

96-CVB-R0330(4)      **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**

<b>1</b>	<b>VLUCHTMETHODIEK</b> .....	<b>3</b>
	1.1 <b>Achtergrond document</b> .....	3
	1.2 <b>Doelstelling onderzoek</b> .....	3
<b>2</b>	<b>BLOKKEREN UITGANG DOOR EEN BRAND</b> .....	<b>4</b>
	2.1 <b>Inleiding</b> .....	4
	2.2 <b>Werkwijze</b> .....	4
<b>3</b>	<b>ANALYSE VLUCHTWEGMETHODIEK</b> .....	<b>6</b>
	3.1 <b>Inleiding</b> .....	6
	3.2 <b>Samenvatting aangeleverde model</b> .....	6
	3.3 <b>Achtergronden; de relevante aspecten bij het vluchten</b> .....	7
	3.4 <b>TNO-Aanvullingen</b> .....	10
	3.5 <b>Kwantificering aanvullingen</b> .....	12
<b>4</b>	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b> .....	<b>17</b>
	4.1 <b>Reductie capaciteit</b> .....	17
	4.2 <b>Ruiken van rook</b> .....	17
	4.3 <b>Toetsing aan praktijk</b> .....	17
<b>5</b>	<b>GERAADPLEEGDE LITERATUUR</b> .....	<b>18</b>

## 1 VLUCHTMETHODIEK

### 1.1 Achtergrond document

Dit document bevat de achtergronden bij rapport "Richtlijn vluchtmethodiek 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(3).

### 1.2 Doelstelling onderzoek

Door de opdrachtgever is een model voor het vluchten aangeleverd, dat door DHV AIB BV te Amersfoort is getoetst aan tien gebouwen [2] (dit model wordt in dit document aangeduid als het 'aangeleverde model'). In vervolg hierop is aan het Centrum voor Brandveiligheid van TNO Bouw verzocht een literatuurstudie uit te voeren, en het aangeleverde model te onderbouwen, en waar nodig uit te breiden.

In dit rapport zijn alle aanvullingen weergegeven, die uit dit onderzoek volgen. Alle overige onderdelen worden onderschreven, maar zijn niet verder beschreven.

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

#### **Blokkeren uitgang door een brand:**

In verband met het vluchten uit een ruimte is het van belang of uitgangen bruikbaar zijn. Een eenvoudig model is toegevoegd om de 'veilige' afstand tot een brand te bepalen. Deze afstand is afhankelijk van de afmetingen van de brand op een bepaald moment; op deze wijze kan worden bepaald of een uitgang op dat moment bruikbaar is.

#### **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 gebouwtwerp veilig is met betrekking tot het vluchten.

## 2 BLOKKEREN UITGANG DOOR EEN BRAND

### 2.1 Inleiding

Bij een brand in de nabijheid van een uitgang zal deze uitgang door straling geblokkeerd kunnen worden. In het vluchtmodel wordt er van uitgegaan dat dit pas kan optreden 30 s na aanvang van de brand.

Opmerking: Dit betekent dat voor kleine ruimten met één uitgang, waar de brand zeer snel ontdekt zal zijn, de aanwezigen 30 s de tijd hebben om te vluchten.

In dit hoofdstuk wordt aangegeven op welke afstand van een brand het vluchten niet meer door straling zal worden gehinderd. Het betreft een inschatting voor een brand in de grote ruimte zélf; voor een brand in een aangrenzende ruimte wordt verondersteld dat geen enkele uitgang van de grote ruimte kan worden geblokkeerd, anders dan een uitgang die naar die aangrenzende ruimte voert; voor die uitgang (naar die aangrenzende ruimte) gaat dezelfde benadering op als hier gegeven.

Voor de afmetingen van de ronde brand wordt uitgegaan van een brand met een hoogte gelijk aan de diameter van de brand. De temperatuur van het (cilindervormige) vlamlichaam bedraagt 750 K, en de emissiviteit van het vlamoppervlak wordt gelijk aan 1 verondersteld. Het cilindervormige vlamlichaam wordt gemodelleerd als een plat vlak. Dit stralend vlak met de oppervlakte  $D_f^2$  wordt verondersteld op de rand van de brand te staan. Bij een afstand tot het centrum van de brand van  $2 \cdot D_f$ , midden voor het centrum van de brand bedraagt het stralingsniveau minder dan 2,2 kW/m<sup>2</sup>. Dit kan gedurende langere tijd (indicatie > 30 s) zonder pijn worden weerstaan..

### 2.2 Werkwijze

De veilige horizontale afstand tot het centrum van de brand op tijdstip  $t$   $D_{\text{veilig}}(t)$  kan als volgt worden bepaald:

$$D_{\text{veilig}}(t) = 4 \cdot \left( \frac{A_f(t)}{\pi} \right)^{1/2} \quad (1)$$

met daarin

$A_f(t)$  Oppervlakte van de brand op tijdstip  $t$  berekend volgens hoofdstuk 5 of 6  
 $D_{\text{veilig}}(t)$  Veilige horizontale afstand tot het centrum van de brand op tijdstip  $t$ , in m

Berekening met de berekeningsmethode in [1], hoofdstuk 2.4:

Uitgaande van :

- stralend vierkant vlak met lengte van de zijde  $D_f$ ;
- stralingstemperatuur van 750 K;
- emissiviteit van 1;
- afstand gelijk aan  $2 \cdot D_f$ ;

is de stralingsintensiteit bedraagt  $2,2 \text{ kW/m}^2$

Een (warmte)stralingsintensiteit van  $2,2 \text{ kW/m}^2$  op de blote huid kan gedurende meer dan 30 s zonder pijn worden weerstaan. Zie [1] : Tabel 2.7 blz 67.

### 3 ANALYSE VLUCHTWEGMETHODIEK

#### 3.1 Inleiding

Door de opdrachtgever is een model voor het vluchten aangeleverd, dat door derden is getoetst aan tien gebouwen (dit model wordt in dit document aangeduid als het 'aangeleverde model'). In vervolg hierop is aan het Centrum voor Brandveiligheid van TNO Bouw verzocht een literatuurstudie uit te voeren, en het aangeleverde model te onderbouwen, en waar nodig uit te breiden.

In dit hoofdstuk zijn alle aanvullingen weergegeven, die uit dit onderzoek volgen. Alle overige onderdelen worden onderschreven, maar zijn niet verder beschreven.

#### 3.2 SAMENVATTING AANGELEVERDE MODEL

Bij de genoemde analyse van tien gebouwen is een model gebruikt, dat in dit rapport wordt aangeduid als het aangeleverde model. Met het aangeleverde model kan een tijdsduur, nodig voor het ontruimen van een brandcompartiment worden bepaald. De hoofdlijnen worden hier besproken.

Een brandcompartiment kan opgedeeld zijn in verschillende gebieden. Een gebied is dat deel van het brandcompartiment:

- dat zich aaneengesloten op één vloerniveau bevindt,
- dat niet inwendig begrensd is door nauwe doorgangen, en
- waar één bezettingsgraad is.

In de huidige regelgeving wordt het vluchten geregeld tot het aansluitende terrein. In dit rapport wordt uitsluitend het vluchten uit een brandcompartiment behandeld; buiten het brandcompartiment waar de brand heerst, wordt impliciet verondersteld dat de mensen gedurende langere tijd veilig zijn.

De ontruimingstijd van een gebied wordt berekend uitgaande van de maximaal af te leggen afstand en/of de capaciteit van de uitgangen, en het aantal personen dat vanuit of door dit gebied moeten vluchten.

Uit de maximaal af te leggen afstand en de snelheid (afhankelijk van de bezettingsgraad) volgt een tijdsduur  $T_a$ . Deze tijdsduur is een maat voor de tijd om het gebied te ontruimen, als er geen vertraging optreedt bij de uitgangen.

Uit de capaciteit van de uitgangen en het aantal mensen -aanwezig of binnenkomend- in een gebied volgt een tijdsduur  $T_c$ . Deze tijdsduur is een maat voor de tijd om het gebied te ontruimen, als er geen vertraging optreedt door de afstanden tot de uitgangen.

In de TNO aanvullingen komt  $T_4$  overeen met  $T_c$  in het aangeleverde model

De tijdsduur benodigd voor ontruiming van een gebied is in het aangeleverde model de grootste van  $T_a$  en  $T_c$ .

In het model wordt voorts rekening gehouden met de opvangcapaciteit van ruimtes/gebieden waardoor gevlucht wordt (in of buiten het brandcompartiment). Bij een brandcompartiment dat bestaat uit meerdere gebieden, volgt de ontruimingstijd uit een combinatie van de ontruimingstijden van alle gebieden.

Overige uitgangspunten in het model zijn:

- grote brandcompartimenten;
- niet tot bewoning bestemde gebouwen;
- niet voor overnachting bestemde gebouwen;
- men kan ten hoogste 30 sec. over een vluchtroute kan gaan die niet meer (veilig) beschikbaar is doordat de route:
  - niet rookvrij is en de zichtlengte kleiner dan 30 m voor lichtgevende voorwerpen is, of
  - wel rookvrij is over een hoogte van 2,5 m boven de vloer van het gebied, maar met een rooklaagtemperatuur groter dan 200 °C. In die situatie zal het vluchten gehinderd worden door een te hoge stralingsintensiteit (door de rookgassen) op vluchtniveau.

Aangenomen wordt dat alle mensen beginnen met vluchten 1 minuut na het moment dat de optische dichtheid in de rooklaag in de grote ruimte groter dan 0,05 m<sup>-1</sup> is; een onderscheid tussen de aan- of afwezigheid van rookmelders wordt niet gemaakt.

Voor de genoemde toetsing van het aangeleverde model aan 10 gebouwen, heeft TNO berekeningen gemaakt van de tijd dat vluchtroutes beschikbaar blijven. Op grond van de vergelijking van deze tijd met de ontruimingstijd zijn de tien gebouwen beoordeeld (veilig/onveilig).

### 3.3 Achtergronden; de relevante aspecten bij het vluchten

Er zijn verscheidene aspecten die een rol spelen bij het vluchten uit een brandcompartiment waar brand is. Daar het onderwerp zeer complex is, moeten deze aspecten vervolgens vereenvoudigd worden ten behoeve van het ontruimingsmodel. De aspecten worden eerst kwalitatief genoemd, waarbij tevens aangegeven wordt in hoeverre de aspecten kwantificeerbaar zijn. In het vervolg van dit rapport wordt e.e.a. in kwantitatieve zin uitgewerkt, zodat deze aspecten als aanvulling op het aangeleverde model kunnen worden gebruikt.

Bij het vluchten bij brand zijn een aantal aspecten te onderscheiden. Dit zijn:

1. starttijdstip vluchten;
2. de tijd benodigd voor de ontruiming van alle gebieden in een brandcompartiment;
3. vergelijking van de totale duur van ontruiming met de tijd gedurende welke verschillende vluchtroutes beschikbaar zijn (m.b.v. het Vultijden-Model).

ad 1. Starttijdstip vluchten

De mensen zullen pas vluchten als een bedreiging (direct of indirect) waargenomen wordt. Gedacht kan daarbij worden aan het (direct) waarnemen van brandverschijnselen, zoals vlammen en/of rook. Een andere mogelijkheid is dat een alarmsignaal klinkt, dat automatisch of handmatig ten gevolge van brand in werking treedt (indirect waarnemen bedreiging). Binnen een gebied starten alle aanwezigen op hetzelfde moment met vluchten. Per gebied kan deze starttijd verschillen.

ad 2. De tijd benodigd voor de ontruiming van alle gebieden in een brandcompartiment. Deze 'ontruimingstijd' voor een brandcompartiment volgt uit de tijd die benodigd is om alle afzonderlijke gebieden in het brandcompartiment te ontruimen. De ontruiming van een gebied kan worden bepaald op grond van de geometrie en de posities van de uitgangen van een gebied: de afstand om een uitgang te bereiken kan een rol spelen, evenals de breedte van de uitgangen en het aantal personen dat door of vanuit het gebied moet vluchten.

ad 3. Vergelijken van de totale duur van ontruiming met de vultijd (Vultijden-Model). Uit het Vultijden-model resulteert de tijd na het ontstaan van brand dat een gebied toegankelijk is. Als de ontruimingstijd van het betreffende gebied kleiner is dan de vultijd, dan is het gebied in de beschouwing veilig.

Het vultijden model is niet in dit rapport beschreven. Hier wordt alleen ingegaan op de punten 1 en 2. Om de genoemde tijden te kunnen bepalen, moet rekening gehouden worden met de volgende factoren:

- a. de (individuele) perceptie van brand/rook
- b. de (individuele) acties daaropvolgend, voorafgaand aan het vluchten
- c. de loopsnelheid bij verschillende bezettingsgraden
- d. de invloed van groepsgedrag op het vluchten
- e. de doorstroomcapaciteit van de vluchtroutes
- f. de onevenredige verdeling over uitgangen en keuze van vluchtroutes
- g. het gedrag van mensen in ruimtes met rook
- h. de aanwezigheid van installaties en de toegankelijkheid van vluchtwegen
- i. de interne organisatie (zoals acties personeel)

ad a. De (individuele) perceptie van brand/rook

Uit het literatuuronderzoek blijkt dat de meest voorkomende eerste perceptie van brand in de praktijk is:

- het ruiken van rook;
- het gewaarschuwd worden door anderen, actief (schreeuwen) of passief (loopgeluiden);
- het zien van rook en/of brand, of
- het horen van geluid afkomstig van een alarminstallatie.



Als een alarminstallatie aanwezig is, dan is aangenomen dat deze automatisch is, en wordt aangestuurd door rookdetectoren of door het in werking treden van een sprinklerinstallatie. **Niet meegenomen** is automatische aansturing door andere vormen van detectie, of niet automatisch door handbrandmelders, omdat aangenomen is dat een (eerste) detectie via deze twee systemen ongebruikelijk is.

ad b. De (individuele) acties daaropvolgend, voorafgaand aan het vluchten

Niet ieder zal direct gaan vluchten, bij gewaarwording van de eerste signalen van een brand (zie a). In veel gevallen is het vluchten zelf pas de tweede of zelfs de derde handeling. De belangrijkste handelingen voorafgaand aan vluchten zijn:

- het zoeken naar de oorzaken van de signalen van gewaarwording;
- het waarschuwen van anderen en/of de brandweer;
- het assisteren van anderen (hulpbehoevenden) bij het vluchten;
- het zoeken van anderen;
- bluspogingen.

Denkbaar is ook het stopzetten van werkzaamheden (machines, pc's), het aantrekken van een jas het inpakken/meenemen van tassen.

ad c De loopsnelheid bij verschillende bezettingsgraden

De loopsnelheid in een ruimte hangt af van het aantal personen per eenheid van vloeroppervlakte. De loopsnelheid blijkt sterk af te nemen bij ruwweg een persoon per twee vierkante meter; bij lagere waarden is de loopsnelheid onafhankelijk van de bezettingsgraad.

ad d. De invloed op het vluchten van groepsgedrag.

Uit de literatuur blijkt dat het gedrag van een persoon van invloed is op het vluchtgedrag van anderen. Zo zullen passief blijvende personen een negatieve invloed hebben op het moment dat anderen gaan vluchten. Vooral mensen die niet bekend zijn in een gebouw hebben de neiging om zich tijdens het vluchten bij groepen of anderen aan te sluiten.

Dit aspect is naar ons inzicht moeilijk/niet kwantificeerbaar, en is daarom **niet meegenomen** bij de TNO-aanvullingen.

ad e. De doorstroomcapaciteit van de routes

Onder de doorstroomcapaciteit van een deur of trap wordt verstaan het aantal personen dat per tijdseenheid per eenheid van breedte door die deur of over die trap kunnen vluchten; in de literatuur zijn hier voldoende gegevens beschikbaar voor kwantificering. De in het aangeleverde model gehanteerde waarden voor de capaciteit van trappen en deuren zijn redelijk in overeenstemming met de literatuur.

In de literatuur zijn in kwalitatieve zin aspecten genoemd als het zoeken van kinderen, het teruglopen (tegen de stroom vluchtenden in). Zowel de doorgangen als deuren en trappen, als ook de gemiddelde loopsnelheid (zie c.) bij ontruiming van een gebied zullen hierdoor negatief beïnvloed worden. Kwantificering is echter niet voorhanden. Dit laatste aspect is **niet meegenomen**.

ad f. De onevenredige verdeling over uitgangen en keuze van vluchtroutes.

Het blijkt dat de meeste mensen in eerste instantie via dezelfde uitgang proberen te vluchten als waardoor ze binnengekomen zijn. Hieruit volgt dat de verdeling over de uitgangen niet evenredig met de doorstroomcapaciteit is. In veel gevallen betekent dit dat de totale doorstroomcapaciteit niet volledig wordt benut.

Bij de keuze van vluchtroutes zijn mensen die niet bekend zijn met het gebouw gewend om zich te oriënteren met eenvoudige structuren (vooral rechte lijnen en diagonalen). Dit speelt met name bij complex ingedeelde brandcompartimenten een grote rol. Dit aspect is **niet meegenomen**.

ad g. Personen blootgesteld aan rook

Uit de literatuur [6],[5],[7] en [8] blijkt dat bij personen, blootgesteld aan rook met een zekere optische dichtheid een aantal aspecten optreden:

- afname van het denkvermogen
  - afname van geheugenwerking
  - afname van het zicht door irritatie van de ogen door rook
  - afname van het zicht door de lichtverstrooiing van rook (geen fysiek maar fysisch aspect)
- Het blijkt dat de eerste drie aspecten alleen optreden bij optische dichtheden groter dan  $0,05 \text{ m}^{-1}$ . Bij hogere optische dichtheden wordt de mogelijkheid vluchten te modelleren daarom onzeker (veilige aanname). Met het gebouw bekenden durven wel door dichte rook te gaan, anderen niet.

Bij optische dichtheden kleiner dan  $0,05 \text{ m}^{-1}$  speelt alleen de beperking van het zicht een rol; de genoemde fysieke en psychische verschijnselen treden dan niet/nauwelijks op. Dit kan een probleem veroorzaken bij oriëntatie, echter de zichtlengte voor lichtgevende voorwerpen is bij deze optische dichtheden ten minste 50 m. Dit is daarom **niet meegenomen** bij de aanvullingen.

ad h. De werking van installaties en de toegankelijkheid van vluchtwegen

Er wordt uitgegaan van de aanwezigheid van:

- vluchtwegaanduiding;
- (nood-)uitgangen die niet geblokkeerd zijn (tenzij door brand).

Het veiligheidsniveau kan worden verhoogd, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van een ontruimingsinstallatie.

ad i. Interne organisatie (acties personeel, onderhoud voorzieningen)

Volgens de ARBO wet is een bedrijfshulpverleningsorganisatie (BHV) vereist. Dit heeft een gunstig effect op de snelheid van ontruimen van een gebouw. De BHV organisatie is afgestemd op het aantal werknemers en het aantal bezoekers.

### 3.4 TNO-AANVULLINGEN

#### 3.4.1 Uitgangspunten

Wij stellen voor de uitgangspunten van het aangeleverde model over te nemen; volledigheidshalve worden ze hier herhaald:

- grote brandcompartimenten;
- niet tot bewoning bestemde gebouwen;
- niet voor overnachting bestemde gebouwen;
- men kan ten hoogste 30 sec. over een vluchtroute kan gaan die niet meer beschikbaar is doordat de route:
  - niet rookvrij is en de zichtlengte kleiner dan 30 m voor lichtgevende voorwerpen is, of
  - wel rookvrij is over een hoogte van 2,5 m boven de vloer van het gebied, maar met een rooklaagtemperatuur groter dan 200 °C.

Op de gehanteerde capaciteiten van deuren en trappen hebben wij geen aanvullingen. Tevens stellen we voor om de bepaling van de loopafstand binnen een gebied conform het aangeleverde model uit te voeren (het maximum van de som van de twee grootste afstanden van een willekeurig punt tot de twee dichtstbijzijnde uitgangen, waarbij deze twee uitgangen 'onafhankelijk' - niet tegelijkertijd door brand geblokkeerd - moeten zijn). Als rookmelders aanwezig zijn, dan behoeft modellering van het moment van detectie ook geen aanvulling (zie hoofdstuk 2).

#### 3.4.2 Fasering

De basis van de TNO-aanvullingen op het aangeleverde model, wordt gevormd door een fasering. In het aangeleverde model ontbreekt zo'n fasering. Drie fasen worden in dit document onderscheiden, omdat deze bepalend zijn voor de ontruimingstijd: de handelingen van vluchtenden zullen per fase verschillen (en daarmee de ontruimingstijd).

Belangrijk is het dat deze fasen gebieds-gebonden moeten worden beschouwd, omdat de ontruiming van een brandcompartiment wordt gebaseerd op de ontruiming van gebieden. Deze drie fasen zijn:

- **nulfase:** de brand is ontstaan maar nog niet ontdekt.  
Geen handelingen.
- **ontdekfase:** de brand is ontdekt door 'indirecte signalen': bedoeld worden signalen anders dan de directe waarneming van de bedreiging (een rooklaag die steeds lager komt).  
Voorbeelden van handelingen: niet ieder zal direct vluchten, de hoofdtoegangen worden gekozen als vluchtroute.
- **gevaarfase:** de bedreiging (de rooklaag die steeds lager komt) wordt direct waargenomen.  
Voorbeelden van handelingen: de noodzaak te vluchten wordt door ieder onderkend en alle beschikbare middelen (bijv. nooduitgangen) worden gebruikt.

N.B. De gevaarfase hoeft niet voor iedereen vooraf te worden gegaan door de ontdekfase.

De start van deze fases wordt gevormd door:

**nulfase:** het ontstaan van brand (in het algemeen het startpunt berekeningen brandscenario in het Vultijden-Model).

**ontdekfase en gevaarfase:** zie volgende paragraaf.

### 3.5 Kwantificering aanvullingen

#### 3.5.1 Inleiding

Een aantal factoren is genoemd die van invloed zijn op de ontruimingstijd.

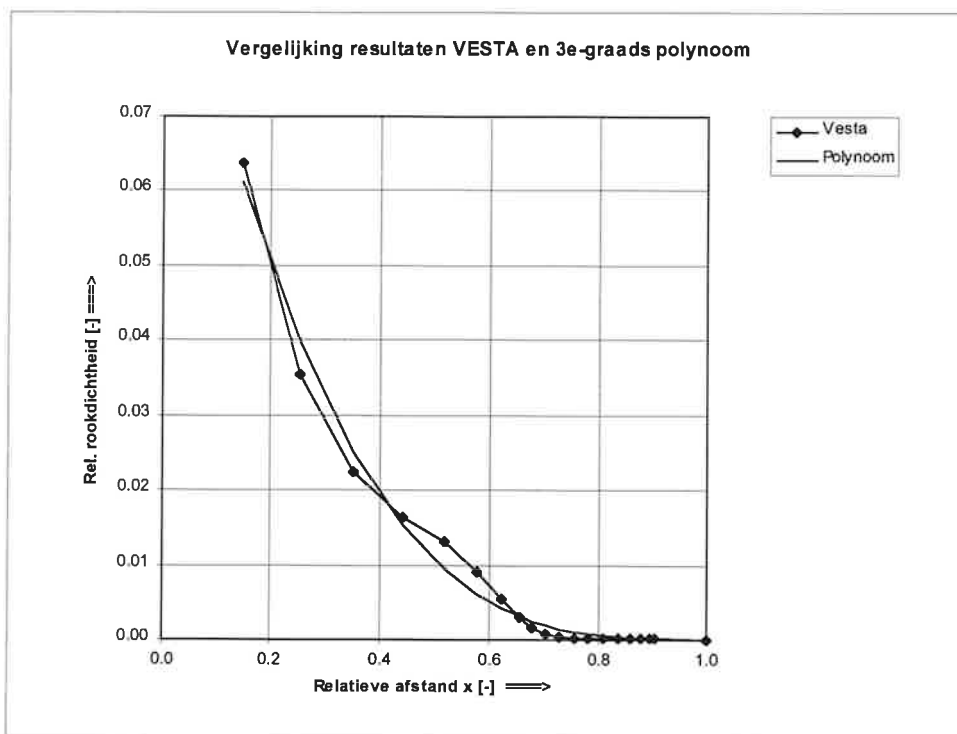
Volledigheidshalve worden ze hier herhaald. Tevens is aangegeven in welke later genoemde aanvulling deze invloed is verwerkt.

- a. de (individuele) perceptie van brand/rook.  
Dit is verwerkt in 'start ontdekfase' en 'start gevaarfase'.
- b. de (individuele) acties daaropvolgend, voorafgaand aan het vluchten.  
Dit is verwerkt in 'vertragingstijd tot start vluchten', voor personen die met het gebouw bekend zijn.
- c. de loopsnelheid bij verschillende bezettingsgraden  
Dit is meegenomen in de aanvulling.
- d. de invloed van groepsgedrag op het vluchten  
Zoals al opgemerkt is dit aspect niet meegenomen.
- e. de doorstroomcapaciteit van de routes  
Conform aangeleverde model (zie ook de richtlijn).
- f. de onevenredige verdeling over uitgangen en keuze van vluchtroutes  
De onevenredige verdeling over uitgangen is **niet** meegenomen.  
De moeilijkheden bij de keuze van vluchtroutes voor 'onbekenden' is meegenomen bij de effectiviteit van nooduitgangen.
- g. het gedrag van mensen in ruimtes met rook  
Dat is overgenomen van het aangeleverde model, zie bovenstaande uitgangspunten
- h. de werking van installaties en de toegang tot vluchtwegen  
Zie uitgangspunten.
- i. de interne organisatie (acties personeel, onderhoud voorzieningen)  
Dit is verwerkt in het model, zie de 'bedrijfshulpverleningsorganisatie'.

### 3.5.2 Start ontdekfase

De ontdekfase (waarin de brand of rook 'ontdekt' wordt, maar nog niet door iedereen als bedreigend wordt ervaren) begint in een gebied door:

- a- een ongedefinieerd geluidssignaal t.g.v. rookdetectie, of
- b- door het ruiken van rook, of
- c- door het horen van een gerucht, of
- d- door het bezwijken van de niet voldoende brandwerende delen van de gevel van de aangrenzende ruimte, bij brand in die aangrenzende ruimte, of
- e- door het optreden van vlamoverslag in de aangrenzende ruimte, bij brand in de aangrenzende ruimte, of
- f- door het in werking treden van een sprinklerinstallatie, of
- g- 13 minuten na aanvang van de brand. (op advies van de begeleidingscommissie).



**Figure 1** Polynoom benadering rookdichtheid als functie van de afstand tot de onderzijde rooklaag.

Met het horen van een 'ongedefinieerd' geluidssignaal wordt bedoeld een signaal zoals een 'slow-woop' (een advies via de intercom over welke vluchtroute genomen moet worden valt niet onder deze categorie). Het moment dat dit gebeurt is afhankelijk van het moment van detectie van rook.

Het ruiken van rook is afhankelijk van de hoeveelheid rookdeeltjes in de rooklaag en de afstand tot de rooklaag. Zie de bovenstaande figuur. In het model wordt uitgegaan van een rookbuffer met daaronder een 'rookvrije' zone. In de praktijk zal de rookvrije zone ook (geringe hoeveelheden) rook bevatten. Op basis van CFD berekeningen (Computational Fluid Dynamics) is het verloop van de deeltjesconcentratie in de hoogte van de 'rookvrije' zone bepaald [22]; dit is afhankelijk van de rookdichtheid in de rooklaag en de afstand tot de onderzijde van de rooklaag. In de richtlijn is dit verloop benaderd door een 3-de graads polynoom. Deze benadering geldt alleen als er een rooklaag aanwezig is. In de richtlijn is daarom de beperking opgenomen dat de dikte van de rooklaag ten minste 1 m moet zijn voordat deze polynoom benadering gebruikt kan worden. Er kan worden aangenomen dat de rook 'geroken' wordt door aanwezig zijn als de berekende rookdichtheid op vluchtwegniveau groter is dan  $1/15000 \text{ m}^{-1}$ . Op deze wijze kan met een eenvoudige rekenregel het moment worden bepaald waarop mensen de rook ruiken. ( $t_{1\text{-ruik}}$ )

N.B. In die gevallen waar vorming van een rooklaag onzeker is (in het Vultijdenmodel wordt in dat geval zowel rooklaag als een vorm van opmenging beschouwd) wordt voor deze berekeningen alleen uitgegaan van de situatie met een rooklaag (stratificatie: veilige aanname).

Het moment dat ieder in een gebied gewaarschuwd is via gerucht (loopgeluiden/roepen), is afhankelijk van de eerste ontdekking van de brand en van de snelheid waarmee het gerucht zich verspreidt. Van belang hierbij zijn de bezettingsgraad, de brandomvang en de indeling van de ruimte.

Uitgegaan wordt van een ontdekking van brand als deze een omvang heeft gelijk aan de gemiddelde vloeroppervlakte waar zich één persoon bevindt (variërend van bezettingsgraad B1:  $0,8 \text{ m}^2$  tot B5:  $30 \text{ m}^2$ ). Aangenomen wordt dat het gerucht zich verspreidt met  $1 \text{ m/s}$ . Uit de grootste afstand in een gebied kan vervolgens worden bepaald wanneer iedereen in een gebied een gerucht heeft gehoord.

### 3.5.3 Start gevaarfase

Uitgegaan wordt van de lichtafname in een ruimte, door lichtabsorptie van de rooklaag onder het plafond. Het criterium is gebaseerd op 50 % afname van de lichtintensiteit die via het dak (daklichten en/of plafondverlichting) binnenvalt. Aangenomen is dat ieder bij deze afname de rooklaag boven zijn hoofd zal zien: de bedreiging is direct zichtbaar.

Op grond hiervan is uitgegaan van het verband:

$$od \cdot d \geq 0,3$$

met:

d de dikte van de rooklaag in m,

od de optische dichtheid van de rook in  $\text{Bel} \cdot \text{m}^{-1}$ ,

N.B. in die gevallen waar vorming van een rooklaag onzeker is (in het Vultijdenmodel wordt soms zowel vorming van een rooklaag als een vorm van opmenging beschouwd) wordt voor deze berekeningen alleen uitgegaan van situatie met een rooklaag (stratificatie).

### **3.5.4 Bepaling van de capaciteit per fase**

Aangenomen wordt dat:

- in de ontdekfase alleen de hoofdtoegangen worden gebruikt;
- in de gevaarfase ook nooduitgangen worden gebruikt.

Het gevolg is dat de capaciteit van de uitgangen afhankelijk is van de fase.

### **3.5.5 Vertragingstijd tot start vluchten.**

Voor de tijd totdat personen gaan vluchten is het onderscheid tussen personen die bekend danwel onbekend zijn met het gebouw van invloed. Uit de literatuur is bekend dat er een vertragingstijd is voor met het gebouw bekenden (kwantificering ontbreekt echter). Onze aanname is gebaseerd op een inschatting van de volgende mogelijke handelingen die 'bekenden' plegen alvorens ze besluiten tot vluchten:

- persoonlijke eigendommen veilig stellen (meenemen, opslaan bestanden);
- onderzoek naar oorzaak van de gewaarwording (zie hierna);
- waarschuwen en anderen helpen.

De tweede mogelijke handeling is naar ons inzicht de belangrijkste. Onze inschatting van de drie samen is een vertragingstijd van twee minuten aan te nemen (heen en teruglopen door een gang, vragen stellen/waarnemen).

Opmerking: deze vertragingstijd kan alleen gelden in de ontdekfase; als het gevaar zelf waargenomen wordt (gevaarfase) dan zal men direct gaan vluchten.

De aanvulling op het aangeleverde model is dat:

- bekenden niet gelijk gaan vluchten, maar wachten tot de gevaarfase start, doch niet langer dan twee minuten;
- onbekenden niet wachten maar onmiddellijk gaan vluchten.

### **3.5.6 Loopsnelheid**

Voor de loopsnelheid wordt voorgesteld uit te gaan van de gegevens volgens het rapport "Menselijk gedrag bij brand" van de Stichting Bouwresearch [4] in afwijking van de waarden in het aangeleverde model.

### 3.5.7 Effectiviteit nooduitgangen

In de ontdekfase worden de nooduitgangen niet gebruikt (zie bovengenoemd: "Bepaling van de capaciteit per fase").

Door moeilijkheden bij oriëntatie in het gebouw zullen de mensen die daar minder/niet bekend zijn de capaciteit van nooduitgangen in de gevaarfase niet volledig (90 personen/(m breedte·minuut)) kunnen benutten.

In de gevaarfase kan worden uitgegaan van

- 3/4 van de doorstroomcapaciteit voor personen die onbekend zijn met het gebouw, totdat de BHV operationeel is. (zie volgende paragraaf).
- de gehele doorstroomcapaciteit voor personen die bekend zijn met het gebouw.

### 3.5.8 Bedrijfshulpverleningsorganisatie (BHV)

Dit onderdeel is gebaseerd op [21], dat de vigerende voorschriften bevat. Er is **niet** uitgegaan van de huidige praktijk, mede gezien het feit dat de genoemde regeling pas kort (1994) van kracht is.

- De BHV zal enige minuten na een brandmelding operationeel zijn. ( $t_{\text{BHV}}$  in de richtlijn)  
De tijdsduur tussen de eerste melding bij een bedrijfshulpverlener en het operationeel worden van deze organisatie zal door het ministerie van VROM worden aangegeven.  
In de aanvullingen is daartoe de variabele  $t_{\text{BHV}}$  in rekening gebracht.
- De melding zal plaats vinden op tijdstip  $t_1$  in de richtlijn: het moment dat de 'ontdekfase' is gestart:
  - a- een ongedefinieerd geluidssignaal t.g.v. rookdetectie, of
  - b- door het ruiken van rook, of
  - c- door het horen van een gerucht, of
  - d- door het bezwijken van de niet voldoende brandwerende delen van de gevel van de aangrenzende ruimte, bij brand in die aangrenzende ruimte, of
  - e- door het optreden van vlamoverslag in de aangrenzende ruimte, bij brand in de aangrenzende ruimte, of
  - f- door het in werking treden van een sprinklerinstallatie, of
  - g- 13 minuten na aanvang van de brand. (op advies van de begeleidingscommissie).
- Het nuttig effect van de BHV (dat in de richtlijn is opgenomen) is dat alle uitgangen (ook de nooduitgangen) vanaf dat moment 100% efficiënt worden benut.



## **4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN**

### **4.1 Reductie capaciteit**

De kwalitatieve aspecten als het zoeken van kinderen, het teruglopen zijn niet meegenomen in het model omdat kwantificering ontbreekt. Zowel de doorgangen als deuren en trappen, als ook de gemiddelde loopsnelheid bij ontruiming van een gebied zullen echter negatief beïnvloed worden.

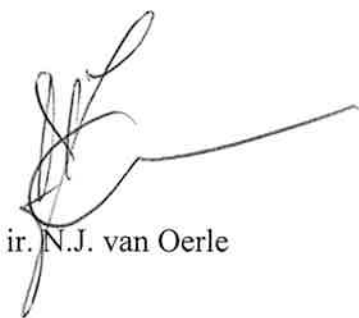
Een beleidsmatige keuze kan gemaakt worden om de invloed van zulke aspecten (per gebouwfunctie verschillend) mee te laten wegen. Dit zou uitgedrukt kunnen worden in een reductie van de capaciteit als ook van de aangenomen loopsnelheid.

### **4.2 Ruiken van rook**

Het ruiken van rook zal afhangen van het aantal deeltjes op ooghoogte. Hiervoor is een verband aangenomen met het aantal deeltjes in de rooklaag boven een gebied, en de afstand tot de rooklaag. Het verdient aanbeveling om het moment dat mensen brand ruiken, in relatie tot de eigenschappen van een rooklaag onder het plafond, nader te onderzoeken.

### **4.3 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

## 5 GERAADPLEEGDE LITERATUUR

- [1.] D. Drysdale  
"An Introduction to Fire Dynamics" ,1985, ISBN : 0 471 90613 1
- [2.] J.H. van der Veek et al.  
"Bouwkundige brandpreventie bij grote brandcompartimenten; eindrapport"  
eindrapport MC-4016, DHV AIB BV, Amersfoort, april 1995.
- [3.] J.W. Pothuis  
Fax aan Vrom, BiZa en TNO met het concept vluchttijden-model 31-10,  
PRC Bouwcentrum, Utrecht, 1995.
- [4.] H. Zorgman et al.  
"Menselijk gedrag bij brand" SBR publicatie B29-2, Rotterdam, 1984
- [5.] T. Jin  
"Visibility through Fire Smoke, part 5: Allowable Smoke Density for Escape from  
Fire" Report of Fire Research Institute of Japan, no. 42, 12-18 CIB/W14/77/08(J)
- [6.] T. Jin  
"Studies on Emotinal Instability in Smoke from Fires; Decrease of Thinking Powers  
and of Memory in Fire Smoke" UJNR Panel on Fire Research and Safety, 6th Joint  
Panel Meeting, p. 180-190, Tsukuba Japan, 1982
- [7.] T. Jin, T. Yamada  
"Irritating effects of fire smoke on visibility" UJNR Panel on Fire Research and  
Safety, 8th Joint Panel Meeting, p. 451-464, Tsukuba Japan, 1985
- [8.] T. Jin, T. Yamada  
"Experimental Study of Human Behavior in Smoke Filled Corridors" International  
Association for Fire Safety Science, Proc. of the 2nd internation symposium Tokyo  
Japan, p. 511-519, Hemisphere New York/London 1988
- [9.] M. Kimura, J. Sime  
"Exit Choice Behaviour during the Evacuation of Two Lecture Theatres" International  
Association for Fire Safety Science, Proc. of the 2nd internation symposium Tokyo  
Japan, p. 541-550, Hemisphere New York/London 1988

- [10.] B.K. Jones, J.A. Hewitt  
"Leadership and Group Formation in High-Rise Building Evacuations" International Association for Fire Safety Science, Proc. of the 1st international symposium Borehamwood UK, p. 513-522, Hemisphere New York/London 1985
- [11.] S.Horiuchi, Y. Murozaki, A. Hokugo  
"A Case Study of Fire and Evacuation in a Multi-Purpose Office Building, Osaka, Japan" International Association for Fire Safety Science, Proc. of the 1st international symposium Borehamwood UK, p. 523-532, Hemisphere New York/London 1985
- [12.] G. Proulx, J.D. Sime  
"To prevent 'Panic' in an Underground Emergency: Why Not Tell People the Truth?" International Association for Fire Safety Science, Proc. of the 3rd international symposium Edinburgh UK, p. 843-852, Elsevier Applied Science New York/London 1991
- [13.] T. Jin, T. Yamada  
"Experimental Study on Effect of Escape Guidance in Fire Smoke by Travelling Flashing of Light Sources" International Association for Fire Safety Science, Proc. of the 4th international symposium Ottawa, p. 657-668, 1994
- [14.] L.S. Poon  
"Evac-Sim: A Simulation Model of Occupants with Behavioural Attributes in Emergency Evacuation of High-Rise Building Fires" International Association for Fire Safety Science, Proc. of the 4th international symposium Ottawa, p. 657-668, 1994
- [15.] P.F. Johnson, V.R. Beck, M. Horasan  
"Use of Egress Modelling in Performance-Based Fire Engineering Design - A Fire Safety Study at the National Gallery of Victoria" International Association for Fire Safety Science, Proc. of the 4th international symposium Ottawa, p. 657-668, 1994
- [16.] R.F. Fahy  
"Exit 89 - An Evacuation Model for High-Rise Buildings - Model Description and Example Applications" International Association for Fire Safety Science, Proc. of the 4th international symposium Ottawa, p. 657-668, 1994
- [17.] P.A. Thompson, E.W. Marchant  
"Simulex; Developing New Computer Modelling Techniques for Evaluation" International Association for Fire Safety Science, Proc. of the 4th international symposium Ottawa, p. 613-624, 1994

- [18.] Shields, T.J., Dunlop, K.E., Silcock, G.W.H., 1993.  
“Emergency evacuation of a mixed ability population from a museum building”,  
Proceedings CIB/W14 Workshop on Modelling, Delft.
- [19.] Bryan, J.L., Milke, J.A., 1981.  
“The determination of behavior response patterns in fire situations, Project People II”,  
NBS-GCR-81-343, Universiteit van Maryland, U.S.A.
- [20.] Bryan, J.L., 1983.  
“Implications for codes and behavior models from the analysis of behavior response  
patterns in fire situations as selected from the Project People II study programs”,  
NBS-GCR-83-425, Universiteit van Maryland, U.S.A.
- [21.] Staatscourant, nr 214, 3/11/1995  
Ontwerp ARBO besluit, 1995
- [22.] Oerle, N.J. van et al.:  
"Rookverspreiding en warmteoverdracht bij brand", SBR rapport no 243, 1995