

# Opwarming galerijkolommen



1. Voorbeelden stalen galerijconstructie woongebouwen.



**Galerijkolommen moeten bij brand in woongebouwen 30 minuten hun draagfunctie behouden in verband met ontvluchting. De standaardbrandkromme, bedoeld voor constructies in een brandruimte, vormt geen realistisch uitgangspunt voor de beoordeling van de opwarming van deze kolommen. Ook de buitenbrandkromme geeft in veel gevallen een te ongunstig beeld van de opwarming, al wordt deze in de praktijk vaak gebruikt voor een conservatieve beoordeling. De Technische Commissie 3 (Brandveiligheid van Staalconstructies) van Bouwen met Staal heeft een rekentool ontwikkeld die mogelijkheden biedt voor een meer realistische, praktische en economische toetsing.**

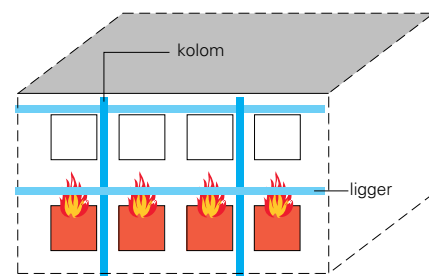
ing. Z. van Gool, dr.ir. A.F. Hamerlinck en ing. B. Oostdam RC

Zoë van Gool is junior-constructeur bij Van Wijnen Engineering in Dordrecht. Ralph Hamerlinck is senior-adviseur bij Bouwen met Staal en directeur van Adviesbureau Hamerlinck in Roosendaal. Bianca Oostdam is projectleider bij IMd Raadgevende Ingenieurs in Rotterdam en voorzitter van de Technische Commissie 3 - Brandveiligheid van Staalconstructies van Bouwen met Staal.

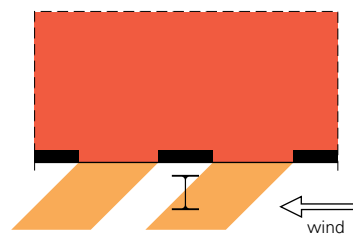
Voor het beoordelen van de brandwerendheid van situaties waarbij de staalconstructie van een gebouw zich in de buitenlucht (vóór de gevel) bevindt, zoals bij galerijen van woongebouwen (afb. 1), is de standaardbrand niet geschikt. Voor staalconstructies in de buitenlucht is de thermische belasting bij brand in een woning doorgaans aanzienlijk lager. Deze thermische belasting bestaat uit (afb. 2):

- straling vanuit de brandruimte via raamopeningen;
- straling en convectie door vlammen die vanuit raamopeningen naar buiten slaan.

Naast een lagere thermische belasting vanuit de woning op de staalconstructie, wordt de kolom niet van alle zijden op dezelfde wijze verhit en wordt deze deels door de buitenlucht afgekoeld.



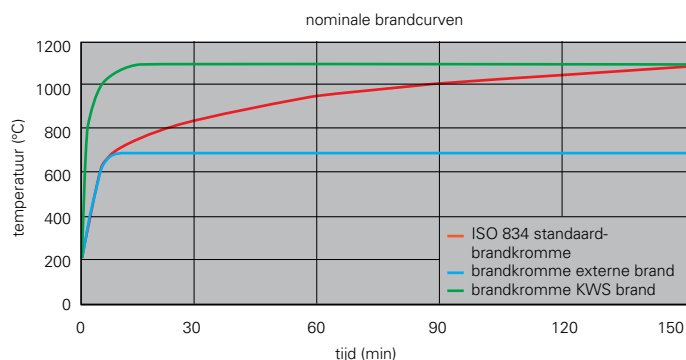
staalconstructie voor de gevel



horizontale vlamprojectie

2. Opwarming van een buiten de gevel geplaatste staalconstructie door straling en convectie vanuit de brandruimte binnen (een woning) en door uitslaande vlammen, eventueel door direct vlamcontact.

# bij realistisch brandscenario



### 3. Brandkrommen volgens EN 1991-1-2.

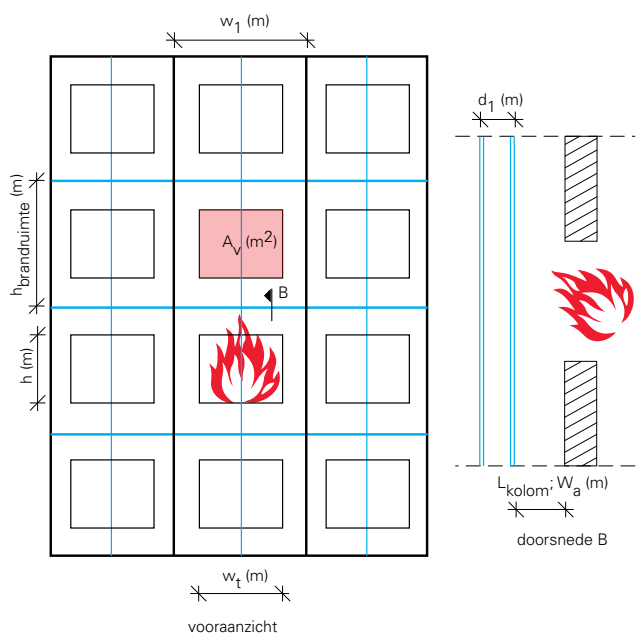
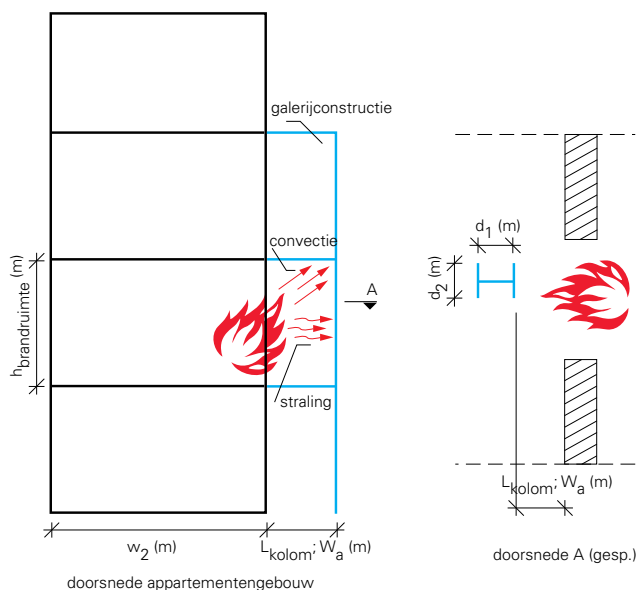
Voor een meer realistische wijze van beoordelen dan de standaardbrand wordt regelmatig de buitenbrandkromme (c.q. gereduceerde standaardbrandkromme) gebruikt (afb. 3), die conservatieve resultaten geeft bij een afstand van minimaal circa 1 m tussen de kolommen/liggers en de gevel. Hierbij wordt de staalconstructie niet warmer dan zo'n 680 °C. De gereduceerde standaardbrand wordt in NEN 6069 gebruikt om de brandwerendheid van gevels van buiten naar binnen te beoordelen, maar kan in het kader van gelijkwaardigheid ook worden ingezet voor constructies. Een minder conservatieve en meer exacte benadering met minder snelle afname van de draagkracht dan bij de buitenbrandkromme is mogelijk met een natuurlijke brand-berekening, bijvoorbeeld volgens de Eurocodes brand.

### Bepalingsmethode in de Eurocodes

Het rekenmodel voor het beoordelen van constructies buiten, opgenomen in de bijlagen B van EN 1991-1-2 (thermische belasting/materiaalafhankelijk) en EN 1993-1-2 (staalspecifiek) en bekend als 'het model van Law', is door Margret Law en Turloch O'Brien ontwikkeld in een onderzoek naar de brandveiligheid van onbeschermde externe staalconstructies in de jaren '80 van de vorige eeuw. Het model gebruikt gegevens over de afmetingen van de ruimte, de afmetingen en positie van de gevelopeningen (ramen) en de hoeveelheid brandbaar materiaal in de ruimte. Daaruit berekent het model met empirische formules de volgende parameters, waarmee de thermische belasting op de staalconstructie kan worden bepaald:

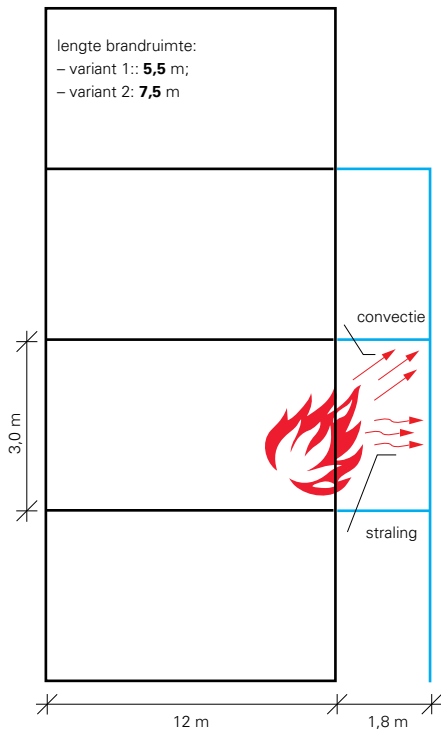
- de temperatuur in de brandruimte als functie van de vuurbelasting, de ventilatiecondities en de afmetingen van de brandruimte (de woning);
- de vorm, afmeting en temperatuur van de uitslaande vlammen (geschematiseerd als prismatische, door rechte vlakken begrensde volumes) als functie van de afmeting van de ramen, de afbrandsnelheid en de ventilatiecondities in de brandruimte.

Uitgangspunt is dat de brand volledig ontwikkeld is (na *flashover*) en dat alle ruiten in de brandruimte (de woning) zijn gesprongen en er vlammen uitslaan (behorend bij een ventilatiebeheerste brand).



- $w_1$  lengte brandruimte (galerijgevel)
- $w_2$  breedte brandruimte (loodrecht op gevel)
- $h_{\text{brandruimte}}$  hoogte brandruimte
- $w_t$  breedte raamopening
- $h$  hoogte raamopening
- $q_{f,d}$  ontwerp vuurbelasting
- $L_{\text{kolom}}$  positie voorzijde kolom tov raam
- $d_1$  hoogte kolom loodrecht op raam
- $d_2$  breedte kolom // raam
- $W_a$  breedte galerij = afstand tot voorzijde kolom

### 4. Geometrische parameters bij berekening staaltemperatuur met BmS-rekentool 'Modellerij galerijkolommen'.



5. Testsituaties afstudeerscriptie.

De straling vanuit de gevelopeningen en die vanuit de vlammen belasten de omgeving met stralingswarmte die alle oppervlakken in de omgeving verhit. Behalve straling wordt warmteoverdracht door convectie (luchtstroming naar/rondom de constructie) meegenomen. De in het model van Law gebruikte empirische formules zijn in het onderzoek gevalideerd met een groot aantal metingen in doosvormige volumes waarin de afmetingen, aantallen en positie van gevelopeningen zijn gevarieerd.

De brandtemperatuur, de afmetingen en temperatuur van de vlammen hebben in het rekenmodel vaste waarden. Dat wil zeggen dat er geen informatie is over de ontwikkeling in de tijd. Daarnaast is de brandtemperatuur overal in de ruimte hetzelfde. Het uitgangspunt van het gebruik van deze vaste waarden is, dat ze bij benadering de meest ongunstige situatie aangeven die tijdens het gehele brandverloop kan ontstaan.

De hieruit berekende staaltemperatuur is dus de maximale staaltemperatuur die tijdens het brandverloop optreedt.

Bij wind evenwijdig aan de gevel wordt rekening gehouden met afbuiging van de vlammen. De netto warmteoverdracht door straling en convectie wordt berekend in de meest ongunstige situatie. Wat betreft de thermische belasting van de staalconstructie worden twee situaties onderscheiden:

- de vlammen raken de staalconstructie, bijvoorbeeld wanneer een kolom op korte afstand en recht voor een raam staat;
- er is geen direct vlamcontact, bijvoorbeeld wanneer een kolom tussen twee ramen staat of op voldoende afstand staat van de gevel.



6. Casus 1. Woongebouw in Nieuwegein.

Consequentie van de rekenmethode is dat geen brandwerendheid in minuten kan worden bepaald, maar enkel of de constructie het volledige brandverloop kan doorstaan. Wanneer wel een uitspraak in minuten verlangd wordt, is een meer geavanceerde methode op basis van transiënte warmteoverdracht (als functie van de tijd) vereist, bijvoorbeeld de methode die in het kader van een Europees onderzoeksproject is ontwikkeld (door Haller et al).

Ook de Nederlandse norm NEN 6068 voor het beoordelen van brandoverslag gebruikt het model van Law, echter slechts voor een deel. De stralingsberekening in NEN 6068 verschilt om deze geschikt te maken voor dit specifieke beoordelingsaspect en om voor praktijksituaties aan te sluiten op het veiligheidsniveau dat in Nederland voldoende veilig wordt geacht (ter beperking van brandoverslag tussen woningen).

### Rekentool

De Technische Commissie 3 heeft een eenvoudige tool voor stalen galerijkolommen ontwikkeld waarmee de maximale staaltemperatuur kan worden bepaald als functie van (afb. 4):

- het staalprofiel (afmetingen  $d_1$  in (dwarsrichting van de gevel) en  $d_2$  in (langrichting van de gevel);
- de afstand tot de gevel  $L_{\text{kolom}}$ , in dit geval de breedte van de galerij  $w_a$ ;
- de grootte van de woning (de lengte van de brandruimte (galerijgevel)  $w_1$  en de breedte van de brandruimte (loodrecht op de gevel)  $w_2$ );
- de grootte van de raamopeningen (de (gezamenlijke) breedte van de ramen  $w_r$  en de hoogte van de ramen  $h_{\text{eq}}$ ).

Met deze tool is een meer realistische, praktische en economische toetsing mogelijk dan met de gereduceerde standaardbrandkromme. Het toepassingsgebied betreft stalen kolommen voor gevelopeningen (ramen), waarbij de kolom zich niet direct (op zeer korte afstand), vol in de vlammen bevindt.



7. Casus 2. Woongebouw in Utrecht.

De beperkingen zijn:

- de kolom bevindt zich recht voor (in het midden van) de gevelopening. Dit is een conservatief uitgangspunt voor de situatie die doorgaans aan de orde is bij kolommen op de woningscheidende assen, waarbij de straling onder een hoek plaatsvindt en beperkter is;
- de brandruimte (woning) beslaat één bouwlaag;
- de ramen van de woning worden gesommeer tot één gezamenlijke opening.

Voor de formules wordt verwezen naar beide NEN-EN's en de scriptie van Van Gool. TC3 heeft plannen om de tool eventueel uit te breiden, bijvoorbeeld voor een willekeurige positie van de kolom ten opzichte van de raamopening.

### Verificatie rekentool en afstudeerscriptie

Tijdens het onderzoek naar een rekenmethode voor het beoordelen van brand op stalen galerijkolommen, is er een uitgebreide analyse uitgevoerd naar de technische aspecten van de BmS-rekentool. Daarin is gecontroleerd waar de formules vandaan komen en of deze kloppen met de Law-methode. Daarnaast zijn berekeningen volgens de externe brandkromme en de BmS-rekentool met elkaar vergeleken. Uit de testresultaten van de variabelen, die ingevoerd worden in de BmS-rekentool, blijkt dat de volgende variabelen een grote impact hebben op de staaltemperatuur: de afmetingen van de brandruimte, de afmetingen van de raamopeningen en de afstand van de kolom tot aan de gevel. In het onderzoek zijn twee testsituaties uitgewerkt (afb. 5), waarbij uitgegaan is van een gebouw met zes bouwlagen met een gemiddelde verdiepinghoogte van 3 m. Per bouwlaag zijn er zes kolommen, waardoor er 108 m aan stalen kolommen aanwezig is in dit gebouw. Uit de resultaten van de uitgewerkte casussen wordt duidelijk dat de resultaten tussen de huidige rekenmethode en de BmS-rekentool significant

$k_{sh} \cdot A_m / V$ (m <sup>-1</sup> )	blootstellingstijd bij brand (minuten)			
	30	60	90	120
5	149	336	522	674
10	258	550	734	888
15	352	682	851	1005
20	432	736	943	1030
25	500	778	976	1037
30	555	835	988	1039
35	600	876	992	1041
40	637	901	995	1042
45	668	915	996	1043
50	692	923	998	1044
55	710	928	998	1044
60	722	931	999	1045
65	730	933	1000	1045
70	735	934	1000	1045
75	738	935	1001	1046
80	742	936	1001	1046
85	747	937	1001	1046
90	754	937	1002	1046
95	761	938	1002	1046
100	768	938	1002	1047
105	775	939	1002	1047
110	782	939	1003	1047
115	788	939	1003	1047
120	794	940	1003	1047
125	798	940	1003	1047
130	803	940	1003	1047
135	807	940	1003	1047
140	810	940	1003	1047
145	813	941	1003	1047
150	815	941	1004	1048
155	818	941	1004	1048
160	820	941	1004	1048
165	821	941	1004	1048
170	823	941	1004	1048
175	824	942	1004	1048
180	825	942	1004	1048
185	826	942	1004	1048
190	827	942	1004	1048
195	828	942	1004	1048
200	829	942	1004	1048

Tabel 1. Staaltemperatuur  $\theta_a$  (°C) van een onbeschermd I-profiel (niet-verzinkt) volgens de standaardbrandkromme (= (aangepaste) tabel 4.4 uit Fire).

verschillen. Hierdoor kan er slanker gedimensioneerd worden bij het gebruik van de BmS-rekentool, wat winst oplevert (financieel gezien), maar ook op het materiaalgebruik en de CO<sub>2</sub>-emissies bespaart. In de getoetste casussen loopt de winst op tot zo'n 43% minder staalgebruik en daarmee lagere kosten, 1.200 kg minder CO<sub>2</sub>-uitstoot en een winst van zo'n € 14.900,-. Verdere uitwerking van de testsituaties is terug te vinden in hoofdstuk 7, *Brand in Buitensituaties* van de scriptie van Van Gool.

$k_{sh} \cdot A_m / V$ (m <sup>-1</sup> )	blootstellingstijd bij brand (minuten)			
	30	60	90	120
5	122	219	301	372
10	208	364	474	547
15	284	469	571	623
20	349	541	622	655
25	405	588	649	669
30	453	619	663	675
35	493	639	670	677
40	526	635	674	678
45	553	662	676	679
50	575	667	678	679
55	594	671	678	679
60	609	674	679	679
65	621	676	679	679
70	631	677	679	679
75	640	677	679	679
80	647	678	679	679
85	652	678	679	679
90	657	679	679	679
95	661	679	679	679
100	664	679	679	679
105	667	679	679	679
110	669	679	679	679
115	671	679	679	679
120	672	679	679	679
125	673	679	679	679
130	674	679	679	679
135	675	679	679	679
140	676	679	679	679
145	676	679	679	679
150	677	679	679	679
155	677	679	679	679
160	677	679	679	679
165	678	679	679	679
170	678	679	679	679
175	678	679	679	679
180	678	679	679	679
185	678	679	679	679
190	678	679	679	679
195	679	679	679	679
200	679	679	679	679

Tabel 2. Staaltemperatuur  $\theta_a$  (°C) van een onbeschermd I-profiel (niet-verzinkt) volgens de buitenbrandkromme (= (aangepaste) tabel 4.7 uit Fire).

### Casussen

Ter illustratie van de toepassing van de BmS TC3-rekentool zijn drie casussen beschreven.

#### Casus 1: Woningbouwproject in Nieuwegein (afb. 6)

Kolommen koker CF SHS 180x10 zonder betonvulling.

Eis 30 minuten brandwerendheid.

Verdiepinghoogte 3,4 m.

Kolom draagt  $(6,1 + 5,4) / 2 \cdot 1,6 / 2 = 4,6$  m<sup>2</sup> per laag.

Vier lagen. Totaal op onderste kolom: 18,4 m<sup>2</sup>. Belastingen  $q_g = 6,5$  kN/m<sup>2</sup>;  $q_q = 2,5$  kN/m<sup>2</sup> (project is van voor wijziging van de belastingnorm).

$q_0 = 6,5 + 2,5 \cdot 0,3 = 7,25$  kN/m<sup>2</sup>;  $N_0 = 18,4 \cdot 7,25 = 133,4$  kN;  $M_0 = 0$  kNm.

CF SHS 180x10 (S235) met  $l_{sys} = 3,4$  m en  $l_{buc} = 0,7 \cdot 3,4 = 2,38$  m heeft bij deze belasting een kritieke staaltemperatuur  $\theta_{a,cr} = 796$  °C (berekend met de BmS-rekentool 'Bepaling kritieke staaltemperatuur bij normaalkracht en (dubbele) buiging'). Bij de standaard-brandkromme (binnen) is de staaltemperatuur na 30 minuten  $\theta_{a,30} = 768$  °C, zie tabel 1 (= tabel 4.4 uit Fire voor  $A_m/V = 1000/10 = 100$  m<sup>-1</sup>), dus voldoet.

Bij de buitenbrandkromme  $\theta_{a,30} = 664$  °C, zie tabel 2 (= tabel 4.7 uit Fire voor  $A_m/V = 1000/10 = 100$  m<sup>-1</sup>), dus voldoet.

Met de galerijtool:

Lengte brandruimte 10,7 m.

Breedte brandruimte 5,4 m.

Hoogte brandruimte 3,0 m.

Breedte raamopening 2,1 m (grootste opening genomen; kolom staat (evenwijdig aan het raam gemeten) 0,4 m buiten de opening, maar tool rekent met kolom recht voor opening).

Hoogte raamopening 2,3 m.

Ontwerp vuurbelasting 870 MJ/m<sup>2</sup> (NB bij EN 1991-1-2).

Voorzijde kolom ten opzichte van raam 1,4 m.

Hoogte kolom 0,18 m.

Breedte kolom 0,18 m.

Breedte galerij 1,4 m.

Resultaat:  $\theta_a = 641$  °C, dus voldoet.

Constructieve optimalisatie van de doorsnede mogelijk tot:

– koker CF SHS 150x6 voldoet bij gebruik van de buitenbrandkromme  $\theta_{a,30} = 678$  °C <  $\theta_{a,cr} = 692$  °C;

– koker CF SHS 150x4 voldoet bij gebruik van de galerijtool:  $\theta_{a,30} = 646$  °C <  $\theta_{a,cr} = 648$  °C.

#### Casus 2: Woningbouwproject in Utrecht

Kolommen nader te bepalen op basis van het belastinggeval brand.

Eis 30 minuten brandwerendheid.

Verdiepinghoogte 3,1 m.

Kolom draagt  $8,1 \cdot 1,6 / 2 = 6,48$  m<sup>2</sup> per laag.

Drie lagen. Totaal op onderste kolom 19,44 m<sup>2</sup>.

Aannamen  $q_g = 6,5 \text{ kN/m}^2$ ;  $q_i = 3,0 \text{ kN/m}^2$   
 $q_0 = 6,5 + 3 \cdot 0,3 = 7,4 \text{ kN/m}^2$ ;  $N_0 = 19,44 \cdot 7,4 = 143,9 \text{ kN}$ ;  $M_0 = 3,6 \text{ kNm}$  ( $e = 0,075 \text{ m}$ ).  
 CF SHS 150x10 (S235) met  $l_{\text{sys}} = 3,1 \text{ m}$  en  $l_{\text{buc}} = 0,7 \cdot 3,1 = 2,17 \text{ m}$  heeft bij deze belasting een kritieke staaltemperatuur  $\theta_{\text{a,cr}} = 695 \text{ }^\circ\text{C}$  (berekend met de BmS-rekentool 'Bepaling kritieke staaltemperatuur bij normaalkracht en (dubbele) buiging'). Dit profiel zou voor de krachtswerking bij kamertemperatuur ook gekozen zijn in deze situatie.  
 Bij de standaardbrandkromme (binnen) is de staaltemperatuur na 30 minuten  $\theta_{\text{a,30}} = 768 \text{ }^\circ\text{C}$  (tabel 4.4 uit *Fire* voor  $Am/V = 1000/10 = 100 \text{ m}^{-1}$ ), dus voldoet NIET.  
 Bij de buitenbrandkromme  $\theta_{\text{a,30}} = 664 \text{ }^\circ\text{C}$  (tabel 4.7 uit *Fire* voor  $Am/V = 1000/10 = 100 \text{ m}^{-1}$ ), dus voldoet in CF SHS 150x10 (S235).

Met de galerijtool:

Lengte brandruimte 8,1 m.  
 Breedte brandruimte 6,5 m.  
 Hoogte brandruimte 2,75 m.  
 Breedte raamopening 2,7 m (kolom staat buiten de opening, maar tool rekent met kolom recht voor opening).  
 Hoogte raamopening 2,5 m.  
 Ontwerp vuurbelasting  $870 \text{ MJ/m}^2$  (NB bij EN 1991-1-2).  
 Voorzijde kolom ten opzichte van raam 1,5 m.  
 Hoogte kolom 0,15 m.  
 Breedte kolom 0,15 m.  
 Breedte galerij 1,5 m.  
 Resultaat:  $\theta_a = 676 \text{ }^\circ\text{C}$ , dus CF SHS 150x10 (S235) voldoet. Helaas levert de tool voor deze casus geen gunstiger resultaat op.

Eventuele constructieve optimalisatie van de doorsnede mogelijk tot:

– koker CF SHS 150x6 (S355) voldoet bij gebruik van de buitenbrandkromme  $\theta_{\text{a,30}} = 678 \text{ }^\circ\text{C} < \theta_{\text{a,cr}} = 688 \text{ }^\circ\text{C}$ .  
 – koker CF SHS 150x6 (S355) voldoet bij gebruik van de galerijtool:  $\theta_{\text{a,30}} = 676 \text{ }^\circ\text{C} < \theta_{\text{a,cr}} = 688 \text{ }^\circ\text{C}$ .

*Casus 3: Woningbouwproject in Rotterdam*

Kolommen CF SHS 150x10 (S235).

Eis 30 minuten brandwerendheid.

Verdiepinghoogte 3,0 m.

Situatie A met kolom 3 m van gevel (hoogste belasting, maar minder opwarming)

Kolom draagt  $3 \cdot 3/2 = 4,5 \text{ m}^2$  per laag. Twee lagen. Totaal op onderste kolom  $9 \text{ m}^2$ .

Aannamen  $q_g = 7,0 \text{ kN/m}^2$ ;  $q_i = 2,5 \text{ kN/m}^2$ .  
 $q_0 = 7,0 + 2,5 \cdot 0,3 = 7,75 \text{ kN/m}^2$ ;  $N_0 = 9 \cdot 7,75 = 69,8 \text{ kN}$ ;  $M_0 = 2,6 \text{ kNm}$  ( $e = 0,075 \text{ m}$ ).  
 CF SHS 150x10 (S235) met  $l_{\text{sys}} = 3,0 \text{ m}$  en  $l_{\text{buc}} = 0,7 \cdot 3,0 = 2,1 \text{ m}$  heeft bij deze belasting een kritieke staaltemperatuur  $\theta_{\text{a,cr}} = 789 \text{ }^\circ\text{C}$  (berekend met de BmS-rekentool 'Bepaling kritieke staaltemperatuur bij normaalkracht en (dubbele) buiging').

Bij de standaardbrandkromme (binnen) is de staaltemperatuur na 30 minuten  $\theta_{\text{a,30}} = 768 \text{ }^\circ\text{C}$  (tabel 4.4 uit *Fire* voor  $Am/V = 1000/10 = 100 \text{ m}^{-1}$ ), dus voldoet.

Bij de buitenbrandkromme  $\theta_{\text{a,30}} = 664 \text{ }^\circ\text{C}$  (tabel 4.7 uit *Fire* voor  $Am/V = 1000/10 = 100 \text{ m}^{-1}$ ), dus voldoet.

Met de galerijtool:

Lengte brandruimte 7 m.  
 Breedte brandruimte 11,8 m.  
 Hoogte brandruimte 2,7 m.  
 Breedte raamopening 6 m (vrijwel hele woningbreedte als opening; kolom staat recht voor opening).  
 Hoogte raamopening 2,5 m.  
 Ontwerp vuurbelasting  $870 \text{ MJ/m}^2$  (NB bij EN 1991-1-2).  
 Voorzijde kolom ten opzichte van raam 3,0 m.  
 Hoogte kolom 0,15 m.  
 Breedte kolom 0,15 m.  
 Breedte galerij 3,0 m.  
 Resultaat:  $\theta_a = 612 \text{ }^\circ\text{C}$ , dus voldoet.

Situatie B met kolom 2 m van gevel (lagere belasting (dus hogere  $\theta_{\text{a,cr}}$ ), maar grotere opwarming).

Met de galerijtool:

Lengte brandruimte 11 m.  
 Breedte brandruimte 10 m.  
 Hoogte brandruimte 2,7 m.  
 Breedte raamopening 10 m (vrijwel hele woningbreedte als opening; kolom staat recht voor opening).  
 Hoogte raamopening 2,5 m.  
 Ontwerp vuurbelasting  $870 \text{ MJ/m}^2$  (NB bij EN 1991-1-2).  
 Voorzijde kolom ten opzichte van raam 2,0 m.  
 Hoogte kolom 0,15 m.  
 Breedte kolom 0,15 m.  
 Breedte galerij 2,0 m.  
 Resultaat:  $\theta_a = 632 \text{ }^\circ\text{C}$ , dus voldoet.

Constructieve optimalisatie van de doorsnede mogelijk tot:

– koker CF SHS 150x5 voldoet bij gebruik van de buitenbrandkromme  $\theta_{\text{a,30}} = 679 \text{ }^\circ\text{C} < \theta_{\text{a,cr}} = 698 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  
 – koker CF SHS 150x4 voldoet bij gebruik van de galerijtool  $\theta_{\text{a,30}} = 632 \text{ }^\circ\text{C} < \theta_{\text{a,cr}} = 671 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## Conclusie

De Technische Commissie 3 - Brandveiligheid van Staalconstructies van Bouwen met Staal heeft een eenvoudige tool voor stalen galerijkolommen ontwikkeld waarmee de maximale staaltemperatuur kan worden bepaald. Met deze tool is een meer realistische, praktische en economische toetsing mogelijk dan met de (gereduceerde) standaardbrandkromme. De tool *Modellerij galerijkolommen* is verkrijgbaar via [brandveiligmetstaal.nl](http://brandveiligmetstaal.nl) onder 'Tools BmS'.

## Literatuur

- *NEN-EN 1991-1-2* (Eurocode 1. Belastingen op constructies. Deel 1-2. Algemene belastingen. Belasting bij brand), 2002 + C3, 2019 + NB, 2019.
- *NEN-EN 1993-1-2* (Eurocode 3. Ontwerp en berekening van staalconstructies. Deel 1-2. Algemene regels. Ontwerp en berekening van constructies bij brand), 2005 + C2, 2011 + NB, 2015.
- *NEN 6068* (Bepaling van de weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag tussen ruimten) 2020 + A1, 2023.
- *NEN 6069* (Beproeving en klassering van de brandwerendheid van bouwdeelen en bouwproducten), 2022.
- M. Law en T. O'Brien, *Fire safety of bare external structural steel*, Constrado, Londen 1981.

- A.F. Hamerlinck, *Fire. Fire safety and fire resistant design of steel structures for buildings according to Eurocode 3 (Steel Design 2)*, Bouwen met Staal, Zoetermeer 2021.
- Z. van Gool, *Brand in buitensituaties*, scriptie Hogeschool Rotterdam, Instituut voor de gebouwde omgeving, opleiding bouwkunde, Rotterdam 2023.
- *Rekentool Bepaling kritieke staaltemperatuur bij normaalkracht en (dubbele) buiging (eenvoudige versie)*, Bouwen met Staal, [brandveiligmetstaal.nl](http://brandveiligmetstaal.nl) onder **BmS Tools**.
- M. Haller (e.a.), *Development of design rules for the behavior of external steel structures* (ECSC Research 7210 PR 380, final report), Brussel 2006.