

Brandveiligheid van industriehallen

Ontwerpgids

*Inhoud*

| | |
|--|----|
| 1. Inleiding | 2 |
| 2. Gedrag van constructies bij brand..... | 3 |
| 3. Toepassingsgebied..... | 4 |
| 3.1. Beperkingen van de ontwerp-gids..... | 4 |
| 3.2. Wat de ontwerp-gids wel biedt | 5 |
| 3.3. Constructie en compartimentering van opslagloodsen | 5 |
| 3.4. Brandmuren en gevelelementen..... | 7 |
| 4. Ontwerpmethode | 7 |
| 4.1. Controlemiddelen..... | 7 |
| 4.2. Voorbeelden | 9 |
| 4.2.1. Enkelvoudige beuk..... | 9 |
| 4.2.2. Meerdere beuken - brandmuur loodrecht op de hoofdconstructie - portaal- en vakwerkconstructie | 9 |
| 4.2.3. Meerdere beuken - brandmuur parallel aan de hoofdconstructie - portaal- en vakwerkconstructie | 15 |
| 4.3. De waarden gebruiken | 15 |
| 5. Software "LUCA" | 15 |
| 5.1. Inleiding | 15 |
| 5.2. Beschrijving, invoer en uitvoer | 15 |
| 5.3. Rapporten | 16 |
| 5.4. Screenshots van de software | 17 |
| 6. Ontwerpaanbevelingen | 21 |
| 6.1. Brandmuren..... | 21 |
| 6.1.1. Verankering van gevel en scheidingselementen aan staalconstructie | 21 |
| 6.1.2. Staalconstructies bij scheidingselementen | 22 |
| 6.1.3. Dakconstructie boven de scheidingselementen | 22 |
| 6.2. Brandmuren die loodrecht staan op de staalconstructie | 23 |
| 6.2.1. Brandmuur tussen de flenzen van de kolom..... | 23 |
| 6.2.2. Brandmuur verankerd aan één flens van de kolom | 24 |
| 6.3. Brandmuren die parallel staan aan de staalconstructie | 24 |
| 6.3.1. Brandmuur in het vlak van de stalen constructie | 25 |
| 6.3.2. Brandmuur verankerd aan de stalen constructie..... | 25 |
| 6.3.3. Brandmuur tussen twee staalconstructies..... | 27 |
| 6.4. Aanbevelingen voor schoren | 27 |
| 6.4.1. Brandmuren die loodrecht staan op de staalconstructie | 27 |
| 6.4.2. Brandmuren die parallel staan aan de staalconstructie | 28 |
| 6.5. Aanvullende ontwerpaanbevelingen voor eenvoudige portaalconstructies van staal | 29 |
| 7. Referenties..... | 30 |



1. Inleiding

Deze ontwerp-gids is een reactie van de staalindustrie op de nieuwe brandveiligheidsvoorschriften die onlangs in veel Europese landen zijn ingevoerd.

Na uitgebreid onderzoek, gefinancierd door het Research Fund for Coal and Steel [6], zijn de methodologie en aanbevelingen voor het ontwerp van industriehallen ontwikkeld. De resultaten zijn ontleend aan numerieke en parametrische studies, uitgevoerd voor portaal- en vakwerkconstructies met diverse hoogtes en overspanningen. Voor de simulaties is de ISO-brandcurve gebruikt.

Ontwerpen buiten het bereik van deze analyse worden niet aanbevolen, tenzij als voorlopig ontwerp, dat later nog wordt goedgekeurd.

De afmetingen die in dit project zijn beschreven, zijn kenmerkend voor fabriekshallen:

- ⇒ Lengte van een overspanning voor een enkelvoudige beuk: 15 m, 20 m en 30 m
- ⇒ Lengte van een overspanning voor meerdere beuken: 20 m, 30 m en 40 m
- ⇒ Hoogte – enkelvoudige beuk: 5 m, 7,5 m en 12,5 m
- ⇒ Hoogte – meerdere beuken: 7,5 m, 12,5 m en 20 m
- ⇒ Helling: 0° tot 10°
- ⇒ Aantal beuken: 1, 3 en 5
- ⇒ Vakwerkligger: hoekprofielen 50 x 50 x 5 tot 120 x 120 x 12

De primaire doelstelling van dit onderzoek was te bewijzen dat de brandveiligheid van stalen bedrijfshallen voldoende is, ook zonder passieve brandbeveiliging. Met behulp van risicoanalyses en structurele simulaties is aangetoond dat de veiligheid van gebruikers en brandweerlieden is gegarandeerd als aan de volgende criteria wordt voldaan:

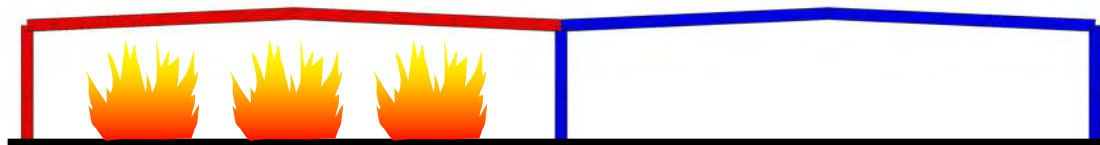
- **criteria van “geen instorting naar buiten toe”. Als er brand ontstaat in een van de compartimenten, stort de constructie niet in naar de buitenkant van het gebouw.**
- **criteria van “geen progressieve instorting”. Als er brand ontstaat in een van de compartimenten, mag instorting van dat compartiment niet leiden tot de instorting van de aangrenzende compartimenten.**

De doelstelling van deze ontwerp-gids is om ingenieursbureaus vereenvoudigde ontwerp-regels en berekeningsmethoden te bieden, die ervoor zorgen dat het structurele gedrag (de dragende constructie, gevelelementen, het dak en de brandmuren) van het industriële gebouw aan de bovengenoemde criteria en aan de veiligheidsvoorschriften voor mensen (gebruikers en brandweerlieden) voldoet.



2. Gedrag van constructies bij brand

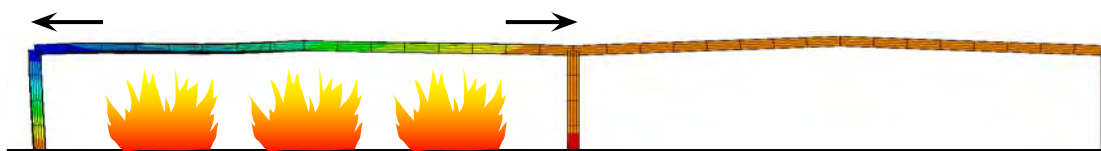
Het gedrag van portaalconstructies met meerdere beuken bij brand kan worden verdeeld in twee opeenvolgende fasen, die verschillende kenmerken hebben.¹



Afbeelding 2.1 Opwarming

In de **eerste fase** zetten de aan hitte blootgestelde elementen zich uit. Tijdens deze fase vinden de volgende gebeurtenissen plaats:

- Een geleidelijk toenemende laterale verplaatsing naar de buitenkant van het compartiment aan de bovenkant van de kolommen waarop de dakconstructies steunen.
- Een geleidelijke toename van de interne krachten (grotere drukkracht) in de balken die aan de hitte blootstaan. Deze drukkracht ontstaat door de axiale weerstand die het koude deel van de constructie biedt tegen de thermische uitzetting.



Afbeelding 2.2 Vervorming tijdens de uitzettingsfase

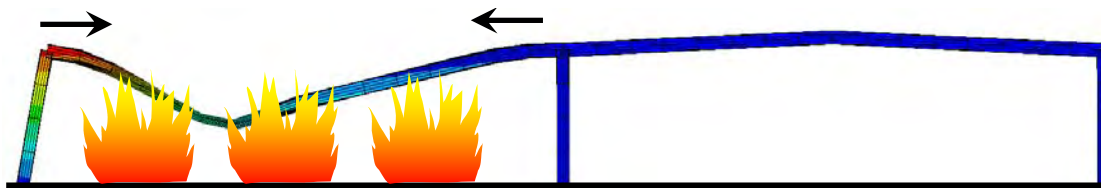
In de **tweede fase** stort het deel van de constructie dat aan de hitte blootstaat, in. Tijdens deze fase vinden de volgende gebeurtenissen plaats:

- De krachten die op de balken worden uitgeoefend, veranderen geleidelijk van een combinatie van druk en buiging naar trek.
- Vanaf het begin van deze fase verandert de verplaatsing in de uiteinden van het compartiment van richting: de bovenkant van de

¹ Opmerking: Een uiterst belangrijke aanname bij de gedragsanalyses die hierna worden gepresenteerd, is dat de interne kolommen bij de brandmuren op kamertemperatuur blijven.

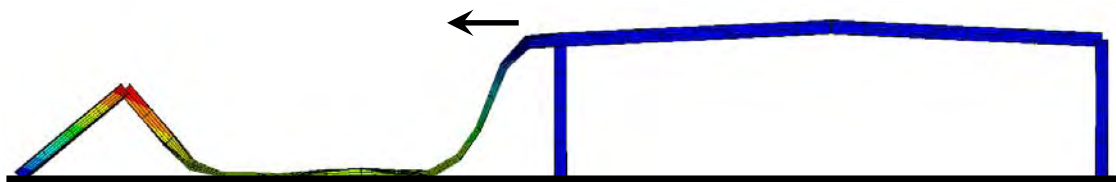


externe kolommen keert terug naar de uitgangspositie en beweegt zich ten slotte naar het compartiment toe.



Afbeelding 2.3 Vervorming tijdens de instortingsfase

- De verhitte balk gedraagt zich als een ketting die aan aanzienlijke trekkracht wordt onderworpen.
- De laterale verplaatsing boven aan de kolommen aan de rand van de koude compartimenten en de trekkracht bereiken een maximum en nemen sterk af door de instorting van de verhitte balk.
- Als het koude deel voldoende stijf is, zal de verhitte constructie uiteindelijk binnen in het compartiment instorten. Als het koude deel voldoende sterk is, blijft het overeind staan, zonder in te storten.



Afbeelding 2.4 Vervorming aan het einde van de instortingsfase

3. Toepassingsgebied

3.1. Beperkingen van de ontwerpgids

Deze ontwerpgids bevat geen:

- toelichting hoe de brandweerstand van constructies moet worden berekend;
- informatie over het bepalen van de reglementair voorgeschreven brandweerstand;
- toelichting hoe de stabiliteit van de koude constructie moet worden berekend;

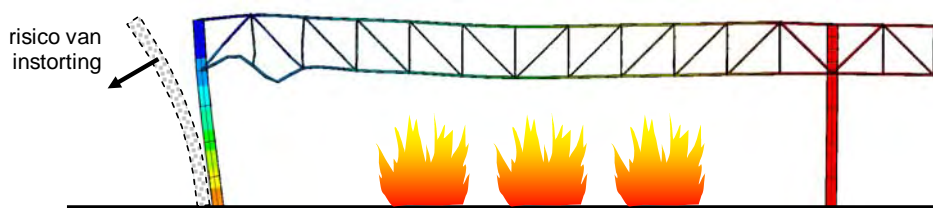


- richtlijnen voor het ontwerpen van gevels of brandmuren.

3.2. Wat de ontwerp-gids wel biedt

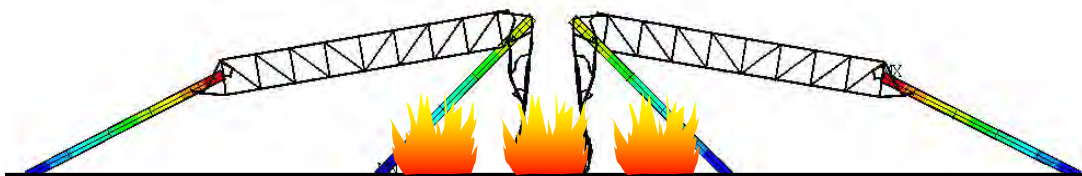
Een beschrijving van constructies voor bedrijfshallen die moeten worden vermeden en methoden om dit type constructies te vermijden. De volgende bezwijkvormen worden besproken:

- instorting van een constructie naar buiten toe;
- instorting van gevels en brandmuren naar buiten toe;



Afbeelding 3-1 Risico van instorting van gevelelementen naar buiten toe tijdens de expansiefase

- instorting van aangrenzende koude constructies – progressieve instorting.



Afbeelding 3-2 Risico van progressieve instorting van de dragende constructie

3.3. Constructie en compartimentering van opslagloodsen

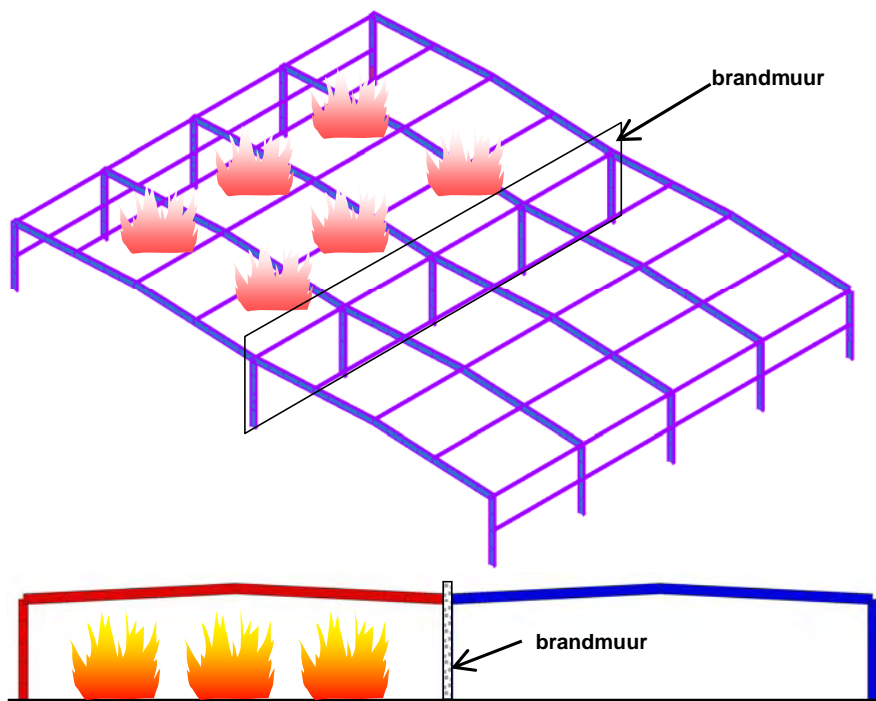
Deze gids is van toepassing op opslagloodsen die aan de volgende voorwaarden voldoen:

- opslagloodsen met een staalconstructie; ofwel stalen portaalconstructies met dwarsbalken van standaard warmgewalste H- of I-profielen of gelijkwaardige gelaste plaatliggers, of een stalen vakwerkconstructie met kolommen van standaard warmgewalste H- of I-profielen of gelijkwaardige gelaste plaatliggers;
- opslagloodsen verdeeld in een of meer cellen, van elkaar gescheiden door brandmuren. Deze muren kunnen loodrecht staan op de stalen portaalconstructies of er parallel aan lopen.

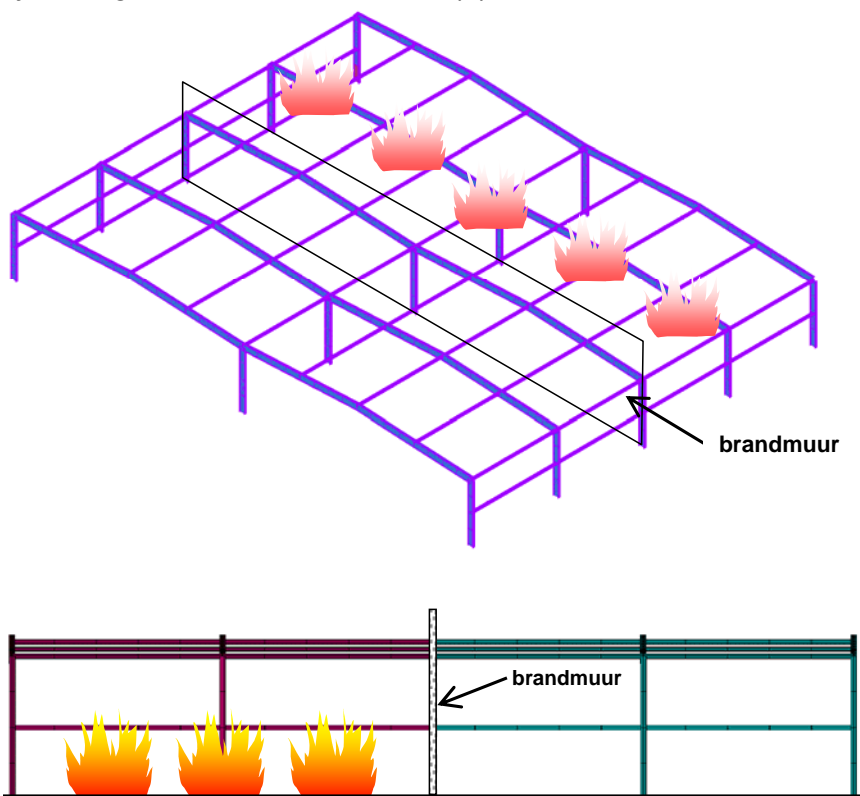


Afbeelding 3-3 en Afbeelding 3-4 geven voorbeelden van stalen constructies en de mogelijke plaats van de brandmuren in het gebouw.

Er wordt van uitgegaan dat de brand woedt in het hele compartiment.



Afbeelding 3-3 Brandmuur loodrecht op portaalconstructie



Afbeelding 3-4 Brandmuur parallel aan portaalconstructie



3.4. Brandmuren en gevelelementen

De aanbevelingen in rubriek 5 van deze ontwerp-gids kunnen worden toegepast op elk type brandmuur, bijvoorbeeld van lichtgewicht beton, gewapend beton, holle blokken, stalen bekleding met isolatie, gipsplaat, baksteen of van andere materialen.

De brandmuren moeten echter voldoende flexibel zijn of zo zijn verankerd dat ze de laterale verplaatsing van de stalen constructie bij brand kunnen opvangen.

Er zijn geen beperkingen voor het gebruik van gevelelementen bij opslagloodsen. Welk type gevel ook wordt toegepast, het moet zeker zijn dat de gevel de beweging van de stalen constructie kan weerstaan zonder zijn integriteit te verliezen. Zo wordt gegarandeerd dat de elementen samen met de constructie naar binnen toe zullen instorten bij brand.

Het gebruik van zelfstabiliserende gevels **wordt niet aanbevolen**, omdat deze door de opwarming altijd naar buiten zullen bewegen. Deze gevels mogen alleen worden gebruikt als het gedrag wordt geanalyseerd met behulp van een geavanceerd rekenmodel, waarbij rekening wordt gehouden met secundaire effecten, of als de dragende constructie zich aan de buitenzijde bevindt en dus voldoende is beschermd tegen de hitte.

De constructie beweegt zich bovendien tijdens de uitzettingsfase naar buiten, hoewel ze in dat stadium nog niet hoeft in te storten. De gevelelementen moeten deze beweging dus kunnen opvangen. Daarna beweegt de constructie zich in de tegengestelde richting en valt omlaag naar binnen toe (zie rubriek 2). De gevelelementen moeten zo aan de staalconstructie zijn verankerd dat ze samen met de constructie naar binnen toe instorten.

4. Ontwerpmethode

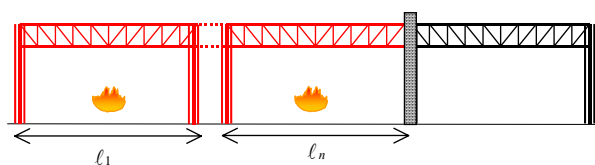
4.1. Controlemiddelen

➤ Instorting naar buiten toe:

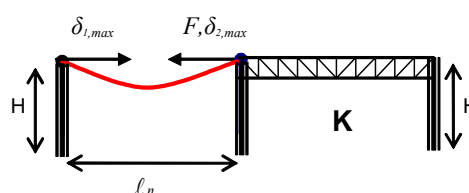
Evaluatie van mogelijke instorting van de constructie naar de buitenkant van het brandcompartiment.

➤ Trekkracht:

Berekening van de trekkrachten die ontstaan aan de bovenkant van het koude deel van de portaalconstructie ten gevolge van de brand in het aangrenzende compartiment. Met de berekende krachten kan worden bepaald of de overblijvende koude constructie stabiel is.

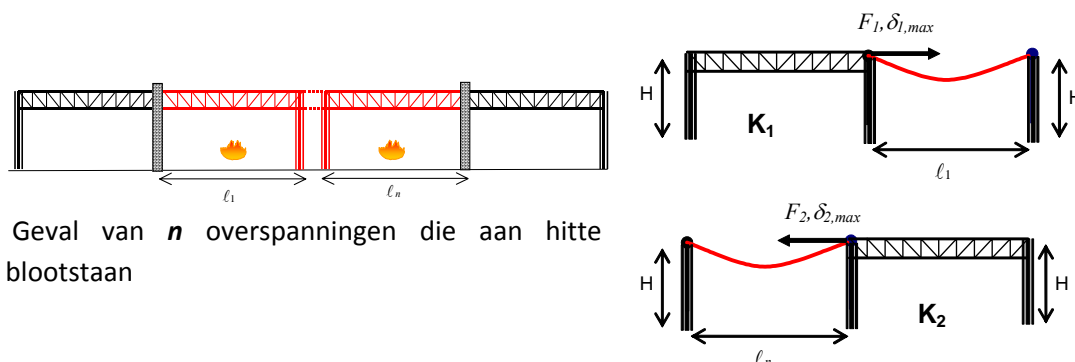


Geval van n overspanningen die aan hitte blootstaan





a) Brandcompartiment aan het einde van de opslagloods



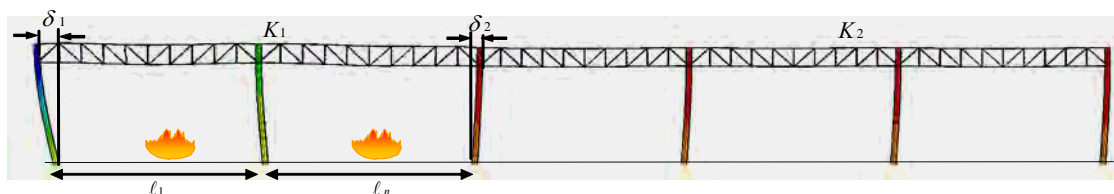
Geval van n overspanningen die aan hitte blootstaan

b) Brandcompartiment in het midden van de opslagloods

Afbeelding 4-1 Maximale verplaatsingen en krachten overgedragen op de koude delen van de constructie

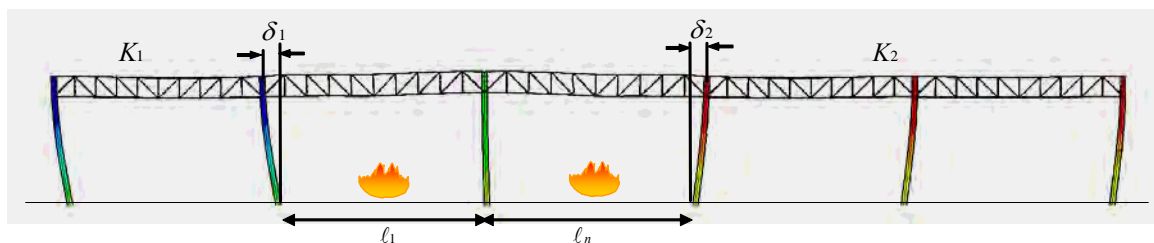
➤ **Laterale verplaatsingen:**

Berekening van de maximale laterale verplaatsingen die optreden aan de bovenkant van het verhitte deel van de constructie door de thermische uitzetting van de balken in het brandcompartiment. De maximale laterale verplaatsing wordt gebruikt om de stabiliteit van de brandmuren en gevels te beoordelen.



K_2 is de laterale stijfheid van het stalen raamwerk van het koude deel van de constructie.
 K_1 is de laterale stijfheid van het stalen raamwerk van het brandcompartiment.

a) Brandcompartiment aan één uiteinde van de opslagloods



K_1 en K_2 zijn de gelijkwaardige laterale stijfheid van het stalen raamwerk van de koude delen van de constructie.

b) Brandcompartiment in het midden van de opslagloods

Afbeelding 4-2 Laterale verplaatsingen van de constructie tijdens de uitzettingsfase



4.2. Voorbeelden

4.2.1. Enkelvoudige beuk

➤ Instorting naar buiten toe:

Instorting naar de buitenkant van het compartiment kan worden voorkomen als aan de vergelijking 4-1 wordt voldaan:

$$h/l < 0,4$$

Vergelijking 4-1

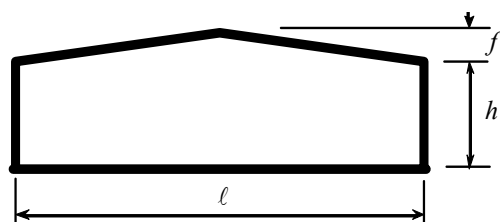
met

h – de hoogte van de kolommen

l – de overspanning van de balk

➤ Trekkracht:

Niet van toepassing



➤ Laterale verplaatsing:

$$\delta_i = 0,5\% \cdot l$$

Vergelijking 4-2

4.2.2. Meerdere beuken - brandmuur loodrecht op de hoofdconstructie - portaal- en vakwerkconstructie

➤ Instorting naar buiten toe:

Komt nooit voor [6] bij gebouwen met een hoogte van max. 20 m.

➤ Trekkracht:

Stap 1 – Coëfficiënt in verband met de helling van het dak C_p

⇒ Portaalconstructie

$$c_p = \begin{cases} 1,19 & \text{bij een helling van } 0\% \\ 1,16 & \text{bij een helling van } 5\% \\ 1,10 & \text{bij een helling van } 10\% \end{cases}$$

Vergelijking 4-3



⇒ Vakwerkconstructie

$$c_p = 1,45$$

Vergelijking 4-4

Stap 2 – Coëfficiënt in verband met het aantal beuken n dat aan hitte blootstaat in het brandcompartiment n_{eff}

⇒ Portaalconstructie

$$n_{eff} = \left\{ \begin{array}{ll} 0,5 & \text{aan het einde van de constructie} \\ 1,0 & \text{in het midden van de constructie} \end{array} \right\} \text{ voor } n = 1 \text{ (brand in één beuk)}$$

$$n_{eff} = \left\{ \begin{array}{ll} 1,0 & \text{aan het einde van de constructie} \\ 2,0 & \text{in het midden van de constructie} \end{array} \right\} \text{ voor } n \geq 2 \text{ (brand in meer dan één beuk)}$$

Vergelijking 4-5

⇒ Vakwerkconstructie

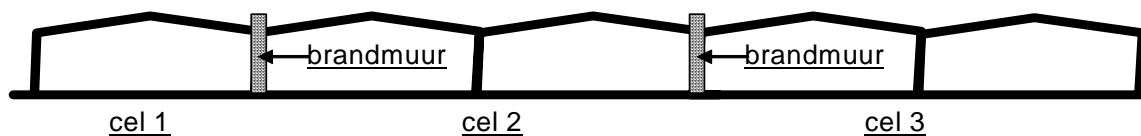
$$n_{eff} = \left\{ \begin{array}{ll} 0,6 & \text{aan het einde van de constructie} \\ 1,0 & \text{in het midden van de constructie} \end{array} \right\} \text{ voor } n = 1 \text{ (brand in één beuk)}$$

$$n_{eff} = \left\{ \begin{array}{ll} 1,0 & \text{aan het einde van de constructie} \\ 1,0 & \text{in het midden van de constructie} \end{array} \right\} \text{ voor } n \geq 2 \text{ (brand in meer dan één beuk)}$$

Vergelijking 4-6



Voorbeeld



Configuratie van een opslagloods (portaalstructuur): 5 overspanningen en 3 compartimenten



3 brandscenario's te overwegen



Scenario 1: brand in cel 1, einde van de structuur, brand in één beuk $n = 1$, $n_{eff} = 0,5$



Scenario 2: brand in cel 2, midden van de structuur, brand in twee beuken $n = 2$, $n_{eff} = 2,0$



Scenario 3: brand in cel 3, einde van de structuur, brand in twee beuken $n = 2$, $n_{eff} = 1,0$

Afbeelding 4-3 Mogelijke scenario's bij brand in een opslagloods met drie compartimenten

Stap 3 – Verticale belasting ² q

$$q = G + 0,2 S$$

Vergelijking 4-7

met

G – de permanente belasting

S – de karakteristieke sneeuwbelasting bij brand

Stap 4 – Trekkraft F boven op de kolommen (Afbeelding 4-1)

$$F = c_p n_{eff} q l$$

Vergelijking 4-8

met

² Opmerking: De ontwerpwaarde van de toegepaste belasting bij brand “ q ” moet, indien nodig, worden berekend overeenkomstig de combinatiebelastingcoëfficiënten in de overeenkomstige nationale bijlagen, in plaats van Vergelijking 4-7 te gebruiken.



l – de overspanning van de beuk die in brand staat en die is verbonden met de kolom

➤ **Laterale verplaatsing:**

Stap 1 – Reductiefactor in verband met de helling van het dak C_{th}

⇒ Portaalconstructie

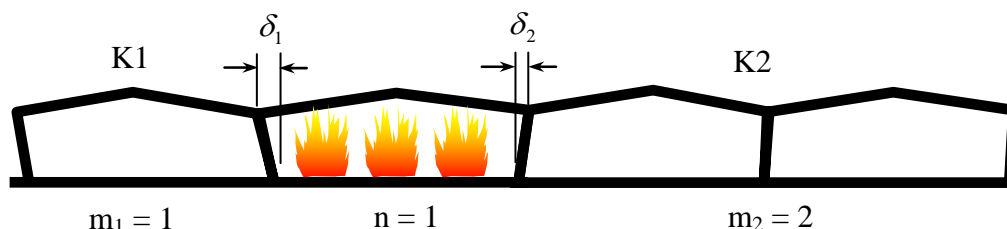
$$c_{th} = \begin{cases} 0,01 & \text{voor een helling van } 0\% \\ 0,011 & \text{voor een helling van } 5\% \\ 0,015 & \text{voor een helling van } 10\% \end{cases} \quad \text{Vergelijking 4-9}$$

⇒ Vakwerkconstructie

$$c_{th} = 0,009 \quad \text{Vergelijking 4-10}$$

Stap 2 – Gelijkwaardige laterale stijfheid K_i van het koude deel van de stalen constructie

⇒ Als het brandcompartiment zich in het midden van de constructie bevindt, zoals aangegeven in Afbeelding 4-3, moeten K_1 en K_2 worden berekend met behulp van een van de klassieke elasticiteitsmethoden.



Afbeelding 4-4 Brand in een cel in het midden van de opslagloods

Let op:

Voor de gebruikelijke stalen constructies (constante overspanningen, dezelfde standaard stalen profielen van de ene beuk naar de andere), kan de gelijkwaardige laterale stijfheid K_i bij benadering worden berekend op basis van het aantal koude beuken m_i met de volgende verhoudingen:

Voor $m_i = 1$:

$$K_i = k \quad \text{Vergelijking 4-11}$$

Voor $m_i \geq 2$:



$$K_i = c k$$

Vergelijking 4-12

met

$$k = \frac{\alpha}{1 + 2\alpha} \frac{12EI_c}{(h + f)^3}$$

$$c = 1 + \sum_{i=2}^m \frac{i}{2} \frac{2\alpha + 1}{1 + 2i\alpha}$$

Vergelijking 4-13

$$\alpha = \frac{I_b}{I_c} \frac{h + f}{l} \left(1 - \frac{f}{0,6h}\right)$$

met (zoals aangegeven in Afbeelding 4-4)

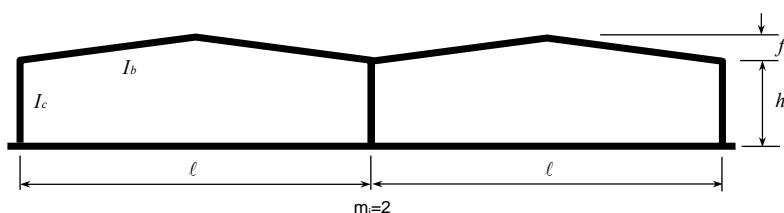
h – de hoogte van de kolommen

f – de nok

l – de lengte van de overspanning

I_b – het traagheidsmoment van de balkI_c – het traagheidsmoment van de kolom

E – de elasticiteitsmodulus van staal bij een normale temperatuur



Afbeelding 4-5 Bepaling van de parameters van de koude delen

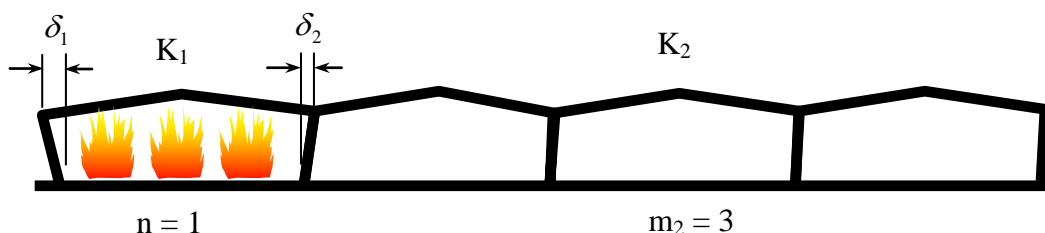
⇒ Als het brandcompartiment zich aan het einde van de constructie bevindt, moet K_2 worden berekend zoals bij een brand in het middelste compartiment.

K_1 , dat wordt gedefinieerd als de laterale stijfheid van de stalen constructie van het brandcompartiment, moet als volgt worden berekend:



$$K_1 = \begin{cases} \left. \begin{array}{l} 0,065 k \quad \text{voor } n = 1 \\ 0,13 k \quad \text{voor } n = 2 \\ 0,13 c k \quad \text{voor } n > 2 \end{array} \right\} & \text{voor portaalconstructies} \\ \\ \left. \begin{array}{l} 0,2 K_2 \quad \text{voor } n = 1 \\ 0,3 K_2 \quad \text{voor } n \geq 2 \end{array} \right\} & \text{voor vakwerkconstructies} \end{cases} \quad \text{Vergelijking 4-14}$$

met k en c berekend uit Vergelijking 4-13 met $m = n - 1$, n is het aantal verhitte beuken zoals weergegeven in Afbeelding 4-5.



Afbeelding 4-6 Brand in een compartiment aan het einde van de opslagloods

Stap 3 – Laterale verplaatsingen δ_i in de uitzettingsfase (Afbeelding 4-2, 4-6)

$$\delta_i = \begin{cases} \frac{K_t}{K_i} c_{th} \sum_{i=0}^n l_i & \text{voor de vakwerkconstructie} \\ \frac{K_t}{K_i} c_{th} n l & \text{aan het einde van de portaalconstructie} \\ \frac{c_p q}{K_i} n_{eff} l & \text{voor het midden van de portaalconstructie} \end{cases}$$

Vergelijking 4-15

met

n - het aantal verhitte overspanningen

$K_t = \frac{K_1 K_2}{K_1 + K_2}$, met K_1, K_2 gelijkwaardige stijfheid voor de laterale verplaatsingen van de stalen constructie (Afbeelding 4-6)

Stap 4 – Maximale verplaatsing $\delta_{max,i}$ veroorzaakt door de trekkracht aan de bovenkant van de kolommen (Afbeelding 4-1)



$$\delta_{max,i} = F/K_i$$

Vergelijking 4-16

met

 F - de trekkracht berekend in Vergelijking 4-8

4.2.3. Meerdere beuken - brandmuur parallel aan de hoofdconstructie - portaal- en vakwerkconstructie

Het risico van instorting naar buiten toe en progressieve instorting (tussen de verschillende brandcompartimenten) kan worden vermeden door eenvoudigweg de aanbevelingen in rubriek 6.2 op te volgen.

4.3. De waarden gebruiken

De trekkracht F berekend aan de bovenkant van de koude constructie (Vergelijking 4-8) moet worden gebruikt als extra horizontale belasting voor de stabiliteitscontrole van de constructie die overblijft na de brand.

De stabiliteitscontrole moet worden uitgevoerd met staal uitgaande van de omgevingstemperatuur, maar in de brandsituatie overeenkomstig de nationale bijlage voor Eurocode (Maatgevende belastingcombinatie en coëfficiënten).

De maximale laterale verplaatsing berekend aan de bovenkant van de resterende koude constructie, moet worden gebruikt om de stabiliteit van de brandmuur en de gevelelementen te controleren. De methode hiervoor hangt af van het soort muur, de verbindingen met de constructie enzovoort en is daarom niet opgenomen in deze ontwerp-gids.

5. Software “LUCA”

5.1. Inleiding

Het doel van de software LUCA is om het werk van de verschillende ingenieursbureaus te vereenvoudigen als ze de berekeningsmethode toepassen die in deze ontwerp-gids wordt voorgesteld.

Met dit eenvoudige hulpmiddel is het een stuk eenvoudiger om de integriteit van een gebouw met één verdieping in geval van brand te verifiëren.

5.2. Beschrijving, invoer en uitvoer

De software is verkrijgbaar in drie talen (Spaans, Frans en Engels). Maar het hele programma FS+ is geïmplementeerd om de gebruikers de mogelijkheid te bieden de software gemakkelijk in een andere taal te vertalen. De gebruiker die met het programma wil werken in een andere taal dan de hiervoor genoemde, hoeft alleen een reeks woorden en zinnen te vertalen in een bestand dat bij de software wordt geleverd.



In het startvenster kan tussen de verschillende talen (Engels, Spaans en Frans) worden gekozen. Nadat de taal is geselecteerd in het vervolgkeuzemenu, zijn alle volgende teksten in deze taal en verschijnt het tweede venster.

In dit venster staan de toepassingsvoorwaarden en hoe de verkregen resultaten moeten worden verwerkt.

In het derde venster moet de gebruiker kiezen tussen de verschillende soorten constructies (eenvoudige constructie, constructies met warmgewalste H- of I-profielen en constructies met dwarsliggers en H- of I-kolommen).

Als deze keuze is gemaakt, verschijnt een nieuw venster met de velden die de gebruiker moet invullen om de berekening te kunnen maken. De gebruiker moet bijvoorbeeld de volgende gegevens invullen: het soort profiel van de balken en kolommen, de lengte en hoogte van de constructies, het aantal overspanningen in het brandcompartiment en in het koude deel, de positie van het brandcompartiment, de positie van de brandmuur (parallel aan of loodrecht op de constructie), de totale ontwerpwaarde van de belasting op het dak (bij brand) enzovoort.

Nadat deze informatie is verstrekt, verschijnt de knop 'Volgende' onder aan de pagina. Als de gebruiker op deze knop klikt, verschijnt een nieuwe pagina met de resultaten van de berekening (verplaatsing in de uitzettingsfase, verplaatsingen in de instortingsfase, trekkrachten aan de bovenkant van de kolommen enzovoort).

Voor een beter inzicht en een goede verwerking van de resultaten worden alle resultaten geïllustreerd met schematische afbeeldingen.

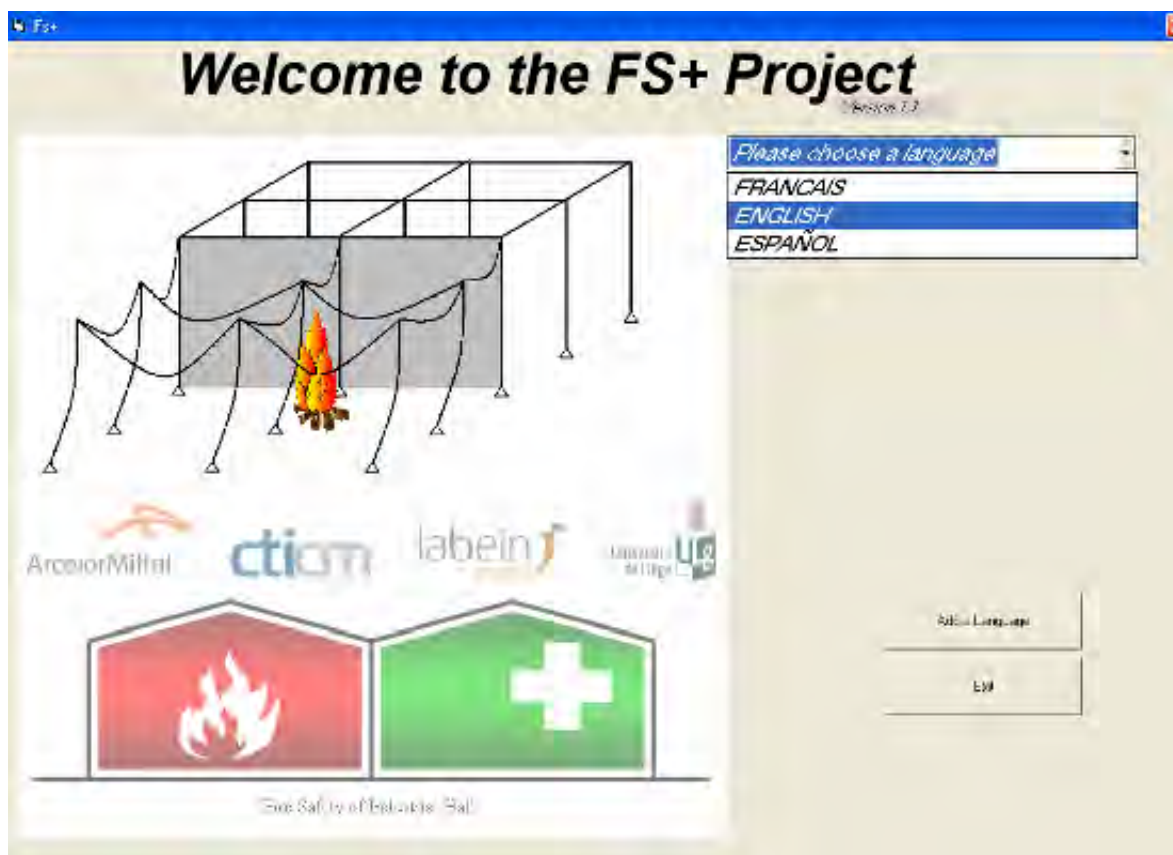
5.3. Rapporten

De gebruiker kan een rapport in PDF-formaat afdrukken door op de knop 'Afdrukken' te klikken. Dit document bevat een overzicht van de uitgevoerde berekening. De software zal het rapport in elektronische vorm produceren via een 'PDF-writer'. Als er geen PDF-writer op de computer van de gebruiker is geïnstalleerd, zal het rapport via de standaardprinter worden afgedrukt. In het rapport staan alle gegevens die zijn verwerkt, de tussentijdse resultaten die zijn gebruikt voor de eindberekeningen, de definitieve resultaten en een samenvatting van de vergelijkingen die zijn gebruikt voor de berekeningen.

De samenvatting van deze ontwerp-gids kan ook direct worden geopend door op de knop 'zie de vergelijkingen van de berekeningen' te klikken.



5.4. Screenshots van de software





FS+

ArcelorMittal cticm labein tecnalla Université de Liège

Simple frame

Frames with cross section in H or I hot rolled profiles

Frames with lattice beams and columns in H or I

* With an height $H < 15$ m (inside collapse)

OK
Previous
Quit

Fire Safety of Industrial Hall

FS

Enter the following parameters

Span number of the compartment in fire (Max 6)

Total design value of the load in the roof (fire situation)

With wind effect (if any)

Fire Wall perpendicular to the frames

Fire compartment in the middle part of the storage building

Fire compartment in the end part of the storage building

Equivalent stiffness K1 N/m

Equivalent stiffness K2 N/m

L1 mm L2 mm L3 mm

L4 mm L5 mm L6 mm

Next
Previous
Quit

ArcelorMittal cticm labein Université de Liège



FS+

Stage of push

Results of the calculations

Displacements induced at the compartment ends

δ_1 [mm]

δ_2 [mm]

Stage of pull

Horizontal tensile force at the compartment ends

F_1 [N] F_2 [N]

Maximum displacement(s) induced at the top of the columns
(Supports of the elements of the compartment)

δ_1 [mm] δ_2 [mm]

Report
Previous
Total

FS+

Report

Input data

Frames with lattice beams and columns in H or I

Span number of the

Total design value of the N/m

Fire wall parallel to the frames

Fire compartment in the middle part of the storage building

L1 mm L2 mm L3 mm L4 mm L5 mm L6 mm

Equivalent stiffness K1 N/m

Equivalent stiffness K2 N/m

$K_t (= K_1 * K_2 / (K_1 + K_2))$ N/m

Results of the calculations

Stage of push

Displacements induced at the compartment ends

δ_1 [mm]

δ_2 [mm]

Stage of pull

Horizontal tensile force at the compartment ends

F_1 [N] F_2 [N]

Maximum displacement(s) induced at the top of the columns

δ_1 [mm]

δ_2 [mm]

Print Show the equations of the calculations Previous Quit



1] Introduction

1.1] APPLICABILITY

This SCLM is applicable to the industrial halls that respect the following conditions:

- Storage buildings with steel structures, either in steel joist frames with crane sections or standard in steel joist frames or equivalent welded steel joists, or light frame SCLM or lattice frames with columns in R or I.
- Storage buildings destined to use as material stock, subjected from one side, by the walls, these walls and the pillars parallel to their partial fronts, after perforation to steel joist frames.

1.2] How to read this SCLM

The displacements that will be obtained must be used to verify the stability of the interior and exterior walls. The force that will be obtained in stage of full must be used to verify the stability of the cold joint zones located at the top of the columns.

2] Input data

Values with units in brackets are indicated in m or t.

- Q = 4000 N/m² Total design value of the load in the pool fire situation.
- W = 100 N/m² Total design value of the load in the pool fire situation.
- W₁ = 20 N/m² Total design value of the load in the pool fire situation.
- W₂ = 10 N/m² Total design value of the load in the pool fire situation.
- W₃ = 5 N/m² Total design value of the load in the pool fire situation.
- W₄ = 10 N/m² Total design value of the load in the pool fire situation.
- W₅ = 10 N/m² Total design value of the load in the pool fire situation.
- W₆ = 10 N/m² Total design value of the load in the pool fire situation.
- W₇ = 10 N/m² Total design value of the load in the pool fire situation.
- W₈ = 10 N/m² Total design value of the load in the pool fire situation.
- W₉ = 10 N/m² Total design value of the load in the pool fire situation.
- W₁₀ = 10 N/m² Total design value of the load in the pool fire situation.

3] Results of the calculations

5.1] Stage of punch

Displacements obtained at the compressed ends:

- ST = 207 mm
- ST = 207 mm

5.2] Stage of drift

Horizontal displacements, force of the compressed ends:

- H1 = 27 mm
- H2 = 27 mm
- H3 = 27 mm
- H4 = 27 mm
- H5 = 27 mm
- H6 = 27 mm
- H7 = 27 mm
- H8 = 27 mm
- H9 = 27 mm
- H10 = 27 mm

Maximum displacements (relative) referred to the top of the columns:

- ST = 19 mm
- ST = 19 mm

4] Conclusions

The results of the calculations show that the displacements and drifts obtained are within the limits established in the SCLM. Therefore, the structure is considered safe for the intended use.



6. Ontwerpaanbevelingen

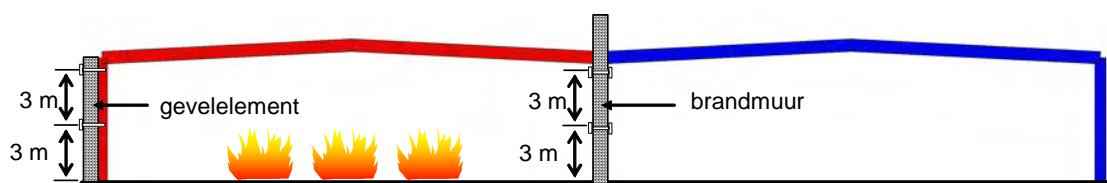
Er moeten aanvullende ontwerpaanbevelingen worden geïmplementeerd, zodat de staalconstructie bij brand kan instorten aan weerszijden van de brandmuur zonder de brandmuur zelf te beschadigen.

6.1. Brandmuren

De hierna voorgestelde aanbevelingen kunnen worden toegepast op elk type brandmuur, zoals muren van lichtgewicht beton, gewapend beton, holle blokken, stalen bekleding met isolatie, gipsplaat, baksteen of van andere materialen. De brandmuren moeten echter op de juiste wijze zijn verankerd, zodat ze de laterale verplaatsing van de stalen constructie bij brand kunnen opvangen.

6.1.1. Verankering van gevel en scheidingselementen aan staalconstructie

Om instorting van scheidingselementen (brandmuren) en gevelelementen door aanzienlijke laterale verplaatsingen van de staalconstructie te voorkomen, is het noodzakelijk ervoor te zorgen dat deze elementen verbonden blijven met de constructie.



Afbeelding 6-1 Ontwerpdetails voor scheidingselementen

Een oplossing is om deze elementen te verbinden aan de kolommen van de dragende constructie met geschikte verankeringsystemen die gelijk zijn verdeeld over de hoogte van het gebouw, en van elkaar zijn gescheiden met een specifieke maximale diepte. Deze maximale waarde wordt bepaald door de fabrikant van de muren. De aanbevolen waarde is maximaal 3 m voor ter plaatse gebouwde muren (beton, metselwerk enzovoort).

De bevestigingssystemen die worden gebruikt om de brandmuren en gevelelementen te verbinden met de kolommen, moeten bestand zijn tegen de krachten die door de wind en het eigen gewicht van de scheidingselementen ontstaan bij de laterale verplaatsing van de stalen constructie van de opslagloods. Als deze systemen van staal zijn en niet zijn beschermd tegen brand, moet elke verankering zijn ontworpen op omgevingstemperatuur om de volgende krachten te kunnen weerstaan:

$$F = W + 5 p \delta_i d / n \quad \text{Vergelijking 6-1}$$

met

W – de karakteristieke windbelasting gebruikt voor het ontwerp bij omgevingstemperatuur en uitgeoefend op elke verankering



p – het eigen gewicht van de muur

d – de tussenruimte

n – het totale aantal verankeringen (gelijk verdeeld over de hoogte)

δ_i - de laterale verplaatsing van de staalconstructie

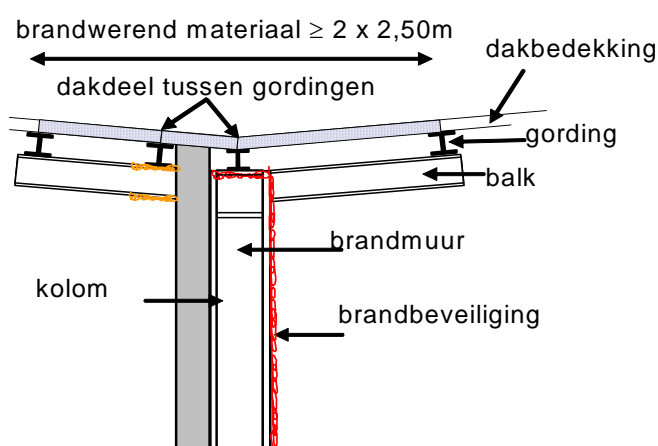
6.1.2. Staalconstructies bij scheidingselementen

De elementen die de muren kunnen beschadigen (omdat ze zich bij de muur bevinden of deze kruisen) blijven stabiel bij een brandweerstand die ten minste gelijk is aan die van de muren, zodat de plastische scharnieren van de muren intact blijven. Daarom moet een deel van de balk en kolommen worden beschermd tegen brand.

- De dikte van de brandbeveiliging toegepast op de kolommen en balken kan eenvoudig worden berekend uitgaande van een stalen element dat gedurende één uur, aan vier zijden wordt blootgesteld aan een maximale temperatuur van 500 °C.
- De dikte van de brandbeveiliging voor vakwerkliggers kan worden berekend uitgaande van een stalen element dat aan vier zijden wordt blootgesteld voor onderranden, verticale delen en diagonalen en aan drie zijden voor bovenranden, gedurende één uur bij een maximale temperatuur van 500 °C.

6.1.3. Dakconstructie boven de scheidingselementen

Elk compartiment moet een onafhankelijke dakconstructie hebben.



Afbeelding 6-2 Bescherming van het dak

- Gordingen aan weerskanten van de brandmuur.
- Dak eindigt aan weerszijden van de brandmuur.



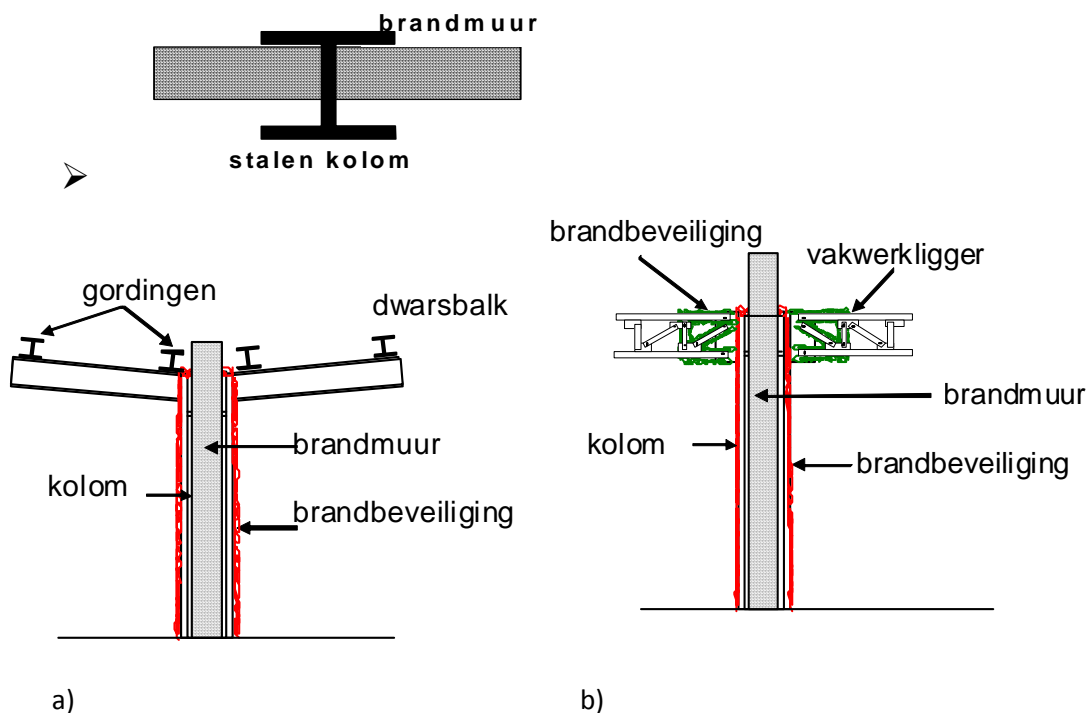
- Dak met brandbestendig materiaal, over een breedte van 2,50 m aan weerszijden van de muur.
- Een andere mogelijkheid is dat de muur een specifieke afstand uitsteekt boven het dak.

6.2. Brandmuren die loodrecht staan op de staalconstructie

Algemene aanbevelingen voor de brandbeveiliging van kolommen, balken en gordingen:

- **KOLOMMEN** die zich in of bij een muur bevinden, moeten altijd beschermd zijn tegen brand.
- **BALKEN** die een muur kruisen, moeten beschermd zijn over een specifieke afstand tot de muur. Bij portaalconstructies is de minimale lengte 200 mm en bij vakwerkconstructies is de minimale lengte gelijk aan de afstand tussen de muur en het eerste verticale element.
- **GORDINGEN** kruisen nooit muren en hoeven dus niet te worden beschermd tegen brand.

6.2.1. Brandmuur tussen de flenzen van de kolom

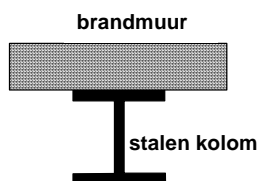


Afbeelding 6-3 Er is brandbeveiliging vereist bij de brandmuur, tussen de flenzen van de kolom a) portaalconstructie b) vakwerkconstructie



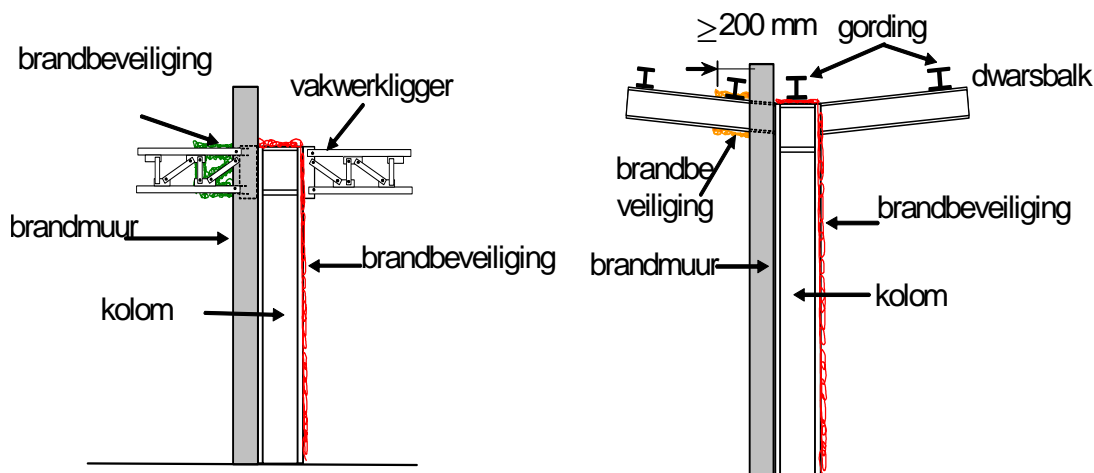
Behalve de kolom moeten ook de stalen vakwerkconstructies bij de brandmuur worden beschermd over een minimale lengte die gelijk is aan de afstand tussen de muur en het eerste verticale element voor een vakwerkconstructie, om mogelijke problemen door instorten van de vakwerkligger bij de brandmuur te voorkomen.

6.2.2. Brandmuur verankerd aan één flens van de kolom



Als de brandmuur wordt gebouwd naast één flens van de kolommen, moet de balk worden beschermd tegen brand om schade aan de muur door instorting van de balk bij de brandmuur te voorkomen:

- over een minimale lengte van 200 mm van de rand van de muur voor stalen portaalconstructies;
- over een minimale lengte gelijk aan de afstand tussen de muur en het eerste verticale element voor vakwerkconstructies.



Afbeelding 6-4 Vereiste brandbeveiliging voor balken en kolommen bij een brandmuur verankerd aan één flens van de kolom a) vakwerkconstructie b) portaalconstructie

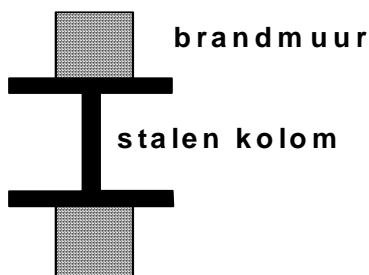
6.3. Brandmuren die parallel staan aan de staalconstructie

- **KOLOMMEN** die zich in of bij een muur bevinden, moeten altijd beschermd zijn tegen brand.

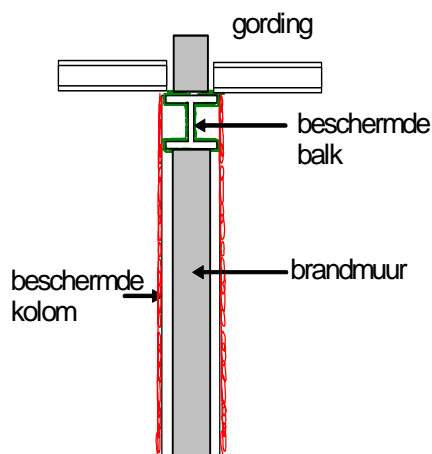


- **BALKEN** die zich in of bij een muur bevinden, moeten altijd beschermd zijn tegen brand.
- **GORDINGEN** die de muur kruisen, moeten worden beschermd tegen brand (over een afstand van 200 mm tot de muur). Een andere optie is een constructie zonder doorlopende gordingen te ontwerpen.

6.3.1. Brandmuur in het vlak van de stalen constructie

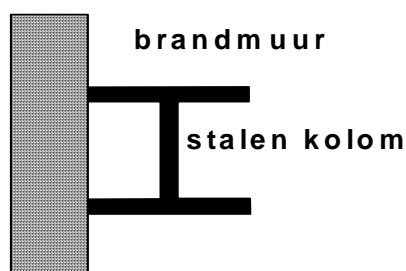


In deze situatie moet de balk en de kolom worden beschermd tegen brand.



Afbeelding 6-5 Brandbeveiliging voor de kolom als de brandmuur zich in het vlak van de constructie bevindt

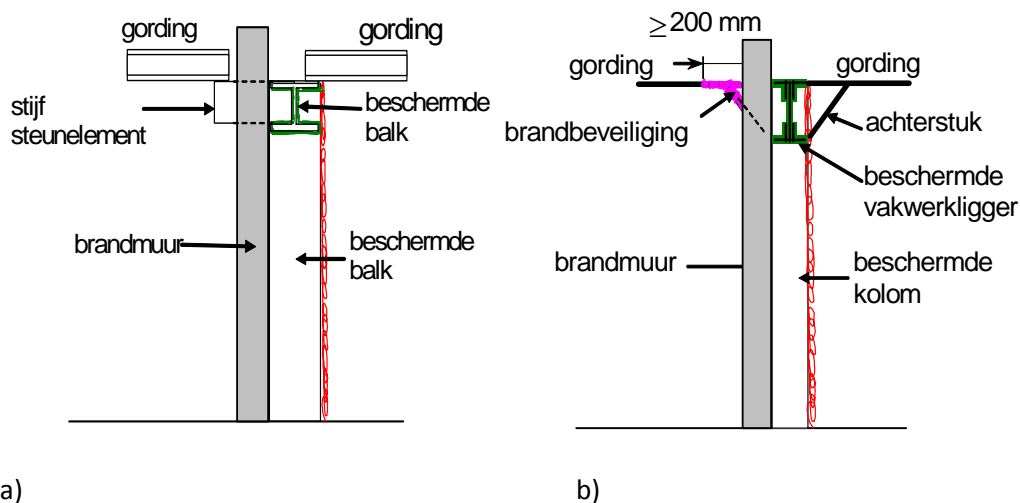
6.3.2. Brandmuur verankerd aan de stalen constructie



Stalen elementen die een brandmuur kruisen, mogen de brandbestendigheid van de brandmuur (stabiliteit, thermische isolatie enzovoort) niet aantasten. Daarom is het noodzakelijk



ontwerpoplossingen te kiezen waarbij instorting van de dakconstructie bij de brandmuur niet leidt tot instorting van de brandmuur.



Afbeelding 6-6 Ontwerpdetails voor elementen bij een brandmuur

Voor portaalconstructies gelden de volgende aanbevelingen:

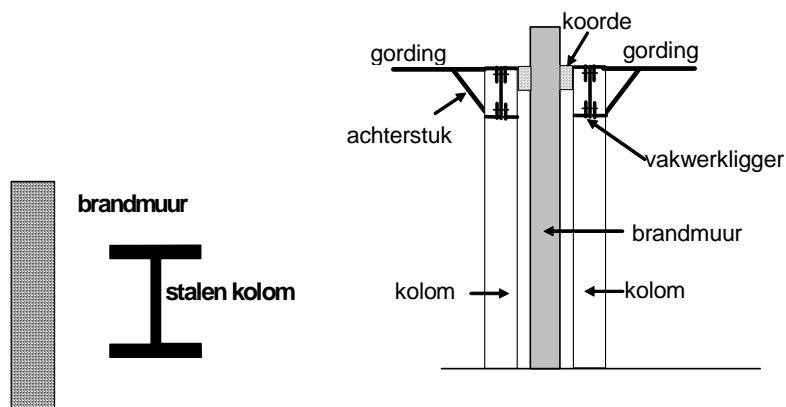
- als de brandmuur in het stalen raamwerk is opgenomen, moeten er stijve stalen elementen, verankerd aan de balken, door de brandmuur gaan om de gordingen te ondersteunen;
- in geval van doorgaande liggers moet aan weerszijden van de muur brandbeveiliging worden aangebracht, over een minimale lengte van 200 mm van de muur.

Bij vakwerkconstructies gelden de volgende aanbevelingen:

- bescherming van gordingen en achterstukken bij de muur over een minimale lengte die overeenkomt met de afstand van de muur tot de verbinding achterstuk/gording als de dakconstructie gordingen bevat;
- brandbeveiliging van de balken aan de muurkant, over een minimale lengte die overeenkomt met de afstand van de muur tot de eerste verticale elementen van de balk, als het uit een vakwerkconstructie bestaat.



6.3.3. Brandmuur tussen twee staalconstructies



Afbeelding 6-7 Brandmuur tussen twee portaalconstructies

Bij gebruik van vakwerkliggers kan de brandmuur niet doorlopen tot het dak. Daarom is hier de oplossing de industriële hal te verdelen in twee onafhankelijke constructies en daartussen een brandmuur te plaatsen.

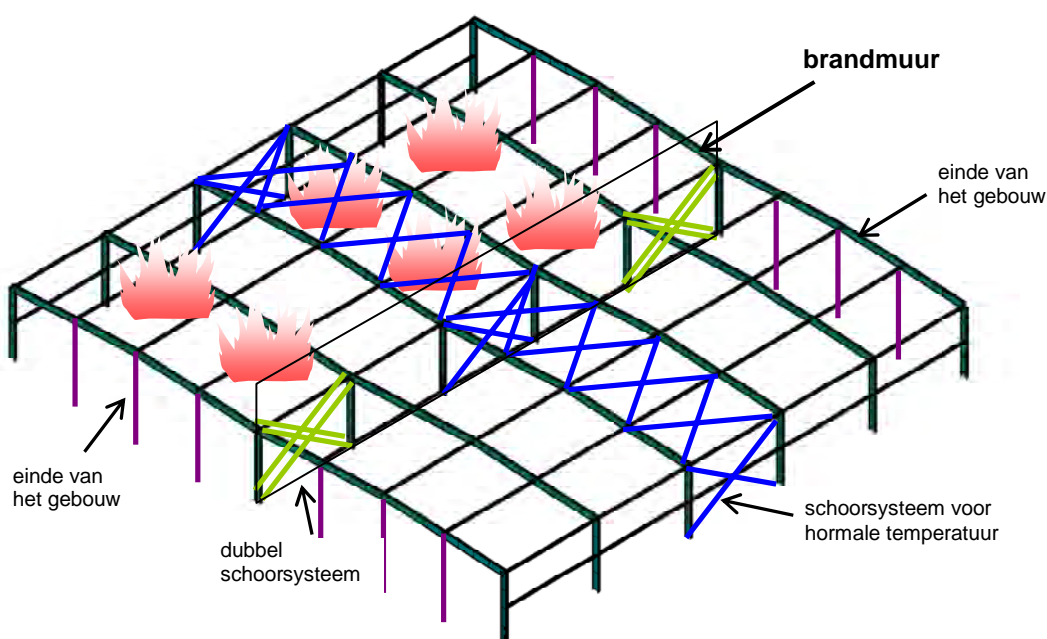
6.4. Aanbevelingen voor schoren

6.4.1. Brandmuren die loodrecht staan op de staalconstructie

De constructie mag niet instorten naar buiten toe in de lengterichting (loodrecht op de staalconstructie). De oplossing hier is om de juiste schoorsystemen te gebruiken. Elk compartiment moet voorzien zijn van een eigen schoorsysteem (zie Afbeelding 6-8). Daarom moeten de volgende oplossingen worden toegepast:

- **extra verticale schoren gebruiken aan weerszijden van de brandmuur. De schoren moeten een laterale belasting kunnen opvangen die gelijkstaat aan 20% van de normale windbelasting (overeenkomstig de combinatiebelasting bij brand), berekend voor geveleppervlak "S" beperkt tot de breedte van slechts één overspanning ($S = h \times l$)**
- **de schoren aan weerszijden van de brandmuren verdubbelen of de bestaande schoren tegen brand beschermen.**

Deze schoorsystemen moeten echter compatibel zijn met de omgevingstemperatuur van het ontwerp, zodat ze geen problemen zullen veroorzaken, bijv. bij uitzetting van de verbinding.



Afbeelding 6-8 Schoren aan het lange einde van de opslagloods

6.4.2. Brandmuren die parallel staan aan de staalconstructie

De schoren (verticaal tussen kolommen of horizontaal op het dak) bevinden zich doorgaans in hetzelfde compartiment. Als de brandmuren parallel lopen aan de staalconstructie moet een extra schoorsysteem worden geïnstalleerd (verticaal en horizontaal op het dak) voor elk compartiment, zodat instorting van de staalconstructie in de cel waar de brand woedt, er niet toe leidt dat het hele gebouw instabiel wordt (Afbeelding 6-9). Elk ondersteuningssysteem moet zo zijn ontworpen dat het de volgende horizontale, uniforme belasting kan opvangen:

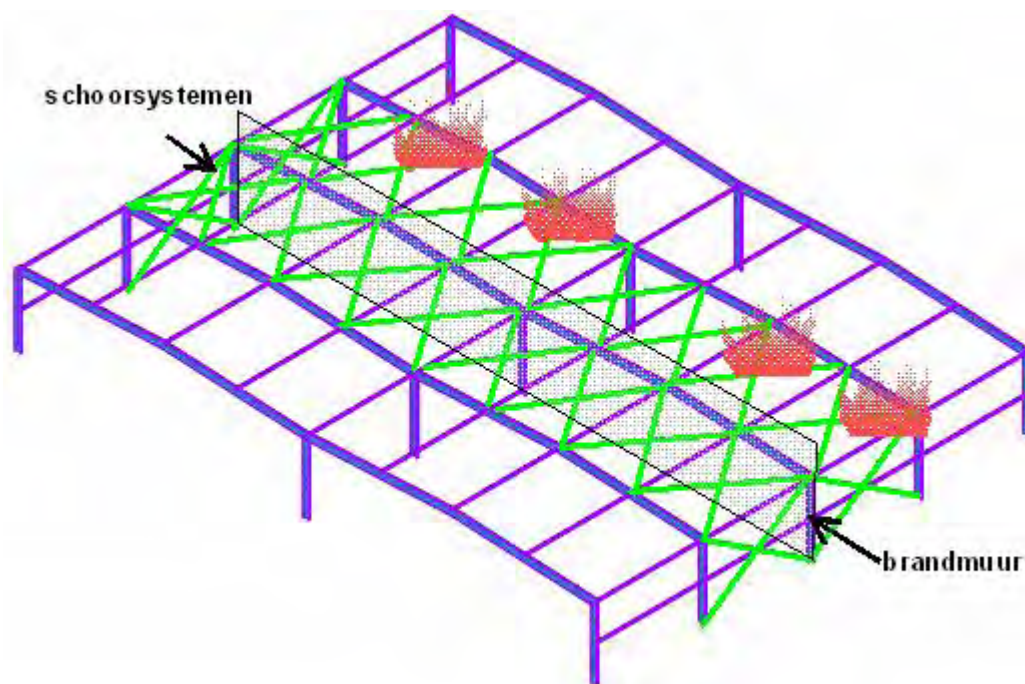
$$F = 1,19 q$$

Vergelijking 6-2

met

$$q = G + 0.2 S \Rightarrow \text{Vergelijking 4-7}$$

Als de brandmuur wordt opgenomen in een stalen constructie, moeten de steunende elementen van de schoren worden verankerd aan de stijve stalen elementen die de gordingen aan weerszijden van de muur ondersteunen.

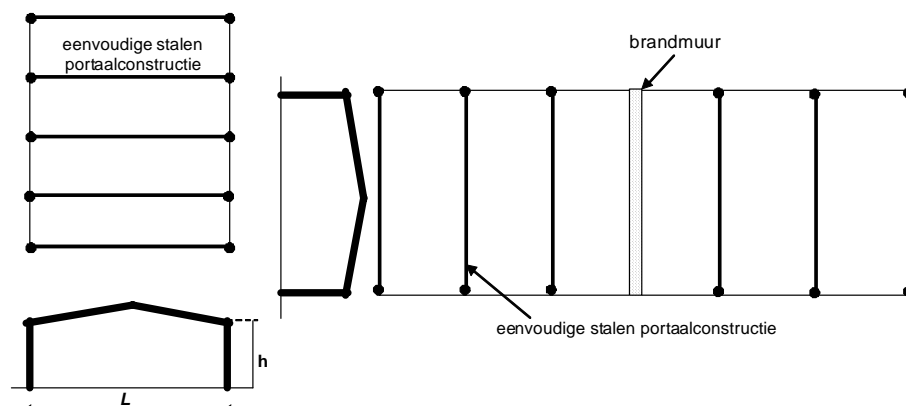


Afbeelding 6-9 Schoorsystemen van opslagloodsen

6.5. Aanvullende ontwerpaanbevelingen voor eenvoudige portaalconstructies van staal

Parametrische onderzoeken [6, 11, 12] uitgevoerd met het geavanceerde numerieke model SAFIR [5, 10] tonen aan dat een eenvoudige portaalconstructie van staal bij opslagloodsen in sommige gevallen naar buiten toe kan instorten (Afbeelding 6-10).

In dergelijke gevallen kan dat worden voorkomen door de verbindingen tussen de kolommen en de fundering, en het weerstandsvermogen van de fundering, extra weerstand te geven bij omgevingstemperatuur. De weerstand moet zo sterk zijn dat de verticale belasting bij brand kan worden opgevangen met een extra buigmoment dat gelijk is aan 20% van het ultieme plastische moment van de kolom bij omgevingstemperatuur.



Afbeelding 6-10 Industriebouwen met een eenvoudige portaalconstructie van staal



7. Referenties

- [1] LENAS – Logiciel de simulation du comportement mécanique des structures métalliques soumises à un incendie – Article de la Revue Construction Métallique n°3 – 1999.
- [2] N. AYME et D. JOYEUX, “Méthode de vérification du comportement au feu d’entrepôts en acier”, revue Construction Métallique, n°1,2005.
- [3] N. AYME et D. JOYEUX, “Guide d’application d’une méthode de vérification du comportement au feu de la structure d’entrepôt suivant l’arrêté du 5 août 2002”, CTICM, INSI - 04/277 - NA/PB, 2004.
- [4] XP ENV 1993-1-2 - Eurocode 3 “Calcul des structures en acier” et Document d’Application Nationale – Partie 1-2 : Règles générales – calcul du comportement au feu.
- [5] ANSYS, “ANSYS User’s Manual for Revision 8.0 – Volume IV – Theory”, Swanson Analysis SYSTEM, INC., Houston USA, 1992.
- [6] O. VASSART, L-G. CAJOT, B. ZHAO, J. DE LA QUINTANA, J. MARTINEZ DE ARAGON, A. GRIFFIN, “Fire Safety of Industrial Halls and Low-rise Buildings : Realistic Fire Design, Active Safety Measures, Post-local failure simulation and Performance Based Requirements”, ECSC Research 7210-PA/PB/PC/PD/378.
- [7] O’MEAGHER, AJ, BENNETTS, ID, DAYAWANSA, PH AND THOMAS, IR, “Design of Single Storey Industrial Buildings for Fire Resistance” , Journal of the Australian institute of Steel Construction, Vol. 26, n°2, May 1992.
- [8] O’MEAGHER, AJ, BENNETTS, ID, DAYAWANSA, PH AND THOMAS, IR, “Fire protection of steel framing” AUBRCC Research project AP25 BHP Research & New Technology, BHP RML/CM7/90/001, December 1990.
- [9] NFPA 221, “Standard for Fire Walls and Fire Barrier Walls”, 2000.
- [10] SAFIR Software, “A Computer Program for Analysis of Structures Submitted to the Fire”, Université de Liège, Département Structures du Génie Civil, Service Ponts et Charpentes; 2000.
- [11] K. PILLANT, J-P MUZEAU, O. VASSART, “Etude par éléments finis de la sécurité au feu des halls de stockage” CUST, Département Génie Civil; 2004
- [12] P. HONORE, P. SPEHL, E. SCHMIT, O. VASSART, “Quantification de l’effondrement en cas d’incendie, d’une structure métallique sur les compartiments au feu voisins, pour un bâtiment d’un seul niveau” Université Libre de Bruxelles, Faculté des Sciences Appliquées; 2005.

