

Onderzoek naar de risico's tot brandoverslag bij een
volontwikkelde brand in een industriegebouw naar
naastliggende gebouwen.

Caroline Deleu

Promotor: prof. dr. ir. Paul Vandevelde

Begeleider:

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van
Postgraduaat Fire Safety Engineering

Vakgroep Mechanica van stroming, warmte en verbranding Voorzitter:
prof. dr. ir. Roger Sierens



Faculteit Ingenieurswetenschappen
Academiejaar 2008-2009

Onderzoek naar de risico's tot brandoverslag bij een
volontwikkelde brand in een industriegebouw naar
naastliggende gebouwen.

Caroline Deleu

Promotor: prof. dr. ir. Paul Vandevelde

Begeleider:

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van
Postgraduaat Fire Safety Engineering

Vakgroep Mechanica van stroming, warmte en verbranding Voorzitter:
prof. dr. ir. Roger Sierens



Faculteit Ingenieurswetenschappen
Academiejaar 2008-2009

Voorwoord

Het onderwerp van mijn scriptie vindt zijn oorsprong in ervaringen opgedaan tijdens een aantal projecten waarin ik betrokken ben geweest en een aantal daaraan gekoppelde vragen die ik mezelf heb gesteld.

De afgelopen twee jaar heb ik voor een grote retailer meegewerkt aan de brandveiligheid van de opslagplaatsen op het distributiecentrum.

Ik ben hierbij intensief bezig geweest met het bepalen van voorzorgsmaatregelen opdat vlamoverslag tussen gebouwen vermeden zou worden.

Binnenkort zal het Koninklijk Besluit, Bijlage 6 voor industriegebouwen van kracht worden. Daarin staan eisen geformuleerd ten aanzien van benodigde afstanden tussen gebouwen.

De gekende regelgevingen en methoden om de benodigde afstanden te bepalen houden geen rekening met risico's verbonden aan straling als gevolg van vlammen die uitslaan boven het dak.

Het is onder andere mijn doel om na te gaan of hier wel degelijk rekening mee dient gehouden te worden. Daartoe heb ik gepoogd om een methode uit te werken die deze straling en de impact op de benodigde tussenafstand kan bepalen.

Dit werk is er niet alleen gekomen door mijn interesse in de materie, er zijn nog tal van mensen die, elk op hun manier, hun steentje bijgedragen hebben om dit werk te maken tot wat het nu is.

Ik zou dan ook graag in de eerste plaats mijn promotor, prof. dr.ir. Vandeveldte willen danken voor zijn steun, tijd, geduld en vertrouwen die hij op elk moment heeft getoond.

Wie zeker aandacht verdient is mijn moeder, die gedurende deze 2 jarige opleiding elke week gezorgd heeft voor de nodige opvang van mijn dochter, Grace op momenten waar ik naar de cursus ging of diende te studeren.

Ook mijn man wil ik graag danken voor zijn liefdevolle ondersteuning en begrip gedurende deze soms stressvolle periode.

Verder wil ik nog een aantal mensen bedanken die hier niet bij naam vermeld zijn maar die toch op een of andere manier voor mij een uitlaatklep zijn geweest en mij gesteund hebben.

Caroline Deleu, mei 2009

Deze pagina is niet beschikbaar omdat ze persoonsgegevens bevat.
Universiteitsbibliotheek Gent, 2021.

This page is not available because it contains personal information.
Ghent University, Library, 2021.

Onderzoek naar de risico's tot brandoverslag bij een volontwikkelde brand in een industriegebouw naar naastliggende gebouwen.

door

Caroline Deleu

Promotor: prof. dr. ir. Paul Vandevelde Begeleider:

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van
Postgraduaat Fire Safety Engineering

Vakgroep Mechanica van stroming, warmte en verbranding

Voorzitter: prof. dr. ir. Roger Sierens

Faculteit Ingenieurswetenschappen
Academiejaar 2008-2009

Samenvatting

Brandoverslag tussen gebouwen dient voorkomen te worden opdat de brand beheersbaar zou blijven. Vooral bij brand in logistieke distributiecentra kunnen door de hoge concentratie aan waardevolle goederen en de eventuele bedrijfsinteruptie de kosten heel hoog oplopen.

Binnenkort wordt het Koninklijk Besluit, Bijlage 6, van de basisnormen voor industriegebouwen van kracht. Daarin staan eisen geformuleerd ten aanzien van benodigde afstanden tussen gebouwen opdat brandoverslag vermeden zou worden.

In dit werk worden regels en methoden om deze afstanden te bepalen vergeleken.

Geen van de bestaande regels en methoden houdt rekening met de risico's verbonden aan straling als gevolg van vlammen die boven het dak uitslaan. Er wordt onderzocht welke de stralingsintensiteiten van uitslaande vlammen boven het dak kunnen zijn en wat de impact is op de benodigde tussenafstanden. Hiertoe worden een aantal methoden uitgewerkt die de stralingsintensiteiten van de uitslaande vlammen boven het dak te kunnen bepalen.

Trefwoorden

brandoverslag, tussenafstand, industriegebouwen, stralingsintensiteit

Research of the risks of firespread from a fully developed fire in an industrial building to neighbouring buildings.

Caroline Deleu
Supervisor : prof.dr.ir. Paul Vandevelde

Fire spread between buildings should be avoided to be able to control the fire. Fire safety goals set by regulations mainly focus on 'life safety' and on the possibility to control the fire. Insurance companies can demand a higher level of fire safety mainly to restrict the costs due to property losses. Based on performed risk assessment analysis, the owner or user of a building can have extra safety desires.

In Belgium a new Royal Decree – Annex 6 for industrial buildings - will soon become valid. A method for calculating separation distances and minimale distance requirements are included in this document.

The objective of this report is to make a review of available methods and regulations for determining separation distances between buildings. An investigation is made on the levels of radiation emitted from flames projected through a collapsed roof and their impact on the separation distances needed.

An assessment and comparison of existing calculation methods is made. A comparison between the different methods is made for an industrial building.

Based on an extensive literature study a risk analysis is made to define possible scenario's leading to fire spread between buildings. Especially fires in large warehouses lead to major losses. Detailed investigation has been made on the scenario where the roof of a burning warehouse collapses and projected flames are coming through the roof.

A number of methods are worked out to determine the impact of the radiation coming from flames above the roof on the necessary separation distances between buildings.

To define the emitted radiation from these flames, the radiating surface and the temperature of the flames need to be defined. The surface of the radiating flames above the roof is defined by calculating a flame height and defining a width. Possible flame heights of projected flames through the roof are calculated according to the Heskestad formula, which assumes a circular burning surface and according to the Hasemi & Nishihata correlation, which was setup for rectangular surfaces. The flame heights depend on the surface and the heat release rate (HRR) of the burning materials. HRR of 630kW/m², 1250 kW/m² and even higher

values in accordance with values used for the design of smoke and heat control systems for stored goods up to 4m are used.

It is assumed that the base of the burning surface is parallel to the external wall.

The impact of the temperature of the flames is analysed by considering 3 temperature levels:. 550°C is known as the temperature at the visible limit of the flame

680°C is the maximum temperature of an exterior fire according to the standard time temperature curve for exterior fires.

850°C is taken for fires which could due to the nature of the materials – for instance plastics - produce higher flame temperatures.

Depending on the location on the exposed building – on the roof or the facade - the required configuration factor for the emitting radiator surface is calculated.

The required separation distance is derived from the fact that the incident radiation should be less than the critical radiation flux of the exposed materials.

The critical radiation flux is set at 15 kW/m² in the Dutch and Belgium regulations. Other regulations are more severe and use a critical radiant flux of 12,5 kW/m².

Conclusions:

- Some methods like NFPA 80A, Collier, Barnett and BRE 187 lead to very high separation distances when the external wall is assumed as 100% opening. This is due to the level of emitted radiation from the fire which is maintained as if it were a compartment fire.
- Separation distances required according to Annex 6 of the Belgium decree are calculated for one typical wall dimension. Locally, perpendicular to openings, higher separation distances may be necessary to get an incident radiation level below the critical radiation flux.
- When a wall has no fire resistance the total wall should be seen as a radiator. The required distances mentioned in the Annex 6 for industrial buildings are for the dimensions of 60mx12m. Facades with smaller dimensions may fulfil the radiation

requirement with a smaller separation distance.

- Dimensions of projected flames above the roof, depend on the HRR and the surface of the burning material.
- Impact of the radiation coming from these flames depends mainly on the defined flame temperatures and the dimensions of the flames.
- For flame temperatures of 550°C the extra required separation distance is minimal, even with flames up to 60m.
- Comparing flame temperatures of 850°C with 680°C, the required distances are more than double.
- The impact in cases where neighbouring buildings have the same height, is highest on the top side of the façade and on the roof of the adjacent building.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
2	Wetgeving.....	2
2.1	België.....	2
2.2	Nederland	5
3	Parameters die de branduitbreiding tussen gebouwen beïnvloeden.....	8
3.1	Branduitbreiding tussen gebouwen	8
3.1.1	Vliegvuur.....	8
3.1.2	Vlam contact.....	8
3.1.3	Convectieve warmteoverdracht	8
3.1.4	Stralingswarmte	8
3.1.5	Kritische ontstekingsflux	8
3.2	Ontvangen straling	11
3.2.1	Uitgezonden stralingswarmte van het compartiment.....	11
3.2.2	Straling afkomstig van uitslaande vlammen	14
3.2.3	Configuratiefactor	16
4	Berekeningsmethoden.....	22
4.1	Omschreven rechthoeken	22
4.2	Peter Collier	25
4.3	C.R. Barnett.....	29
4.4	NFPA 80A.....	31
4.5	Vergelijking van de methoden	36
5	Branden in industriegebouwen/ opslagplaatsen.....	38
5.1	Statistische informatie over branden in industriegebouwen	38
5.1.1	Frequentie van branden	38
5.1.2	Oorzaken van branden in opslagplaatsen	39
5.1.3	Statistische informatie over Sprinklerinstallaties	40
5.1.4	Statistische informatie over automatische branddetectie	40
5.1.5	Geval studies	41
5.2	Risico analyse	42
6	Fire safety engineering (FSE) aanpak.....	47
6.1	Brandveiligheids doelstelling	47
6.2	Bepalen van het ontwerp brandscenario	48
6.3	Straling afgegeven door de vlammen.....	50
6.3.1	Vlamhoogte	54
6.3.2	Vlamtemperatuur	59
6.4	Straling ontvangen op naburige gebouwen	61

6.4.1	Straling ontvangen op het dak van naburige gebouwen	63
6.4.2	Straling ontvangen op de gevel evenwijdig met het brandende gebouw	66
6.4.3	Straling ontvangen op de gevel loodrecht op de zijde van het brandende gebouw	67
6.5	Ontstekingsgedrag van de blootgestelde materialen	68
6.6	Sensitiviteitsanalyses	69
6.6.1	Invloed van de vlamtemperatuur op de benodigde tussenafstand volgens methode 1	69
6.6.2	Invloed van de HRR op de benodigde tussenafstand volgens methode 1	75
6.6.3	Invloed van de vlamlengte op de uitgezonden stralingsintensiteit volgens methode van Lees	77
6.6.4	Vergelijking van de stralingsintensiteiten in functie van de afstand tussen de 1 ^{ste} methode en de methode van Lees	78
6.6.5	Invloed van de HRR op de tussenafstand volgens methode van Shokri en Beyler	81
7	Vergelijking van benodigde tussenafstanden	84
7.1	Geval 1 - geen vlammen boven het dak	85
7.1.1	Voorgevel	86
7.1.2	Achtergevel (geen brandweerstand)	90
7.1.3	Samenvatting :	93
7.2	Geval 2 - vlammen boven het dak in rekening brengen	94
7.2.1	Bepaling van benodigde tussenafstand voor straling ontvangen op de voorgevel van het naastliggend gebouw:	94
7.2.2	Bepaling van benodigde tussenafstand voor straling afkomstig van de achtergevel :	96
7.2.3	Straling van de vlammen boven het dak op het dak van een naastliggend gebouw.	98
7.3	Geval 3 - Vlammen boven het dak, naast elkaar liggende compartimenten	98
8	Conclusies en aanbevelingen	101
	Bijlage A	106
	Bibliografie	115

Lijst met afkortingen en symbolen

FSE	Fire safety engineering
Bijlage 6	Bijlage 6 – Industriële gebouwen
KB	Koninklijk Besluit
WBDBO	Weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag
HRR	Heat Release Rate
H&N	Hasemi & Nishihata
OR	Omschreven Rechthoek
I_{EC}	Uitgezonden stralingsintensiteit (kW/m ²)
I_{krit}	Kritische ontstekingsflux (kW/m ²)
I	Invallende stralingsintensiteit (kW/m ²)
ϕ	Configuratie factor
χ	Fractie stralingswarmte
A_V	Totale oppervlakte van de stralende delen (Dit omvat alle oppervlakken zonder brandweerstand) (m ²)
A_E	Oppervlakte van de omschreven rechthoek (m ²)
A_{vert}	totale oppervlakte van alle verticale openingen in alle wanden (m ²)
h_{eq}	gewogen gemiddelde van de hoogte van alle ramen in alle wanden (m)
A_{tot}	totale oppervlakte van het omhulsel, wanden, plafond en vloer, openingen inbegrepen (m ²)
O	Openingsfactor
$\dot{Q}$	Totale warmte vrijstelling, HRR van de brand (kW)
$\dot{Q}_r$	Totaal uitgezonden stralingswarmte (kW)
$\dot{Q}_l$	HRR per eenheidslengte van de vuurhaard (kW/m)
$\dot{q}''$	HRR per oppervlakte eenheid van de vuurhaard (kW/m ²)
h_p	Pallet stapelhoogte (m)
M	Vochtgehalte (%)
L	Gemiddelde vlamlengte (m) berekend volgens vergelijking (6.11) of volgens correlatie van Hasemi & Nishihata
D	Diameter van het brandend oppervlak of lengte van de rechthoek van de vuurhaard (m)
B	Breedte van het brandend oppervlak (m)
T_2	Temperatuur in het brandend compartiment (K)
T_1	Omgevingstemperatuur (K)
σ	Stefan Boltzman constante, nl. $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
ε	Emissiviteit
θ_g	Gas temperatuur in het compartiment (°C)

t	Tijd (min)
t_{ig}	Tijd tot ontsteking van het materiaal in de cone calorimeter proef (min)
d_f	Dikte van de vlammen (m)
ε_f	Emissiviteit van de vlam
$H_{opening}, B_{opening}$	Hoogte en breedte van de opening (raam) (m)
z	Hoogte van de tip van de vlam boven het raam (m)
$\dot{m}$	Verbrandingssnelheid (kg/s)
x	Horizontale reikwijdte vanaf de facade van het gebouw (m)
n	Vormfactor = $2B_{opening}/H_{opening}$

1 Inleiding

Brandveiligheidsdoelstellingen die door de wetgeving bepaald worden, hebben overwegend betrekking op de veiligheid van personen, medewerkers en medeburgers en de beheersbaarheid van de brand. Verzekeraars zijn ook geïnteresseerd in het beperken van de financiële schade in geval van brand. Brandverzekeraars kunnen aandringen op brandveiligheidsmaatregelen bij het gebouwonwerp die tot een hoger veiligheidsniveau leiden dan voorgeschreven door de wetgeving. Het honoreren van deze maatregelen kan van invloed zijn op de hoogte van de premie. Ook kan de gebruiker of eigenaar van het gebouw besluiten aanvullende maatregelen te nemen in het gebouw, omdat hij dat op grond van risicoanalyse wenselijk vindt. Een ander aspect is nog de eventuele gevolgschade. Als een bedrijf langere tijd niet kan leveren, dan raakt het zijn klanten kwijt. De wensen van de verzekeraars kunnen, in tegenstelling tot de eisen van de overheid, worden afgewogen door de kosten (investeren in voorzieningen) en besparingen (minder premie) en de risico's die men loopt in de te huisvesten organisatie, tegen elkaar af te zetten.

De kosten van uitvoering van alle brandveiligheidseisen zijn voor rekening van de eigenaar/financier. Deze heeft, naast de eisen van de overheid en de wensen van de brandverzekeringsmaatschappij, ook te maken met de gebruiker(s) van het gebouw. Die kunnen specifieke wensen inbrengen die niet stroken met (prestatie-)eisen in de wetgeving. Bij industriële gebouwen zijn soms grote ongecompartimenteerde ruimten nodig om bijvoorbeeld een productielijn goed te laten functioneren of het interne transport beter te laten verlopen. Het vereiste brandveiligheidsniveau moet dan op een alternatieve manier worden bereikt, bijvoorbeeld door de inzet van een sprinkler installatie of door de brandwerendheid van de wanden te verhogen.

Brandoverslag tussen gebouwen dient voorkomen te worden opdat de brand beheersbaar zou blijven. Vooral bij brand in logistieke distributiecentra kunnen door de hoge concentratie aan waardevolle goederen en de eventuele bedrijfsinteruptie de kosten heel hoog oplopen.

Binnenkort wordt het Koninklijk Besluit, Bijlage 6, van de basisnormen voor industriegebouwen van kracht. Daarin staan eisen geformuleerd ten aanzien van benodigde afstanden tussen gebouwen opdat brandoverslag vermeden zou worden.

In dit werk worden de regels en methoden om deze afstanden te bepalen vergeleken.

In hoofdstuk 2 worden de nieuwe Belgische regelgeving en de Nederlandse regelgeving voor industriegebouwen beschreven. In hoofdstuk 3 worden de parameters die de brandoverslag tussen gebouwen beïnvloeden beschreven. Hoofdstuk 4 beschrijft een aantal beschikbare berekeningsmethoden en richtlijnen voor het bepalen van benodigde tussenafstanden.

Geen van deze regels en methoden houdt rekening met de risico's verbonden aan straling als gevolg van vlammen die boven het dak uitkomen. In hoofdstuk 5 is een literatuurstudie naar de oorzaken en gevolgen van branden in industriegebouwen uitgevoerd. Aan de hand van een risico-analyse zijn scenario's waarbij vlammen boven het dak van een industriegebouw kunnen uitslaan onderzocht. In hoofdstuk 6 wordt voor een scenario waarbij vlammen boven het dak uitslaan, de invloed van de straling van deze vlammen op de benodigde tussenafstand nagegaan. Een aantal methoden worden uitgewerkt om de stralingsintensiteit van vlammen die boven het dak uitslaan te kunnen bepalen.

Aan de hand van een aantal voorbeelden uitgewerkt in hoofdstuk 7 worden de verschillende bevindingen geëvalueerd. De conclusies en de aanbevelingen die op basis van dit werk zijn gemaakt worden in hoofdstuk 8 vermeld.

2 Wetgeving

In dit hoofdstuk wordt beschreven welke de eisen zijn voor de benodigde tussenafstanden tussen gebouwen, die de nieuwe wetgeving in België zal voorzien, en die de wetgeving in Nederland voorziet.

2.1 België

Het basisreglement dat de minimum vereisten bepaalt waaraan het ontwerp, de bouw en de inrichting van gebouwen moeten voldoen is het Koninklijk Besluit van 7 juli 1994 tot vaststelling van de Basisnormen voor de preventie van brand en ontploffing waaraan de nieuwe gebouwen moeten voldoen. (gewijzigd per KB 19-12-1997, KB van 4-4-2003 en KB 13-06-2007)

Dit KB bestaat uit volgende bijlagen :

- Bijlage 1 – Terminologie
- Bijlage 2 – Lage gebouwen
- Bijlage 3 – Middelhoge gebouwen
- Bijlage 4 – Hoge gebouwen
- Bijlage 5 – Reactie bij brand

Momenteel is hier sprake van een klassieke beschrijvende wetgeving.

Voor de vereisten waar industriegebouwen moeten aan voldoen is recentelijk “Bijlage 6 – Industriële gebouwen” van de Basisnormen goedgekeurd.

Na publicatie in het staatsblad onder een Koninklijk Besluit zullen de voorschriften van bijlage 6 van toepassing zijn op nieuw op te richten industriegebouwen en de uitbreidingen aan bestaande industriegebouwen.

In tegenstelling tot de andere bijlagen waar sprake is van klassieke beschrijvende wetgeving wordt in bijlage 6 meer een Fire Safety Engineering aanpak gevolgd. Dit betekent dat een meer prestatie gerichte aanpak mogelijk is.

Bijlage 6 – Afstand tussen gebouwen

In §5 van Bijlage 6 wordt beschreven hoe de uitbreiding van de brand naar belendende gebouwen beperkt dient te blijven. [1]

Doelstelling

- Verzekeren van de veiligheid van personen die zich in de belendende gebouwen bevinden
- Hulpdiensten in staat stellen om de brand meester te worden

Hiertoe dienen onder andere :

1. De straling van de brand beperkt te worden tussen gebouwen die los van elkaar staan;
2. De branddoorslag tegengegaan te worden tussen gebouwen met een gemeenschappelijke wand.

3. De verspreiding van de brand van en naar het dak beperkt te worden.

Dit wordt bereikt door tussen de gebouwen een bepaalde tussenafstand te voorzien.

Prestatievereiste :

De grootte van de tussenafstand wordt bepaald door de grootte van de invallende straling van een brand op de belendende gebouwen te beperken tot 15 kW/m².

Berekeningsmethode :

De invallende straling I is afhankelijk van de grootte van de uitgaande straling I_{EC} , de vormfactor ϕ , de oppervlakte van het stralend oppervlak, inclusief bouwdelen zonder Rf 1h, A_V en de oppervlakte A_E van de omschreven rechthoek, zijnde diegene die de bouwdelen zonder Rf 1h omschrijft zoals vensters, geprofileerde staalplaten, ...

$$I = \phi \alpha I_{EC} \leq 15 \quad (\text{kW} / \text{m}^2) \quad (2.1)$$

Waarbij :

- I de ontvangen stralingsintensiteit (kW/m²)
- I_{EC} de uitgezonden stralingsintensiteit (kW/m²), in Bijlage 6 is dit bij afspraak 45 of 170 kW/m² voor branden die door toevoer van brandstof resp. lucht beheerst worden. Als de gevels van het gebouw bezwijken in geval van brand wordt de brand beschouwd als zijnde brandstof beheerst.
- ϕ de configuratiefactor
- α = A_V/A_E de verhouding van de totale oppervlakte van openingen of niet brandwerende delen van de gevel tot de totale oppervlakte van de omschreven rechthoek
- A_V de totale oppervlakte van stralende delen (oppervlakken zonder brandweerstand Rf 1h) (m²)
- A_E de oppervlakte van de omschreven rechthoek (m²) rond deze oppervlakken

Dit betekent dat indien de oppervlakte van niet beschermde openingen 50% bedraagt van de omschreven rechthoek, dan wordt de uitgezonden stralingsintensiteit, I_{EC} met een factor van 50/100 verminderd.

Deze berekeningsmethode is afgeleid van de methode van de omschreven rechthoeken zoals besproken in §4.1.

De configuratiefactor ϕ wordt gegeven door :

$$\phi = \frac{2}{\pi} \left[\frac{X}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \tan^{-1} \left(\frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \right) + \frac{Z}{\sqrt{Y^2 + Z^2}} \tan^{-1} \left(\frac{X}{\sqrt{Y^2 + Z^2}} \right) \right] \quad (2.2)$$

Waarbij :

- X de halve breedte van de gevel of van de omschreven rechthoek (m)
- Z de halve hoogte van de gevel of van de omschreven rechthoek (m)

Y de tussenafstand (m)

Volgens dit model wordt de maximale stralingsintensiteit op de tegenoverliggende gevel, loodrecht op het centrum van de omschreven rechthoek ontvangen.

In Bijlage 6 is voor een breedte en hoogte van de omschreven rechthoek van 60m resp. 12m voor verschillende karakteristieke gevels - verschillende waarden voor α - het resultaat van de berekening weergegeven in Tabel 2.1. Er is uitgegaan van:

- Gevel zonder specifieke brandwerendheid - $\alpha = 1$ en $I_{EC} = 45 \text{ kW/m}^2$
- Gevel $E_{(i \leftrightarrow o)60}$ met openingen - $\alpha = \%$ openingen in de omschreven rechthoek en $I_{EC} = 170 \text{ kW/m}^2$

Brandwerendheid van de gevel	% openingen zonder brandwerendheid	Afstand (m)
$E_{(i \leftrightarrow o)60}$	Geen	-
	< 10%	4
	< 15%	8
	< 20%	12
	> 20%	16
Geen		16

Tabel 2.1 Minimale tussenafstand tussen belendende gebouwen in functie van straling

De bepaalde afstand kan nog vergroten indien er gevaar bestaat dat de gevel instort.

Indien de beide gevels van de tegenoverstaande gebouwen op eenzelfde perceel liggen wordt de afstand bepaald in functie van de gevel met de hoogste brandwerendheid. Als de tegenoverstaande gebouwen op hetzelfde perceel zijn gelegen volstaat voor beide gevels $E_{(i \leftrightarrow o)60}$ of $E_{(o \rightarrow i)60}$ als de tussenafstand tussen beide gevels groter is dan of gelijk aan de hoogte van de hoogste gevel.

Spiegelsymmetrie ten opzichte van de perceelgrens

De tussenafstand wordt in beginsel berekend tussen belendende gebouwen. Wanneer deze gebouwen op eenzelfde perceel gelegen zijn, dan geldt deze afstand zonder meer. Wanneer deze gebouwen op verschillende percelen liggen behorende bij verschillende gebruikers dan is enkel de afstand tot de perceelsgrens van belang. Deze afstand bedraagt de helft van de tussenafstand tussen het industriegebouw en een denkbeeldig identiek industriegebouw dat om de perceelsgrens gespiegeld is.

Brandbare gestapelde goederen

In het gebied tussen de belendende gebouwen mag geen opslag van brandbare goederen gebeuren, tenzij deze goederen op een afstand van het gebouw liggen die minstens gelijk is aan de afstand zoals bepaald tussen belendende gebouwen.

Gebouwen uitgerust met automatische blusinstallatie

De tussenafstand bepaald in Tabel 2.1 mag voor de gevels van gebouwen uitgerust met een sprinklerinstallatie gehalveerd worden.

Volgende voetnoot is gemaakt : “Volgens NBN EN 12845 dient er een afstand van minimaal 10m of 1,5 maal de hoogte van de gestapelde goederen verzekerd te worden tussen een gesprinklerd gebouw en niet-gesprinklerde risico's. Rekening houdend met het principe van spiegelsymmetrie en de halvering van de afstand mogen gesprinklerde gebouwen waarvan de gevels geen specifieke brandweerstand hebben tot op 4m van de perceelsgrens ingeplant worden.

Indien gebouwen op hetzelfde perceel gelegen zijn en beide gebouwen uitgerust zijn met een automatische blusinstallatie, is er geen minimale tussenafstand vereist in functie van de straling.

Brandgedrag van daken

De dakbedekking van het industriegebouw behoort tot klasse B_{ROOF} (t1).

In paragraaf 3.4 wordt beschreven hoe de compartimentswanden uitgevoerd dienen te worden. Deze dienen zo ontworpen te zijn dat in geval van brand het risico op verspreiding van brand en rook naar het aanpalend compartiment beperkt wordt.

Daartoe dient :

- Ofwel de compartimentswand ten minste 1m resp. 0,5m boven het dakoppervlak resp. gevelvlak uit te steken.
- Ofwel de compartimentswand aan te sluiten met het dak resp. gevel die langs weerszijden van de wand over een horizontale afstand van ten minste 2m resp. 1m een brandweerstand E60 of E120 heeft, afhankelijk van de vereiste brandweerstand van de wand, en dit met uitzondering van de dakafdichting, is opgebouwd uit onbrandbare materialen.

2.2 Nederland

De brandveiligheidsvoorschriften waaraan een gebouw moet voldoen, zijn te vinden in het Bouwbesluit. Alle voorschriften van bouwkundige aard – voor zover het een bouwwerk of gebouw betreft – zijn geregeld in het Bouwbesluit.

Tussen brandcompartimenten moet voldaan worden aan eisen met betrekking tot de WBDBO – de weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag. Volgens NEN 6068 is de WBDBO de kortste tijd die een brand nodig heeft om zich uit te breiden van de ene ruimte naar de andere ruimte onder standaardomstandigheden. Brandoverslag is de uitbreiding van brand van een ruimte naar een andere ruimte uitsluitend via de buitenlucht.

Volgens het Bouwbesluit 2.106 dient de WBDBO tussen een gebouw of brandcompartiment en een ruimte in een ander gebouw ten minste 60 minuten te bedragen. Bij lage gebouwen op hetzelfde perceel geldt een reductie van 30 minuten.

Om te bepalen of aan de minimumeis met betrekking tot brandoverslag wordt voldaan, moet er een onderscheid gemaakt worden in bebouwing op het eigen perceel en bebouwing

buiten de perceelgrens. Op het aangrenzende perceel dient te worden uitgegaan van een fictief gebouw, met name een spiegelsymmetrische projectie over de perceelsgrens.

De WBDBO tussen ruimten wordt bepaald met behulp van de norm NEN 6068 “Bepaling van de weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag tussen ruimten”. [2]

Het toepassen van deze norm is aan een aantal voorwaarden verbonden, namelijk :

- Alle gevels van het gebouw moeten ten minste voldoen aan klasse 2 bijdrage tot brandvoortplanting;
- Daken mogen niet brandgevaarlijk zijn uitgevoerd;
- De brandruimte mag niet hoger zijn dan 8m;
- De totale oppervlakte aan gevelopeningen mag niet meer bedragen dan 50% van de vloeroppervlakte van de brandruimte en gevelopeningen moeten een rechthoekige vorm hebben.

Tussen gebouwen die niet direct aan elkaar grenzen moet om te mogen rekenen met de NEN 6068 bovendien aan een afstandscriterium worden voldaan. Als voorwaarde is gesteld dat de horizontale afstand tussen gevelopeningen in beide gebouwen ten minste 5m bedraagt dan wel minimaal driemaal de berekende vlamdikte.

Bij het beoordelen van de WBDBO tussen gebouwen gaat men ervan uit dat het geplande gebouw of brandcompartiment, als zender functioneert en ruimten in het bestaande gebouw respectievelijk de fictieve projectie, als ontvanger. Er dient aangetoond te worden dat binnen de minimaal vereiste tijdsduur als gevolg van brandoverslag op grond van criteria in NEN 6068, geen brand ontstaat in de ontvangende ruimte.

Bij het bepalen van de weerstand tegen brandoverslag wordt uitgegaan van een gekozen referentievuurbelasting, in kg vurenhout/m², voor de beschouwde brandruimte. Vervolgens wordt een aantal stappen ondernomen:

- Modelleren van een brand in de ruimte bij de gekozen referentievuurbelasting;
- Modelleren van vlammen die uit de gevelopeningen van de brandruimte slaan;
- Berekenen van de totale warmtestralingsflux bij de gevelopeningen van de ontvangende ruimte.

Als uit de berekeningen blijkt dat de warmtestralingsflux op het ontvangende vlak nergens hoger is dan 15 kW/m² kan worden gesteld dat de weerstand tegen brandoverslag in minuten ten minste gelijk is aan de gekozen referentievuurbelasting. Dat wil zeggen: als voor de berekening wordt uitgegaan van een referentie vuurbelasting van 60 kg vurenhout/m² en uit de berekening blijkt dat nergens een stralingsflux van meer dan 15 kW/m² optreedt, dan is in dat geval voldaan aan de eis van 60 minuten weerstand tegen brandoverslag tussen de onderzochte ruimten.

De benodigde berekeningen om tot de totale warmtestralingsflux te komen zijn dermate ingewikkeld dat ze zonder gebruikmaking van computermodellen, niet of nauwelijks zijn uit te voeren.

NEN 6068, § 5.4.2 geeft voor de industrie functie een vereenvoudigde methode voor het berekenen van de brandoverslag.

Er wordt voor de werkwijze van het volgende uitgegaan :

- Van alle buitengevels van de brandruimte waarvan delen minder dan 30 min brandwerend zijn uitgevoerd moet de onderste helft over de gehele breedte als gevelopening worden beschouwd van waaruit de weerstand tegen brandoverslag wordt bepaald;
- De temperatuur in de brandruimte T_2 van het brandcompartiment van het gebouw van waaruit de weerstand tegen brandoverslag wordt bepaald, bedraagt 944 K. Hiermee stemt een bronstraling I_{EC} van 45 kW/m² overeen.
- Er treden geen uitslaande vlammen op.

De warmteflux afkomstig van een gevel van de brandruimte op een observatiepunt wordt gegeven door :

$$I = \phi I_{EC} \quad (kW / m^2) \quad (2.3)$$

Waarbij :

- | | |
|----------|--|
| ϕ | Configuratiefactor van de rechthoek bepaald volgens vergelijking (2.2) |
| I_{EC} | Bronstraling , 45 kW/m ² |

3 Parameters die de branduitbreiding tussen gebouwen beïnvloeden

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste parameters die de branduitbreiding tussen gebouwen beïnvloeden besproken.

3.1 Branduitbreiding tussen gebouwen

De uitbreiding van brand van een brandend gebouw naar een nabij liggend gebouw kan op verschillende manieren gebeuren. Bepaalde van deze manieren komen frequenter voor en zijn ook gevaarlijker.

3.1.1 Vliegvuur

Ontsteking van brandbaar materiaal kan ontstaan door vliegvuur afkomstig van een brandend gebouw, dat zich over een grote afstand kan verplaatsen.

Dit vliegvuur kan dienen als ontstekingsbron voor oppervlakken die blootgesteld zijn aan de straling van het naastliggend brandend gebouw. Bescherming tegen vliegvuur kan voorzien worden door voor externe oppervlakken bekledingen te gebruiken die door vliegvuur niet ontstoken worden.

3.1.2 Vlam contact

Bij een uitslaande brand kunnen de vlammen raken aan het naastliggend gebouw.

De afstand waarover de vlammen reiken is afhankelijk van verschillende factoren, waaronder de geometrie en de grootte van de opening waardoor de vlam naar buiten komt, de wind invloeden en de verbrandingssnelheid.

3.1.3 Convectieve warmteoverdracht

De warme rookgassen die tegen een naburig gebouw botsen kunnen hoge temperaturen hebben indien het naastliggend gebouw zich heel dicht bij het brandend gebouw bevindt. Ontsteking van brandbaar materiaal kan het gevolg zijn.

3.1.4 Stralingswarmte

Ontsteking door stralingswarmte is de meest voorkomende oorzaak voor uitbreiding van brand tussen gebouwen. Ook bij grote afstanden tussen gebouwen kan stralingswarmte leiden tot branduitbreiding, dit integendeel tot uitbreiding door vlamcontact of convectieve warmteoverdracht. De ontvangen stralingswarmte is afhankelijk van de intensiteit van de uitgezonden stralingsintensiteit van de brand en van een configuratiefactor, die rekening houdt met de geometrie van de straler, de afstand en de richting van de straling tot het punt waar de straling ontvangen wordt. In volgende paragrafen wordt dieper ingegaan op factoren die de stralingsintensiteit beïnvloeden.

3.1.5 Kritische ontstekingsflux

De ontsteking van het naastliggend gebouw hangt af van het ontstekingsgedrag en de eigenschappen van de toegepaste materialen die aan straling worden blootgesteld.

Onder invloed van stralingswarmte kan brandbaar materiaal ontsteken. Dit kan ofwel spontaan, dit betekent zonder aanwezigheid van een externe ontstekingsbron ofwel met ontstekingsbron, bv. een vonk of een vlam van een brandend voorwerp, gebeuren. Om

spontane ontsteking van een materiaal te verkrijgen zijn veel hogere stralingsintensiteiten nodig dan in aanwezigheid van een ontstekingsbron (piloted ignition).

De kritische ontstekingsflux van een materiaal is de hoogste stralingsintensiteit waarbij geen ontsteking zal optreden. In verschillende bouwvoorschriften wordt een waarde van 12,5 kW/m² aangehouden als de maximaal toelaatbare stralingsintensiteit op de materialen van de gevel van een naburig gebouw. Dit is de minimale waarde die nodig is om hout te ontsteken.

De kritische ontstekingsflux kan bepaald worden aan de hand van de Cone Calorimeter.

Beschrijving van cone calorimeter (fig. 3.1)

Een proefstuk van 10 x 10 cm met een maximum dikte van 5 cm, wordt in een proefstukhouder op een weegcel geplaatst. Een conisch verwarmingselement zorgt voor een constante en homogene stralingsintensiteit op het oppervlak van het proefstuk. De stralingswarmte wordt op voorhand ingesteld en kan variëren van 0 tot 100 kW/m². De meest gangbare stralingswarmtes zijn 25, 35 of 50 kW/m². Deze straling is een nabootsing van de invallende straling die het materiaal zou kunnen ondervinden.

De afstand tussen het proefstuk en de onderkant van de straler is 2,5 cm. De opstelling van het proefstuk is horizontaal.

Tussen de straler en het proefstuk bevindt zich nog een ontstekingskaars die ervoor zorgt dat eventueel vrijkomende brandbare gassen ontstoken worden. De tijd tot ontsteken wordt geregistreerd.

Verder wordt ook het massaverlies continu gemeten.

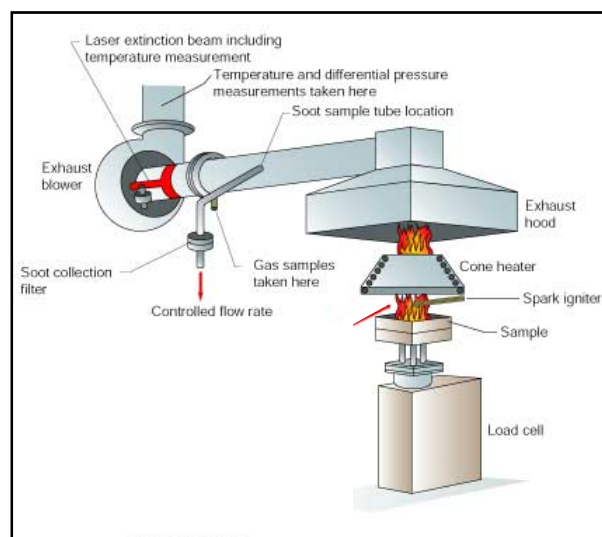


fig. 3.1 Cone calorimeter

Bepalen van de kritische ontstekingsflux

Indien de ontstekingstijden t_{ig} gemeten bij verschillende stralingsintensiteiten I (kW/m²) in een grafiek uitgezet worden volgens $I = \frac{1}{t_{ig}^n}$, kan in log/log diagram een best passende

rechte door de verschillende punten getrokken worden. Het snijpunt van deze rechte met de x-as is de kritische ontstekingsflux, (fig. 3.2).

Afhankelijk van de thermische dikte van het geteste materiaal zal de waarde van n variëren tussen 0,55 en 1. Voor thermisch dikke materialen – dit zijn materialen waarvan de niet aan warmte blootgestelde zijde een verwaarloosbare temperatuurstijging vertoont – is $n=0,55$. Voor thermisch dunne materialen – dit zijn materialen die aan de niet aan warmte blootgestelde zijde een bijna identisch temperatuur verloop als de blootgestelde zijde vertonen – is $n=1$. Voor materialen die noch thermisch dik, noch thermisch dun zijn, kan aan de hand van de kleinste kwadraten methode naar een best passende rechte gezocht worden door de exponent n te laten variëren. Dit is onder andere ook toepasbaar voor meerlaagse materialen.

De minimum flux is de laagste stralingsintensiteit waarbij nog ontsteking optreedt. Op een gelijkaardige manier kan ook in meer grootschalige proefopzetten een kritische ontstekingsflux bepaald worden.

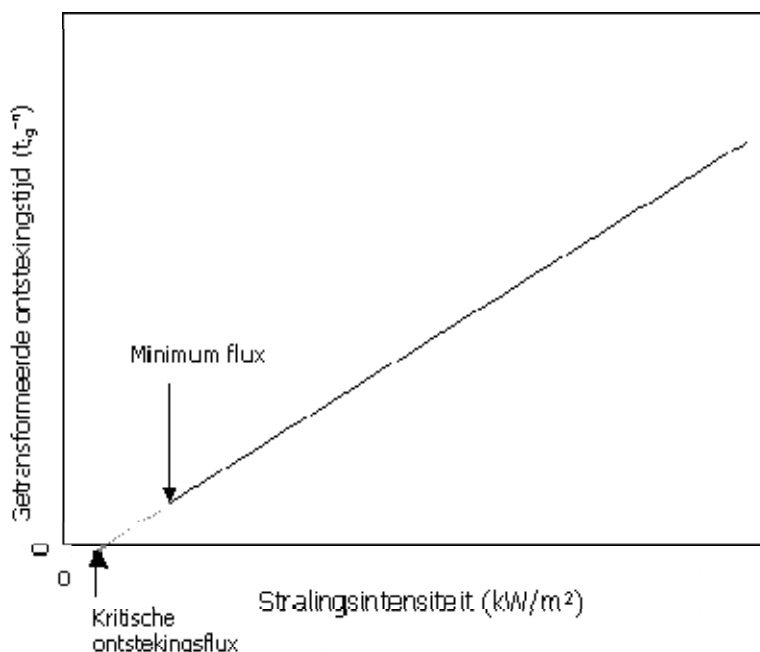


fig. 3.2 Ontstekingsgrafiek, hoofdvariabelen

Naast de kritische ontstekingsflux is ook de tijd tot wanneer ontsteking optreedt een belangrijke parameter. Wanneer een oppervlak blootgesteld wordt aan stralingsflux hoger dan de kritische ontstekingsflux zal dit niet onmiddellijk ontsteken. De tijd tot wanneer ontsteking optreedt is afhankelijk van verschillende factoren zoals het vochtgehalte van het materiaal, de dichtheid ρ , de specifieke warmte c_p en de warmtegeleidingscoëfficiënt k van het materiaal. De $k\rho c$ –waarde is bepalend voor de opwarmingssnelheid van het oppervlak. Op de tijd tot ontsteking van het materiaal wordt hier niet verder ingegaan.

3.2 Ontvangen straling

3.2.1 Uitgezonden stralingswarmte van het compartiment

Een lichaam met een bepaalde temperatuur straalt op elk ogenblik energie, stralingswarmte, uit naar de omgeving. De relatie tussen de uitgezonden stralingswarmte en temperatuur van het stralend oppervlak wordt gegeven door vergelijking (3.1).

$$I_{EC} = \sigma \varepsilon T^4 \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (3.1)$$

Hierin is :

I_{EC}	uitgezonden stralingsintensiteit (W/m ²)
T	temperatuur van het stralende oppervlak (K)
σ	Stefan Boltzman constante, nl. $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
ε	emissiviteit

Voor brandsituaties worden de vlammen en warme gassen als objecten beschouwd die een bepaalde temperatuur en emissiviteit hebben.

3.2.1.1 Temperatuur van de brand

Verschillende manieren bestaan om de temperatuur bij brand in een compartiment weer te geven. De nominale brandcurven geven een vastgelegd temperatuur-tijd verloop voor branden in een compartiment, voor externe branden en voor koolwaterstof branden.

Bij parametrische brandcurven die als doel hebben een meer natuurlijk en realistisch brandverloop te benaderen, wordt rekening gehouden met de eigenschappen van het compartiment, de brandlast, Onder andere Eurocode 1991-1-2 "Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire" beschrijft hoe deze curven opgesteld dienen te worden.

De **standaard brandcurve volgens ISO 834**, geeft de temperatuur in een brandend compartiment in functie van de tijd en wordt gegeven door (fig. 3.3):

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10} (8 t + 1) \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (3.2)$$

Waarbij

θ_g	de gas temperatuur in het compartiment (°C)
t	tijd (min)

Voor **branden in openlucht** wordt volgende vergelijking toegepast. De brandcurve wordt weergegeven in fig. 3.3- brandkromme voor externe brand.

$$\theta_g = 660 (1 - 0,687 e^{-0,32 t} - 0,313 e^{-3,8 t}) + 20 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (3.3)$$

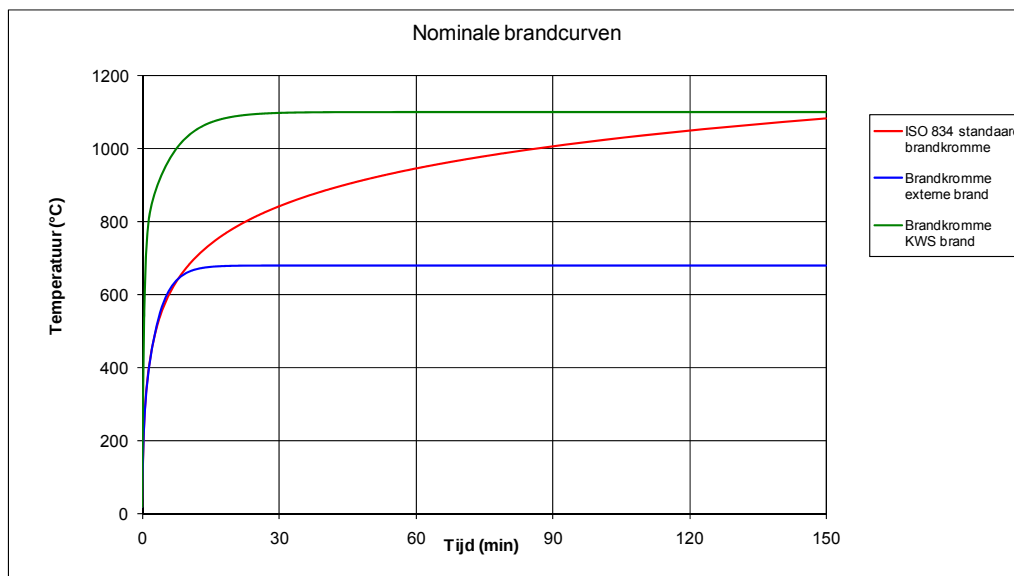


fig. 3.3 Nominale brandkrommen

Invloed van de aard van de brandstof

De temperatuur in een compartiment gedurende een brand is afhankelijk van het type brandstof. Kunststoffen en synthetische materialen geven over het algemeen een hoger warmteproductie, HRR – heat release rate dan bijvoorbeeld hout.

Voor koolwaterstofbranden is volgende relatie tussen temperatuur en tijd opgesteld: fig. 3.3 - KWS brandkromme.

$$\theta_g = 1080 (1 - 0,325 e^{-0,167 t} - 0,675 e^{-2,5 t}) + 20 (°C) \quad (3.4)$$

Naast de aard van de brandstof speelt de manier waarop de brandstof verspreid is een belangrijke rol voor de hoeveelheid vrijgestelde warmte. Indien het brandbaar materiaal voldoende luchttoevoer heeft en een grote contact oppervlakte zal de verbranding veel sneller zijn. Vandaar dat gestapelde houten palletten een veel hogere HRR geven dan een houten blok met een zelfde totaal gewicht. Anderzijds zal de duur van de brand van de houten palletten veel korter zijn dan die van het houten blok.

Invloed van de eigenschappen van het compartiment

De warmteoverdracht doorheen het compartiment wordt beïnvloed door de thermische eigenschappen van wanden, plafond en vloer. De dichtheid ρ , de specifieke warmte c_p en de warmtegeleidingscoëfficiënt k van de grensvlakken van het beschouwde compartiment bepalen in welke mate warmte het compartiment verlaat en bepalen op die manier mee de temperatuur.

De dimensies van het compartiment, het aantal en de grootte van de openingen hebben eveneens een grote invloed op de temperatuur van de brand omdat zij de luchttoevoer en aldus de mogelijke verbrandingssnelheid beïnvloeden..

Deze kenmerken worden geschreven als een openingsfactor van het compartiment, die wordt gedefiniëerd als

$$O = \frac{A_{\text{vert}} \sqrt{h_{\text{eq}}}}{A_{\text{tot}}} \quad (3.5)$$

Waarbij

A_{vert}	totale oppervlakte van alle verticale openingen in alle wanden (m ²)
h_{eq}	gewogen gemiddelde van de hoogte van alle ramen in alle wanden (m)
A_{tot}	totale oppervlakte van het omhulsel, wanden, plafond en vloer, openingen inbegrepen (m ²)

De openingsfactor bepaalt in belangrijke mate of er voldoende zuurstof bij de brand komt. Op die manier wordt de verbrandings efficiëntie bepaald.

Grote openingen zorgen voor een luchtovermaat bij de verbranding waardoor de temperatuur van de brand in het compartiment zal verlagen.

De afmetingen van de ramen beïnvloeden de temperatuur en de afmetingen van uitslaande vlammen die in sommige gevallen voor verhoogde uitgezonden straling zorgen.

Parametrische temperatuur-tijd krommen kunnen opgesteld worden indien de openingsfactor en de k , ρ en c_p waarden van het compartiment gekend zijn. Het toepassingsgebied voor deze krommen is beperkt tot brandcompartimenten met beperkte vloeroppervlakte en hoogte. Bij industriegebouwen hebben we over het algemeen te maken met grote compartimenten waar deze curven niet toegepast kunnen worden.

3.2.1.2 Emissiviteit

De emissiviteit geeft de efficiëntie van het stralend object of oppervlak weer. De emissiviteit is afhankelijk van de temperatuur en eigenschappen van het object. Een ideaal zwart lichaam heeft een emissiviteit =1.

Voor vlammen is de emissiviteit afhankelijk van de dikte van de vlam en van de hoeveelheid roet deeltjes. Voor gewone vlammen varieert de emissiviteit van 0.3 tot 0.8. Voor externe vlammen wordt volgens EN 1991-1-2 "Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire" volgende vergelijking gebruikt voor het bepalen van de emissiviteit:

$$\varepsilon_f = 1 - e^{-0,3d_f} \quad (3.6)$$

Waarbij

ε_f	de emissiviteit van de vlam
d_f	de dikte van de vlam (m)

De emissiviteit van vlammen afkomstig van kunststoffen zal over het algemeen hoger zijn dan die van hout.

Voor dikke vlammen met dikte $d_f > 1\text{m}$ wordt de emissiviteit vaak gelijk gesteld aan 1 waardoor een conservatieve benadering bekomen.

3.2.2 Straling afkomstig van uitslaande vlammen

Naast de stralingswarmte uitgezonden vanuit openingen van het compartiment geven uitslaande vlammen eveneens stralingswarmte af.

3.2.2.1 Uitslaande vlammen vanuit ramen

Uitslaande vlammen door ramen van een brandend compartiment kunnen ontsteking veroorzaken door straling naar brandbare objecten of door direct vlamcontact met objecten die zich dichtbij bevinden. Verschillende opvattingen bestaan over het effect van straling afkomstig van uitslaande vlammen in verhouding tot de totale hoeveelheid straling ontvangen door een dichtbij gelegen gebouw.

Emil Carlsson [3] heeft een vergelijking gemaakt tussen verschillende berekeningsmethoden voor het bepalen van veilige afstanden tussen gebouwen. Daarin is aangetoond dat er inconsistentie is of er al dan niet rekening gehouden moet worden met vlamprojecties uit openingen in een brandend compartiment.

Dit rapport toont zowel met uitgevoerde berekeningen, als met beoordelingen van werk dat eerder uitgevoerd is door anderen, dat de stralingsniveaus die afkomstig zijn van uitslaande vlammen ten opzichte van de straling doorheen de ramen, verwaarloosbaar zijn in vergelijking met de totale straling die ontvangen wordt door een aangrenzend gebouw.

De berekeningen werden uitgevoerd volgens twee verschillende methodes die beide gelijkaardige resultaten aantoonde, nl. dat 12-18% van de volledig ontvangen straling wordt toegewezen aan deze afkomstig van uitslaande vlammen. Deze waarde is enkel geldig voor het gebied waar de kritische ontstekingsintensiteit, hier $12,5 \text{ kW/m}^2$ ontvangen wordt.

Het besluit van bovengenoemd werk is dat de stijging van de totaal ontvangen straling ten gevolge van uitslaande vlammen door ramen niet groot genoeg is opdat er rekening mee gehouden zou moeten worden.

Met het oog op het ontwerp van scheidingsafstanden tussen gebouwen wordt gesteld dat enkel rekening dient gehouden te worden met straling van openingen met een gepast gekozen temperatuur.

In het ontwerpproces kan het wel noodzakelijk zijn om de vergelijkingen van uitslaande vlammen te gebruiken om ervoor te zorgen dat vlamcontact met het aangrenzend gebouw niet kan plaatsvinden.

Volgende methode is onder andere beschreven door Drysdale op basis van empirische correlaties afgeleid door Thomas en Law (1972) van gegevens over uitslaande vlammen in brandende gebouwen. [4]

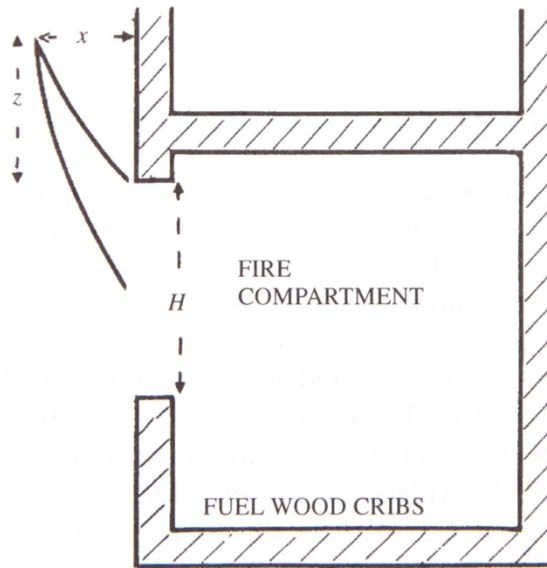


fig. 3.4 Volontwikkelde brand in compartiment met uitslaande vlam. De symbolen refereren naar de vergelijkingen (3.7) en (3.8). [4].

Door dimensie analyses uit te voeren op de stijgende pluim werden volgende vergelijkingen opgesteld voor crib branden in compartimenten zonder windinvloeden. De variaties op de gegevens zijn echter groot.

$$z + H_{\text{opening}} = 12.8 \left(\frac{\dot{m}}{B_{\text{opening}}} \right)^{2/3} \quad (3.7)$$

$$x/H = 0.454/n^{0.53} \quad (3.8)$$

Waarbij

$H_{\text{opening}}, B_{\text{opening}}$	Hoogte en breedte van de opening (raam) (m)
z	Hoogte van de tip van de vlam boven het raam (m)
$\dot{m}$	Verbrandingssnelheid (kg/s)
x	Horizontale reikwijdte vanaf de facade van het gebouw (m)
n	Vormfactor = $2B_{\text{opening}}/H_{\text{opening}}$

De breedte van de vlam wordt verondersteld gelijk te zijn aan de breedte van de opening. Voor een brede opening kan hier variatie optreden vooral als de uittrede snelheid laag is. De horizontale reikwijdte van de vlammen wordt sterk beïnvloed door deze uittrede snelheid, welke op haar beurt afhankelijk is van de vormfactor, n .

De top van de vlam wordt gedefinieerd als het punt op de vlamas waar de temperatuur 540°C is.

Law en O'Brian (1981) [4] hebben een methode voorgesteld om de invloed van uitslaande vlammen op externe staalstructuren te bepalen. Hiertoe bevelen ze aan om voor de verbrandingssnelheid

$$\text{ofwel} \quad \dot{m} = \frac{M}{1200} \text{ kg/s} \quad (3.9)$$

met M de brandlast (in de veronderstelling dat de meeste branden na 20 min uitgebrand zijn)

$$\text{ofwel} \quad \frac{\dot{m}}{A_w H^{1/2}} \left(\frac{D}{W} \right)^{1/2} = 0.18 \left[1 - \exp \left(- \frac{0.036 A_T}{A_w H^{1/2}} \right) \right] \quad (3.10)$$

met D en W de diepte en de breedte van het compartiment,
te nemen afhankelijk van welke de laagste waarde geeft.

De correlaties (3.7) en (3.8) vervallen in volgende omstandigheden:

- a) Indien er grote warmte verliezen zijn van de uitslaande vlammen naar de facade van het gebouw.
- b) Indien wind aanwezig is, zullen deze vlammen afbuigen en in lengte verminderen.
- c) Indien de brandhaard een grote oppervlakte heeft zal de verbrandingssnelheid groter zijn dan aangegeven in vergelijkingen (3.9) en (3.10) en de vlamlengtes zullen groter zijn.
- d) Indien het niet gaat om een cellulose brandstof en indien de warmte vereist voor de productie van verbrandingsgassen laag is.

Eenmaal de oppervlakte van de vlammen bekend is, kan door het bepalen van de temperatuur van de vlammen de uitgezonden stralingsintensiteit berekend worden. De temperatuur van de vlam is niet uniform. In EN 1991-1-2 "Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire – Annex B" worden formules gegeven voor het bepalen van de vlamtemperatuur ter hoogte van het raam en langs de as van de vlam. In dit werk wordt hier niet verder op ingegaan.

3.2.2.2 Uitslaande vlammen door de dakopening

De verschillende methoden voor de berekening van noodzakelijke afstanden tussen gebouwen die momenteel in de literatuur beschikbaar zijn, houden geen rekening met eventuele straling afkomstig van uitslaande vlammen door het dak.

Enkel NFPA 80A [5] geeft indicaties van vlamhoogtes boven het dak in functie van het aantal verdiepingen die bij de brand betrokken zijn maar houdt geen rekening met eventuele straling afkomstig van deze vlammen.

In paragraaf 6.3 van dit werk worden een aantal methodes voorgesteld om de stralingsintensiteit afkomstig van vlammen boven het dak in rekening te brengen.

3.2.3 Configuratiefactor

Vergelijking (3.1) geeft de totale warmte uitgestraald door een oppervlak. Om de

stralingsintensiteit te bepalen die ontvangen wordt op een punt op een bepaalde afstand van het stralend oppervlak wordt een geometrische of configuratiefactor ϕ gebruikt.

Waarden van configuratiefactoren voor verschillende geometrieën, verschillende hoogtes, breedtes en afstanden kunnen exact berekend worden maar in veel gevallen afgeleid worden van formules en tabellen uit de literatuur.

Bij straling van een gebouw naar een tegenover liggend gebouw kunnen verschillende configuraties voorkomen. Volgende situaties worden hier verder gebruikt.

3.2.3.1 Straling invallend op de gevel van gebouw B (fig. 3.5)

Indien “een deel” van de gevel of de volledige gevel van gebouw A als een rechthoekig stralend oppervlak wordt beschouwd, kan de configuratiefactor voor een punt op de gevel van gebouw B afgeleid worden zoals hieronder beschreven.

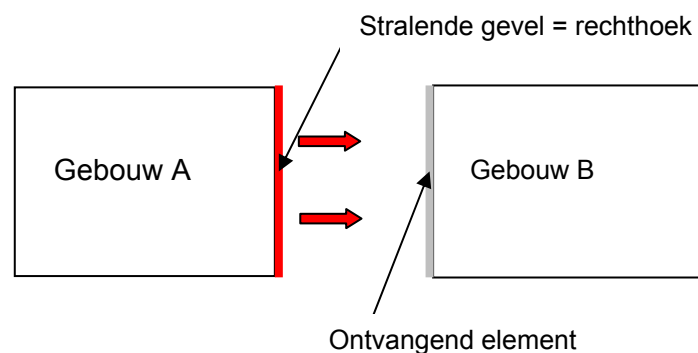


fig. 3.5 Zij en bovenaanzicht - Straling van gevel naar gevel.

De configuratiefactor ϕ van een rechthoekige straler, op een element dat zich bevindt op een parallel vlak, loodrecht tegenover een hoek van de straler, zoals voorgesteld in fig. 3.6.a wordt gegeven door vergelijking (3.11).

$$\phi_A = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \tan^{-1} \left(\frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} \right) + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \tan^{-1} \left(\frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right) \right] \quad (3.11)$$

waarbij:

X	L_2/D
Y	L_1/D
D	Afstand tot de straler (m)
L_2	Hoogte van de rechthoek (m)
L_1	Breedte van de rechthoek (m)

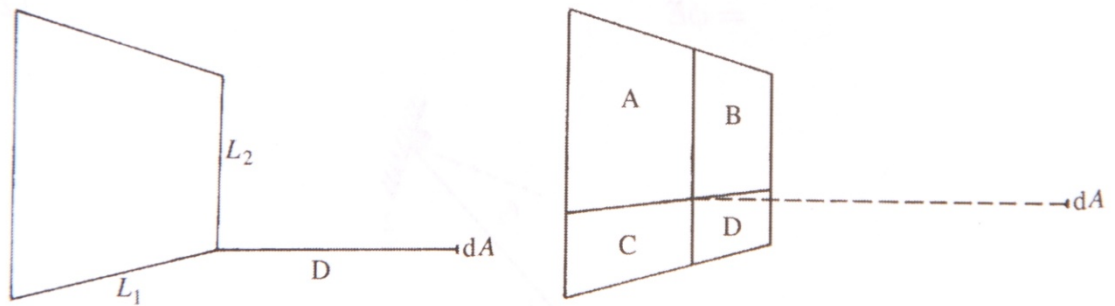


fig. 3.6 (a) Ontvangend element dA loodrecht op de hoek van een parallelle rechthoek.
(b) Configuratiefactoren zijn additief (3.12) [4]

Configuratiefactoren zijn additief wat betekent dat configuratiefactoren van elk deel van de straler die bijdragen, opgeteld kunnen worden.

In de fig. 3.6 ligt element dA in het zicht van 4 rechthoeken, A, B, C en D. Voor elk van deze rechthoeken kan de configuratiefactor bepaald worden met vergelijking (3.11). De totale configuratiefactor wordt gegeven door de som te maken van deze 4 aparte factoren.

$$\phi_{\text{tot}} = \phi_A + \phi_B + \phi_C + \phi_D \quad (3.12)$$

Op de middelloodlijn van het oppervlak ABCD is $\phi_{\text{tot}} = 4 \phi_A$.

Indien een rechthoek niet meegerekend dient te worden, kan de bijhorende configuratiefactor afgetrokken worden.

De toegelaten configuratiefactor kan als volgt bepaald worden.

De ontvangen stralingsintensiteit op een gebouw dient lager te zijn dan de kritische ontstekingsflux van de blootgestelde materialen. De ontvangen stralingsintensiteit is gelijk aan de uitgezonden stralingsintensiteit vermenigvuldigd met de configuratiefactor. Dit leidt er toe dat de configuratiefactor kleiner moet zijn dan de verhouding van de kritische ontstekingsflux van de blootgestelde materialen tot de intensiteit van de uitgezonden straling.

$$\phi < \frac{I_{\text{krit}}}{I_{\text{EC}}} \quad (3.13)$$

Waarbij

I_{EC} Uitgezonden stralingsintensiteit (kW/m^2)

I_{krit} Kritische ontstekingsflux van de blootgestelde materialen (kW/m^2)

De afstand loodrecht op een rechthoekige straler tot waar de stralingsintensiteit een fractie is van de uitgezonden stralingsintensiteit, is maximaal tegenover het centrum van deze rechthoek. Tegenover de randen van deze rechthoek is de benodigde afstand kleiner. De locus van een gegeven configuratiefactor voor verticale en horizontale doorsnedes loodrecht door het centrum van het stralend oppervlak wordt voorgesteld in fig. 3.7.

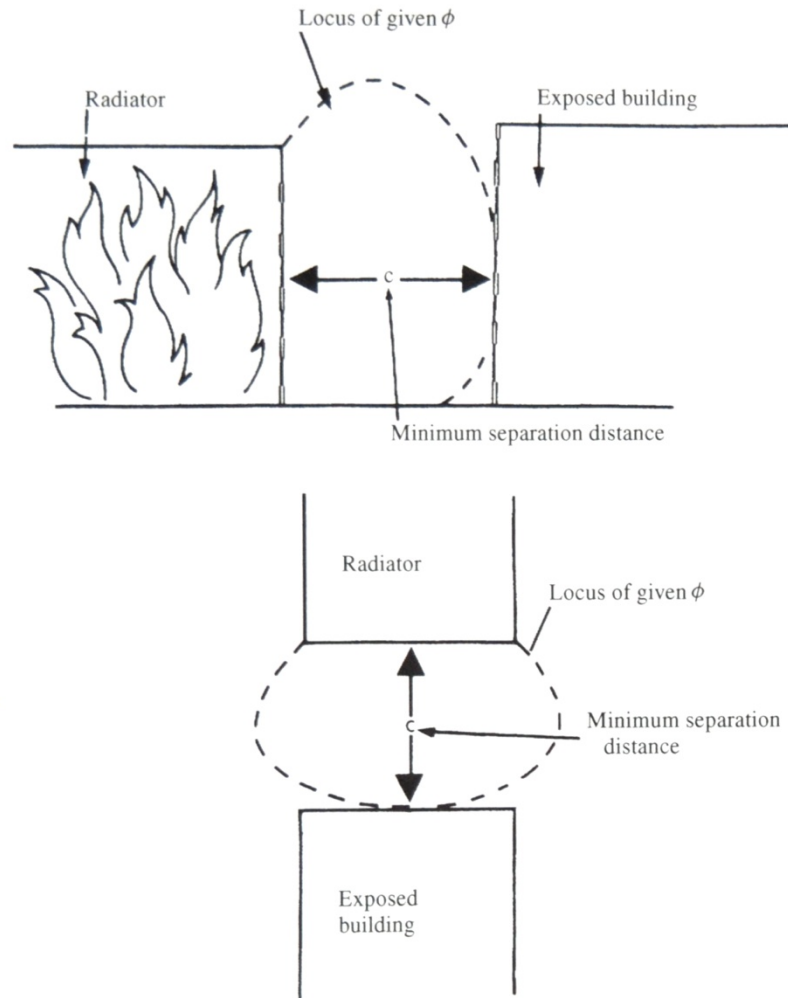


fig. 3.7 Locus voor een bepaalde configuratiefactor uit [4]

De verticale doorsnede geeft aan dat de tussenafstand op bepaalde hoogtes hierdoor groter wordt dan noodzakelijk.

De projectie van de locus op de horizontale doorsnede geeft de locus van de benodigde tussenafstand. Dit geeft aan dat geveldelen tegenover de randen van een brandend gebouw een kleinere tussenafstand vereisen dan centrale delen.

Om veiligheidsredenen wordt de maximaal benodigde tussenafstand zoals bepaald tegenover het centrum van het brandende gebouw voor de ganse gevel van het tegenoverliggende gebouw toegepast.

De configuratiefactor voor het punt tegenover het centrum van de gevel van gebouw A kan bepaald worden door 4 maal de configuratie factor volgens vergelijking (3.11) te berekenen waarbij L_1 en L_2 gelijk worden genomen aan de halve hoogte en de halve breedte van de stralende rechthoek.

3.2.3.2 Straling op het dak van gebouw B (fig. 3.8 en fig. 3.9)

Straling op het dak van gebouw B kan komen vanaf een bron die hoger is dan gebouw B. Dit kan voorkomen indien gebouw A hoger is dan gebouw B of indien uitslaande vlammen door het dak van gebouw A hoger zijn dan gebouw B.

De configuratiefactor ϕ voor een rechthoekige straler, op een element dat zich bevindt op een loodrecht vlak, loodrecht tegenover een hoek van de straler wordt gegeven door vergelijking (3.14) (fig. 3.8). [6]

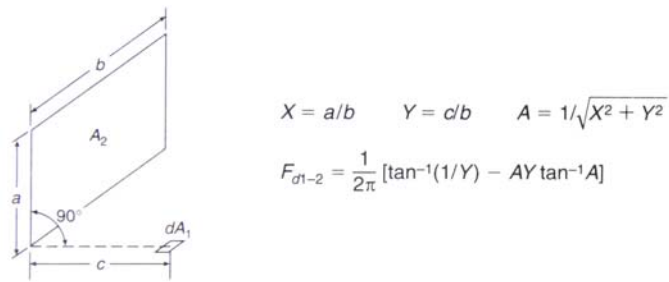


fig. 3.8 Configuratiefactor voor een element van een vlak loodrecht op het stralend vlak.

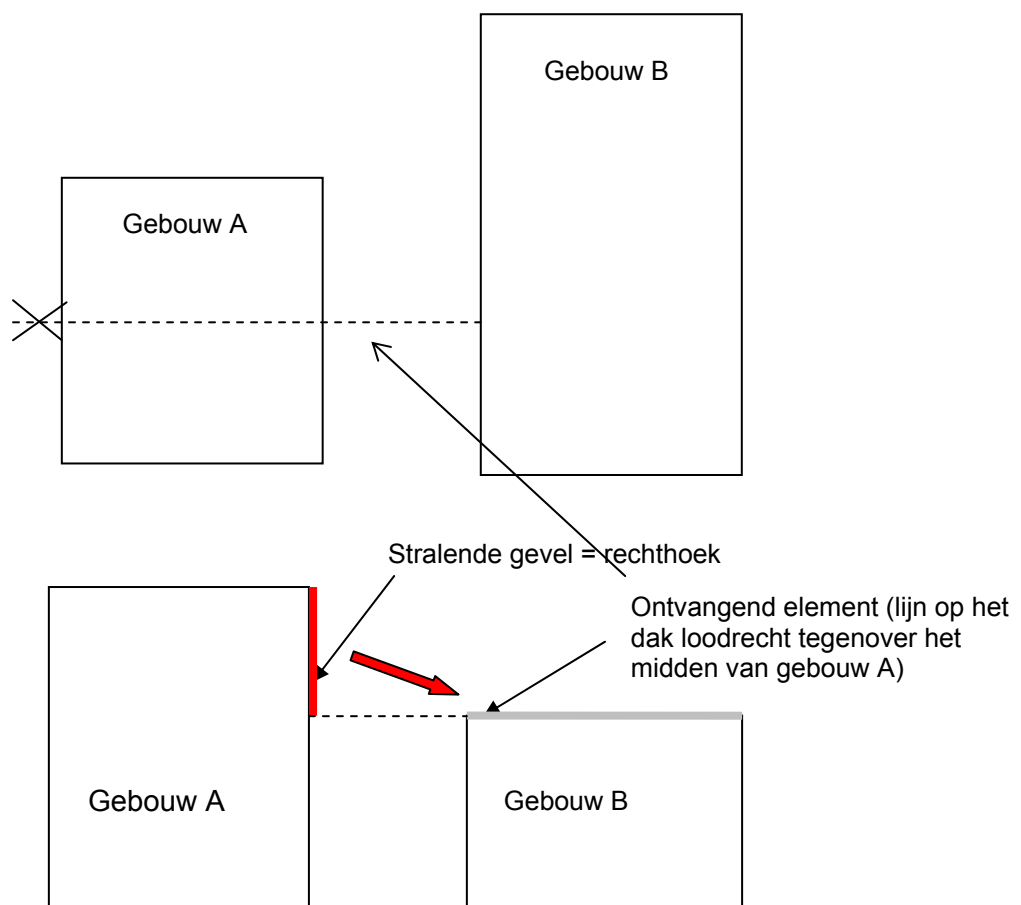


fig. 3.9 Boven en voor-aanzicht - Straling van gevel naar dak.

Volgende configuratiefactor wordt gebruikt voor het berekenen van de invallende stralingsintensiteit op het dak van een naburig gebouw. fig. 3.10 geeft de betekenis van de symbolen.

$$\phi = \frac{1}{\pi} \left[\tan^{-1}(a) - \frac{1}{\sqrt{1+b^2}} \tan^{-1} \left(\frac{a}{\sqrt{1+b^2}} \right) \right] \quad (3.14)$$

Waarbij :

$$a = B/2d$$

$$b = H/d$$

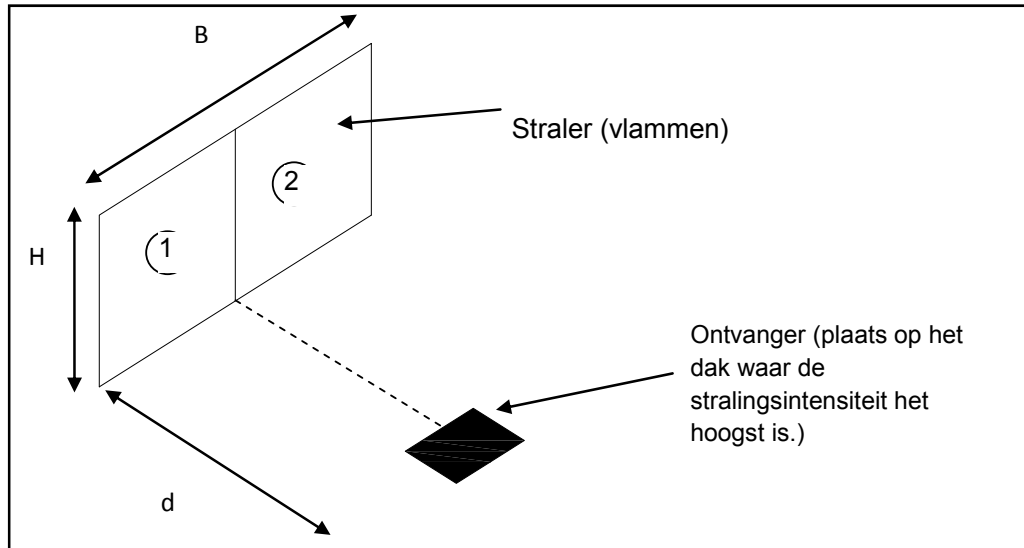


fig. 3.10 Bepalen configuratiefactor voor straling op het dak.

De configuratiefactor van het ontvangend element is hier de som van 2 stralende rechthoeken.

4 Berekeningsmethoden

In dit hoofdstuk worden een aantal methoden beschreven voor het bepalen van de minimale afstand tussen gebouwen en de maximum toelaatbare hoeveelheid onbeschermd oppervlakken om brandoverslag door straling te vermijden. Bepaalde methodes worden toegepast in bouwvoorschriften en andere worden gebruikt in de fire safety engineering literatuur.

De beschrijving en vergelijking van verschillende berekeningsmethoden is gebeurd door Carlsson, 1999 [3]. Niet alle methoden zijn hier opgenomen.

Om de methoden die hier beschreven staan te gebruiken als ontwerp handleiding dienen de originele rapporten geraadpleegd te worden.

4.1 Omschreven rechthoeken

Deze methode die de methode van de omschreven rechthoeken genoemd wordt, is beschreven in [7]. De methode is afgeleid van werk dat uitgevoerd is door Law (1963) en is opgenomen in het "Approved Document B2/3/4" (HMSO, 1985). De methode bepaalt de minimale afstand tot de naburige gebouwen op basis van rechthoeken die onbeschermd delen in de brandende gevel insluiten (fig. 4.1).

Er wordt uitgegaan van het principe waarbij voor de meeste gevels waarin zich een aantal ramen bevinden de straling voorgesteld kan worden als deze van één enkel stralend oppervlak. Dit stralend oppervlak wordt gedefiniëerd als de rechthoek die alle openingen in de gevel omschrijft en waarbij de stralingsintensiteit verlaagd wordt met een factor die gelijk is aan de verhouding van de oppervlakte van alle openingen tot de oppervlakte van de omschreven rechthoek.

Tabellen van grensafstanden voor verschillende types gebouwen en voor verschillende afmetingen van de gebouwen zijn opgenomen, zodat een persoon die niet vertrouwd is met brandveiligheid het ontwerp kan uitvoeren.

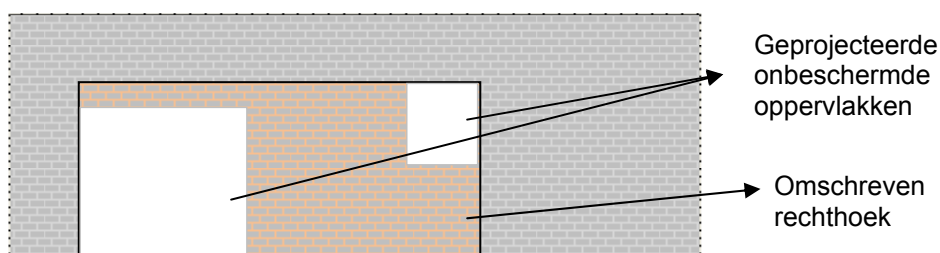


fig. 4.1 Omschreven rechthoek

Stap 1. Identificatie van onbeschermd delen

De bouwvoorschriften van een land moeten geraadpleegd worden met betrekking tot welke delen in de gevel beschouwd moeten worden als onbeschermd. Dit kan variëren tussen verschillende landen en verschillende wetgevingen.

Stap 2. Bepalen van een referentievlak

Een referentievlak moet zodanig bepaald zijn dat het vlak overeenkomt met of

raakt aan de zijkant van het gebouw (fig. 4.2). Verder mag het niet door welk deel dan ook van het gebouw gaan (met uitzondering van balkonnen en muurkappen). Als enig deel van de gevel niet meer dan 1,5 m inspringt, kan dit deel verwaarloosd worden en wordt het referentievlak bepaald zoals hierboven beschreven. Onbeschermden delen die een hoek van 80° of minder maken met het referentievlak moeten opgenomen worden in het ontwerpproces.

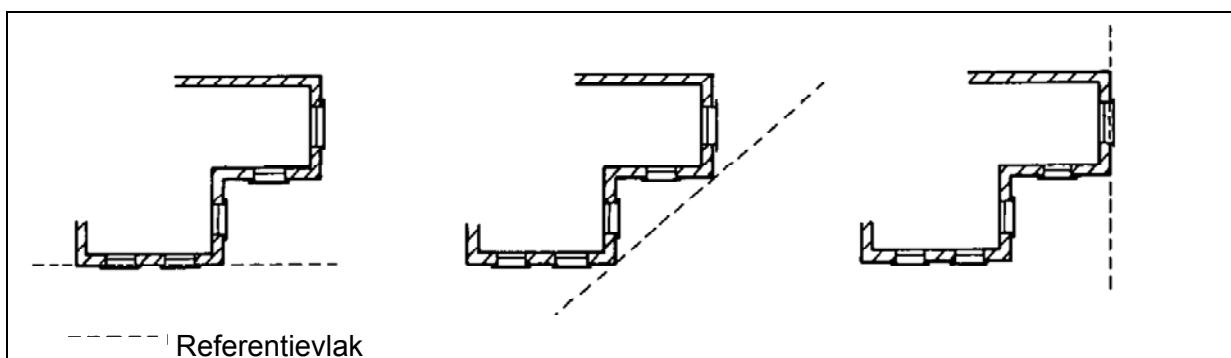


fig. 4.2 Referentievlakken

Stap 3. Bepalen van de omschreven rechthoek

Tabel 1 van BR187 [7] vermeldt toegelaten percentages onbeschermden oppervlakken in relatie tot het oppervlak van de omschreven rechthoek. De omschreven rechthoek moet gekozen worden als de kleinste rechthoek met afmetingen die opgenomen zijn in deze tabel.

Een deel van deze tabel is opgenomen in Tabel 4.1.

De grootte van de omschreven rechthoek is afhankelijk van factoren zoals de horizontale en verticale afmetingen van de brandcompartimentering, het type bekleding dat aangebracht is op de buitenmuur en of de muur al dan niet brandwerend is. De onbeschermden oppervlakken moeten uitgedrukt worden als een percentage van het oppervlak van de omschreven rechthoek.

Stap 4. Bepalen van de noodzakelijke afstand tot onbeschermden oppervlakte

Zodra de breedte, de hoogte en het percentage van onbeschermden oppervlakken van de omschreven rechthoek gekend zijn, kan tabel 1 van BR187 gebruikt worden om de minimum vereiste afstand te bepalen tussen het referentievlak en de desbetreffende grens. De brandlast per oppervlakte-eenheid in Tabel 1 is geclassificeerd als 'normaal' of 'laag' afhankelijk van het (de) doel(en) waarvoor het gebouw gebruikt wordt. Er is voor normale brandlasten en branden met beperkte ventilatie aangenomen dat de uitgezonden stralingsintensiteit 167 kW/m^2 zal bedragen. Voor lokalen met lage brandlast – minder dan 25 kg/m^2 – of met een grote ventilatie factor wordt een uitgezonden stralingsintensiteit aangenomen van 83.7 kW/m^2 . In Tabel 1 van BR187 zijn de waarden voor lage brandlasten vermeld tussen haakjes.

Als de scheidingsafstand al gegeven is, kan Tabel 1 van BR187 ook gebruikt worden om de maximale toegelaten onbeschermden oppervlakte te bepalen.

Het kan noodzakelijk zijn om meer dan één omschreven rechthoek te onderzoeken en de grootste tussenafstand van deze rechthoeken moet gekozen worden. Het proces moet herhaald worden voor alle zijden van het gebouw.

Tabel 4.1 Percentage toegelaten onbeschermd oppervlakken in relatie tot de omschreven rechthoek. Overgenomen uit BR187 (1991) [7]

Table 1 Permitted unprotected percentages in relation to enclosing rectangles										
Width of enclosing rectangle (m)	Distance from relevant boundary for unprotected percentage not exceeding									
	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
Minimum boundary distance (m) Figures in brackets are for Residential, Office and Assembly/recreation uses										
Enclosing rectangle 3m high										
3	1.0 (1.0)	1.5 (1.0)	2.0 (1.0)	2.0 (1.5)	2.5 (1.5)	2.5 (1.5)	2.5 (2.0)	3.0 (2.0)	3.0 (2.0)	
6	1.5 (1.0)	2.0 (1.0)	2.5 (1.5)	3.0 (2.0)	3.0 (2.0)	3.5 (2.0)	3.5 (2.5)	4.0 (2.5)	4.0 (3.0)	
9	1.5 (1.0)	2.5 (1.0)	3.0 (1.5)	3.5 (2.0)	4.0 (2.5)	4.0 (2.5)	4.5 (3.0)	5.0 (3.0)	5.0 (3.5)	
12	2.0 (1.0)	2.5 (1.5)	3.0 (2.0)	3.5 (2.0)	4.0 (2.5)	4.5 (3.0)	5.0 (3.0)	5.5 (3.5)	5.5 (3.5)	
15	2.0 (1.0)	2.5 (1.5)	3.5 (2.0)	4.0 (2.5)	4.5 (2.5)	5.0 (3.0)	5.5 (3.5)	6.0 (3.5)	6.0 (4.0)	
18	2.0 (1.0)	2.5 (1.5)	3.5 (2.0)	4.0 (2.5)	5.0 (2.5)	5.0 (3.0)	6.0 (3.5)	6.5 (4.0)	6.5 (4.0)	
21	2.0 (1.0)	3.0 (1.5)	3.5 (2.0)	4.5 (2.5)	5.0 (3.0)	5.5 (3.0)	6.0 (3.5)	6.5 (4.0)	7.0 (4.5)	
24	2.0 (1.0)	3.0 (1.5)	3.5 (2.0)	4.5 (2.5)	5.0 (3.0)	5.5 (3.5)	6.0 (3.5)	7.0 (4.0)	7.5 (4.5)	
27	2.0 (1.0)	3.0 (1.5)	4.0 (2.0)	4.5 (2.5)	5.5 (3.0)	6.0 (3.5)	6.5 (4.0)	7.0 (4.0)	7.5 (4.5)	
30	2.0 (1.0)	3.0 (1.5)	4.0 (2.0)	4.5 (2.5)	5.5 (3.0)	6.0 (3.5)	6.5 (4.0)	7.5 (4.0)	8.0 (4.5)	
40	2.0 (1.0)	3.0 (1.5)	4.0 (2.0)	5.0 (2.5)	5.5 (3.0)	6.5 (3.5)	7.0 (4.0)	8.0 (4.0)	8.5 (5.0)	
50	2.0 (1.0)	3.0 (1.5)	4.0 (2.0)	5.0 (2.5)	6.0 (3.0)	6.5 (3.5)	7.5 (4.0)	8.0 (4.0)	9.0 (5.0)	
60	2.0 (1.0)	3.0 (1.5)	4.0 (2.0)	5.0 (2.5)	6.0 (3.0)	7.0 (3.5)	7.5 (4.0)	8.5 (4.0)	9.5 (5.0)	
80	2.0 (1.0)	3.0 (1.5)	4.0 (2.0)	5.0 (2.5)	6.0 (3.0)	7.0 (3.5)	8.0 (4.0)	9.0 (4.0)	9.5 (5.0)	
no limit	2.0 (1.0)	3.0 (1.5)	4.0 (2.0)	5.0 (2.5)	6.0 (3.0)	7.0 (3.5)	8.0 (4.0)	9.0 (4.0)	10.0 (5.0)	
Enclosing rectangle 6m high										
3	1.5 (1.0)	2.0 (1.0)	2.5 (1.5)	3.0 (2.0)	3.0 (2.0)	3.5 (2.0)	3.5 (2.5)	4.0 (2.5)	4.0 (3.0)	
6	2.0 (1.0)	3.0 (1.5)	3.5 (2.0)	4.0 (2.5)	4.5 (3.0)	5.0 (3.0)	5.5 (3.5)	5.5 (4.0)	6.0 (4.0)	
9	2.5 (1.0)	3.5 (2.0)	4.5 (2.5)	5.0 (3.0)	5.5 (3.5)	6.0 (4.0)	6.0 (4.5)	7.0 (4.5)	7.0 (5.0)	
12	3.0 (1.5)	4.0 (2.5)	5.0 (3.0)	5.5 (3.5)	6.5 (4.0)	7.0 (4.5)	7.5 (5.0)	8.0 (5.0)	8.5 (5.5)	
15	3.0 (1.5)	4.5 (2.5)	5.5 (3.0)	6.0 (4.0)	7.0 (4.5)	7.5 (5.0)	8.0 (5.5)	9.0 (5.5)	9.0 (6.0)	
18	3.5 (1.5)	4.5 (2.5)	5.5 (3.5)	6.5 (4.0)	7.5 (4.5)	8.0 (5.0)	9.0 (5.5)	9.5 (6.0)	10.0 (6.5)	
21	3.5 (1.5)	5.0 (2.5)	6.0 (3.5)	7.0 (4.0)	8.0 (5.0)	9.0 (5.5)	9.5 (6.0)	10.0 (6.5)	10.5 (7.0)	
24	3.5 (1.5)	5.0 (2.5)	6.0 (3.5)	7.0 (4.5)	8.5 (5.0)	9.5 (5.5)	10.0 (6.0)	10.5 (7.0)	11.0 (7.0)	
27	3.5 (1.5)	5.0 (2.5)	6.5 (3.5)	7.5 (4.5)	8.5 (5.0)	9.5 (6.0)	10.5 (6.5)	11.0 (7.0)	12.0 (7.5)	
30	3.5 (1.5)	5.0 (2.5)	6.5 (3.5)	8.0 (4.5)	9.0 (5.0)	10.0 (6.0)	11.0 (6.5)	12.0 (7.0)	12.5 (8.0)	
40	3.5 (1.5)	5.5 (2.5)	7.0 (3.5)	8.5 (4.5)	10.0 (5.5)	11.0 (6.5)	12.0 (7.0)	13.0 (8.0)	14.0 (8.5)	
50	3.5 (1.5)	5.5 (2.5)	7.5 (3.5)	9.0 (4.5)	10.5 (5.5)	11.5 (6.5)	13.0 (7.5)	14.0 (8.0)	15.0 (9.0)	
60	3.5 (1.5)	5.5 (2.5)	7.5 (3.5)	9.5 (5.0)	11.0 (5.5)	12.0 (6.5)	13.5 (7.5)	15.0 (8.5)	16.0 (9.5)	
80	3.5 (1.5)	6.0 (2.5)	7.5 (3.5)	9.5 (5.0)	11.5 (6.0)	13.0 (7.0)	14.5 (7.5)	16.0 (8.5)	17.5 (9.5)	
100	3.5 (1.5)	6.0 (2.5)	8.0 (3.5)	10.0 (5.0)	12.0 (6.0)	13.5 (7.0)	15.0 (8.0)	16.5 (8.5)	18.0 (10.0)	
120	3.5 (1.5)	6.0 (2.5)	8.0 (3.5)	10.0 (5.0)	12.0 (6.0)	14.0 (7.0)	15.5 (8.0)	17.0 (8.5)	19.0 (10.0)	
no limit	3.5 (1.5)	6.0 (2.5)	8.0 (3.5)	10.0 (5.0)	12.0 (6.0)	14.0 (7.0)	16.0 (8.0)	18.0 (8.5)	19.0 (10.0)	

Stap 5. Bepalen van gebieden met speciale blootstelling

In sommige situaties kunnen onbeschermd delen geconcentreerd zijn tot bepaalde delen van het gebouw, waarbij ze een groter plaatselijk risico vertonen dan als ze gelijk verdeeld zouden zijn over het gebouw. Dit gebied moet afzonderlijk beschouwd worden en er kan eventueel vastgesteld worden dat er een grotere scheidingsafstand noodzakelijk is.

De methode die hierboven beschreven is, kan ook gebruikt worden daar waar groepen van onbeschermd oppervlakken ver uit elkaar gespreid zijn. Als de groepen van onbeschermd oppervlakken op meer dan vier keer de tussenafstand, bepaald in stap 1 tot 4, van elkaar liggen, moeten ze afzonderlijk behandeld worden aangezien de hoeveelheid ontvangen straling van de andere

groep verwaarloosd kan worden.

Wanneer een deel van het gebouw meer dan 1,5 m inspringt, kan de tussenafstand gereduceerd worden. Dit wordt bekomen door een “equivalente straler” te creëren die geplaatst is tussen de verste opening van het ingesprongen deel en de rand van de oorspronkelijke gevel en dan de grensafstand te bepalen ten opzichte van deze “equivalente straler”.

In een insprong met onbeschermd gebied aan alle drie de zijden, moet het totale gebied, d.w.z. de onbeschermd delen aan de zijkant van de uitsprong, uitgedrukt worden als een percentage van de omschreven rechthoek. Als de insprong enkel onbeschermd gebied bevat aan de achterkant, kan het in sommige gevallen mogelijk zijn de grensafstand te reduceren. Voor een verdere beschrijving van hoe dit gebeurt, wordt verwezen naar het BR187, document.

Het BR187 document beschrijft nog een andere methode namelijk die van “aggregate notional areas” die gebruikt wordt samen met de methode van de omschreven rechthoek voor complexere gebouw geometrieën. Deze methode wordt hier niet besproken.

4.2 Peter Collier

Deze methode is beschreven in [3]. De stralingsintensiteit van de brand wordt bepaald aan de hand van de eigenschappen van het brandend gebouw.

De methode kan hoofdzakelijk gebruikt worden voor volgende situatie:

1. Het berekenen van de vereiste afstand tussen gebouwen om te verhinderen dat de brand zich verder uitbreidt van één gebouw naar een naburig.
2. Het berekenen van de benodigde afstand tot de perceelsgrens in situaties waarin er geen aangrenzende gebouwen zijn.
3. Het berekenen van de stralingintensiteit die ontvangen wordt door aangrenzende gebouwen.
4. Het berekenen van de maximum toegelaten oppervlakte van onbeschermd openingen in de gevel van het gebouw vanaf waar de uitgaande straling verondersteld wordt.
5. Voor een bestaande gebouwensituatie, het nagaan of de brand zich kan uitbreiden van één gebouw naar een ander.

Verder kan de kritische ontstekingsflux gevarieerd worden afhankelijk van de buitenbekleding van het aangrenzende gebouw.

In situaties waarin tegenoverliggende gebouwen niet parallel staan ten opzichte van elkaar, kan aangenomen worden dat de gevels van de gebouwen parallel zijn, waarbij rekening gehouden wordt met een conservatieve tussenafstand.

Als er geen tegenoverliggend gebouw is, moet de vereiste afstand tot de grens de helft zijn van de afstand die vereist zou zijn als het tegenoverliggende gebouw een spiegelbeeld was van het gebouw van de eigenaar.

Het kan noodzakelijk zijn één of verschillende openingen afzonderlijk te beschouwen als de openingen niet gelijk verdeeld zijn over de gevel.

De berekeningsprocedure voor hoe de vereiste tussenafstand tussen gebouwen bepaald moet worden, is hieronder beschreven. Als de tussenafstand al gekend is, kan de methodologie omgekeerd worden om de maximaal toegelaten oppervlakte van

onbeschermd openingen te bepalen.

Stap 1. Bepalen van omschreven rechthoeken.

Dit moet gebaseerd zijn op de grootte van het brandend compartiment en de oppervlakte onbeschermd openingen. Bij gevels met onregelmatige vormen worden de onbeschermd oppervlakken geprojecteerd op een referentievlak, waarvan aangenomen wordt dat het raakt aan de buitenste delen van het gebouw.

Stap 2. Berekenen van het oppervlak van de omschreven rechthoek, A_e

$$A_e = H \times B \text{ (m}^2\text{)} \quad (4.1)$$

Waarbij:

H hoogte van omschreven rechthoek (m)
B breedte van omschreven rechthoek (m)

Stap 3. Berekenen van de verhouding breedte-hoogte of hoogte-breedte, AR, van de omschreven rechthoek.

$$AR = H/B \text{ (of } B/H) \quad AR \leq 1 \quad (4.2)$$

Stap 4. Bepalen van de stralingsintensiteit, I_s , in het brandend compartiment.

Voor de meeste gevallen kan de temperatuur in een brandend compartiment 1000°C genomen worden. Hiermee stemt een stralingsintensiteit van 149 kW/m² overeen.

Als een lagere of hogere temperatuur en stralingsintensiteit verwacht kan worden, kunnen aangepaste waarden gekozen of berekend worden.

De stralingsintensiteit kan berekend worden met de volgende vergelijking:

$$I_{EC} = 5,67 \cdot 10^{-11} T^4 \text{ (kW / m}^2\text{)} \quad (4.3)$$

Waarbij:

I_{EC} uitgezonden stralingsintensiteit (kW/m²)
T temperatuur van de brand in het compartiment (K)

Vergelijking (4.3) is eigenlijk gelijk aan vergelijking (3.1) waarin voor de emissiviteit 1 aangenomen is.

De temperatuur van de brand, T kan bepaald worden door gebruik te maken van de standaard brandcurve ISO-834 en brandweerstand van het brandend compartiment.

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10} (8 t + 1) \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (4.4)$$

Stap 5. Als de buitenste muur niet brandwerend is, wordt de volledige gevel van het brandend gebouw als stralingsbron genomen. Indien de muur een bepaalde brandweerstand heeft waarin onbeschermden delen aanwezig zijn, kan de stralingsintensiteit gereduceerd worden door een reductiefactor, α .

$$\alpha = A_V / A_E \quad (4.5)$$

Waarbij:

A_V onbeschermden oppervlakte (m^2)

A_E oppervlakte van de omschreven rechthoek (m^2)

Stap 6. Berekenen van de gereduceerde uitgezonden stralingsflux, $I_{EC, \text{red}}$
Als brandwerend glasgeplaatst is in de onbeschermden openingen van het gebouw, kan de uitgezonden straling gereduceerd worden met 50%.

$$I_{EC, \text{red}} = I_{EC} \alpha \text{ (kW/m}^2\text{)} \quad (4.6)$$

Waarbij:

I_{EC} uitgezonden stralingsintensiteit berekend volgens (4.3) in (kW/m^2)

Stap 7. Bepalen van de kritische ontstekingsflux van het aangrenzende gebouw.
Deze waarde kan variëren afhankelijk van de gevelbekleding en van het gebruik van brandwerend glas. In het laatste geval kan de invallende straling die door de vensters gaat, gereduceerd worden met 50%. Van niet brandwerend glas wordt aangenomen dat het zal breken zodra het blootgesteld wordt aan hoge stralingsniveaus.

Voorbeelden van waarden van kritische ontstekingsflux, I_{krit} voor het aangrenzende gebouw, zijn opgenomen in Tabel 4.2

Tabel 4.2 Maximum toegelaten straling op de gevel van het aangrenzende gebouw. Aangepast door Collier (1996). [3]

Externe bekleding	Kritische stralingsflux I_{krit} (kW/m^2)		
	Geen openingen	Gebruik van niet brandwerend glas	Gebruik van brandwerend glas
Buiten isolatie met afwerking	9	9	9
Hout	12,5	12,5	12,5
Vezelcement plaat	25	12,5	25
Onbrandbaar	Geen grens	12,5	50

De kritische flux van 50 kW/m^2 opgegeven bij gebruik van brandwerend glas bij onbrandbare externe bekleding is een onverantwoord hoge waarde. Aan de binnen zijde van het te ontvangen gebouw wordt hier nog een stralingsintensiteit van 25 kW/m^2 ontvangen. Voor materialen die zich in het gebouw tegenover dit

raam bevinden, betekent dit dat deze eveneens aan die hoge stralingsintensiteiten worden blootgesteld.

Stap 8. Berekenen van de aanvaardbare configuratiefactor ϕ

$$\phi = I_{\text{krit}} / I_{\text{EC, red}} \quad (4.7)$$

Waarbij:

I_{krit} kritische ontstekingsflux (kW/m²) zoals bepaald in stap 7
 $I_{\text{EC, red}}$ gereduceerde ontvangen stralingsintensiteit (kW/m²) zoals bepaald in stap 6

Stap 9. Berekenen van de tussenafstand, D, tussen de gebouwen.

$$D = R + P \text{ (m)} \quad (4.8)$$

Waarbij:

R stralingsafstand bekomen uit fig. 4.3 (m)
P projectieafstand (m)

De projectieafstand wordt vastgelegd op 2 m als de ramen van het brandend gebouw voorzien zijn van niet-brandwerend glas en op 0 m als brandwerend glas gebruikt is. Andere waarden dan 2 m kunnen gebruikt worden als ze bewezen zijn door gepaste berekeningen.

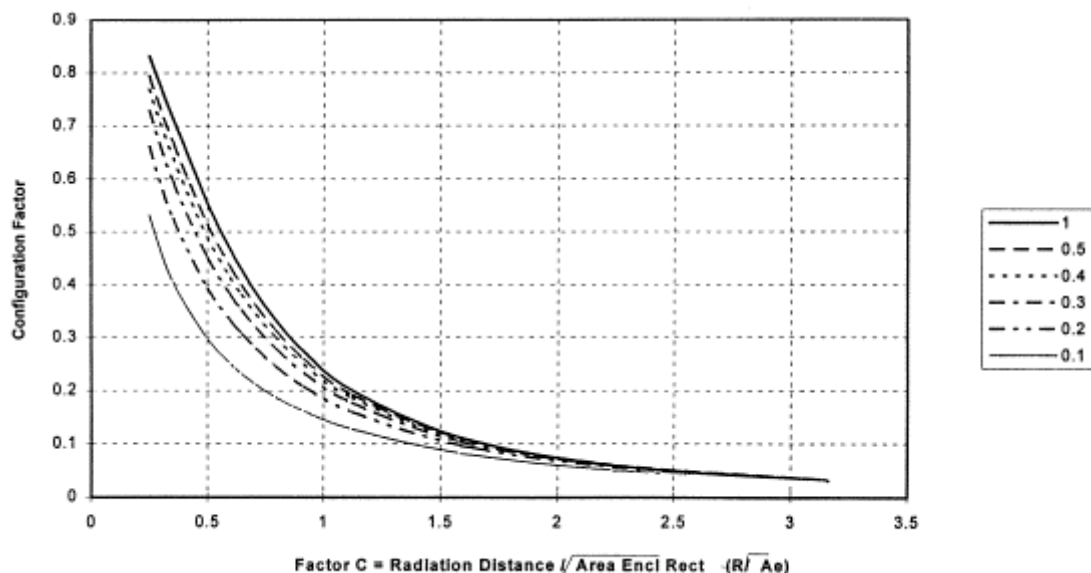


fig. 4.3 Configuratiefactor en stralingsafstand (Collier, 1996) [3]

4.3 C.R. Barnett

Deze methode van Barnett (1988), [3] kan gebruikt worden in het ontwerpproces van nieuwe gebouwen en om kritische situaties voor bestaande gebouwen te controleren. De methode houdt geen rekening met het gebruik van water of de interventie van de brandweer en kan gelinkt worden met de brandweerstand van het gebouw.

De methode kan op twee manieren worden gebruikt. Hetzij om de maximaal toegelaten oppervlakte onbeschermde openingen te berekenen of om de invallende stralingsintensiteit op het aangrenzende gebouw te berekenen.

Maximum toegelaten oppervlakte aan openingen

Het maximum toegelaten oppervlak aan openingen kan bepaald worden met volgende vergelijking:

$$A_v = \frac{A_E I_{krit}}{\phi_n I_{EC}} \quad (m^2) \quad (4.9)$$

waarbij:

A_E oppervlakte van de omschreven rechthoek (m^2)
Een aantal verschillende rechthoeken moet gekozen worden die een combinatie van openingen (zowel grote als kleine) in de gevel insluiten.

I_{krit} kritische ontstekingsflux straling (kW/m^2)
Met het oog op het ontwerp moet deze waarde $12,5 kW/m^2$ gekozen worden. Als het aangrenzende gebouw echter voorzien is van niet-brandbare bekleding en brandwerend glas, kan de ontvangen straling $25 kW/m^2$ zijn.

ϕ_n Configuratiefactor van de omschreven rechthoek.
De omschreven rechthoek kan onderverdeeld worden in vier kleine rechthoeken met gelijke grootte en de configuratiefactor kan berekend worden als de som van de configuratiefactoren van elk van deze rechthoeken :

$$\phi_n = \phi_A + \phi_B + \phi_C + \phi_D = 4\phi_A \quad (4.10)$$

De configuratiefactor van de kleinere rechthoeken kan berekend worden met volgende vergelijking:

$$\phi_A = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \tan^{-1} \left(\frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} \right) + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \tan^{-1} \left(\frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right) \right] \quad (4.11)$$

waarbij:

$$X = H/2R$$

$$Y = B/2R$$

R Afstand tot de straler (m)

H Hoogte van de omschreven rechthoek (m)

B Breedte van de omschreven rechthoek (m)

In situaties waar uitslaande vlammen uit de opening verwacht worden, moet 2 meter extra voorzien worden (of een andere gepaste afstand indien dit is aangetoond door gepaste berekeningen) aan de tussenafstand.

I_{EC} kritische waarde van uitgezonden straling (kW/m²)

De uitgezonden straling kan berekend worden met de volgende vergelijking 4.12.

$$I_{EC} = \sigma \varepsilon (T_2^4 - T_1^4) \quad (W / m^2) \quad (4.12)$$

Waarbij :

I_{EC} uitgezonden stralingsintensiteit (W/m²)

T_2 temperatuur in het brandend compartiment (K)

T_1 omgevingstemperatuur (K)

σ Stefan Boltzman constante, nl. $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

ε emissiviteit, hier =1

De temperatuur in het brandcompartiment kan bepaald worden met behulp van de ISO 834 standaard brandcurve -vergelijking 4.13:

$$\theta_2 = \theta_1 + 345 \log_{10} (8 t + 1) \quad (^\circ\text{C}) \quad (4.13)$$

Waarbij:

t tijd (min)

θ_2 temperatuur in het brandend compartiment (°C)

θ_1 omgevingstemperatuur (°C)

Indien brandwerend glas gebruikt is in het brandend compartiment, kan de stralingsintensiteit die door het venster gaat gereduceerd worden met 50%.

Het stralingsintensiteit ontvangen op het aangrenzend gebouw

De stralingsintensiteit ontvangen op het aangrenzend gebouw mag niet hoger zijn dan de ontwerpwaarde kritische stralingsintensiteit I_{krit} . De ontvangen stralingsintensiteit kan bepaald worden met:.

$$I = \alpha \phi_n I_{EC} < I_{krit} \quad (kW / m^2) \quad (4.14)$$

Waarbij:

I_{EC} Uitgezonden stralingsintensiteit (kW/m²)

α verhouding van de oppervlakte van de openingen (niet brandwerende delen) tot de oppervlakte van de omschreven rechthoek, A_v/A_E

- ϕ_n Configuratiefactor van de omschreven rechthoek.
- I Invallende stralingsintensiteit (kW/m²)

Deze methode kan gebruikt worden om te controleren of een bestaande gebouwensituatie al dan niet kritisch is.

4.4 NFPA 80A

Het doel van NFPA 80A "Recommended Practice for Protection of Buildings for Exterior Fire Exposures" (NFPA 80A 1996) [5] is om brandbaar materiaal te beschermen zowel aan de buitenkant als aan de binnenkant van een gebouw dat blootgesteld wordt aan een externe brand.

Het is bedoeld als een leidraad tot de bescherming van het eigendom (gebouwen) dat blootgesteld wordt aan een externe brand.

Er wordt beschreven hoe de tussenafstand bepaald moet worden voor gebouwen die hoger of even hoog zijn en ook voor gebouwen die lager zijn.

Gebouwen die hoger of even hoog zijn.

Er wordt enkel met de stralingswarmte van muren en openingen erin rekening gehouden wanneer een gebouw blootgesteld wordt aan een brand in een gebouw dat hoger of ten minste even hoog is.

De tussenafstand tussen de gebouwen moet bepaald worden op een zodanige manier dat het blootgestelde gebouw en de inhoud ervan beschermd kan worden tegen ontsteking door een ontstekingsbron.

Minimale tussenafstand

De bepaling van tussenafstanden wordt gebaseerd op de veronderstelling dat geen van de gebouwen voorzien is van beveiligingssystemen zoals bijvoorbeeld sprinklers of brandwerend glas.

De **breedte van de uitstralende brand** wordt gedefiniëerd als de lengte van de uitstralende muur van het brandend compartiment.

De **hoogte van de uitstralende brand** is afhankelijk van factoren zoals het aantal verdiepingen dat betrokken is bij de brand, het type constructie, de verticale openingen in de muur en de brandweerstand van de vloeren.

Het **openingspercentage** in het oppervlak van de uitstralende muur wordt bepaald als het percentage openingen zoals deuren, vensters en andere openingen die kunnen helpen om de warmtestraling verder uit te breiden binnen de bepaalde hoogte en breedte van de uitstralende brand.

Andere openingen waarmee rekening gehouden moet worden, zijn:

- Muren met een vlamdoorslag (E) minder dan 20 minuten, worden behandeld als een opening van 100%.
- Muren waarvan de vlamdoorslag (E) hoger is dan 20 minuten maar die minder is dan de geschatte duur van de brand moeten behandeld worden als een opening van 75%.

Strengheid van de brand

Volgens het verklarend gedeelte van de NFPA 80A kan de strengheid van de brand gedefinieerd worden als de intensiteit van de blootstellende brand. Bijgevolg is de strengheid bepaald als de hoeveelheid warmtestraling die door de openingen en uitslaande vlammen van het gebouw komt.

De strengheid van de brand is afhankelijk van veel factoren zoals de ventilatieomstandigheden van het brandend compartiment, de brandlast, de eigenschappen van de brandstof, de geometrie van de kamer en de eigenschappen van de binnenafwerking.

De strengheid van een brand zal de hoeveelheid warmtestraling beïnvloeden die uitgezonden wordt door een brandend gebouw.

Volgende twee factoren hebben hier de grootste invloed op:

- de gemiddelde brandlast per oppervlakte
- de eigenschappen en vlamuitbreidingssnelheid van de binnenafwerking.

Op basis van deze factoren worden de branden naar strengheid onderverdeeld in drie grote groepen, namelijk licht, matig en ernstig. Bij elke strengheidsgraad behoort een uitgezonden stralingsintensiteit. Bij een lichte, matige en ernstige brand behoren respectievelijk stralingsintensiteiten van 89,3 kW/m², 178,6 kW/m² en 357,1 kW/m²

Aan de hand van tabellen 4.3.5.2(a)-(b) in NFPA 80A, 2007 kan de strengheid van de brand bepaald worden. Tabel 4.3 geeft een samenvatting van deze tabellen.

Tabel 4.3 Classificatie van de strengheid van de brand op basis van NFPA 80A

Strengheid van de brand	Brandlast per m ² vloeroppervlak (kg/m ²) (**)	Gemiddelde vlamuitbreiding van interne bekledingsmaterialen (*)
Licht	0-34	0-25
Matig	35-73	26-75
Streng	≥74	≥76

(*) De gemiddelde vlamuitbreiding is uitgelegd in "NFPA 255 Standard Method of Test of Surface Burning Characteristics of Building Materials" en is een dimensieloze eenheid afgeleid van visuele waarnemingen van de vlamuitbreiding in functie van de tijd.

(**) De brandlast is de totale hoeveelheid brandbaar materiaal uitgedrukt in equivalente hoeveelheid gewicht in hout voor wat de warmte vrijstelling betreft.

De factor die resulteert in de hoogste strengheid, moet gebruikt worden in het ontwerpproces.

Bepalen van de tussenafstanden

In Tabel 4.4 (Tabel 4.3.7.3 van NFPA 80A, 2007) worden richtgetallen gegeven die gebruikt moeten worden bij de bepaling van de tussenafstanden tussen gebouwen. Om een richtgetal uit de tabel te kunnen bepalen, dient de strengheid van de brand, het percentage openingen in de muur en de verhouding breedte-hoogte of hoogte-breedte van het compartiment of de omschreven rechthoek gekend te zijn.

De benodigde tussenafstand wordt bepaald door

$$D = gZ + 1,52 \text{ (m)} \quad (4.15)$$

Waarbij:

- g richtgetal uit Tabel 4.4
Z kleinste afmeting van B of H (m)

De extra 1,52 m wordt toegevoegd om rekening te houden met uitslaande vlammen en om ontsteking te verhinderen door vlammen die het blootgestelde gebouw raken.

Tabel 4.4 Richtgetallen voor de bepaling van tussenafstanden. Aangepast van NFPA 80A (2007).

Strengheid			Richtgetal																
% openingen			Verhouding breedte-hoogte of hoogte-breedte																
Licht	Matig	Streng	1	1,3	1,6	2	2,5	3,2	4	5	6	8	10	13	16	20	25	32	40
20	10	5	0,36	0,4	0,44	0,46	0,48	0,49	0,5	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
30	15	7,5	0,6	0,66	0,73	0,79	0,84	0,88	0,9	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
40	20	10	0,76	0,85	0,94	1,02	1,1	1,17	1,23	1,27	1,3	1,32	1,33	1,33	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34
50	25	12,5	0,9	1	1,11	1,22	1,33	1,42	1,51	1,58	1,63	1,66	1,69	1,7	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71
60	30	15	1,02	1,14	1,26	1,39	1,52	1,64	1,76	1,85	1,93	1,99	2,03	2,05	2,07	2,08	2,08	2,08	2,08
80	40	20	1,22	1,37	1,52	1,68	1,85	2,02	2,18	2,34	2,48	2,59	2,67	2,73	2,77	2,79	2,8	2,81	2,81
100	50	5	1,39	1,56	1,74	1,93	2,13	2,34	2,55	2,76	2,95	3,12	3,26	3,36	3,43	3,48	3,51	3,52	3,53
-	60	30	1,55	1,73	1,94	2,15	2,38	2,63	2,88	3,13	3,37	3,6	3,79	3,95	4,07	4,15	4,2	4,22	4,24
-	80	40	1,82	2,04	2,28	2,54	2,82	3,12	3,44	3,77	4,11	4,43	4,74	5,01	5,24	5,41	5,52	5,6	5,64
-	100	50	2,05	2,3	2,57	2,87	3,2	3,55	3,93	4,33	4,74	5,16	5,56	5,95	6,29	6,56	6,77	6,92	7,01
-	-	60	2,26	2,54	2,84	3,17	3,54	3,93	4,36	4,82	5,3	5,8	6,3	6,78	7,23	7,63	7,94	8,18	8,34
-	-	80	2,63	2,95	3,31	3,7	4,13	4,61	5,12	5,68	6,28	6,91	7,57	8,24	8,89	9,51	10,05	10,5	10,84
-	-	100	2,96	3,32	3,72	4,16	4,65	5,19	5,78	6,43	7,13	7,88	8,67	9,5	10,33	11,15	11,91	12,59	13,15

Er is aangenomen dat de gevel gemaakt is uit cellulosematerialen, waarvan aangenomen wordt dat de kritische ontstekingsflux I_{krit} , van 12,5 kW/m² bedraagt.

In gevallen waar de gevel bestaat uit niet cellulose materiaal met een verschillende kritische ontstekingsflux, d.w.z. $I_{krit} \neq 12,5$, dient deze door geschikte proeven, bv. met de cone calorimeter, bepaald te worden.

Indien de I_{krit} van die materialen < 12,5 kW/m² wordt het toegelaten percentage openingen verminderd met een factor " $I_{krit}/12,5$ ". Waar de kritische ontstekingsflux van de blootgestelde materialen $I_{krit} > 12,5$ kW/m² en waar geen openingen in de blootgestelde gevel zijn, mag het percentage openingen vermeerderd worden met een factor " $I_{krit}/12,5$ ".

Het is heel belangrijk op te merken dat de methode voor het bepalen van de minimale tussenafstanden rekening houdt met een interventie van de brandweer.

Op locaties waar een interventie van de brandweer niet gegarandeerd kan worden binnen een redelijke tijdspanne, moet de minimale tussenafstand vergroot worden door te vermenigvuldigen met een factor tot drie.

NFPA stelt specifiek dat er geen rekening gehouden moet worden met het risico op ontsteking door convectieve warmteoverdracht en rondvliegende delen. De kritische ontstekingsflux, van 12,5 kW/m², waarbij ontsteking met een ontstekingsbron van cellulosemateriaal kan optreden, is bekomen door werk uitgevoerd in de UK door het Joint Fire Research Station.

Voor het bepalen van de tussenafstanden is een rechthoekig stralingsoppervlak verondersteld met een uniforme uitstralende intensiteit die proportioneel is met het percentage aan openingen in de gevel.

De hoeveelheid warmtestraling die ontvangen wordt door het blootgestelde gebouw, kan

bepaald worden met (4.16) hieronder.

$$I = I_{EC} \phi \quad (\text{kW/m}^2) \quad (4.16)$$

Waarbij:

- I ontvangen straling op het blootgestelde gebouw (kW/m^2)
- I_{EC} uitgezonden straling door het brandend gebouw (kW/m^2)
- ϕ Configuratiefactor

De configuratiefactor kan bepaald worden met behulp van

$$\phi = \frac{2}{\pi} \left[\frac{X}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \tan^{-1} \left(\frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \right) + \frac{Z}{\sqrt{Y^2 + Z^2}} \tan^{-1} \left(\frac{X}{\sqrt{Y^2 + Z^2}} \right) \right] \quad (4.17)$$

Waarbij :

- X de halve breedte van de stralende rechthoek
- Z de halve hoogte van de stralende rechthoek
- Y de tussenafstand tussen straler en ontvanger

Tabel 4.4 is opgesteld op basis van gelijk verdeelde openingen, die niet gescheiden zijn van elkaar door meer dan een derde van de totale afstand tussen de gebouwen. Wanneer dit niet het geval is, zijn extra berekeningen vereist.

Het brandend gebouw is lager dan het naastliggend gebouw

De tussenafstand voor een brandend gebouw dat lager is dan het gebouw dat blootgesteld wordt, moet eerst bepaald worden met dezelfde methode als hierboven uitgelegd voor gebouwen die even hoog of hoger zijn. In gevallen waarin het dak van het brandend gebouw bestaat uit brandbaar materiaal zonder brandweerstand, dient Tabel 4.5 (Tabel 4.3.8.2 in NFPA 80A, 2007) gebruikt te worden om de vereiste tussenafstand en noodzakelijke beveiligingsmiddelen boven het dakniveau te bepalen.

Tabel 4.5 Vereiste tussenafstand of hoogte van bescherming voor gebouwen met brandbaar dak dat geen brandweerstand heeft. Aangepast van NFPA 80A (2007).

Aantal verdiepingen dat bijdraagt tot vlammen door het dak	Horizontale tussenafstand of hoogte van de bescherming boven het stralend gebouw (m)
1	7,5
2	10
3	12,5
4	15

Wanneer de afstanden die bepaald zijn op basis van Tabel 4.5, groter zijn dan deze die bepaald zijn op basis van Tabel 4.4, moet het blootgestelde gebouw voorzien zijn van beschermingsmaatregelen.

De bescherming dient een hoogte te hebben boven het dakniveau van het uitstralende gebouw die gelijk is aan de vereiste tussenafstand. Wanneer het dak van het gebouw onvoldoende brandweerstand heeft om een brand in bedwang te houden, moet Tabel 4.5

gebruikt worden. De bovenste verdieping en de verdiepingen onmiddellijk daaronder die niet door compartimentering gescheiden zijn van elkaar, moeten gerekend worden als het aantal verdiepingen dat zal bijdragen tot het uitbreken van de brand door het dak.

Gemiddelde hoogte van vlammen die doorslaan door het dak

Duizenden foto's uit de NFPA databank van brandende gebouwen met vlammen door het dak werden bekeken.

Slechts 176 foto's vertoonden vlammen boven het dak die schijnbaar op hun hoogste hoogte waren. De belangrijkste relatie met de vlamhoogtes boven het dak lijkt het aantal in de brand betrokken verdiepingen te zijn.

Tabel 4.6 (Tabel A.4.3.8) geeft gemiddelde vlamhoogtes volgens deze gegevens.

Tabel 4.6 Gemiddelde vlamhoogtes boven het dak

Aantal brandende verdiepingen	Vlamhoogte boven het dak (in verdiepingen)
1	1,4
2	1,8
3	2,2
4	2,6
5	2,9
6	3,1

De waarden vermeld in Tabel 4.6 stemmen niet overeen met de aanbevolen waarden volgens Brits en Japans theoretisch en experimenteel werk [5] waarbij over het algemeen veel hogere waarden bekomen worden.

NFPA studies geven aan dat onder abnormale omstandigheden, zoals bij zware vloeistofbranden, heel hogere vlamhoogtes bekomen kunnen worden.

De aanbevelingen die hier vermeld zijn, zijn niet bedoeld voor deze abnormale omstandigheden.

Beschermingsmaatregelen

NFPA 80 (2007) heeft verschillende beschermingsmiddelen die toegepast kunnen worden om een gebouw te beschermen voor een externe brandhaard. Deze zijn hieronder vermeld.

Gebouwen

- a) Minimale afstanden tussen gebouwen
- b) Totale automatische sprinkler beveiliging

Muren

- a) Externe muren uit onbrandbare materialen
- b) Muren met voldoende brandweerstand
- c) Automatische externe watergordijnen
- d) Verwijderen van openingen
- e) Beschermingen voorzien voor de openingen

Indien beschermingsmaatregelen voorzien zijn, kunnen de tussenafstanden verminderd

worden in overeenstemming met Hoofdstuk 5 in NFPA 80A (2007). Gepaste standaarden moeten gevolgd worden en de toegepaste beschermingsmiddelen die geïnstalleerd zijn in een gebouw moeten goedgekeurd zijn voor die bepaalde toepassing.

Er wordt aangenomen dat er geen gevaar tot straling bestaat voor een gebouw dat helemaal voorzien is met een correct geïnstalleerd en onderhouden automatisch sprinklersysteem. Indien het blootgestelde gebouw voorzien is van een automatisch sprinklersysteem wordt aangenomen dat het risico in grote mate gereduceerd is.

4.5 Vergelijking van de methoden

In het werk van Carlsson, "External Fire Spread to adjoining buildings- A review of fire safety design guidance and related research", 1999 wordt een vergelijking van de verschillende berekeningsmethoden gemaakt voor verschillende types van gebouwen, nl. een opslagplaats, een kantoorgebouw en woning. De conclusies van deze vergelijking worden hier samengevat.

De uitgevoerde vergelijking heeft de aandacht getrokken op enkele interessante en belangrijke zaken met betrekking tot het bepalen van tussenafstanden met de verschillende methodes.

- Er is geen consistentie met betrekking tot het al dan niet rekening houden met straling afkomstig van uitslaande vlammen en in dat geval, welke tussenafstand gebruikt moet worden.
- Voor gebouwen met eenvoudige vormen voorspellen de methodes bij benadering dezelfde tussenafstanden. Voor gebouwen met complexere vormen zijn er grotere verschillen tussen de verschillende methodes. Aangezien sommige methodes niet van toepassing zijn op alle situaties, zullen er verschillen voorkomen omwille van een verschillende beoordeling door de gebruiker.
- De methodes volgens BRE, Fire Research Station (1991) en NFPA 80A (2007) maken gebruik van vooraf vastgelegde waarden van straling, configuratiefactor en straling afkomstig van uitslaande vlammen (waar deze in rekening gebracht zijn) en er is geen ontwerp mogelijk op basis van prestatie.
- In de methodes van Barnett en Collier is er een grotere flexibiliteit met betrekking tot de bepaling van de stralingsintensiteit, straling afkomstig van uitslaande vlammen en bijgevolg de tussenafstanden. Dit is vandaag een groot voordeel voor gebouwen met complexere vormen, voor nieuwe bouwmaterialen, enz...maar dan moet men wel over experimentele gegevens beschikken.

Een voordeel met de methodes die gebruik maken van vooraf bepaalde waarden is dat ze redelijk makkelijk gebruikt en toegepast kunnen worden.

De werkwijze van de omschreven rechthoek die voorgesteld is door het Fire Research Station (1991) geeft een goede en systematische beschrijving van hoe de tussenafstand bepaald wordt. Een gedetailleerde uitleg is gegeven van hoe gebouwen met complexe vormen behandeld moeten worden.

Er is aangetoond dat voor branden met een hogere intensiteit, meer openingen en openingen die verder van elkaar gespreid zijn, zullen bijdragen tot de straling en bijgevolg de tussenafstand zullen verhogen. Voor heel brede gebouwen zoals voor de opslagplaats die gebruikt is in deze studie, leidt dit tot heel grote tussenafstanden.

Een vraag die rijst bij de bovenstaande discussie is of het redelijk is om aan te nemen dat

de volledige gevel van een opslagplaats tegelijkertijd zal stralen? Dit kan redelijkerwijze aangenomen worden voor kleinere gevels, maar aangezien het een tijdje duurt voordat een brand horizontaal uitbreidt binnen een gebouw, kan dit leiden tot een overschatting van de tussenafstand voor bredere gebouwen.

Behalve NFPA 80A (2007) vermeldt geen enkele methode de mogelijke invloed van vlamdoorslag door het dak en daarbij horende stralingen.

5 Branden in industriegebouwen/ opslagplaatsen

In dit hoofdstuk wordt de brandveiligheid in industriegebouwen nader beschouwd. Dit gebeurt op basis van beschikbare statistieken, literatuur en op basis van een risico analyse. In gevallen waar branduitbreiding naar andere gebouwen voorkwam, is er in de meeste gevallen sprake van zeer hoge vuurbelasting, voornamelijk door opgeslagen materialen en/of verpakkingsmaterialen.

5.1 Statistische informatie over branden in industriegebouwen

Het aantal slachtoffers door branden in bedrijfsgebouwen is relatief beperkt en bijvoorbeeld veel lager dan in woningen. Daar staat tegenover dat de kans op brand in bedrijfsgebouwen ten opzichte van woningen veel groter is. Het risico neemt toe bij een concentratie van bedrijven in een bedrijfsverzamelgebouw, op een bedrijventerrein of in een winkelcentrum.

Een brand in een bedrijfsgebouw kan heel groot worden en veel schade veroorzaken. Soms leidt dat zelfs tot het ontruimen van een aangrenzende woonwijk. De brandveiligheid in bedrijfsgebouwen vergt daarom veel aandacht en handhaving. Er zijn daarbij diverse knelpunten en ontwikkelingen, zoals de vele branden die ontstaan door brandstichtingen en brandgevaarlijke werkzaamheden, oplopende opkomsttijden van de brandweer en in diverse gevallen een ontoereikende bluswatervoorziening.

Grote branden in opslagplaatsen zijn zeldzaam. Dergelijke gebouwen bestaan gewoonlijk uit heel grote brandcompartimenten waarin zich heel grote brandlasten, bevinden. Indien een brand ontstaat kunnen de effecten vernietigend zijn en leiden tot totaal verlies van het gebouw, de inhoud en soms van de bedrijvigheid.

5.1.1 Frequentie van branden

Er werden geen statische gegevens over industriebranden in België gevonden.

In het rapport “Brandveiligheidsconcept industriegebouwen (1995)”, van Directie Brandweer & Rampenbestrijding van het Nederlands Ministerie voor Binnenlandse zaken wordt een overzicht gegeven van statistische gegevens van het Nederlands Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) over branden in industriegebouwen. De gegevens zijn verzameld gedurende de periode van 1988 – 1993. [8]

Een nadere uitsplitsing van gebouwtypen die tot industriegebouwen behoren, met name een opdeling is gemaakt tussen fabrieksgebouwen en opslaggebouwen.

Enkele resultaten worden hier genoemd.

- In een aantal industriegebouwtypen is het gemiddeld schadebedrag per brand aanzienlijk hoger : papier, grafische nijverheid, textiel nijverheid, opslagplaatsen voor papierwaren, textiel en koel- en vrieshuizen.
- De gemiddelde schade per brand blijkt 's avonds en 's nachts aanzienlijk hoger te liggen dan de gemiddelde schade overdag.
- De belangrijkste plaats van het ontstaan van brand is – voor zover er melding van is gemaakt – voor vrijwel alle typen industriegebouwen de technische

ruimte. Een tweede plaats wordt ingenomen door de werkplaats.

- Gerekend naar het aantal branden is de kans op dodelijke slachtoffers overdag duidelijk groter dan 's avonds of 's nachts.

De 'Brandweerstatistiek 2006' van het CBS (Centraal Bureau voor de Statistiek) [9] maakt naar analogie met het Bouwbesluit een opdeling in categorieën van gebouwen in functie van gebruiksfuncties. De gegevens over branden in bedrijven zijn samengevat onder de noemer 'industrie, landbouw, veeteelt'. In 2006 vond van de 14.300 branden in gebouwen minder dan de helft plaats in 'niet-woongebouwen'. Van deze branden in 'niet-woongebouwen' viel 19% (1.400 branden) in de categorie 'industrie etc.' en 15% (1.100 branden) in 'bijeenkomstgebouwen'.

Onderzoek naar de statistieken van verliezen ten gevolge van brand bij verschillende nationale brandpreventie en verzekeringsorganisaties toont aan dat het aantal branden in opslagplaatsen en pakhuizen ongeveer constant is gebleven over de laatste 15 jaar met een gemiddelde van ongeveer 15% van alle gerapporteerde industriële branden. Deze branden representeren echter voor ongeveer 23% van de totale gerapporteerde schadeverliezen. [10]

In het Verenigd Koninkrijk zijn door het Office of the Deputy Prime Minister (ODPM) in 2004 statistieken opgemaakt die aantonen dat van de 37600 genoteerde branden in 'niet-woongebouwen' er 13% (4900) branden plaatsvonden in logistieke distributie centra. [11]

5.1.2 Oorzaken van branden in opslagplaatsen

Een overzicht van oorzaken van branden in opslagplaatsen wordt gegeven en een aantal geval studies worden vermeld.

fig. 5.1 toont aan dat de belangrijkste oorzaak van brand in opslaggebouwen brandstichting is. Vandaar dat een hoge graad van beveiliging zoals veiligheidshelmen, bewaakte camera's, buitenverlichting en regelmatige patrouillering in een grote mate het risico op brand kunnen verminderen.

Van andere belangrijke oorzaken van branden zoals open vlammen en elektrische installaties kunnen goed management en goed opgestelde procedures vermijden dat werken aan installaties en onderhoudswerkzaamheden onaanvaardbare risico's met zich meebrengen.

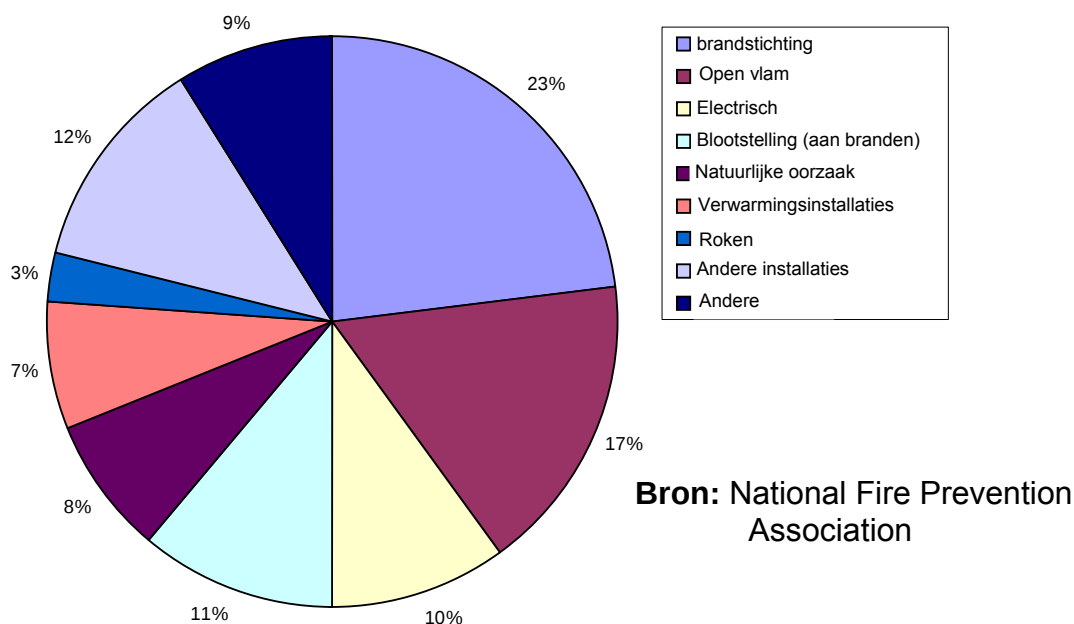


fig. 5.1 Belangrijkste oorzaken van branden in opslagplaatsen (1993 – 1997)

5.1.3 Statistische informatie over Sprinklerinstallaties

Uit informatie afkomstig van het BASA (British Automatic Sprinkler Association) blijkt dat gebouwen die volledig voorzien zijn van een automatische sprinklerinstallatie, 99% van de branden gecontroleerd werden door enkel de sprinklers en dat 60% van de branden werden gecontroleerd door de werking van niet meer dan 4 sprinklerkoppen. Schadeverliezen ten gevolge van branden in gebouwen die voorzien zijn met een sprinklerinstallatie worden op $1/10^{\text{de}}$ geschat van deze van gebouwen die niet beschermd zijn. Dit benadrukt de efficiëntie die automatische sprinklerinstallaties hebben op het verminderen van de gevolgen die branden kunnen hebben op de bedrijvigheid in de gebouwen.

Er dient opgemerkt te worden dat opdat sprinklersystemen succesvol zouden zijn in het beperken en controlleren van de schade veroorzaakt door branden, de aard van de opgeslagen goederen, de stapelwijze van de goederen en de hoogte van de stapeling conform dienen te zijn met de ontwerpcriteria van het geïnstalleerde sprinklersysteem of vice versa.

Studies hebben aangetoond dat 7% van branden in opslagplaatsen door een niet aangepast ontwerp niet gecontroleerd werden door het sprinklersysteem. Dit laatste cijfer relateert de te optimistische cijfers van het BASA.

5.1.4 Statistische informatie over automatische branddetectie

Door de aanwezigheid van een automatische branddetectie installatie in gebouwen kunnen grote branden vermeden worden door vroegtijdige waarschuwing waardoor de brand in een vroeg stadium bestreden kan worden.

fig. 5.2 toont de percentages van gerapporteerde branden op basis van de aanwezigheid en de werking van een automatische branddetectie. Hieruit blijkt dat 63% van alle gerapporteerde branden opgetreden zijn in gebouwen die niet voorzien zijn van een

automatische branddetectie. [11]

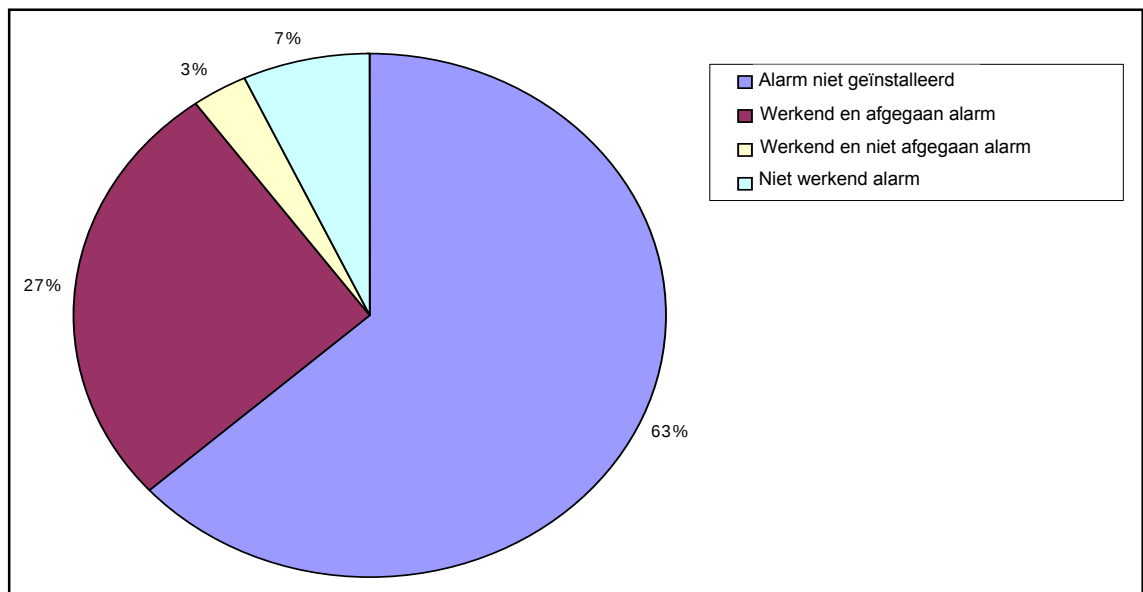


fig. 5.2 Verdeling van gerapporteerde branden in niet-woongebouwen op basis van automatische branddetectie. Bron: ODPM (2004) – Office of Deputy Prime Minister.

Er dient opgemerkt te worden dat de vermelde cijfers enkel verwijzen naar gerapporteerde branden en geen rekening wordt gehouden met branden die door een detectiesysteem ontdekt werden waardoor geen hulpdiensten nodig waren en als gevolg daarvan niet gerapporteerd zijn. Hierdoor kan er gesteld worden dat de aanwezigheid en het aantal interventies door automatische branddetectiesystemen zoals hier vermeld, onderschat is.

5.1.5 Geval studies [10]

Deze geval studies zijn opgesomd in een rapport van Willis – The Risk Practice met titel “An insight into Warehouse Fires: Technical report”.

- Een verondersteld geval van brandstichting in een 19000 m² groot magazijn voor huishoudelijke apparaten heeft geleid tot de volledige vernietiging van het gebouw en zijn inhoud. Het verlies van het belangrijkste distributiecentrum voor het Verenigd Koninkrijk heeft er toe geleid dat een aantal grote klanten dreigden het bedrijf te schrappen van hun leveranciers lijst. Dit zou leiden tot grote marktaandeel verliezen op langere termijn. Heel veel inspanningen zijn vereist geweest om deze vaste klanten niet te laten overstappen.

VK, 1999

- Een 10000m² magazijn van een derde partij waarin kunststof pellets werden opgeslaan is compleet vernield na een brand waarvan de oorzaak verondersteld is te zijn ontstaan na het manueel krimpverpakken van een pallet. Hoewel deze oorzaak niet met 100% zekerheid aangetoond kon worden, zijn inmiddels alle krimpverpakingsinstallaties met openvlam verboden in het bedrijf.

België, 1996

- Brand is ontstaan in een grondstoffen magazijn door barsten in vaten met azodiisobutyronitrile (AZDN). De barsten zijn ontstaan door de nabijheid van hete

stoom uit een condensatiepijp. Door reactie van het materiaal met dichtbij zijnde materialen is het magazijn volledig verwoest en is een grote vervuiling van lokale rivieren ontstaan. Als resultaat van de brand werd het heropgebouwde magazijn voorzien van een sprinklersysteem, brandweerstandsmuren en bluswateropvangsysteem.

Bradford, VK, 1992

- Een brand in een opslagplaats voor vuurwerk heeft geleid tot een ontploffing van ca. 100 ton explosieven. 18 doden, 946 gewonden en totale verwoesting van de omgeving waren het gevolg. Brandstichting en/of onjuiste opslag van de goederen worden als belangrijkste mogelijke oorzaken van de brand beschouwd. Wat men uit deze ramp zeker kan leren is dat de gevolgen van een mogelijke brand nooit volledig zijn overwogen voor het voorval waardoor een volledig verkeerde inplanting van het bedrijf is gebeurd.

Enschede, Nederland, 2000

- Een magazijn onderverdeeld in drie compartimenten door brandwerende muren zoals wettelijk vereist. Door de intense stralingswarmte is vlamuitbreiding door de brandwerende muren opgetreden waardoor het volledig gebouw vernield werd. Gelijkaardige opslagplaatsen die door een open ruimte van 30m gescheiden waren, bleven onbeschadigd dankzij de bescherming door de brandweer. Dit toont het belang van een voldoende tussenafstand aan om branduitbreiding tussen gebouwen te voorkomen.

België, 1996

5.2 Risico analyse

Branden in opslagplaatsen kunnen leiden tot extreme verliezen dit door de hoge concentratie aan waarde in het gebouw en door het mogelijks verlies van een belangrijke positie in de distributieketen.

Door de schikking van de goederen is de luchttoevoer tot elk brandbaar object in de meeste opslagplaatsen optimaal, wat kan leiden tot heel snelle branduitbreiding.

Om deze redenen worden vaak automatische sprinkler installaties (aan het dak en/of in de rekken) toegepast als beveiligingsmiddel.

Soms wordt er gekozen voor een eigen brandbestrijdingsinterventieteam dat gebruikt maakt van aanwezige haspels. Dit kan heel efficiënt zijn indien de brand in een heel vroeg stadium ontdekt en bestreden kan worden.

Om een risico beoordeling te kunnen maken kan een probabilistische risico analyse gemaakt worden. Deze beoordeling voorziet een manier om het risico niveau te evalueren, gebaseerd op statistieken, bouweigenschappen en betrouwbaarheidsgegevens van brandveiligheidssystemen.

Een gebeurtenissenboom kan gebruikt worden om de waarschijnlijkheid van verschillende brandscenarios te bepalen. De frequentie van verschillende onderling gelinkte gebeurtenissen kan aan de hand van de gebeurtenissenboom bepaald worden, beginnende met de start gebeurtenis, bv. ontsteking. De waarschijnlijkheid of frequentie van een bepaald

scenario wordt berekend door de waarschijnlijkheden van de verschillende gebeurtenissen in die tak te vermenigvuldigen.

In de norm ISO/TS 16733 [12] wordt in bijlage C een voorbeeld uitgewerkt van een risico analyse voor een opslagplaats, dit ter bepaling van mogelijke brandscenario's. Een deel van dit voorbeeld wordt hier overgenomen en toegelicht.

Stap 1 : Type brand

De brandscenario's die leiden tot de grootste gevolgen zijn dikwijls een gevolg van een verlies aan ontvlambare vloeistoffen. Deze kunnen ontsteking veroorzaken op verschillende plaatsen.

Stap 2 : Plaats van de brand

De plaatsen in het gebouw die leiden tot de meest ongunstige brandscenario's dienen hier opgenomen te worden. Volgende locaties zijn opgenoemd :

- Aan de voet van een stapelrek op een plaats verst verwijderd van haspels of sprinklerkop
- Aan de voet van een stapel niet-conform geplaatste goederen in een gang
- Aan de bodem van een stapelrek waar aan de voet zich niet-conform geplaatste goederen bevinden.

Stap 3 : Mogelijke brandgevaaren

Andere mogelijke brandhaarden die hierboven nog niet zijn opgenoemd maar ook grote gevolgen kunnen hebben dienen beschouwd te worden.

Als mogelijke brandhaarden zijn opgenomen types producten opgeslagen in rekken waar de bescherming door een sprinklersysteem niet voor ontworpen is.

- Opslag van aerosol bussen
- Opslag van containers met ontvlambare vloeistoffen
- Opslag van producten die smeltbare kunststoffen bevatten die kunnen afdruipten
- Opslag van producten die geëxpandeerde kunststoffen bevatten

Stap 4 : Systemen die de brand beïnvloeden

Het gebouw, constructie en de brandbeveiligingssystemen die een belangrijke invloed op de ontwikkeling van de brand kunnen hebben of die kunnen leiden tot onhoudbare omstandigheden dienen opgesomd te worden.

De norm baseert zich op gegevens van FM Global afkomstig van 527 branden in opslagplaatsen. Volgende belangrijke factoren zijn opgenoemd : menselijke factor (31%), manier van stapelen (opslag in gang of stapelhoogte, 28%); beschermingssysteem die niet werken (waterdebiet onvoldoende, branddeuren, ..); blootstelling aan brand van buiten af (8%); sprinkler problemen (ophanging, verkeerde tussenafstanden of temperatuur instelling, sproeipatroon belemmerd door obstructies, 5%), waterkraan gesloten (5%), processen eigen aan het gebouw (4%).

Stap 5 : Reactie van de aanwezigen

Er dient opgenomen te worden hoe aanwezigen een invloed kunnen hebben op de brand,

Stap 7 Waarschijnlijkheden toekennen

Voor elke tak dient de waarschijnlijkheid van optreden geschat te worden. Hiertoe kan gebruikt gemaakt worden van beschikbare gegevens en/ of op basis van een ingenieurs beoordeling. De waarschijnlijkheden worden op de gebeurtenissenboom geplaatst. De waarschijnlijkheid van elk scenario kan bepaald worden door alle waarschijnlijkheden die langs het pad dat leidt tot het scenario te vermenigvuldigen.

De waarschijnlijkheden die hier vermeld zijn, zijn afkomstig van statistische gegevens en beoordeling door engineering: fig. 5.4.

Stap 8 Gevolgen toekennen

Voor elk scenario worden gevolgen toegekend op basis van een beoordeling door engineering. Het gevolg dient uitgedrukt te worden in een meetbare waarde zoals bijvoorbeeld aantal doden, aantal gewonden of kosten door schadeverliezen.

De schattingen dienen conservatief te zijn en mogen rekening houden met tijdsafhankelijke effecten.

Voor opslagplaatsen is het risico op gewonden klein. De maximale gevolgen zijn fysieke schade aan de gebouwen en onderbreking van de ondernemingsactiviteiten.

De hier opgenomen waarden werden als volgt beredeneerd [12]:

Gevolgen voor scenario 1 : De brand wordt onderdrukt door eerste hulpdiensten. De schade is beperkt. Voor een vloeistof brand die zich makkelijk kan verspreiden wordt de schade toch nog aanzienlijk genomen nl. 500.000 \$.

Scenario's waar het sprinkler systeem de brand onderdrukt wordt nog een schade van 10.000.000\$ geschat. Indien het sprinklersysteem de brand niet kan onderdrukken wordt een maximale schade van 400.000.000\$ aangenomen.

Stap 9 Rangschikking van de risico's

De relatieve risico's van een scenario worden bepaald door de gevolgen voor dat scenario zoals bepaald in stap 8 te vermenigvuldigen met de waarschijnlijkheid van optreden van een scenario zoals bepaald in stap 7 (fig. 5.4).

Stap 10 Uiteindelijke keuze en documentatie

Om een kwantitatieve analyse te maken dienen de hoogst gerangschikte scenario's gekozen te worden. De gekozen scenario's dienen het belangrijkste deel van het totale risico in te houden.

Deze scenario's worden de ontwerp brandscenario's

Waarschijnlijkheid	Brand-scenario	Gevolgen - Verlies (\$)	Risico W x G (\$)	Ranking
W 0,0560	S1	G 500.000	R 28.000	-
0,0078	S2	10.000.000	77.760	-
0,0078	S3	400.000.000	3.110.400	1
0,0017	S4	400.000.000	691.200	3
0,0016	S5	10.000.000	15.552	-
0,0023	S6	400.000.000	933.120	2
0,0004	S7	400.000.000	172.800	5
0,0017	S8	10.000.000	17.280	-
0,0016	S9	400.000.000	622.080	4
0,0002	S10	400.000.000	76.800	-
0,0000	S11	10.000.000	432	-
0,0004	S12	400.000.000	155.520	6
0,000048	S13	400.000.000	19.200	-

fig. 5.4 Ranking van de verschillende risico's voor de brandscenario's

In bijlage A worden op de manier zoals hierboven beschreven, brandscenario's die leiden tot vlamuitbreiding naar naastliggende gebouwen bepaald.

6 Fire safety engineering (FSE) aanpak

In deze studie wordt de mogelijke uitbreiding van brand van een industriegebouw, meer specifiek een opslagplaats naar een naburig gebouw nader bekeken.

Algemeen kan opgemerkt worden dat de gegevens beschikbaar over grootschalige industriële branden beperkt zijn. Er zijn talrijke studies gedaan voor kleine tot middelgrote branden in stedelijke omgeving en ook voor koolwaterstof brandstof gerelateerde branden maar er zijn weinig studies gedaan over industriële/opslag terreinen.

De voorgestelde methode om de benodigde tussenafstand voor industriegebouwen/opslagplaatsen te bepalen bestaat uit volgende stappen :

1. Vooropstellen van de doelstelling
2. Definitie en beoordeling van de potentiële omvang van de brand door identificatie van het 'worst case' brandscenario
3. Bepalen van de straling afgegeven door de vlammen
 - o Berekening van de hoogte van de vlammen
 - o Bepalen van de temperatuur van de vlammen
4. Berekening van de ontvangen stralingsintensiteit op de aangrenzende gebouwen in functie van de onderlinge ligging ten opzichte van het brandend gebouw.
5. Vergelijking met de kritische ontstekingsflux van de materialen blootgesteld aan deze straling

In de verdere uiteenzetting worden 2 gebouwen A en B beschouwd. Gebouw A gedefinieerd als het gebouw dat in brand staat en gebouw B het naastliggende gebouw dat blootgesteld wordt aan stralingswarmte.

6.1 Brandveiligheids doelstelling

Verskillende doelstellingen kunnen vooropgesteld worden. Veiligheid van personen, veiligheid van de interventie teams, bescherming van eigendommen en operationele continuïteit zijn de meest voorkomende doelstellingen.

Minimum doelstellingen vindt men meestal terug in de wetgeving en beogen veiligheid van personen en veiligheid van de interventie teams.

In Bijlage 6 zijn de doelstellingen :

- verzekeren van de veiligheid van personen die zich in de belendende gebouwen bevinden,
- hulpdiensten in staat stellen om de brand meester te worden.

Bescherming van eigendommen en operationele continuïteit zijn doelstellingen die meestal opgelegd worden door verzekeringsmaatschappijen en/of ook door de eigenaar van het gebouw zelf.

De kans dat er slachtoffers vallen bij een brand in een opslagplaats is klein. Evacuatie van aanwezigen zal gebeuren vooraleer dat de brand zich uitbreidt naar een naastliggend gebouw.

Doelstelling voor de huidige studie :

1. De brandweer dient de brand onder controle te kunnen houden. Vandaar is het belangrijk dat er geen uitbreiding naar naastliggende gebouwen optreedt.
2. Beperking van schadeverliezen aan eigendommen
3. Beperking van schadeverliezen door garanties voor bedrijfscontinuïteit

Functionele vereiste

De blootgestelde materialen van gebouw B mogen onder invloed van de warmteoverdracht afkomstig van gebouw A niet ontsteken.

Prestatie vereiste

De warmteoverdracht door convectie kan verwaarloosd worden ten opzichte van deze door straling.

De invallende stralingsintensiteit op gebouw B dient lager te zijn dan de kritische ontstekingsflux van de blootgestelde materialen van dit gebouw.

$$I < I_{krit} \quad (kW / m^2) \quad (6.1)$$

Waarbij

- | | |
|------------|--|
| I | Invallende stralingsintensiteit (kW/m ²) |
| I_{krit} | Kritische ontstekingsflux van de blootgestelde materialen (kW/m ²) |

In volgende paragrafen wordt beschreven hoe de invallende stralingsintensiteit op een naburig gebouw praktisch bepaald kan worden.

Voor het bepalen van de afstand tussen gebouwen wordt in Bijlage 6 geen rekening gehouden met stralingsintensiteit afkomstig van uitslaande vlammen.

Opslagplaatsen zijn vaak opgetrokken uit muren zonder openingen, waardoor de noodzaak voor het toepassen van een tussenafstand volgens Bijlage 6 vervalt. Er wordt uitgegaan van de situatie dat gebouw A geen openingen vertoont in zijn gevel tegenover gebouw B. In de analyse die hier gemaakt wordt, zal daarom alleen rekening gehouden worden met straling afkomstig van vlammen die uitslaan boven het dak

In het scenario hier uitgewerkt, wordt aangenomen dat de gevel van gebouw B tegenover gebouw A, EI120 brandwerend is en opgetrokken uit onbrandbare materialen.

6.2 Bepalen van het ontwerp brandscenario

Hiertoe dienen verschillende brandscenario's vooropgesteld te worden. Deze scenario's dienen geloofwaardig en voldoende conservatief te zijn om dienst te kunnen doen voor een deterministische brandveiligheidsanalyse. Bij de keuze van het ontwerp brandscenario wordt rekening gehouden met de vooropgestelde brandveiligheidsdoelstellingen die hier boven vermeld zijn.

In bijlage A is een risico analyse gemaakt aan de hand van een gebeurtenissenboom.

Als meest negatieve scenario wordt geopteerd voor een industriegebouw/opslagplaats dat volgens de indeling van Bijlage 6 tot type C gebouwen behoort. Verder wordt aangenomen

dat de actieve brandbeveiligingssysteem falen, bv. een falend sprinklersysteem. De brand zal zich binnen het compartiment van het gebouw verder kunnen ontwikkelen tot een volontwikkelde brand. Er wordt verondersteld dat het dak van het brandende gebouw A, dat meestal brandweerstand RF30 heeft, zal instorten.

Er is aangenomen dat het dak het begeeft langs de zijde van het naastliggende gebouw B.

Opdat de brandweer de brand zou kunnen beheersen wordt volgens bijlage 6 de totale brandbelasting in een compartiment van een industriegebouw beperkt tot maximaal 5.700 GJ indien het niet gesprinklerd is en 34.200 GJ indien wel gesprinklerd is. De gemiddelde 'maatgevende' brandbelasting voor type C wordt gelijk aan 1.250 MJ/m² genomen. Dit leidt tot een maximale oppervlakte voor een niet gesprinklerd compartiment van 5.000 m² en voor een gesprinklerd compartiment 30.000 m².

Naast de brandbelasting is de warmte vrijstelling, HRR een belangrijke parameter. Deze bepaalt hoe snel de brand groeit en hoe lang de brand kan duren. Hoe hoger de gemiddelde HRR voor een zelfde brandbelasting hoe sneller de brand zal doven.

Er wordt voorgesteld om de HRR te baseren op de informatie gepubliceerd in de Smoke Ventilation Association 'Guidance for the design of smoke ventilation for single storey industrial buildings including those with mezzanine floors and high rack storage warehouse' Issue 2, gepubliceerd in 1991. Dit document adviseert voor gestapeld karton, een HRR van 630kW/m².

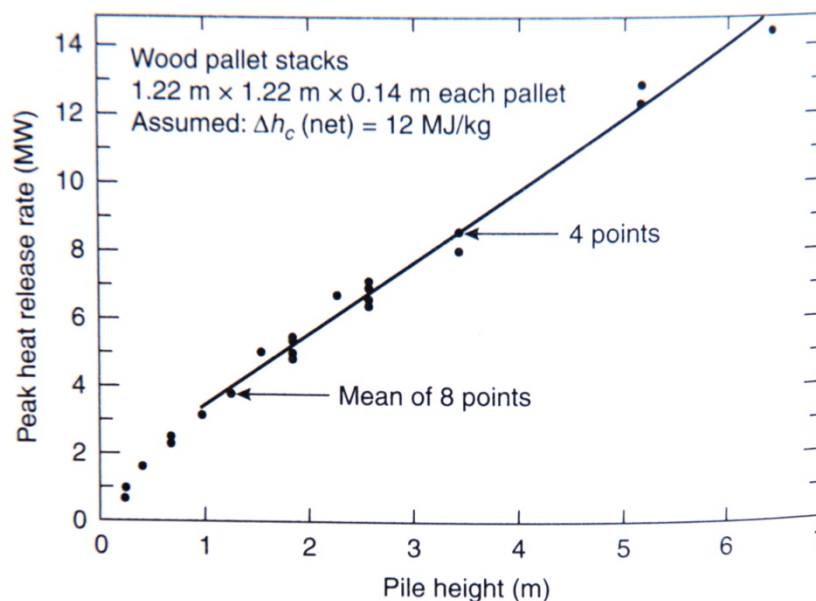


fig. 6.1 Pallet HRR in functie van de hoogte. [6]

Daarnaast wordt een indicatieve brandbelasting voor gestapelde houten palletten gegeven (fig. 6.1). Voor een 6m hoge pallet stapeling wordt een piek HRR vermeld van 13 MW. [6]

De HRR per pallet oppervlakte eenheid in functie van de hoogte wordt door volgende vergelijking gegeven :

$$\dot{q}'' = 919(1 + 2,14h_p)(1 - 0,03M) \quad (\text{kW} / \text{m}^2) \quad (6.2)$$

Waarbij :

$\dot{q}''$	HRR (kW/m ²)
h_p	Pallet stapelhoogte (m)
M	vochtgehalte (%)

Voor het hout is een verbrandingswarmte van 12MJ/kg aangenomen.

Er mag aangenomen worden dat het vochtgehalte van luchtdroog hout ca. 12 à 15% bedraagt. Dit betekent dat gemiddelde HRR voor een pallet stapeling tot 6m hoogte 8,13 à 6,99 MW/m² kunnen bedragen en voor $h_p = 4m$ 5,61 à 4,82 MW/m².

Volgens CR 12101-5 "Smoke and heat control systems – Part 5: Guidelines on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat exhaust ventilation systems." [13] wordt voor gestapelde goederen tussen 2m en 4m die niet gesprinklerd zijn een ontwerp HRR voor geschreven die tussen volgende waarden ligt.

$$\dot{q}''_{low} = 250(h_p - 1) \quad (kW / m^2) \quad (6.3)$$

$$\dot{q}''_{high} = 1250(h_p - 1) \quad (kW / m^2) \quad (6.4)$$

Waarbij :

$\dot{q}''$	HRR (kW/m ²)
h_p	Pallet stapelhoogte (m)

Dit komt voor een 4m hoge stapeling neer op een HRR tussen 750 kW/m² en 3750 kW/m².

Dit is een heel ruim gebied met een verhouding van 1 tegen 5 en voor de verdere uitwerking wordt met de hoogste waarde gewerkt. Deze waarden liggen nog gevoelig lager dan de bovengenoemde waarden uit [6].

6.3 Straling afgegeven door de vlammen

De stralingsintensiteit uitgezonden door vlammen kan op verschillende manieren berekend worden.

Hier worden een aantal manieren voorgesteld.

In de **eerste methode** wordt gebruik gemaakt van de algemene vergelijking voor straling, nl.

$$I_{EC} = \sigma \varepsilon T^4 \quad (kW / m^2) \quad (6.5)$$

Waarbij :

I	uitgezonden stralingsintensiteit (W/m ²)
T	temperatuur van het stralende oppervlak (K)
σ	Stefan Boltzman constante, nl. $5,67 \times 10^{-11}$ kW/m ² K ⁴
ε	emissiviteit,

Omdat de vlammen bij een dergelijke compartimentbrand voldoende dik worden verondersteld kan aangenomen worden dat de vlam zich gedraagt als een perfecte straler of zwart lichaam. De emissiviteit (ε) kan hierdoor benaderd worden door 1, waarmee eveneens gekozen is voor een conservatieve benadering

In fig. 6.2 wordt de stralingsintensiteit volgens vergelijking (6.5) met emissiviteit 1 weergegeven in functie van de temperatuur.

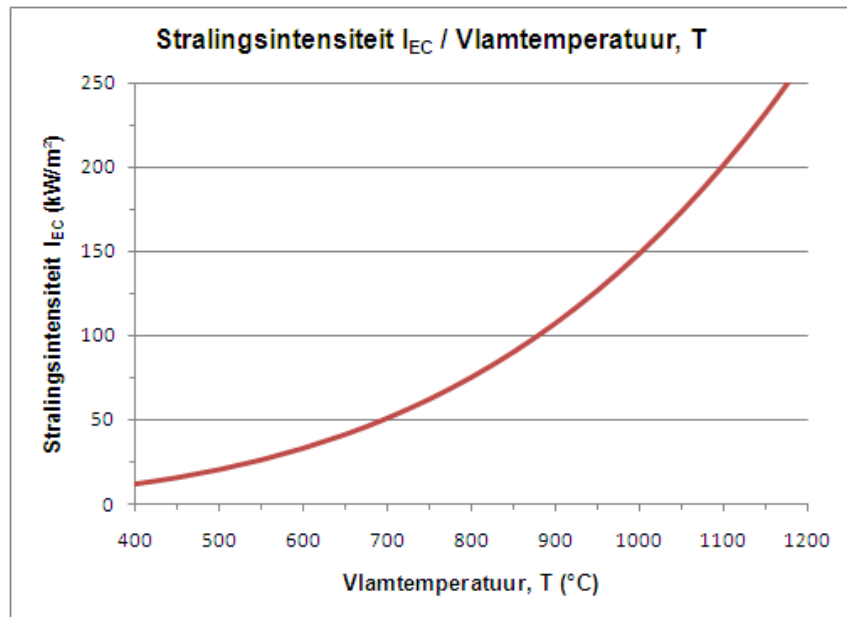


fig. 6.2 Uitgezonden stralingsintensiteit ifv de vlamtemperatuur met $\varepsilon=1$.

In de **tweede methode** zoals beschreven door Lees (1996) [4] wordt de uitgezonden stralingsintensiteit berekend als een deel van de totaal vrijgestelde verbrandingswarmte (HRR).

$$\dot{Q}_r = \chi \dot{Q} \quad (\text{kW}) \quad (6.6)$$

Waarbij :

- χ Deel van de totale verbrandingswarmte dat als straling wordt uitgezonden, hier gelijk genomen aan 30%
- $\dot{Q}_r$ Uitgezonden stralingswarmte (kW)
- $\dot{Q}$ Totale verbrandingswarmte (kW)

De fractie χ van de totale HRR die uitgestraald wordt kan variëren afhankelijk van het type brandstof en met de diameter van de brandhaard.

Om de analyse te vereenvoudigen wordt het vlammenfront benaderd door een grote rechthoek die warmte uitstraalt. De hoogte wordt gelijk genomen aan de gemiddelde vlamhoogte en de basis gelijk aan de diameter van het brandende oppervlak. In dit werk zal een rechthoekige brandhaard beschouwd worden. De basis van het stralende oppervlak wordt gelijkgesteld aan de langste zijde van het brandhaardoppervlak.

In werkelijkheid zal de vlam smaller worden naarmate ze stijgt en de vorm zal meer die van een trapezium benaderen.

De netto stralingsintensiteit uitgezonden voor één zijde van de rechthoek wordt gegeven door

$$I = \frac{1}{2} \chi \dot{Q} / LD \quad (\text{kW} / \text{m}^2) \quad (6.7)$$

Waarbij :

- L Gemiddelde vlamlengte (m) berekend volgens vergelijking (6.11)
- D Diameter van het brandend oppervlak of langste zijde van het brandhaardoppervlak (m)

Door vereenvoudigde aannames waarbij aangenomen is dat verbranding 100% is en dat de temperatuur uniform is over het volledig oppervlak van de rechthoek maakt dat met deze methode een heel conservatieve waarde bekomen worden. Dit kan leiden tot een overbeschermd ontwerp. De aanname dat de verbranding 100% is zal aanleiding geven tot een overschatting van de warmte vrijstelling. In werkelijkheid zijn er binnen de vlammen verschillende temperatuursgradiënten aanwezig. De stralingswarmte kan dan nog verzwakt worden door de aanwezigheid van roet in de minder warme zones, waardoor straling geabsorbeerd wordt.

In vergelijking (6.7) wordt de totaal uitgezonden stralingsintensiteit gedeeld door 2 omdat slechts één zijde van de rechthoek in aanmerking genomen wordt.

In de benadering die hier gemaakt wordt, is een rechthoekige brandhaard verondersteld. Bijkomende stralingsverliezen worden in rekening gebracht voor de zijden die niet op het ontvangend object stralen. (fig. 6.3).

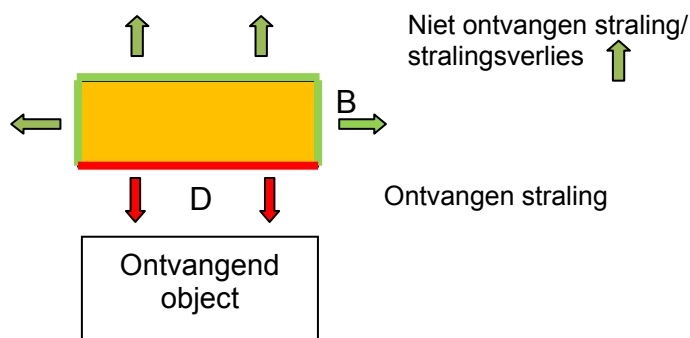


fig. 6.3 Stralingsverliezen brandend oppervlak - Boven aanzicht

Hiermee wordt vergelijking (6.7) omgevormd tot :

$$I_{EC} = \frac{D}{2D + 2B} \chi \dot{Q} / LD \quad (kW / m^2) \quad (6.8)$$

Waarbij :

- L Gemiddelde vlamlengte (m) berekend volgens vergelijking (6.11) of volgens correlatie van Hasemi & Nishihata
- D Diameter van het brandend oppervlak of zijkant van de rechthoek (m)
- B Breedte van het brandend oppervlak (m)

In de **methode volgens Shokri & Beyler** [6] voor het bepalen van straling afkomstig van een plasbrand wordt de gemiddelde straling afkomstig van de ganse vlam voorgesteld. De

vlam is verondersteld als een cilindrische homogene zwarte straler met een gemiddelde emissiviteit.

$$I_{EC} = 58 \left(10^{-0,00823D} \right) \quad (kW / m^2) \quad (6.9)$$

Waarbij :

I_{EC} Uitgezonden stralingsintensiteit (kW/m²)

D Diameter van het brandend oppervlak – hier wordt de equivalente diameter aangenomen (m)

De uitgezonden stralingsintensiteit is een gemiddelde waarde over de volledige vlam en kan significant lager zijn dan stralingsintensiteiten die lokaal kunnen optreden.

De straling van de vlam per m² neemt af met toenemende plasdiameter. De reden hiervoor is dat de brandstoffen (o.a. kerosine diesel) waarvoor deze vergelijking is opgesteld heel veel zwarte rook produceren die als het ware “een koude rookmantel” of stralingsschild vormen rond de brand. Voor ander type brandstoffen zoals LNG of LPG wordt een stijging van de uitgezonden stralingsintensiteit per m² verkregen met toenemende diameter.

De vergelijking is opgesteld door een fitting te maken met experimentele data en is weergegeven in fig. 6.4.

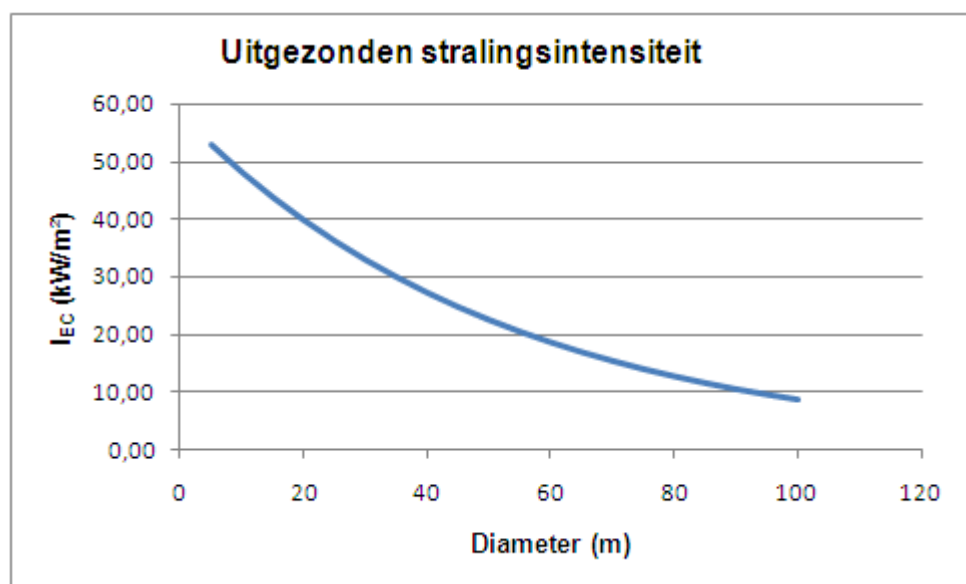


fig. 6.4 Uitgezonden stralingsintensiteit van plasbrand bepaald volgens Shokri en Beyler

De uitgezonden stralingsintensiteit van grote vlammen afkomstig van een reeks vierkant gestapelde houten stokken of cribben is onderzocht door Hägglund and Persson. [14]

$$I_{EC} = 190 \left(1 - e^{-0,8D} \right) \quad (kW / m^2) \quad (6.10)$$

Waarbij :

I_{EC} Uitgezonden stralingsintensiteit (kW/m²)

D Dikte van de vlam (gelijk genomen aan de diameter van het brandend oppervlak) (m)

De bijhorende curve suggereert dat $I \rightarrow 190 \text{ kW/m}^2$ indien $D \rightarrow \infty$. Dit kan moeilijk bevestigd worden aangezien bij de maximaal experimentele vlamdikte die 2m bedroeg, er nog geen plateau bereikt wordt.

Er is bij deze vergelijking niet opgegeven of de gemeten stralingsintensiteiten zijn opgemeten in openlucht of in een compartiment. De hoge waarden laten vermoeden dat de experimenten zijn uitgevoerd in een compartiment.

6.3.1 Vlamhoogte

De dimensies van vlammen boven een brandend oppervlak kunnen bepalend zijn voor hun interactie met de omgeving. Specifiek wordt hier nagegaan of de hierdoor vrijgestelde stralingswarmte voldoende is om naburige brandbare materialen te ontsteken.

De lengte van een vlam varieert tussen een minimum en een maximum.

Diffuse vlammen boven het brandend oppervlak bestaan typisch uit een continu lichtgevend onderste gedeelte dat altijd vlammen bevat, een onderbroken (intermittent) middenste gedeelte en de rookpluim waar geen vlammen meer voorkomen. (fig. 6.5).

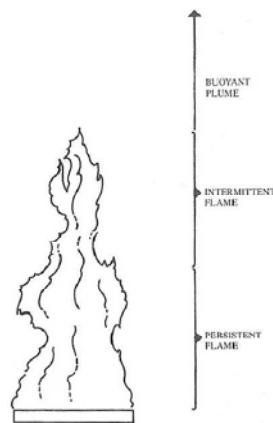


fig. 6.5 De 3 zones van een vlam boven een brandend oppervlak

De gemiddelde en de maximale zichtbare lengte zijn bepaald met het intermittency criterium van Zukoski. De intermittency $I(z)$ wordt gedefinieerd als de tijdsfractie waar ten minste een deel van de vlam boven de afstand z aanwezig is. Zo is het maximum bereikt voor $I(z) \rightarrow 0$. In fig. 6.6 wordt de variatie van de Intermittency uitgezet ten opzichte van de afstand z boven de brandhaard.

De gemiddelde vlamlengte L is gedefiniëerd als de afstand boven de brandstof waar de vlam minimaal 50% van de tijd aanwezig is.

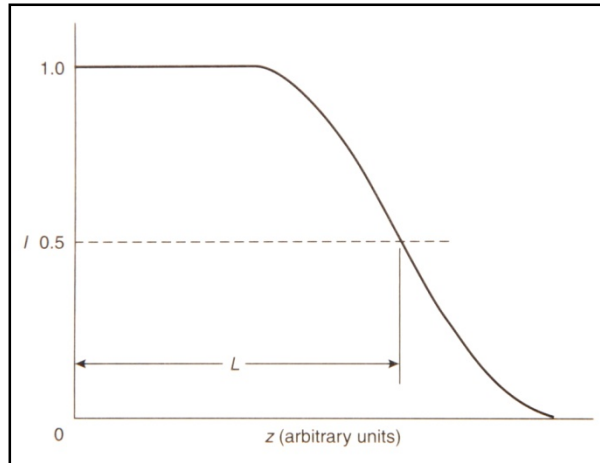


fig. 6.6 Gemiddelde vlamlengte volgens Zukoski et al. bepaald uit Intermittency metingen. [6]
De arbitrary units vermeld in de x-as stellen een lengte eenheid voor.

Verschillende formules voor de gemiddelde vlamhoogte L zijn beschikbaar.

De vergelijking (6.3) volgens Heskestad laat toe om de vlamhoogte te berekenen gebaseerd op het calorisch debiet of de vrijgestelde warmte (Heat Release Rate- HRR) en de oppervlakte van de brandhaard.

$$L = -1,02D + 0,235\dot{Q}^{2/5} \quad (m) \quad (6.11)$$

Waarbij

- L Vlamhoogte in (m)
- D Diameter van de brand (m) ($D < 100m!!$)
- $\dot{Q}$ HRR van de brand (kW)

Deze vergelijking is ontwikkeld voor plasbranden en geeft goede resultaten binnen het gebied $7 < \dot{Q}^{2/5}/D < 700 \text{ kW}^{2/5}/m$.

Vergelijking (6.3) kan ook worden geschreven in functie van $\dot{Q}^*$, een dimensieloze HRR als (McCaffrey, 1995) [4]:

$$\frac{L}{D} = 3,7\dot{Q}^{*2/5} - 1,02 \quad (6.12)$$

Met

$$\dot{Q}^* = \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g} D D^2} \quad (6.13)$$

Waarbij

- ρ_{∞} en T_{∞} Densiteit en temperatuur van omgeving
- c_p Specifieke warmte van lucht
- g Valversnelling ($= 9,81 \text{ m/s}^2$)

D Diameter van de brandhaard (m)

McCaffrey heeft de opgestelde vergelijkingen van verschillende onderzoekers aan de hand van deze dimensieloze HRR met elkaar vergeleken (fig. 6.7).

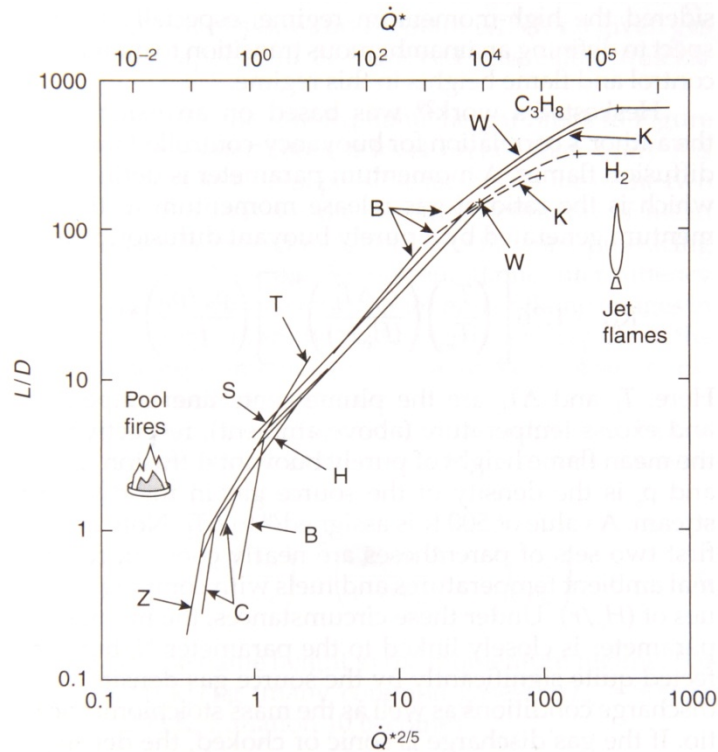


fig. 6.7 Correlaties voor vlamhoogtes samengesteld door McCaffrey. Hoofdletters zonder subscript verwijzen naar volgende onderzoekers : B= Becker and Liang, C= Cox and Chitty, H = Heskestad, K = Kalal en Z = Zukoski. Hoofdletters met subscript verwijzen naar chemische elementen. [6]

Voor grote brandhaarden met diameter $D > 100\text{m}$ zal het vlammenfront opsplitsen in een aantal aparte vlammen (flamelets). De hoogte van deze vlammen zal veel lager zijn dan de diameter van het brandstof oppervlak (fig. 6.8).

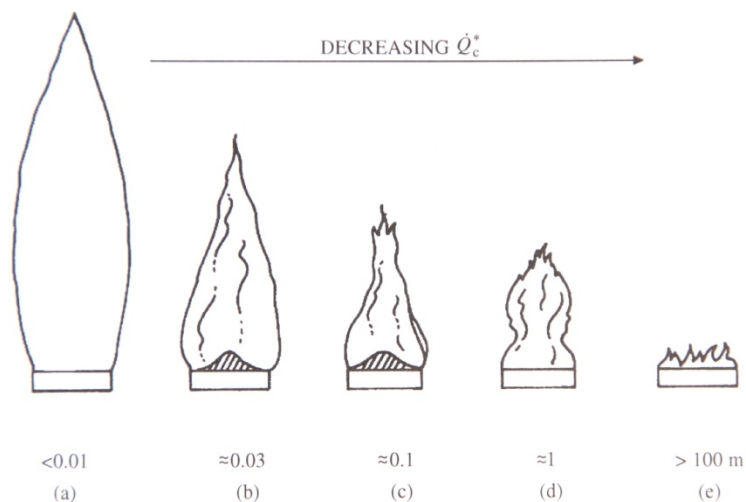


fig. 6.8 Classificatie van natuurlijke diffuse vlammen volgens Corlett. [4]

Vergelijking (6.11) mag ook toegepast worden voor grote, hoge stapelingen waar de vlammen boven de stapeling uitkomen. De diameter van de brand wordt berekend als de diameter van een brand waarvan het oppervlak gelijk is aan de verhouding van de HRR tot de HRR per oppervlakte eenheid. De basis voor de vlamlengte bepaling stemt overeen met de basis van de stapeling die brand. [6]

In grote compartimenten zal de brand niet op elke plaats tegelijk even actief zijn. Bij instorten van het dak zullen vlammen slechts over een beperkt deel van het compartiments oppervlak boven het dak uitkomen.

De invloed van de diameter op de vlamhoogte is voor verschillende waarden van de HRR weergegeven aan de hand van vergelijking (6.11) in fig. 6.9.

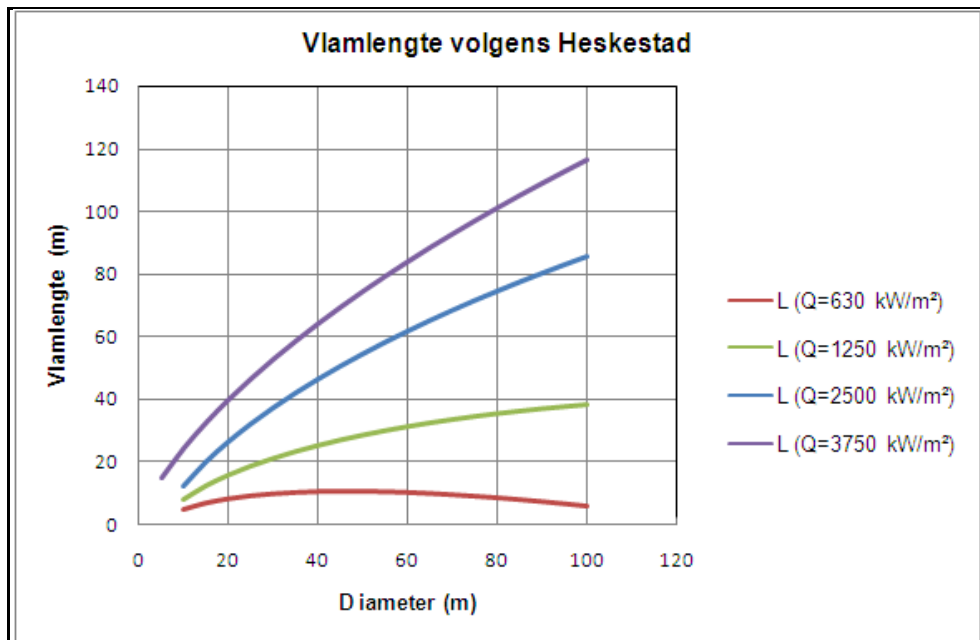


fig. 6.9 Vlamhoogte L ifv diameter D voor verschillende HRR waarden

Bovenstaande vergelijkingen zijn opgesteld voor symmetrische vlammen en pluimen, dit wil zeggen met vierkant of cirkelvormig brandend oppervlak.

Slechts weinig data zijn beschikbaar over het gedrag van vlammen boven brandende oppervlakken met andere vorm, bijvoorbeeld voor het geval waar het brandend oppervlak een rechthoek is waarvan één zijde veel groter is dan de andere.

Hasemi en Nishihata (1989) hebben een aangepaste $\dot{Q}^*$, vergelijking (6.14) gedefinieerd voor het bepalen van de vlamhoogtes in dit laatste geval. De correlatie wordt weergegeven in fig. 6.10

$$\dot{Q}_{\text{mod}}^* = \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g A^{3/2} B}} \quad (6.14)$$

Waarbij

- A Lengte van de korte zijde van de rechthoek van de brandhaard (m)
 B Lengte van de lange zijde van de rechthoek van de brandhaard (m)

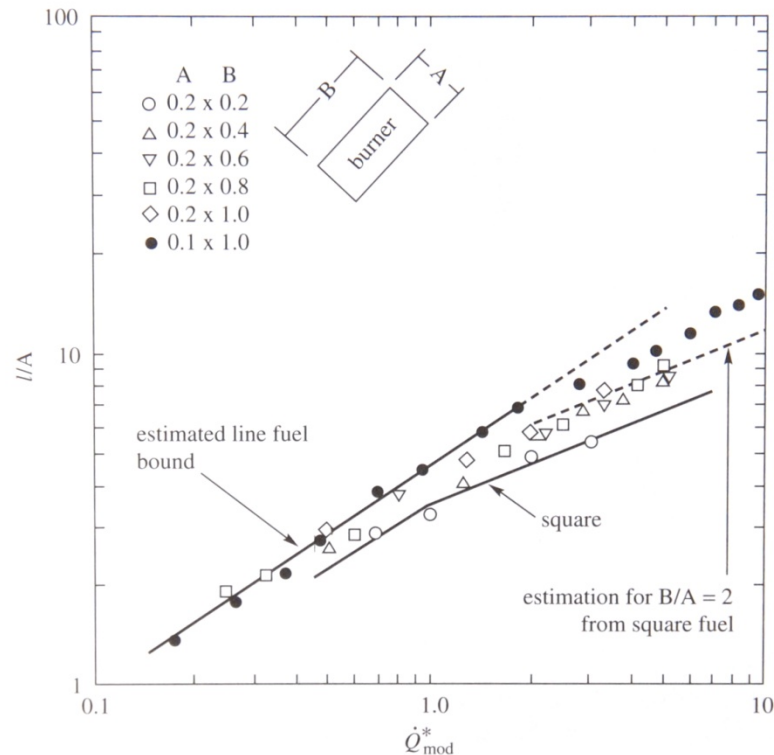


fig. 6.10 Relatie tussen L (lengte van de vlam)/ A en $\dot{Q}_{\text{mod}}^*$ volgens Hasemi en Nishihata (1989).
[4]

Voor een lijn brand, waar $B \rightarrow \infty$ nadert wordt de HRR uitgedrukt per lengte eenheid van de brander en wordt de vergelijking voor $\dot{Q}_l^*$:

$$\dot{Q}_l^* = \frac{\dot{Q}_l}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g} A^{3/2}} \quad (6.15)$$

Waarbij

$\dot{Q}_l$ HRR per eenheidslengte (kW/m)

Aan de hand van de grafiek in fig. 6.10 wordt voor een aantal oppervlaktes de bijhorende vlamlengte bepaald. De bekomen vlamlengtes worden vergeleken met de vlamlengtes bepaald volgens vergelijking (6.11) van Heskestad in Tabel 6.2.

Voor het bepalen van de oppervlaktes, bijhorende equivalente diameters en afmetingen van de rechthoek is met waarden gerekend die een werkelijke brandhaard kunnen benaderen. Er is geprobeerd om een lengte – breedte verhouding van 3 aan te houden.

Tabel 6.1 Relatie diameter / oppervlakte en rechthoek afmetingen

Diameter (m)	Oppervlakte (m ²)	Rechthoek afmetingen A x B (m ²)
20	314	10 x 30
30	707	15 x 50
40	1250	20 x 60

Tabel 6.2 Vergelijking vlamlengtes

Q (kW/m ²)	D (m)	A (m)	B (m)	Q [*] _{mod}	l/A	L (m) (Hasemi & Nishihata)	L (m) (Heskestad)
630	20	10	30	0,18	1,5	15,0	10,0
630	30	15	50	0,15	1,1	16,5	11,0
630	40	20	60	0,13	1,1	22,0	12,0
1250	20	10	30	0,36	2,1	21,0	19,0
1250	30	15	50	0,29	1,9	28,5	24,0
1250	40	20	60	0,25	1,7	34,0	28,0
2500	20	10	30	0,72	3,5	35,0	32,0
2500	30	15	50	0,59	3,0	45,0	42,0
2500	40	20	60	0,51	2,6	52,0	50,5
3750	20	10	30	1,08	4,3	43,0	41,0
3750	30	15	50	0,88	3,8	57,0	54,0
3750	40	20	60	0,76	3,6	72,0	66,0

De resultaten geven aan dat de vlamlengtes bepaald volgens Hasemi & Nishihata hogere waarden hebben dan deze bepaald volgens de formules van Heskestad. De verschillen worden groter naarmate de HRR afneemt. Er dient hier opgemerkt te worden dat voor een HRR van 630 kW/m², de gemodificeerde $\dot{Q}^*$ laag is en bijna buiten het geverifieerde correlatiegebied valt waardoor de resultaten minder betrouwbaar zijn.

6.3.2 Vlamtemperatuur

Over vlamtemperaturen van plasbranden bestaan verschillende publicaties. Over een groot gebied van plasbrand afmetingen (0.1 – 50m diameter) zijn maximum uitgemiddelde temperaturen waargenomen van ongeveer 900 – 1100°C. Deze maximale temperatuur wordt bereikt op de middellijn van de brandhaard in het onderste 40% gedeelte van de vlamhoogte. [6]

De grafiek gepubliceerd door McCaffrey, Kung en Stavrianidis, geeft de temperatuurstijging ten opzichte van de omgevingstemperatuur op de centrale lijn van de vlam weer, in functie van de omvang van de brand uitgedrukt in functie van de HRR en de hoogte op de centrale as, z. De grafiek is opgesteld voor de vlammen door een 0.3m² poreuze methaan brander, en weergegeven in fig. 6.11.

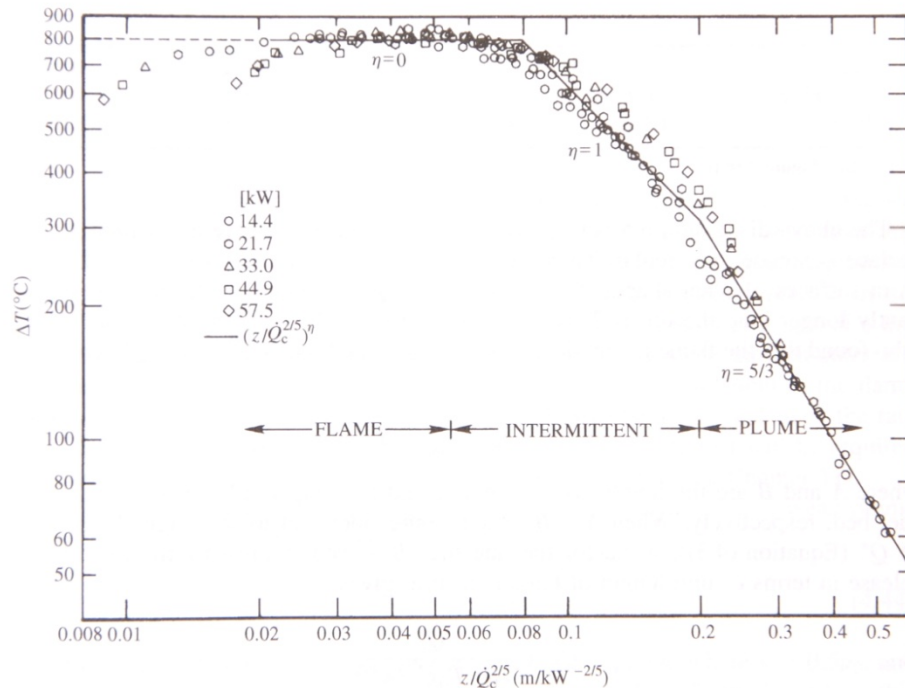


fig. 6.11 Variatie van de temperatuurstijging met de hoogte op de centrale as in een opstijgende diffuse methaan vlam. [4]

Een sensitiviteitsanalyse uitgevoerd op de grootte van de warmtevrijstelling of HRR toont aan dat met hogere HRR hogere vlamhoogtes bekomen worden maar dat de temperaturen ongeveer gelijk blijven.

De grafiek toont aan dat de temperatuur van de vlam ongeveer constant blijft over haar hoogte voor het gedeelte waar de vlam constant aanwezig is. In het gebied waar de vlam onderbroken is (intermittent) begint de temperatuur te dalen.

Er wordt soms aangenomen dat de temperatuur aan de rand van een vlammenfront 550°C bedraagt. (Bullen en Thomas, 1979) [4].

Volgens de nominale brandcurven wordt voor branden in openlucht volgende vergelijking toegepast om de temperatuur van de omgevingsgassen te bepalen (3.3).

$$\theta_g = 660 (1 - 0,687 e^{-0,32 t} - 0,313 e^{-3,8 t}) + 20 (^\circ\text{C}) \quad (6.16)$$

Waarbij

θ_g de gas temperatuur ($^\circ\text{C}$)
 t tijd (min)

De maximale vlamtemperatuur die hiermee bereikt wordt is 680°C. Volgens vergelijking (6.5) komt met deze temperatuur een uitgezonden stralingsintensiteit overeen van 46,8 kW/m². Dit stemt ongeveer overeen met de stralingsintensiteit van 45 kW/m² die volgens Bijlage 6 opgegeven wordt voor straling afkomstig van branden die brandstof gecontroleerd zijn.

Bepaalde materialen geven hogere vlamtemperaturen dan deze bekomen met de nominale

brandcurve voor externe branden. Zo is de KWS-curve opgesteld voor koolwaterstofbranden en deze leidt tot temperaturen van ca. 1100°C. Voor materialen waarvan bekend is dat ze kunnen leiden tot hogere temperaturen wordt voorgesteld om met een gemiddelde temperatuur van 850°C te werken, dit is ongeveer de temperatuur bereikt na één uur volgens de ISO 834 brandcurve.

Voor de verdere berekeningen wordt er gewerkt met vlamtemperaturen van 550°C, 680°C en 850°C.

6.4 Straling ontvangen op naburige gebouwen

De stralingsintensiteit ontvangen door een oppervlak kan bepaald worden door toepassen van standaard stralingsberekeningen, gebaseerd op configuratiefactoren, ontwikkeld door Hamilton en Morgan. De configuratiefactor is afhankelijk van het oppervlak en de geometrie van het stralend paneel (hier de vlammen), de afstand tot het te ontvangen oppervlak en de hoek tussen deze oppervlakken, zoals reeds aangegeven in § 3.2.3.

Indien de uitgezonden straling berekend wordt volgens de eerste en de tweede (volgens Lees) methode beschreven in voorgaande paragraaf, wordt het oppervlak van de vlammen vergeleken met een rechthoek.

De hoogte van de vlammen die boven het dak uitkomen is de hoogte van deze rechthoek. Hiertoe wordt de vlamlengte zoals bepaald met vergelijking (6.2) verminderd met het deel van de vlammen dat zich onder het daksniveau of achter de gevel bevindt. Er wordt aangenomen dat goederen gestapeld kunnen worden tot een hoogte van 1m onder het dak.

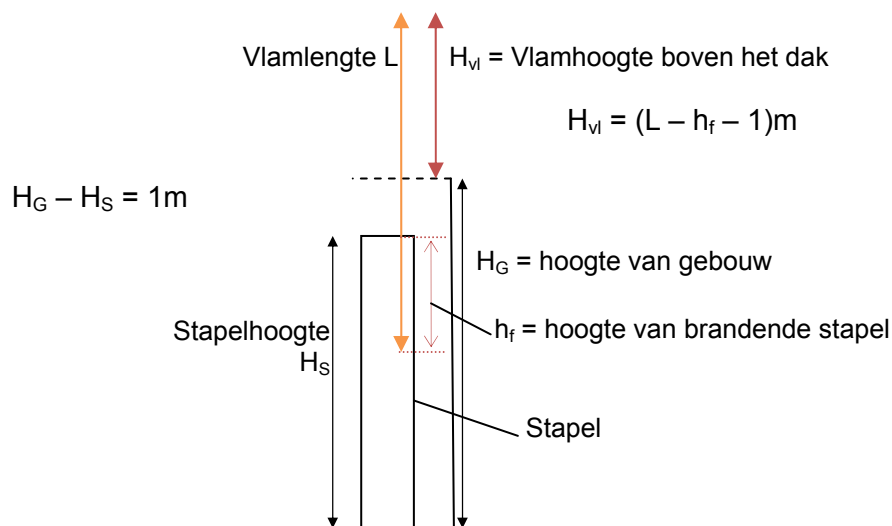


fig. 6.12 Schema bepaling vlamhoogtes boven het dak

De vlamlengte bepaald volgens vergelijking (6.2) is onder andere afhankelijk van de HRR. Vergelijking (6.4) geeft de HRR in functie van de hoogte van de stapeling betrokken in de brand. Indien de brand niet aan de voet van de stapeling start maar middenin de stapelhoogte, wordt enkel dit bovenste deel van de stapeling meegeteld om de HRR te bepalen. Van de bijhorende vlamlengte wordt de hoogte van het brandende deel van de stapel afgetrokken om de hoogte van de vlammen boven de stapel te kennen. Bij stapeling tot 1m onder het plafond dient deze afstand afgetrokken te worden om de vlamhoogte

boven het dak te verkrijgen.

Tabel 6.3 Vlamhoogte boven dak ifv brandende stapelhoogte

Brandende stapelhoogte (m)	HRR (kW/m ²)	Vlamhoogte boven het dak (m)
1	630	L* - 2
2	1250	L* - 3
3	2500	L* - 4
4	3750	L* - 5

L* bepaald volgens vergelijking (6.11) of volgens Hasemi & Nishihata

Voor de bepaling van de vlamlengtes in § 6.3.1 is uitgegaan van rechthoekige brandhaarden. In het slechtste geval zal de langste zijde van de brandhaard zich langs de gevel tegenover het ontvangend gebouw (B) bevinden. De breedte van de vlammen boven het dak wordt aan deze lengte gelijk gesteld.

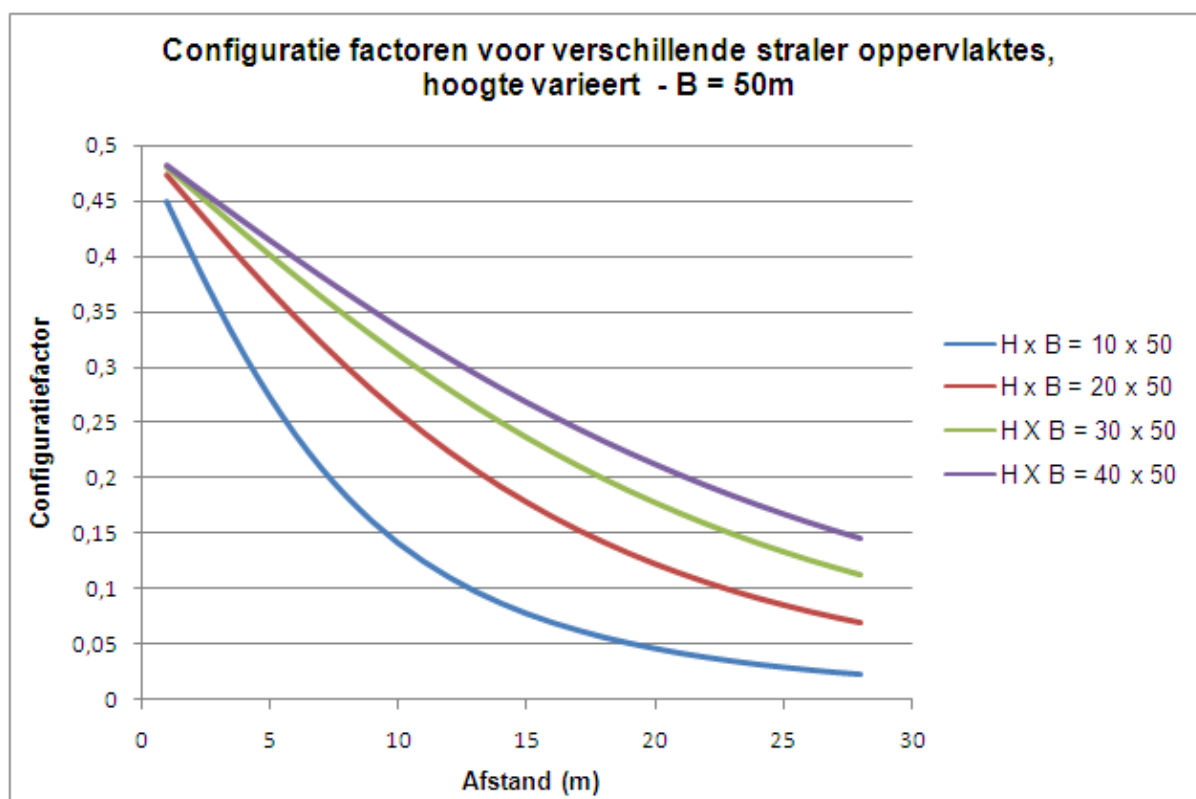


fig. 6.13 Configuratiefactoren in functie van afstand voor verschillende straler hoogtes op een vlak loodrecht op de straler, bepaald volgens vergelijking (3.14).

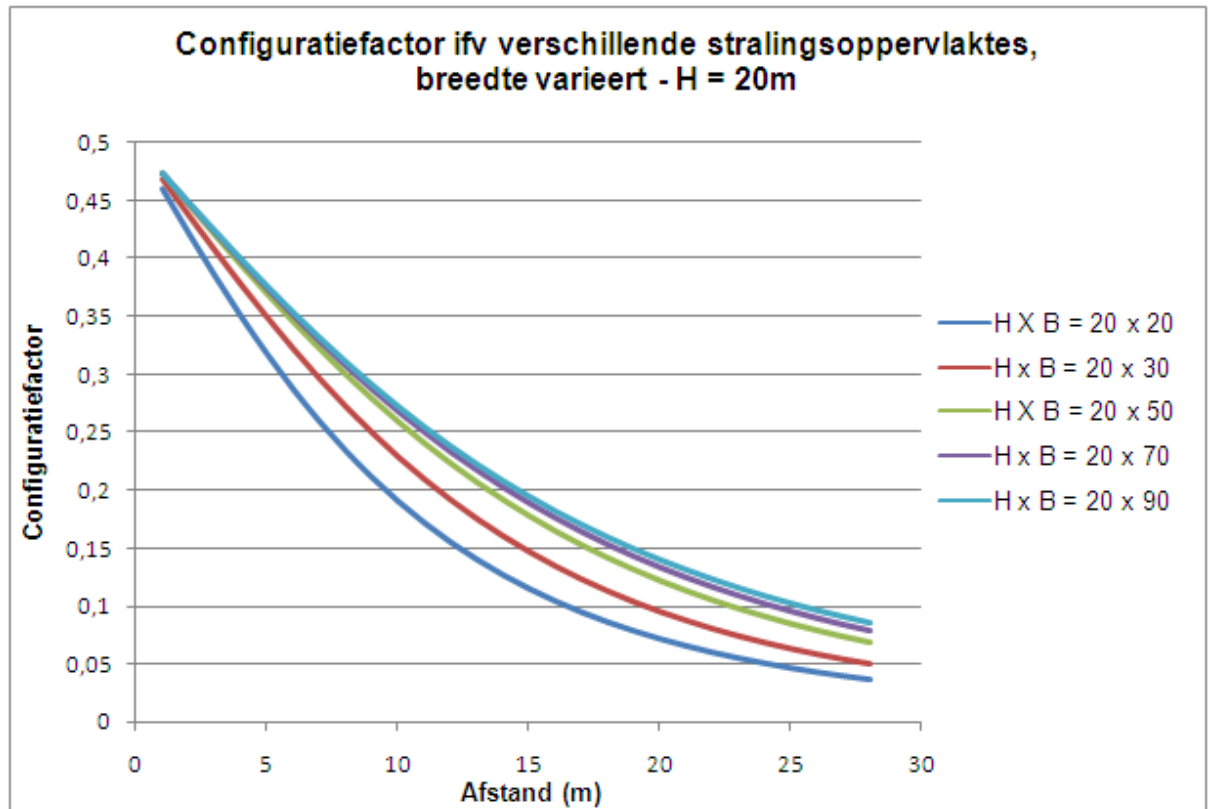


fig. 6.14 Configuratiefactoren in functie van afstand voor verschillende straler breedtes op een vlak loodrecht op de straler. (bepaald volgens vergelijking (3.14))

In fig. 6.13 en fig. 6.14 worden configuratiefactoren bepaald voor een punt op een vlak loodrecht op het stralend oppervlak, volgens vergelijking (3.14). Eenmaal een straler een bepaalde hoogte of breedte heeft, zal elke vermeerdering van hoogte of breedte praktisch geen effect meer hebben op de configuratiefactoren.

Wanneer een waarnemer opgesteld wordt voor een voldoende lange muur, waarbij de uiteinden niet meer zichtbaar zijn zal bij elke verlenging van de muur de waarnemer dit niet merken. Op dezelfde manier zal een ontvanger voor een voldoende grote straler geen extra straling ontvangen indien de straler nog groter wordt.

Volgens de methode van Shokri en Beyler wordt de vlam gemodelleerd als een cilinder met equivalente diameter D en met hoogte H , die gelijkgesteld wordt aan de gemiddelde vlamlengte zoals bepaald in vergelijking (6.2).

Straling afkomstig van vlammen boven het dak van gebouw A kan invallen op het dak van het naburig gebouw, op de gevel evenwijdig aan het naburig gebouw en op de gevel loodrecht op het naburig gebouw.

6.4.1 Straling ontvangen op het dak van naburige gebouwen

Indien het brandende gebouw hoger is dan het naastliggende gebouw is de afstand van het stralend oppervlak tot het dak van het naastliggende gebouw groter voor een zelfde tussenafstand dan voor gebouwen die even hoog zijn. Dit zal resulteren in een lagere stralingsintensiteit op het dak.

Er is verondersteld dat de tegenover elkaar staande gevels onbrandbare brandwerende muren zijn. Dit betekent dat voor de situatie waar het brandende gebouw lager is dan het naastliggende gebouw enkel het gedeelte van de vlammen die boven de dakrand van het naastliggende gebouw uitsteken zullen stralen op het dak van dat gebouw.

Indien enkel straling van vlammen boven het dak in rekening gebracht wordt, kan gesteld worden dat de situatie waarin de gebouwen even hoog zijn de meest kritische is.

Daarom worden voor de verdere uitwerking de gebouwen even hoog verondersteld.

Indien het oppervlak van de vlammen vergeleken wordt met een rechthoek wordt de stralingsintensiteit op het dak berekend over de middenlijn, zoals getoond in de fig. 6.15 hieronder.

De configuratiefactor is de som van 2 stralende elementen zoals aangegeven in § 3.2.3.2.

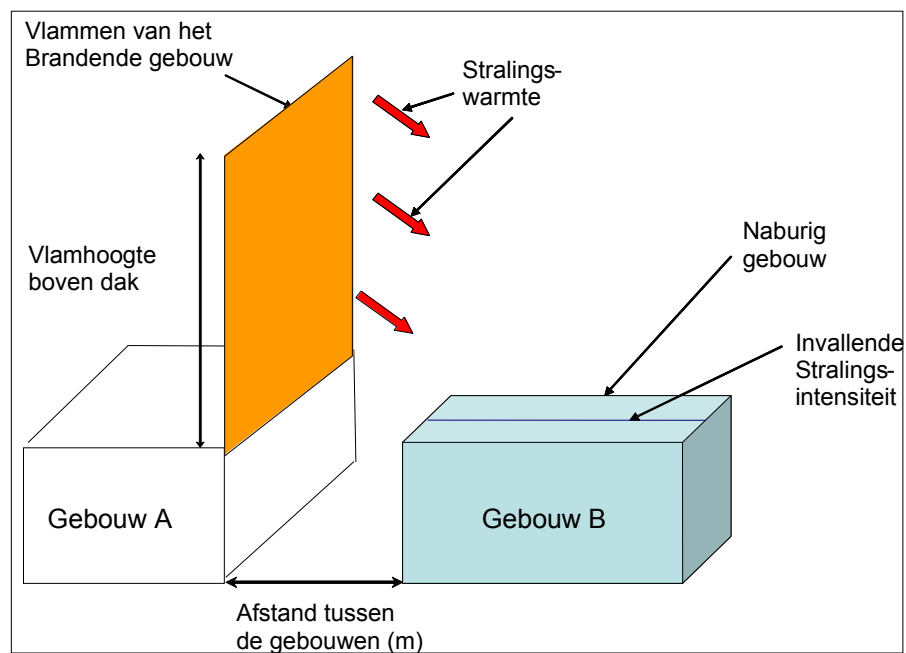


fig. 6.15 Stralingsgeometrie

In bepaalde gevallen kan de brandwerende buitengevel boven het dakoppervlak uitsteken. In dit geval dient rekening gehouden te worden met het schaduw effect van het opstaande muurtje op het naastliggende dak.

Zoals aangegeven in § 3.2.3.1 kunnen de configuratiefactoren van verschillende kleinere stralende oppervlakken opgeteld worden om zo een totale configuratiefactor voor het totale stralende oppervlak te bekomen. Het principe is hieronder toegelicht voor het geval er een opstaand muurtje aanwezig is op het gebouw B. (fig. 6.16)

De configuratiefactor die met het bovenste gedeelte van de vlam (ϕ_b) overeenstemt kan niet rechtstreeks berekend worden. Deze kan bekomen worden door de configuratiefactor van het onderste gedeelte van de vlam (ϕ_o) af te trekken van de configuratiefactor van de totale vlam (ϕ_t).

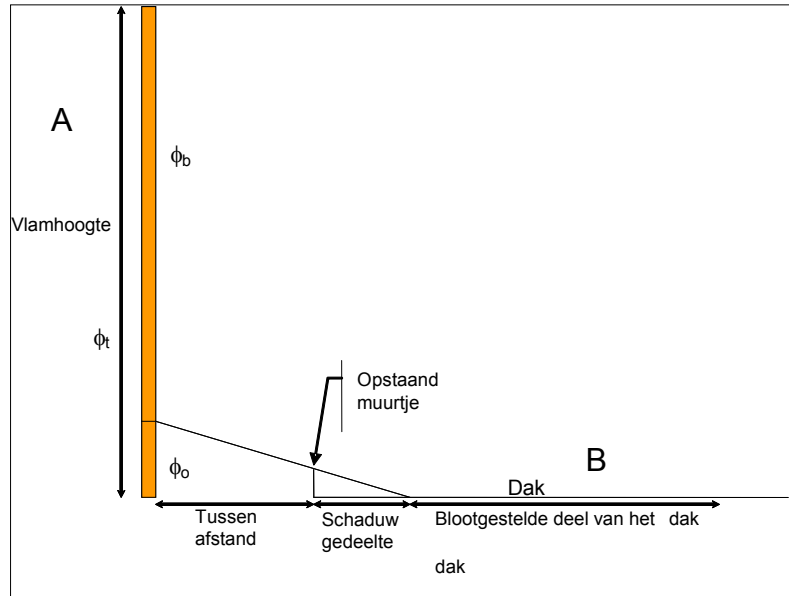


fig. 6.16 Opdeling van de vlam om het opstaande muurtje in rekening te brengen.

Een werkblad is opgesteld om de relatieve hoogte van bovenste en onderste gedeelte van de vlam voor een gegeven punt op het dak te bepalen. Het werkblad berekent dan de bijhorende configuratiefactoren voor het onderste en bovenste gedeelte van de vlam om zo de ontvangen straling in dat punt te bepalen.

Volgens de methode van Shokri en Beyler waar de vlammen voorgesteld worden als een cilinder wordt de configuratiefactor, F_{12} naar een horizontaal oppervlak toe gegeven door :

$$F_{12,H} = \frac{(B-1/S)}{\pi\sqrt{B^2-1}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(B+1)(S-1)}{(B-1)(S+1)}} - \frac{(A-1/S)}{\pi\sqrt{A^2-1}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(A+1)(S-1)}{(A-1)(S+1)}} \quad (6.17)$$

$$F_{12,V} = \frac{1}{\pi S} \tan^{-1} \left(\frac{h}{\sqrt{S^2-1}} \right) - \frac{h}{\pi S} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(S-1)}{(S+1)}} + \frac{Ah}{\pi S \sqrt{A^2-1}} \tan^{-1} \sqrt{\frac{(A+1)(S-1)}{(A-1)(S+1)}} \quad (6.18)$$

met

$$A = \frac{h^2 + S^2 + 1}{2S}, B = \frac{1 + S^2}{2S} \quad (6.19)$$

$$S = \frac{2L}{D}, h = \frac{2H}{D} \quad (6.20)$$

Waarbij :

- L Afstand tussen centrum van de cilinder en het doelobject (m)
- H Hoogte van de cilinder (m)
- D Diameter van de cilinder (m)

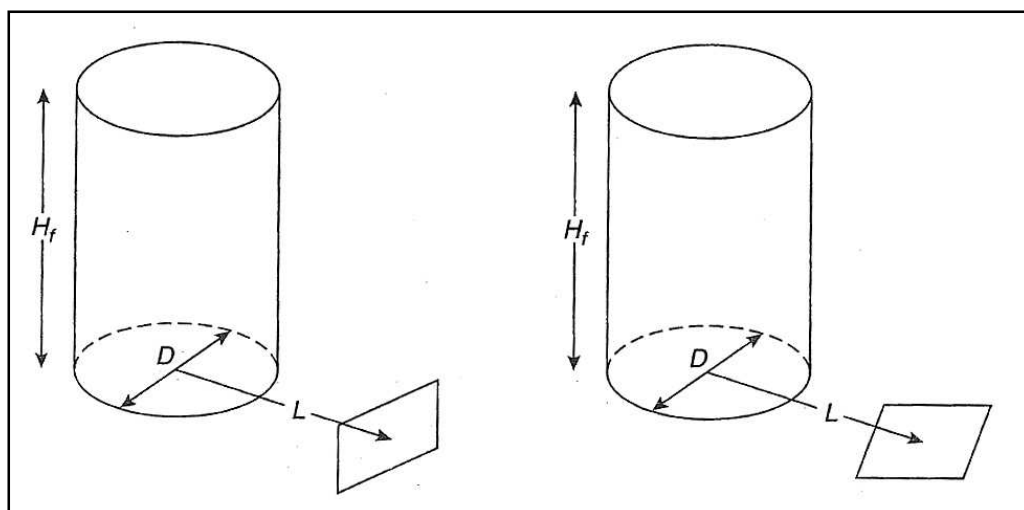


fig. 6.17 Configuratiefactoren voor een cilindrische vlam naar een verticaal en een horizontaal oppervlak.

De maximale configuratiefactor op een bepaald punt wordt gegeven door de vectorsom te maken van de horizontale en verticale configuratiefactoren :

$$F_{12,\max} = \sqrt{F_{12,H}^2 + F_{12,V}^2} \quad (6.21)$$

6.4.2 Straling ontvangen op de gevel evenwijdig met het brandende gebouw

De straling afkomstig van de vlammen boven het dak wordt berekend met de configuratiefactor volgens vergelijking (3.11).

De configuratiefactor van het gedeelte van de vlammen wordt bepaald door van de configuratiefactor over de totale hoogte (gevel + vlammen) de configuratiefactor van de gevel af te trekken. $\phi_b = \phi_t - \phi_o$

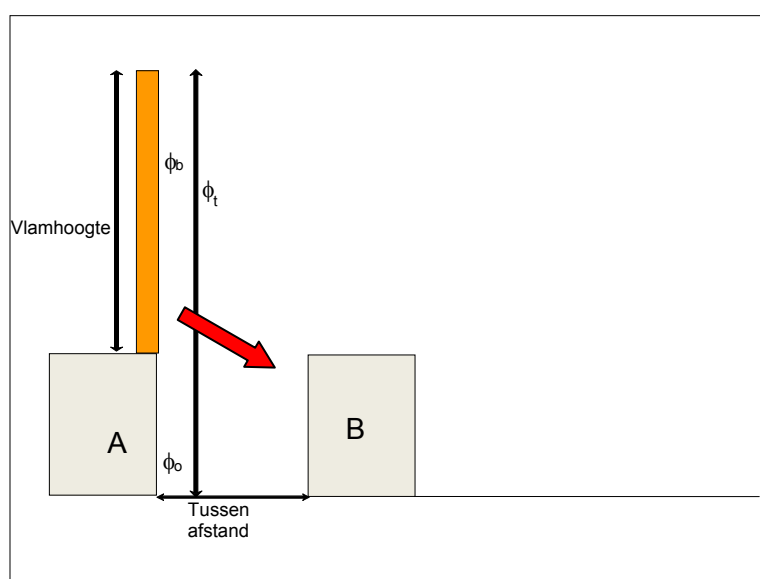


fig. 6.18 Straling van vlammen boven dak op de tegenover liggende gevel.

6.4.3 Straling ontvangen op de gevel loodrecht op de zijde van het brandende gebouw

Wanneer twee gebouwen tegenover elkaar staan zullen de tegenover elkaar liggende facades een bepaalde brandweerstand hebben. Indien de situatie zich voordoet waarin één van de gebouwen minder breed is dan het tegenoverliggende gebouw, kan het gebeuren dat de gevel die loodrecht ten opzichte van een naastliggende gebouw blootgesteld wordt aan stralingswarmte, (fig. 6.19). Voor deze gevel zijn er eventueel geen vereisten voor de brandweerstand. De invallende stralingsintensiteit kan met dezelfde configuratiefactor als vermeld in fig. 3.8. berekend worden, mits in acht nemen van de juiste configuraties. Het gaat hier eveneens om de straling van een vlak op een punt gelegen op een vlak dat loodrecht staat op het stralende vlak.

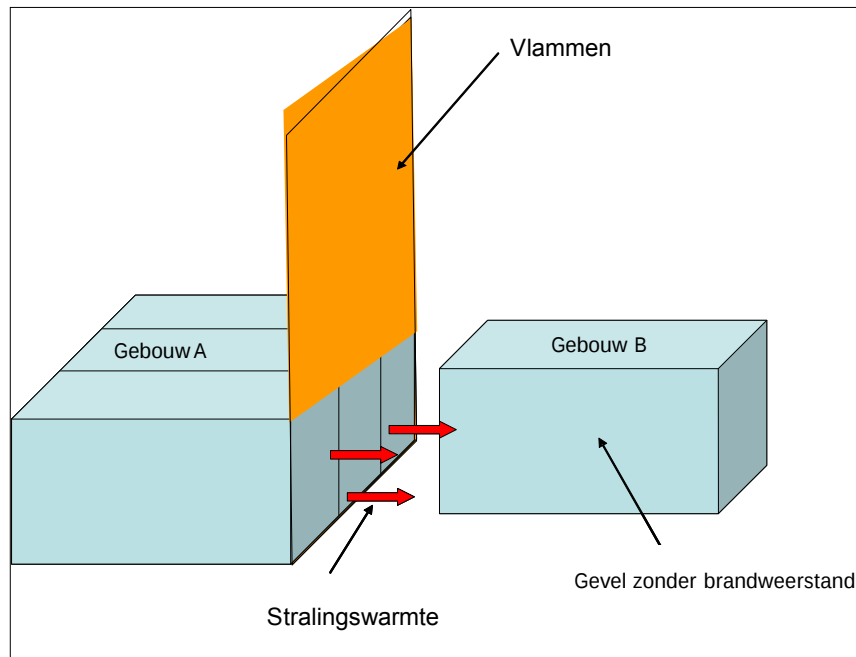


fig. 6.19 Configuratie waarbij straling invalt op een gevel loodrecht op het brandend gebouw

De methode van Mudan schat de straling voor plasbranden met wind of in windvrije condities. In de formules ter bepaling van de vlamhoogtes en hoek waarover de vlam afbuigt worden verschillende parameters, zoals de verbrandingssnelheid en de dichtheid van de brandstof damp boven de brandhaard, gekend verondersteld. Een algemene regel die vaak gebruikt wordt is dat bij een windsnelheid van 2 m/s de vlam over een hoek van 45° zal afbuigen. [4]

Beweging van lucht zal de luchtinmenging in de vlam verbeteren waardoor een snellere verbranding in de vlam en hiermee een kortere vlamlengte het resultaat is.

Gezien te veel onbekenden in de berekeningen voor branden in opslagplaatsen wordt verder gerekend in de veronderstelling dat er geen wind invloeden zijn.

6.5 Ontstekingsgedrag van de blootgestelde materialen

Indien het ontstekingsgedrag van de blootgestelde materialen bekend is, kan bepaald worden tot welke afstand (met bijhorende invallende stralingsintensiteit) bescherming noodzakelijk is. De kritische ontstekingsflux van een materiaal wordt gedefiniëerd als die invallende stralingsflux waaronder een materiaal niet meer ontsteekt. Het wel of niet aanwezig zijn van een externe ontstekingsbron (piloted ignition) en het type ontstekingsbron zullen de intensiteit van de kritische ontstekingsflux bepalen. Om tot spontane ontsteking, dit betekent zonder ontstekingsbron, te komen zijn veel hogere stralingsintensiteiten noodzakelijk. Voor deze studie wordt aangenomen dat een externe ontstekingsbron, bv. vliegvuur aanwezig kan zijn. Er kan gebruik gemaakt worden van de kritische ontstekingsfluxen van materialen bepaald met “piloted ignition”.

Voor dakdichtingsmembranen op basis van roofing worden in het Ignition Handbook kritische ontstekingsfluxen van $12,5 \text{ kW/m}^2$ vermeld. [14]

Volgens Bijlage 6 dienen de dakafdichtingsmaterialen te voldoen aan de klasse Broof t1. Bij deze proef wordt een korf met houtkrullen als ontstekingsbron op het proefstuk aangebracht. De hierdoor veroorzaakte stralingsintensiteit op het proefstuk is kortstondig en zal vanaf een maximale waarde sterk afnemen in de tijd.

De proefmethode volgens “ENV 1187 test 3” waarbij een externe stralingsbron zorgt voor een continue stralingsintensiteit van $12,5 \text{ kW/m}^2$ op het proefstuk samen met de aanwezigheid van wind en brandende houtcribben kan een betere simulatie van de werkelijkheid weergeven.

Momenteel is er voor dakopbouwen een ISO standaard in de maak die gelijkaardig is aan de proefmethode “ENV 1187 test 3” maar waarbij de straling op het proefstuk op verschillende niveaus ingesteld kan worden.

Indien een dakbedekking niet ontsteekt, kan het isolerend vermogen van het dak nog een belangrijke factor zijn. Bij hevige branden waar langdurig straling op het dak invalt, kan een goede isolerende functie die ervoor zorgt dat de temperatuurstijging aan de onderkant van het dak beperkt blijft, in bepaalde gevallen noodzakelijk zijn. Dit fenomeen is in deze studie niet behandeld.

6.6 Sensitiviteitsanalyses

6.6.1 Invloed van de vlamtemperatuur op de benodigde tussenafstand volgens methode 1

Als meest negatieve scenario bij een HRR van 630 kW/m^2 wordt verondersteld dat een stapeling met hoogte van 1m brandt ter hoogte van 2m onder het dak (fig. 6.12). De vlamlengtes worden bepaald volgens de formule van Heskestad, vergelijking (6.11) en volgens de correlatie van Hasemi en Nishihata. Om het gedeelte van de vlammen boven het dak te bepalen wordt 2m van deze vlamlengtes afgetrokken. In onderstaande grafieken worden de stralingsintensiteiten in functie van de afstand tot de vlammen weergegeven. De resultaten voor vlamtemperaturen van 550°C , 680°C en 850°C worden met elkaar vergeleken. De oefening wordt herhaald voor brandhaard diameters van 20, 30 en 40m. De benodigde tussenafstanden worden bepaald voor kritische ontstekingsfluxen van 15 kW/m^2 zoals vereist volgens Bijlage 6 en voor $12,5 \text{ kW/m}^2$ de grenswaarde die in verschillende bouwvoorschriften toegepast wordt (oa. Verenigd Koninkrijk) en die oa. als kritische ontstekingsflux voor roofing materialen is opgegeven.

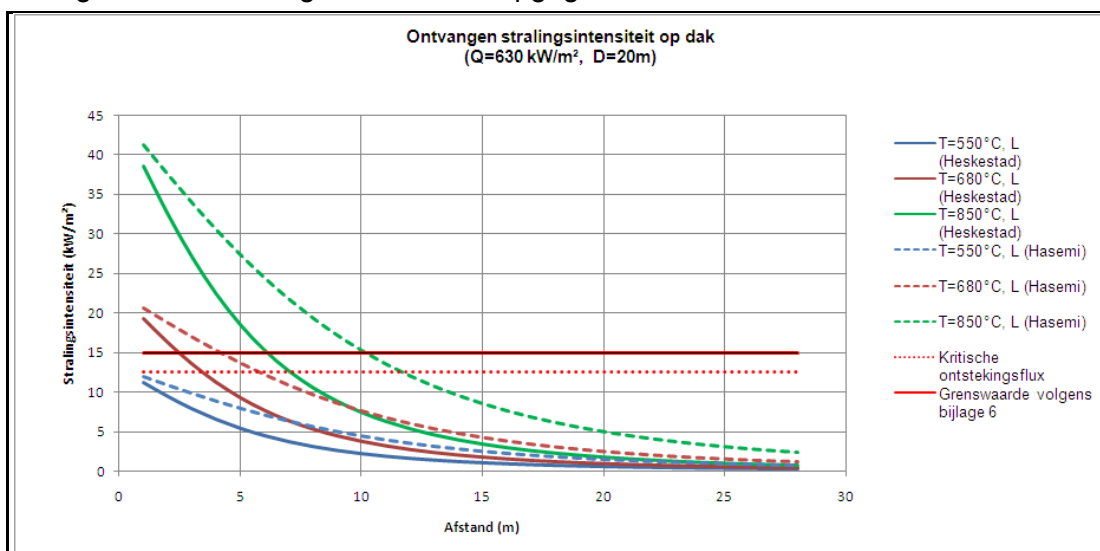


fig. 6.20 I op dak, $Q=630 \text{ kW/m}^2$, $D=20\text{m}$, $H_{\text{vl}}(\text{Heskestad})=8\text{m}$, $H_{\text{vl}}(\text{H\&N})=13\text{m}$

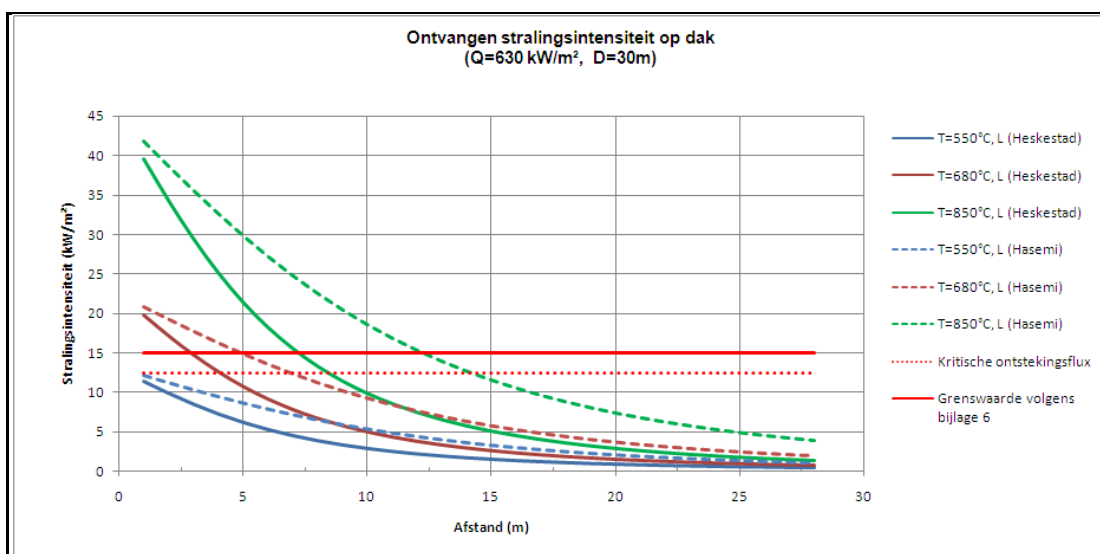


fig. 6.21 I op dak, $Q=630 \text{ kW/m}^2$, $D=30\text{m}$, $H_{\text{vl}}(\text{Heskestad})=9\text{m}$, $H_{\text{vl}}(\text{H\&N})=14,5\text{m}$

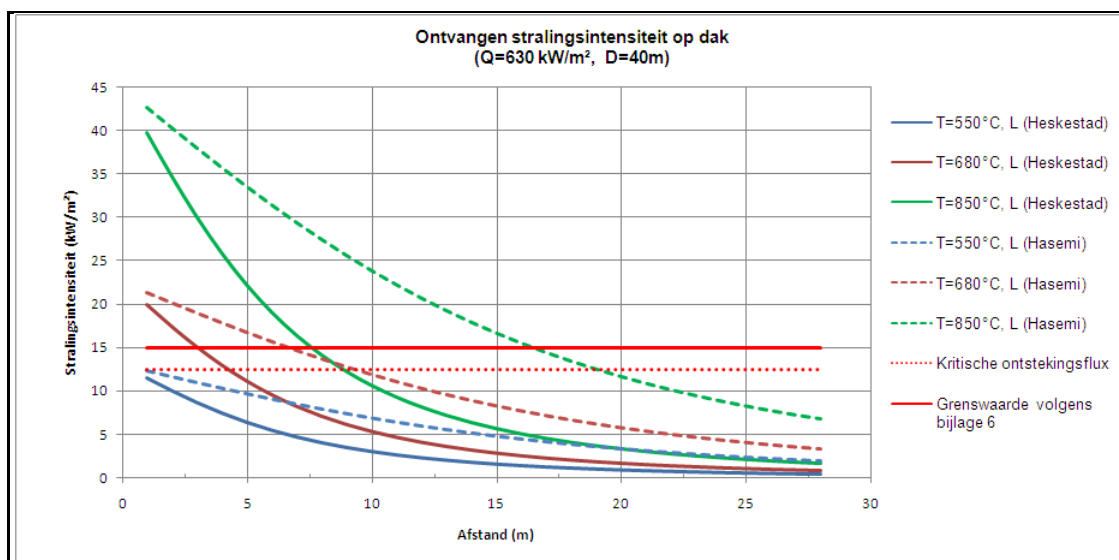


fig. 6.22 I op dak, $Q=630 \text{ kW/m}^2$, $D=40\text{m}$, $H_{\text{vfl}}(\text{Heskestad})=10\text{m}$, $H_{\text{vfl}}(\text{H\&N})=20\text{m}$

Voor vlamtemperaturen van 550°C is de ontvangen stralingsintensiteit op een afstand $> 1\text{m}$ voor alle gevallen altijd lager dan de kritische ontstekingsfluxen van $12,5 \text{ kW/m}^2$ en 15 kW/m^2 .

Onderstaande tabel geeft aan dat de benodigde tussenafstand sterk afhankelijk is van de berekende vlamhoogte en van de vlamtemperatuur. Bij een HRR van 680°C werden de grootste vlamlengte verschillen tussen de formules van Heskestad en de correlatie van Hasemi & Nishihata vastgesteld.

Tabel 6.4 Tussenafstanden voor een HRR van 630 kW/m^2

HRR = 630 kW/m^2				
Vlamtemperatuur 680°C				
I_{krit}	15 kW/m^2 Benodigde afstand (m)		$12,5 \text{ kW/m}^2$ Benodigde afstand (m)	
D (m)	Heskestad	Hasemi	Heskestad	Hasemi
20	2,5	4,0	3,0	6,0
30	2,9	5,0	4,1	7,0
40	3,0	6,5	4,1	9,3
Vlamtemperatuur 850°C				
I_{krit}	15 kW/m^2 Benodigde afstand (m)		$12,5 \text{ kW/m}^2$ Benodigde afstand (m)	
D (m)	Heskestad	Hasemi	Heskestad	Hasemi
20	6,2	10,1	7,1	12,2
30	7,3	12,2	8,5	14,2
40	7,6	16,3	8,9	19

De tussenafstanden bij vlamtemperaturen van 850°C zijn zowel bij 15 kW/m^2 als bij $12,5 \text{ kW/m}^2$ meer dan het dubbel van de afstanden bepaald bij vlamtemperaturen van 680°C . De hogere vlamlengtes bepaald volgens de correlatie van Hasemi & Nishihata leiden tot

tussenafstanden die tot meer dan 50% bedragen van deze bepaald volgens de formule van Heskestad.

Bij een **HRR van 1250 kW/m^2** wordt verondersteld dat een stapel goederen met hoogte 2m brandt op een hoogte van 3m onder het dak (fig. 6.12). Om het gedeelte van de vlammen boven het dak te bepalen, wordt 3 m van de bepaalde vlamlengtes afgetrokken.

Op analoge manier als bij een HRR van 630 kW/m^2 worden volgende grafieken en resultaten bekomen.

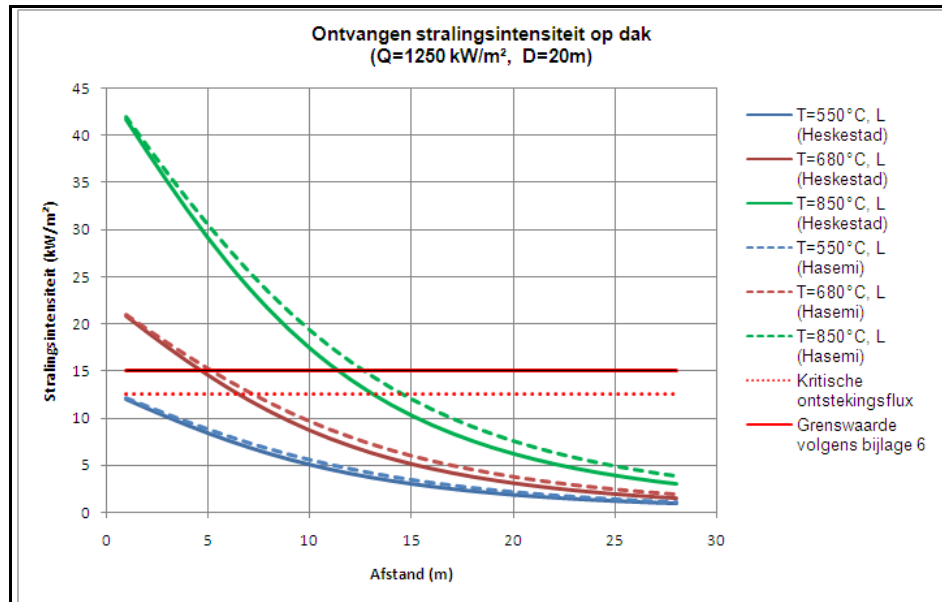


fig. 6.23 I op dak, $Q=1250 \text{ kW/m}^2$, $D=20\text{m}$, $H_{vl}(\text{Heskestad})=16\text{m}$, $H_{vl}(\text{H\&N})=18\text{m}$

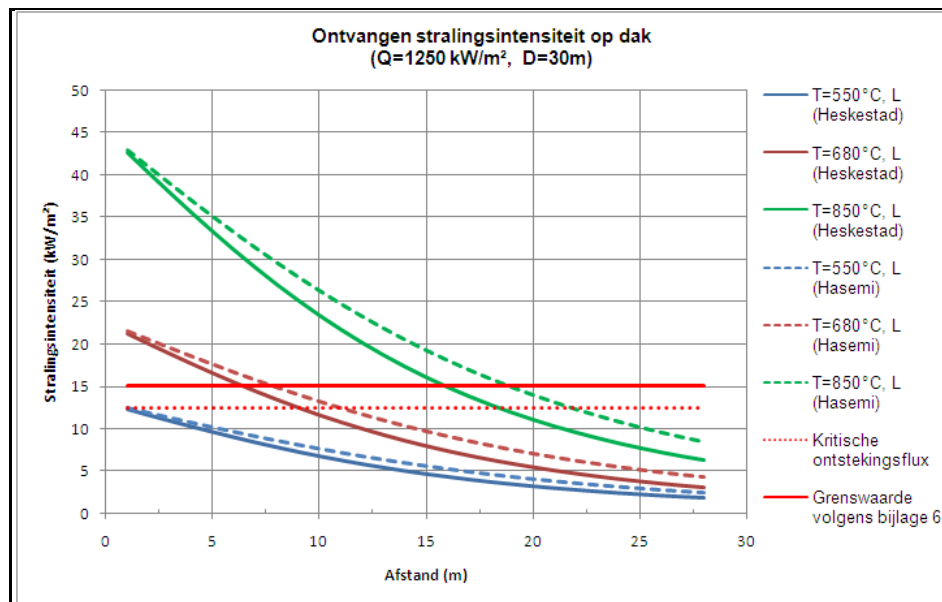


fig. 6.24 I op dak, $Q=1250 \text{ kW/m}^2$, $D=30\text{m}$, $H_{vl}(\text{Heskestad})=21\text{m}$, $H_{vl}(\text{H\&N})=26\text{m}$

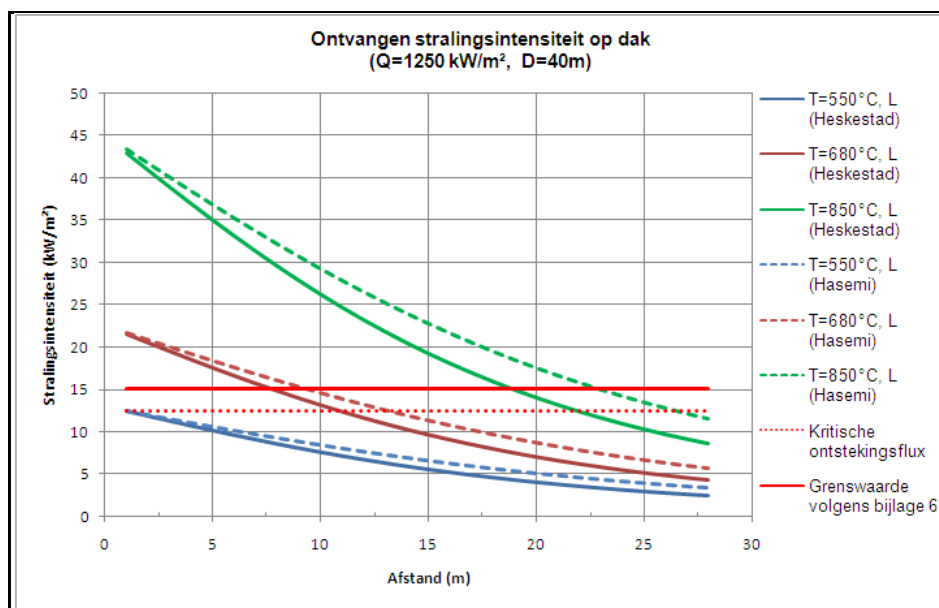


fig. 6.25 I op dak, $Q=1250 \text{ kW/m}^2$, $D=40\text{m}$, $H_{vl}(\text{Heskestad})=25\text{m}$, $H_{vl}(\text{H\&N})=31\text{m}$

Ook bij een HRR van 1250 kW/m^2 is bij een vlamtemperatuur van 550°C de ontvangen stralingsintensiteit altijd lager dan de kritische ontstekingsfluxen van $12,5 \text{ kW/m}^2$ en 15 kW/m^2 .

De tussenafstanden bij vlamtemperaturen van 850°C zijn meer dan het dubbel van de afstanden bepaald voor vlamtemperaturen van 680°C .

HRR = 1250 kW/m^2				
Vlamtemperatuur 680°C				
I_{krit} D (m)	15 kW/m^2 Benodigde afstand (m)		12,5 kW/m^2 Benodigde afstand (m)	
	L (m) (Heskestad)	L (m) (Hasemi)	L (m) (Heskestad)	L (m) (Hasemi)
20	5,0	5,1	7,0	7,2
30	7,0	8,0	10,0	11,0
40	8,0	9,2	11,0	13,5
Vlamtemperatuur 850°C				
I_{krit} D (m)	15 kW/m^2 Benodigde afstand (m)		12,5 kW/m^2 Benodigde afstand (m)	
	L (m) (Heskestad)	L (m) (Hasemi)	L (m) (Heskestad)	L (m) (Hasemi)
20	11,5	13,0	13,5	14,5
30	17,0	19,0	19,0	22,0
40	20,0	23,0	23,0	26,5

Tabel 6.5 Tussenafstanden voor een HRR van 1250 kW/m^2

Hieronder zijn de grafieken voor HRR van 2500 kW/m² en 3750 kW/m² weergegeven.

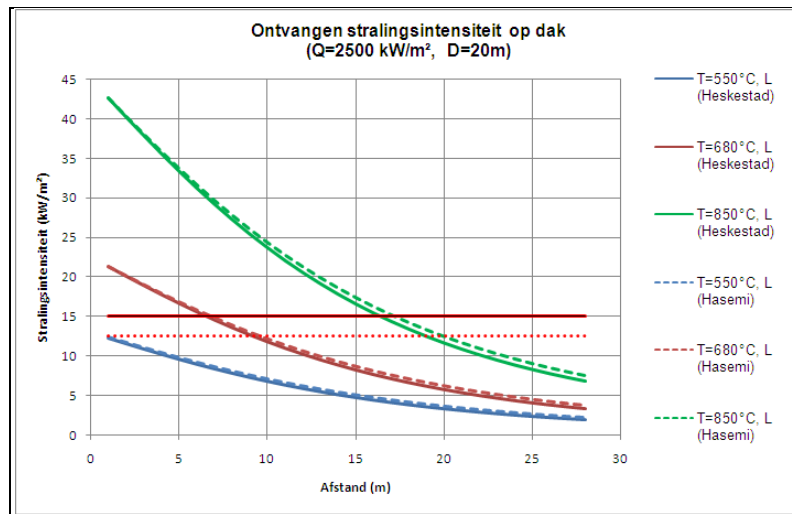


fig. 6.26 I op dak, Q=2500 kW/m², D=20m, H_{vl}(Heskestad)=28m, H_{vl}(H&N)=31m

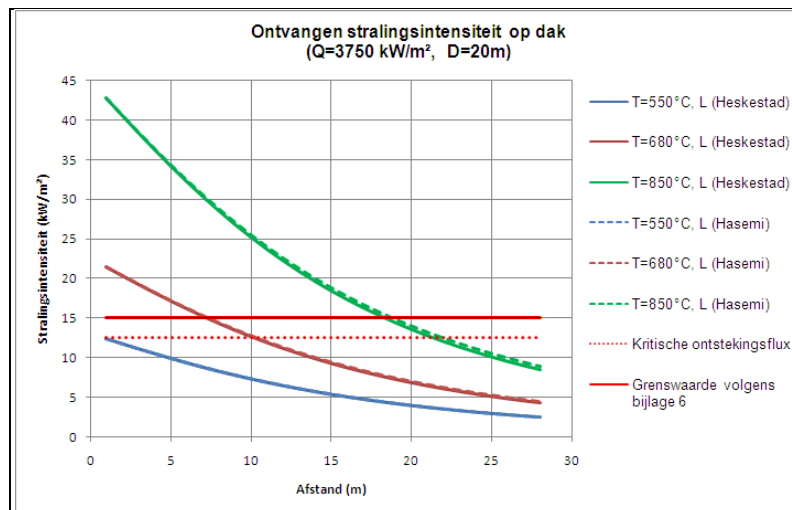


fig. 6.27 I op dak, Q=3750 kW/m², D=20m, H_{vl}(Heskestad)=136m, H_{vl}(H&N)=38m

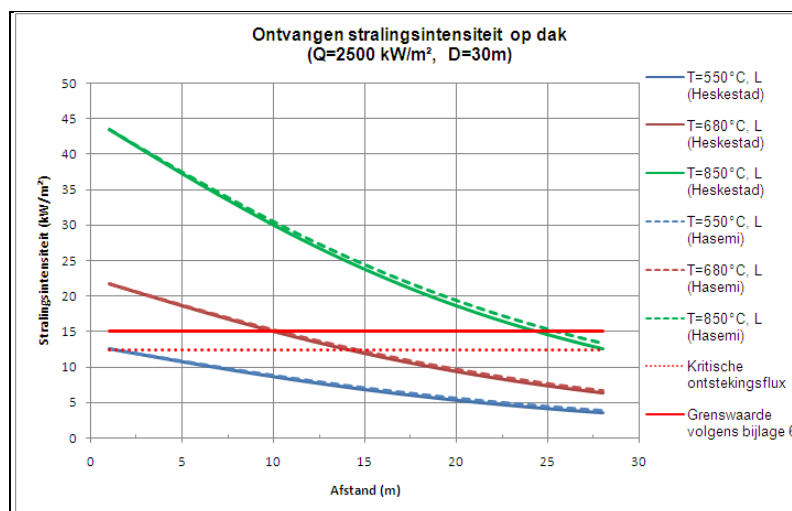


fig. 6.28 I op dak, Q=2500 kW/m², D=30m, H_{vl}(Heskestad)=38m, H_{vl}(H&N)=41m

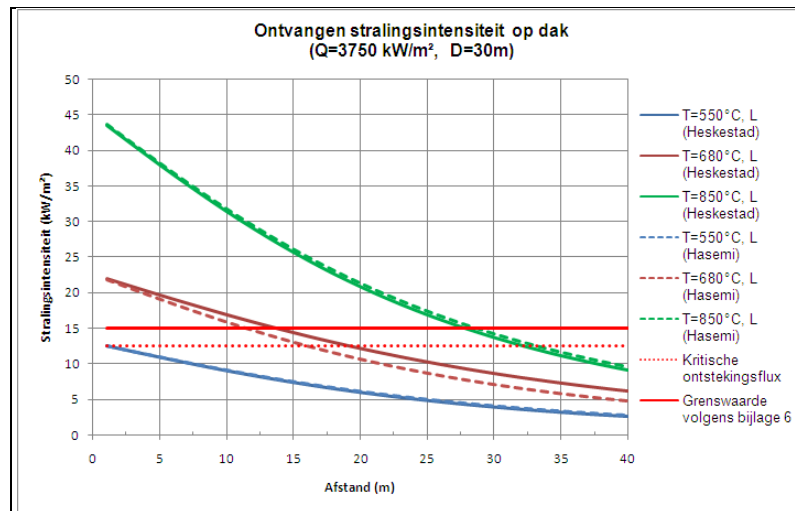


fig. 6.29 I op dak, $Q=2500 \text{ kW/m}^2$, $D=30\text{m}$, $H_{vl}(\text{Heskestad})=49\text{m}$, $H_{vl}(\text{H\&N})=52\text{m}$

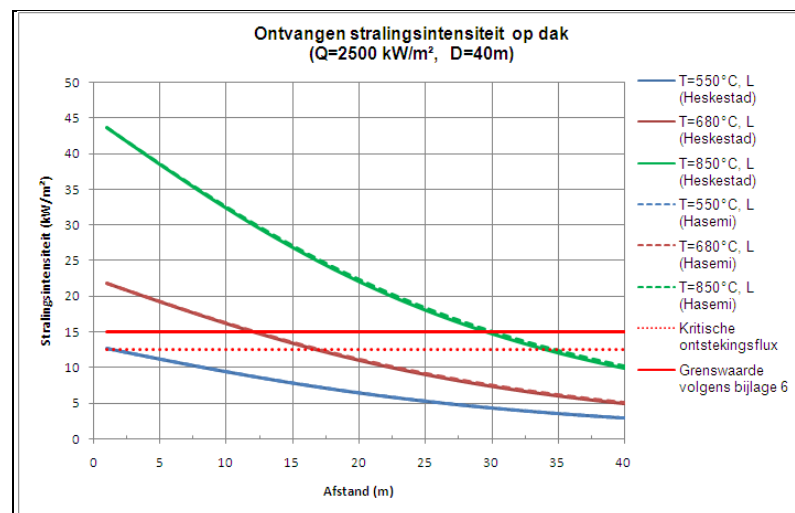


fig. 6.30 I op dak, $Q=2500 \text{ kW/m}^2$, $D=40\text{m}$, $H_{vl}(\text{Heskestad})=46\text{m}$, $H_{vl}(\text{H\&N})=48\text{m}$

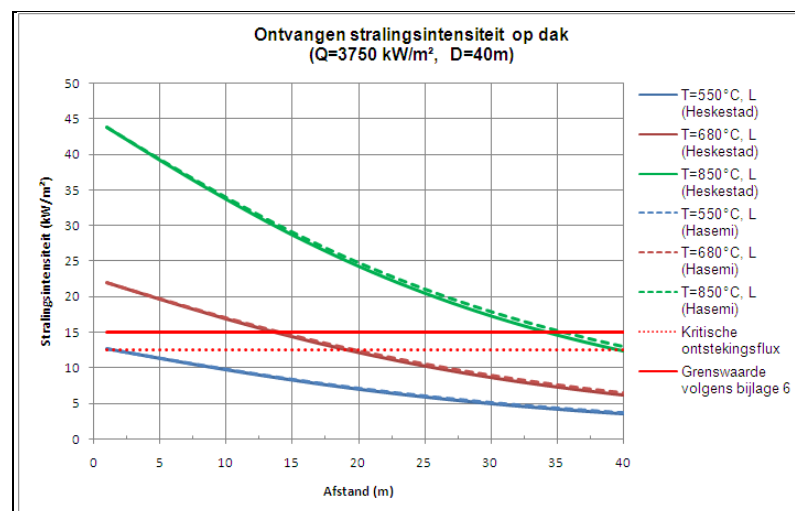


fig. 6.31 I op dak, $Q=3750 \text{ kW/m}^2$, $D=40\text{m}$, $H_{vl}(\text{Heskestad})=61\text{m}$, $H_{vl}(\text{H\&N})=67\text{m}$

De benodigde afstanden vermeld in onderstaande tabel zijn deze bepaald met de vlamlengtes bepaald volgens de correlatie van Hasemi & Nishihata voor rechthoekige branders.

Tabel 6.6 Tussenafstanden voor HRR van 2500 kW/m² en 3750 kW/m².

Vlamtemperatuur 680°C				
I _{krit} D (m)	15 kW/m ² Benodigde afstand (m)		12,5 kW/m ² Benodigde afstand (m)	
	2500 kW/m ²	3750 kW/m ²	2500 kW/m ²	3750 kW/m ²
20	7,0	7,5	10,0	10,5
30	10,5	11,5	14,5	16,5
40	12,5	14,5	17,5	20,0
Vlamtemperatuur 850°C				
I _{krit} D (m)	15 kW/m ² Benodigde afstand (m)		12,5 kW/m ² Benodigde afstand (m)	
	2500 kW/m ²	3750 kW/m ²	2500 kW/m ²	3750 kW/m ²
20	17,5	19,0	20,0	22,0
30	26,0	29,0	30,0	33,5
40	31,0	36,0	35,0	42,0

Er is verondersteld dat voor de meeste branden van opslagplaatsen met standaard materialen de vlamtemperatuur 680°C zal bedragen. Hiermee stemt een uitgezonden straling van ca. 45 kW/m² overeen. Een vlamtemperatuur van 850°C waarmee een uitgezonden stralingsintensiteit van 90 kW/m² overeenstemt, wordt aangenomen voor branden waarbij veel kunststofmaterialen betrokken zijn.

Voor de verdere berekeningen met de eerste methode worden de vlamhoogtes bepaald volgens de correlatie van Hasemi & Nishihata. Hiermee worden rechthoekige brandhaarden benaderd en worden hogere vlamlengtes verkregen. Er wordt verondersteld dat deze aanpak een meer realistische en toch conservatieve benadering is.

6.6.2 Invloed van de HRR op de benodigde tussenafstand volgens methode 1

De invloed van de HRR op de benodigde tussenafstanden bij een vlamtemperatuur van 680°C wordt nagegaan voor verschillende diameters/ oppervlaktes van de brandhaard, en wordt gegeven in onderstaande grafieken.

De verhoging van de benodigde tussenafstanden in functie van de HRR is meest uitgesproken voor HRR van 630 kW/m² tot 2500 kW/m².

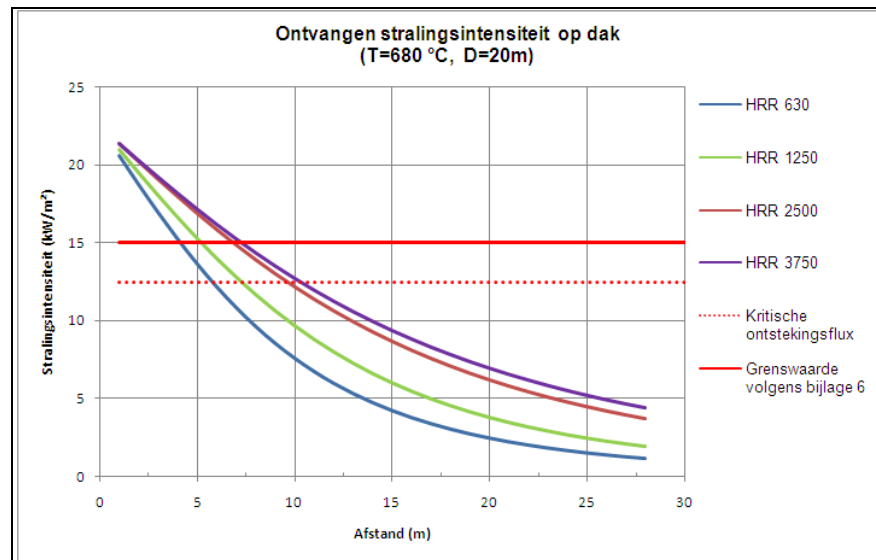


fig. 6.32

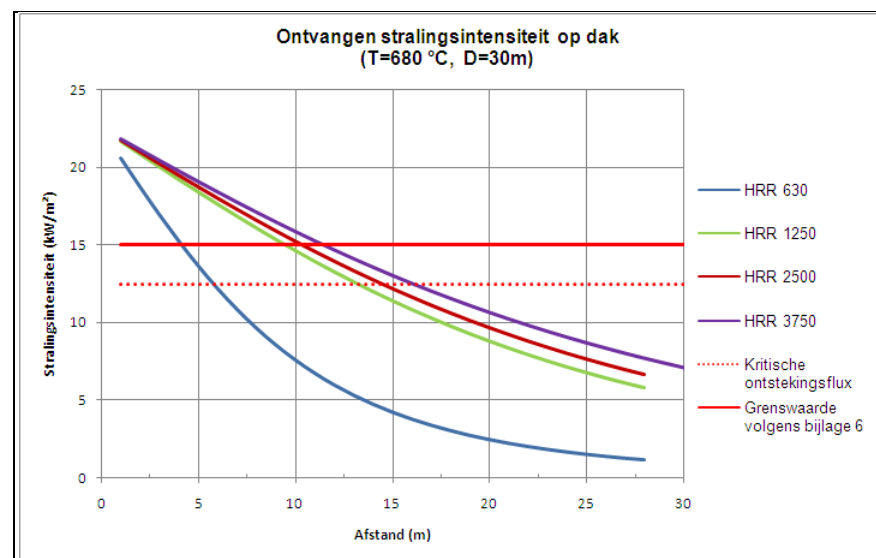


fig. 6.33

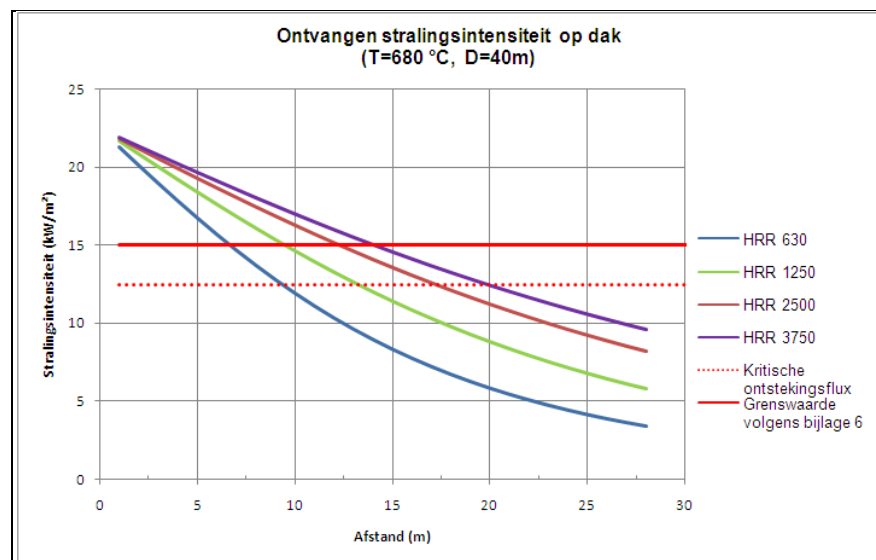


fig. 6.34

Er valt in fig. 6.32, fig. 6.33 en fig. 6.34 op dat de invallende stralingsintensiteit bij een HRR van 630 kW/m² weinig toeneemt met toenemende oppervlakte/diameter van de brandhaard. Dit is toe te schrijven aan de minimale toename in vlamlengte bij toenemende diameter, berekend voor HRR van 630 kW/m², zie Tabel 6.2. Dit is niet het geval bij HRR van 1250 kW/m² tot 3750 kW/m² waar bij toenemende diameter van de brandhaard de vlamlengte sterk toeneemt.

De zeer hoge HRR van 2500 kW/m² en 3750 kW/m² zullen eerder uitzonderlijk zijn. Indien gekend is dat de opgeslagen producten dergelijke HRR waarden afgeven dient hier wel degelijk rekening meegehouden te worden voor de berekening van de tussenafstanden.

Voor gewone berekeningen wordt voorgesteld om te werken met de ontwerp HRR waarden van 630 kW/m² en 1250 kW/m² zoals opgegeven door CR 12101-5 "Smoke and heat control systems – Part 5: Guidelines on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat exhaust ventilation systems." [13]

6.6.3 Invloed van de vlamlengte op de uitgezonden stralingsintensiteit volgens methode van Lees

Voor het bepalen van de uitgezonden stralingsintensiteiten volgens de methode van Lees is de berekening gemaakt met vlamlengtes bepaald volgens de vergelijking van Heskestad en volgens de correlatie van Hasemi & Nishihata voor rechthoekige brandhaarden.

In beide gevallen is als breedte van de stralende rechthoek, de rechthoeklengte zoals weergegeven in Tabel 6.1 aangenomen. De vergelijking (6.8) die rekening houdt met stralingsverliezen naar de zijanten is toegepast.

In de onderstaande tabel worden voor verschillende HRR waarden de uitgezonden stralingsintensiteiten vermeld.

D (m)	Uitgezonden stralingsintensiteiten (kW/m ²)							
	HRR = 630 kW/m ²		HRR=1250 kW/m ²		HRR=2500 kW/m ²		HRR=3750 kW/m ²	
	Heskestad	H &N	Heskestad	H &N	Heskestad	H &N	Heskestad	H &N
20	76	49	76	70	92	84	107	103
30	92	62	84	72	97	91	112	107
40	126	67	104	87	117	113	133	123

De bekomen waarden zijn eveneens voorgesteld in fig. 6.35.

Bij een HRR van 630 kW/m² wordt een sterke stijging van de stralingsintensiteit vastgesteld indien de vlamlengtes bepaald zijn volgens de formule van Heskestad. Dit is niet het geval indien de vlamlengtes bepaald zijn met de correlatie van Hasemi & Nishihata die veel hogere vlamlengtes geeft waardoor een groter stralend oppervlak verkregen wordt en daarmee een lagere stralingsintensiteit per oppervlakte eenheid.

De beperkte stijging van de vlamlengte (fig. 6.9) bepaald volgens Heskestad voor een HRR van 630 kW/m² met maximum bij een diameter van ca. 40m, zorgt ervoor dat het stralend oppervlak bij toenemende diameter slechts weinig toeneemt en dit geeft een onevenredige toename in de stralingsintensiteit.

Vandaar zal ook hier verder gewerkt worden met de vlamlengte bepaald volgens Hasemi & Nishihata.

De methode van Lees gaat voor de bepaling van de uitgezonden stralingsintensiteiten ervan uit dat deze over de volledige vlam een fractie, hier 30% verondersteld, is van de totale HRR.

Bij stijging van de HRR voor een zelfde oppervlakte van de brandhaard verkrijgen we een stijging van de totale uitgezonden stralingswarmte en een stijging van de vlamlengte. De bekomen stralingsintensiteiten nemen toe met stijgende HRR. Er is voor de bepaling van de uitgezonden stralingsintensiteit onder andere uitgegaan van een volledige verbranding.

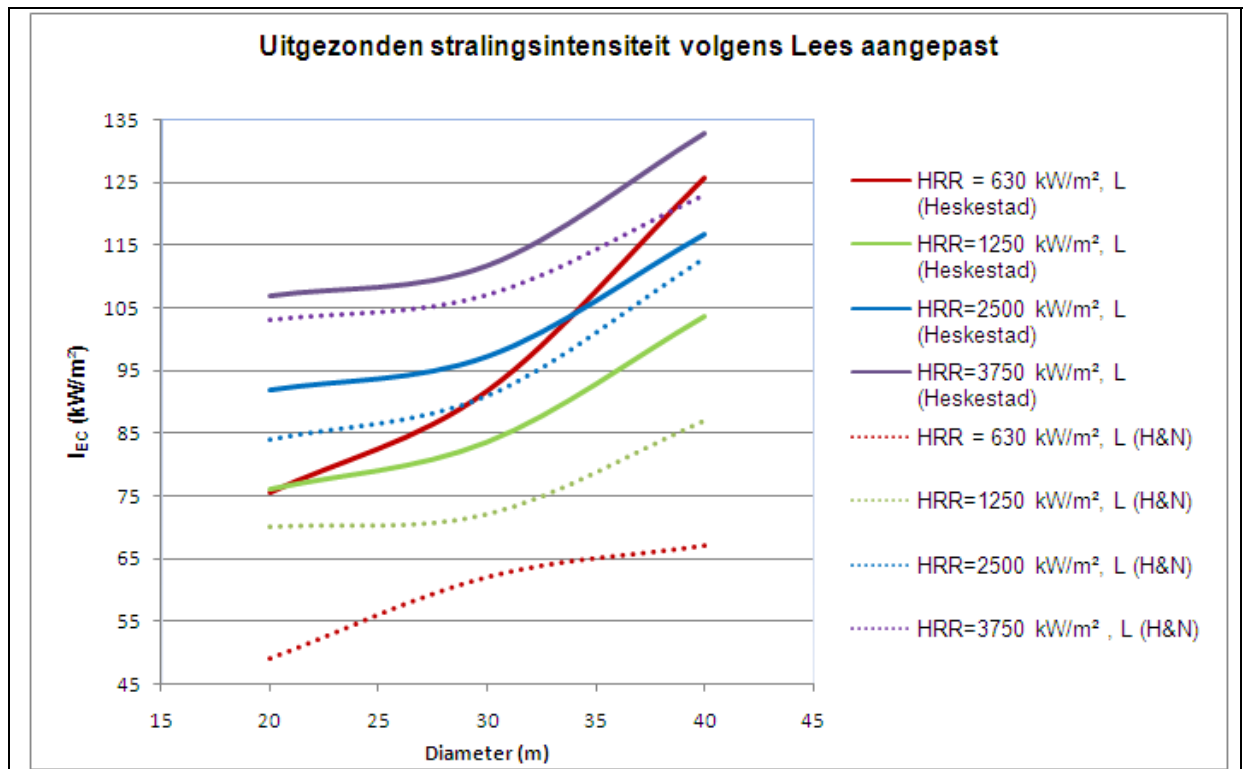


fig. 6.35 Uitgezonden stralingsintensiteiten volgens Lees

6.6.4 Vergelijking van de stralingsintensiteiten in functie van de afstand tussen de 1^{ste} methode en de methode van Lees

Voor het bepalen van invallende stralingsintensiteiten wordt de stralingsintensiteit zoals hierboven bepaald, vermenigvuldigd met dezelfde bijhorende configuratiefactoren als voor de 1^{ste} methode. In onderstaande grafieken worden de ontvangen stralingsintensiteiten in functie van de afstand tot het brandend oppervlak weergegeven.

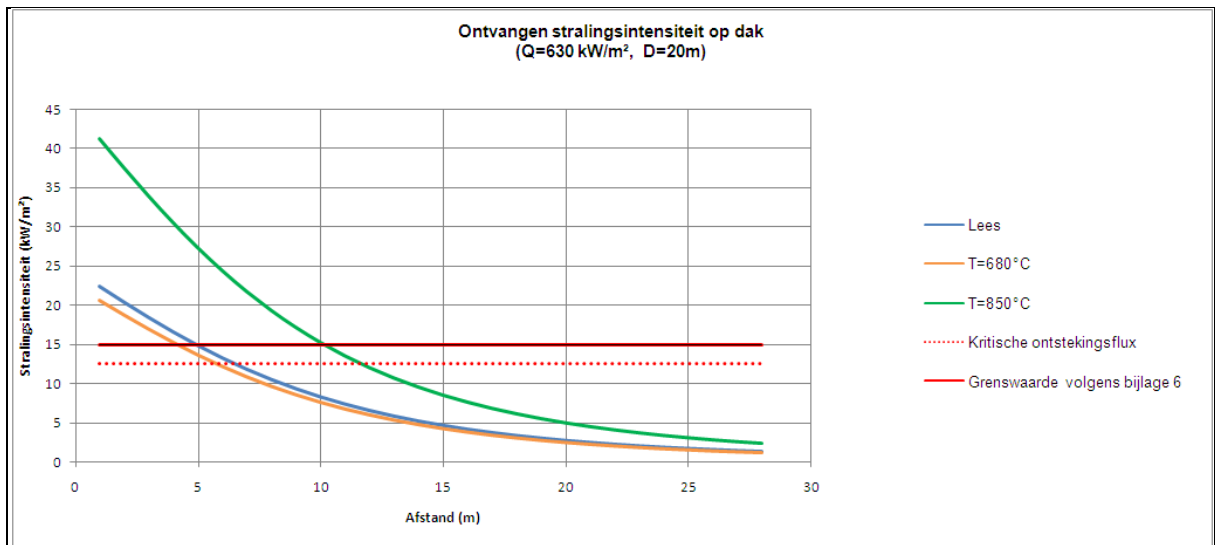


fig. 6.36

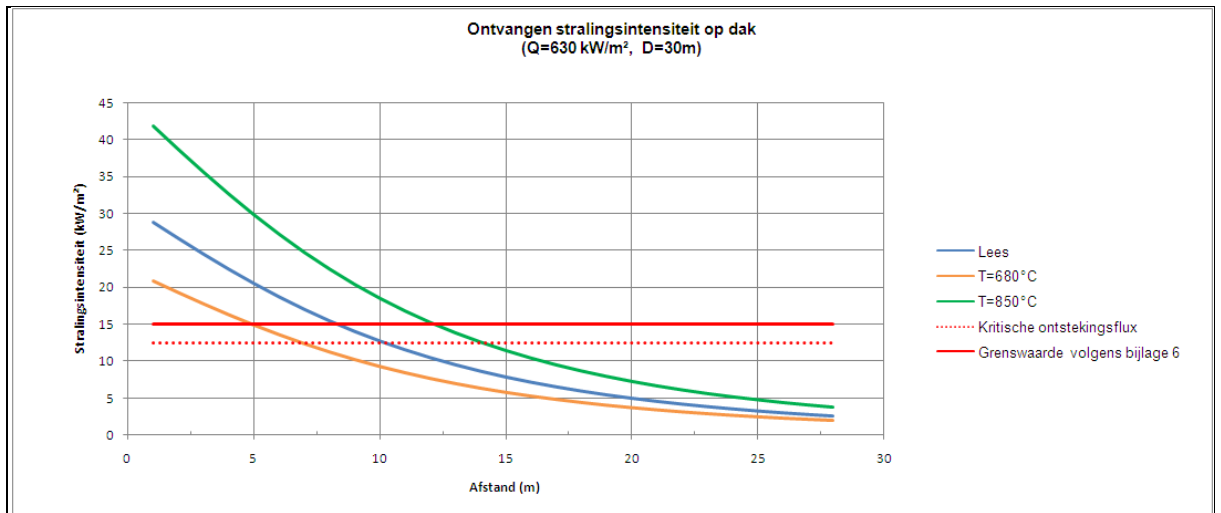


fig. 6.37

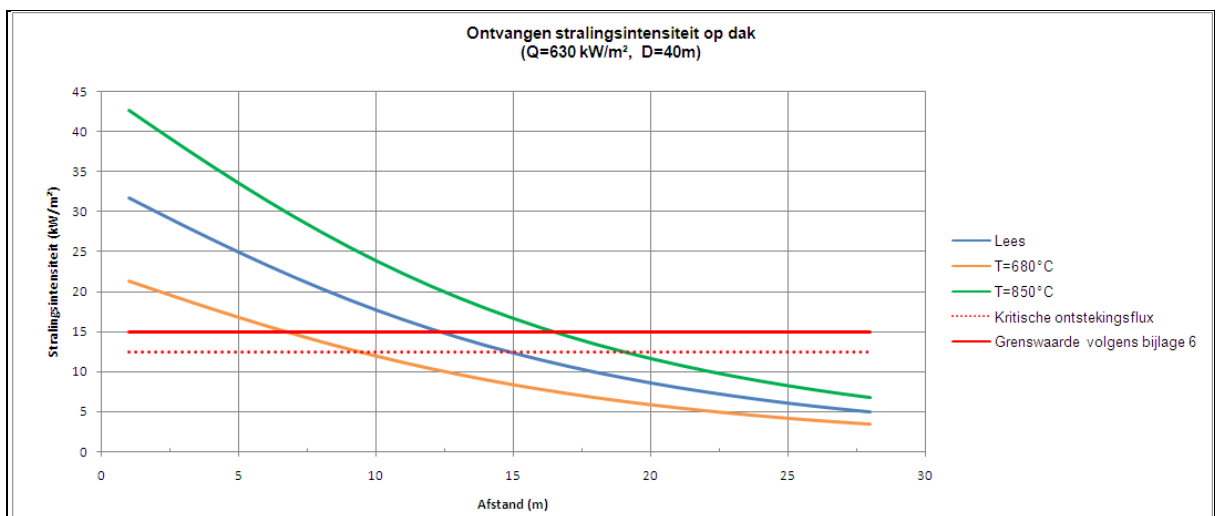


fig. 6.38

Tabel 6.7 Benodigde tussenafstanden bepaald volgens 1^{ste} methode en Lees, voor HRR = 630 kW/m²

Benodigde afstanden in (m) bij 630 kW/m ²					
15			12,5		
Meth. 1 (T = 680°C)	Meth 1 (T=850°C)	Lees	Meth. 1 (T= 680°C)	Meth 1 (T=850°C)	Lees
4,00	10,50	5,00	6,00	12,50	7,00
5,00	12,50	8,50	7,00	14,50	10,50
6,50	16,50	12,50	9,50	19,00	15,00

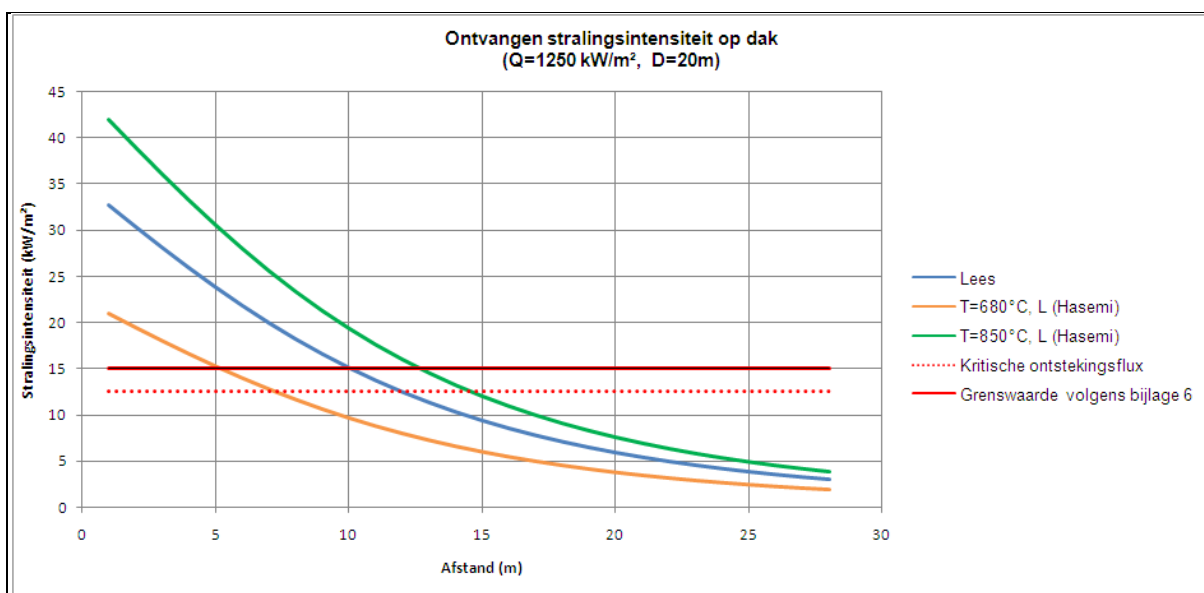


fig. 6.39

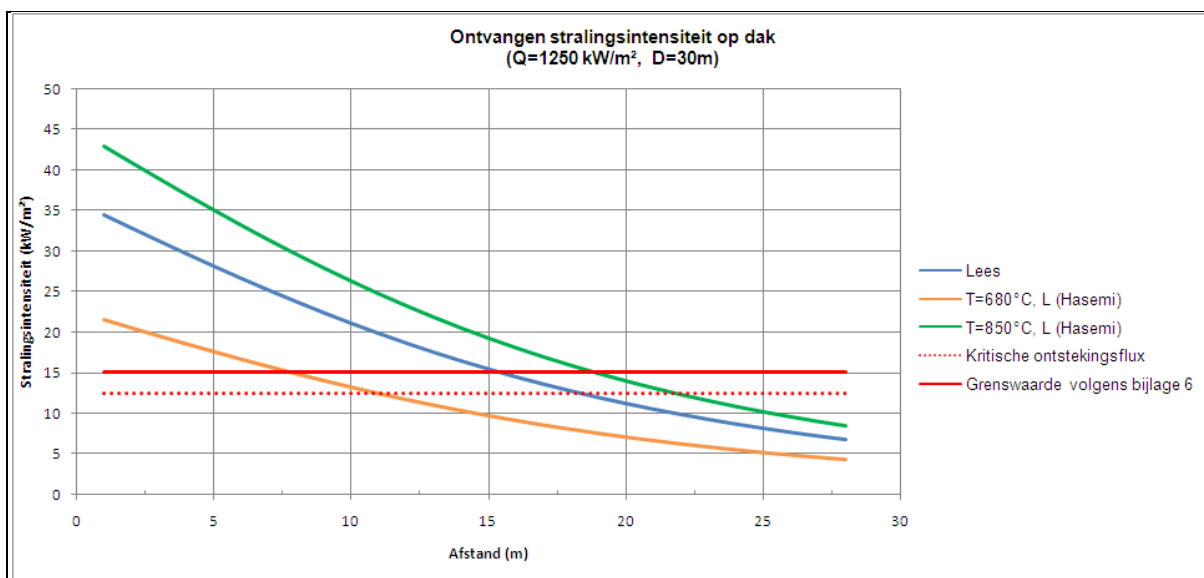


fig. 6.40

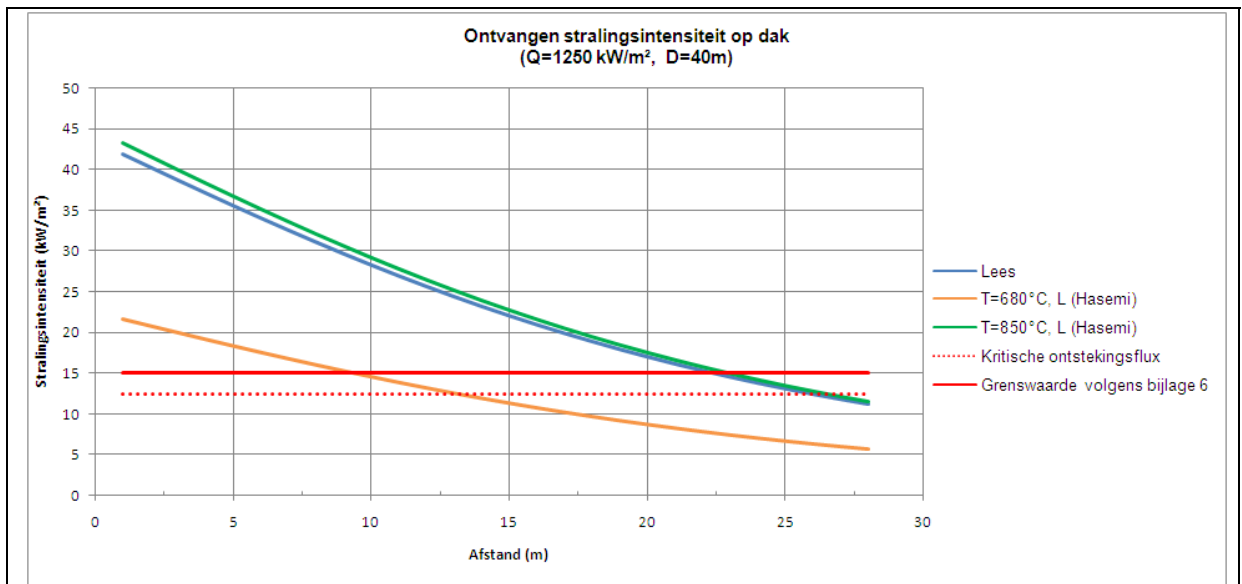


fig. 6.41

Tabel 6.8 Benodigde afstanden bepaald volgens methode 1 en volgens methode van Lees, bij 1250 kW/m²

	Benodigde afstanden in (m) bij 1250 kW/m²						
I _{krit} (kW/m²)	15			12,5			
	D (m)	Meth. 1 (T = 680°C)	Meth 1 (T=850°C)	Lees	Meth. 1 (T= 680°C)	Meth 1 (T=850°C)	Lees
20		5,10	13,00	10,50	7,50	14,50	12,00
30		8,00	19,00	16,00	11,00	22,00	18,50
40		9,50	23,00	22,50	13,50	26,50	26,00

De bekomen resultaten geven aan dat de benodigde tussenafstanden bepaald met de methode van Lees voor een HRR van 630 kW/m² en 1250 kW/m² tussen de waarden, bekomen met de 1^{ste} methode, met een vlamtemperatuur van 680°C en 850°C inliggen.

De benodigde tussenafstanden stijgen naarmate de diameter en de HRR stijgen. De stijging is sterker met de methode van Lees. Vanaf een HRR van 2500 kW/m² en een diameter van 30m zijn de benodigde tussenafstanden groter dan deze bepaald volgens methode 1 met vlamtemperaturen van 850°C.

6.6.5 Invloed van de HRR op de tussenafstand volgens methode van Shokri en Beyler

Onderstaande grafieken geven de invallende stralingsintensiteiten in functie van de afstand voor verschillende HRR. De resultaten zijn weergegeven voor verschillende brandhaard oppervlakken.

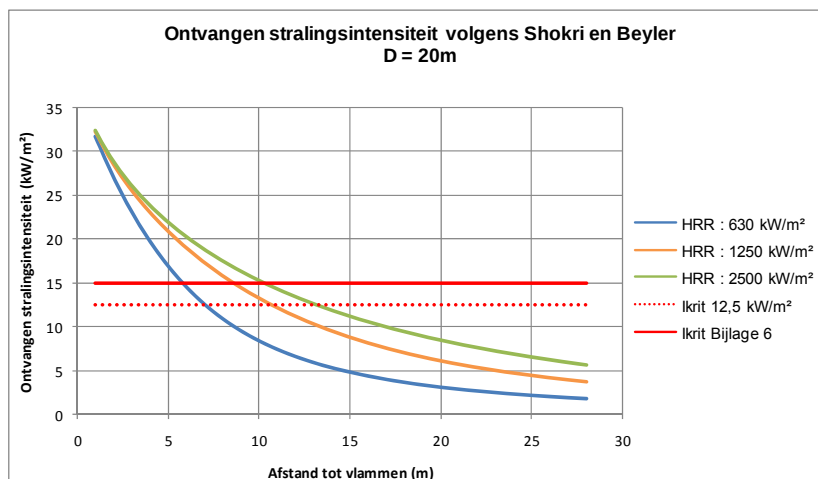


fig. 6.42

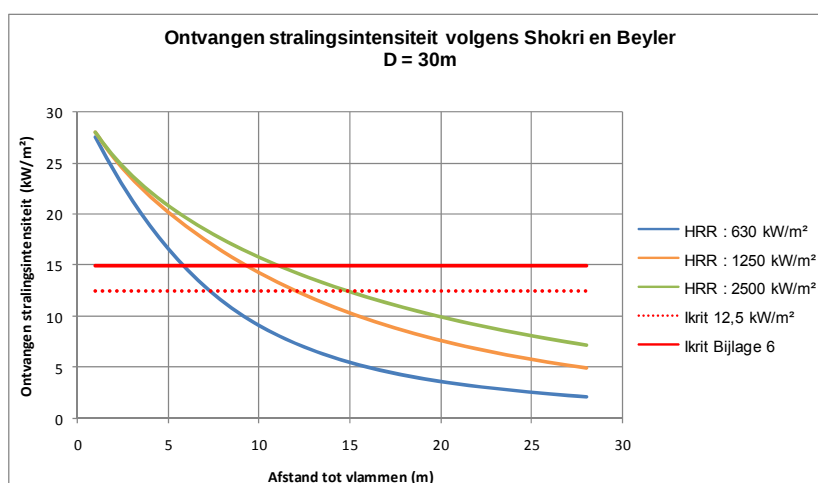


fig. 6.43

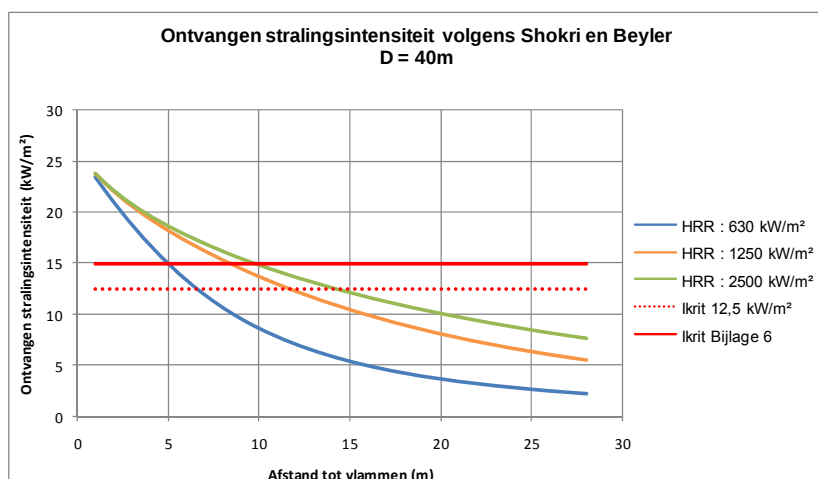


fig. 6.44

Tabel 6.9 Benodigde afstanden bepaald volgens methode van Shokri & Beyler

I_{krit} (kW/m ²)	Benodigde afstanden in (m)					
	15			12,5		
D (m)	HRR 630 kW/m ²	HRR 1250 kW/m ²	HRR 2500 kW/m ²	HRR 630 kW/m ²	HRR 1250 kW/m ²	HRR 2500 kW/m ²
20	6,00	9,00	10,50	7,50	11,00	13,50
30	6,00	9,50	11,00	7,50	12,50	15,00
40	5,00	8,50	10,00	7,00	12,00	15,00

De benodigde tussenafstanden zijn beduidend lager dan deze bepaald volgens de 1^{ste} methode en de methode van Lees.

De uitgezonden stralingsintensiteit volgens de methode van Shokri & Beyler is opgesteld voor plasbranden van specifieke brandstoffen. Bij toenemende diameter is er een afname van de uitgezonden stralingsintensiteit door de hoge rookproductie.

Er is niet gekend of dit fenomeen ook zal optreden bij standaard industriebranden.

De 1^{ste} methode geeft resultaten die tussen de methode van Lees en Shokri & Beyler in liggen. Voor de uitgewerkte oefeningen in bijlage wordt enkel verder gewerkt met de 1^{ste} methode.

7 Vergelijking van benodigde tussenafstanden

In dit hoofdstuk wordt voor een aantal gemodeliseerde situaties de benodigde tussenafstand berekend volgens de methodes beschreven in Bijlage 6 van de Belgische “Basisnormen”, NEN6068 en zoals beschreven in hoofdstuk 4 van deze studie. De invloed van eventuele vlammen boven het dak van het brandend gebouw op de tussenafstanden wordt nagegaan. Hieronder wordt een overzicht gegeven van de aannames volgens de verschillende methodes.

Tabel 7.1 Overzicht van de aannames volgens de verschillende methoden voor een gevel met brandweerstand EI60 en openingen.

Gevel van brandend gebouw met brandweerstand EI60, Percentage openingen $\alpha = A_V/A_E$			
Methode	Uitgezonden stralingsintensiteit	Oppervlakte van de straler A_E	Kritische ontstekingsflux
Bijlage 6	$\alpha \times 170 \text{ kW/m}^2$	Omsluit de openingen, mag dus gelijk zijn aan de oppervlakte van de gevel	15 kW/m^2
NEN 6068	45 kW/m^2	Breedte $\times$ (Hoogte/2) van de gevel	15 kW/m^2
BRE 187	167 kW/m^2 (beperkte ventilatie)	Bepaald door de afmetingen in Tabel 4.1 die net groter is dan kleinste omschreven rechthoek	$12,5 \text{ kW/m}^2$
NFPA 80A	Afhankelijk van de strengheid : Licht : $89,3 \text{ kW/m}^2$ Matig : $178,6 \text{ kW/m}^2$ Streng : $357,1 \text{ kW/m}^2$ Gecorrigeerd afhankelijk van $\alpha \Rightarrow$ Tabel 4.4	Oppervlakte van de gevel	$12,5 \text{ kW/m}^2$
Collier	$\alpha \times I_{EC} \text{ kW/m}^2$ I_{EC} bepaald door temperatuur in compartiment	Kleinst mogelijke omschreven rechthoek	I_{krit} kan vrij ingesteld worden
Barnett	$\alpha \times I_{EC} \text{ kW/m}^2$ I_{EC} bepaald door temperatuur in compartiment	Kleinst mogelijke omschreven rechthoek	I_{krit} kan vrij ingesteld worden

Tabel 7.2 Overzicht van de aannames volgens de verschillende methoden voor een gevel zonder brandweerstand (openingen.= 100% verondersteld)

Gevel van brandend gebouw zonder brandweerstand Percentage openingen $\alpha=100\%$			
Methode	Uitgezonden stralingsintensiteit	Oppervlakte van de straler A_E	Kritische ontstekingsflux
Bijlage 6	45 kW/m ²	B x H van de gevel	15 kW/m ²
NEN 6068	45 kW/m ²	Breedte x (Hoogte/2) van de gevel	15 kW/m ²
BRE 187	83,7 kW/m ² - volledig geventileerde brand	Bepaald door de afmetingen in Tabel 4.1 die net groter is dan kleinste omschreven rechthoek (waarden tussen haakjes)	12,5 kW/m ²
NFPA 80A	Afhankelijk van de strengheid : Licht : 89,3 kW/m ² Matig : 178,6 kW/m ² Streng : 357,1 kW/m ² Gecorrigeerd afhankelijk van $\alpha \Rightarrow$ Tabel 4.4	Oppervlakte van de gevel	12,5 kW/m ²
Collier	$\alpha \times I_{EC}$ kW/m ² I_{EC} bepaald door temperatuur in compartiment	Kleinst mogelijke omschreven rechthoek	I_{krit} kan vrij ingesteld worden
Barnett	$\alpha \times I_{EC}$ kW/m ² I_{EC} bepaald door temperatuur in compartiment	Kleinst mogelijke omschreven rechthoek	I_{krit} kan vrij ingesteld worden

7.1 Geval 1 - geen vlammen boven het dak

Er wordt van volgende situatie uitgegaan:

- Afmetingen van het gebouw (compartiment) : 30 m x 50 m
- Hoogte van het gebouw : 8 m
- Voorgevel openingen : tweemaal 800 mm x 22.000 mm
- Achtergevel : Geen brandweerstand
- Benodigde afstanden tot voorgevel en achtergevel van het brandend gebouw worden berekend. Deze afstanden zijn specifiek bepaald loodrecht tegenover het centrum van deze gevels.

7.1.1 Voorgevel

Berekening volgens Bijlage 6 (methode beschreven in § 2.1)

De Tabel 2.1 met minimale tussenafstanden zoals vermeld in Bijlage 6 is opgemaakt uitgaande van een vastgelegde omschreven rechthoek van 60m x 12m. Er is geen rekening gehouden met de plaats waar de openingen zich in de gevel bevinden. Dit kan resulteren in een lagere tussenafstand voor de gehele gevel waar in feite lokaal ter hoogte van de openingen hogere tussenafstanden noodzakelijk zijn. Hieronder wordt geïllustreerd wat de impact hiervan kan zijn.

In een **eerste berekening** wordt de volledige gevel beschouwd als omschreven rechthoek onafhankelijk van de plaats waar de openingen zich bevinden. Toepassen van vergelijking (2.1) levert :

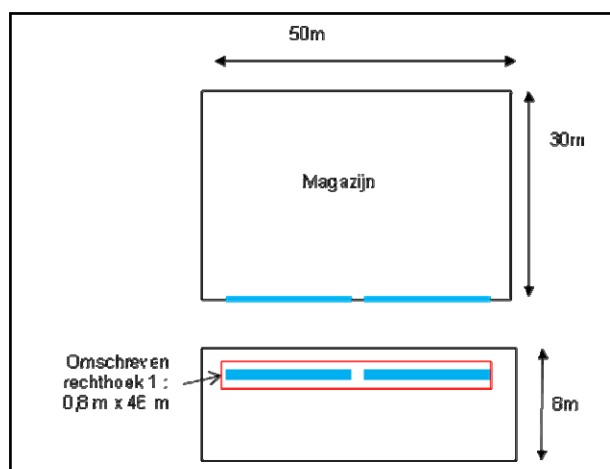
$$\begin{aligned}A_V &= 0,8 \times 22 \times 2 = 35,2 \text{ m}^2 \\A_E &= 50 \times 8 = 400 \text{ m}^2 \\ \alpha &= A_V/A_E = 0,088 \\ I_{EC} &= 170 \text{ kW/m}^2 \\ I &= \phi_{\text{gevel}} \times 0,088 \times 170 \text{ (kW/m}^2\text{)} \\ \text{Benodigde afstand : } D &> \mathbf{1 \text{ m}}.\end{aligned}$$

Indien $I_{\text{krit}} = 12,5 \text{ kW/m}^2$ bedraagt de benodigde tussenafstand 3m.

Volgens Bijlage 6 wordt voor een percentage opening tussen 0% en 10% een tussenafstand van 4m geëist.

Tabel 2.1 die in Bijlage 6 staat, is opgemaakt voor gevels met een breedte van 60m en een hoogte van 12m. Voor een zelfde percentage openingen wordt voor gevels met kleinere afmetingen een kleinere tussenafstand bekomen. Dit komt omdat de oppervlakte van de straler, hier de volledige gevel, kleiner is. De uitgezonden stralingsintensiteit blijft dezelfde.

In een **tweede berekening** wordt de omschreven rechthoek bepaald voor het geval waar de 2 openingen zich naast elkaar bevinden. (fig. 7.1)



In dit geval zijn :

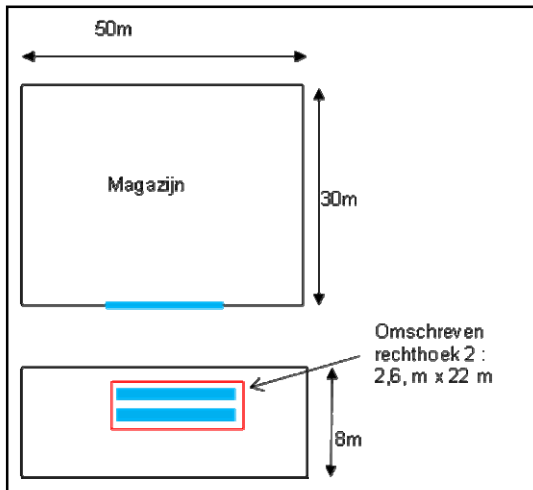
$$\begin{aligned}A_V &= 0,8 \times 22 \times 2 = 35,2 \text{ m}^2 \\A_E &= 0,8 \times 46 = 36,8 \text{ m}^2 \\ \alpha &= A_V/A_E = 0,96 \\ I_{EC} &= 170 \text{ kW/m}^2 \\ I &= \phi_{\text{omschreven rechthoek 1}} \times 0,96 \times 170 \text{ (kW/m}^2\text{)}\end{aligned}$$

Benodigde tussenafstand : $D > \mathbf{4,5 \text{ m}}$

fig. 7.1 Voor- en bovenaanzicht, omschreven rechthoek 1

In een **derde berekening** wordt de omschreven rechthoek bepaald voor het geval waar de 2 openingen zich onder elkaar bevinden met 1m tussenafstand, zoals in fig. 7.2

In dit geval zijn :



$$A_V = 0,8 \times 22 \times 2 = 35,2 \text{ m}^2$$

$$A_E = (0,8 + 0,8 + 1) \times 22 = 57,2 \text{ m}^2$$

$$\alpha = A_V / A_E = 0,62$$

$$I_{EC} = 170 \text{ kW/m}^2$$

$$I = \phi_{\text{omschreven rechthoek 2}} \times 0,62 \times 170 \text{ (kW/m}^2\text{)}$$

Benodigde tussenafstand : $D > \text{ca. } 8,2 \text{ m}$

fig. 7.2 Voor- en bovenaanzicht van het gebouw, omschreven rechthoek 2

De resultaten voor de berekeningen van de ontvangen stralingsintensiteiten voor de verschillende stralingsoppervlakken zijn weergegeven in onderstaande grafiek.

De laatste berekening geeft met de derde berekening duidelijk aan dat loodrecht tegenover het centrum van de omschreven rechthoek een veel hogere tussenafstand noodzakelijk is.

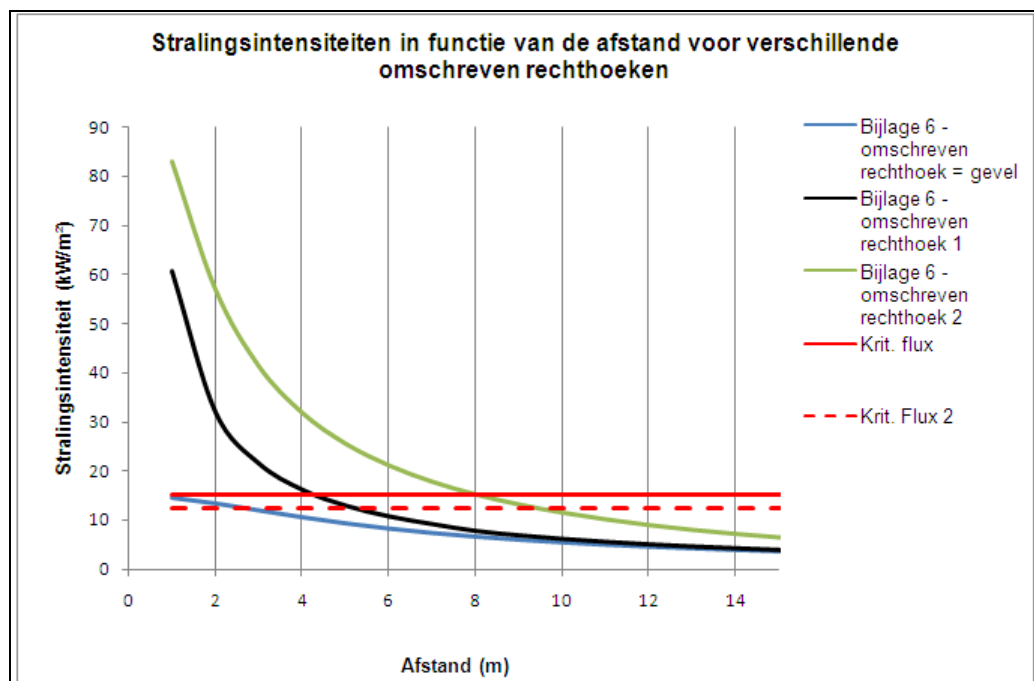


fig. 7.3 Resultaten ontvangen stralingsintensiteiten volgens Bijlage 6 – verschillende omschreven rechthoeken

Berekening volgens NEN6068 (zie § 2.2)

Volgens de vereenvoudigde methode van NEN 6068 dient geen omschreven rechthoek bepaald te worden. Hier wordt de onderste helft van de buitengevel met delen die minder dan 30min brandwerend zijn, over de gehele breedte als gevelopening beschouwd.

Oppervlakte van de straler : $A_E = 4\text{m} \times 50\text{m}$

Uitgezonden stralingsintensiteit : 45 kW/m^2

Onderstaande grafiek geeft de ontvangen stralingsintensiteit in functie van de afstand.

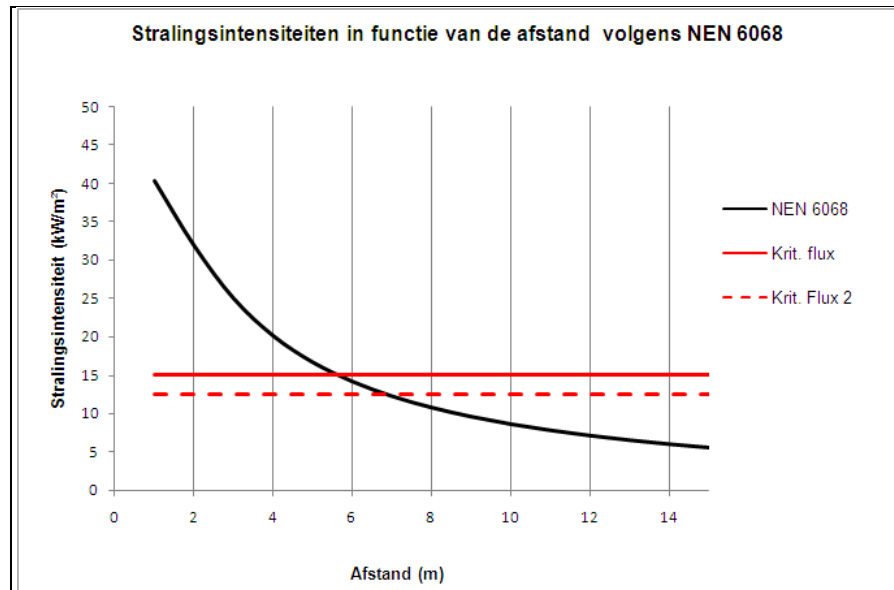


fig. 7.4 Ontvangen stralingsintensiteit volgens NEN 6068

De benodigde tussenafstand bedraagt ca. **5,7m**

Berekening volgens NFPA 80A

Er wordt aangenomen dat de binnen afwerking uit onbrandbare materialen bestaat. De brandlast wordt hoog aangenomen (74 kg/m^2 , vurenhout of $\geq 1406\text{ MJ/m}^2$).

Klassering voor de bijdrage van de binnenbekleding : "Light"

Klassering voor de brandlast : "Severe"

Hoogte van het gebouw $h = 8\text{m}$

Breedte van het gebouw $b = 50\text{m}$

$b/h = 6,25$

Percentage van de openingen (in de totale gevel) : 8,8%

Uit Tabel 4.4 kan het richtgetal afgeleid worden : 1,004

De benodigde tussenafstand wordt bepaald door vergelijking (4.15):

$$D = 1,004 \times 8 + 1,52 = \mathbf{9,55\text{ m}}$$

Hier wordt voor de eventuele stralingsintensiteit afkomstig van uitslaande vlammen door verticale openingen een extra afstand van 1,52m in rekening gebracht.

Berekening volgens BRE 187 : omschreven rechthoeken

Omschreven rechthoek volgens fig. 7.1 : (46m x 0,8m) volgens deze methode dient uit Tabel 4.1 de afmeting voor de kleinst mogelijke omschreven rechthoek groter dan 46m x 0,8m genomen te worden. Deze is : 50m x 3m (Tabel 4.1)

Oppervlakte van openingen : $A_V = 35,2 \text{ m}^2$

Oppervlakte van de omschreven rechthoek : $A_E = 150 \text{ m}^2$

Percentage onbeschermdde openingen : 23,5%

Benodigde afstand uit Tabel 4.1: $D > \text{ca. } 3\text{m}$

Omschreven rechthoek volgens fig. 7.2 : (22m x 2,6m)

Uit Tabel 4.1 wordt de afmeting voor de kleinst mogelijke omschreven rechthoek rond de openingen genomen : 24m x 3m

Oppervlakte van openingen : $A_V = 35,2 \text{ m}^2$

Oppervlakte van de omschreven rechthoek : $A_E = 72 \text{ m}^2$

Percentage onbeschermdde openingen : 48,8%

Benodigde afstand uit Tabel 4.1: $D > \text{ca. } 4,5 \text{ m}$

Berekening volgens Collier

Omschreven rechthoek volgens fig. 7.1 : (46m x 0,8m)

Oppervlakte van openingen $A_V = 35,2 \text{ m}^2$

Oppervlakte van de omschreven rechthoek : $A_E = 36,8 \text{ m}^2$

Verhouding hoogte-breedte : 0,0174

Stralingsintensiteit wordt bepaald door te rekenen met de temperatuur in het brandcompartiment na 60 min (brandweerstand). Vergelijking (4.4) : $T(60) = 945 \text{ }^\circ\text{C}$

Uitgezonden stralingsintensiteit vergelijking (4.3) : 125 kW/m^2

Reductie factor : Percentage onbeschermdde openingen vergelijking (4.5): 0,96

Gereduceerde uitgezonden stralingsintensiteit volgens vergelijking (4.6) : 120 kW/m^2

De kritische stralingsintensiteit wordt gelijk genomen aan 15 kW/m^2 zoals voor Bijlage 6

Toegelaten configuratiefactor : $\phi = 15/120 = 0,125$

Bepalen van de benodigde tussenafstand, S volgens vergelijking (4.8) $D = R + P$, samen met fig. 4.3 levert dit voor $C = 0,6$, $R = 3,6\text{m}$. Dit is een grove schatting want de verhouding hoogte – breedte is niet in de range opgenomen.

Benodigde tussenafstand **$D > 5,6\text{m}$** .

Net als de NFPA methode dient hier ook een afstand in rekening gebracht te worden voor straling afkomstig van uitslaande vlammen. Deze bedraagt hier 2m.

Omschreven rechthoek volgens fig. 7.2: (22m x 2,6m)

Oppervlakte van openingen : $A_V = 35,2 \text{ m}^2$

Oppervlakte van de omschreven rechthoek : $A_E = 57,2 \text{ m}^2$

Verhouding hoogte-breedte : 0,12

Stralingsintensiteit wordt bepaald door te rekenen met de temperatuur in het brandcompartiment na 60 min (brandweerstand). Vergelijking (4.4) : $T(60) = 945\text{ }^{\circ}\text{C}$
 Uitgezonden stralingsintensiteit vergelijking (4.3) : 125 kW/m^2
 Reductie factor : Percentage onbeschermdde openingen vergelijking (4.5): 0,62
 Gereduceerde uitgezonden stralingsintensiteit volgens vergelijking (4.6) : 77 kW/m^2
 De kritische stralingsintensiteit wordt gelijk genomen aan 15 kW/m^2 zoals in Bijlage 6.
 Toegelaten configuratiefactor : $\phi = 15/77 = 0,195$
 Bepalen van de benodigde tussenafstand, D volgens vergelijking (4.8) $D = R + P$, samen met fig. 4.3 levert dit voor $C = 0,8$, $R = 6\text{ m}$
 Benodigde tussenafstand $D = 8\text{ m}$ ($R + 2\text{m}$ in rekening brengen van uitslaande vlammen).

Berekening volgens Barnett

Omschreven rechthoek volgens fig. 7.1 : $(46\text{m} \times 0,8\text{m})$
 Oppervlakte van openingen : $A_V = 35,2\text{ m}^2$
 Oppervlakte van de omschreven rechthoek : $A_E = 36,8\text{ m}^2$
 Stralingsintensiteit wordt bepaald door te rekenen met de temperatuur in het brandcompartiment na 60 min (brandweerstand). Vergelijking (4.13) : $T(60) = 965\text{ }^{\circ}\text{C}$
 Uitgezonden stralingsintensiteit vergelijking (4.12) : 133 kW/m^2
 Verhouding onbeschermdde openingen vergelijking (4.9): 0,96
 De kritische stralingsintensiteit wordt gelijk genomen aan 15 kW/m^2 zoals in Bijlage 6.
 Na bepaling van de configuratie factor voor de omschreven rechthoek verkrijgen we de invallende stralingsintensiteit met vergelijking (4.14).
 Benodigde tussenafstand opdat de invallende stralingsintensiteit $< 15\text{ kW/m}^2$: **$D > 4\text{ m}$.**

Omschreven rechthoek volgens fig. 7.2: $(22\text{m} \times 2,6\text{m})$
 Oppervlakte van openingen : $A_V = 35,2\text{ m}^2$
 Oppervlakte van de omschreven rechthoek : $A_E = 57,2\text{ m}^2$
 Stralingsintensiteit wordt bepaald door te rekenen met de temperatuur in het brandcompartiment na 60 min (brandweerstand). Vergelijking (4.13): $T(60) = 965\text{ }^{\circ}\text{C}$
 Uitgezonden stralingsintensiteit vergelijking (4.12) : 133 kW/m^2
 Verhouding onbeschermdde openingen vergelijking (4.9): 0,62
 De kritische stralingsintensiteit wordt gelijk genomen aan 15 kW/m^2 zoals in Bijlage 6.
 Na bepaling van de configuratie factor voor de omschreven rechthoek verkrijgen we de invallende stralingsintensiteit met vergelijking (4.14).
 Benodigde tussenafstand opdat de invallende stralingsintensiteit $< 15\text{ kW/m}^2$ **$D > 6,7\text{ m}$.**

7.1.2 Achtergevel (geen brandweerstand)

Berekening volgens Bijlage 6 (methode beschreven in § 2.1)

De volledige gevel wordt beschouwd als omschreven rechthoek met een stralingsintensiteit van 45 kW/m^2 .

$$A_V = 50 \times 8 = 400\text{ m}^2$$

$$A_E = 50 \times 8 = 400 \text{ m}^2$$

$$\alpha = A_v/A_E = 1$$

$$I_{EC} = 45 \text{ kW/m}^2$$

$$I = \phi_{\text{gevel}} \times 1 \times 45 \text{ (kW/m}^2\text{)}$$

Benodigde tussenafstand **D > 11m**.

Berekening volgens NEN6068

Bij de vereenvoudigde methode volgens NEN 6068 wordt geen verschil gemaakt tussen een gevel die volledig niet brandwerend is of een gevel die slechts bepaalde delen heeft die niet brandwerend zijn.

In beide gevallen wordt de onderste helft van de buitengevel over de gehele breedte als gevelopening beschouwd.

Oppervlakte van de straler : $A_E = 4\text{m} \times 50\text{m} = 200 \text{ m}^2$

Uitgezonden stralingsintensiteit : 45 kW/m^2

Benodigde tussenafstand **D > 5,7m**.

Onderstaande grafiek geeft de ontvangen stralingsintensiteit in functie van de afstand voor de niet brandwerende gevel volgens NEN 6068 en Bijlage 6.

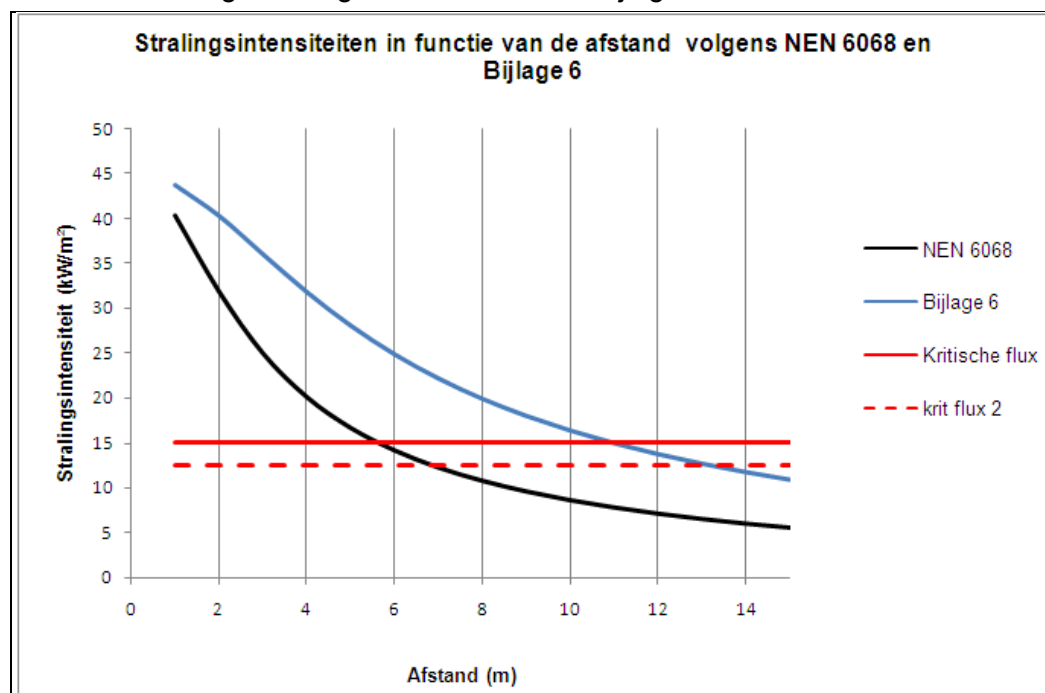


fig. 7.5 Stralingsintensiteit voor niet brandwerende gevel in functie van de afstand.

Berekening volgens NFPA 80A

Er wordt aangenomen dat de binnen afwerking uit onbrandbare materialen bestaat. De brandlast wordt hoog aangenomen (74 kg/m^2 , vurenhout of $\geq 1406 \text{ MJ/m}^2$).

Klassering voor de bijdrage van de binnenbekleding : "Light"

Klassering voor de brandlast : "Severe"

Hoogte van het gebouw $h = 8\text{m}$

Breedte van het gebouw $b = 50\text{m}$

$$b/h = 6,25$$

Percentage van de openingen in de totale gevel : 100%

Uit Tabel 4.4 kan het richtgetal afgeleid worden : 4,7925

De benodigde tussenafstand wordt bepaald door vergelijking (4.15):

$D = 4,7925 \times 8 + 1,52 = 39,87 \text{ m}$ hierin is 1,52 m voorzien voor de straling afkomstig van uitslaande vlammen door verticale openingen.

Berekening volgens BRE 187 : omschreven rechthoeken

Omschreven rechthoek volgens fig. 7.1 : (50m x 8m)

Uit Tabel 4.1 wordt de afmeting voor de kleinst mogelijke omschreven rechthoek rond de openingen genomen : 50m x 9m

Oppervlakte van openingen : $A_v = 50 \times 8 = 400 \text{ m}^2$

Oppervlakte van de omschreven rechthoek : $A_E = 450 \text{ m}^2$

Percentage onbeschermdde openingen : 88,9%

Benodigde afstand uit Tabel 4.1 waardes tussen haakjes voor overgeventileerde branden: ca. **11,5m**

Berekening volgens Collier

Omschreven rechthoek volgens fig. 7.1 : (50m x 8m)

Oppervlakte van openingen : $A_v = 400 \text{ m}^2$

Oppervlakte van de omschreven rechthoek : $A_E = 400 \text{ m}^2$

Verhouding hoogte-breedte : 0,16

Stralingsintensiteit wordt bepaald door te rekenen met de temperatuur in het brandcompartiment na 60 min (brandweerstand). Vergelijking (4.4) : $T(60) = 945 \text{ }^\circ\text{C}$

Uitgezonden stralingsintensiteit vergelijking (4.3) : 125 kW/m^2

Reductie factor : Percentage onbeschermdde openingen vergelijking (4.5): 1

Gereduceerde uitgezonden stralingsintensiteit volgens vergelijking (4.6) : 125 kW/m^2

De kritische stralingsintensiteit wordt gelijk genomen aan 15 kW/m^2 zoals in Bijlage 6.

Toegelaten configuratiefactor : $\phi = 15/125 = 0,12$

Bepalen van de benodigde tussenafstand, S volgens vergelijking (4.8) $D = R + P$, samen met fig. 4.3 levert dit voor $C = 1,3$ $R = 26\text{m}$

Benodigde tussenafstand **D = 28m** ($R + 2\text{m}$ in rekening brengen van uitslaande vlammen).

Berekening volgens Barnett

Omschreven rechthoek volgens fig. 7.1 : (50m x 8m)

Oppervlakte van openingen : $A_v = 400 \text{ m}^2$

Oppervlakte van de omschreven rechthoek : $A_E = 400 \text{ m}^2$

Stralingsintensiteit wordt bepaald door te rekenen met de temperatuur in het brandcompartiment na 60 min (brandweerstand). Vergelijking (4.13) : $T(60) = 965 \text{ }^\circ\text{C}$

Uitgezonden stralingsintensiteit vergelijking (4.12) : 133 kW/m^2

Verhouding onbeschermdde openingen vergelijking (4.9): 1

De kritische stralingsintensiteit wordt gelijk genomen aan 15 kW/m^2 zoals in Bijlage 6.

Na bepaling van de configuratie factor voor de omschreven rechthoek verkrijgen we de invallende stralingsintensiteit met vergelijking (4.14).

Benodigde tussenafstand opdat de invallende stralingsintensiteit $< 15 \text{ kW/m}^2$: **D = 28 m.**

7.1.3 Samenvatting :

Tabel 7.3 Benodigde tussenafstanden zonder in rekening brengen van uitslaande vlammen boven het dak.

Methode	Benodigde tussenafstanden (m)				
	Voorgevel			Achtergevel	
Kritische flux (kW/m ²)		15	12.5	15	12.5
Bijlage 6	OR = Gevel	1,0	3	11,0	
	OR situatie 1	4,5	5,5		
	OR situatie 2	8,2	9,5		
NEN 6068		5,7	7,0	5,7	7,0
NFPA 80A			9,6		39,9
BRE 187	OR situatie 1		3,0		11,5
	OR situatie 2		4,5		
Collier	OR situatie 1	5,6		28,0	
	OR situatie 2	8,0			
Barnett	OR situatie 1	4,0		28,0	
	OR situatie 2	6,7			

De vereenvoudigde methode volgens NEN6068 levert voor de voorgevel en de achtergevel dezelfde benodigde afstand. Dit is voor een brandwerende gevel met beperkt aantal openingen een strengere situatie. Voor de niet brandwerende achtergevel wordt slechts rekening gehouden met de helft van de gevel (halve hoogte) als straler. Dit in tegenstelling tot Bijlage 6 waar met de volledige oppervlakte van de gevel als straler gerekend wordt. Voor een gevel van 50m x 8m resulteert dit in een tussenafstand die ca. 5m hoger is.

Met de methode volgens NFPA 80A zijn kritische ontstekingsflux waarden van $12,5 \text{ kW/m}^2$ verondersteld. In de benodigde afstand is 1,52m meegerekend voor de straling afkomstig van uitslaande vlammen door verticale openingen. Zonder deze extra afstand blijft de benodigde afstand hoger dan de andere resultaten. Dit komt door de hoge stralingsintensiteiten die aangenomen zijn. In het geval voor een 'severe' klasse is gerekend met een uitgezonden stralingsintensiteit van 357 kW/m^2 (hiermee zou een vlamtemperatuur van 1311°C overeenstemmen). Dit is een erg onwaarschijnlijke waarde. De reductie die voor een openingspercentage van 100% is aangenomen is onvoldoende. Voor het geval de gevel volledig open is wordt op deze uitgezonden stralingsintensiteit geen correctie uitgevoerd.

De methode van de omschreven rechthoeken volgens BRE 187 levert lagere afstanden op. De dimensies van de omschreven rechthoeken liggen vast in een tabel. Hierdoor dienen soms grotere oppervlakken voor de omschreven rechthoek aangenomen te worden dan deze zoals bepaald in de berekening volgens Bijlage 6. De straling wordt over een groter vlak uitgemiddeld en hierdoor worden kleinere tussenafstanden verkregen.

In de methode volgens Collier is net als bij NFPA 80A een afstand in rekening gebracht voor straling afkomstig van uitslaande vlammen door verticale openingen, nl. 2m.

Voor de situatie waarin de gevel niet brandwerend is, wordt de stralingsintensiteit berekend met de temperatuur zoals bereikt zou zijn in het compartiment na de brandweerstandstijd. Hierdoor zijn de benodigde tussenafstanden heel groot. In realiteit zal de temperatuur van het stralend oppervlak lager liggen. Een correctie op de toegepaste temperatuur van de straler is hier wenselijk.

Volgens de methode van Barnett die gelijkaardig is aan deze van Collier wordt bij de berekening van de temperatuur in het compartiment en de uitgezonden straling rekening gehouden met de omgevingstemperatuur. Deze methode brengt geen bijkomende afstand in rekening voor straling afkomstig van uitslaande vlammen. Voor een gevel zonder brandweerstand kan eenzelfde opmerking gemaakt worden als voor de methode van Collier.

7.2 Geval 2 - vlammen boven het dak in rekening brengen

Er wordt van dezelfde situatie uitgegaan als Geval 1 hierboven:

- Afmetingen van het gebouw (compartiment) : 30 m x 50 m
- Hoogte van het gebouw : 8 m
- Voorgevel openingen : tweemaal 800 mm x 22.000 mm
- Achtergevel : Geen brandweerstand
- Benodigde afstanden tot voorgevel en achtergevel worden berekend voor een gebouw dat even hoog is.

Voor het bepalen van de uitgezonden stralingsintensiteit en het oppervlak van de stralende vlammen wordt gebruik gemaakt van de eerste methode beschreven in hoofdstuk 6.

De invloed van de vlammen boven het dak wordt enkel nagegaan voor de berekening volgens bijlage 6 waarbij de volledige gevel als omschreven rechthoek gekozen wordt (eerste berekening).

7.2.1 Bepaling van benodigde tussenafstand voor straling ontvangen op de voorgevel van het naastliggend gebouw:

De ontvangen stralingsintensiteit op de gevel van een gebouw evenwijdig met het brandende gebouw is hier:

$$I = I_{gevel} + I_{vlammen} \text{ (kW / m}^2\text{)} \quad (7.1)$$

Waarbij

- | | |
|---------------|---|
| I | Ontvangen stralingsintensiteit op een gevel parallel aan de gevel van het brandend compartiment loodrecht tegenover het centrum van de gevel, nl. punt I van fig. 7.6. |
| I_{gevel} | Straling ontvangen op de gevel afkomstig van de gevel van het stralende gebouw (kW/m ²), bepaald volgens vergelijking (2.1), zoals bepaald in eerste berekening van geval 1 |
| $I_{vlammen}$ | Straling op de gevel afkomstig van de vlammen boven het dak (kW/m ²)
$= \phi_{BEFC} \times I_{EC, vlammen}$
Waarbij : |

ϕ_{BEFC} = configuratie factor van rechthoek BEFC

$$= \phi_{GEFH} - \phi_{GBFH}$$

ϕ_{GEFH} = configuratie factor van rechthoek GEFH

ϕ_{GBFH} = configuratie factor van rechthoek GBFH

$I_{EC, \text{ vlammen}}$ uitgezonden stralingsintensiteit van de vlammen wordt bepaald met een vlamtemperatuur van $680^{\circ}\text{C} \rightarrow 45 \text{ kW/m}^2$

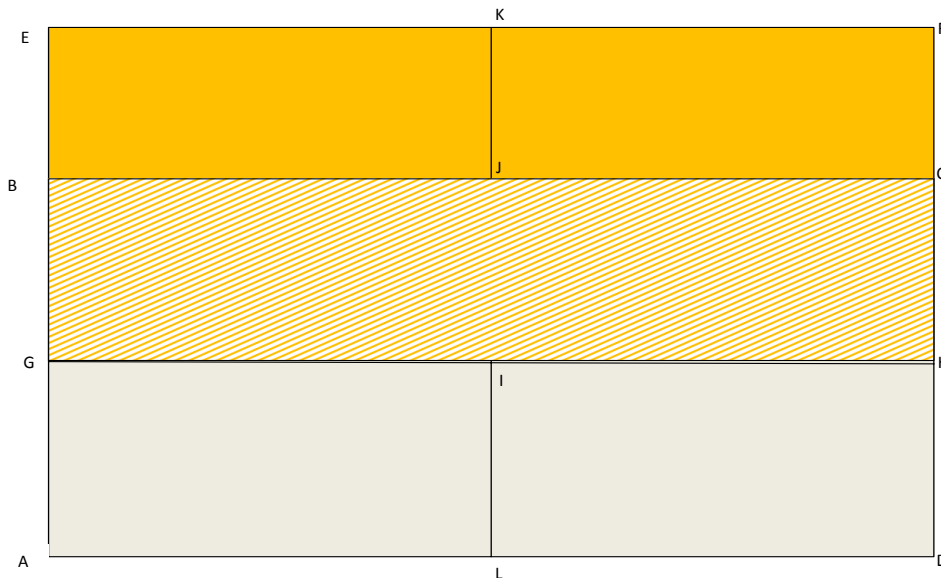


fig. 7.6 Vooraanzicht gevel (ABCD) en vlammen boven dak (BEFC) van brandend compartiment

Bepalen van de afmetingen van het stralend oppervlak van de vlammen.

Hoogte van de rechthoek volgens fig. 6.12 :

- Er wordt uitgegaan van een stapelhoogte van 7m (tot 1m onder het dak).
- Er wordt verondersteld dat de brand ontstaat op een hoogte van 5m wat betekent dat voor de HRR rekening wordt gehouden met 2m pallethoogte. Volgens vergelijking (6.4) wordt de HRR = 1250 kW/m^2 genomen.
- Volgens Tabel 6.3 wordt van de berekende vlamhoogte 3m afgetrokken
- Er wordt een brandoppervlakte van ca. 700 m^2 verondersteld volgens Tabel 6.1 worden de afmetingen van een rechthoekige brandhaard gelijk genomen aan :
15 m x 50m.
- Volgens de correlatie van Hasemi & Nishihata is de bijhorende vlamlengte 28,5m. (zie
-
- Tabel 6.2). Dit resulteert in een vlamlengte boven het dak van **25,5m.**

Breedte van de rechthoek : **50m**

Het resultaat van de berekeningen wordt in onderstaande fig. 7.7 weergegeven.

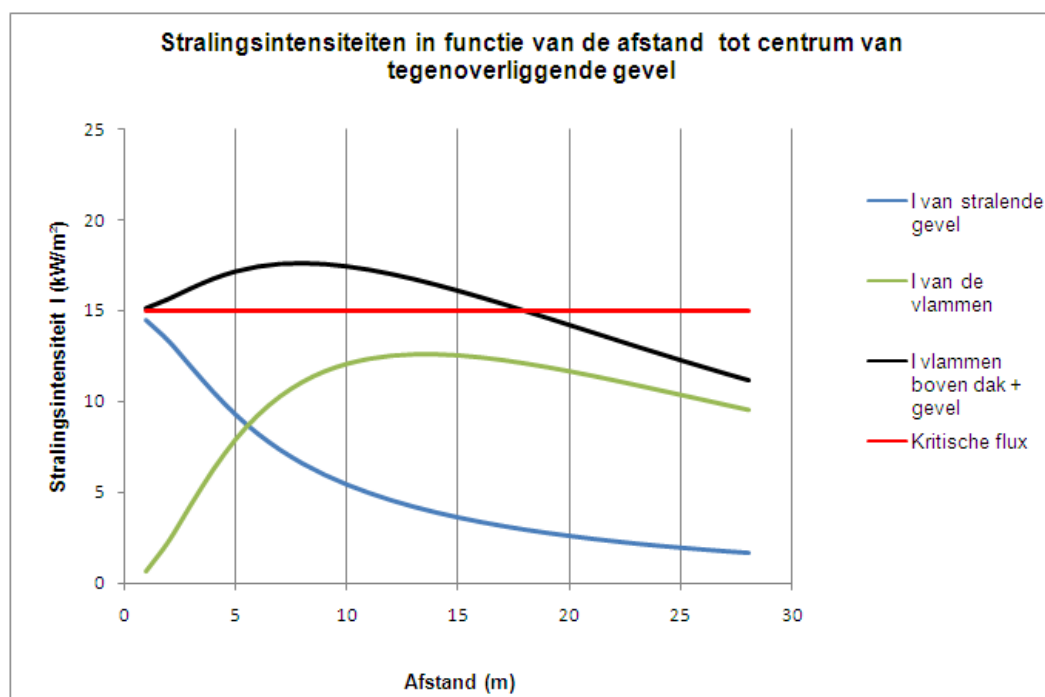


fig. 7.7 Stralingsintensiteit vanaf voorgevel met vlammen boven dak op gevel van tegenoverliggend gebouw.

Invloed van de straling van vlammen boven het dak op het centrum van een tegenoverliggende gevel neemt in een eerste fase toe naar mate de afstand tussen de gebouwen groter wordt tot een maximale waarde. Daarna neemt de ontvangen stralingsintensiteit geleidelijk af.

In het hier uitgewerkte voorbeeld verhoogd de benodigde tussenafstand van < 1m tot **18m**.

7.2.2 Bepaling van benodigde tussenafstand voor straling afkomstig van de achtergevel :

Op analoge manier wordt de benodigde tussenafstand voor de achtergevel bepaald. De resultaten zijn weergegeven in fig. 7.8.

Hieronder worden de bekomen resultaten samengevat voor de benodigde tussenafstanden gemeten voor straling ontvangen op het centrum van een tegenoverliggende gevel

Methode	Benodigde tussenafstanden (m)		
	Voorgevel		Achtergevel
Bijlage 6	Zonder vlammen boven dak	4,0	11,0
Bijlage 6 + §6.4.2	Met vlammen boven dak	18,0	28,0

De stralingsintensiteit van de vlammen boven het dak op het centrum van een tegenoverliggende evenwijdige gevel is voor dicht bijeenstaande gebouwen laag. De stralingsintensiteit neemt geleidelijk toe tot een maximale waarde van ca.12,6 kW/m² op een afstand van ca. 14m.

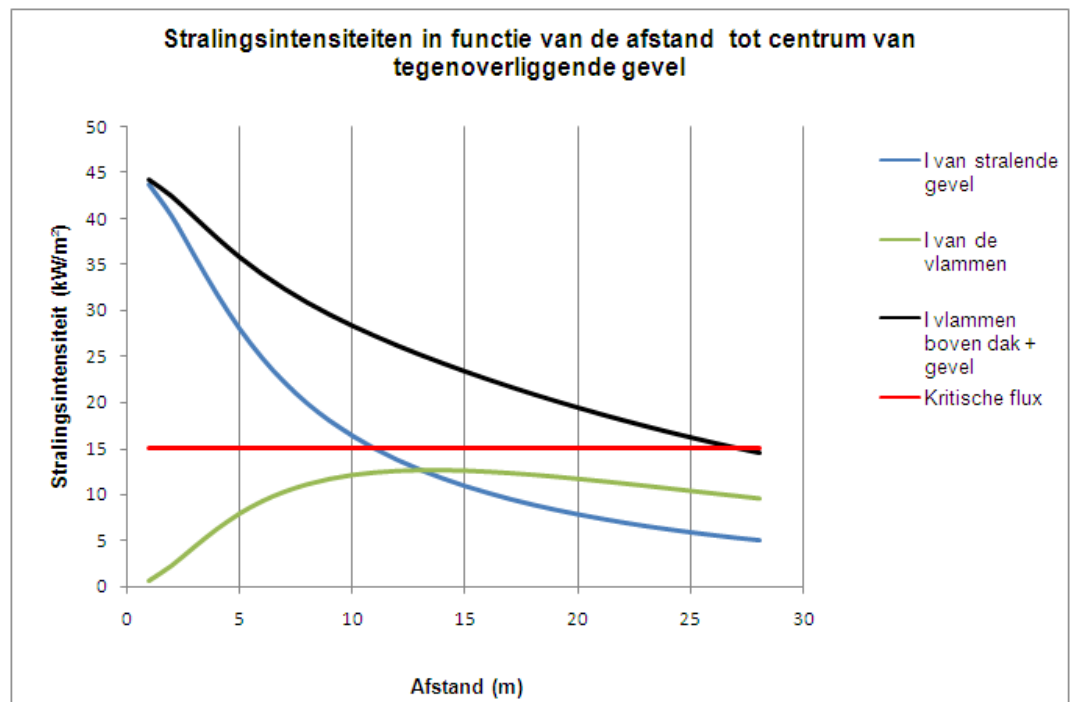


fig. 7.8 Stralingsintensiteit vanaf achtergevel met vlammen boven dak op centrum gevel van tegenoverliggend gebouw.

Voor straling van vlammen die uitslaan boven het dak is het meest kritieke punt niet het centrum van de tegenover liggende gevel maar het hoogste punt van de gevel waar de zicht factor het grootst is.

Voor een punt op de gevel aan de bovenrand is het aandeel van de ontvangen straling van de vlammen boven het dak aanzienlijk groter. De benodigde tussenafstand is ca. **30m**. (fig. 7.9)

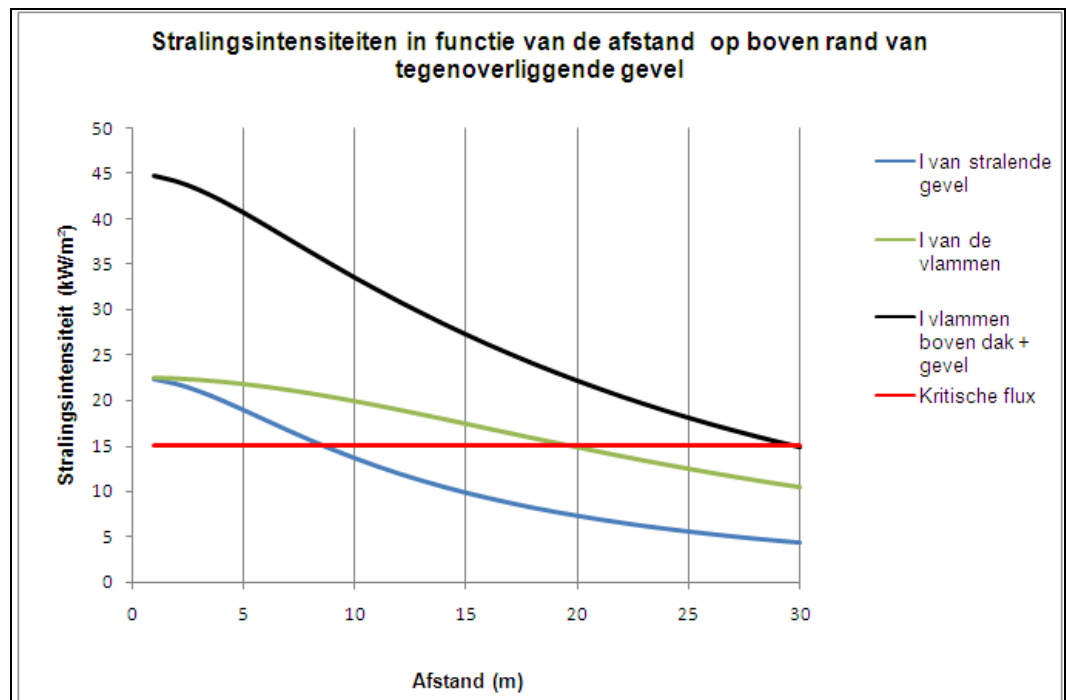


fig. 7.9 Stralingsintensiteit vanaf achtergevel met vlammen boven dak op boven rand gevel van tegenoverliggend gebouw

7.2.3 Straling van de vlammen boven het dak op het dak van een naastliggend gebouw.

Voor het stralend oppervlak zoals hierboven bepaald, wordt met vergelijking (3.14) de invallende stralingsintensiteit op de middellijn van het dak van een tegenoverliggend gebouw bepaald. De benodigde tussenafstand bedraagt ca. 8m indien 15 kW/m^2 als kritische ontstekingsflux wordt aangenomen. Voor roofing materiaal waarvoor een kritische ontstekingsflux vermeld wordt van ca. $12,5 \text{ kW/m}^2$ zou een tussenafstand van 12m noodzakelijk zijn. [14]

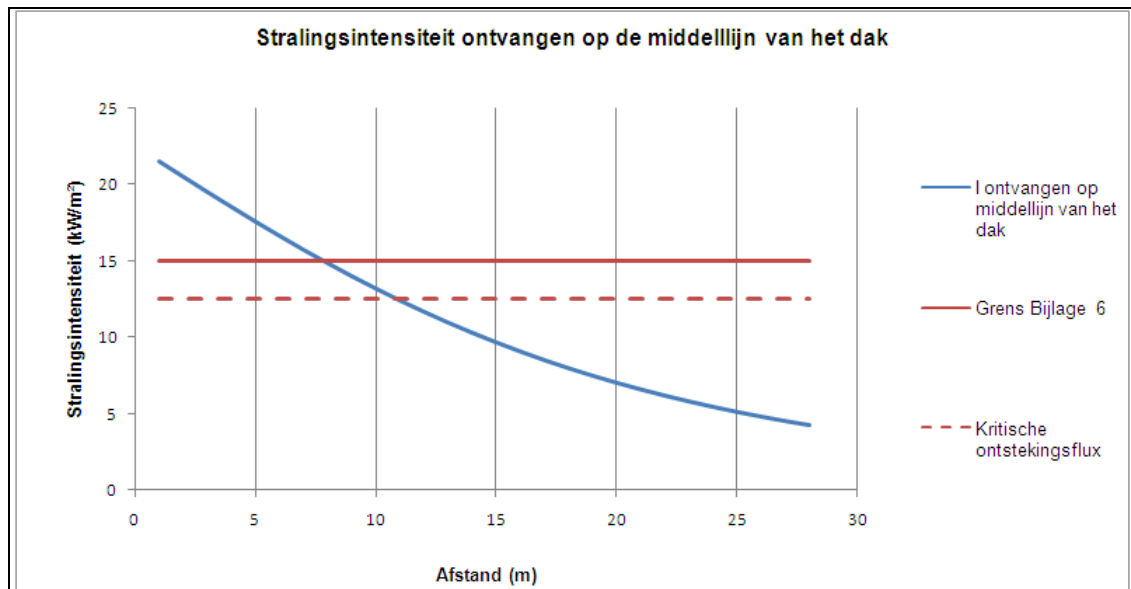
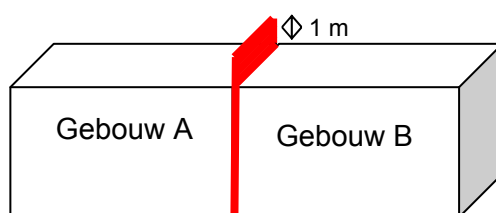


fig. 7.10 Straling ontvangen op het dak in functie van de afstand tot de vlammen.

7.3 Geval 3 - Vlammen boven het dak, naast elkaar liggende compartimenten



Uitgangspunten:

- Het magazijn, gebouw is opgetrokken uit muren met een brandweerstand van REI120
- De gebouwen zijn opslagplaatsen en vallen volgens Bijlage 6 onder Klasse C, dit betekent dat de brandbelasting $Q_{fi,d}$ in het gebouw groter is dan 900 MJ/m^2 .
- De gebouwen zijn even hoog.
- Gebouwen A en B zijn gesprinklerd, maar de sprinklerinstallatie in het brandende gebouw A faalt.
- De dakbedekking behoort tot de klasse Broof (t1)
- Volgens Bijlage 6 dient de compartimentswand ten minste 1 m boven het

dakoppervlak uit te steken.

- De lengte en hoogte van de gemeenschappelijke gevel worden gelijkgenomen aan 50m x 8m (idem aan gevel van geval 1 en 2 hierboven zonder openingen)
- Er wordt verondersteld dat het dak van gebouw A begeeft.
- Voor de berekening van de grootte van de bronstraler (vlammen boven het dak) worden de aannames zoals in geval 2 berekend overgenomen (HRR: 1250 kW/m²). Dit betekent dat de vlammen een hoogte van 25,5 m hebben boven het dak en dat de breedte van de vlammen 50m is.
- De uitgezonden stralingsintensiteit van de vlammen I_{EC} wordt gelijk aan 45 kW/m² verondersteld.

De stralingsintensiteit die op het aangrenzende dak invalt wordt berekend.

Er dient rekening gehouden te worden met het opstaande muurtje tussen de gebouwen.

De manier hoe dit gebeurt is beschreven in hoofdstuk 6 aan de hand van fig. 6.16.

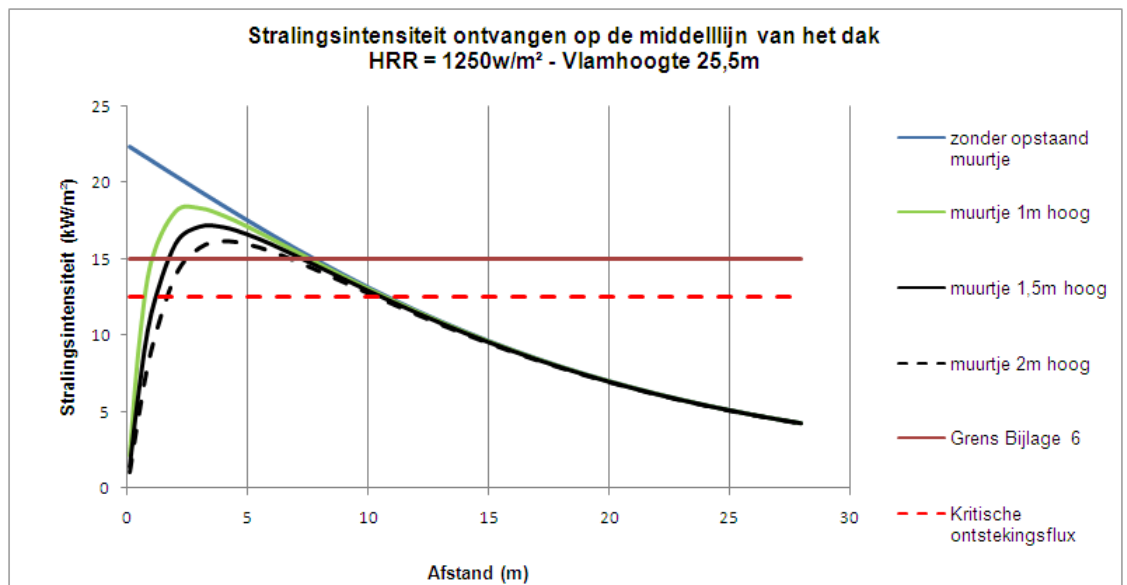


fig. 7.11 Stralingsintensiteit ontvangen op aangrenzend dak, voor verschillende tussenmuur hoogtes bij een HRR van 1250 kW/m²

De berekening wordt ook uitgevoerd met een HRR van 630 kW/m² deze leidt tot een vlamlengte van ca. 16,5 m (Tabel 6.2) gecorrigeerd volgens Tabel 6.3 levert dit een hoogte boven het dak van 14,5m. De bijhorende ontvangen stralingsintensiteiten zijn voorgesteld in fig. 7.12.

Indien de vlamlengte volgens Heskestad wordt berekend, wordt een vlamlengte van 10,2m bekomen. Dit leidt tot een vlamhoogte van ca. 8,2m boven het dak. In dit geval volstaat het muurtje van 1m hoog om de stralingsintensiteit op het dak te beperken tot 15 kW/m². (fig. 7.13)

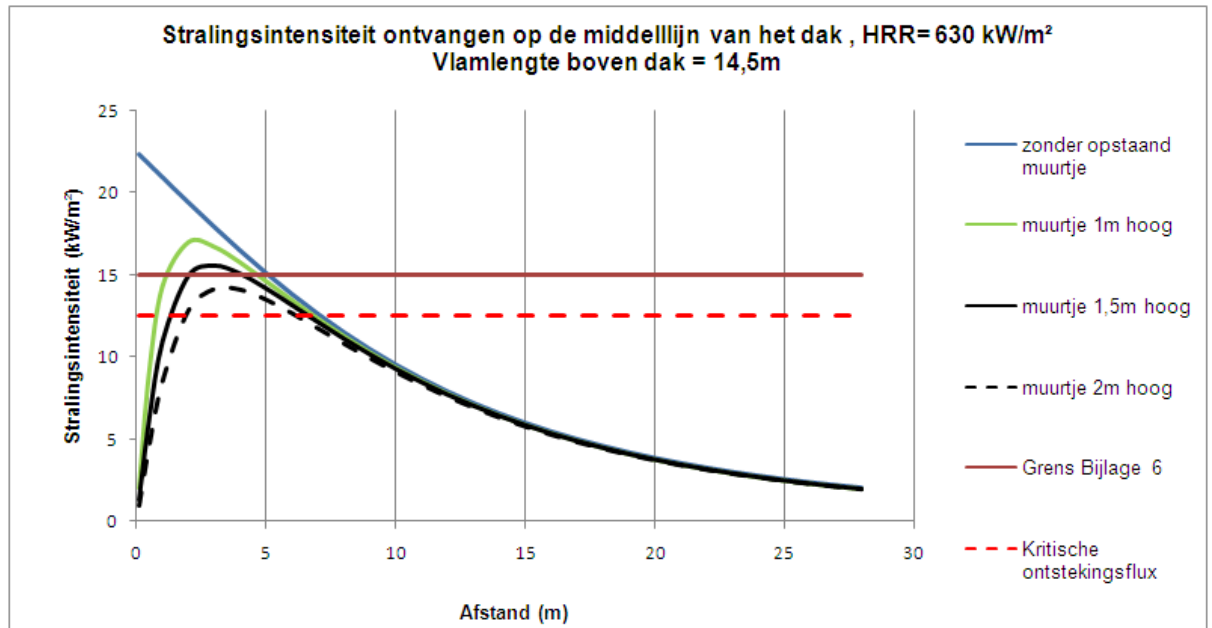


fig. 7.12 Stralingsintensiteit ontvangen op het dak bij een verondersteld HRR van 630 KW/m², vlamlengte van 14,5m met verschillende hoogtes voor de tussenmuur.

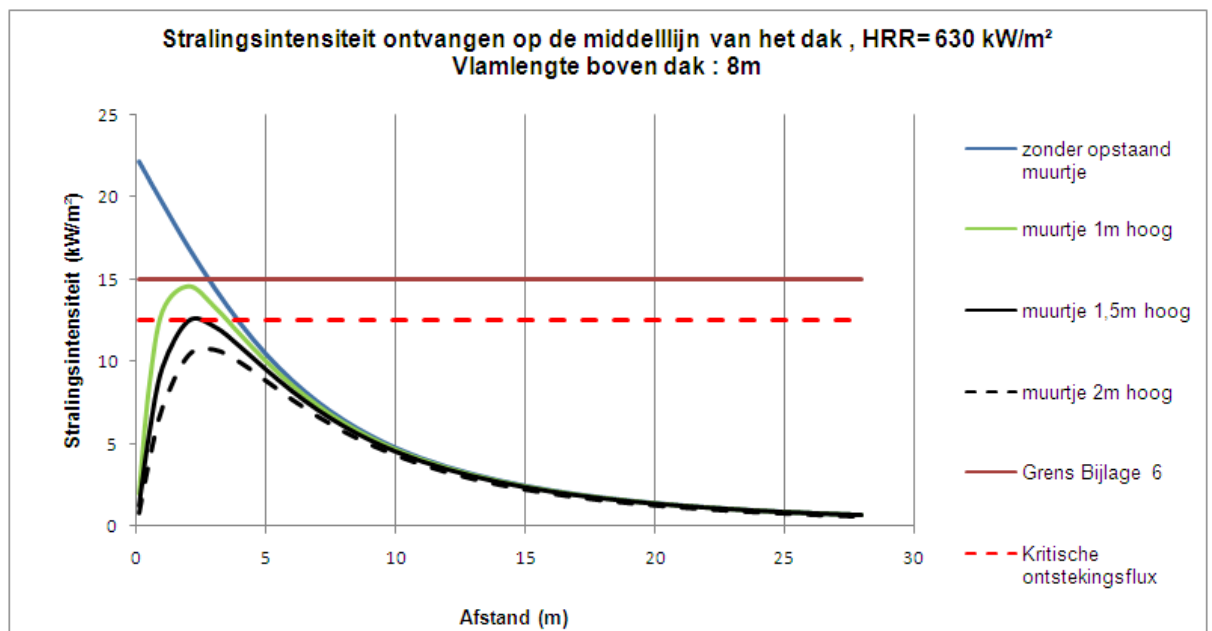


fig. 7.13 Stralingsintensiteit ontvangen op het dak, HRR = 630 kW/m², vlamlengte bepaald volgens Heskstad 8m, verschillende hoogtes voor opstaand muurtje tussen compartimenten

Het opstaand muurtje biedt slechts over een beperkte afstand bescherming. Vanaf vlamhoogtes van meer dan 8m hoogte boven het dak, biedt een muurtje van 1m hoogte onvoldoende bescherming.

8 Conclusies en aanbevelingen

Volgende conclusies worden uit dit werk afgeleid.:

Evaluatie van beschikbare methodes die de benodigde afstanden tussen gebouwen bepalen.

- Parameters die een belangrijke invloed hebben op de benodigde afstanden zijn
 - o Aangenomen uitgezonden stralingsintensiteiten
 - o Bepaling van de omvang van het stralend oppervlak
 - o Kritische ontstekingsflux van de blootgestelde materialen

Hieronder wordt een overzicht van de verschillende aannames in de onderzochte methodes opgesomd.

Tabel 8.1 Overzicht van de aannames volgens de verschillende methoden voor een gevel van gebouw met brandweerstand EI60 en openingen.

Gevel van brandend gebouw met brandweerstand EI60, Percentage openingen $\alpha = A_v/A_E$			
Methode	Uitgezonden stralingsintensiteit	Oppervlakte van de straler A_E	Kritische ontstekingsflux
Bijlage 6	$\alpha \times 170 \text{ kW/m}^2$	Omsluit de openingen, mag dus gelijk zijn aan de oppervlakte van de gevel	15 kW/m^2
NEN 6068	45 kW/m^2	Breedte x (Hoogte/2) van de gevel	15 kW/m^2
BRE 187	167 kW/m^2 (beperkte ventilatie)	Bepaald door de afmetingen in Tabel 4.1 die net groter is dan kleinste omschreven rechthoek	$12,5 \text{ kW/m}^2$
NFPA 80A	Afhankelijk van de strengheid : Licht : $89,3 \text{ kW/m}^2$ Matig : $178,6 \text{ kW/m}^2$ Streng : $357,1 \text{ kW/m}^2$ Gecorrigeerd afhankelijk van $\alpha \Rightarrow$ Tabel 4.4	Oppervlakte van de gevel	$12,5 \text{ kW/m}^2$
Collier	$\alpha \times I_{EC} \text{ kW/m}^2$ I_{EC} bepaald door temperatuur in compartiment	Kleinst mogelijke omschreven rechthoek	I_{krit} kan vrij ingesteld worden
Barnett	$\alpha \times I_{EC} \text{ kW/m}^2$ I_{EC} bepaald door temperatuur in compartiment	Kleinst mogelijke omschreven rechthoek	I_{krit} kan vrij ingesteld worden

Tabel 8.2 Overzicht van de aannames volgens de verschillende methoden voor een gevel zonder brandweerstand (openingen.= 100% verondersteld)

Gevel van brandend gebouw zonder brandweerstand Percentage openingen $\alpha=100\%$			
Methode	Uitgezonden stralingsintensiteit	Oppervlakte van de straler A_E	Kritische ontstekingsflux
Bijlage 6	45 kW/m ²	B x H van de gevel	15 kW/m ²
NEN 6068	45 kW/m ²	Breedte x (Hoogte/2) van de gevel	15 kW/m ²
BRE 187	83,7 kW/m ² - volledig geventileerde brand	Bepaald door de afmetingen in Tabel 4.1 die net groter is dan kleinste omschreven rechthoek (waarden tussen haakjes)	12,5 kW/m ²
NFPA 80A	Afhankelijk van de strengheid : Licht : 89,3 kW/m ² Matig : 178,6 kW/m ² Streng : 357,1 kW/m ² Gecorrigeerd afhankelijk van $\alpha \Rightarrow$ Tabel 4.4	Oppervlakte van de gevel	12,5 kW/m ²
Collier	$\alpha \times I_{EC}$ kW/m ² I_{EC} bepaald door temperatuur in compartiment	Kleinst mogelijke omschreven rechthoek	I_{krit} kan vrij ingesteld worden
Barnett	$\alpha \times I_{EC}$ kW/m ² I_{EC} bepaald door temperatuur in compartiment	Kleinst mogelijke omschreven rechthoek	I_{krit} kan vrij ingesteld worden

- De methodes volgens NFPA 80A, Collier, Barnett leiden tot heel hoge benodigde tussenafstanden voor het geval de gevel als 100% opening (niet-brandwerend) wordt beschouwd. Dit is een gevolg van de stralingsintensiteit die niet wordt aangepast naar een situatie van een externe brand.
Volgens Bijlage 6 dient in dit geval een uitgezonden stralingsintensiteit van 45 kW/m² aangenomen te worden. Dit stemt overeen met de temperaturen die verkregen worden bij een externe brand.
- Methodes volgens NFPA 80A en Collier houden rekening met uitslaande vlammen door verticale openingen door een extra afstand in rekening te brengen van respectievelijk 1,52 m en 2 m.
- Vereiste tussenafstanden vermeld in Bijlage 6, zijn berekend voor één gevel dimensie van 60m x 12m. Ter hoogte van openingen kunnen lokaal hogere tussenafstanden noodzakelijk zijn om onder de kritische ontstekingsflux te blijven.
- Voor gevels zonder brandweerstand wordt de totale gevel als straler beschouwd. Dit leidt volgens Bijlage 6 tot strengere eisen voor gevels met afmetingen kleiner dan 60m x 12m
- Volgens Bijlage 6 is een kritische stralingsflux van 15 kW/m² aangenomen voor de blootgestelde materialen. Voor roofing materialen wordt in de literatuur echter 12,5 kW/m² vermeld [14].

Invloed van de straling afkomstig van vlammen die uitslaan boven het dak.

Er zijn 3 methoden uitgewerkt ter bepaling van de impact op de benodigde tussenafstanden afkomstig van uitslaande vlammen boven het dak.

Ook hier zijn de belangrijkste parameters :

- de uitgezonden stralingsintensiteiten,
- de bepaling van de omvang van het stralend oppervlak,
- de kritische ontstekingsflux van de blootgestelde materialen.

De eerste methode lijkt de meest aangewezen om de impact op de benodigde tussenafstanden ten gevolge van de stralingsintensiteit afkomstig van uitslaande vlammen te bepalen.

De uitgezonden stralingsintensiteit is in deze methode sterk afhankelijk van de temperatuur van de vlammen. Temperaturen van 550°C, 680°C en 850°C zijn gebruikt voor de berekeningen. 550°C stemt overeen met de temperatuur aan de rand van de zichtbare vlam. 680°C is een temperatuur die bereikt wordt indien de brandcurve voor een externe brand wordt gebruikt. 850°C is gebruikt voor materialen waarvan aangenomen kan worden dat ze tot hogere vlamtemperaturen zullen leiden, zoals bepaalde kunststoffen.

De uitslaande vlammen boven het dak zijn gedimensioneerd door het bepalen van de HRR en de oppervlakte van de brandhaard.

De HRR is bepaald volgens aanbevelingen in [13]. Voor gestapelde goederen tussen 2m en 4m die niet gesprinklerd zijn, is de hoogste ontwerp HRR voorgeschreven volgens vergelijking (6.4).

Tabel 8.3 geeft weer hoe de relatie gelegd wordt tussen de rechthoekige oppervlakte van de brandhaard en de equivalente diameter.

Tabel 8.4 geeft voor verschillende HRR waarden en oppervlaktes van de brandhaard de vlamlengtes weer volgens de formule van Heskestad, die rekening houdt met een cirkelvormige brandhaard en volgens de correlatie van Hasemi & Nishihata die opgesteld is voor een rechthoekig brandhaard oppervlak.

Tabel 8.3 Relatie diameter / oppervlakte en rechthoek afmetingen

Diameter (m)	Oppervlakte (m ²)	Rechthoek afmetingen A x B (m ²)
20	314	10 x 30
30	707	15 x 50
40	1250	20 x 60

Tabel 8.4 Vergelijking vlamlengtes

Q (kW/m ²)	D (m)	A (m)	B (m)	Q* _{mod}	I/A	L (m) (Hasemi & Nishihata)	L (m) (Heskestad)
630	20	10	30	0,18	1,5	15,0	10,0
630	30	15	50	0,15	1,1	16,5	11,0
630	40	20	60	0,13	1,1	22,0	12,0
1250	20	10	30	0,36	2,1	21,0	19,0
1250	30	15	50	0,29	1,9	28,5	24,0
1250	40	20	60	0,25	1,7	34,0	28,0
2500	20	10	30	0,72	3,5	35,0	32,0
2500	30	15	50	0,59	3,0	45,0	42,0
2500	40	20	60	0,51	2,6	52,0	50,5
3750	20	10	30	1,08	4,3	43,0	41,0
3750	30	15	50	0,88	3,8	57,0	54,0
3750	40	20	60	0,76	3,6	72,0	66,0

Tabel 8.5 Vlamhoogte boven dak ifv brandende stapelhoogte

Brandende stapelhoogte (m)	HRR (kW/m ²)	Vlamhoogte boven het dak (m)
1	630	L* - 2
2	1250	L* - 3
3	2500	L* - 4
4	3750	L* - 5

- De invloed van de stralingsintensiteit is vooral afhankelijk van de hoogte van de vlammen en de aangenomen vlamtemperatuur.
- Voor vlamtemperaturen van 550°C zijn, zelfs bij heel hoge vlammen tot ca. 60 m, praktisch geen extra tussenafstanden vereist.
- De tussenafstanden vereist bij vlamtemperaturen van 850°C zijn meer dan het dubbel dan die vereist met vlammen van 680°C.

De extra straling die, ten gevolge van uitslaande vlammen boven het dak, ontvangen wordt tegenover het brandend gebouw, is hoogst aan de bovenrand van de tegenoverliggende gevel.

Bij een vlamtemperatuur van 680°C, een HRR van 1250 kW/m² en een oppervlakte van de brandhaard van ca. 15 m x 50 m kan de vlamhoogte boven het dak 25,5m bedragen.

Volgens Bijlage 6 dient de invallende stralingsintensiteit < 15 kW/m² te zijn loodrecht tegenover het centrum van de brandende gevel.

Ten gevolge van de straling van vlammen afkomstig boven het dak dient, voor het geval de brandende gevel geen brandweerstand heeft, een extra tussenafstand van 17m in rekening gebracht te worden.

- Stralingsintensiteiten van vlammen die boven het dak van een brandend gebouw uitkomen, kunnen leiden tot hoge stralingsintensiteiten op het dak van een naburig gebouw.

De kritische stralingsflux voor roofing materialen is volgens waarden in de literatuur [14] ca. 12,5 kW/m². Dit is lager dan de grenswaarde opgelegd in Bijlage 6 en leidt tot hogere benodigde tussenafstanden. In boven vermeld geval leidt dit tot 12m benodigde tussenafstand.

De tweede uitgewerkte methode, namelijk die volgens Lees [4] waarbij het vlammenfront als een rechthoek wordt beschouwd, geeft aan dat de benodigde tussenafstanden bepaald met de methode van Lees voor een HRR van 630 kW/m² en 1250 kW/m² tussen de waarden, bekomen met de 1^{ste} methode, met een vlamtemperatuur van 680°C en 850°C inliggen.

De benodigde tussenafstanden stijgen naarmate de diameter en de HRR van de brandhaard stijgen. De stijging is sterker met de methode van Lees. Vanaf een HRR van 2500 kW/m² en een diameter van 30m zijn de benodigde tussenafstanden groter dan deze bepaald volgens methode 1 met vlamtemperaturen van 850°C.

De uitgezonden stralingsintensiteit per oppervlakte eenheid is sterk afhankelijk van de grootte van het stralend oppervlak. Met hogere vlamlengtes, zoals berekend met de correlatie van Hasemi en Nishihata, worden lagere uitgezonden stralingsintensiteiten per oppervlakte eenheid bekomen, die hier meer realistisch lijken.

Uiteindelijk kan gesteld worden dat deze methode een algemene conservatie benadering mogelijk maakt.

De methode volgens Shokri en Beyler is niet geschikt bevonden. De voorgeschreven uitgezonden stralingsintensiteit neemt af met toenemende diameter van de brandhaard. Dit is te wijten aan het type brandstof, nl. kerosine en diesel, waarvoor de vergelijking (6.9) is opgesteld. Voor grote oppervlaktes van de brandhaard kan dit, voor andere types brandstoffen, leiden tot een onderschatting van de uitgezonden stralingsintensiteit en daarmee ook een onderschatting van de benodigde tussenafstanden. Het oppervlak van de brandhaard wordt cirkelvormig verondersteld en de vorm van het stralend oppervlak cilindrisch. Aanpassingen voor een rechthoekige brandhaard zijn niet mogelijk.

Aangezien weinig experimentele data beschikbaar zijn over grote externe branden (niet-plasbranden) is een validering van bepaalde bekomen resultaten en aangenomen waarden, zoals vlamlengtes, temperaturen van de vlammen en uitgezonden stralingsintensiteiten, ten zeerste wenselijk.

Momenteel loopt in Frankrijk een groot onderzoeksproject "Flumilog" waar onder andere de stralingsintensiteiten bij branden in opslagplaatsen gemeten worden. Resultaten hiervan waren voor dit werk niet beschikbaar.

Bijlage A

Bij de uitwerking van deze gevalstudies wordt verondersteld dat het ontwerp is gebeurd volgens de voorschriften van Bijlage 6 industriegebouwen.

Geval studie1:

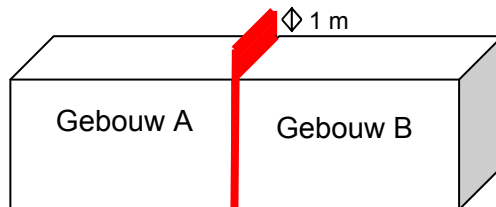


fig. A.1 Situatieschets geval studie 1

- Het magazijn, gebouw is opgetrokken uit muren met een brandweerstand van REI120
- De gebouwen zijn opslagplaatsen en vallen volgens Bijlage 6 onder Klasse C, dit betekent dat de brandbelasting $Q_{fi,d}$ in het gebouw groter is dan 900 MJ/m^2 .
- De gebouwen zijn aanpalend aan elkaar en er zijn geen openingen in de gevels
- De gebouwen zijn even hoog.
- Gebouwen A en B zijn gesprinklerd
- De dakbedekking behoort tot de klasse Broof (t1)
- De opgeslagen goederen in gebouw A hebben een gemiddelde HRR $> 1000 \text{ kW/m}^2$
- Onder bovengemelde condities mag volgens Bijlage 6 de tussenafstand 0m zijn en dient de compartimentswand ten minste 1 m boven het dakoppervlak uit te steken.
- Er wordt geen rekening gehouden met windinvloeden

Stap 1 : Type brand

De brandscenario's die kunnen leiden tot vlamuitbreiding naar naastliggende gebouwen zullen meestal te maken hebben met aanwezigheid van grote brandlasten.

Ook de temperatuur van de geproduceerde vlammen speelt een belangrijke rol want deze bepaalt mede de hoeveelheid straling die vanuit de brand uitgezonden wordt.

Koolwaterstofbranden hebben meestal hogere vlamtemperaturen dan cellulose branden.

Het al of niet aanwezig zijn van vlieg vuur beïnvloedt de kans op vlamuitbreiding naar een naastliggend gebouw.

Stap 2 : Plaats van de brand

Er wordt verondersteld dat de brand in gebouw A tot volledige ontwikkeling komt (bv. doordat het automatisch sprinkler systeem niet heeft gewerkt). Indien het dak van gebouw A het begeeft, kunnen vlammen door het dak komen.

Indien de plaats van bezwijken ter hoogte is van de scheidingswand met het andere compartiment zal dit tot de hoogste straling leiden op het dak van het naastliggende

compartiment.

Stap 3 : Mogelijke brandgevaren

Mogelijk gevaar is brandoverslag door ontsteking van de dakhuid.

De kritische ontstekingsflux van de toegepaste materialen op het dak dient daarvoor hoger te zijn dan het invallende stralingsniveau.

Stap 4 : Systemen die de branduitbreiding beïnvloeden

De aanwezigheid van voldoende bluswater is een cruciale factor voor de verdere ontwikkeling van de brand met het oog op het koelen van het dakoppervlak van gebouw B indien de dakmaterialen een $I_{krit} \leq I$ hebben.

Daarnaast is de toegankelijkheid voor de brandweer belangrijk. In bovenstaand omschreven geval is er geen ruimte tussen de gebouwen. Indien de vlammen boven het dak uitkomen is het moeilijk om het naastliggende gebouw (compartiment) te beschermen door afkoeling.

Bovengenoemde factoren bepalen of de interventie van de brandweer succesvol kan zijn.

Stap 5 : Reactie van de aanwezigen

Hier houden we rekening met een trage reactie van de brandweerdiensten door bvb. verkeersproblemen. Dit wil zeggen dat die nog niet aanwezig zijn op het ogenblik dat het dak van gebouw A het begeeft.

Stap 6: Gebeurtenissen boom

De gebeurtenissen boom die rekening houdt met alle factoren die eerder opgenoemd zijn, wordt opgesteld. (fig. A.2)

De boom start met de veronderstelling dat de brand in gebouw A volledig ontwikkeld is en dat het dak het begeeft.

Tak 1 : geeft weer waar het dak begeeft of waar de vlammen door het dak zullen komen.

Indien dit langs de zijde van het naastliggende gebouw of compartiment is, worden hoger stralingsintensiteiten op het dak van het naastliggend gebouw verwacht.

Tak 2 : De aanwezigheid van vliegvuur verhoogt de kans op ontsteking van het naastliggend gebouw.

Tak 3 : De interventie van de brandweer kan geslaagd zijn of niet. Bv. door onvoldoende bluswater of door moeilijke toegankelijkheid.

Tak 4 : Indien de kritische ontstekingsflux van de dakbedekkingsmaterialen lager is dan de ontvangen stralingsintensiteit is de kans groot dat er ontsteking optreedt.

Tak 5 : Afhankelijk van de brandreactie eigenschappen, met name de vlamuitbreidingssnelheid bij de ontvangen stralingsintensiteit van het toegepaste dakbedekkingsmateriaal zal de vlamuitbreiding beperkt zijn of niet.

Volontwikkelde brand in gebouw A	Dak begeeft langs zijde van naastliggende compartiment	Vliegvuur	Succesvolle brandweer interventie	$I < I_{krit}$ (*) (ontsteking van dak)	Vlamuitbreiding onder controle	Waarschijnlijkheid	Brand scenario
1	0,25 ja	0,5 ja	0,7 nee	0,95 ja	0,2 ja	W 0,0166250	S1
					0,8 nee	0,0665000	S2
			0,3 ja	0,05 nee		0,0043750	S3
						0,0375000	S4
		0,5 nee	0,7 nee	0,8 ja	0,2 ja	0,0140000	S5
					0,8 nee	0,0560000	S6
			0,3 ja	0,2 nee		0,0175000	S7
						0,0375000	S8
	0,75 nee	0,5 ja	0,2 nee	0,6 ja	0,3 ja	0,0135000	S9
					0,7 nee	0,0315000	S10
			0,8 ja	0,4 nee		0,0300000	S11
						0,3000000	S12
		0,5 nee	0,2 nee	0,4 ja	0,3 ja	0,0090000	S13
					0,7 nee	0,0210000	S14
			0,6 nee	0,6 nee		0,0450000	S15
						0,3000000	S16

fig. A.2 Gebeurtenissen boom voor gevalstudie 1

(*) I_{krit} is zal verschillen voor het geval er vliegvuur aanwezig is of niet.

Stap 7 Waarschijnlijkheden toekennen

Voor elke tak dient de waarschijnlijkheid van optreden geschat te worden.

De hier toegekende waarschijnlijkheden zijn op basis van logisch redeneren toegekend.

- o Kans dat het dak van gebouw A begeeft langs de zijde van gebouw B : 0,25
- o Kans dat het dak van gebouw A begeeft langs een andere zijde : 0,75
- o Kans dat vliegvuur aanwezig is of niet : 0,5
- o Kans op geslaagde brandweerinterventie indien dak van gebouw A begeeft langs zijde van gebouw B : 0,3
- o Kans op niet geslaagde brandweerinterventie indien dak van gebouw A begeeft langs zijde van gebouw B : 0,7
- o Kans op geslaagde brandweerinterventie indien dak van gebouw A begeeft langs andere zijden : 0,8
- o Kans op niet geslaagde brandweerinterventie indien dak van gebouw A begeeft

langs andere zijden : 0,2

- o Kansen dat kritische ontstekingsflux van het toegepaste dakbedekkingsmateriaal kleiner is dan de ontvangen stralingsfluxen zijn in de opgestelde gebeurtenissenboom terug te vinden. Enkele beschouwingen:
 - Vlieg vuur kan optreden als ontstekingsvlam indien het terechtkomt op het naastliggende dak. De kritische ontstekingsflux van de toegepaste materialen is lager indien vlieg vuur aanwezig is.
 - De ontvangen stralingsintensiteit zal hoger zijn indien het dak van gebouw A begeeft langs de zijde van gebouw B

De waarschijnlijkheid van elk scenario is bepaald door alle waarschijnlijkheden langs het pad van het scenario, te vermenigvuldigen.

Waarschijnlijkheid	Brand scenario	Gevolgen - Verlies (\$)	Risico W x G (\$)	Ranking
W		G	R	
0,0166250	S1	50.000	831	-
0,0665000	S2	200.000.000	13.300.000	1
0,0043750	S3	0	0	-
0,0375000	S4	0	0	-
0,0140000	S5	50.000	700	-
0,0560000	S6	200.000.000	11.200.000	2
0,0175000	S7	0	0	-
0,0375000	S8	0	0	-
0,0135000	S9	50.000	675	-
0,0315000	S10	200.000.000	6.300.000	3
0,0300000	S11	0	0	-
0,3000000	S12	0	0	-
0,0090000	S13	50.000	450	-
0,0210000	S14	200.000.000	4.200.000	4
0,0450000	S15	0	0	-
0,3000000	S16	0	0	-

fig. A.3 Waarschijnlijkheden, gevolgen en risico's voor gevalstudie 1

Stap 8 Gevolgen toekennen

Om de ranking te kunnen maken dienen waarden in rekening gebracht te worden. Hiertoe dienen de verliezen ingeschat te worden. Bij wijze van voorbeeld zijn de gevolgen voor elk scenario toegekend op basis van de vermelde verliezen in het uitgewerkte voorbeeld in de norm ISO/TS 16733, bijlage C [12].

Er is enkel rekening gehouden met de bijkomende gevolgen indien de brand uitbreidt naar een naastliggend gebouw.

Gevolgen voor scenarios 1, 5, 9, 13 waar de vlamuitbreiding beperkt is, wordt de schade geschat op 50.000\$.

Voor scenario's waar de vlamuitbreiding niet onder controle is wordt een maximale schade

van 200.000.000\$ aangenomen. Hierin is het verlies van eigendom en het verlies ten gevolge van bedrijfscontinuïteit verrekend.

Stap 9 Rangschikking van de risico's

De relatieve risico's van een scenario worden bepaald door de gevolgen voor dat scenario (bepaald in stap 8) te vermenigvuldigen met de waarschijnlijkheid van optreden van een scenario (bepaald in stap 7). (fig. A.3)

Stap 10 Uiteindelijke keuze en documentatie

Voor het berekenen van de benodigde tussenafstanden worden brandscenarios met hoogste ranking, nl. S2 en S6 vooropgesteld.

Deze scenario's gaan ervan uit dat het dak van gebouw A begeeft langs de zijde van tegenoverliggende gebouw B. Dat er vliegvuur aanwezig is waar door de kritische stralingsflux voor "piloted ignition" wordt toegepast. Dat de brandweer niet succesvol kan optreden en dat ontsteking van het dak optreedt.

Gevalstudie 2:

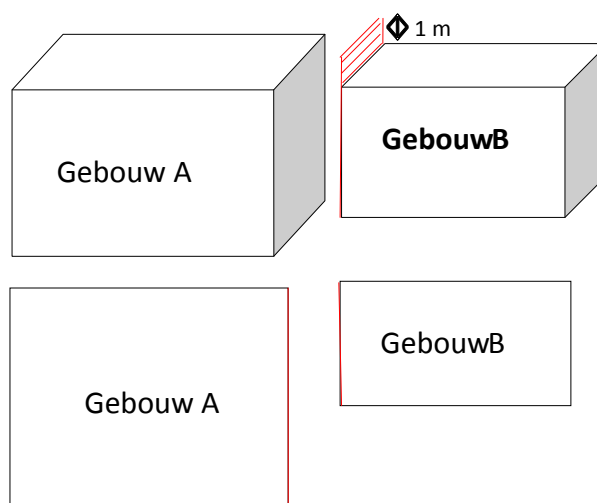


fig. A.4 Situatieschets voor gevalstudie 2 –
vooraanzicht en bovenaanzicht

- Het industriegebouw is opgetrokken uit muren met een brandweerstand van EI120
- Het gaat hier om een productiehal die volgens Bijlage 6 onder klasse C valt, dit betekent dat de brandbelasting $Q_{fi,d}$ in het gebouw groter is dan 900 MJ/m^2 .
- De gebouwen zijn evenwijdig met elkaar, waarbij de gevel van gebouw A verder doorloopt (fig. A.4).
- De gebouwen zijn even hoog.
- Gebouwen A en B zijn niet gesprinklerd.
- De dakbedekking behoort tot de klasse Broof (t_1)
- Onder bovengemelde condities dient volgens Bijlage 6 de tussenafstand 4 m te zijn.

- Er wordt geen rekening gehouden met windinvloeden

Stap 1 : Type brand

Er wordt uitgegaan van een volontwikkelde brand in gebouw A. De brandlast in gebouw A is hoger dan 900 MJ/m².

Het al of niet aanwezig zijn van vliegvuur beïnvloedt de kans op vlamuitbreiding naar een naastliggend gebouw.

Stap 2 : Plaats van de brand

De gevel van gebouw A langs de zijde van gebouw B heeft een brandweerstand EI120. Kans bestaat dat na 120min deze wand begeeft. De wand dient volgens bijlage 6 zo ontworpen te zijn dat de kans groot is dat die naar binnen toe instort.

Indien de wand begeeft is de kans groot dat ook een deel van het dak het begeeft langs deze zijde. Normaal zal eerst het dak begeven en al dan niet de muur mee omtrekken.

Stap 3 : Mogelijke brandgevaren

Het gevaar is ontsteking van het dak of de zijgevel van gebouw B door straling afkomstig van gebouw A.

De kritische ontstekingsflux van de toegepaste blootgestelde materialen op het dak en op de gevel loodrecht op gebouw A van gebouw B dient hoger te zijn dan de ontvangen stralingsintensiteit opdat geen ontsteking zou optreden.

Stap 4 : Systemen die de branduitbreiding beïnvloeden

De aanwezigheid van voldoende bluswater is een cruciale factor voor de verdere ontwikkeling van de brand.

Stap 5 : Reactie van de aanwezigen

Hier houden we rekening met een trage reactie van de brandweerdiensten. Dit wil zeggen dat die nog niet aanwezig zijn op het ogenblik dat het dak van gebouw A het begeeft.

Stap 6: Gebeurtenissen boom

De boom start met de veronderstelling dat de brand in gebouw A volledig ontwikkeld is en dat de wand langs de zijde van gebouw B na 120min instort samen met een deel van het dak.

Tak 1 : Geeft weer of de wand naar binnen toe of naar buiten toe instort. Indien de wand naar buiten toe instort worden hogere stralingsintensiteiten op het naastliggend gebouw verwacht.

Tak 2 : De aanwezigheid van vliegvuur verhoogt de kans op ontsteking van het naastliggend gebouw.

Tak 3 : De interventie van de brandweer kan geslaagd zijn of niet. Bv. door onvoldoende bluswater of door moeilijke toegankelijkheid.

Tak 4 : Indien de kritische ontstekingsflux van de dakbedekkingsmaterialen en van de materialen gebruikt op de facade van gebouw B lager is dan de ontvangen stralingsintensiteit is de kans groot dat er ontsteking optreedt.

Tak 5 : Afhankelijk van het brandreactie eigenschappen, met name de vlamuitbreidingsnelheid bij de ontvangen stralingsintensiteit van het toegepaste dakbedekkingsmateriaal zal de vlamuitbreiding beperkt zijn of niet.

Volontwikkeld e brand in gebouw A/wand stort in	Wand begeeft langs zijde van naastliggende gebouw naar buiten toe.	Vliegvuur	Succesvolle brandweer interventie	$I_{krit} < I$ (ontsteking van dak/ facade materialen)	Vlamuitbreiding onder controle	Waarschijn- lijkheid	Brand scenario
1	ja	ja	0,9	ja	0,2	0,0034200	S1
					ja	0,0136800	S2
			nee	0,05	0,8	0,0009000	S3
					nee	0,0720000	S4
		nee	0,2	ja	0,2	0,0003200	S5
					ja	0,0012800	S6
			nee	0,2	0,8	0,0004000	S7
					nee	0,0080000	S8
	nee	ja	0,9	ja	0,3	0,0291600	S9
					ja	0,0680400	S10
			nee	0,4	0,7	0,0648000	S11
					nee	0,6480000	S12
		nee	0,2	ja	0,3	0,0021600	S13
					ja	0,0050400	S14
			nee	0,6	0,7	0,0108000	S15
					nee	0,0720000	S16

fig. A.5 Gebeurtenissen boom voor gevalstudie 2

Stap 7 Waarschijnlijkheden toekennen

De hier toegekende waarschijnlijkheden zijn op basis van logisch redeneren toegekend.

- o Kans dat de wand begeeft naar buiten toe : 0,10
- o Kans dat de wand begeeft naar binnen toe : 0,90
- o Kans dat vliegvuur aanwezig is of niet : 0,5
- o Kans op geslaagde brandweerinterventie: 0,8
- o Kans op niet geslaagde brandweerinterventie: 0,2
- o Kansen dat kritische ontstekingsflux van het toegepaste dakbedekkingsmateriaal en facadematerialen kleiner is dan de ontvangen stralingsfluxen zijn in de opgestelde gebeurtenissenboom terug te vinden. Enkele beschouwingen:

- Vliegvlam kan optreden als ontstekingsvlam indien het terechtkomt op het naastliggende dak. De kritische ontstekingsflux van de toegepaste materialen is lager indien vliegvlam aanwezig is.
- De ontvangen stralingsintensiteit zal hoger zijn indien de gevel van gebouw A begeeft naar buiten toe in de richting van gebouw B

De waarschijnlijkheid van elk scenario is bepaald door alle waarschijnlijkheden die langs het pad van het scenario te vermenigvuldigen.

Waarschijnlijkheid	Brand scenario	Gevolgen - Verlies (\$)	Risico W x G (\$)	Ranking
W		G	R	
0,0166250	S1	50.000	831	-
0,0665000	S2	200.000.000	13.300.000	1
0,0043750	S3	0	0	-
0,0375000	S4	0	0	-
0,0140000	S5	50.000	700	-
0,0560000	S6	200.000.000	11.200.000	2
0,0175000	S7	0	0	-
0,0375000	S8	0	0	-
0,0135000	S9	50.000	675	-
0,0315000	S10	200.000.000	6.300.000	3
0,0300000	S11	0	0	-
0,3000000	S12	0	0	-
0,0090000	S13	50.000	450	-
0,0210000	S14	200.000.000	4.200.000	4
0,0450000	S15	0	0	-
0,3000000	S16	0	0	-

fig. A.6 Waarschijnlijkheden, gevolgen en risico's voor gevalstudie 2

Stap 8 Gevolgen toekennen

Om de ranking te kunnen maken dienen waarden in rekening gebracht te worden. Hiertoe dienen de verliezen ingeschat te worden. Bij wijze van voorbeeld zijn de gevolgen voor elk scenario toegekend op basis van de vermelde verliezen in het uitgewerkte voorbeeld in de norm ISO/TS 16733, bijlage C [12].

Er is enkel rekening gehouden met de bijkomende gevolgen indien de brand uitbreidt naar een naastliggend gebouw.

Gevolgen voor scenarios 1, 5, 9, 13 waar de vlamuitbreiding beperkt is, wordt de schade geschat op 50.000\$.

Voor scenario's waar de vlamuitbreiding niet onder controle is wordt een maximale schade van 200.000.000\$ aangenomen. Hierin is het verlies van eigendom en het verlies ten gevolge van bedrijfscontinuïteit verrekend.

Stap 9 Rangschikking van de risico's

De relatieve risico's van een scenario worden bepaald door de gevolgen voor dat scenario (bepaald in stap 8) te vermenigvuldigen met de waarschijnlijkheid van optreden van een scenario (bepaald in stap 7). (fig. A.6)

Stap 10 Uiteindelijke keuze en documentatie

Voor het berekenen van de benodigde tussenafstanden worden brandscenarios met hoogste ranking, nl. S2 en S6 vooropgesteld.

Bibliografie

- [1] 119, Hoge Raad. 1176 R2 N, *Bijlage 6 Industriegebouwen*. 2006.
- [2] NEN 6068 - *Bepaling van de weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag tussen ruimten*. NEN. 2008.
- [3] Carlsson, Emil. *EXTERNAL FIRE SPREAD TO ADJOINING BUILDINGS - A review of fire safety design guidance and related research*. Lund, 1999.
- [4] Drysdale, Dougal. *An Introduction to Fire Dynamics*. Wiley, 1998.
- [5] NFPA. *NFPA 80 A - Recommended Practice for Protection of Buildings from Exterior Fire Exposures*. NFPA. 2007.
- [6] SFPE. *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, third edition*. NFPA, 2002.
- [7] BRE. *BR 187 "External fire spread : building separation and boundary distances"*. 1991.
- [8] DIRECTIE BRANDWEER & RAMPENBESTRIJDING. *Brandveiligheidsconcept industriegebouwen*. Nederlands Ministerie voor Binnenlandse zaken, 1995.
- [9] <http://www.hetccv.nl/dossiers/Ondernemen/brandveiligheid/%3Fmore>.
- [10] WILLIS. *An insight into Warehouse Fires : Technical Report*. 2000.
- [11] ODPM. *National statistics, UK*. 2004.
- [12] ISO. *ISO/TS 16733 - Fire Safety Engineering - Selection of design fire scenarios and design fires*. ISO, 2006.
- [13] CEN/TC 191. *prCEN/TR 12101-5 Smoke and heat control systems - Part 5 : Guidelines on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat exhaust ventilation systems*." CEN, 2005.
- [14] Babrauskas, Vytenis Ph. D. *Ignition Handbook*. Society of Fire Protection Engineers, 2003.
- [15] www.hetccv.nl.