

Compartimenteren met brandwanden! Maar hoe?

Sinds 1995 is de brandregelgeving voor hallenbouw aangescherpt en staat de maximale compartimentgrootte ter discussie. Dat brengt ontwerpers ertoe specifieke oplossingen te bedenken om te voorkomen dat brandwanden of gevels worden omgetrokken door een bezwijkende staalconstructie bij brand. Het omtrekken van brandwanden kan leiden tot branduitbreiding naar andere compartimenten en de wetgever eist terecht dat dit niet gebeurt. De auteurs belichten enkele ontwerpfilosofieën voor brandveilige brandwanden in combinatie met – bij voorkeur – onbeschermd staal. Het blijkt dat het goed mogelijk is brandveilig te bouwen met brandwerende scheidingswanden in combinatie met een staalconstructie die niet volledig brandwerend is bekleed. Daarbij is het wel van belang vroeg in het ontwerp na te denken over brand, waardoor goede oplossingen voorhanden zijn die nauwelijks extra kosten met zich meebrengen.

ing. F.T.M. van Dam

Fred van Dam is hoofd engineering bij Oostingh Staalbouw, Katwijk

dr.ir. A.F. Hamerlinck

Ralph Hamerlinck is senior adviseur bij Bouwen met Staal, Rotterdam

ir. J.G. Kraus

John Kraus is directeur bij Adviesbureau D3BN civiel ingenieurs, Rotterdam

ir. J. Sterk

Jan Sterk is senior adviseur bij het Nationaal Centrum voor Preventie, Houten

Hoe maak je brandwerende scheidingswanden in industriële hallen zó dat ze ook echt functioneren bij een brand? Wat zegt de regelgever hierover? Wat zijn de wensen en eisen van opdrachtgever, gebruiker en verzekeraar? Wat betekenen de eisen uit het Bouwbesluit voor de praktijk, voor de brandwand zelf én voor de stalen draagconstructie? Kan deze onbekleed blijven en zo ja, hoe zorg je dan dat de brandwand blijft staan wanneer de staalconstructie bezwijkt?

Deze, en andere, vragen zijn vrijwel dagelijkse kost voor ontwerpers van industriehallen. Dit artikel gaat dieper in op deze vragen en geeft een aantal praktische oplossingen. Opgemerkt wordt in dit artikel onder een brandwand wordt verstaan: een brandscheidende wand tussen twee compartimenten in een gebouw (afb. 1). De gevels verzorgen de brandscheidende functie tussen hallen onderling.

Regelgeving

Het nieuwe Bouwbesluit¹ – waarvan de tweede fase waarschijnlijk met ingang



van 1 januari 2002 van kracht wordt; de tekstuele inhoud is ook al bij SDU Uitgeverij verkrijgbaar – geeft vier belangrijke brandveiligheidseisen voor industriële hallen (gebouwen zonder een vloer boven 5 m):

- geen eis voor de hoofddraagconstructie;
- brandcompartimenten van maximaal 1000 m²;
- brandwanden moeten een weerstand tegen branddoorslag- en brandoverslag (wbdbo) bezitten van 30 minuten;
- tussen hallen onderling geldt voor de gevels een wbdbo-eis van 60 minuten.

De wbdbo-eisen kunnen consequenties hebben voor de draagconstructie². Brandcompartimenten van meer dan 1000 m² zijn mogelijk wanneer de publicatie Beheersbaarheid van Brand^{3,4} wordt gebruikt voor het ontwerp. In dat geval vallen in het algemeen de wbdbo-eisen (fors) hoger uit dan het Bouwbesluit aangeeft; soms wel tot 240 minuten⁵. Dergelijke hoge eisen tussen brandcompartimenten zijn met name

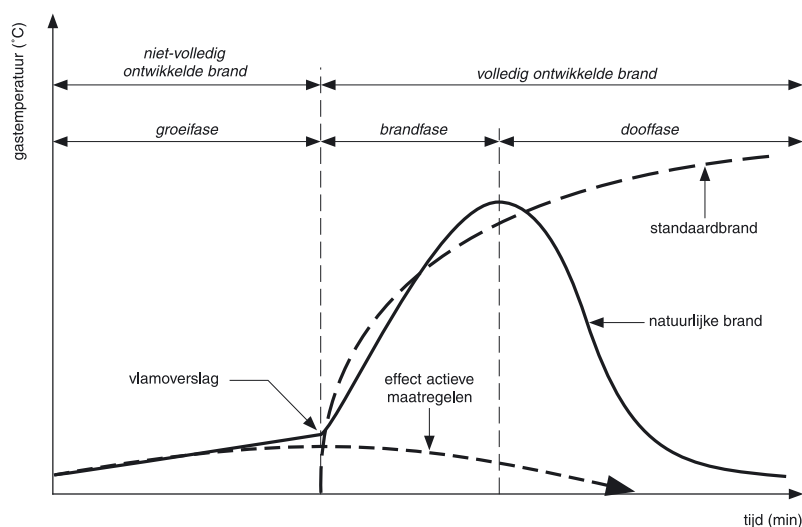
De auteurs zijn allen lid van technische commissie TC3 (Brandveiligheid staalconstructies) van de vereniging Bouwen met Staal.



1. Een brandwand is een brandscheidende wand tussen twee compartimenten in een gebouw. Ook bij brandwerendheidseisen aan brandwanden is het mogelijk onbeschermd staal toe te passen.

(foto: Yriong)

2. De systematiek van brandwerendheidseisen in het Bouwbesluit is gebaseerd op de standaardbrand én op volledig ontwikkelde branden. Hierbij wordt de groeifase van de brand veiligheidshalve verwaarloosd. De groeifase is met name van belang voor ontvluchten en repressief optreden en kan variëren van enkele minuten tot wel een uur. Met name in industriële hallen kan de groeifase lang zijn en is het vaak zo dat de brand lokaal blijft, zich uitbreidt, maar dat er geen volledig ontwikkelde brand ontstaat. In de praktijk wordt soms gebruik gemaakt van deze groeifase om een constructie goedgekeurd te krijgen die (net) niet aan de brandwerendheidseisen voldoet.



voor opslaggebouwen zinvol met het oog op schadebeperking en worden daarom ook door verzekeraars gehanteerd.

De regelgever gebruikte bij het opstellen van de normen als uitgangspunt een volledig ontwikkelde brand met over de gehele brandruimte gelijke temperaturen volgens de standaardbrand. Op basis van dit uitgangspunt zijn de eisen geformuleerd in minuten, zowel voor de brandwerendheid als voor de wdbdo. De groeifase van de brand wordt hierbij verwaarloosd (afb. 2).

De normen schematiseren het gedrag van een constructie tot het gedrag van enkelvoudige elementen zoals een kolom, een ligger, een vloer en een wand. Daarbij wordt het uitzetten van de constructie – waardoor gevels en brandwanden eerder kunnen bezwijken – niet in de beoordeling meegenomen. Ook wordt verwaarloosd dat de constructie zich bij brand vaak veel gunstiger gedraagt, bijvoorbeeld doordat er een tweede draagweg aanwezig is of door membraanwerking van de vloeren.

Al met al biedt de regelgeving conform het Bouwbesluit dus een zeer beperkt kader om constructies te beoordelen en te classificeren met als gevolg een niet altijd juiste weergave van het brandveiligheidsniveau.

Toch is het zinvol vanuit deze beperkingen te zoeken naar verstandige oplossingen om ruimten te compartimenteren door middel van brandwanden. Daarbij moet niet alleen gekeken worden naar de brandwand zelf, maar ook naar de staalconstructie van het gebouw (zowel direct naast of in de wand zelf, maar ook elders in de brandruimte) en met name het gedrag bij uitzetting.

Compartimenteren

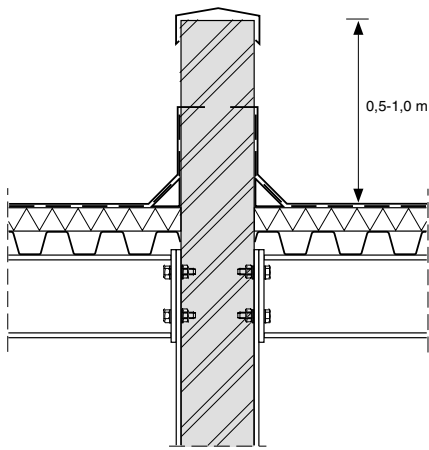
Het opdelen van een hal in compartimenten heeft consequenties voor de draagconstructie. Het is echter goed mogelijk brandveilig te bouwen zonder de staalconstructie volledig brandwerend te bekleden. Hierbij is het van belang vroeg in het ontwerp van de constructie na te denken over het belastinggeval brand. In dat stadium

kan, rekening houdend met de andere belastinggevallen, worden gezocht naar goede oplossingen die doorgaans nauwelijks extra kosten met zich mee brengen.

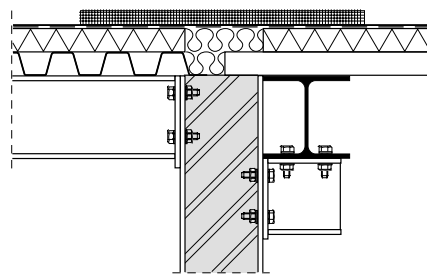
De staalconstructie moet dusdanig zijn ontworpen dat de brandwand voldoet aan een wdbdo-eis van 30 minuten volgens het Bouwbesluit. Om schade te beperken is het zinvol te overwegen een brandwand toe te passen met een hogere brandwerendheid dan volgens de minimale eisen uit het Bouwbesluit. Wanneer de verzekeraar een brandwand eist óf als de maximaal te bouwen compartimentgrootte (meer dan 1000 m²) is berekend met Beheersbaarheid van Brand ligt de wdbdo-eis vaak beduidend hoger, afhankelijk van de aanwezige vuurbelasting⁵.

Brandwand

Voor de materiaalkeuze van de brandwand zijn meerdere oplossingen mogelijk, afhankelijk van de wdbdo-eis. Voor wdbdo-eisen van 30, 60 of soms zelfs 120 minuten voldoen metal-stud

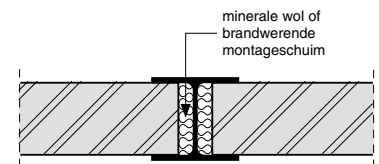


3. Brandwanden worden in de praktijk vaak bovendaks doorgetrokken om branduitbreiding te voorkomen via de onderzijde van het dak dan wel via de brandbare dakisolatie of dakbedekking.



5. Doorsnede over een steenachtige scheidingswand tussen de flenzen van een stalen kolom. Bij een juiste detaillering en uitvoering bereikt deze wand een brandwerendheid van 30 minuten zonder brandwerende bekleding van de kolom.

4. Als alternatief voor een brandwerende wand bovendaks, kan de wand tegen het dak aansluiten. Een zorgvuldige detaillering en materiaalkeuze is vereist: vullen van de golven van de dakplaat met steenwol en het onderbreken van de dakisolatie en afdekking van de dakbedekking als deze brandbaar zijn. Daarnaast is isolatie van de onderzijde van het dak nabij de wand nodig wanneer de dakplaten ter plaatse van de wand niet zijn onderbroken.



wanden, sandwichpanelen en stalen opbouw wanden geïsoleerd met minerale wol. Voor hogere eisen tot 240 minuten zijn steenachtige wanden van metselwerk, cellenbeton of kalkzandsteen aan te bevelen. Zeker voor hoge wdbdo-eisen is het gebruikelijk de wand 0,5-1,0 m boven het dak uit te laten steken (afb. 3). Een alternatief is om het dak te laten doorlopen en de wand tegen de onderzijde van het dak aan te sluiten (afb. 4). Bij een dak met stalen dakplaten moeten dan wel de golven ter plaatse van de wand worden gevuld met een onbrandbaar isolatiemateriaal. Bovendien moet eventuele brandbare isolatie in de dakplaten worden onderbroken en worden vervangen door onbrandbaar materiaal. Daarnaast moet de brandbare dakbedekking over een strook van 1 m worden bedekt met grind of tegels en moet de onderzijde van de stalen dakplaten over een breedte van 0,5 m aan weerszijden van de wand zijn voorzien van isolatiemateriaal.



(foto: Yriong)

Locale branden

De omvang van een lokale brand hangt af van veel factoren en is daardoor moeilijk algemeen vast te stellen. Een bruikbaar uitgangspunt hiervoor is te vinden in de publicatie *Beheersbaarheid van brand*^{3,4} van het Ministerie van Binnenlandse Zaken. Dit rapport hanteert voor het succesvol uitvoeren van een binnenaanval een criterium voor de maximale omvang van de lokale, zich ontwikkelende brand: 25 m² bij een maximale brandhoogte van 10 m. Deze brandomvang, een brand van 5x5 m², wordt in dit artikel eveneens als uitgangspunt genomen.

Aangenomen wordt dat de onbeschermde staalconstructie (het dakvlak, inclusief eventuele kolom) over een oppervlakte van 5x5 m² bezwijkt. Dat wil zeggen dat de kolom niet meer in staat is de drukkrachten op te nemen en dat de ligger en het dak niet meer in staat zijn de buigende momenten op te nemen. Het dak ondergaat hierbij grote doorbuigingen.

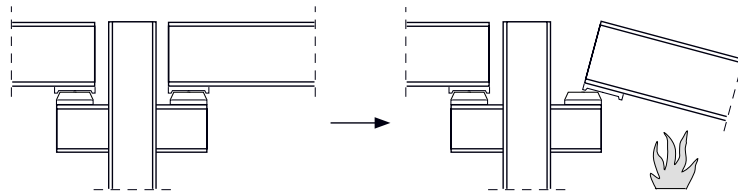
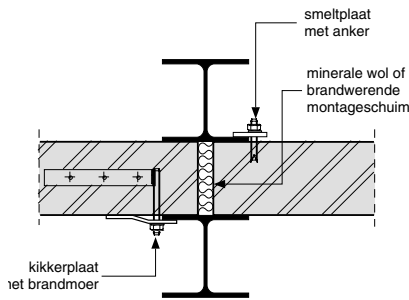
In principe is een stalen dak in staat bij deze grote doorbuigingen krachten op een veel efficiëntere manier af te voeren dan via buigende momenten, namelijk via membraankrachten. Deze membraankrachten hebben een relatie met de doorbuiging en hangen dus ook af van onder meer de temperatuur en de belasting. Om deze situatie te schematiseren, zijn meerdere arbitraire aannamen mogelijk die per situatie kunnen verschillen. Een pragmatische aanname waarmee de problematiek in algemene zin kan worden benaderd, is om het dakvlak onder een hoek van bijvoorbeeld 30° 'op te hangen'. De horizontale component van de membraankrachten bedraagt dan 50% van het eigen gewicht van het dak over het betreffende oppervlak.* Het oppervlak blijft beperkt tot 5x5 m², indien zich geen kolom in het beschouwde lokale brandoppervlak bevindt. Is dit wel het geval, dan is het oppervlak groter, omdat dan een volledige kolomstramien aan de omgeving gaat hangen.

*) Deze horizontale krachten hoeven NIET te worden gecombineerd met (20% van de extreme) windkrachten, aangezien er voor éénlaagse gebouwen waarin niet wordt overnacht geen eisen voor de hoofddragconstructie gelden en er in gevallen waarin er eisen gelden voor de bouwconstructie in verband met branduitbreiding, bij het bijzondere belastinggeval brand niet op wind gerekend hoeft te worden (zie NEN 6702).

Staalconstructie in de brandwand

Soms is de staalconstructie van de hal opgenomen in de brandwand. Bij een wdbdo-eis van 30 minuten kan in dat geval de staalconstructie in de wand (kolommen met een steenachtige wand tussen de flenzen 'gemetseld') onbekleed blijven⁶, mits de juiste detaillering (vulmateriaal) wordt gekozen (afb. 5). Wanneer de wdbdo-eis voor de brandwand 60 minuten of meer bedraagt, moeten de aan brand blootgestelde staalconstructie in de wand brandwerend worden bekleed of een brandwe-

6. Doorsnede over een brandwand waarbij de constructie dubbel is uitgevoerd. Aan beide zijden van de wand staan stalen kolommen waaraan de wand aan één zijde is gekoppeld met smeltankers.



7. Principedetail van een kantelnok. Bij brand vervormt de ligger en kantelt van de console af. Hierdoor wordt omtrekken van de wand voorkomen.

rende coating krijgen. Gelet op de vaak aanzienlijke hoogte van industriehallen is het interessant om te kiezen voor een brandwerende verf die al in de werkplaats wordt aangebracht in plaats van het ter plekke aanbrengen van een bekleding via rolsteigers.

Soms is de staalconstructie ter plaatse van de brandwand dubbel uitgevoerd. In dat geval zijn geen extra brandwerende voorzieningen nodig, behalve het gebruik van smeltankers (afb. 6, zie ook verderop).

Een alternatief ten slotte is het constructieve concept om de belasting die ontstaat wanneer een constructie bij brand bezwijkt te laten opnemen door het naastgelegen 'koude' compartiment. Dit alternatief is zowel interessant wanneer de staalconstructie in de brandwand enkel als dubbel is uitgevoerd. Een enkele staalconstructie die in de brandwand is geïntegreerd is niet alleen een veilige, maar ook een economisch aantrekkelijke oplossing omdat dat leidt tot een meer eenvoudige staalconstructie en fundering (smallere funderingsbalken en minder palen).

Staalconstructie in de brandruimte

Een brandwand dient om een hal te compartimenteren, waardoor een brand in een compartiment zich niet uitbreidt naar naastgelegen compartimenten. De brandwerendheidseis heeft daarom betrekking op de scheidende functie van de wand zelf. Maar om zijn functie te kunnen vervullen moet de wand bij brand wel blijven staan en niet voortijdig bezwijken. Bij een niet slim ontworpen

constructie betekent dit dat de brandwerendheidseis voor de wand ook geldt voor de complete staalconstructie van de hal zelf. Slimmer is het natuurlijk om constructieve maatregelen te nemen, waardoor het bezwijken van het ene compartiment niet tot gevolg heeft dat ook het andere compartiment of de brandwand bezwijkt.

Bij deze maatregelen kan worden gedacht aan de volgende oplossingen of een combinatie daarvan.

- Plaats extra stabiliteitsverbanden in de staalconstructie bij de brandwand. Uiteraard mag de stabiliteit van de hal, bij bezwijken van één van de compartimenten, niet in gevaar komen. Dit betekent bijvoorbeeld het aanbrengen van extra stabiliteitsverbanden of het benutten van portaalwerking in geval van brand.
- Ontwerp ter plaatse van de brandwand een dubbele staalconstructie die met smeltankers aan de wand is gekoppeld.
- Zorg ervoor dat de horizontale belastingen van de bezwijkende staalconstructie (waarbij een deel van het dak onder een hoek van bijvoorbeeld 30° aan de wand hangt) via de brandwand kunnen worden doorgevoerd naar het 'koude' compartiment en daar met acceptabele vervormingen worden afgevoerd naar de fundering. Dit is zowel bij een dubbele als bij een enkele rij kolommen ter plaatse van de brandwand een veilig en goed toepasbaar concept. In veel gevallen is die horizontale belasting uit een instortende, lichte stalen dakconstructie goed op te nemen door verban-

den in het koude compartiment die op extreme wind zijn gedimensioneerd;

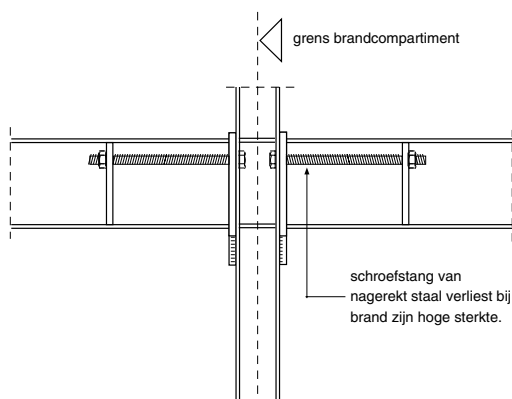
- Pas een kantelnok toe die ervoor zorgt dat een bezwijkende staalconstructie van de brandwand afkantelt^{7,8,9} (afb. 7).
- Kies voor een stalen breekverbinding die bij een bepaalde verhouding tussen kracht en vervorming breekt (afb. 8). Neem vooral geen verbinding met kunststof smeltbouten; hiermee is constructief geen verantwoorde staalconstructie te ontwerpen! De breekverbinding breekt bij een bepaalde vervorming van de staalconstructie in het brandcompartiment, zodat het bezwijken van de constructie beperkt blijft tot het brandcompartiment. De kracht waarbij de verbinding breekt, moet nog niet kunnen worden opgenomen door de brandwand of door de 'koude' constructie van de andere compartimenten¹⁰.

Aanvullende eisen bij compartimenteren

Het Bouwbesluit stelt strikt genomen geen eisen aan de gevolgen van uitzetting van de constructie bij een brand. Dat komt, omdat de wetgever uitgaat van een volledig ontwikkelde brand in de gehele ruimte waar overal eenzelfde temperatuur heerst. Toch stelt de praktijk terecht vragen als: 'Wat gebeurt er met de wand als de constructie gaat uitzetten?' en 'Hoe gedraagt een constructie die met smeltankers aan een brandwand is verbonden zich bij een lokale brand op enige afstand van de wand?'.

Uitzetting van staalconstructies

Bij verhitting treden twee effecten op: de staalconstructie wordt enerzijds



8. Principedetail van een stalen breekverbinding die bij brand zijn sterkte verliest en voorkomt dat de brandwand omgetrokken wordt.

langer door temperatuuruitzetting en anderzijds korter door vervorming in het verticale vlak onder invloed van de belasting en afnemende sterkte en stijfheid. Tot een temperatuur van zo'n 400 °C is het effect van uitzetten sterker dan dat van doorbuigen; daarom wil de staalconstructie in het beginstadium van een brand in buitenwaartse richting vervormen. Als deze vervorming wordt verhinderd, kunnen er grote drukkrachten ontstaan.

Het is in de praktijk vaak goed te voorkomen dat de brandwand wordt ontzet doordat de staalconstructie langer wordt. In het algemeen is de staalconstructie van een industriegebouw ter plaatse van een brandwand aanmerkelijk stijver dan ter plaatse van de gevel die hiermee evenwijdig loopt. In dat geval blijft de brandwand op zijn plaats en verplaatst de gevel naar buiten en treden er geen grote drukkrachten op. Een slimme constructeur kan dus de uitzetting 'reguleren' in de richting van de 'warme' gevel die evenwijdig aan de brandwand loopt door in elk compartiment afzonderlijk op de juiste plaats stabiliteitsver-

banden aan te brengen (afb. 9). In het geval een brandcompartiment zich tussen twee andere compartimenten bevindt kan de constructeur de krachtwerving door uitzetting ook beïnvloeden door de overspanningsrichting van de dakconstructie gunstig te kiezen. Het beste is dan om de liggers evenwijdig aan de brandwand te laten overspannen. De dakplaten overspannen dan weliswaar loodrecht op de brandwand, maar bij een relatief geringe uitzetting (en kleine belastingen) zullen de platen bij hogere temperaturen snel uitplooiën. Echter wanneer de liggers loodrecht op de brandwand overspannen, kunnen er wel aanzienlijke drukkrachten ontstaan. De staalconstructie in dat geval dilateren en overeenkomstig detailleren (slobgaten) is natuurlijk mogelijk, maar vaak niet zo gewenst (kosten!). Een andere mogelijkheid is de uitzettingskrachten op te nemen in de 'koude' compartimenten. Hierbij is het verantwoord een lokale brand van 25 m² te beschouwen, waarbij één of maximaal twee liggers tegelijkertijd aan hoge temperaturen worden blootgesteld (vol-

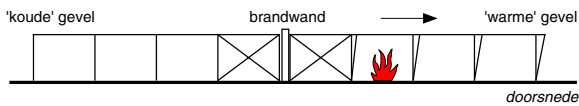
gens de standaardbrand). De kracht waarbij de ligger door de verhinderde uitzetting uitknikt, moet dan door de koude compartimenten nog juist kunnen worden opgenomen (afb. 10).

Smeltankers en een lokale brand?

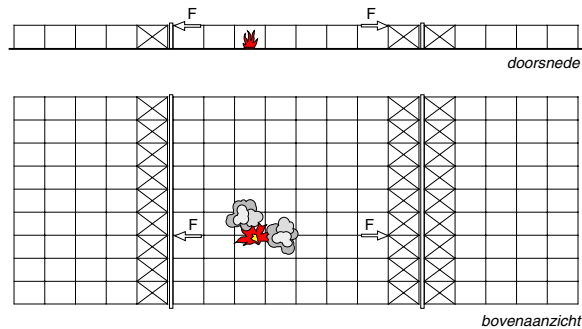
De werking van de smeltankers is als volgt. Bij kamertemperatuur zijn de ankers in staat de wand zijdelings af te steunen op de staalconstructie en eventueel de horizontale belastingen uit het dak (wind) door te geven. Bij brand gaan de dakliggers vanaf 400 °C sterk vervormen (doorhangen) en oefenen ze op de opleggingen (kolommen) een horizontale trekkracht uit. Bij een temperatuur van 700 à 850 °C bezwijken de dakliggers. Doordat de smeltankers al bij een temperatuur van 180 °C smelten zijn deze bij een volledig ontwikkelde brand niet in staat deze trekkrachten op te nemen: de staalconstructie komt bij de wand 'los' te staan. De staalconstructie aan de niet-verhitte zijde blijft de wand wel zijdelings steunen. Smeltankers zorgen er dus voor dat de brandwand door de



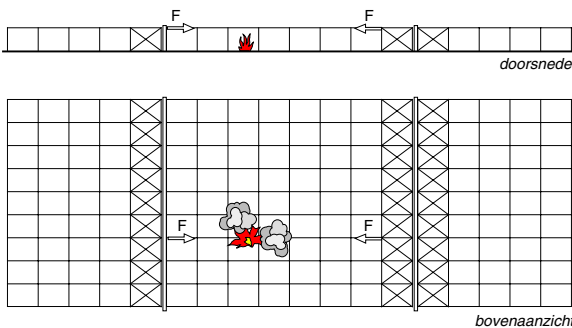
(foto: Ytong)



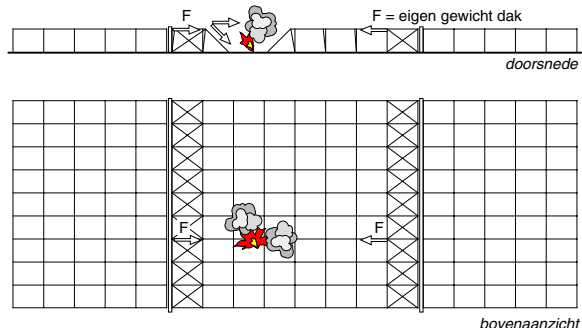
9. Stabiliteitsverbanden kunnen de vervormingen 'reguleren' in de richting van de warme gevel die evenwijdig aan de brand loopt. Zo wordt voorkomen dat de brandwand door verhinderde uitzetting wordt 'ontzet'.



10. Krachten door verhinderde uitzetting van de staalconstructie bij een lokale brand van 25 m² zijn bij tussencompartmenten op te vangen met de verbanden in de 'koude' aangrenzende compartimenten.



11. Krachten van een instortende staalconstructie bij een lokale brand van 25 m² zijn af te voeren via zeilwerking in het dak naar de verbanden in het 'warme' compartiment, mits er voldoende windbokken geplaatst zijn en deze nabij de brandwanden staan. Deze oplossing voldoet ook in combinatie met brandwanden die met smeltankers aan de staalconstructie zijn verbonden.



12. Krachten van een instortende staalconstructie bij een lokale brand van 25 m² zijn af te voeren via het dakvlak en de brandwand naar de verbanden in het 'koude' compartiment, mits er voldoende windverbanden en -bokken staan. Deze oplossing voldoet zowel bij een enkele als bij een dubbele rij kolommen die met smeltankers aan de brandwand zijn verbonden.

'bezwijkende' staalconstructie niet meegetrokken wordt.

Een brandwand die met smeltankers aan een dubbele constructie vastzit werkt uitstekend bij een volledig ontwikkelde brand én bij een lokale brand nabij de wand. Bij een lokale brand op enige afstand van de wand is dit echter niet het geval. Maar omdat ook met een scenario van een plaatselijke brand rekening moet worden gehouden, zijn aanvullende maatregelen nodig.

Ligt de lokale brandhaard minder dan 5 m van de wand, dan is de temperatuur van de smeltankers voldoende hoog en smelten de ankers. Ligt de lokale brand verder weg, dan blijven de kunststof ankers van de wand relatief koel, terwijl er toch al grote krachten in het dak kunnen ontstaan. Voor deze situatie bestaan verschillende oplossingen.

- Leid de optredende krachten af naar verbanden in het koude compartiment (afb. 11). In dit compartiment moeten de horizontale krachten worden afgevoerd naar de fundering zonder dat de daarbij optredende vervormingen leiden tot het 'ontzetten' van de brandwand.

Een bruikbaar vervormingscriterium hierbij is $h/300$, waarbij h de hoogte van de brandwand is ter plaatse van het dak'.

- Maak gebruik van membraanwerking in het dakvlak om de optredende krachten naar de (eventuele extra) verbanden in het warme compartiment te leiden (afb. 12). Deze verbanden moeten evenwijdig aan de brandwand lopen en liggen bovendien direct tegen de wand. Zorg ook voor voldoende verticale verbanden! De lokale brand kan zich overal in het gebouw bevinden. Voor het bezwijken van de brandwand is echter een brand op enige afstand van de wand (wanneer de smeltankers nog hun volledige sterkte hebben) maatgevend. Voor deze situatie is het dus wenselijk de verticale verbanden in het eerste stramien bij de brandwand te plaatsen. Indien ook het bezwijken van de gevelwand evenwijdig aan de brandwand moet worden voorkomen (bijvoorbeeld om brandoverslag tegen te gaan voor een gevel bij de perceelsgrens), is het bij dit concept tevens noodzakelijk verticale verbanden in het eerste stramien vanaf de evenwijdige gevelwand te plaatsen.

Literatuur

- 'Besluiten Wijzigingen van het Bouwbesluit (fase 2)', *Staatsblad* 1998 618, Den Haag.
- A.F. Hamerlinck, 'Hallen 30 minuten brandwerend met onbeschermd staal', *Bouwen met Staal* 146 (1999), p. 46-52.
- C.D.J. Cieraad, *Brandveiligingsconcept Beheersbaarheid van brand. Onderzoeksrapportage*, uitgave Ministerie van Binnenlandse Zaken, Den Haag 1995.
- C.D.J. Cieraad, *Brandveiligingsconcept Beheersbaarheid van brand. Reken- en beslismodel*, uitgave Ministerie van Binnenlandse Zaken, Den Haag 1995.
- A.F. Hamerlinck, F.P.H. Jakobs en J.T. Koudijs, 'Beheersbaarheid van brand bij hallen', *Bouwen met Staal* 150 (1999), p. 66-73.
- D.E. Wainman en B.R. Kirby, *Compendium of UK standard fire test data. Unprotected structural steel-1 en -2*, British Steel Technical Swinden Laboratories, Rotherham 1988.
- V.M.J.M. van Gorp en H.J.P. van Stipdonk, 'Slimme nok', *Bouwen met Staal* 139 (1997), p. 40-41.
- L.M.H. Vaessen, 'Slimme nok (2)', *Bouwen met Staal* 150 (1999), p. 20-21.
- A.F. Hamerlinck en F.G. van Wagenveld, 'Slimme nok (3)', *Bouwen met Staal* 153 (2000), p. 54-56.
- M. Fontana, 'Construeren met brand', *Bouwen met Staal* 133 (1999), p. 24-26.