



Brandveilig Constructief Ontwerp

Technisch rapport TR2 MP0.4

(Case study industriegebouw)



Technisch rapport TR2 MP0.4

Case study industriegebouw

Contact:

Dr. Ir. Lincy Pyl
Docent Bouwkunde

Hogeschool voor Wetenschap & Kunst
Campus DE NAYER
Jan De Nayerlaan 5
BE-2860 Sint-Katelijne-Waver

Tel. +32 (0)15 31 69 44
Fax +32 (0)15 31 74 53
tetra-brandveiligheid@denayer.wenk.be
[http:// www.TETRA-Brandveiligheid.be](http://www.TETRA-Brandveiligheid.be)

Partners:





Brandveilig Constructief Ontwerp

Technisch rapport TR2 MP0.4

(Case study industriegebouw)



Technisch rapport specificaties

Datum verslag: 22-10-09

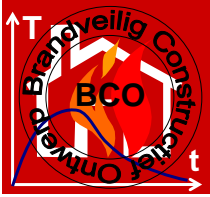
Laatste datum wijzigingen: 23-03-10

Auteurs: Lincy Pyl – Jean-Baptiste Lansival, François Hanus, nagelezen door Jean-Marc Franssen

Onderwerp: Case study

Inhoud

1.	Beschrijving van de case study.....	4
1.1.	Inplanting	4
1.2.	Materiaalkeuze	5
1.3.	Profielkeuze	5
1.4.	2D Model	6
1.5.	Mechanische belasting	9
1.6.	Mechanische randvoorwaarden.....	10
1.7.	Vooropgestelde brandweerstand van het gebouw.....	13
2.	Thermische belasting en thermische respons.....	15
2.1.	Inleiding	15
2.2.	Natuurlijke brand.....	23
2.2.1.	Analyse van de gasttemperatuur in het compartiment.....	23
2.2.2.	Analyse van de temperatuur in de kolom bij blootstelling aan de lokale brand.....	25
3.	Mechanische analyse	26
3.1.	Raamspant 1	26
3.1.1.	Berekening bij omgevingstemperatuur	26
3.1.2.	Berekening bij blootstelling aan de standaardbrand	27
3.1.3.	Berekening bij blootstelling aan de lokale brand.....	28
3.2.	Raamspant 2	34
4.	Constructieve integriteit	37
5.	Conclusie	38
6.	Bijlage 1: Gegevens van de analyse in OZone	38
7.	Bijlage 2: Resultaten van de analyse in OZone	42
8.	Bijlage 3: Resultaten van de analyse in Elefir – Kritieke temperatuur in functie van de belasting.....	44



Brandveilig Constructief Ontwerp

Technisch rapport TR2 MP0.4

(Case study industriegebouw)



Voorwoord

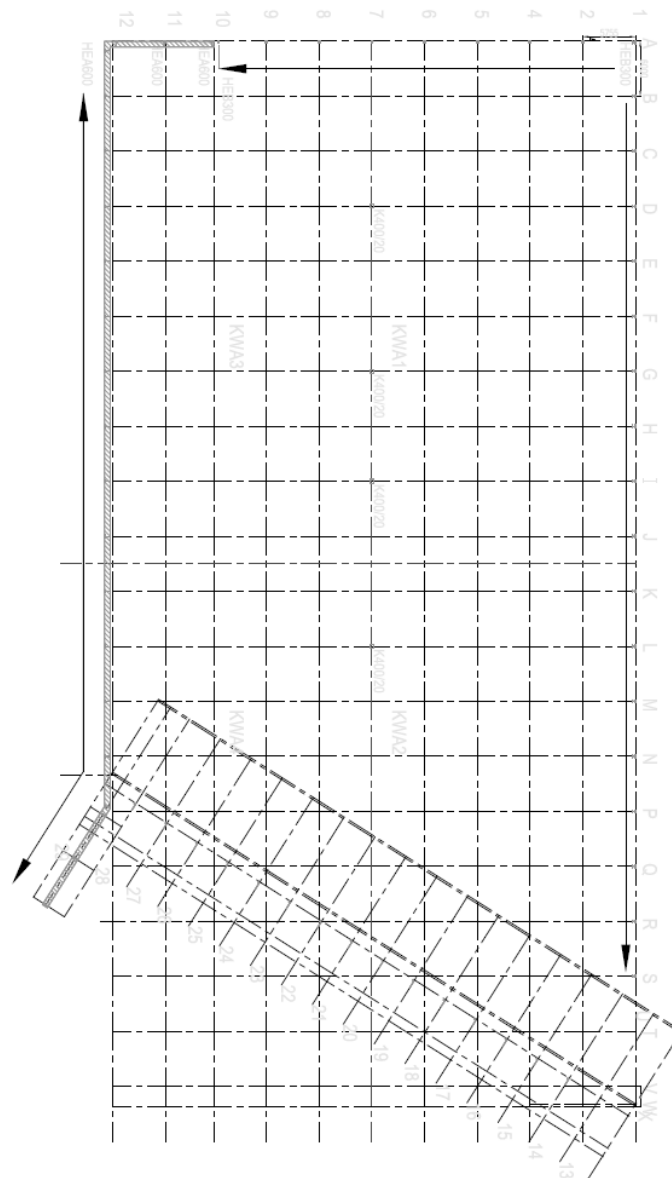
De case study van de industriehal maakt gebruik van het concept van structural Fire Safety Engineering (FSE). Deze kadert in WP2.2 Case studies van het IWT-project 080157 Brandveilig Constructief Ontwerp en heeft als doelstelling om alle betrokken actoren op het vlak van het brandveilig constructief ontwerp vertrouwd te maken met de op performantiecriteriën gebaseerde ontwerpmethoden, zodat zij voldoende gewapend zijn om op een verantwoorde manier met deze nieuwe vrijheid en ontwerpmethoden te kunnen omgaan in de praktijk.

De specifieke opbouw en brandbelasting, eigen aan dit ontwerp, zorgen ervoor dat deze case study drastisch verschilt van de meeste courante industriegebouwen. De case study werd uitgevoerd door L. Pyl, met de ondersteuning bij de software SAFIR van J.-B. Lansival en F. Hanus en onder advies van J.-M. Franssen bij de keuze van de randvoorwaarden en de beoordeling van de resultaten. Hoewel bij deze case study het leergeld moest betaald worden voor het werken met het geavanceerde model SAFIR, bleek duidelijk dat een volledige 3D-modellering van de constructie niet haalbaar is binnen de huidige mogelijkheden van de software. Voor courante industriegebouwen blijft het gebruik van eenvoudige rekenregels, gevalideerd aan de hand van geavanceerde rekenmodellen, dus aangewezen.

1. Beschrijving van de case study

1.1. Inplanting

Het industriegebouw is een academisch voorbeeld waarin getracht wordt het gebruik van op performantiecriteriën gebaseerde ontwerpregels te demonstreren aan de hand van het geavanceerde rekenmodel SAFIR.



Figuur 1: Overzichtsplan inplanting

Tabel 1: Afmetingen gebouw

Afmeting	[m]
Wand as A	57,550
Wand as X	62,418
Wand as 12	84,000
Wand as 1	116,147

Figuur 1 toont het inplantingsplan van het gebouw. De bijhorende afmetingen zijn weergegeven in Tabel 1. De oppervlakte bedraagt ongeveer 5838 m². Het gebouw heeft een breedte/diepte verhouding van ongeveer 1/2. Links van as 12 situeert zich een bedrijventerrein. Rechts van as 1 bevindt zich een weg met ernaast een bestaand gebouw op een afstand van 12 m van de beschouwde constructie. Aan de voorzijde van het gebouw bevinden zich loskades voor vrachtwagens en een kantoorgebouw. De grijze zone in Figuur 1 is een betonnen constructie in de stalen constructie, die een sociale functie (refter,...) heeft. De betonnen constructie is zelfdragend en wordt verondersteld te voldoen aan de vereiste brandweerstand, gebaseerd op eenvoudige controles op elementniveau. De stalen constructie steunt op de dakplaat van het betonnen gebouw.

Dit gebouw dient als opslagplaats voor afval afkomstig van een warenhuisketen.

1.2. Materiaalkeuze

De staalkwaliteiten verwerkt in de constructie zijn de volgende:

- Profielen en platen: S235JR, tenzij anders vermeld;
- Buizen en kokers: S235JRH, tenzij anders vermeld;
- Gelaste platen en profielen: Zelfde kwaliteit als hoofdonderdeel, tenzij anders vermeld.

Het lasmateriaal dient minimum even sterk te zijn als het moedermateriaal. Tenzij anders vermeld zijn de lassen continue lassen en hebben ze een minimum keeldoorsnede van 4 mm.

Tenzij anders vermeld hebben alle bouten de kwaliteit 8.8, zijn voorzien van moeren en rondsels. Bouten, moeren en onderleggingen zijn thermisch verzinkt.

De elementen zijn gegalvaniseerd.

1.3. Profielkeuze

De keuze van de dakliggers is onder andere bepaald door de sprinkler norm, die voor ESFR-sprinklers een maximum gebouwhoogte van 12,2 m oplegt. 10,6 m vrije hoogte betekent dat er slechts 1,6 m voor de liggerhoogte over blijft. Daartoe werden vakwerkliggers gekozen. De bovenregel is een UPN profiel (met de open zijde naar onder gekeerd), de onderzijde idem. De verticale stijlen bestaan uit IPE profielen, de diagonalen bestaan uit gelijkbenige L-profielen. De keuze van L-profielen bleek bij brand een gunstig effect te hebben omdat deze snel bezwijken. Hierdoor gaat ter hoogte van het middensteunpunt een scharnier gevormd worden die de ligger van de brandwand weg doet bewegen.

De middenkolommen zijn kokerprofielen omdat deze rond de beide assen belast worden. Deze zijn onderaan ingeklemd.

De schikking of locatie van de kolommen is dusdanig gekozen dat de vrije ruimte in de industriehal niet gestoord wordt. De centrale opvangliggers (as 7-7), die afdragen op de kolommen, overspannen:

- 3 maal 6000 mm;
- 3 maal 6000 mm;
- 2 maal 6000 mm;
- 3 maal 6000 mm;
- 5 maal 6000 mm + afstand tot as X.

De langstabiliteit van het gebouw wordt gegarandeerd door windverbanden tussen assen H en J. Het windverband is deels verwerkt in de brandwand.

De dwarsstabiliteit van het gebouw wordt gegarandeerd door windverbanden tussen de assen 4 en 6. Ter hoogte van de loskades wordt gerekend op de schijfwerking van de wand die de belastingen afdragen op de betonnen aanbouw en de trappenhal.

1.4. 2D Model

De analyse van de constructie is gebaseerd op een vereenvoudiging van het volledig 3D model van de constructie waarbij achtereenvolgens het 2D raamspant wordt berekend dat zich bevindt op as I-I en vervolgens het 2D raamspant op as 7-7 (zie Figuur 2: 3D zicht van het gebouw). De betekenis van 2D moet hier ruim geïnterpreteerd worden. Het raamspant wordt gemodelleerd in 2D maar de stabiliteitsverschijnselen uit het vlak van het raamwerk (knik loodrecht op het vlak van het raamwerk en zijdelings wegslaan van de vakwerkligger of kip) worden mee in rekening gebracht.

- Raamspant 1:

As I-I – dwarsrichting van het gebouw – kortste zijde

De geometrie is weergegeven in Figuur 3. Het linkse veld overspant 29,375 m. Het rechtse veld overspant 28,625 m. De linkse kolom (HEA 600) wordt niet blootgesteld aan brand omdat deze alzijdig beschermd wordt door een compartimentswand. Het gebruikte type element met de bijhorende materiaaleigenschappen is weergegeven Tabel 2.

Type element	Staalkwaliteit
HEA 600	S 355
IPE 240	S 235
HEB 300	S 235
HFLeq 70x70x7	S 235
UPN 240	S 355
K400x400x20	S 355
HEA 200	S 235

Tabel 2: Raamspant 1 - Type elementen en materiaaleigenschappen

De diagonalen van de vakwerkliggers zijn dubbel uitgevoerd in gelijkbenige hoekstalen HFLeq 70x70x7 en worden ook ontdubbeld gemodelleerd.

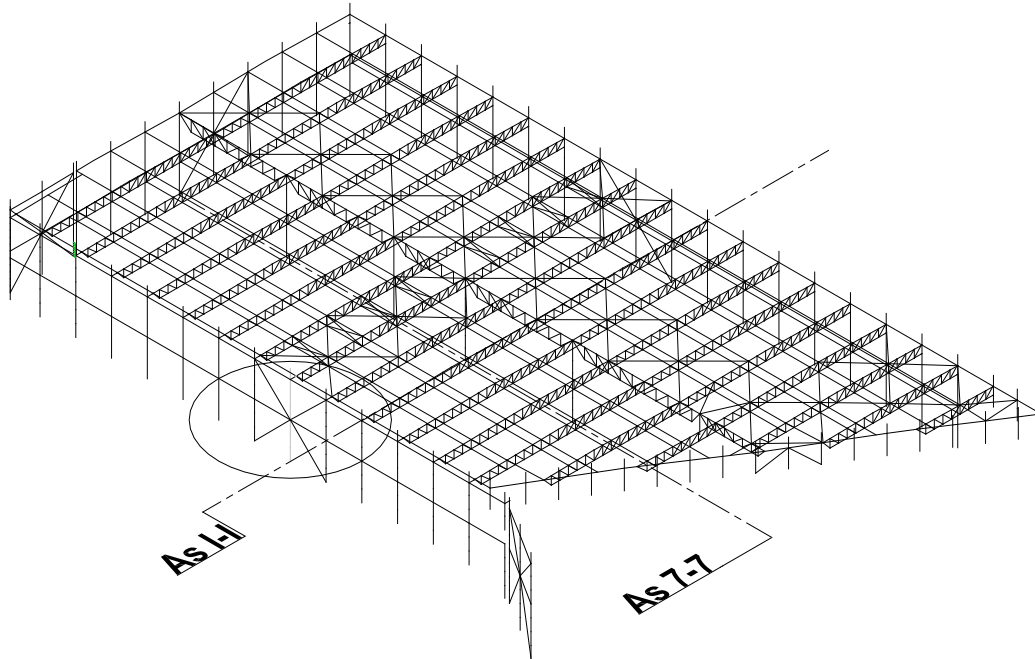
- Raamspant 2:

As 7-7 – langsrichting van het gebouw – langste zijde

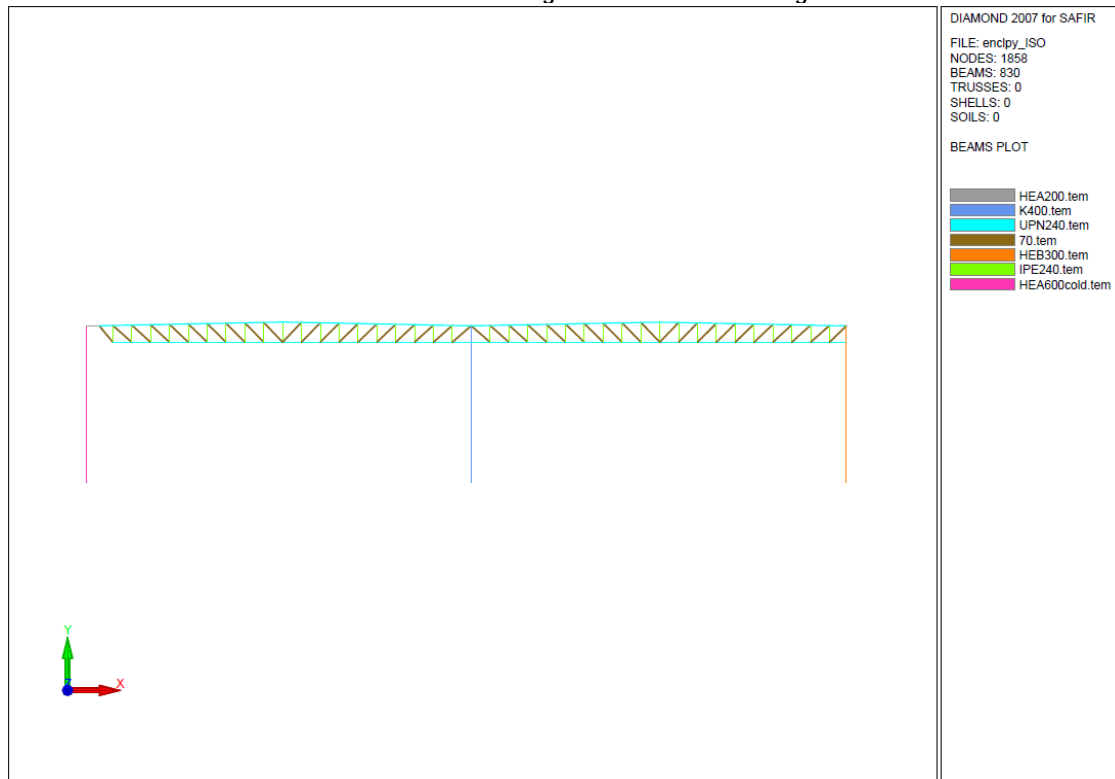
De geometrie is weergegeven in Figuur 4. De overspanning van de velden van links naar recht in Figuur 4 bedraagt respectievelijk 10,9 m , 21,3 m, 18 m, 12 m, 18 m en 18 m. Het gebruikte type element met de bijhorende materiaaleigenschappen is weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3: Raamspant 2 –Type elementen en materiaaleigenschappen

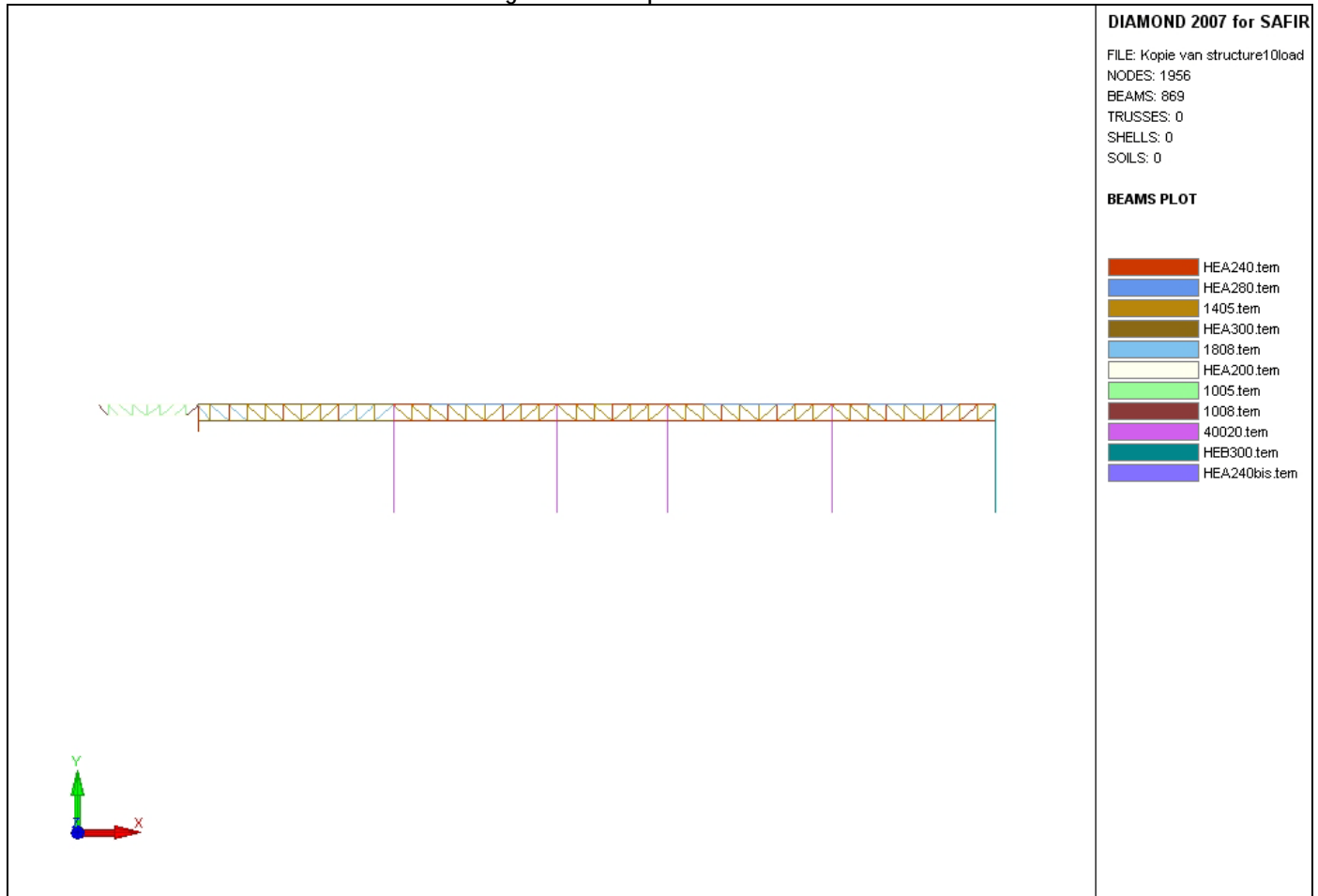
Type element	Staalkwaliteit
HEA 240	S 355
HEA 280	S 355
K140x140x5	S 275
HEA 300	S 355
K100x100x8	S 355
HEA 200	S 235
K100x100x5	S 235
K180x180x8	S 355
K400x400x2	S 355
HEB 300	S 235
HEA 240bis	S 235



Figuur 2: 3D zicht van het gebouw



Figuur 3: Raamspant 1 – Geometrie



Figuur 4: Raamspant 2 - Geometrie

1.5. Mechanische belasting

Het eigen gewicht van de verschillende constructieonderdelen wordt in rekening gebracht.

Een blijvende belasting van 50 kg/m² wordt aangebracht op de bovenregel van het raamspant. Dit vertegenwoordigt het eigen gewicht van de dakbeplating. Rekening houdend met een tussenafstand van 6 m tussen twee opeenvolgende raamspanten, levert dit een karakteristieke waarde van de gelijkmatig verdeelde belasting van 3 kN/m.

Technieken, vertaald in een belasting van 10 kg/m² worden eveneens als blijvende belasting op de constructie geplaatst.

Bij brand is de buitengewone of accidentele belastingssituatie bij brand van toepassing. De windbelasting moet volgens NBN EN 1991-1-2-ANB, ingeval van een overheersende veranderlijke belasting, worden toegepast met de frequente

waarde voor de $\psi_{1,1}$ coëfficiënt. Voor wind bedraagt de $\psi_{1,1}$ coëfficiënt ($\psi_{1,1} = 0,2$). Zowel de langs- als de dwarsstabiliteit van de constructie is gegarandeerd door gebruik te maken van windverbanden. De sterk gereduceerde invloed van de windbelasting bij brand en de opname van de horizontale windlast door gebruik te maken van windverbanden rechtvaardigt in de berekening de aanname dat er geen windbelasting aangrijpt op de raamspanen.

De uiteindelijke doelstelling is de berekening van het raamspant bij brand. De belastingsgevallen die in rekening worden gebracht, worden vastgelegd vanuit deze optiek. De coëfficiënt $\psi_{2,1}$ die in de accidentele belastingssituatie bij brand van toepassing is voor de voorgeschreven belastingen in gebouwen volgens categorie H: daken bedraagt $\psi_{2,1} = 0$. Bijgevolg wordt de onderhoudslast niet in rekening gebracht, noch bij brand, noch bij omgevingstemperatuur.

Om toch een zekere asymmetrie in de belastingscombinatie op te nemen, wordt verondersteld dat in het linkse veld van raamspant 1 op de onderregel van de vakwerkligger een gelijkmatig verdeelde belasting van 0,6 kN/m als blijvende belasting afkomstig van technieken aangrijpt en in het rechtse veld slechts 0,3 kN/m. De asymmetrie in de aangelegde belasting laat toe om eventuele faalmodes in een zijdelingse uitwijkingsvorm aan het licht te brengen.

- **Uiterste grenstoestand, blijvende/tijdelijke combinatie bij omgevingstemperatuur**
1,35 x eigen gewicht + 1,35 x 3 kN/m (bovenregel vakwerkligger) + 1,35 x 0,6 kN/m (onderregel vakwerkligger linkse veld) en 1,35 x 0,3 kN/m (onderregel vakwerkligger rechtse veld)
- **Uiterste grenstoestand, buitengewone belastingscombinatie bij brand**
1,00 x eigen gewicht + 1,00 x 3 kN/m (bovenregel vakwerkligger) + 1,00 x 0,6 kN/m (onderregel vakwerkligger linkse veld) en 1,00 x 0,3 kN/m (onderregel vakwerkligger rechtse veld)

1.6. Mechanische randvoorwaarden

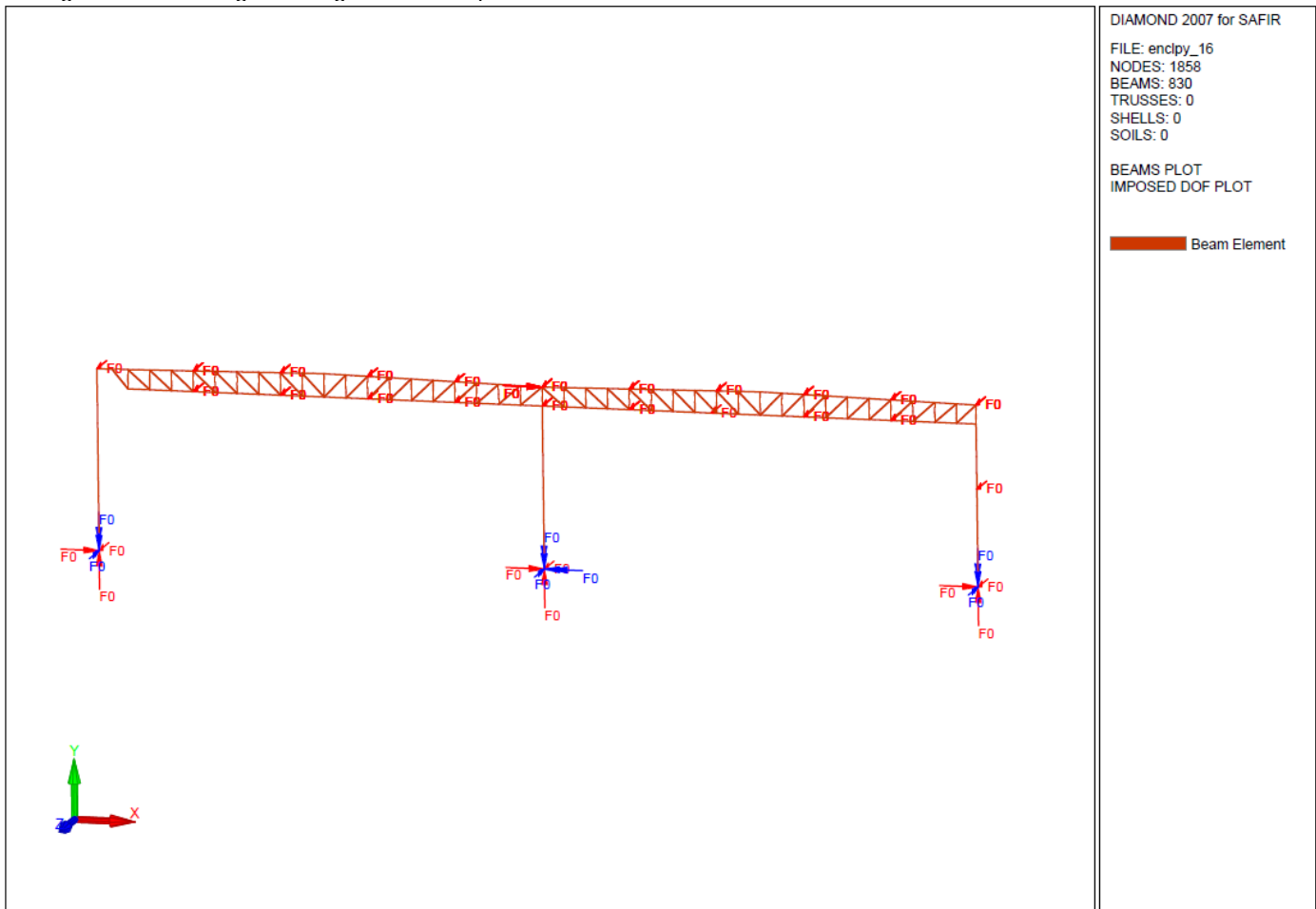
Achtereenvolgens worden de mechanische randvoorwaarden van het 2D raamspant besproken dat zich bevindt op as I-I en vervolgens het 2D raamspant op as 7-7 (Figuur 1).

De vakwerkligger is ter plaatse van de linkse kolom glijdend opgelegd in de langsrichting van de vakwerkligger met als doelstelling dat de ligger zich van de compartimentswand weg beweegt bij bezwijken om beschadiging van de wand te voorkomen. Centraal en ter plaatse van de rechtse kolom worden de onder- en bovenregel van de vakwerkligger vast verbonden met de kolom.

De belemmerde vrijheidsgraden (degrees of freedom – DOF's) worden weergegeven in Figuur 5. De translaties (aangeduid met rode pijlen met bijschrift F0) van de kolomvoeten worden in de drie onderling loodrechte richtingen belet. De rotatie (blauwe (dubbele) pijlen met bijschrift F0) van de kolommen rond de langsassen evenals de rotatie rond de zwakke as (globale z-as in het assenstelsel zoals weergegeven in Figuur 5) zijn belemmerd. De centrale kolom is een kokerprofiel K 400x400x20 voorzien van een voetplaat die met behulp van bouten stevig met de fundering is verbonden in beide richtingen en bijgevolg kan beschouwd worden als een inklemming rond de beide assen. De rechtse kolom is voorzien van een knikverkort rond de zwakke as op 6,4 m hoogte van de voet van de kolom ten gevolge van de aanwezigheid van wandregels.

Het kippen van de vakwerkligger wordt belet door de gordingen en kipsteunen ter hoogte van de onderregel (zie Figuur 2: 3D zicht van het gebouw). In het 2D model wordt dit gemodelleerd door verhinderde translaties loodrecht op het vlak van het raams pant ter plaatse van de gordingen (bovenregel) en de kipsteunen (ter hoogte van de onderregel).

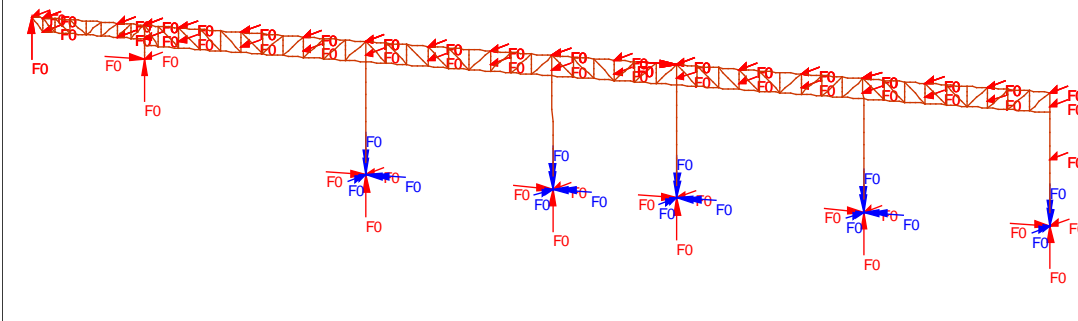
Het raams pant 1 (as I-I) bevindt zich tussen twee traveeën waar de windverbanden voor de opname van de windbelasting in de dwarsrichting zich situeren (Figuur 8). Dit rechtvaardigt de aanname dat de zijdelingse verplaatsing in de globale x-richting ter hoogte van de top van de middelste kolom is belet.



Figuur 5: Raams pant 1 - Mechanische randvoorwaarden

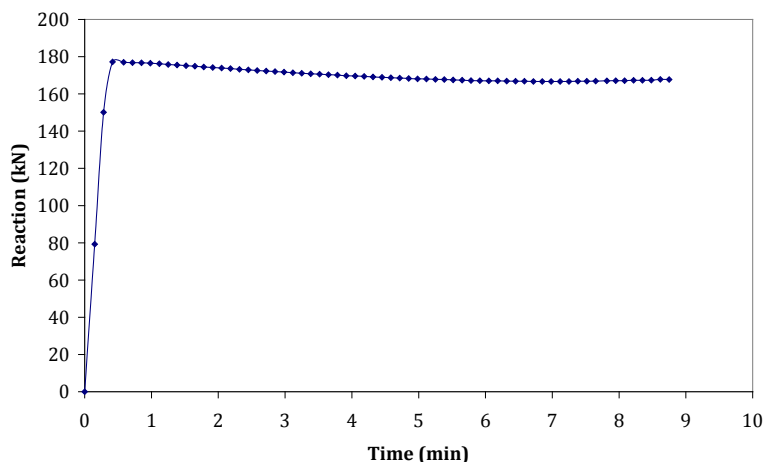
Het bestudeerde raams pant 2 is de primaire centrale opvangligger in de longitudinale richting van het gebouw (as 7-7) (aangeduid met ellips in Figuur 8). De verplaatsingen in het vlak van het raams pant worden verhinderd door een schoorsysteem (windverbanden in het dakvlak in de vorm van andreaskruisen). De verplaatsingen uit het vlak van raams pant 2 worden verhinderd door de aanwezigheid van de secundaire vakwerkliggers (waartoe raams pant 1 behoort). Deze secundaire vakwerkliggers hebben een hoogte van 1,238 m. De primaire opvangligger heeft een hoogte van 1,8 m. Vandaar dat de steunen uit het vlak van raams pant 2 op 1,238 m van de bovenregel gesitueerd zijn (Figuur 6).

De translaties (aangeduid met rode pijlen met bijschrift F0) van de kolomvoeten worden in de drie onderling loodrechte richtingen belet. De rotatie (blauwe (dubbele) pijlen met bijschrift F0) van de kolommen rond de langsas evenals de rotatie rond de zwakke as zijn belemmerd voor de kolommen bestaande uit een kokerprofiel K 400x400x20 voorzien van een voetplaat die met behulp van bouten stevig met de fundering is verbonden in beide richtingen en bijgevolg kan beschouwd worden als een inklemming rond de beide assen. De rechtse kolom is voorzien van een knikverkort rond de zwakke as op 6,4 m hoogte van de voet van de kolom ten gevolge van de aanwezigheid van wandregels. De rotatie van de rechtse kolom HEB 300 rond de langsas en rond de sterke as van de kolom is verhinderd. Het linker uiteinde van raamspant 2 is een vakwerkligger met hoogte 1,238, identiek aan de hoogte van de vakwerkliggers in dwarsrichting (raamspant 1) en rust aan het linkse uiteinde op een opvangligger en wordt rechts ondersteund door een kolom die afdraagt op de dakplaat van de betonnen constructie.

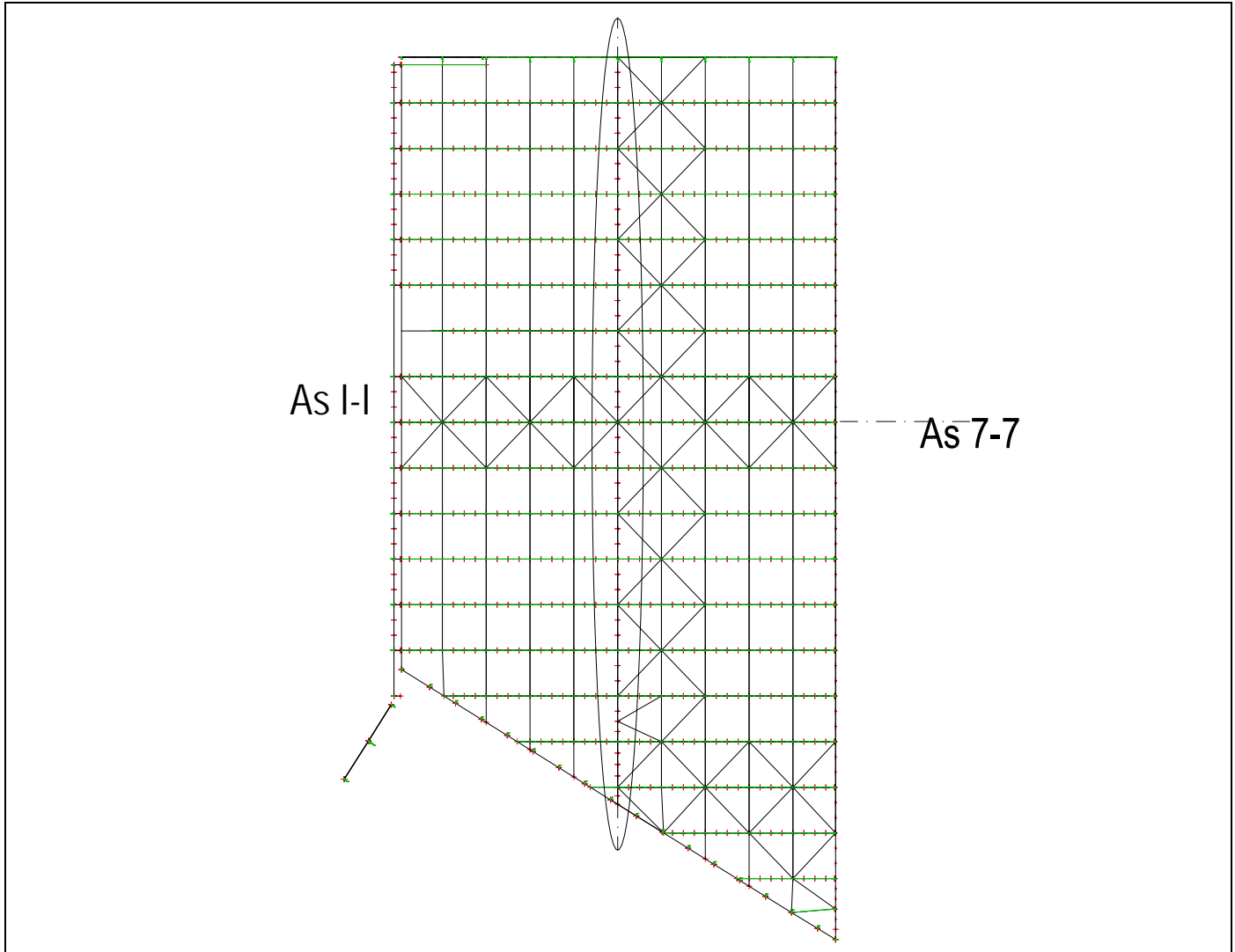


Figuur 6: Raamspant 2 - Model met randvoorwaarden

De reactiekracht die door de secundaire vakwerkligger, die wordt blootgesteld aan de standaardbrand, wordt overgedragen is bij de mechanische analyse van raamspant 1 verkregen. Zij wordt in functie van de tijd weergegeven in Figuur 7 tot de brandweerstand van raamspant 1 is bereikt na 525 s. Om numerieke redenen, is de last stelselmatig opgebouwd gedurende de eerste 20 s van de brand. De reactiekracht evolueert weinig. Zij vermindert enigszins wegens de her distributie van de spanningen gedurende de brand. De reactiekracht die op de raamspant 2 is aangebracht, is gehalveerd aan de beide uiteinden. Aan één uiteinde is de last die op raamspant 2 is aangebracht gehalveerd omdat de daklast ten gevolge van een overspanning van 3 m in plaats van 6 m terecht komt op de kolom. Aan het ander einde is de afgedragen last van de secundaire ligger slechts afkomstig van één veld (Figuur 8).



Figuur 7: Reactiekracht uitgeoefend door de secundaire vakwerkliggers op de raamspant 2



Figuur 8: Windverbanden in het dakvlak

1.7. Vooropgestelde brandweerstand van het gebouw

Op het betonnen deel is een brandweerstand van R 120 opgelegd, conform ARAB omdat hier lokalen met een sociale functie ondergebracht zijn (refter,...). De vereiste brandweerstand op de staalconstructie is opgelegd door de bouwheer zelf. Volgende eisen worden gehanteerd:

- **Wand as 1: R 120**

De brandwand heeft als doel te verhinderen dat de brand van de weg buiten naar binnen overslaat. De afstand tussen het beschouwde gebouw en het naastliggende gebouw bedraagt 12 m maar de weg tussen beide gebouwen wordt gebruikt voor vrachtwagens met afval en het risico op brand van buiten naar binnen is groter.

- **Wand as 12: R 12 h**

Op het bedrijventerrein moet de brandwand met R 12 h voor een volledige scheiding zorgen. Om oververhitting ten gevolge van straling door een brandend voertuig ter hoogte van de loskade naar het naastliggende gebouw te beletten, is de brandwand doorgetrokken volgens as 29. Aan de achterzijde wordt eveneens een oververhitting ten gevolge van straling vermeden door eveneens een stuk brandwand met R 12 h ter hoogte van as A te voorzien over twee traveeën. In de derde travee bevindt zich een poort. Doorvoeringen door de wand zijn vermeden en passeren via een ondergrondse trekput. De trappenhal (zelfdragend) ter hoogte van deze brandwand is met een sas gescheiden van de buitenzijde van het beschouwde gebouw.

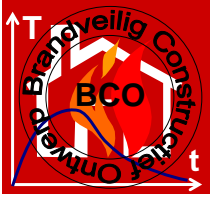
- **Industriële hal: geen R bepaald**

Het industriegebouw valt onder Bijlage 6. Aangezien het gebouw slechts uit één compartiment bestaat is er geen risico op voortschrijdende instorting over de compartimentsgrenzen heen. De structurele elementen behoren tot type II. Voor de structurele elementen type II voor een opslagplaats klasse C ($q_{fi,d} > 900 \text{ MJ/m}^2$) voor gebouwen met een verbeterde bereikbaarheid is geen R bepaald voor de vereiste brandweerstand, conform de typeoplossingen. De oppervlakte moet hiertoe beperkt blijven tot $1,6 \times 5000 \text{ m}^2 = 8000 \text{ m}^2$. Met een oppervlakte van ongeveer 5838 m^2 is aan deze voorwaarde voldaan. Voor de minimale brandweerstand voor de compartimentswanden wordt EI 120 vereist voor gebouwen klasse C. Dit geldt uiteraard ook voor de dragende functie van de brandwand. Een belangrijke bijkomende eis opgelegd aan de structurele elementen is dat deze bij bezwijken geen aanleiding mogen geven tot beschadiging van de brandwanden. Hiertoe zijn speciale voorzieningen getroffen die verderop in dit rapport aan bod zullen komen.

De analyse van de brandwanden op zich behoort niet tot de doelstellingen van deze case study. De brandwand R 12 h is opgebouwd uit stalen kolommen HEA 600 op een tussenafstand van 6000 mm. De brandwand is volledig op zichzelf staand (auto-stabiel). De voornaamste belasting is de horizontale belasting afkomstig van de wind. De kolommen worden belast rond hun sterke as. De kolomvoeten zijn ingeklemd. Ytong panelen met dikte 150 mm zijn aangebracht tegen de beide kolomflenzen. De verticale belasting ten gevolge van het eigen gewicht van de panelen wordt rechtstreeks afgedragen naar de grond.

Ytong-panelen met dikte 150 mm zijn geattesteerd voor REI 360. De temperatuur kan gedurende de eerste 6 h oplopen tot maximum $180 \text{ }^\circ\text{C}$. Na 6 h kan niet meer gerekend worden op de aanwezigheid van het paneel aan de binnenzijde van de compartimentswand. Bij de standaardbrand, met een immer stijgende temperatuur, is de temperatuur van de brandkromme opgelopen tot ruim $1200 \text{ }^\circ\text{C}$. In de veronderstelling van een natuurlijke brand met dalende tak is na deze periode van 6 h de temperatuur van de brand ruimschoots onder $600 \text{ }^\circ\text{C}$ terug gevallen. Hoewel de sterkte van het nu onbeschermd staal gedaald is, is de stabiliteit van de brandwand onder invloed van de accidentele belastingscombinatie (en dus een gereduceerde windbelasting (combinatiecoëfficiënt $\Psi = 0,2$)) nog gegarandeerd. De Ytong-panelen aan de buitenzijde van het compartiment vormen nog steeds een fysische scheiding. Na het uitdoven van de brand, dient de stabiliteit van de compartimentswand niet meer gegarandeerd te worden.

De windberekening gebeurt op basis van de Belgische norm – een drukcoëfficiënt van $+0,8 - (-0,5) = +1,3$ is ingerekend. Trekpalen zorgen voor de overdracht van de belastingen naar de grond. Terreincategorie II is gehanteerd. (De basiswinddruk bedroeg ongeveer 90 kg/m^2). Het oppervlak aan poorten is relatief laag ($< 30 \%$).



Brandveilig Constructief Ontwerp

Technisch rapport TR2 MP0.4

(Case study industriegebouw)



Richtingsveranderingen in de brandwand en de daarbij horende verplaatsingen in andere richtingen worden opgevangen door sluitkolommen in beton. Het deel as 29 van de brandwand vangt meer wind.

Hoewel aan de spanten op zich geen brandwerendheidseis ('geen R bepaald') is opgelegd, wordt in deze case study het gedrag onder invloed van verschillende thermische belastingen geanalyseerd. Een controle van het naar binnen bezwijken van de constructie en het vrijwaren van de brandwanden is belangrijk. Ter bescherming van de brandwanden dienen:

- Ze beschermd te worden tegen beschadiging door vallende liggers of andere constructie-elementen;
- De trekkrachten ten gevolge van de kettingwerking van de liggers beperkt te blijven.

Eventuele trekkrachten ten gevolge van de kettingwerking van de vakwerkliggers bleken te groot om opgevangen te worden door de brandwand. Daarom is een speciale oplegging ontworpen. Een longitudinale beweging van de liggers is mogelijk. Bij brand zullen beide bouten die voorzien zijn bezwijken waardoor de ligger naar beneden kan vallen, van de brandwand weg. Eén van de oplegpunten van de liggers is in staat dwarse krachten in te leiden in het windverband dat zich tussen de brandwand bevindt. Dit is slechts op één plaats toegestaan omdat anders door de belemmerde uitzetting krachten zouden geïnduceerd worden. De uitzetting bepaalt de afmetingen van het blok. Verticaal wordt de ligger tegengehouden om het optillen onder invloed van windzuiging te beletten.

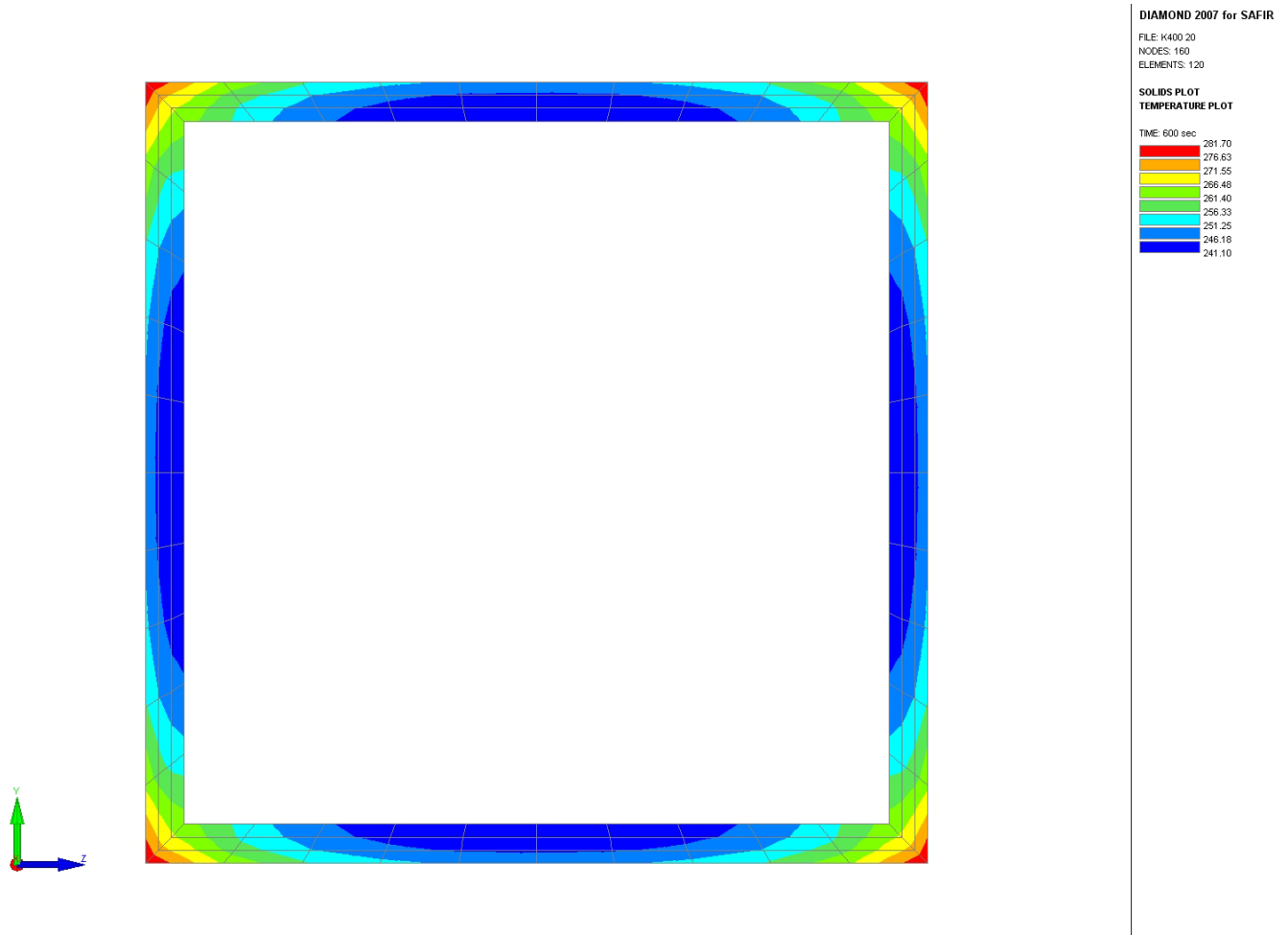
2. Thermische belasting en thermische respons

2.1. Inleiding

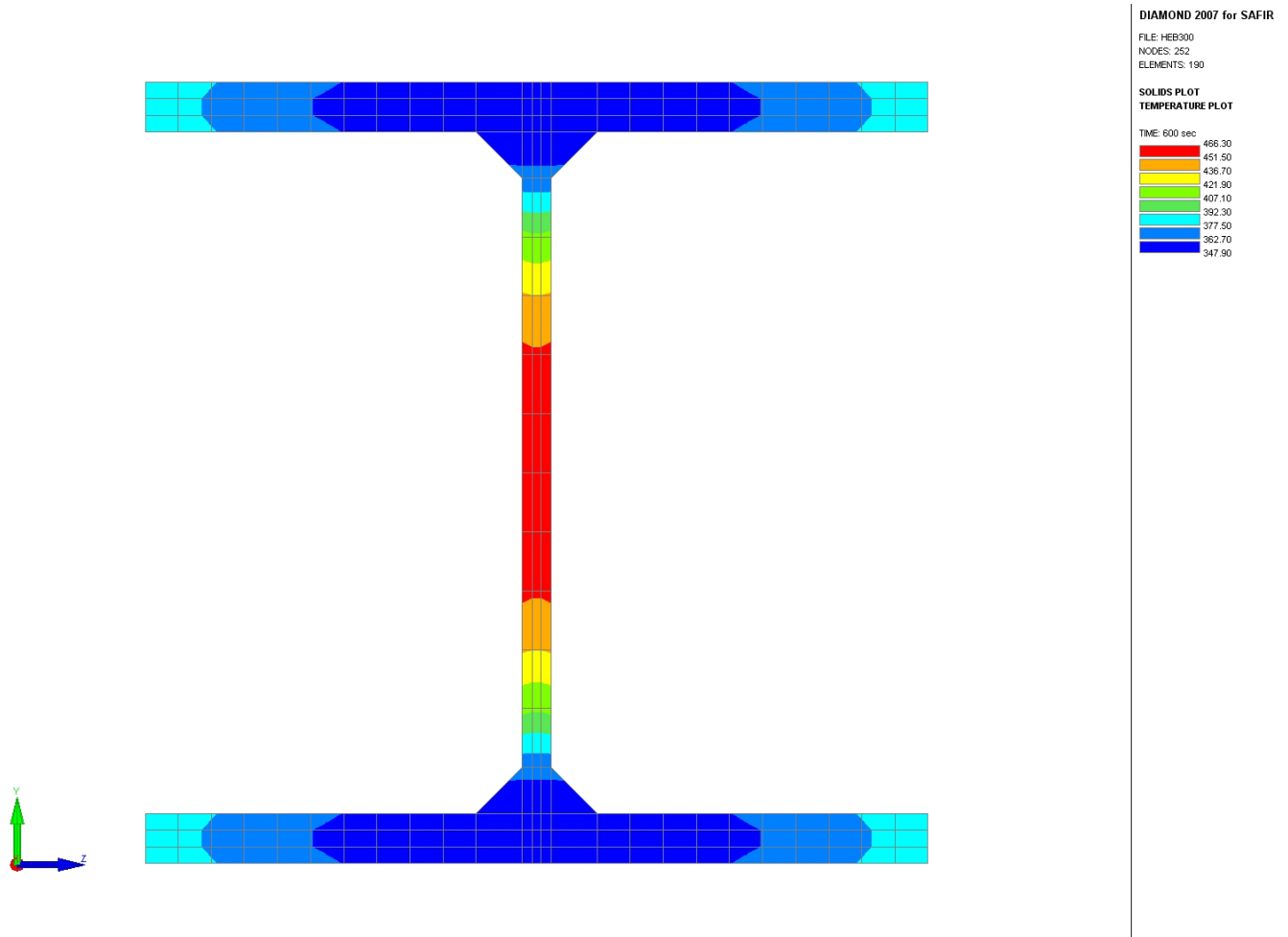
De constructie wordt geanalyseerd voor volgende thermische belastingen:

- Berekening bij omgevingstemperatuur (20°C);
- Standaardbrandkromme (ISO 834);
- Natuurlijke brand.

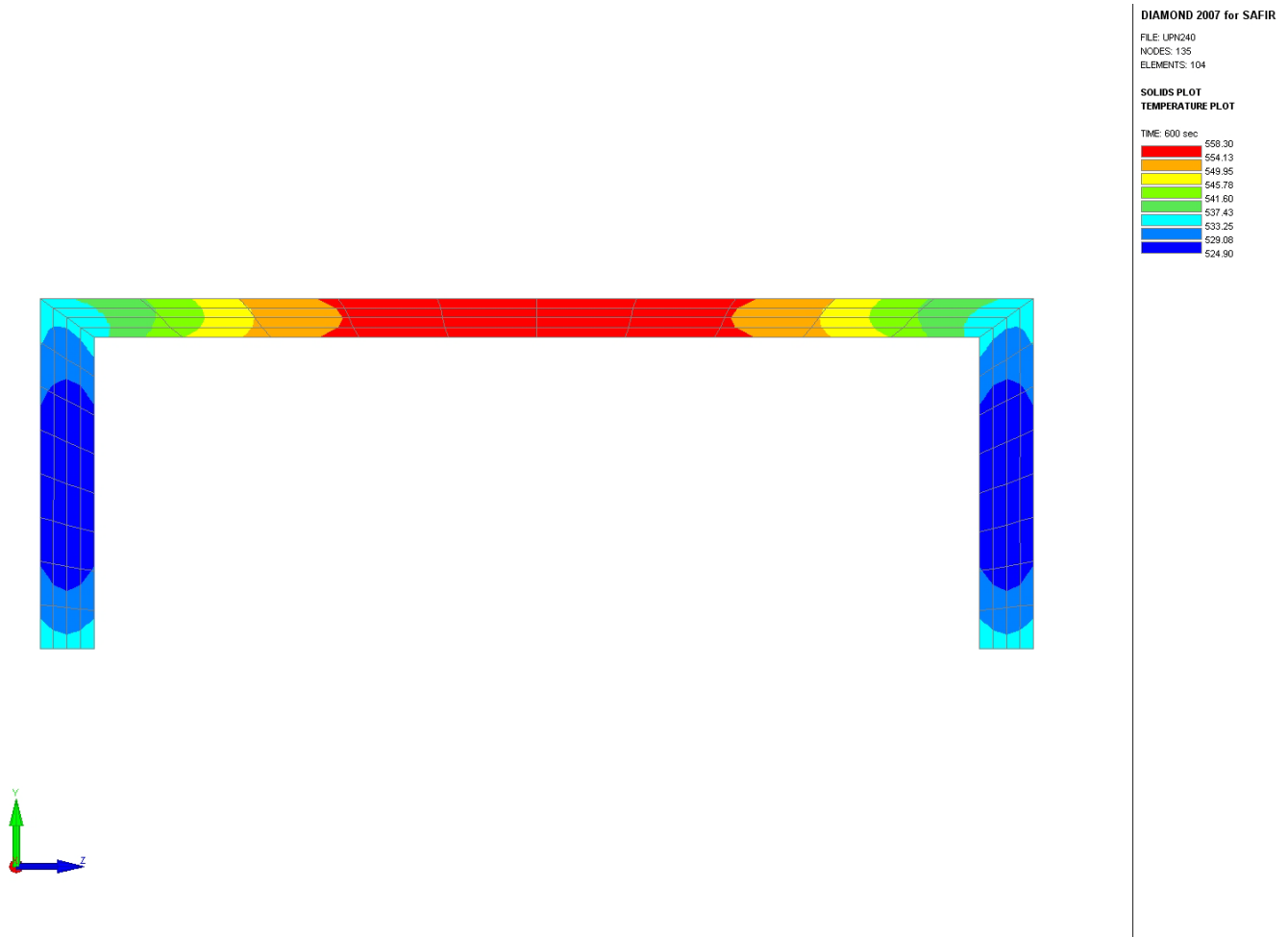
De thermische belasting en respons in het staalskelet bij omgevingstemperatuur is triviaal en wordt niet verder toegelicht. Het temperatuursverloop van de gassen in het compartiment bij de standaardbrand is gekend en de thermische respons in de stalen elementen wordt bepaald aan de hand van SAFIR. Zoals vermeld in paragraaf 1.4, wordt de linkse kolom niet blootgesteld aan brand. Figuur 9 toont het temperatuursverloop over de doorsnede voor de centrale kolom, een kokerprofiel K 400x400x20, na 10 minuten 4-zijdige blootstelling aan de standaardbrandkromme. De temperatuur over de doorsnede voor de rechtse kolom HEB 300 na 10 minuten 4-zijdige blootstelling aan de ISO 834 brand wordt weergegeven in Figuur 10.



Figuur 9: Temperatuursverloop over de doorsnede van de kolom K 400x400x20 na 600 s 4-zijdige blootstelling aan de standaardbrand



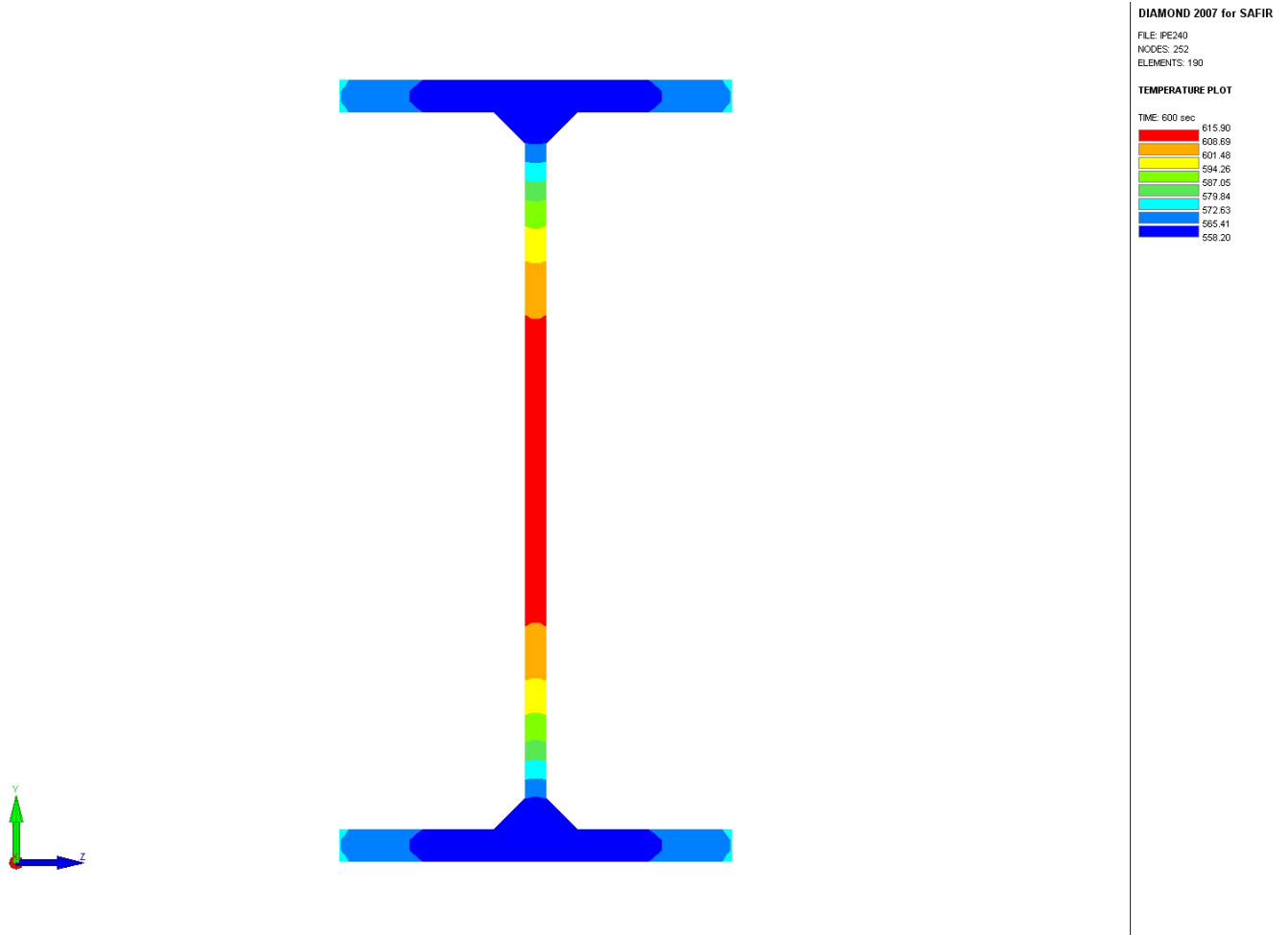
Figuur 10: Temperatuursverloop over de doorsnede van de kolom HEB 300 na 600 s 4-zijdige blootstelling aan de standaardbrand



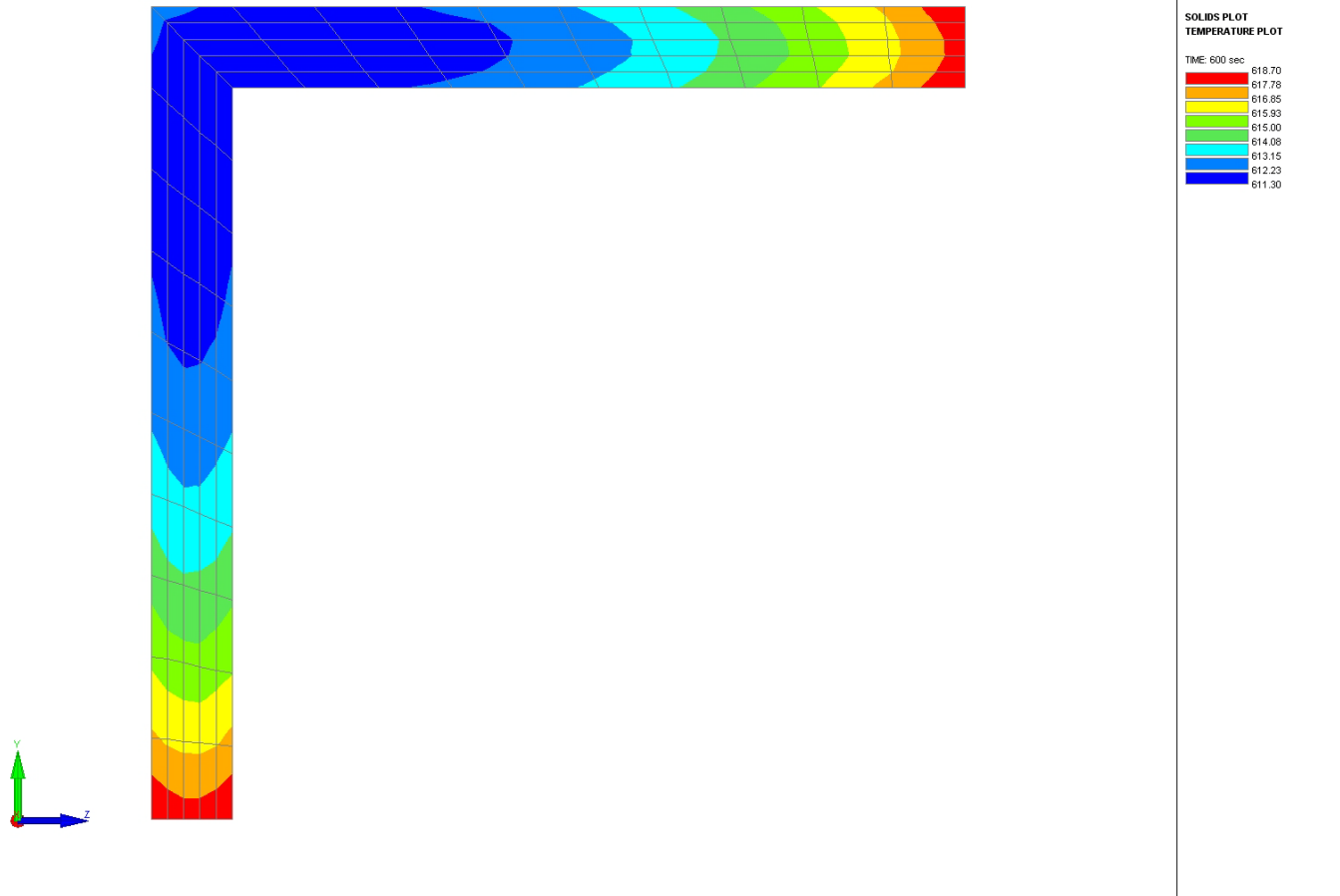
Figuur 11: Temperatuursverloop over de doorsnede van onder- en bovenregel UPN 240 van de vakwerkligger na 600 s 4-zijdige blootstelling aan de standaardbrand

De maximale temperatuur over de doorsnede van de onder- en bovenregel van de vakwerkligger bedraagt 588,3 °C (Figuur 11) na 10 minuten 4-zijdige blootstelling aan de standaardbrand. Dit overstijgt ruimschoots de maximale temperatuur over de doorsnede van de kolommen (281,7 °C in de centrale kolom K 400x400x20 en 466,3 °C in de kolom HEB 300) na 10 minuten 4-zijdige blootstelling aan de ISO 834 brand omwille van de geringere massiviteit.

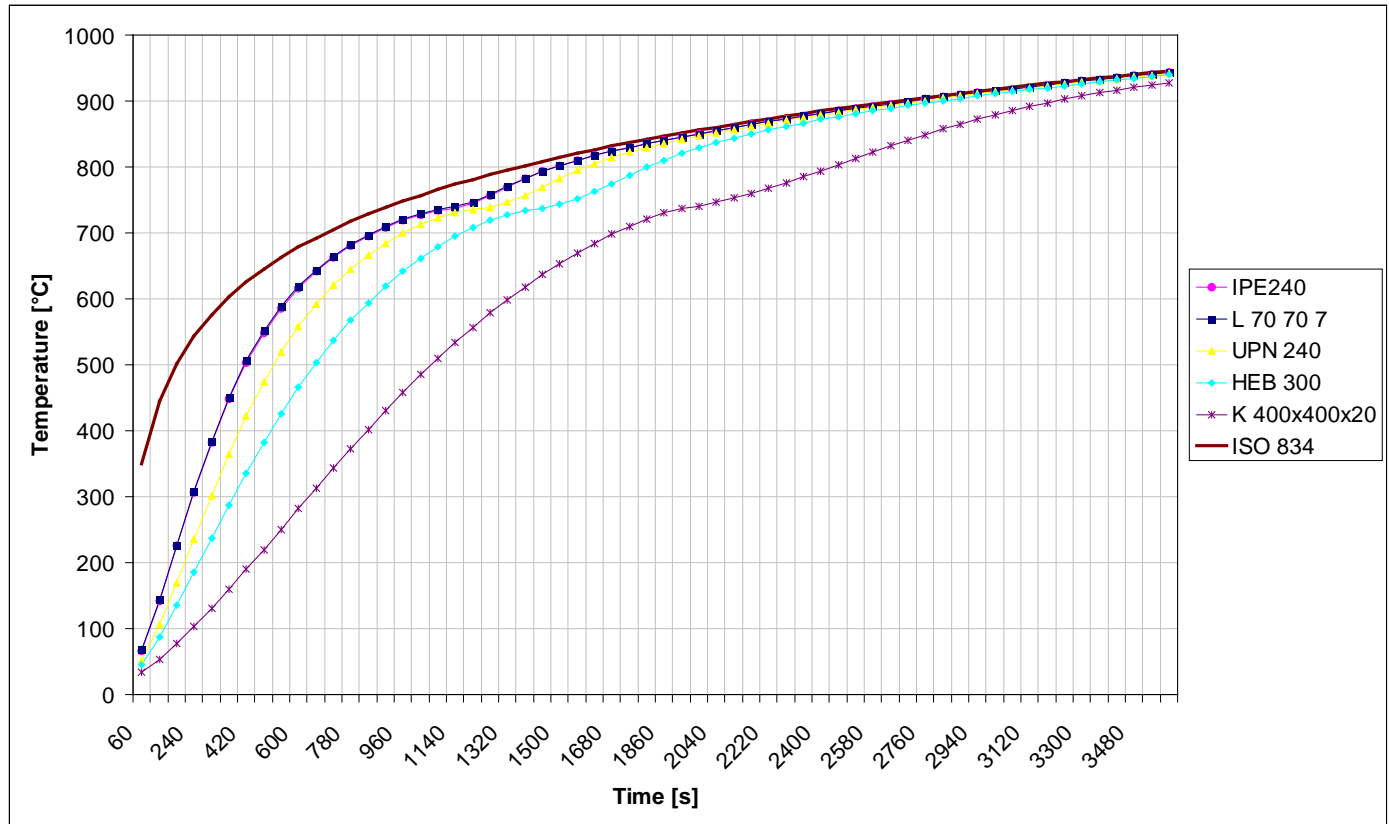
De maximale temperatuur van 615,9 °C in de verticale stijlen IPE 240 (Figuur 12) en 618,7 °C (Figuur 12) in de diagonalen (ontdubbeld) L 70x70x7 na 10 minuten 4-zijdige blootstelling aan de standaardbrand doet vermoeden dat deze elementen eerst zullen bezwijken. Figuur 14 toont het temperatuursverloop in functie van de tijd voor de centrale kolom en de rechtse kolom en de elementen uit de vakwerkligger bij blootstelling aan de ISO 834 brand. De temperatuur in de verticale stijlen en de diagonalen loopt inderdaad veel sneller op omwille van de geringere massiviteit.



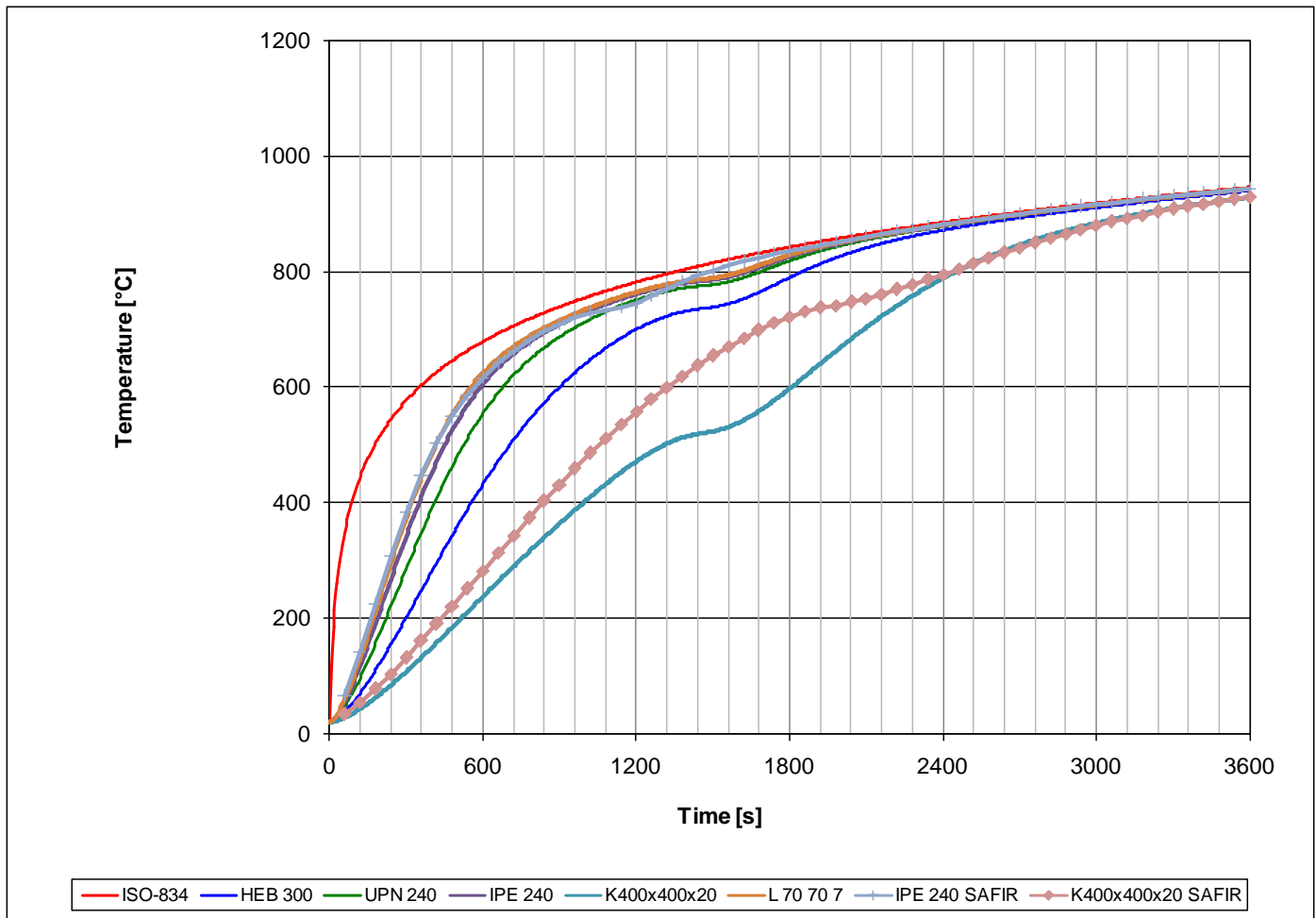
Figuur 12: Temperatuursverloop over de doorsnede van de verticale stijl IPE 240 van de vakwerkligger na 600 s 4-zijdige blootstelling aan de standaardbrand



Figuur 13: Temperatuursverloop over de doorsnede van een diagonaal L 70x70x7 van de vakwerklijger na 600 s 4-zijdige blootstelling aan de standaardbrand



Figuur 14: Temperatuursverloop in functie van de tijd voor de elementen van het raamspant bij blootstelling aan de standaardbrand



Figuur 15: Temperatuursverloop in functie van de tijd voor de elementen van het raamspant bij blootstelling aan de standaardbrand met behulp van handberekeningen

Figuur 15 toont het temperatuursverloop in functie van de tijd voor de elementen van het raamspant bij blootstelling aan de standaardbrand, bepaald aan de hand van EN 1993-1-2 4.2.5.1. Ter vergelijking zijn de resultaten getoond voor het temperatuursverloop in een IPE 240 en K400x400x20 berekend aan de hand van SAFIR. De afwijking is verwaarloosbaar voor het standaard warmgewalst profiel. De opwarming in het kokerprofiel verloopt sneller bij de berekening in SAFIR. Dit is te wijten aan de straling in de interne holte die niet meegerekend wordt in de handberekening. Op basis van temperatuursverloop in functie van de tijd voor de elementen van het raamspant geven de handberekeningen aan dat de profielen met kleine massiviteit het eerst begeven, wat de faalmode inleidt.

De thermische belasting voor de natuurlijke brand vergt bijkomende uitleg. Hierop wordt in de volgende paragrafen verder ingegaan.

2.2. Natuurlijke brand

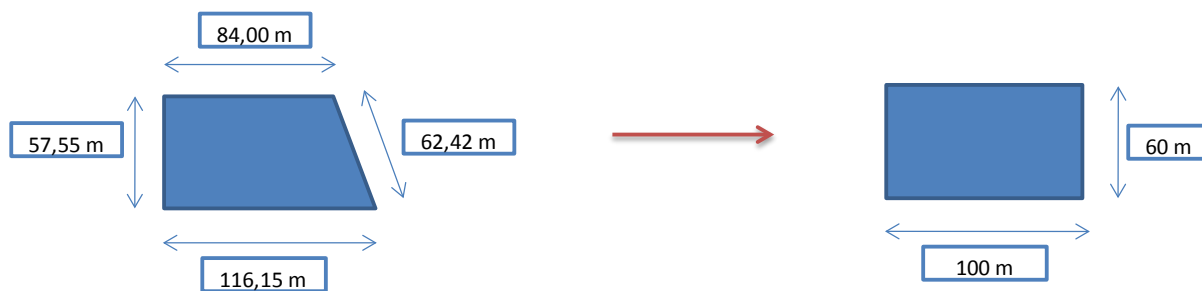
2.2.1. Analyse van de gastemperatuur in het compartiment

De resultaten van de analyse van de temperatuur in een compartiment worden hoofdzakelijk door de volgende parameters beïnvloed:

- aard van de wanden;
- afmetingen van het compartiment;
- afmetingen en plaats van de openingen;
- gebruiksfunctie van het gebouw;
- maatregelen getroffen om de brand te bestrijden.

Al deze gegevens zijn op basis van de ter beschikking gestelde plannen en de aanvullende inlichtingen verkregen. De hoofdgegevens en de hoofdresultaten worden in het kort hieronder beschreven en het volledige detail van de analyse uitgevoerd met behulp van het programma OZone wordt in de Bijlage 1 (gegevens) en Bijlage 2 (resultaten) beschreven.

Gegevens betreffende het compartiment



Figuur 16: Werkelijke (links) en vereenvoudigde (rechts) geometrie van het compartiment

De vorm van het gebouw benadert dat van een rechthoekig trapezium (Figuur 1). Ter vereenvoudiging werd het compartiment herleid tot een rechthoek met afmetingen 60 m x 100 m (Figuur 16). Dit wijzigt slechts in gering mate de oppervlakte en de omtrek van het compartiment. De openingen (deuren en vensters) werden op basis van de plannen van de verschillende gevels bepaald. De diktes en de aard van de wanden van het compartiment worden in Tabel 4 gegeven.

	Vloerplaat	Plafond	Wanden
Dikte	25 cm	15 cm	30 cm
Materiaal	Beton	Beton	Lichtbeton

Tabel 4: Dikte en aard van de wanden van het compartiment

Gegevens betreffende de brand

Zoals tevoren vermeld, is de gebruiksfunctie van het gebouw één van de hoofdfactoren die de temperatuurkromme beïnvloeden die door een brand wordt veroorzaakt. Vele parameters noodzakelijk voor de berekening worden in de Bijlage E van de Eurocode EN 1991-1-2 voor bepaalde soorten activiteiten gegeven (Tabel 5 en Tabel 6). Het geval van een gebouw bestemd voor de opslag van afvalstoffen wordt niet in deze verschillende tabellen vermeld. Omdat aanzienlijke hoeveelheden papier, karton en kunststoffen verondersteld worden er te worden opgeslagen, werd verkozen om dezelfde waarden te beschouwen als voor bibliotheken. Uit veiligheidsoverwegingen wordt de gebruiksfunctie gehanteerd die aanleiding geeft tot de grootste waarde van de karakteristieke vuurbelasting $q_{f,k}$ (Tabel 6).

Risico van ontstaan van brand δ_{q2}	Voorbeelden van gebruiksfuncties
0,78	kunstgalerie, museum, zwembad
1,00	kantoor, woning, hotel, papierindustrie
1,22	Machine- en motorfabriek
1,44	chemisch laboratorium, schilderwerkplaats
1,66	vuurwerk- of verffabriek

Tabel 5: Invloed van de gebruiksfunctie op het risico van het ontstaan van brand δ_{q2}

Gebruiksfunctie	Gemiddeld	80 %-fractiel
Woning	780	948
Ziekenhuis (kamer)	230	280
Hotel (kamer)	310	377
Bibliotheek	1500	1824
Kantoor	420	511
Klaslokaal in een school	285	347
Winkelcentrum	600	730
Theater (bioscoop)	300	365
Vervoer (publieke ruimte)	100	122
OPMERKING Er wordt een Gumbel-verdeling verondersteld voor de 80 %-fractiel.		

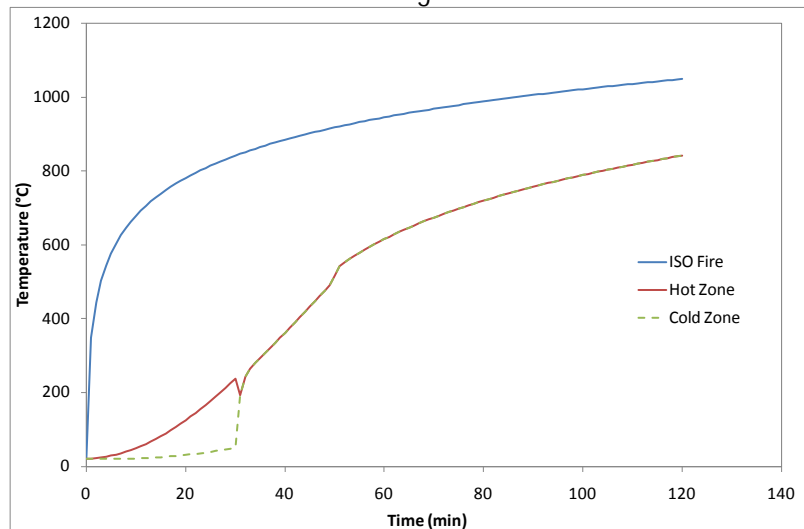
Tabel 6: Invloed van de gebruiksfunctie op de waarde van de karakteristieke vuurbelasting $q_{f,k}$

De 80 %-fractielwaarde van de vuurbelasting $q_{f,k}$ voor bibliotheken bedraagt $q_{f,k} = 1824 \text{ MJ/m}^2$. Rekening houdend met het risico op het ontstaan van brand en het effect van actieve brandbeveiligingssystemen (δ_{ni} -waarden) resulteert dit in een rekenwaarde van de vuurbelasting $q_{f,d} = 2976,8 \text{ MJ/m}^2$. Een snelle brandontwikkeling met bijhorende brandvermogensdichtheid $RHR_f = 500 \text{ kW/m}^2$ wordt in rekening gebracht voor deze gebruiksfunctie (bibliotheek).

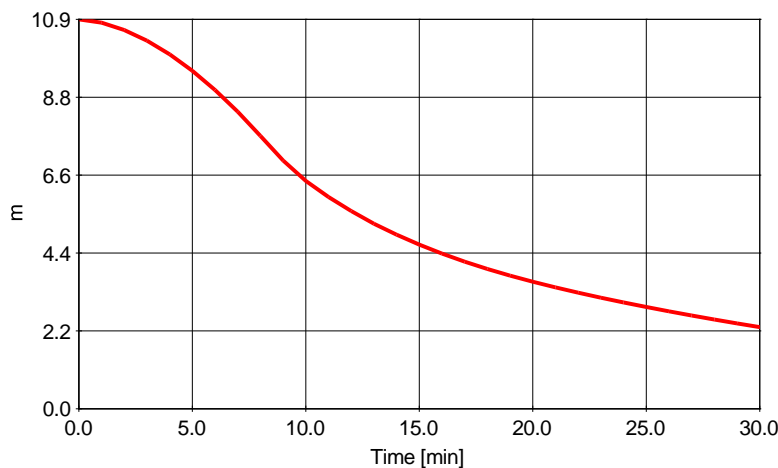
Resultaten van de berekening in OZone

De temperaturen van de warme zone en de koude zone worden gegeven in Figuur 17. Na 31 minuten gaat het twee-zonemodel gaat over in een één-zonemodel want de hoogte van de koude zone wordt lager dan 20% van de totale hoogte van het compartiment (Figuur 18). Op dat moment gaat de hoogte van de koude zone plotseling van 2,2 m naar 0 m. Dit verklaart de geringe daling van temperatuur van de warme zone. In vergelijking met de ISO-kromme, toont de

natuurlijke brand een veel langzamere temperatuurstoename. Dit zou tot een betere brandweerstand moeten leiden dan wat eerst onder invloed van de ISO-kromme was verkregen.



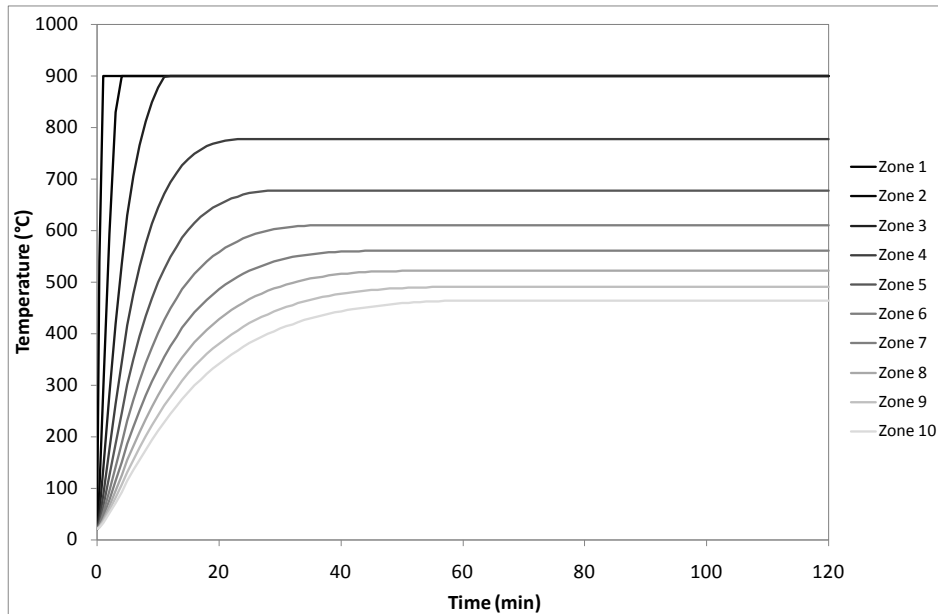
Figuur 17: Gastemperatuur in de warme en de koude zone



Figuur 18: Relatieve hoogte [m] van de interface tussen de warme en de koude zone in functie van de tijd

2.2.2. Analyse van de temperatuur in de kolom bij blootstelling aan de lokale brand

De temperatuur van de gassen rond de kolom op basis waarvan de brand wordt voorgesteld, wordt geëvalueerd volgens de analytische methode die in de Bijlage C van de Eurocode EN 1991-1-2 wordt beschreven. De grootte van de kolom gelegen onder de onderregel van de vakwerkligger werd in 10 stukken verdeeld van gelijke grootte (1,1 m). De evolutie van de gastemperatuur in deze 10 stukken wordt gegeven in Figuur 19.



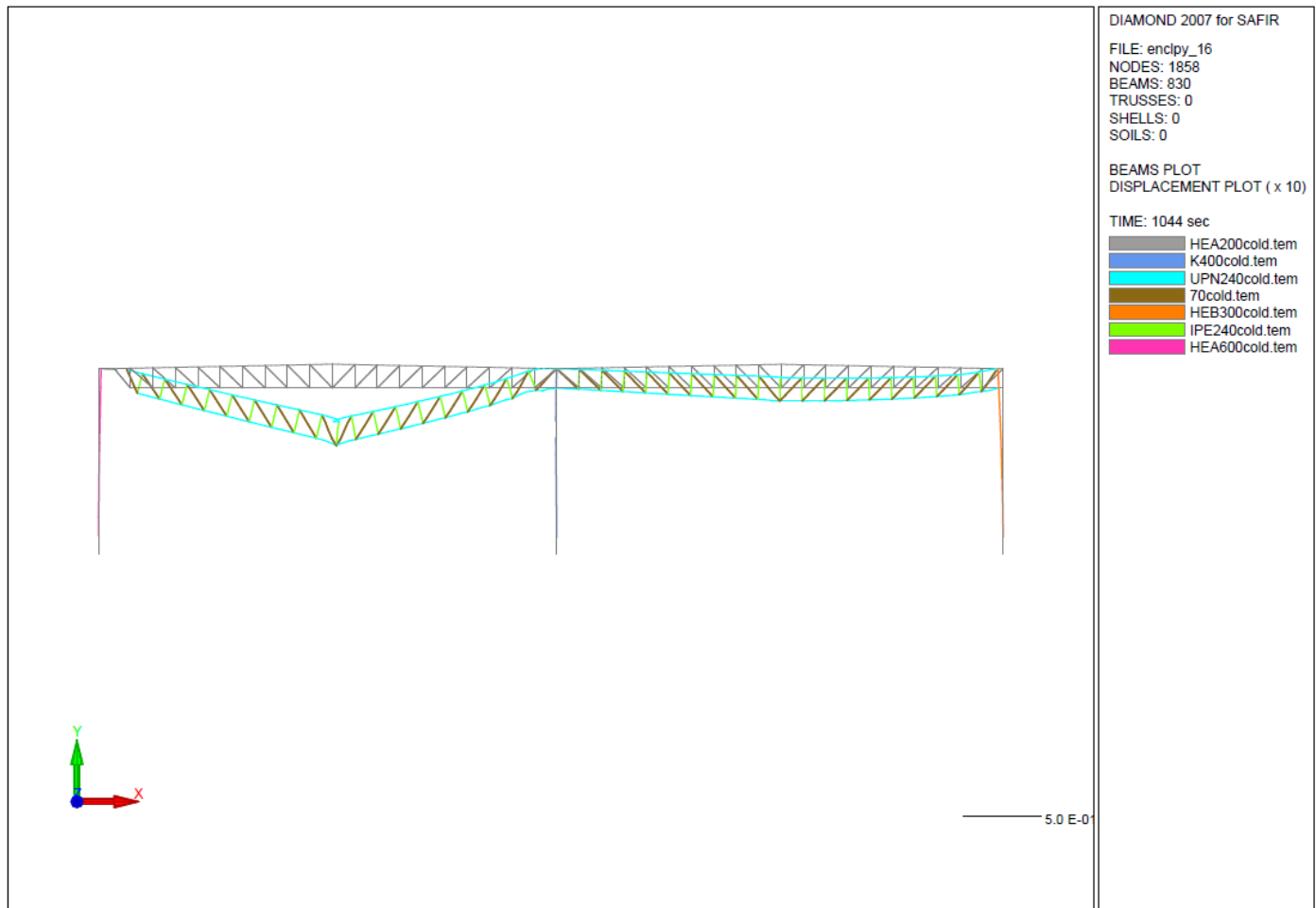
Figuur 19: Gastemperatuur over de hoogte van de kolom, onderworpen aan een lokale brand

3. Mechanische analyse

3.1. Raamspant 1

3.1.1. Berekening bij omgevingstemperatuur

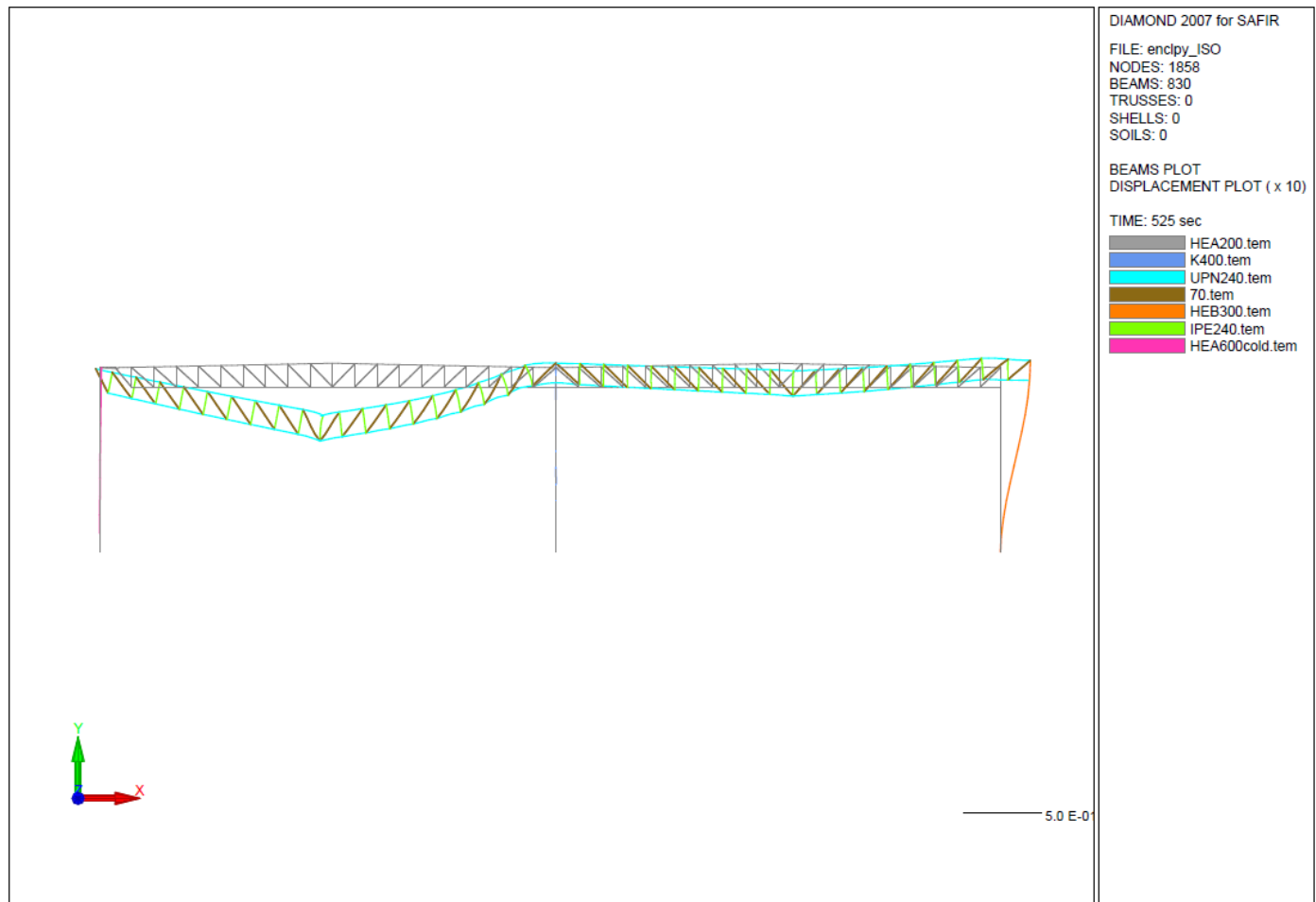
De berekening bij omgevingstemperatuur diende enkel om na te gaan of (een deel van) de constructie in staat is de belastingscombinatie in uiterste grenstoestand op te nemen. De belasting wordt vermenigvuldigd met belastingsfunctie $F_{1000THPS} \quad f = t / 1000$ gedefinieerd in SAFIR. Na 1044 s bezwijkt het raamspant 1. Hieruit blijkt dat de constructie voldoet bij omgevingstemperatuur en dat er een, weliswaar kleine, reserve op de constructie aanwezig is bij de veronderstellingen in deze case study. De verhouding van de rekenwaarde van de weerstand R_d versus de optredende belasting E_d bedraagt $1044/1000 = 1,044$. De horizontale verplaatsing ter plaatse van de glijoplegging bedraagt 0,08 m. De maximale verticale doorbuiging bij bezwijken in het midden van het veld bedraagt 0,36 m. De verplaatsingen op $t = 1044$ s zijn getoond in Figuur 20 (schaalfactor 10).



Figuur 20: Raamspant 1 - Verplaatsingen bij bezwijken bij omgevingstemperatuur

3.1.2. Berekening bij blootstelling aan de standaardbrand

Bij blootstelling aan de standaardbrandkromme of ISO 834 van alle onderdelen in de raamspanten, uitgezonderd de linkse kolom HEA 600 in raamspant 1, wordt een brandweerstand van 529 s bereikt. Na 9 minuten begeeft het raamspant. De horizontale verplaatsing ter plaatse van de glijoplegging bedraagt -0,13 m. De maximale verticale doorbuiging bij bezwijken in het midden van het veld bedraagt 0,27 m. De verplaatsingen op $t = 525$ s zijn getoond in Figuur 21 (schaalfactor 10). Onder invloed van de standaardbrand neemt de gastemperatuur zeer snel toe in functie van de tijd. Na 529 s bedraagt de temperatuur ongeveer 660°C . De geringe massiviteit van de onderdelen van de vakwerkligger zorgt voor een zeer snelle stijging van de temperatuur in het staal en een grote uitzetting. Deze uitzetting wordt deels belet door de randvoorwaarden (middenkolom kan niet zijdelings uitwijken, rechtse kolom HEB 300 heeft grotere massiviteit).



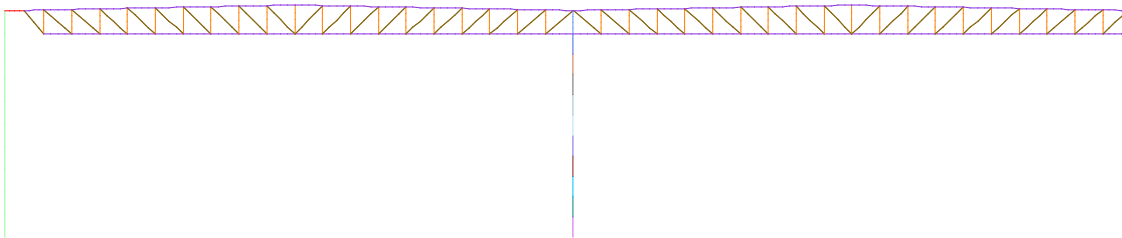
Figuur 21: Raamspant 1 - Verplaatsingen bij bezwijken bij blootstelling aan de standaardbrand

3.1.3. Berekening bij blootstelling aan de lokale brand

De standaardbrand is een strenge aanname die een gelijkmatige temperatuursverdeling in het ganse compartiment veronderstelt. Meestal wijkt de temperatuursbelasting horende bij een standaardbrand fel af ten opzichte van de reële situatie.

Daarom werd raamspant 1 onder twee lokale branden geanalyseerd: één gelegen aan de voet van de centrale kolom en de andere gelegen op de voet van de randkolom blootgesteld aan brand. In deze twee gevallen, werd de evolutie van temperatuur in de aan de brand blootgestelde kolom berekend, door gebruik te maken van de formules van de Eurocodes betreffende lokale branden en de temperatuur in de rest van het compartiment door gebruik te maken van een twee zonemodel (Programma OZone).

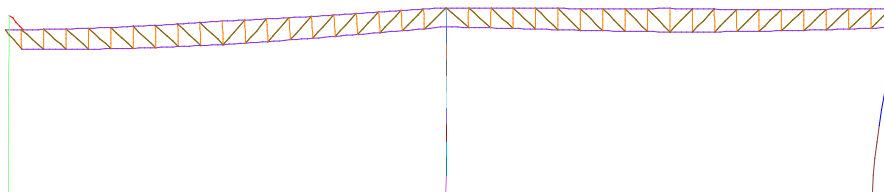
De mechanische analyse, die met het programma SAFIR wordt verwezenlijkt, is gebaseerd op de numerieke simulatie die eerder onder invloed van de standaardbrand werd verwezenlijkt. Ter herinnering, worden twee verschillende gevallen overwogen: één waar het vuur onder de centrale kolom van type K 400x400x20 (Geval 1) en een ander geval waarbij de vuurhaard zich onder de kolom van type HEB 300 aan de rand gelegen bevindt (Geval 2). Het bestudeerde raamspant wordt weergegeven in Figuur 22. In geval 1 worden 10 types doorsneden over de hoogte van de centrale kolom gedefinieerd. De kolom van linkerkant is niet blootgesteld aan het vuur en de kolom aan rechterkant wordt in twee delen verdeeld: de voorwaarden voor de temperatuur van de koude zone zijn voor het deel tussen 0 en 4,4 m toegepast en de voorwaarden voor de temperatuur van de warme zone zijn op de rest van deze kolom toegepast.



Figuur 22: Raamspant 1 - Model van het bestudeerde raamspant in geval 1

Geval 1: Vuurhaard onderaan de centrale kolom type K 400x400x20

In het geval 1, zijn de vervormingen in de verwarmde kolom gering. Onder invloed van de verlengingen ten gevolge van de temperatuurstoename, verplaatsen beide uiteinden van de balk zich naar de buitenkant (glijoplegging aan de kolom aan linkerkant en de vaste steun ter hoogte van de kolom aan rechterkant). De verkregen brandweerstand bedraagt 3836 seconden (≈ 64 minuten) en de manier van breuk is identiek aan diegene die onder de standaardbrand is verkregen (Figuur 23). Dit schijnt uit te wijzen dat het opnieuw de vakwerkligger het zwakke element van dit raamspant, hoewel het vuur aan de voet van de centrale kolom wordt gelokaliseerd. De kleine uiteenzetting hieronder streeft ernaar dit uit te leggen.



Figuur 23: Raamspant 1 - Faalmode van het bestudeerde raamspant in geval 1

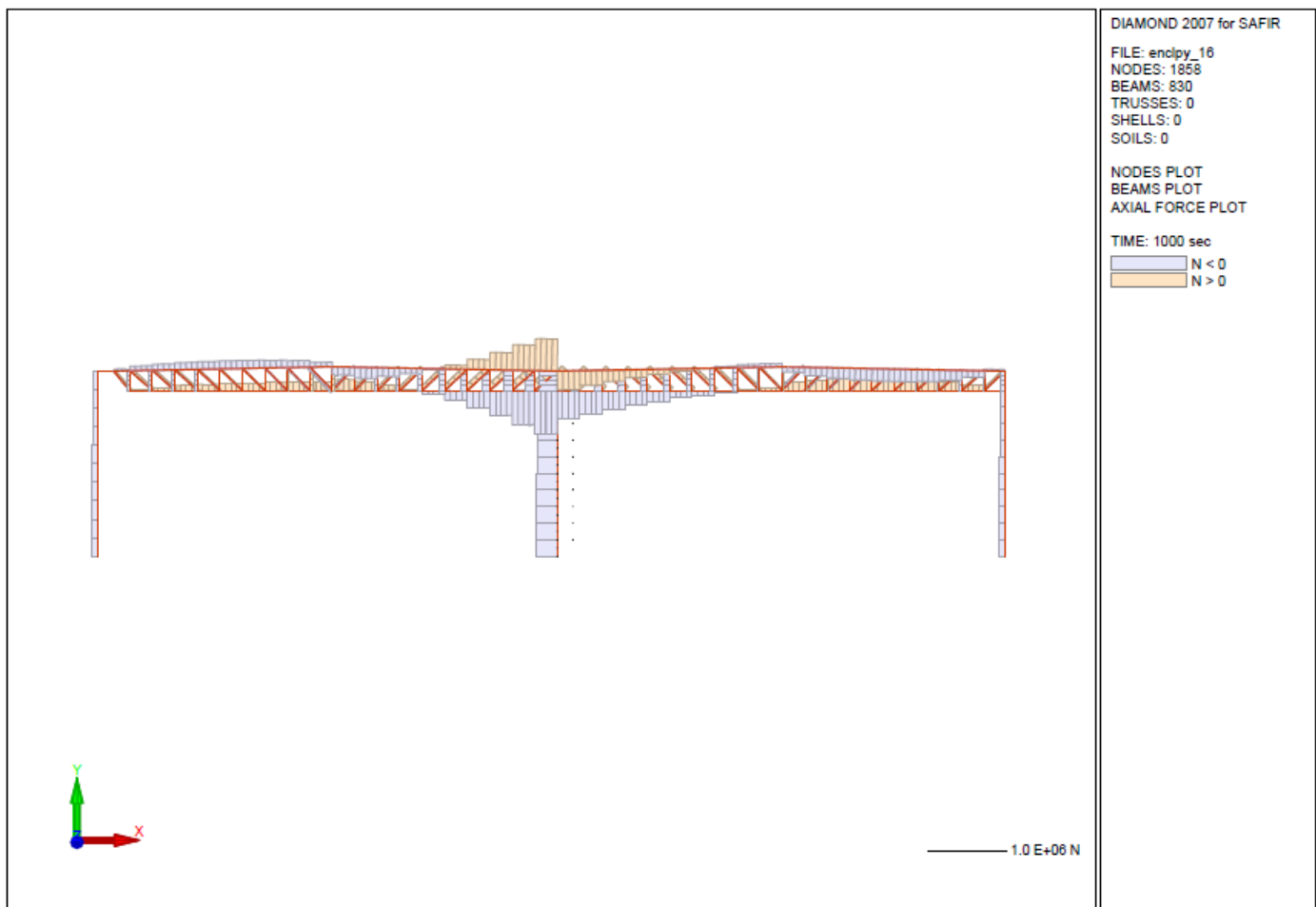
Aan de hand van het programma Elefir-EN is vervolgens een controle van de kolom uitgevoerd onder invloed van de ISO brandkromme waarbij de kritieke temperatuur in functie van de belasting wordt bepaald. De rekennota is terug te vinden in bijlage 3 (paragraaf 8).

De rekenwaarde van de normaalkracht N_{Ed} aan de voet van de centrale kolom bedraagt 276,6 kN (Figuur 24 en Figuur 25). De resultaten zijn weergegeven na 1000 s omdat de belastingscombinatie geleidelijk op de constructie aangebracht wordt ($F_{1000THPS} f = t / 1000$). Na 1000 s heeft de belastingsfunctie waarmee de belastingscombinatie vermenigvuldigd wordt, de eenheidswaarde. Het buigend moment $M_{y,Ed}$ bedraagt 61,760 kNm aan de voet van de

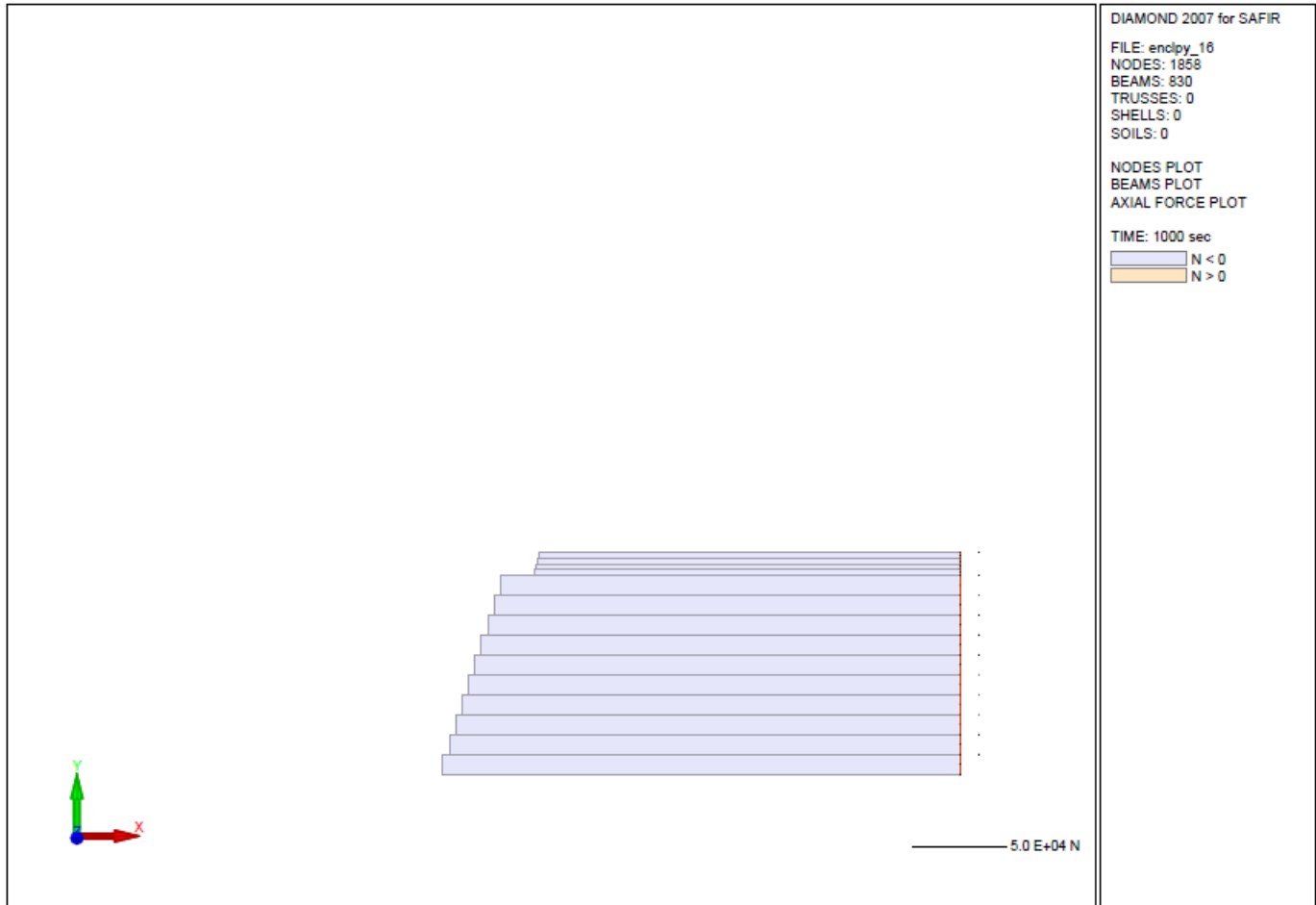
kolom en $-99,380$ kNm bovenaan de kolom ter hoogte van de onderregel van de vakwerkregel op een hoogte van $10,662$ m gemeten vanaf de basis (Figuur 26 en Figuur 27). Ter vereenvoudiging is geen rekening gehouden met het bovenste deel $1,238$ m van de kolom ter hoogte van de vakwerklijger. De sprong in de momentenlijn wordt niet beschouwd.

De kritieke temperatuur onder invloed van de standaardbrand bedraagt $847,7$ °C. Deze temperatuur wordt bereikt na $47,42$ minuten. De hoogte van de kolom die dergelijke hoge temperaturen bereikt is gering, wat enigszins een verklaring biedt voor het feit dat bezwijken zich eerder zal voordoen in de vakwerklijger.

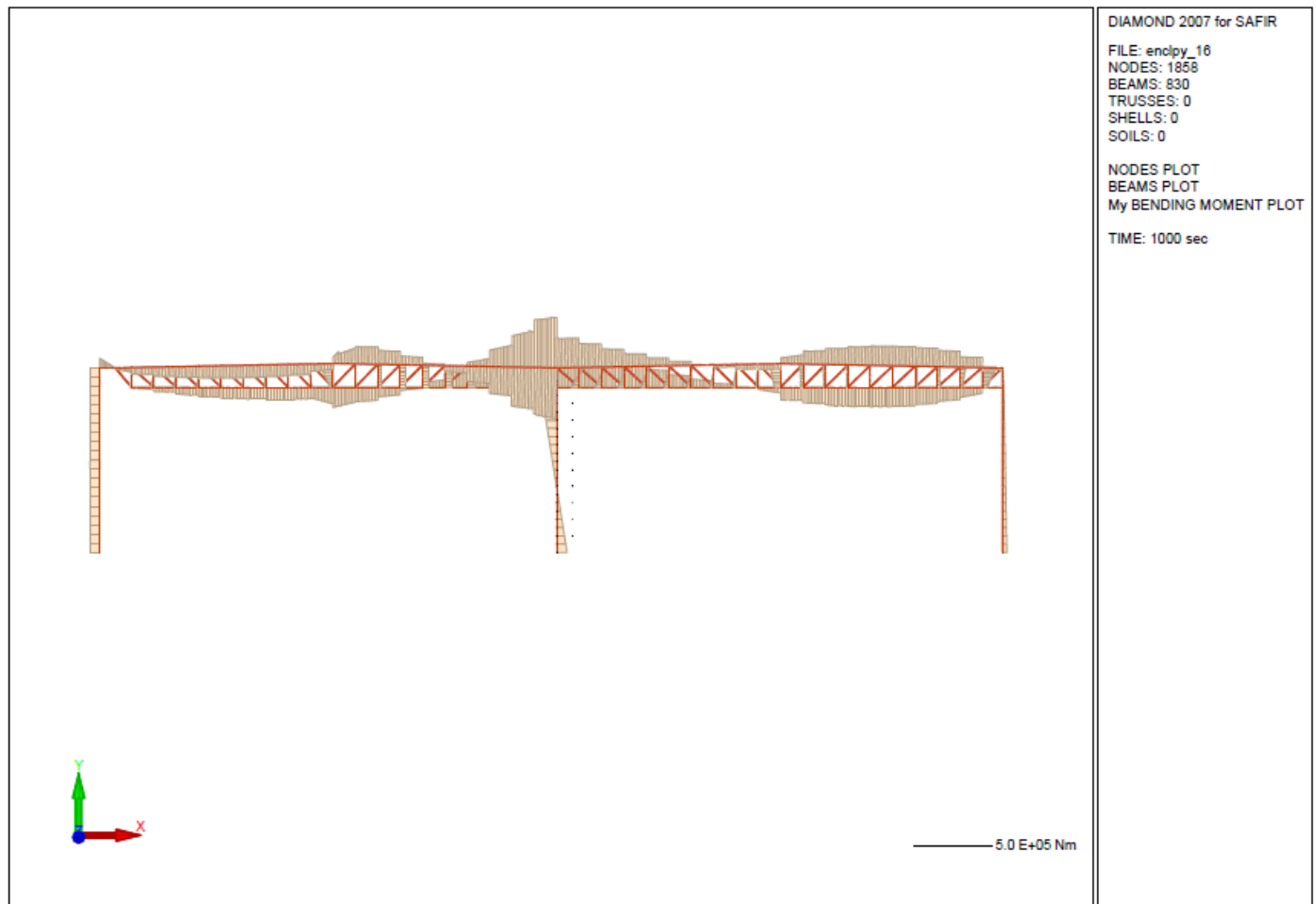
Dit alles is geen bewijs maar toont aan dat de verkregen resultaten, die onverwacht kunnen lijken op het eerste zicht, in feite volkomen plausibel zijn.



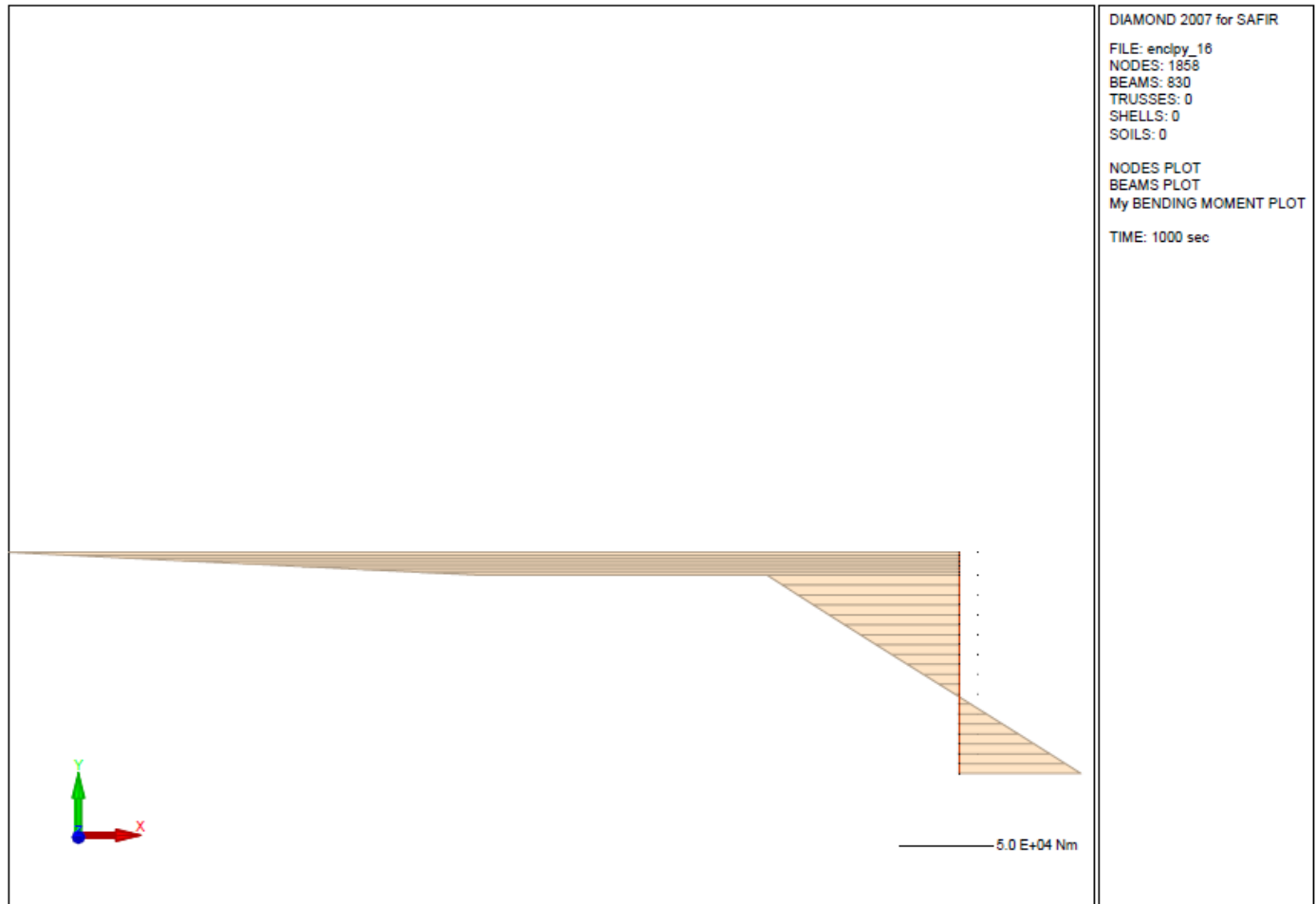
Figuur 24: Raamspant 1 - Normaalkrachten (N) na 1000 s



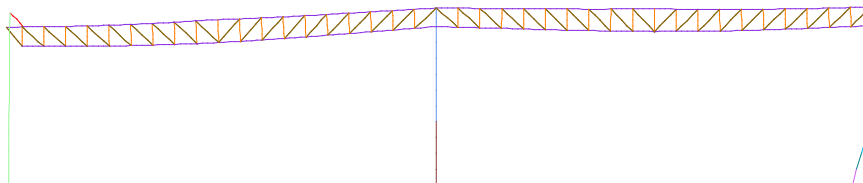
Figuur 25: Raamspant 1 – Normaalkracht (N) - Centrale kolom



Figuur 26: Raamsant 1 - Buigende momenten (Nm) na 1000 s



Figuur 27: Raamspant 1 - Buigende momenten (Nm) - Centrale kolom
Geval 2: Vuurhaard onderaan de rechtse kolom type HEB 300

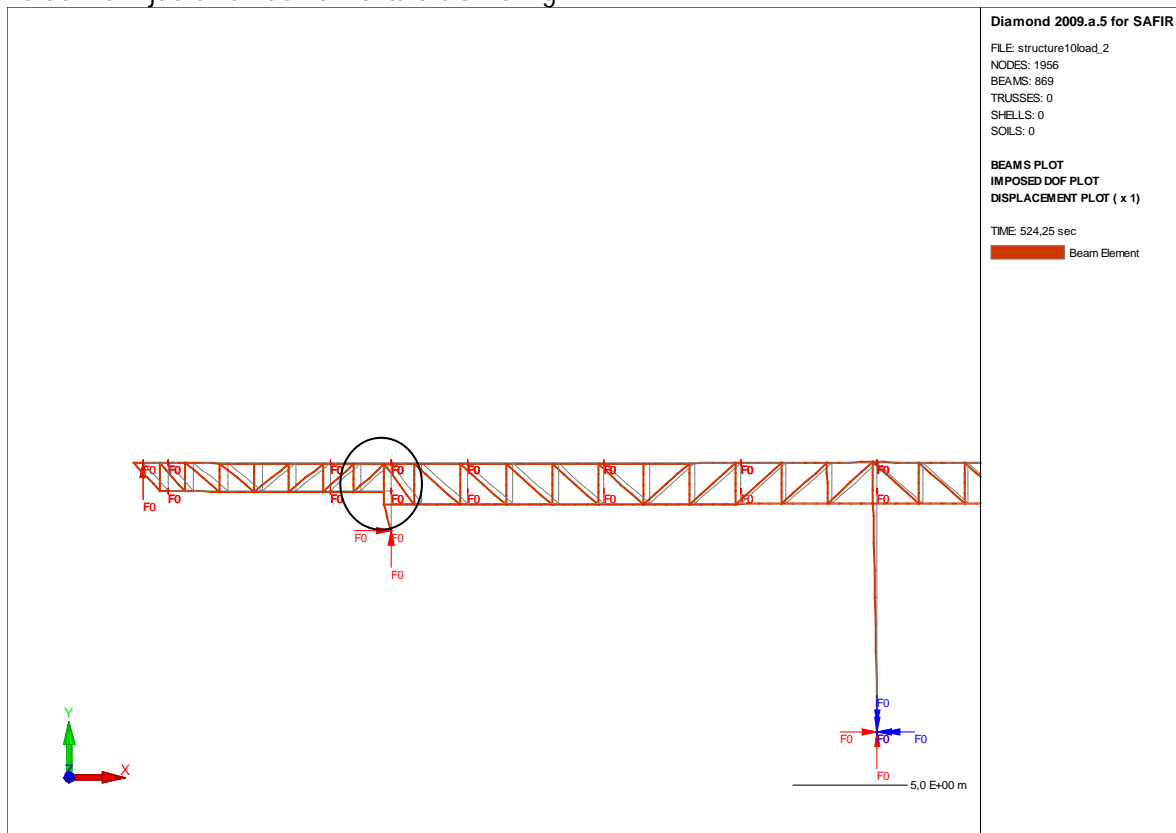


Figuur 28: Raamspant 1 - Faalmode van het bestudeerde raamspant in geval 2

In het geval 2, zijn de opmerkingen gelijk aan het geval 1, als zijn de vervormingen van de kolom van rechterkant nog iets belangrijker. De brandweerstand van het raamspant 1 bedraagt 3819 seconden \approx 63 minuten) (Figuur 28), hetgeen zeer nauw aansluit bij het geval 1. Dit benadrukt opnieuw dat de brandweerstand van deze portiek hoofdzakelijk van het gedrag van de vakwerkligger en niet van die van de kolommen afhangt.

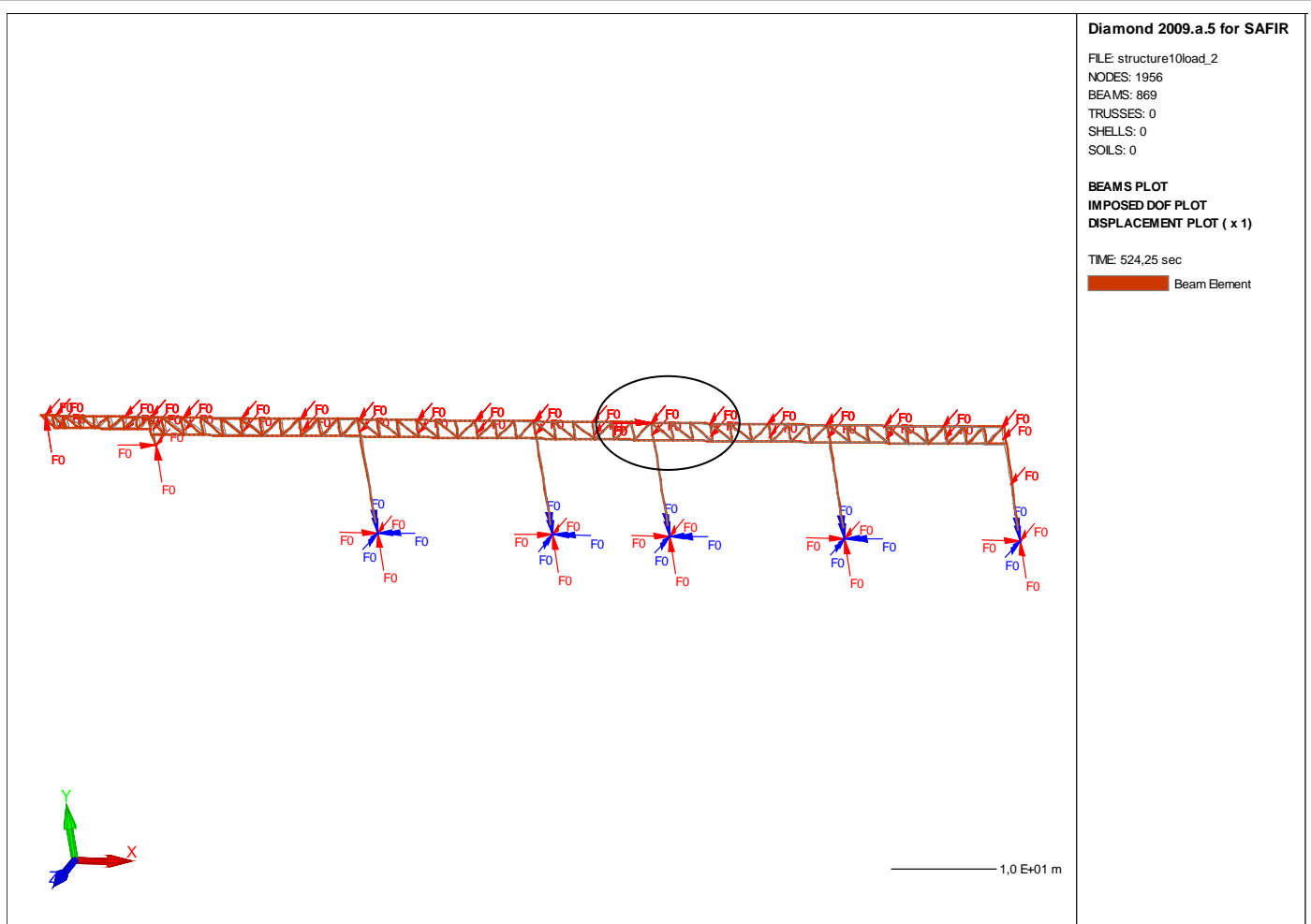
3.2. Raamspant 2

Onder invloed van de standaardbrand bezwijkt raamspant 1 na 525 s. De analyse van de primaire vakwerkligger is daarom beperkt tot 525 s. Dit toont aan dat de brandweerstand van de driedimensionale constructie bepaald wordt door de brandweerstand van de secundaire liggers (raamspant 1). Figuur 29 toont de grote verplaatsingen (0,30 m) aan de bovenzijde van het vakwerk ter plaatse van de kolom die afdraagt op de betonnen constructie. De verplaatsing aan het linkse uiteinde bedraagt zelfs 0,376 m. Dit is te wijten aan de randvoorwaarden. De horizontale verplaatsing is geblokkeerd (Figuur 30) ter plaatse van de centrale kolom. Dit is relatief ver verwijderd van de kolom die afdraagt op de betonnen constructie en de verplaatsingen, te wijten aan de thermische uitzetting, worden des te groter voor punten verder verwijderd van de horizontale blokkering.



Figuur 29:

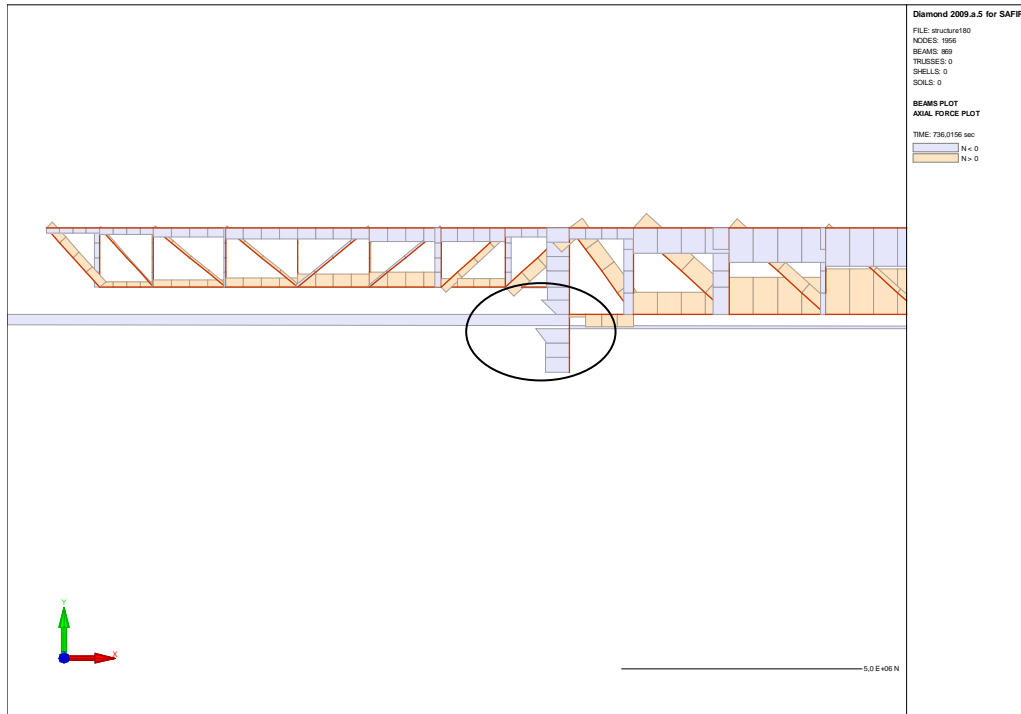
Verplaatsingen aan het uiteinde van de primaire vakwerkligger na 525 s blootstelling aan de standaardbrand



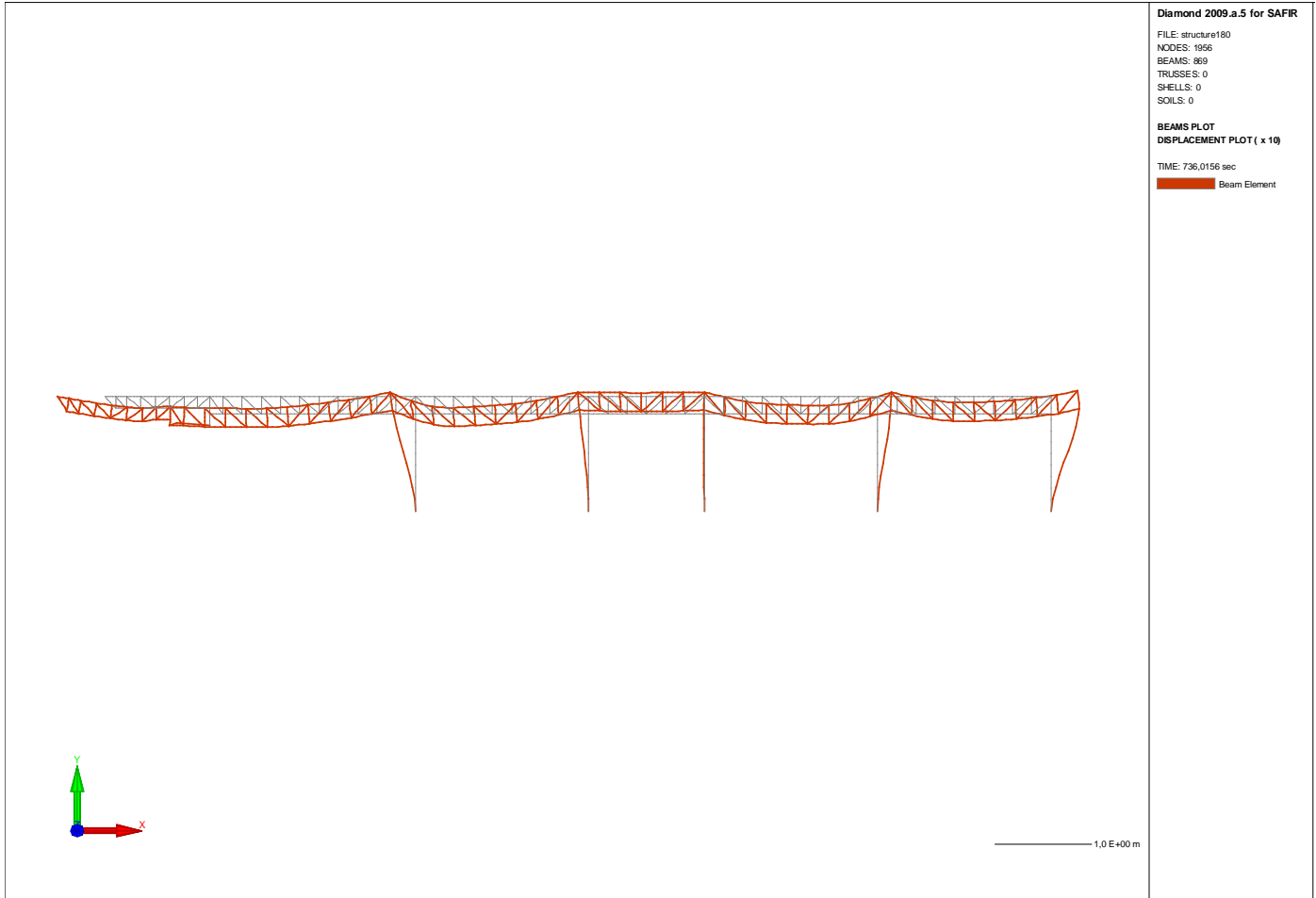
Figuur 30: Raamspant 1 - Randvoorwaarden en horizontale belemmering ter plaatse van de centrale kolom

Een bijkomende numerieke simulatie werd uitgevoerd, uitgaande van de veronderstelling dat de reactiekrachten afkomstig van de secundaire vakwerklijger 180 kN bedragen (met uitzondering van deze op de uiteinden die gehalveerd worden). Dit laat toe de reserve te berekenen op de primaire vakwerklijger. Na 736 s bezwijkt de kolom die afdraagt op de betonnen constructie (zie Figuur 31 en Figuur 32). Op dat moment is de horizontale verplaatsing van de kolom die afdraagt op de betonnen constructie al 0,416 m.

De brandweerstand van raamspant 2 bij blootstelling aan de standaardbrand is berekend onder invloed van het eigen gewicht en de reactiekrachten van de secundaire liggers (raamspant 1). De brandweerstand is gelimiteerd tot 9 minuten op basis van twee 2,5 D analyses (2D raamspant rekening houdend met instabiliteit uit het vlak van het raamwerk). Vooral de keuze van de randvoorwaarden (windverbanden of andreaskruisen die de horizontale verplaatsing blokkeren is maatgevend).



Figuur 31: Raamspant 2 – Normalkracht bij blootstelling aan de standaardbrand na 736 s (beziijken van de kolom die afdraagt op de betonnen constructie) (R = 180 kN)



Figuur 32: Raamspant 2 – Verplaatsing bij blootstelling aan de standaardbrand na 736 s (schaalfactor 10) (R = 180 kN)

4. Constructieve integriteit

Op basis van de analyse van het raamspant bij blootstelling aan de standaardbrand of de lokale brand wordt de graad van robuustheid of constructieve integriteit bij falen van één van de onderdelen van het raamspant bekeken. In de bestudeerde case study kan geen beroep gedaan worden op de constructieve integriteit.

Bij blootstelling aan de lokale brand verliest het raamwerk zijn stabiliteit door het bezwijken van de vakwerkligger. Aangezien de hoogte van het raamwerk relatief hoog is (11 m), bevindt de vakwerkligger zich in de warme zone. De temperatuur in de vakwerkligger volgt de gastemperatuur in de warme zone. De gastemperatuur is bepaald aan de hand van het programma OZone. De temperatuur is lager dan aan de kolomvoet en ligt merkbaar lager dan bij de standaardbrand (Figuur 19).

Als het raamspant faalt door bezwijken van de vakwerkligger, betekent dit dat het naastgelegen raamspant eveneens dezelfde staaltemperatuur heeft en tegelijkertijd faalt. Herverdeling van de belastingen is bijgevolg niet mogelijk. Als de



Brandveilig Constructief Ontwerp

Technisch rapport TR2 MP0.4

(Case study industriegebouw)



kolom onderworpen aan de lokale brand, het zwakste onderdeel van het raamspant zou zijn, was een herverdeling van belastingen wel mogelijk maar dit is niet het geval.

5. Conclusie

De brandweerstand bij blootstelling aan de standaardbrand is gering. De kans daarentegen dat vlamoverslag zal optreden en een compartimentsbrand zich voordoet is eveneens gering. Eisen naar brandweerstand van de industriehal werden niet expliciet opgelegd. In essentie moet beschadiging van de brandwanden worden gegarandeerd. Uit de resultaten blijkt dat de vakwerkligger de zwakste schakel is en deze bij brand als een ketting naar beneden zal komen, zonder daarbij de wand te raken.

Ten gevolge van de resultaten van de berekening van de brandweerstand van raamspant 1 blootgesteld aan de standaardbrand (brandweerstand bij blootstelling aan de ISO brand bedraagt minder dan 9 minuten), werd geopteerd om dit raamspant te bestuderen onder invloed van een lokale brand, die zich op het niveau van de kolomvoet bevindt. Twee verschillende analytische methoden werden gebruikt om de temperatuur in de kolom die direct aan de lokale brand is blootgesteld enerzijds, en de rest van het raamspant anderzijds, te evalueren. Vervolgens werd de mechanische berekening numeriek met de software SAFIR uitgevoerd, net zoals dat reeds bij de berekening onder invloed van de ISO brandkromme werd gedaan.

Voor beide gevallen van lokale branden (brandhaard die onder de centrale kolom of de rechtse kolom wordt gesitueerd), is de brandweerstand die verkregen wordt langer dan 60 minuten (respectievelijk 64 en 63 minuten). De bezwijkvormen zijn gelijk aan die van het raamspant blootgesteld aan de standaardbrand en dat toont aan dat, ondanks de aanwezigheid van de brandhaard aan de voet van de kolom, de kolommen zich tegen de optredende belastingen blijven verzetten. Dit is meer bepaald te wijten aan de belangrijke reserve op de stabiliteit van de kolommen bij kamertemperatuur (eenheidscontrole op de centrale kolom van 0,11) voor de belastingscombinatie in de accidentele situatie van brand. Aangezien de opwarming van de ligger veel langzamer is dan bij blootstelling aan de standaardbrand, stijgt de brandweerstand aanzienlijk wanneer een lokale brand wordt gebruikt. Gezien de belangrijke hoogte van het raamspant (ongeveer 11 meter), kunnen de temperaturen die voor een lokale brandhaard op de vakwerkligger zouden worden afgeleid, niet ongunstiger zijn dan deze die door het twee-zonemodel worden gegeven.

De opvangligger, blootgesteld aan de ISO brandkromme, wordt horizontaal belemmerd door de aanwezigheid van de windverbanden in het dakvlak. Door de thermische uitzetting, treden grote zijdelingse uitwijkingen op, voornamelijk ter hoogte van de kolom die afdraagt op de betonnen constructie.

6. Bijlage 1: Gegevens van de analyse in OZone

OZone V 2.2.5 Report

Analysis Name:

File Name:

Created:

C:\Program Files\OZone 2.2.2\Case study\Case study.ozn
20/10/2009 at 10:54:11

ANALYSIS STRATEGY



Brandveilig Constructief Ontwerp

Technisch rapport TR2 MP0.4

(Case study industriegebouw)



Selected strategy:	Combination 2Zones - 1 Zone Model
Transition criteria from 2 Zones to 1 Zone	
Upper Layer Temperature	$\geq 500^{\circ}\text{C}$
Combustible in Upper Layer + U.L. Temperature	\geq Combustible Ignition Temperature = 300°C
Interface Height	≤ 0.2 Compartment Height
Fire Area	≥ 0.25 Floor Area

PARAMETERS

Openings

Radiation Through Closed Openings:	0.8
Bernoulli Coefficient:	0.7

Physical Characteristics of Compartment

Initial Temperature:	293 K
Initial Pressure:	100000 Pa

Parameters of Wall Material

Convection Coefficient at the Hot Surface:	25 W/m ² K
Convection Coefficient at the Cold Surface:	9 W/m ² K

Calculation Parameters

End of Calculation:	7200 sec
Time Step for Printing Results:	60 sec
Maximum Time Step for Calculation:	10 sec

Air Entrained Model:	Heskestad
----------------------	-----------

Temperature Dependent Openings

All openings activated at:	400 °C
----------------------------	--------

Stepwise Variation

Temperature [°C]	% of Total Openings [%]
20	10
400	50
500	100

Linear Variation

Temperature [°C]	% of Total Openings [%]
20	10
400	50
500	100

Time Dependent Openings

Time [sec]	% of Total Openings [%]
0	5
1200	100

COMPARTMENT

Form of Compartment:	Rectangular Floor
Height:	11 m
Depth:	60 m
Length:	100 m



Brandveilig Constructief Ontwerp

Technisch rapport TR2 MP0.4

(Case study industriegebouw)



Roof Type: Flat Roof

DEFINITION OF ENCLOSURE BOUNDARIES

Floor

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	25	2300	1.6	1000

Ceiling

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal weight Concrete [EN1994-1-2]	15	2300	1.6	1000

Wall 1

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Light weight Concrete [EN1994-1-2]	15	1600	0.8	840
Light weight Concrete [EN1994-1-2]	15	1600	0.8	840

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
6.035	7.525	35.1	Constant	no

Wall 2

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Light weight Concrete [EN1994-1-2]	15	1600	0.8	840
Light weight Concrete [EN1994-1-2]	15	1600	0.8	840

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0	4.5	9	Constant	no
2.5	5	2.8	Constant	no
0	2.15	6.72	Constant	no

Wall 3

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Light weight Concrete [EN1994-1-2]	15	1600	0.8	840
Light weight Concrete [EN1994-1-2]	15	1600	0.8	840

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0	4	3	Constant	no
0	2.24	1.07	Constant	no

Wall 4

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m ³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Light weight Concrete [EN1994-1-2]	15	1600	0.8	840
Light weight Concrete [EN1994-1-2]	15	1600	0.8	840



Brandveilig Constructief Ontwerp

Technisch rapport TR2 MP0.4

(Case study industriegebouw)



FIRE

Fire Curve:	NFSC Design Fire		
Maximum Fire Area:	6000	m ²	
Fire Elevation:	0	m	
Fuel Height:	0	m	
Occupancy	Fire Growth Rate	RHRf [kw/m ²]	Fire Load q _{f,k} [MJ/m ²] Danger of Fire Activation
Library	Fast	500	1824 1
Active Measures			
Description		Active	Value
Automatic Water Extinguishing System		No	$\delta_{n,1} = 1$
Independent Water Supplies		No	$\delta_{n,2} = 1$
Automatic Fire Detection by Heat		No	$\delta_{n,3} = 1$
Automatic Fire Detection by Smoke		No	
Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade		No	$\delta_{n,5} = 1$
Work Fire Brigade		No	$\delta_{n,6} = 1$
Off Site Fire Brigade		No	
Safe Access Routes		Yes	$\delta_{n,8} = 1$
Staircases Under Overpressure in Fire Alarm		No	
Fire Fighting Devices		Yes	$\delta_{n,9} = 1$
Smoke Exhaust System		Yes	$\delta_{n,10} = 1$
Fire Risk Area:	6000	m ²	$\delta_{q,1} = 2.04$
Danger of Fire Activation:			$\delta_{q,2} = 1$
q _{f, d}	2976.8	MJ/m ²	
Combustion Heat of Fuel:	17.5	MJ/kg	
Combustion Efficiency Factor:	0.8		
Combustion Model:	Extended fire duration		

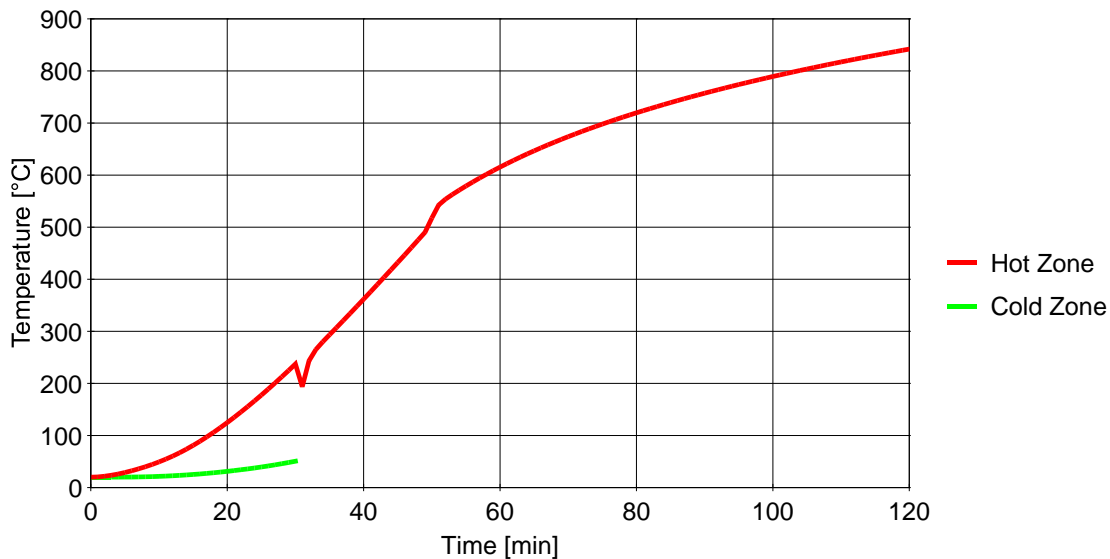
7. Bijlage 2: Resultaten van de analyse in OZone

Fire Area: The maximum fire area (6000.00m²) is greater than 25% of the floor area (6000.00m²). The fire load is uniformly distributed.

Switch to one zone: Lower layer Height < 20.0% ocompartment height at time [s] 1860.00

Fully engulfed fire: Temperature of zone >500.0°C at time [s] 2980.00

Gas Temperature



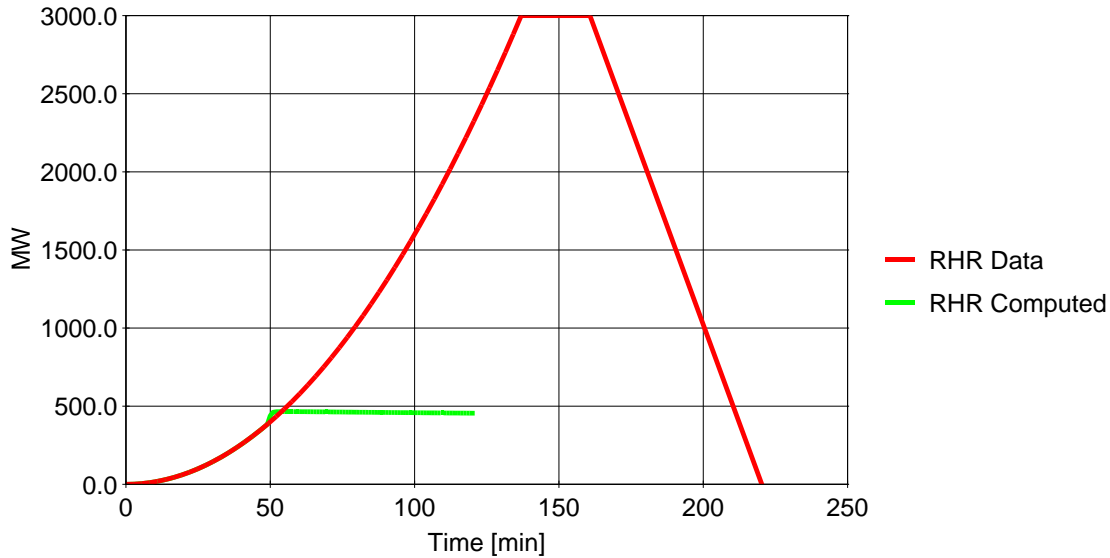
Analysis Name:

Peak: 842 °C

At: 120 min

Figure 1. Hot and Cold Zone Temperature

Rate of Heat Release



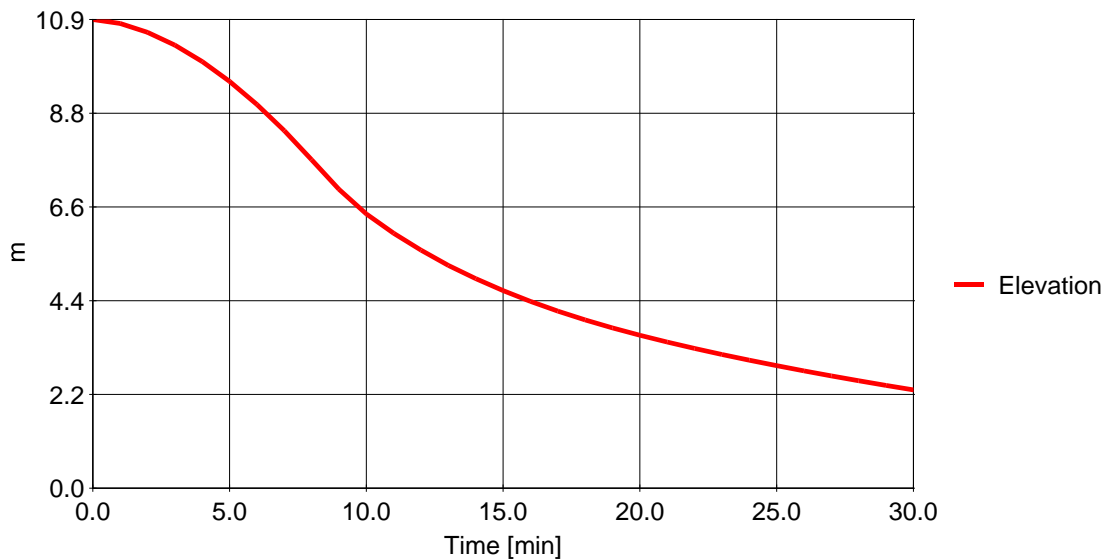
Analysis Name:

Peak: 3000.00 MW

At: 136.9 min

Figure 2. RHR Data and Computed

Zones Interface Elevation



Analysis Name:

h = 2.30 m

At: 30.00 min



Brandveilig Constructief Ontwerp

Technisch rapport TR2 MP0.4

(Case study industriegebouw)



Figure 4. Zones Interface Elevation

8. Bijlage 3: Resultaten van de analyse in Elefir – Kritieke temperatuur in functie van de belasting

ELEFIR-EN REPORT

Project name:

Date: 04/11/2009

Temperature evaluated using interpolation on the table 3.1 from EN 1993-1-2.

PROFILE

SHS 400 x 400 x 20.1 (Class 1)

$h = 400 \text{ mm}$

$b = 400 \text{ mm}$

$t = 20.1 \text{ mm}$

$A = 30000 \text{ mm}^2$

$P = 1.55 \text{ m}^2/\text{m}$

$i_y = 155 \text{ mm}$

$i_z = 155 \text{ mm}$

$W_{el,y} = 3577000 \text{ mm}^3$

$W_{pl,y} = 4247000 \text{ mm}^3$

$W_{el,z} = 3577000 \text{ mm}^3$

$W_{pl,z} = 4247000 \text{ mm}^3$

$I_z = 715350000 \text{ mm}^4$

$I_t = 0 \text{ mm}^4$

$I_w = 0 \text{ mm}^6$

STEEL

S355 H (EN 10210-1)

ELEMENT SUBMITTED TO BENDING AND COMPRESSION

Critical temperature function of the loads

Total length: $L_y = 10660 \text{ mm}$; $L_z = 10660 \text{ mm}$

Buckling coefficients: $k_{y,fi} = 1$; $k_{z,fi} = 1$

Design axial compression load: $N_{b,fi,Ed} = 276.6 \text{ kN}$

About major axis - End moments

$M_1 = -99.38 \text{ kNm}$

$M_2 = 61.76 \text{ kNm}$

Lateral torsional buckling not allowed.

EXPOSURE

Fire exposure: Fire on all sides

Fire protection: No protection

RESULTS

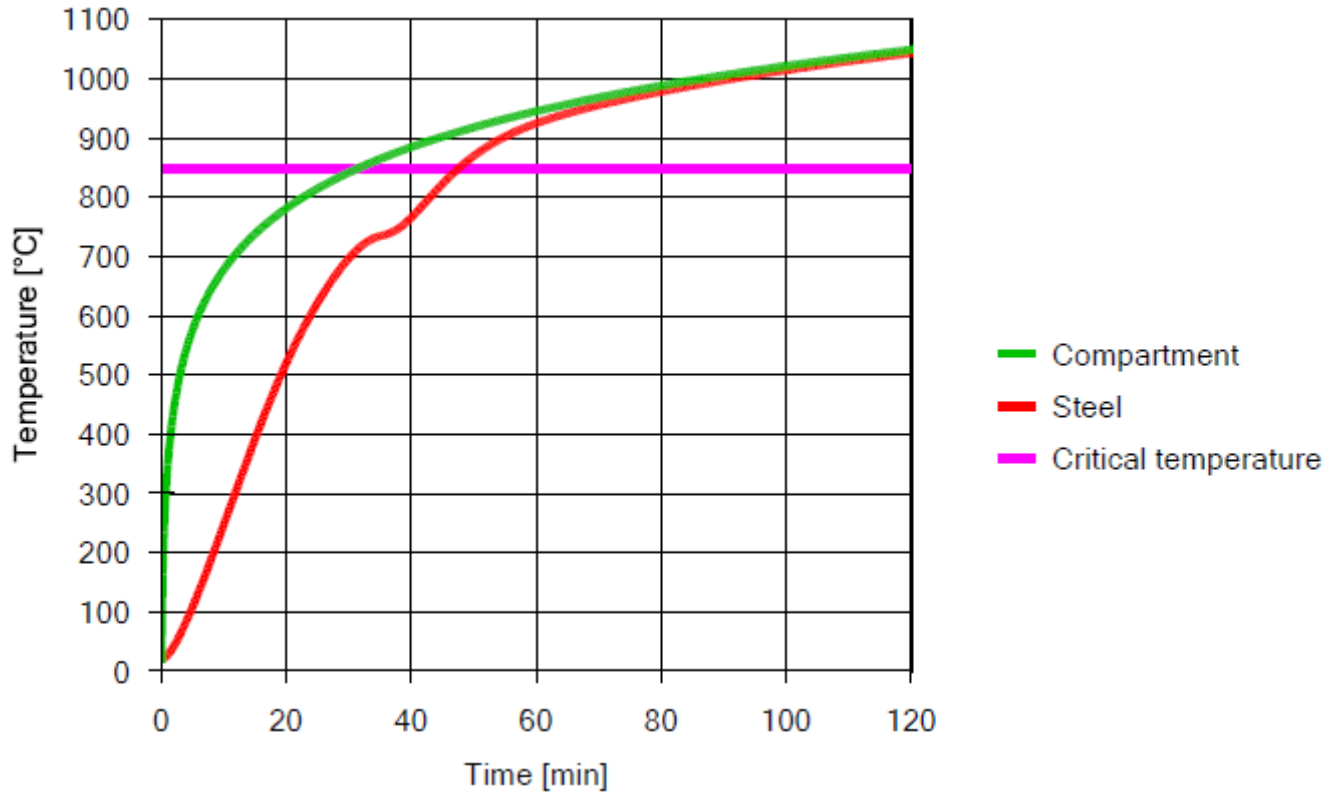
Standard fire curve, ISO 834

Section factor: $[A_m/V] = 51.7 \text{ m}^{-1}$

Modified section factor: $k_{sh} [A_m/V] = 51.7 \text{ m}^{-1}$

A critical temperature of $847.7 \text{ }^\circ\text{C}$ is reached after 47.42 minutes

FIRE COMPARTMENT AND STEEL TEMPERATURE



[Maximum temperature] Compartment: 1049.0 °C at 120.00 min / Steel: 1043.5 °C at 120.00 m



Brandveilig Constructief Ontwerp

Technisch rapport TR2 MP0.4

(Case study industriegebouw)

