte met rook gevuld raakt in geval van brand, moet een inschatting worden gemaakt van de te verwachten brandontwikkeling. Bepalend is de ontwikkeling in de tijd van de afmetingen, het vermogen en de rookproductie van de brand, alsmede de plaats van de brand: het brandscenario.

Voor het brandscenario wordt in dit onderzoek uitgegaan van een kwadratische ontwikkeling in de tijd van het vermogen van de brand. In de literatuur wordt een indeling in vier klassen gehanteerd: langzaam, matig, snel en zeer snel.

Een kwadratische brandontwikkeling kan worden gekarakteriseerd door de tijd vanaf het ontstaan van brand totdat het vermogen van de brand 1 MW bedraagt. (voor de vier klassen 600, 300, 150 resp. 75 s) [7], [6].

N.B. In B90-084 [2] wordt in afwijking hiervan gewerkt met een vaste, volledig ontwikkelde brand. Zo'n aanpak is voor dit doel niet geschikt (té veilig), omdat de vultijd dan fors onderschat zou worden: in de groeifase van de brand is de rookproductie veel lager.

2.2 Brandgedrag wanden

Voor alle berekeningen wordt er van uitgegaan dat de wand/plafond materialen voldoen aan bepaalde eisen ten aanzien van het brandgedrag, om te voorkomen dat de branduitbreiding via wanden en plafond bepalend wordt.

Een aantal voorbeelden voor wanden/plafond materialen die een zeer grote branduitbreiding snelheid kunnen opleveren zijn:

1= wanden/plafond geïsoleerd met onbehandelde polystyreen platen (bijvoorbeeld vriescel)

2= binnenwand van platen polystyreen schuim gecacheerd met aluminium folie

3= sandwich damwanden gevuld/geïsoleerd met polystyreen

Nader bekeken moet worden op welke wijze dit kan worden ondervangen. Welke eisen moeten of kunnen gesteld worden aan het brandgedrag van wanden en plafond, om genoemde snelle branduitbreiding te voorkomen.

De eis van "brandvoortplantingsklasse 4 of beter" volgens NEN 6065 is niet voldoende om materiaal 2 en 3 te weren. Het karakter van de bepalingsmethode NEN 6065 is niet altijd geschikt voor het voorspellen van het branduitbreidingsgedrag langs verticale oppervlakken. Met name wanden met naden kunnen -ondanks een gunstige klassering volgens NEN 6065- een erg snelle verticale branduitbreiding veroorzaken, hetgeen zelfs bepalend kan zijn voor de vultijd van een grote ruimte. Voor wanden lijkt een brandwerendheidseis, om de verticale branduitbreiding te beperken, praktisch niet geschikt. Een alternatief is wellicht te vinden in de ISO 9705, "Roomcorner" test. Op dit moment is niet zeker of met deze methode het brandgedrag van alle bovengenoemde materialen voldoende kan worden beoordeeld om een eis te kunnen opstellen. Vooralsnog is daarom geen eis in de richtlijn opgenomen.

2.3 Brand in een aangrenzende ruimte

Binnen het model passen alleen 'aangrenzende ruimten' met een vloeroppervlakte $< 250 \text{ m}^2$ met één bouwlaag (hoogte $< 4,5 \text{ m}$), die direkt grenzen aan de grote ruimte, en die ten minste 20 minuten brandwerend gescheiden zijn van andere 'aangrenzende ruimten'. Een aangrenzende ruimte kan op grond van het bovenstaande zijn ingedeeld in meerdere kleine ruimten. Voor grotere of hogere 'aangrenzende ruimten' is het brandscenario en de rookverspreiding niet toepasbaar. Als de lage ruimte aan de grote ruimte grenst over meer dan één zijde (brandwerendheid kleiner dan 20 minuten), dan is het model (de rookverspreiding) niet toepasbaar.

Deze beperking is gemaakt omdat anders de rookverspreiding in de aangrenzende ruimte zelf, of naar andere aangrenzende ruimten, een belangrijke rol gaat spelen bij de vultijd van de grote ruimte. De aangrenzende ruimte mag vrij worden ingedeeld; berekeningen moeten alleen worden uitgevoerd voor de niet-ingedeelde situatie; eventueel op de vergunning aanvraag aanwezige indeling moet voor de berekeningen worden weggelaten.

In de scheiding naar de grote ruimte kunnen delen aanwezig zijn die niet -of niet voldoende-brandwerend (*) zijn uitgevoerd. Deze delen van de gevel kunnen geopend zijn bij aanvang van de brand (**) of in geval van brand na enige tijd bezwijken.

Voor beide varianten (alle delen open of dicht bij aanvang brand) moeten berekeningen van de vultijd worden uitgevoerd. De delen die ten minste 20 minuten brandwerend zijn, worden verondersteld gedurende de gehele gebruiksperiode van het gebouw te blijven bestaan. Omdat de gevel van belang is voor de rookverspreiding moet dit in de bouwvergunning worden opgenomen.

In de variant "Gesloten bij aanvang brand" geldt daarbij:

Alle geveldelen die niet voldoende brandwerend zijn, worden verondersteld geheel te bezwijken als de gemiddelde temperatuur in de aangrenzende ruimte hoger wordt dan 150°C . Dit sluit aan bij de bezwijktemperatuur van eenvoudig floatglas.

Ook geveldelen, samengesteld uit andere materialen, die niet voldoende brandwerend zijn, worden in het model als glas behandeld. In de praktijk zullen deze geveldelen grote spreiding vertonen in de werkelijke "bezwijktijd/temperatuur". Deze eenvoudige modellering is in overleg met de opdrachtgever gekozen.

- (*) In het model wordt 20 minuten brandwerendheid (én zelfsluitend) als voldoende brandwerend beschouwd; dit is gebaseerd op het uitgangspunt dat aanwezigen in het algemeen binnen 20 minuten na het ontstaan van brand de grote ruimte hebben verlaten. Alle delen van de gevel met een brandwerendheid van minder dan 20 min worden verondersteld niet brandwerend te zijn.
- (**) In de situatie "geopend bij aanvang" worden alle niet voldoende brandwerende geveldelen bij aanvang brand als geopend verondersteld, ook de niet-beweegbare delen. Dit is een vereenvoudiging van het werkelijk te verwachten gedrag in de praktijk.

In de richtlijn is voor het bezwijken van niet voldoende brandwerende geveldelen (deze worden beschouwd als niet brandwerend: glas) een eenvoudig model toegevoegd; dit model is gebaseerd op een homogene temperatuur in de ruimte, waarbij de expansie door opwarming niet is meegenomen. (Het weglaten van expansie is een veilige aanname voor de bepaling van de vultijd van de grote ruimte, omdat het leidt tot langere tijden tot bezwijken van de geveldelen, en daarmee tot een grotere brand op dat moment; het feit dat afkoeling aan de wanden in de aangrenzende ruimte niet wordt meegenomen, wordt in deze situatie gecompenseerd.)

In formulevorm:

$$E = \frac{2/3 \cdot k_{ref}}{t_c^2} \cdot t^3$$

$$M = \rho_0 \cdot V = 1,2 \cdot V$$

$$\Delta T = \frac{E(t)}{(M \cdot C_p)}$$

waarin:

k_{ref} Vermogensdichtheid v/d brand, in W/m^2

$E(t)$ Totale energie door de brand geleverd, in J;

M Totale luchtmassa in de aangrenzende ruimte, in kg;

V Volume van de aangrenzende ruimte, in m^3 ;

ΔT Temperatuurstijging luchtmassa in de aangrenzende ruimte (130), in K.

Dit leidt tot bezwijken van het glas (niet voldoende brandwerende delen) op tijdstip t_{breuk} :

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

Voorgesteld wordt om er van uit te gaan dat een brandwerendheid van minimaal 20 minuten voldoende is om te kunnen garanderen dat een gevel(deel) gesloten blijft gedurende de periode waarvoor het vultijdenmodel is bedoeld (de beginfase van de brand).

Voor de brand in een aangrenzende ruimte wordt met de volgende gebouw 'functies' gerekend:

kantoorruimte : brandscenario 'matig'

winkelruimte : brandscenario 'snel'

Opmerking: Andere gebouwfuncties zijn niet voorzien. Eventueel kunnen andere functies op vergelijkbare wijze aan worden gepakt. Zo zal een restaurant (horeca-functie) naar verwachting een gunstiger brandscenario hebben dan een kantoorruimte. Voor opslag in de aangrenzende ruimte daarentegen is de richtlijn niet van toepassing.

De reden dat met standaard scenario's gewerkt kan worden is het feit dat de ruimte een beperkte hoogte heeft, zodat aansluiting is gevonden in de literatuur. De branduitbreidingsnelheid is gebaseerd op [6] terwijl de vermogensdichtheid is gebaseerd op [2] en [10].

Naast het brandscenario, bepalen alleen de afmetingen van de ruimte en de openingen naar de aangrenzende grote ruimte het debiet van de rookstroom naar de grote ruimte. Het bezwijken van ruiten wordt meegenomen (zie bovengenoemd temperatuurcriterium van 150 °C).

De afkoeling aan wanden en plafond in de kleine ruimte wordt verwaarloosd. Dit is een veilige aanname in geval van geopende geveldelen (ruiten): niet alleen zal de "flash-over" eerder bereikt worden, maar ook het rookdebiet naar de aangrenzende (grote) ruimte is groter.

Na het bereiken van "flash-over" in de kleine ruimte, wordt het debiet en het vermogen van de rookstroom naar de grote ruimte alleen door de openingen naar de grote ruimte bepaald. Na flash-over wordt het brandoppervlak gelijk genomen aan de halve vloeroppervlakte van de betreffende aangrenzende ruimte. [23]

Voor alle, direct aan de grote ruimte grenzende, kleine ruimten moeten de berekeningen worden uitgevoerd; de ongunstigste variant is bepalend voor de vultijd. De bepaling van de branduitbreiding van de éne naar de andere kleine ruimte wordt in het vultijdenmodel niet meegenomen: aangrenzende ruimten zijn onderling ten minste 20 minuten brandwerend gescheiden.

Vrije indeelbaarheid:

In het huidige model is de niet-ingedeelde situatie in de aangrenzende ruimte bepalend; alleen voor die situatie hoeven berekeningen te worden uitgevoerd.

2.4 Brand in de grote ruimte

2.4.1 Algemeen

Voor de bepaling van het (bepalende) brandscenario in een gebied speelt een groot aantal parameters een rol. De belangrijkste zijn de hoeveelheid, het type en de plaats van de brandbare stoffen in de ruimte. Daarbij wordt uitsluitend uitgegaan van brandbare materialen in vaste vorm. (Geringe hoeveelheden brandbare vloeistoffen zijn toegestaan, vergelijk bijvoorbeeld de brandspiritus in een supermarkt.)

Het model moet met zo weinig mogelijk gegevens het brandscenario kunnen bepalen. Voor categorieën gebouwen die wat betreft inrichting weinig verschillen, of die een geringe vuurbelasting bevatten kan op basis van literatuur eenvoudig het brandscenario bepaald worden, zonder exacte informatie over de inrichting van het gebouw (bijvoorbeeld 'een kantooruimte' is genoeg informatie).

Voor gebouwen met een hoge vuurbelasting -bijv. in de vorm van gestapelde brandbare goederen- gaat deze benadering niet op. De stapelhoogte en het type materiaal en opslagwijze spelen een dominante rol in het brandscenario; deze aspecten zijn dan ook opgenomen in het vultijdenmodel.

2.4.2 Klasse I

Een lage vuurbelasting is aanwezig; voor de grenswaarde van 152 MJ/m^2 is aangesloten bij de brandbeveiligingsconcepten (komt overeen met ca. $8 \text{ kg vurehout per m}^2$, uitgaande van een verbrandingswarmte van $19 \text{ MJ per kg vurehout}$).

Gedacht wordt aan bijvoorbeeld een station of een sporthal.

Deze eis is echter niet zodanig dat geen brand van enige omvang kan ontstaan; in het model wordt daarom toch een brand aangenomen, zij het een brand met een trage groei en met een geringe vermogensdichtheid, onafhankelijk van de stapelhoogte ed. [9]

2.4.3 Klasse II

Voor deze klasse is een aanzienlijke vuurbelasting aanwezig, zij het alleen in een zone van 3 m boven de vloer. Deze indeling is gebaseerd op de wetenschap dat het risico steeds groter wordt bij hoge stapeling. Enerzijds zal de brand zich sneller uitbreiden, en anderzijds is het vermogen per m^2 vloeroppervlakte veel groter. De grenswaarde van 3 m is gekozen aan de hand van gegevens over branden in ruimten met beperkte hoogte, waarbij zonder de exacte type goederen en verpakkingswijze te weten toch een inschatting gemaakt kan worden van het brandscenario [10], [11], [6].

NB. De keuze voor de stapeling van houten pallets als "referentie-brandstof" is enerzijds gedaan omdat door uitsluiting van opslaggebouwen voor deze klasse gebouwen geen snellere brandontwikkeling verwacht kan worden, en anderzijds omdat voor stapelingen van pallets het verband tussen stapelhoogte en brandontwikkeling redelijk is onderbouwd door proeven.

2.4.4 Klasse III (industriegebouwen: opslag)

Zonder het exacte type goederen en verpakkingswijze te weten, kan in deze klassen geen goede inschatting meer gemaakt worden van het brandscenario.

Voor industriegebouwen is weinig bekend over de manier waarop het brandscenario in een specifiek gebouw bepaald kan worden uitgaande van (globale) informatie over de inrichting. De meeste grote schaal brandproeven zijn gedaan voor het gedrag van sprinklers [5]. De enige publikatie waarin een systematische aanpak is beschreven is de Duitse VdS 1098 [1]. Deze richtlijn is bedoeld voor de dimensionering van rook- en warmteafvoer systemen. Ze bevat een methode waarmee op basis van een klasse indeling op basis van goederen en/of verpakking gecombineerd met gegevens van de stapelhoogte van de goederen het brandscenario kan worden bepaald.

De fysische achtergrond van de berekeningen van de benodigde capaciteit aan rookluiken is onduidelijk, maar de bepaling van het achterliggende brandscenario is wel bruikbaar. In de VdS richtlijn wordt nl. ook uitgegaan van de vier standaard brandscenario's langzaam, matig, snel en zeer snel.

In combinatie met gegevens in de literatuur zijn vervolgens de brandscenario's voor het vultijdenmodel uitgewerkt.

Het standaard kwadratisch model (langzaam tot zeer snel) is terug gerekend naar een horizontale uitbreidingsnelheid, uitgaande van een standaard vermogen per m^2 vloeroppervlak van de brand ($0,5 \text{ MW/m}^2$).

Uit [6] : tabel B-1 is afgeleid dat het vermogen grofweg $0,5 \text{ MW/m}^2$ per meter stapelhoogte bedraagt voor palletstapeling. Gecompenseerd is voor het feit dat niet het gehele vloeroppervlakte gevuld zal

zijn met goederen (50%), en voor het feit dat de goederen minder luchtig zijn gestapeld dan in de testen met houten pallets (50%).

Door deze aanpak kan het uiteindelijke brandscenario (omvang en vermogen van de brand) worden bepaald. In de VdS is een indeling gemaakt in 4 klassen verpakkingswijze en 4 klassen goederen die verschillen in brandgedrag. Deze klassen zijn nogal vaag omschreven, waarbij uitsluitend goederen in vaste vorm worden beoordeeld. In de VdS 2098 richtlijn worden de klassen gedefinieerd aan de hand van produkten/materialen. Dit onderscheid is vertaald naar een klassering (op basis van prestatie-eisen) volgens Nederlandse beproevingsmethoden. Voor het branduitbreidingsgedrag is daarvoor verwezen naar de Nederlandse normen voor "brandvoortplanting", NEN 6065 en "onbrandbaarheid" naar NEN 6064.

Belangrijk onderdeel voor de indeling in vier klassen (goederen en verpakking) is het percentage 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 (voorlopig) omschreven in termen van kunststof met een massadichtheid kleiner dan 50 kg/m^3 , en brandvoortplantingsklasse 4 volgens NEN 6064 of slechter. Belangrijk voor het uiteindelijke brandgedrag is de hoeveelheid schuim die wordt toegepast; dit is het volume schuim uitgedrukt als percentage van het gehele volume van de verpakte goederen.

Voor (gemengde) goederen moeten de afzonderlijke materialen worden getest. De bijbehorende klasse brandgedrag wordt bepaald door het deel van de goederen met het ongunstigste brandgedrag. Bij gereede produkten zoals elektrische apparaten ligt dit een stuk moeilijker; de genoemde beproevingsmethoden zijn niet geschikt, en geen andere standaard beproevingsmethode is beschikbaar om het brandgedrag te beoordelen. Voor produkten wordt voorgesteld om alle materialen die over een diepte van 15 cm in het produkt aanwezig zijn, afzonderlijk te testen. 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 de materialen in de genoemde 15 cm diepte.

In voorkomende gevallen -als het type en de stapelwijze van de produkten vastligt- kan met een brandproef het gedrag experimenteel worden bepaald.

2.4.5 Klasse IV (industriegebouwen: productie)

Uitsluitend de functie van het compartiment bepaald het brandscenario in de VdS. Deze methode heeft grote nadelen. De tabel kan nooit uitgebreid genoeg zijn om te garanderen dat alle productieprocessen in de tabel voorkomen (nieuw proces). Voor een dergelijk proces kan geen branduitbreidingsnelheid worden bepaald. (Waar lijkt het proces het meest op?)

Bij gebrek aan systematische informatie in de literatuur is voor het vultijdenmodel toch gekozen voor deze aanpak; in de praktijk in Nederland wordt de VdS richtlijn vaak toegepast voor het ontwerpen van rook- en warmteafvoerinstallaties. Consequentie van deze aanpak is dat uit de tabel in de richtlijn blijkt dat de logica van de klassering van de productieprocessen in enkele gevallen ontbreekt.

Op dezelfde wijze als bij klasse III is het brandscenario voor het vultijdenmodel terug gerekend uit de gegevens in de VdS tabellen. De uitbreidingsnelheid is rechtstreeks uit de tabellen afgeleid (langzaam, matig en snel). Het vermogen is afgeleid van de vermogens per m stapelhoogte voor

opslaggebouwen uit dezelfde figuren.

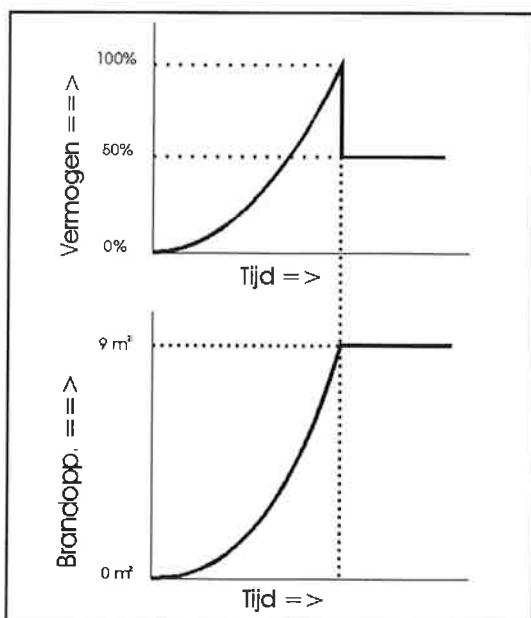
Te weten:

0,2 MW/m² per m stapelhoogte voor klasse 1 en 2, resulterend in resp. 0,4 en 0,7 MW/m²;

0,5 MW/m² per m stapelhoogte voor klasse 3, 4 en 5, resulterend in resp. 1,5; 2 en 2,5 MW/m²; 0,5 MW/m² per m stapelhoogte voor klasse 6, afgerond op 2,5 MW/m²;

2.5 Sprinklerinstallatie

Indien een sprinklerinstallatie in de aangrenzende ruimte aanwezig is, zal de brand in veel -doch niet alle- gevallen snel geblust worden, zodat geen aanzienlijke hoeveelheden rook in de grote ruimte terechtkomen. In de gevallen dat de brand niet geheel geblust wordt, blijft de omvang wel beperkt door de sprinklerinstallatie. Over het algemeen wordt in de literatuur daarbij gewerkt met een bepaalde standaard maximum brandomvang. In het vultijdenmodel is deze aanpak overgenomen en is gekozen voor een maximaal brand-grondoppervlak van $3 \times 3 = 9 \text{ m}^2$; het vermogen wordt met 50 % gereduceerd om de afkoeling aan sprinklerwater in rekening te brengen [10], [2], [12]. Zie onderstaande figuren voor een schematische weergave.



Het feit dat voor alle functies van de aangrenzende ruimte dezelfde maximum brandoppervlakte wordt gekozen, is gebaseerd op het feit dat de capaciteit van de sprinklerinstallatie wordt afgestemd op het risico. Zie literatuur [3, 4].

Gesprinklerde brand: Weergave vermogen en oppervlakte vs de tijd

3 AFKOELING AAN WANDEN

3.1 Inleiding

Het model HallFill is gebaseerd op het ontstaan van een hete rookbuffer onder het dak van de ruimte die in de loop van de tijd steeds dikker wordt, en daardoor de ruimte vult. De snelheid waarmee de ruimte gevuld wordt is afhankelijk van de brandontwikkeling en van de afmetingen van de ruimte. De hoge temperatuur van de rook zorgt ervoor dat de rookbuffer onder het dak blijft hangen; dit zal gebeuren zolang de rooktemperatuur minimaal 5 °C boven de omgevingstemperatuur blijft. Bij lagere rooktemperaturen zal de rookbuffer (plaatselijk) uit kunnen zakken tot op vloerniveau, zodat op laag niveau na korte tijd de rookdichtheid zal toenemen.

Bij niet te grote gebouwen met een beperkte hoogte blijft de afkoeling aan wanden en plafond beperkt; in Hallfill wordt de afkoeling niet berekend, maar wordt impliciet meegenomen door het toevoegen van de eis dat de berekende rookgastemperatuur minimaal 20 °C boven omgevingstemperatuur moet zijn om het model te mogen toepassen.

Het meenemen van de afkoeling van de rook aan de wanden en plafond is zinvol mede gezien de geplande uitbreiding van het toepassingsgebied van het vultijdenmodel. Door de veel grotere oppervlakte en hoogte van de gebouwen zal de afkoeling aan wanden en plafond een grotere rol gaan spelen. Zonder aanvullende modellering of onderbouwing met experimenten is een aanpak alleen met een extra veiligheidsfactor niet haalbaar.

In het huidige HallFill wordt de rookdichtheid in de rookbuffer niet expliciet uitgerekend, maar wordt deze bepaald door de directe koppeling met de rooktemperatuur. Dit is mogelijk omdat de verdunning van de rook door inmenging van frisse lucht (dit is het belangrijkste mechanisme voor de vultijd) niet alleen een geringere rookdichtheid maar ook een lagere rooktemperatuur veroorzaakt. Door het meenemen van afkoeling van de rook aan wanden wordt deze koppeling verbroken; door afkoeling aan wanden daalt wel de temperatuur, maar niet de dichtheid van de rook.

In het vultijdenmodel wordt de rookdichtheid daarom apart uitgerekend, uitgaande van de cijfers voor rookproductie van houtachtige producten of gemengde goederen. Bij duidelijk afwijkende inventaris (bijvoorbeeld opslag van autobanden) wordt geadviseerd om het corresponderende rookpotentieel te kiezen.

De afkoeling wordt berekend uitsluitend aan het plafond, en aan het gedeelte van de wanden van het grote compartiment waar de rookbuffer hangt.

De afkoeling aan wanden en plafond in de kleine ruimte wordt niet meegenomen. De reden hiervoor is dat door de snelle temperatuurstijging in de kleine ruimte de benodigde modellering zeer complex is, terwijl het uiteindelijke effect op de vultijd van de grote ruimte beperkt is. Deze benadering zonder afkoeling is veilig omdat in deze benadering niet alleen de "flash-over" eerder bereikt zal worden, maar ook het rookdebiet naar de aangrenzende (grote) ruimte groter is.

3.2 Modelling afkoeling aan wanden

Met behulp van eindige differentie modellen, kan de warmteoverdracht naar wanden zeer nauwkeurig worden berekend. Om het vultijdenmodel eenvoudig bruikbaar te houden is voor een vereenvoudigde aanpak gekozen.

De warmteoverdracht naar wanden in de grote ruimte wordt op de volgende wijze bepaald: Uitgaande van een effectieve warmteoverdrachtscoëfficiënt K [W/m^2K] wordt de warmteoverdracht berekend als $Q = K \cdot A \cdot \Delta T$. Deze maximale warmteoverdracht zou worden bereikt als de wand niet zou opwarmen. Voor betonachtige materialen is de afwijking gering, maar voor geïsoleerde wanden kan de afwijking aanzienlijk zijn. Met behulp van de thermische wand eigenschappen wordt op eenvoudige wijze gecorrigeerd voor de opwarming van de wanden (met de zgn. indringtheorie). Uitgegaan wordt van een stationaire beginsituatie bij aanvang van de brand, waarbij verschil aanwezig kan zijn tussen de temperatuur buiten, in de grote ruimte en van de wanden/plafond. Alleen de verandering van de temperatuur in de grote ruimte (door de brand) is van invloed op de afkoeling aan wanden; er is -in het model- geen invloed van de hoogte van de buitentemperatuur.

Indringtheorie volgens [8]

Gebruikte eenheden/symbolen :

ΔT	temperatuur verschil rookgas en buitenlucht, in K
t	tijd, in s
λ	warmte geleidingscoëfficiënt wandmateriaal , in W / mK
C_p	warmtecapaciteit wandmateriaal, in $J / kg K$
ρ	dichtheid wandmateriaal, in kg / m^3
b-factor	thermische traagheid wandmateriaal, in $J \cdot m^{-2} \cdot s^{-0.5} \cdot K^{-1}$
D	dikte van de wand, in m
Q	warmteflux naar de wand, in W / m^2

De warmtestroomdichtheid naar de wanden wordt in belangrijke mate bepaald door de thermische eigenschappen van de wanden en plafond, te weten λ , ρ en C_p . De temperatuurafhankelijkheid van deze parameters is gering; gezien de beperkte rookgastemperaturen kunnen de gegevens over materiaal eigenschappen bij kamertemperatuur worden gebruikt. De thermische traagheid van het materiaal wordt ook wel aangeduid als b-factor, en kan als volgt uit de materiaaleigenschappen berekend worden:

$$\text{b-factor} \quad (\lambda \cdot \rho \cdot C_p)^{0.5}$$

In het geval van een dikke wand (de wand zal niet geheel opwarmen tot de temperatuur van de rookgassen) die wordt blootgesteld aan de hete rookgassen kan worden afgeleid dat de warmtestroom naar de wand evenredig is met de zogenaamde thermische traagheid van het materiaal, ook wel b-factor genoemd, en met het temperatuurverschil tussen rookgas en wand. De theorie mag gebruikt worden indien de opwarming van de wand gering is (beginfase van de brand). De temperatuurstijging aan de buitenzijde van de wand zal in de praktijk gering zijn. Dit wordt tot uitdrukking gebracht in het onderstaande criterium. Voor wanden van beton van 10 cm (of dikkere, of beter geïsoleerde wanden) wordt eenvoudig voldaan aan deze voorwaarde.

$$\text{Criterium} \quad t \lambda / (\rho C_p) \ll 0.1 D^2$$

De warmtestroom naar de wand zal in de tijd afnemen, volgens het onderstaande verband:

$$\text{Indringflux} \quad \Delta T \cdot \text{b-factor} \cdot (1 / \pi t)^{0.5}$$

De indringtheorie is van toepassing op de situatie waarbij de wanden opeens worden blootgesteld aan de hoge temperatuur. In de praktijk zal de temperatuur van de rookgassen geleidelijk stijgen. De indringtheorie kan toch voor deze situatie worden gebruikt als de temperatuur stijging globaal lineair in de tijd is; de afwijking in de praktijk is niet erg groot. Voor het temperatuurverschil in de formule moet het momentane verschil tussen omgeving en temperatuur van de rook worden gebruikt. Eenvoudig is aan te tonen dat in die situatie de warmteflux op tijdstip t tweemaal zo groot is als volgens bovenstaande formule, en wel

$$\text{Indringflux} \quad 2 \cdot \Delta T \cdot \text{b-factor} \cdot (1 / \pi t)^{0.5}$$

De indringtheorie is erop gebaseerd dat de verhitte zijde van de wanden een temperatuur opgelegd krijgt; impliciet wordt daarbij uitgegaan van een oneindig goede warmteoverdracht van de lucht/gassen naar de wand toe. Het vermogen dat de wand instroomt wordt alleen bepaald door de thermische eigenschappen van de wand, en niet door de warmteoverdracht (door straling en convectie).

In de praktijk wordt het vermogen dat de wand instroomt echter wel degelijk beperkt door de niet-ideale warmteoverdracht. Dit effect wordt in het model in rekening gebracht door de onderstaande maximale flux, gebruik makend van een effectieve warmte-overdrachtscoëfficiënt. Vooral bij materialen die veel warmte opnemen zal deze overdracht gedurende lange tijd het warmteverlies naar wanden en plafond bepalen.

$$\text{Maximale flux straling + convectie} = 20 \cdot \Delta T$$

$$\text{Flux} \quad \text{Kleinste waarde (Indringflux, maximale flux)}$$

Verklaring effectieve warmte-overdrachtscoëfficiënt ($\alpha_{\text{eff}} = 20$)

Benadering overdracht door straling:

Bij lage temperaturen ($T_g < 300 \text{ K}$) geldt de benadering :

$$\begin{array}{rcl} Q_{\text{Straling}} & = & 4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_g^4 - T_0^4) \approx 4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_g^3 \cdot (T_g - T_0) \approx 6 \cdot (T_g - T_0) \\ Q_{\text{convectie}} & = & \alpha \cdot (T_g - T_0) = 14 \cdot (T_g - T_0) \\ \hline Q_{\text{totaal}} & = & \alpha_{\text{eff}} \cdot (T_g - T_0) = 20 \cdot (T_g - T_0) \end{array} +$$

Voor details wordt verwezen naar [8].

4 OBSTRUCTIES IN HET GROTE BRANDCOMPARTIMENT

In het vultijdenmodel is de mogelijkheid ingebouwd om de invloed van gesloten tussenvloeren in de grote ruimte mee te nemen. Uitgegaan wordt van een gesloten vloer met een brandwerendheid van ten minste 20 minuten. Uitgangspunt van dit criterium is dat in de fase waar het vultijdenmodel is bedoeld (beginfase van brand) geen branddoorslag door de tussenvloer plaats kan vinden. Bij gedeeltelijk gesloten vloeren (die niet aan de eis voldoen, bijv. roostervloeren e.d.), moet er van worden uitgegaan dat de goederen boven de vloer ook in brand raken, en dus meegenomen dienen te worden bij de bepaling van de stapelhoogte van de goederen en het brandscenario; voor de rookverspreiding wordt een dergelijke vloer als niet aanwezig beschouwd. Dit eerste aspect zal in de praktijk leiden tot ongunstige brandscenario's, resulterend in zeer korte vultijden.

Voorwaarde is dat de tussenvloer niet hoger is gelegen dan 4,5 m. Voor tussenvloeren die hoger zijn gelegen kan het model worden toegepast onder de veilige aanname dat de tussenvloer zich op 4,5 m hoogte bevindt.

Werkwijze tussenvloer:

De ruimte onder de tussenvloer wordt als aparte brandruimte beschouwd voor de bepaling van het brandscenario volgens hoofdstuk 2. (NB. Ook de situatie van brand in het gedeelte zonder tussenvloer worden beschouwd.)

Uitgaande van het berekende brandscenario zijn bij de gesloten vloer de hoogte van de vloer, de totale afmeting van de vloer en de totale lengte van de rand van de tussenvloer van belang voor de bepaling van de mate van rookverspreiding.

In het model neemt het debiet aan rookgassen met een factor toe, door de inmenging van frisse lucht tijdens rotatie van de rookstroom om de rand van de tussenvloer. Na rotatie zal de rook opstijgen naar het dak van de hal.

Het standaard pluimmodel wordt toegepast om de inmenging tijdens de opstijging te bepalen.

Noot 1: Als twee of meer tussenvloeren aanwezig zijn, dan mag de richtlijn niet zonder meer worden toegepast. Het model kan evenwel toch gebruikt worden, als niet meer dan één tussenvloer de rookpluim beïnvloedt. Voorbeelden van zo'n situatie zijn twee identieke tussenvloeren recht boven elkaar, of twee tussenvloeren op dezelfde hoogte met een aanzienlijke onderlinge afstand.

Noot 2: In de richtlijn is de voorwaarde gesteld dat de grote ruimte niet is ingedeeld met bijvoorbeeld wanden. Bij een wand die aansluit op het plafond is de invloed op de rookverspreiding (bijvoorbeeld de vultijd) direct duidelijk. Voor een grote ruimte die is ingedeeld met een wand met een brandwerendheid groter óf kleiner dan 20 minuten, zou het model gebruikt kunnen worden door de berekeningen drie maal uit te voeren: rookverspreiding in één van beide gedeelten, of rookverspreiding in de gehele grote ruimte. Van een wand die minder hoog is dan de halve hoogte van de grote ruimte, mag worden aangenomen dat deze geen invloed heeft op de rookverspreiding.

Noot 3: Evenzo zal de modellering niet zonder meer toe te passen zijn op een grote ruimte waarbij de horizontale doorsnede sterk (meer dan 10 %) varieert op verschillende hoogten (bijvoorbeeld door een trapvormige vloer). Het model is wel toepasbaar als hiervoor wordt gecompenseerd. Voorts is het model uitsluitend toepasbaar op ruimten met een vlak dak; het model is ongeschikt voor een nokdak. Een geringe afwijking van een vlak dak (in de praktijk zijn daken vaak licht hellend of bol) heeft echter geen grote invloed op de rookverspreiding.

5 UITBREIDING TOEPASSINGSGEBIED

Het bestaande vultijdenprogramma 'Hallfill' is gebaseerd op de geavanceerde modellen voor rookverspreiding in SBR rapport nr. 233 [10]. Voor gebruik in de praktijk zijn deze modellen nogal gecompliceerd. Daarom is gekozen voor het gebruik van de eenvoudigere vuistregels in dit SBR-rapport. Voordeel van deze aanpak is, dat een groot deel van de adviesbureaus actief in de brandveiligheid bekend zijn met deze vuistregels die worden gebruikt voor de dimensionering van rook- en warmteafvoer systemen.

5.1 Inleiding

Bij het uitbreiden van het toepassingsgebied van het model naar grotere en hogere ruimten, moet er rekening mee worden gehouden dat het oorspronkelijke model van een rookbuffer boven een rookvrije zone niet altijd gegarandeerd kan worden. Door de grotere afmetingen zal de afkoeling aan wanden een grotere rol spelen; indien de rooktemperatuur in de buffer te laag is zal de rook op sommige plaatsen in de ruimte naar beneden uitzakken, zodat ook op laag niveau na korte tijd rookverspreiding plaats kan vinden.

Het uitsluitend toevoegen van een veiligheidsfactor bij grotere ruimten (bijvoorbeeld een strengere eis aan de minimale rooktemperatuur om de vorming van een rookbuffer te kunnen garanderen) zal erin resulteren dat het model in veel gevallen bij grote ruimten tot zeer korte vultijden zal leiden. Door het toevoegen van de afkoeling aan wanden en plafond, is de uitbreiding van het vultijden model naar gebouwen met een oppervlakte van 15.000 m², of een hoogte van 50 m mogelijk.

5.2 Modellerings

In het model is een tweedeling aangebracht; als de berekende rookgastemperatuur minder dan 5°C hoger dan de omgevingstemperatuur is op het moment dat de rookbuffer een dikte heeft van 2 m, dan wordt niet alleen gerekend met het standaard model uitgaande van een stabiele rookbuffer boven een rookvrije zone (*zonemodel*), maar wordt ook gerekend met een uitzakken van de rook in de gehele grote ruimte (*homogene opmenging*). Het gevolg is dat in het geval van opmenging de zichtlengte op begane grond (vluchtweg) al na korte tijd af kan nemen. De resulterende zichtlengte in dit gebied zal door de opmenging met frisse lucht wel gunstiger zijn dan in de rookbuffer.

Zone model :

Berekening van de vultijd uitgaande van het ontstaan van een rookbuffer. Alleen als de rooktemperatuur te laag is om het ontstaan van een rookbuffer te kunnen garanderen moet óók met het opmenging model worden gerekend.

Homogene opmenging:

Berekening uitgaande van homogene opmenging van alle rook en warmte in de gehele grote ruimte. Door de opwarming in de grote ruimte treedt expansie op. In het model is de benadering gekozen dat door de expansie alleen omgevingslucht uit de hal wordt geperst, zonder rook of energie dus! De beschikbare energie en zichtmassa wordt in elke tijdstap verdeeld over de gehele grote ruimte.

Geen afkoeling aan wanden en plafond of rook- en warmteafvoer worden in rekening gebracht; RWA omdat de werking in die situatie niet gegarandeerd kan worden, en afkoeling omdat de invloed op de resulterende zichtlengte in de grote ruimte gering is, en het model onnodig zou compliceren.

Resultaat:

Als een rookbuffer gegarandeerd kan worden dan is het resultaat van het zone model bepalend. In alle andere gevallen is de ongunstigste van beide waarden voor de vultijd bepalend. (berekening met het zone model en met het model voor homogene opmenging)

6 DETECTIE

Bij aanwezigheid van rookdetectoren onder het dak van de grote ruimte wordt er van uitgegaan dat een detectie plaats heeft gevonden binnen 60 s nadat de rookdichtheid in de rooklaag groter is dan $0,05 \text{ Bel}\cdot\text{m}^{-1}$.

Bij rookdetectoren in de aangrenzende ruimte, wordt er van uitgegaan dat detectie binnen 1 minuut na het ontstaan van brand in deze ruimte plaats vindt. Dit wordt enerzijds ingegeven door de geringe hoogte van de aangrenzende ruimte. Anderzijds is deze snelle detectie gebaseerd op de veronderstelling dat het gemodelleerde brandscenario vooraf gegaan wordt door een smeulfase (wel rookproductie, nauwelijks brandgroei).

Voor detectie wordt uitgegaan van rookdetectie, met een 'standaard' projectering van de puntmelders onder het dak cq. plafond.

7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1 Brandgedrag wanden

Uitgangspunt van de rekenmethode in de richtlijn is het te verwachten brandscenario. Daarbij is aangenomen dat het brandscenario bepaald wordt door de goederen en inventaris in de ruimte. Bij industriegebouwen blijkt in een aantal gevallen dat de wanden en het dak bepalend zijn voor het brandscenario. In paragraaf 2.2 is een aantal voorbeelden genoemd. Nader moet worden onderzocht hoe dit effect met eisen aan wanden/plafond kan worden voorkomen.

7.2 Toetsing aan praktijk

De kwantificering als gepresenteerd in onze aanvullingen, vormen het best denkbare standpunt naar het inzicht van TNO-Bouw. De definitieve getallen moeten worden vastgesteld aan de hand van toetsing van het model aan de gekende bouwpraktijk en veiligheid.



ir. N.J. van Oerle

8 GERAADPLEEGDE LITERATUUR

- [1.] Verband der Sachversicherer, VdS-rapport nr 1098, 1999
- [2.] R. van Mierlo
"B90-084, Kantoorgebouwen met atria, TNO-rapport in opdracht van ministerie BiZa"
- [3.] NEN 6094, Brandveiligheid van gebouwen : Classificatie, eisen en bepalingmethoden van automatische sprinklerinstallaties, 1995, NNI Delft
- [4.] NEN 6093, Brandveiligheid van gebouwen: Beoordelingsmethoden van rook en warmteafvoerinstallaties, 1995, NNI Delft
- [5.] NFPA, Fire Protection Handbook, Seventeenth Edition
- [6.] NFPA 92B
"Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas", 1991 edition
- [7.] NFPA 204M
"Smoke and heat venting", 1991 edition
- [8.] C.J. Hoogendoorn,
"Fysische Transportverschijnselen" deel I en II, Delftse Uitgevers Maatschappij, 1978
- [9.] D. Drysdale
"An Introduction to Fire Dynamics" ,1985, ISBN : 0 471 90613 1
- [10.] E.W. Janse, N.J. vanOerle
SBR rapport no:233 "Rookafvoer uit hoge ruimten", 2-de druk, 1995
- [11.] DiNenno et al.
"The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering"
2nd ed., NFPA, 1995
- [12.] WFRRC nr. C49378
"Guide to Smoke Extraction in Buildings",
Warrington Fire Research, 1990.