

HET PLATFORM VOOR PROFESSIONALS IN BRANDPREVENTIE

Brandveilig.com

MAGAZINE

JAARGANG 17, UITGAVE 1, MAART 2024



**NPR 6999:
AANSCHERPING
VAN EISEN AAN
HOOGBOUWGEVELS**

**BRANDEN JOAN
MUYSKENWEG & VAN
KINSBERGENSTRAAT:
WAT ZIJN DE LESSEN?**

**PFAS BIJ DE
BRANDWEER:
DERDE GOLF OF EEN
TSUNAMI?**

VOLG HET NIEUWS VIA WWW.BRANDVEILIG.COM!

Ontwerpen van brandveilige bouwconstructies

Aandacht voor constructieve brandveiligheid is een van de belangrijke aspecten in de ontwerpfase van een bouwplan. Bianca Oostdam en Rob Stark geven aan de hand van verschillende praktijkvoorbeelden een inzicht in hun aanpak om optimale veiligheid te realiseren.

Wanneer een bouwplan ontwikkeld wordt, moet er al vroeg in de ontwerpfase nagedacht worden over het constructieve ontwerp. Een goed constructief ontwerp ontwikkelt zich mee met de fasering van het project en wordt daarin van grof naar fijn steeds verder uitgewerkt. Het doel van een constructief ontwerp is vooral functioneel en rationeel. Toch is construeren meer dan dat. Constructies doen namelijk veel meer dan alleen de zwaartekracht trotseren. Architectonisch, functioneel en financieel kan een constructie een gebouw maken of breken. Een goede draagstructuur helpt de architect, de opdrachtgever, de aannemer én de gebruiker. Niet de een of de ander, maar juist allemaal. Pas dan is een constructie een goede constructie. Daarbij is aandacht voor constructieve brandveiligheid een van de belangrijke aspecten die in het ontwerp tijdig aandacht moet krijgen (1).

Wij nemen deze constructieve brandveiligheid al mee in de ontwerpfase, dus als de eerste ideeën in schetsvorm worden gemaakt. Daarbij wordt het integrale brandveiligheidsconcept in overleg met de overige ontwerpsteampartners van grof naar fijn verder uitgewerkt. Het doel is hierbij een optimale veiligheid te verkrijgen die past binnen de wensen van de architect, de opdrachtgever, de aannemer én de gebruiker.

De wijze waarop we deze optimalisatie weten te bereiken is afhankelijk van de opgave. Het kan zijn dat we met een eenvoudige standaardaanpak al voldoende kunnen bereiken, maar het kan ook zijn dat we pas het gewenste resultaat kunnen bereiken na een *Fire Safety Engineering* (FSE) benadering. In dit artikel geven we aan de hand van verschillende praktijkvoorbeelden een inzicht in onze aanpak van dergelijke opgaven.

Gedrag van materiaal en constructie bij brand

Als er een brand ontstaat in een gebouw is er een grote kans dat de draagconstructie van dat gebouw door de brand opwarmt. Verschillende bouwmaterialen reageren anders op deze opwarming. Er zijn materia-

len, zoals hout, die zelf meebranden. Er zijn ook bouwmaterialen die ogenschijnlijk niet branden maar waar de materiaaleigenschappen door de opwarming wel wijzigen. Zo zal bij een staalconstructie de sterkte en stijfheidseigenschappen vanaf 400 graden af gaan nemen. Ook bij beton veranderen de eigenschappen naar mate de temperatuur toeneemt. Dit betekent dat bij een toenemende temperatuur een constructieonderdeel veel minder kracht op kan nemen dan bij kamertemperatuur. Om ook in een brandsituatie een veilig gebouw te krijgen moet bij het constructieve ontwerp van het gebouw rekening gehouden worden met deze afname van opneembare krachten.



Figuur 1. Gedrag van materiaal en constructie bij brand.

Aanpak ontwerp constructieve veiligheid

Voor de toetsing op de constructieve veiligheid in een brandsituatie mogen verschillende ontwerpstrategieën toegepast worden. Een toetsing van de temperatuur gedurende een tijdsverloop volgens de standaardbrandkromme is een gebruikelijke ontwerpmethode. Er kan ook gebruik gemaakt worden van een brandkromme die beter aansluit op de projectsituatie, zoals bijvoorbeeld een natuurlijke brandkromme. Als ook dit niet voldoende aansluit op de situatie is een temperatuurbe-
paling op basis van onderbouwd onderzoek ook een goede ontwerpstrategie.

Bij de berekeningen die ten grondslag liggen aan de constructieve onderbouwing van de brandveiligheid kan uitgegaan worden van elk constructiedeel als apart element. In veel situaties wordt een betere onderbouwing bereikt wanneer een compleet constructieschema of zelfs een compleet draagsysteem getoetst wordt.

In figuur 2 zijn de verschillende toetsmogelijkheden aangegeven met daarbij het middel waarmee deze toetsing verricht kan worden. Dat kan traditioneel op componentniveau bij een standaardbrandkromme. Een toelichting op deze rekenmethode is omschreven in het boek Brand (2).

Er zijn ook rekentools (3) beschikbaar waar dergelijke toetsing op het niveau van een element of een schema gedaan kan worden. Een meer projectspecifieke aanpak van deze toetsing is middels Fire Safety Engineering. Hierna worden met de projecten Platform en Watertoren hiervan voorbeelden omschreven.

	Standaard	Natuurlijk	Brandveiligheidsniveau
Component			
Element			
Structuur			
System			

Figuur 2. Constructieve aanpak.

Traditionele aanpak constructieve brandveiligheid

Om de afname van opneembare krachten in constructiematerialen te controleren zijn verschillende voorzieningen denkbaar. De best passende maatregelen zijn projectspecifiek en kunnen per situatie anders zijn.

Stel dat we uitgaan van een stalen kolom in een grote bedrijfsruimte. Deze kolom kan met brandwerende bekleding ingepakt worden of de kolom kan voorzien worden van een brandwerende coating. Deze voor-

zieningen zorgen ervoor dat de betreffende kolom niet de temperatuur bereikt waarop de toelaatbare krachten in deze kolom afnemen. Dit zijn passieve voorzieningen die de brandwerendheid van deze kolom gedurende een bepaald tijdspad en brandverloop kunnen garanderen.

Andere voorbeelden van passieve brandwerende voorzieningen zijn bijvoorbeeld het aanbrengen van voldoende betondekking op de wapening in een betonnen element. Maar ook het vergroten van houten balken, zodat de koollaag die aan de buitenste rand ontstaat een isolerende functie heeft tegen het doorbranden in het hout. Deze houten balk moet overgedimensioneerd worden, zodat de extra afmetingen weg mogen branden terwijl de kern van de houten balk nog voldoende maat heeft om zijn sterkte te behalen.

Om zoveel mogelijk deze traditionele beschermmethode te minimaliseren, is het van belang om brandveiligheid integraal in een ontwerp van een gebouw mee te ne-

men. Door op een slimme wijze gebouwen integraal te ontwerpen kan materiaal en dus ook kosten bespaard worden. Uiteraard zonder dat dit afbreuk doet aan de kwaliteit en veiligheid van het gebouw.

Praktijkvoorbeeld integrale aanpak brandveiligheid

Bij een groot bedrijfsgebouw op de Maasvlakte bij Rotterdam zijn een tweetal nieuwe bouwvolumes toegevoegd. Een bouwdeel gericht op toenemende goederenoverslag en in het tweede bouw-

Constructieve brandveiligheid moet in het ontwerp tijdig aandacht krijgen

deel is een trainingscentrum gesitueerd. Het trainingscentrum heeft over de volle lengte een doorlopende lichtstraat. Zowel het trainingscentrum als de goederenopslag hebben een in zones verdeelde inrichting. Deze inrichting biedt een oplossing voor de complexe interne organisatie van goederenstromen, maar maken tevens onderdeel uit van het brandveiligheidsconcept. (Zie figuur 3.)

Door te kiezen voor duidelijke compartimenten die zelfstandig mogen instorten, is de volledige constructie onbehandeld kunnen blijven. Bij beide gebouwen is dit mogelijk gemaakt door in de grote hallen losse compartimenten te positioneren die een zelfstandige functie en brandwerendheid hebben. Met deze oplossing hoeft het oppervlak van deze losse compartimenten niet bij het grote compartiment te worden gerekend en kan nog worden voldaan aan de eisen voor de compartimentgrootte volgens het Bouwbesluit.



Figuur 3

De staalconstructie van de grote hallen is echter wel over deze compartimenten heen gebouwd. Vanuit de functie in de losse compartimenten is een constructieopbouw noodzakelijk van dragend kalkzandsteen en kanaalplaten. Bij een brand in het grote compartiment kan de lichte staalconstructie bezwijken en op de constructie van het onderliggende kleinere compartiment vallen zonder dat deze zal bezwijken. Wanneer brand uitbreekt in het losse compartiment zal deze brand binnen het compartiment blijven en niet leiden tot het bezwijken van de overige constructie. Zonder complexe berekeningen, maar door heldere compartimentering en het slim positioneren van functies is een optimale brandveilige oplossing gerealiseerd (figuur 4).



Figuur 4. Bedrijfsruimte (foto: Cepezed).

Toetsing middels 3d-constructie-model onder standaardbrandkromme

De watertoren aan de Amsterdamsestraatweg te Utrecht is getransformeerd naar een woongebouw. Daarbij is in het stalen waterreservoir een appartement gerealiseerd. Om voldoende daglicht in het appartement te krijgen, maar ook om voldoende uitzicht op de stad te kunnen realiseren zijn in de wand van het reservoir openingen aangebracht.

Het stalen reservoir met een diameter van 10 meter bevindt zich bovenin de toren. Het reservoir is opgebouwd uit staalplaten verloopend van 4 tot 15 mm dikte. De metselwerkgevel rondom het reservoir

steunt af tegen het stalen reservoir. Tussen het metselwerk en het reservoir is een ruimte van ongeveer 600 mm. Bovenop het reservoir rust een cirkelvormig spant dat de kapconstructie bekleed met leien draagt.

Om de lokale belastingen vanuit de nieuwe vloeren op te kunnen nemen en de openingen

in het reservoir mogelijk te maken, is gebruikgemaakt van een stalen exo-skelet die in de spouw van 600 mm kan worden aangebracht.

Omdat het stalen reservoir mede de stabiliteit van de watwoning verzorgt, wordt deze aangemerkt als hoofddragconstructie onder brandomstandigheden. Volgens het niveau *bestaande bouw* moet deze constructie minstens 60 minuten standzeker blijven. Het aanbrengen van een brandwerende coating was onwenselijk. Bij belastinggeval brand is met een eenvoudige analyse gebleken dat een lage toelaatbare spanning optreedt. Dit is gezien de lage optredende belasting op de meeste plaatsen ook voldoende, echter was bij de hogere belastingen ter plaatse van het exo-skelet een aanvullende analyse noodzakelijk.

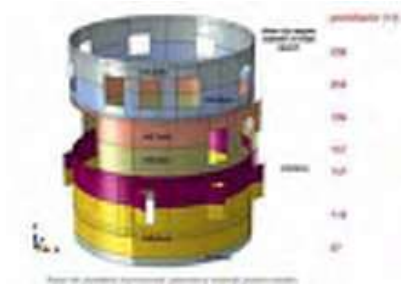
Met behulp van het FEM-programma Simula Abaqus is een simulatie gemaakt van de temperatuurontwikkeling in de staalconstructie met exo-skelet bij de meest kritische posities. Daarbij is gebruikgemaakt van de standaardbrandkromme. Na 60 minuten zijn de T-profielen van het exo-skelet in staat een belasting van 163 kN op te



Figuur 5. Watertoren Utrecht (foto: Zecc).

Het is belangrijk om vanaf het begin van het ontwerpproces rekening te houden met de brandveiligheid

5.2 Overzicht plaatdikten en profiel factor



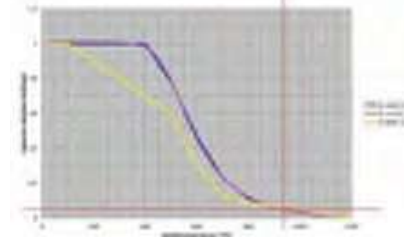
Figuur 6. Kritische temperatuur vat.

nemen. Dit is meer dan de optredende belasting van 117 kN. Door deze aanpak was het mogelijk de gehele constructie van het reservoir onbekleed te houden en het onbehandeld staal in het zicht te houden.

Een constructiesysteem toetsen op brandwerendheid met FSE

Het Platform in Utrecht is een voorbeeld van een gebouw waarin alles samenkomt. Het is een micro-city in 1 gebouw waarin woonfuncties, commerciële functies, openbaar gebied en zelfs openbaar vervoer zijn gecombineerd.

De temperatuur na 60 minuten varieert van 934 graden voor $t=15\text{mm}$ tot 943 graden voor $t=4,2\text{mm}$ (zie tabellen in bijlage). Hiermee loopt de toelaatbare staalspanning terug tot 5% van de waarde bij kamertemperatuur = $0,05 \times 300 = 15 \text{ N/mm}^2$.



Voor de vloeren van de woningen in dit gebouw bleek bij de opgegeven belastingen en brandwerendheids-eis van 120 minuten, een overspanning van 12 meter mogelijk in standaard kanaalplaatvloeren zonder constructieve druklaag. Dit is, in combinatie met een optimale kolomindeling, bepalend geweest voor de stramienmaat van de stalen spanten. De stalen kolommen en liggers waaruit de spanten zijn opgebouwd, zijn bekleed met brandwerend plaatmateriaal.

De vloeren van de commerciële functies bestaan uit staalplaatbetonvloeren, gedragen door stalen secundaire liggers. Deze liggers brengen de vloerbelasting naar de primaire

stalen liggers die onderdeel zijn van het dragende staalskelet.

Deze vloeren zijn daarmee langs alle vier de zijden ondersteund door stalen liggers. Dat betekent dat er een membraamwerking op kan treden (zie figuur 8). In een brandsituatie is deze zelfde vloer zelfs in staat om een dubbele overspanningslengte te overbruggen. Om dit te kunnen aantonen, is gebruik gemaakt van het in Europees verband ontwikkelde programma MACS+.

Door gebruik te maken van deze rekenmethode is het mogelijk gemaakt dat de helft van de vloerdragende liggers geen brandwerende bekleding nodig had om toch aan de gestelde brandwerendheids-eis te kunnen voldoen (figuur 9). Dit heeft een aanzienlijke besparing in bouwkosten opgeleverd.

Aanbevelingen

Noodzakelijk in een ontwerpproces is een goede samenwerking en communicatie tussen alle partners van het ontwerp en uitvoeringsteam. Alle rollen moeten in het team vertegenwoordigd zijn om gezamenlijk tot een geïntegreerd ontwerp te komen voor het bouwplan.



Figuur 7. Platform in Utrecht.



Figuur 9. De helft van de vloerdragende liggers had geen brandwerende bekleding nodig.

Daarbij is het belangrijk om vanaf het eerste begin van dit ontwerpproces rekening te houden met de brandveiligheid van het gebouw. Een slimme gebouwindeling kan risico's in de brandveiligheid verkleinen. Dit geldt ook voor de afstemming tussen het constructieve ontwerp en de brandwerendheidseisen. Door hier in een vroeg ont-

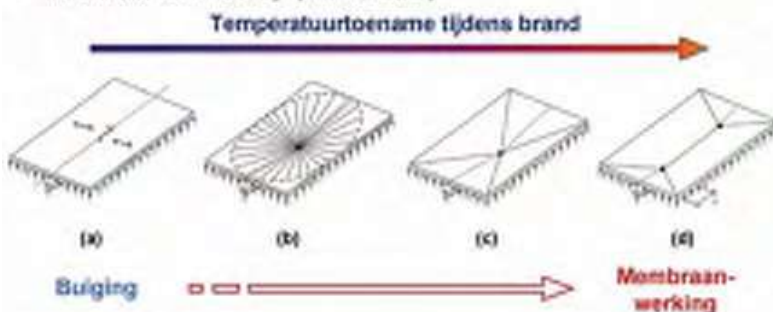
werpstadium rekening mee te houden, kan bij de verdere uitwerking van het ontwerp gebruikgemaakt worden van de juiste toetsingsmethoden. Daarbij kan door gebruik te maken van Fire Safety Engineering er flink geoptimaliseerd worden in de brandwerende voorzieningen met aantrekkelijke gevolgen voor de bouwkosten. 🔄

Referenties

- (1) Remko Wiltjer, Pim Peters, Rob Stark en Paul Korthagen, De kunst van het construeren, ISBN 978-90-72830-97-5
- (2) A.F. Hamerlinck, Brand. Brandveiligheid en berekening van de brandwerendheid van staalconstructies voor gebouwen volgens Eurocode 3, ISBN 978-90-72830-85-2
- (3) Website <https://www.bouwenmetstaal.nl/>

Mechanisch gedrag van staalplaat-betonvloeren

- Werkelijk gedrag van een staalplaat-betorvloer met waperingsnet in de betonplaat
- Methode 'Colin Bailey' (Manchester)



Figuur 8. Membraamwerking.



Bianca Oostdam, projectleider bij IMd Raadgevende ingenieurs



Rob Stark, directeur en raadgevend ingenieur bij IMd Raadgevende ingenieurs