

ir. D.W.L. Jansen en ir. M.A. Visscher

Daan Jansen is specialist brandveiligheid en bouwfysica en Michiel Visscher is constructeur en projectleider, beiden bij DHV in Eindhoven.

# Brandwerende maatregelen

**De staalconstructie van woongebouw De Karel Doorman is aangepast vanwege trillingsproblematiek. Extra kolommen zijn toegevoegd onder de woningscheidende liggers. Een tweede aanpassing betreft dezelfde liggers, die ofwel met aangelaste platen torsiestijf moeten worden gemaakt of de oplegging van de vloer moet worden verdubbeld. Maar wat is de beste oplossing voor de brandwerendheid?**

Voor de oplegging van de (woningsscheidende) vloeren in het appartementencomplex zijn veel en grote doorbrekingen in de brandwerende bekleding nodig waardoor de brandwerendheid wordt ondermijnd. Vanwege de toename van het aantal doorbrekingen door de trillingsproblematiek was duidelijk dat de brandwerendheid nader moest worden onderzocht. In de langsrichting van het gebouw liggen de vloeren op HEA 220-liggers die de kolommen (HEB 220 of HEB 200) in de gevels en op de centrale as verbinden. In de breedterichting worden de kolommen verbonden door HEA 180-liggers. Met windverbanden is het vloerveld gestabiliseerd. Doordat het bezwijken van één van deze elementen leidt tot voortschrijdende instorting, behoren ze volgens NEN 6702 tot de hoofd draagconstructie onder brandomstandigheden.

## Eisen

- Algemeen geldt dat 30 minuten een rookvrije vluchtroute beschikbaar moet zijn.
- Door de hoogte van het gebouw en de functie moet de hoofd draagconstructie gedurende 120 minuten weerstand bieden tegen brand.
- De brandcompartimentsgrenzen moeten 60 minuten weerstand bieden tegen brand. De vloerliggers, de kolommen op de centrale as en in de gevels zijn alle onderdeel van de hoofd draagconstructie. Dit betekent dat deze 120 minuten brandwerend moeten zijn. Vanwege de brandcompartimentering moet de oplegging van de vloer 60 minuten brandwerend zijn.

## Trillingsproblematiek en uitvoering

Tijdens de uitvoering is gebleken dat de staalconstructie van de bovenbouw niet stijf genoeg is. Daarom zijn kolommen toegevoegd waardoor aanvullende verticale krachten in de vloerliggers worden geïntroduceerd. Hun stijfheid is onvoldoende om deze krachten zonder problemen af te dragen. Er zijn twee mogelijkheden om hun stijfheid te vergroten.

- Extra lijfplaten aan de zijkanten (lokaal) (oplossing 1, *afb. 1c*).
- Dubbele oplegstrip (oplossing 2, *afb. 1d*).

Behalve bij de vloeroplegging zijn ook bij de aansluiting van de liggers op de kolommen doorbrekingen in de brandwerende bekleding noodzakelijk. Doordat de windverbanden zijn bevestigd met omvangrijke stalen platen ('krans', *afb. 2*), wordt de brandwerende bekleding ook hier over grote lengte doorbroken. De oorspronkelijke brandwerende bekleding aan de zijkanten en de onderzijde van de vloerliggers is 40 mm dik. Aan de bovenzijde is slechts 30 mm voorzien, vanwege de beperkte ruimte en het risico op trillingsoverdracht. Maar om te voldoen aan NEN 6072 is aan alle zijden van de liggers 40 mm nodig. Bij de berekening volgens NEN 6072 wordt de bekleding in boxvorm rond de vloerligger aangebracht. Door de oplegstrip is bij oplossing 1 (*afb. 1c*) aan de onderzijde van de ligger een holte van 10 mm aanwezig. Bij de dubbele oplegstrip aan de onderzijde (oplossing 2, *afb. 1d*) is de brandwerende bekleding slechts 30 mm dik doordat een luchtholte van 20 mm nodig is.

## Kritieke staaltemperatuur

Voor alle constructieve elementen is vastgesteld bij welke staaltemperatuur de uiterste grenstoestand wordt bereikt. In *tabel 1* staan de kritieke staaltemperaturen voor de vloerligger met de tijdsduur waarin deze temperatuur niet mag worden overschreden. Onderscheid wordt gemaakt tussen de eisen voor de stabiliteit van de hoofd draagconstructie en de oplegging van de vloer. Voor de vloerlig-

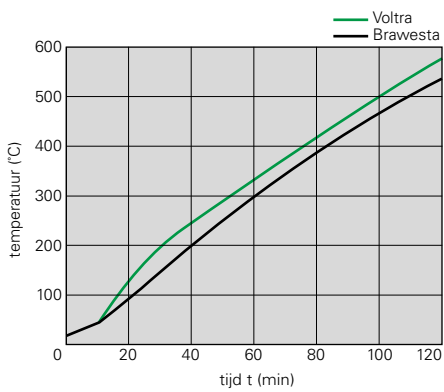
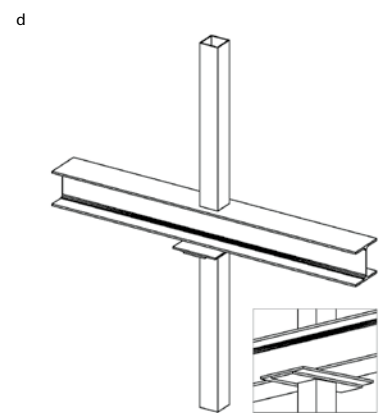
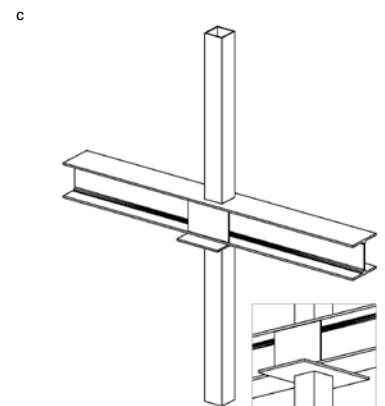
ger geldt een maximale gemiddelde temperatuur en maximale temperatuur van de flenzen als gevolg van de twee verschillende mogelijke bezwijkmechanismen. Door de verschillende details bij oplossingen 1 en 2 verschillen de kritieke staaltemperaturen. Omdat de brandwerende bekleding niet volledig kan worden uitgevoerd conform de berekeningen met NEN 6072 (beperkte dikte) in combinatie met het grote aantal doorbrekingen in de bekleding, is onvoldoende aangetoond dat wordt voldaan aan de eisen. Om de brandwerendheid van de constructie te bepalen is met thermische modellen de temperatuurontwikkeling in de elementen onderzocht. De opwarming van de constructie is bekeken bij de oplegging van de vloer, de aansluiting op de kolommen op de centrale as en bij de gevelkolommen.

## Validatie thermische modellen

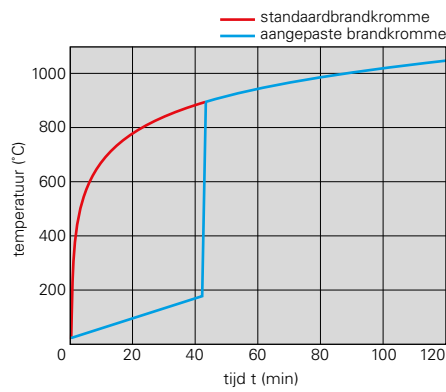
Met een eenvoudig 2D-model is de betrouwbaarheid van de berekening onderzocht. De vloerbalk is gemodelleerd met rondom 40 mm brandwerende bekleding (Promatect-H) in boxvorm. Voor de materiaaleigenschappen van het staal is gebruik gemaakt van temperatuurafhankelijke warmtegeleidingscoëfficiënt ( $\lambda$  in W/mK), de soortelijke warmte ( $c$  in kJ/kg) en constante dichtheid ( $7800 \text{ kg/m}^3$ ), conform NEN 6072. De materiaaleigenschappen van het bekledingsmateriaal zijn vastgesteld met het bijbehorende productonderzoek van TNO. Uit de studie blijkt dat de opwarming volgens het model overeenkomt met die conform NEN 6072. De door het model voorspelde staaltemperatuur was hierbij na 120 minuten  $30^\circ\text{C}$  hoger dan de berekende waarde. In *afbeelding 3* is het validatiemodel weergegeven met de temperatuurverdeling na 30, 60, 90 en 120 minuten. Bij de berekeningen volgens NEN 6072 wordt de standaardbrandkromme conform ISO 834 verondersteld. In het woongebouw Karel Doorman wordt de constructie tussen de (woningsscheidende) bouwdelen geplaatst, dus het wordt omringd door gipswanden, het plafond en de vloer. Deze delen vormen



2. Aansluiting van de HEA 220-vloerligger aan een centrale kolom met de kran.

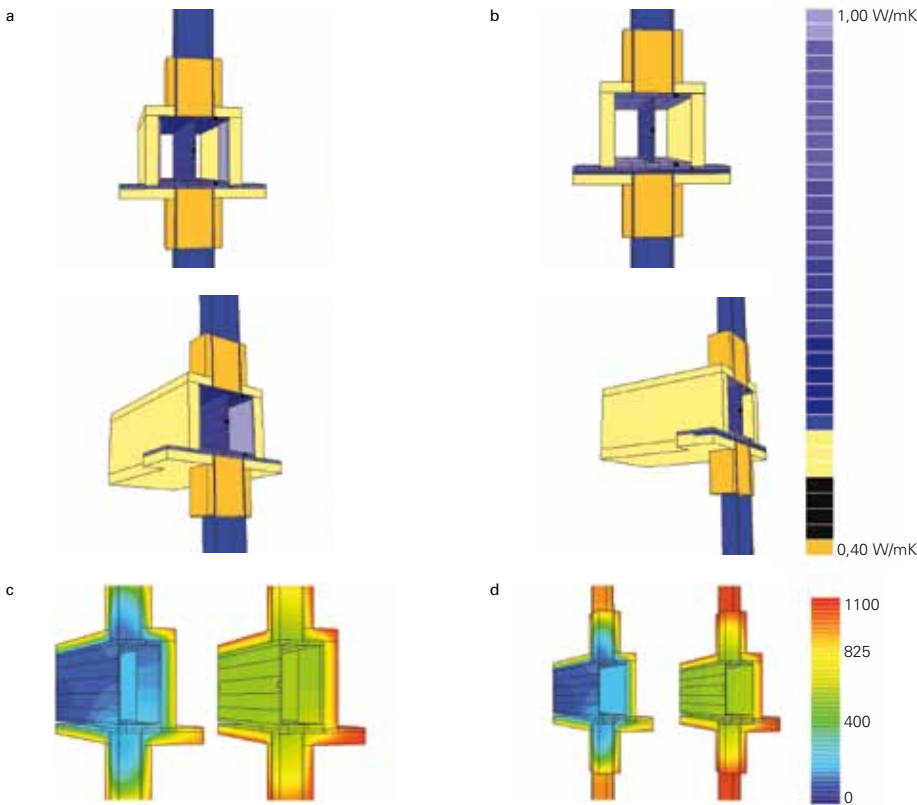


3. Validatiemodel met de temperatuurverdeling na 30, 60, 90 en 120 minuten.

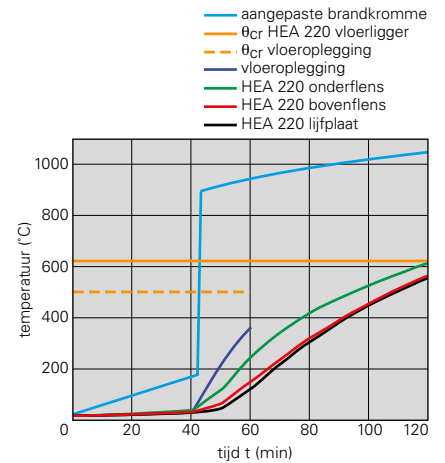


4. Verloop van de opwarming van de constructie volgens de standaard- en de aangepaste brandkromme.

1. De oplegstrip onder de HEA 220-vloerligger (gedeeltelijk voorzien van brandwerende bekleding) voordat de extra kolommen zijn aangebracht (a en b) en schematische weergave van mogelijkheden om de stijfheid van de vloerligger te vergroten (c en d).



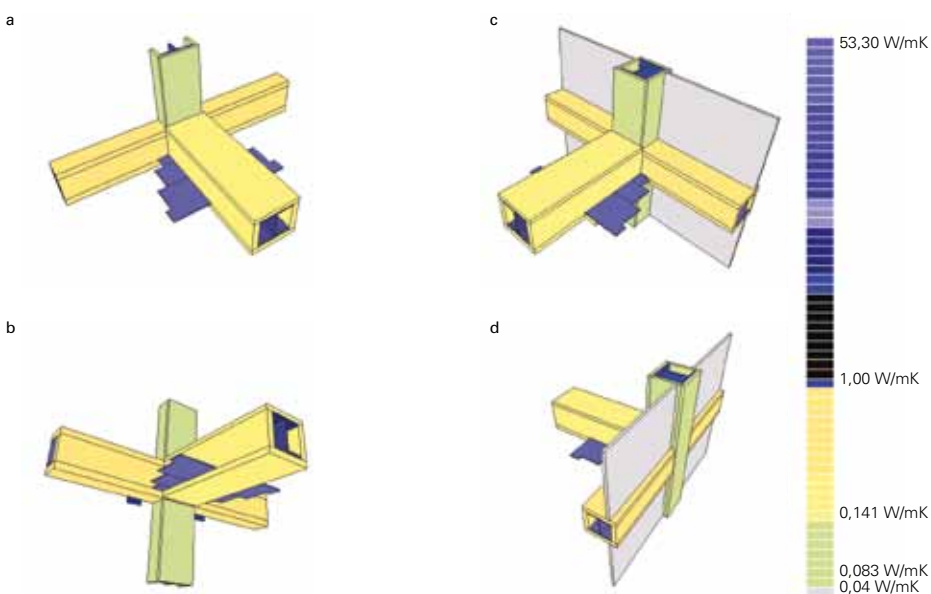
5. Schematische modellen van oplossing 1 (a) en 2 (b) en de temperatuurverdeling na 60 (c) en 120 minuten (d).



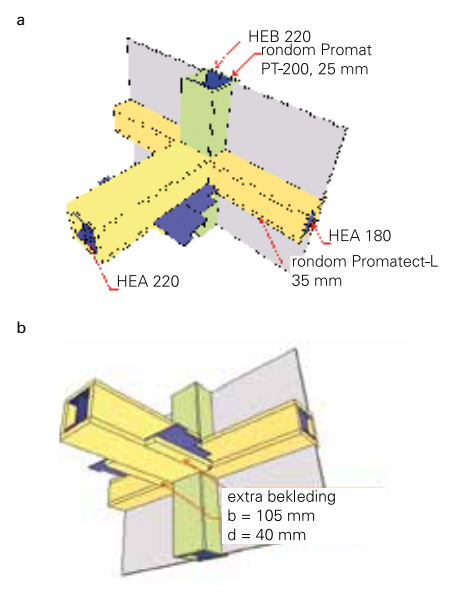
6. Opwarming van de verschillende constructiedelen en kritieke staaltemperaturen ( $\theta_{cr}$ ) van de vloerligger en de vloeroplegging.



De volledige bekleding in 'boxvorm'.



7. Weergave van de modellen voor de beoordeling van de aansluiting van de centrale kolom (a en b) en de gevelkolom (c en d).



8. Vereiste aanpassingen aan het detail bij de aansluiting van de (gevel)kolommen voor de staalprofielen (a) en de 'krans' (b).

**Tabel 1. Overzicht kritieke staaltemperatuur vloerligger (HEA 220).**

	kritieke staaltemperatuur (°C)	vereiste brandwerendheid (min.)
<b>stabiliteit</b>		
gemiddelde in vloerligger	625	120
bovenflens voor kipstabiliteit	595	120
onderflens voor zuivere buiging	655	120
<b>stabiliteit vloeroplegging</b>		
oplossing 1	500	60
oplossing 2	655	60
<b>stabiliteit verbinding centrale kolom</b>		
bevestiging met schetsplaat voor dwarskracht	658	120
in lijfplaat voor dwarskracht	668	120
bouten voor dwarskracht	625	120
bij oplegging HEA 180 op krans	570	120
gemiddelde temperatuur in HEB 220-kolom voor uitknikken	530	120

ook de brandscheiding die in de berekeningen is meegenomen. De brandwerendheid met betrekking tot de brandscheidende functie van de dubbele gipsbeplating bedraagt ruim 42 minuten voor de wanden en het plafond. De constructie voldoet wanneer de niet-verhitte zijde niet warmer wordt dan gemiddeld 140°C en maximaal 180°C. Bij de beoordeling van de brandwerendheid met de thermische modellering wordt voor de eerste 42 minuten uitgegaan van 180°C. Omdat bij de lokale opwarming niet bekend is waar deze temperatuur optreedt, is aangenomen dat deze temperatuur overal heerst: een conservatieve aanname. Aangenomen is dat na 42 minuten de constructie bezwijkt waardoor vanaf dit moment de temperatuur in de brandruimte volgens de standaardbrandkromme wordt gevolgd. In *afbeelding 4* staat het verloop volgens de standaardbrandkromme en van de aangepaste brandkromme door de afscherming via de gipsbeplating. NEN 6072 veronderstelt dat in één brandcompartiment brand is. Maar ook hier is de locatie van de brand ten opzichte van de constructie niet bekend en in de praktijk kunnen brandscheidingen bezwijken. Daarom is bij de berekening het detail alzijdig blootgesteld aan de aangepaste brandkromme.

### Keuze oplossing 1 of 2

Van de mogelijke oplegdetails (oplossing 1 en 2) zijn thermische modellen (*afb. 5*) ontwikkeld. Daarmee is onderzocht hoe de tem-

peratuur zich in de vloerbalk ontwikkelt en welke voorzieningen nodig zijn om vroegtijdig bezwijken van de constructie te voorkomen. Hierbij is getoetst aan de kritieke staaltemperaturen van de vloerligger uit *tabel 1*. Ook is bekeken of de opwarming van de oplegstrip voldoet aan de eisen om het bezwijken van brandscheidingen te voorkomen. Uit de studie is gebleken dat de kritieke staaltemperaturen worden overschreden zonder aanpassingen aan het detail. Door de oplegging van de vloer op de oplegstrip kan uitsluitend de onderzijde brandwerend worden bekleed. Ook kunnen de kokervormige kolommen brandwerend worden bekleed, maar niet te dik, want ze staan in de spouw. Om een akoestische koppeling te voorkomen moet de bekleding bovendien zacht zijn. Om warmteoverdracht in de holle kolommen door straling en convectie te voorkomen, zijn ze gevuld met isolatie. Bij de modellen is eveneens in *afbeelding 5* de temperatuurverdeling weergegeven vanaf de lijfplaat zodat de temperatuurverdeling in het midden van de vloerligger zichtbaar is. Oplossing 1 warmt voldoende traag op waardoor de kritieke staaltemperaturen niet worden overschreden. *Afbeelding 6* geeft de opwarming van de bovenflens, de lijfplaat en de onderflens gedurende 120 minuten. Hierbij staat ook de gemiddelde kritieke staaltemperatuur van de ligger. Dezelfde grafiek geeft de opwarming van de oplegstrip weer, met de kritieke staaltemperatuur. Uit de resultaten

blijkt dat de hoogste temperatuur in de vloerligger (meetpunt onderflens, 620 °C) net niet de gemiddelde kritieke staaltemperatuur overschrijdt. De staaltemperatuur van de oplegstrip is na 60 minuten aanzienlijk lager dan de kritieke staaltemperatuur. De opwarming in het model van oplossing 2 lijkt sterk op de resultaten van oplossing 1. Echter, de opwarming verloopt sneller waardoor de hoogste temperatuur in de onderflens na 120 minuten 630 °C bedraagt. Daarom is gekozen voor oplossing 1.

### Aanpassingen details

Met de keuze voor oplossing 1 is onderzocht of bij de aansluiting aan de kolommen, op de centrale as en in de gevels, de voorgestelde brandwerendheid van de constructie voldoende is. Uitgangspunt hierbij is dat reeds aangebrachte bekleding bij voorkeur niet wordt verwijderd. In *afbeelding 7* staan de gebruikte modellen. Doordat in het thermische model enkel met kubusvormige cellen kan worden gewerkt, heeft de krans een getrappt verloop. In *afbeelding 7a* en *7b* is het model van de aansluiting aan de kolommen op de centrale as van het gebouw weergegeven; *7c* en *7d* toont de aansluiting op de gevelkolom. Bij de aansluiting op de kolommen op de centrale as, worden de constructie-elementen gescheiden van de vertrekken door de brandwerende woningscheidende wanden en vloeren. Bij de gevelkolommen worden uitsluitend de constructie-elementen aan de binnenzijde van de gevel door de brandwerende constructie afgeschermd. De constructiedelen aan de buitenzijde worden niet door brandwerende constructiedelen omgeven. Doordat bij brand in de vertrekken uitslaande vlammen direct na het bezwijken van het glas de constructiedelen kunnen verhitten, kan hier de aangepaste brandkromme niet worden gebruikt. De constructiedelen aan de buitengevel worden in de modellen blootgesteld aan de opwarming conform de standaardbrandkromme (rode lijn in *afb. 4*). Uit de berekeningen blijkt dat de brandwerende bekleding niet voldoet. Aanvullend brandwerende bekleding is nodig aan de onderzijde en aan de bovenzijde van de krans. Bij de aansluiting op de gevelkolom moet aan de onderzijde extra bekleding komen (*afb. 8*). •