



La «Fire Safety Engineering» pour les constructions en béton

L'arrêté royal «Normes de base» détermine les prescriptions légales auxquelles les nouveaux bâtiments doivent satisfaire en matière de sécurité incendie. Il est possible de déroger à ces prescriptions à condition de ne pas dépasser le niveau minimal de sécurité incendie prescrit. Ces dérogations nécessitent l'accord de la «Commission de dérogation» du Service Public Fédéral (SPF) «Intérieur».

On applique régulièrement la «Fire Safety Engineering» ou FSE dans les constructions en acier et en bois, afin de compenser une insuffisance inhérente de résistance au feu et de proposer une alternative plus économique aux prescriptions en vigueur. Les éléments en béton ne nécessitent généralement pas ce genre d'alternative en raison de leur importante résistance intrinsèque au feu. La FSE peut néanmoins s'avérer utile pour les constructions en béton. Il suffit, par exemple, de penser à des structures extrêmement complexes ou à des analyses susceptibles de renforcer la concurrence avec les constructions en acier et en bois. Cet article vous permettra de découvrir un aspect important de la FSE, à savoir l'évaluation du comportement des constructions.

'Fire Safety Engineering' voor betonconstructies

Het Koninklijk Besluit 'Basisnormen' bepaalt de wettelijke voorschriften waaraan nieuwe gebouwen moeten voldoen, wanneer het over brandveiligheid gaat. Eventuele afwijkingen op deze voorschriften worden toegestaan wanneer ze geen afbreuk doen aan het opgelegde minimale brandveiligheidsniveau. Dergelijke afwijkingen moeten goedgekeurd worden door de 'Commissie voor Afwijking' van de Federale Overheidsdienst (FOD) Binnenlandse Zaken.

In de staal- en houtbouw wordt regelmatig 'Fire Safety Engineering' of FSE toegepast om een inherent gebrek aan brandweerstand te compenseren en een economischer alternatief voor de opgelegde voorschriften aan te bieden. Betonelementen hebben zo'n alternatieve benadering meestal niet nodig, dankzij hun hoge intrinsieke brandweerstand. Toch kan FSE ook voor betonconstructies nuttig zijn. We denken dan aan zeer complexe structuren, of aan analyses die de concurrentiestrijd met de staal- en houtbouw meer kracht kunnen bijzetten. Dit artikel is een kennismaking met een belangrijk aspect van FSE, met name de beoordeling van het gedrag van constructies.

WAT IS FIRE SAFETY ENGINEERING

Fire Safety Engineering is de toepassing van alle beschikbare wetenschappelijke en technische kennis op het vlak van brandveiligheid. Dankzij FSE kan op basis van veiligheidsdoelen, in plaats van op basis van strikte regels, voldaan worden aan de eisen inzake brandveiligheid. FSE analyseert het werkelijk gedrag van een brand en het effect ervan op de constructie en de gebruikers, alsook welke actieve brandbeschermingssystemen en evacuatievoorzieningen nodig zijn. Het komt erop neer de impact van een te verwachten brand in een gebouw zo inzichtelijk mogelijk te maken. De instandhouding van de vluchtroutes gedurende een bepaalde tijd, de brandcompartimentering en de constructie spelen een belangrijke rol bij FSE. Wie zich beperkt tot de wettelijke regels, heeft geen enkele garantie omtrent de herstelbaarheid van de constructie na brand. FSE kan ook een licht werpen op dit aspect van brandveiligheid. Dankzij FSE zijn ook prestatiegerichte alternatieven voor de gebruikelijke prescriptieve benadering mogelijk. Voorwaarde is een grote deskundigheid. Bijgevolg mogen alleen gekwalificeerde personen FSE toepassen.

QUELQUES EXPLICATIONS SUR LA «FIRE SAFETY ENGINEERING»

La «Fire Safety Engineering» (FSE) est une méthodologie de conception dans laquelle on tente d'utiliser toutes les connaissances scientifiques et techniques disponibles en matière de sécurité incendie. Cette méthodologie permet de répondre aux exigences en matière de sécurité incendie sur la base d'objectifs de sécurité plutôt que sur la base de règles strictes. La FSE analyse le comportement effectif d'un incendie et son impact sur la construction et sur les utilisateurs. Elle examine aussi les systèmes actifs de protection contre l'incendie et les dispositifs d'évacuation nécessaires. Le but est de donner une idée aussi claire que possible de l'impact d'un incendie susceptible de se produire dans un bâtiment. Le maintien en état des issues de secours pendant un certain laps de temps, le compartimentage incendie et la construction jouent un rôle

majeur en matière de FSE. Se limiter aux règles légales n'offre absolument aucune garantie quant à la possibilité de restaurer la construction après l'incendie. La FSE permet aussi d'éclaircir cet aspect de la sécurité incendie. Elle offre également des alternatives à l'approche normative usuelle en termes de performances, moyennant un degré élevé d'expertise. Seules des personnes qualifiées peuvent dès lors appliquer la FSE.

La norme ISO 24679-1^[2] offre une méthode d'évaluation des performances des structures en cas d'exposition au feu, en ce compris des directives pour la conception pratique de structures, la quantification des performances des structures et l'utilisation de différentes méthodes de quantification. Cette norme internationale représente aussi le cadre de référence du fib Bulletin «Performance based fire design of concrete structures» en cours d'élaboration.



- ▶ ISO 24679-1[2] voorziet een methodologie voor de beoordeling van de prestaties van structuren bij blootstelling aan brand, inclusief richtlijnen voor het praktisch ontwerp van structuren, de kwantificering van de prestaties van structuren en het gebruik van verschillende kwantificeringsmethoden. Deze internationale norm vormt ook het referentiekader voor het fib bulletin 'Performance based fire design of concrete structures' waar momenteel aan gewerkt wordt.

STANDAARDBRAND

De brandweerstand van structurelementen wordt proefondervindelijk bepaald onder de thermische belasting volgens de standaard ISO 834-curve. Deze curve geeft het temperatuurverloop weer in een oven tijdens een standaardbrand. De curve vormt een conventionele basis voor de evaluatie van de brandweerstand van een gebouw. In werkelijke ruimten komt deze standaardbrand eigenlijk niet voor, onder meer omdat deze brand gekenmerkt wordt door een verbranding van een onbeperkte hoeveelheid brandbaar

materiaal (fig. 1). De standaardbrand is ook niet altijd een redelijke benadering van de werkelijkheid. Zo gedraagt bijvoorbeeld een houtconstructie met een bepaalde brandweerstand zich in werkelijkheid vaak nadeliger dan dezelfde constructie, met dezelfde brandweerstand, in beton[8][9].

Omdat brandproeven duur zijn en beperkt voor wat de lengte van de proefelementen betreft, werden rekenmethoden ontwikkeld om de brandweerstand te bepalen. Volgens het Ministerieel Besluit van 17 mei 2013 moeten enerzijds de vereenvoudigde berekeningsmethode of de gegevens in tabelvorm van de NBN EN 1992-1-2+ANB[5] en anderzijds de standaardbrandkromme (ISO 834) van NBN EN 1991-1-2+ANB[4] gebruikt worden om de brandweerstand van de verschillende constructiedelen (balk, kolom, vloer, ...) te bepalen. Een brandweerstand (bijvoorbeeld R60) is in feite niet meer dan een label en zegt weinig over het gedrag in een werkelijke brand. Een alternatieve, meer realistische, benadering gebaseerd op een geavanceerde

FEU STANDARD

La résistance au feu d'éléments structurels est déterminée de manière expérimentale sous la charge thermique conformément à la courbe d'un feu standard ISO 834. Cette courbe illustre l'évolution de la température dans un four au cours d'un feu standard et représente une base conventionnelle pour l'évaluation de la résistance au feu d'un bâtiment. En fait, ce feu standard ne se produit pas dans des espaces réels, notamment parce qu'il se caractérise par la combustion d'une quantité illimitée de matériau combustible (fig. 1). Le feu standard ne donne pas non plus toujours une idée fiable de la réalité. Ainsi, une construction en bois présentant une certaine résistance au feu se comporte, par exemple, généralement moins bien dans la réalité qu'une même construction en béton présentant la même résistance au feu[8][9].

En raison du coût élevé des essais au feu et de leur limite en termes de longueur des éléments d'essai, des méthodes de calcul ont été élaborées afin de déterminer la résistance au feu. En vertu de l'arrêté ministériel du 17 mai 2013, il y a lieu - d'une part - d'utiliser la méthode de calcul simplifiée ou les données sous forme de tableau

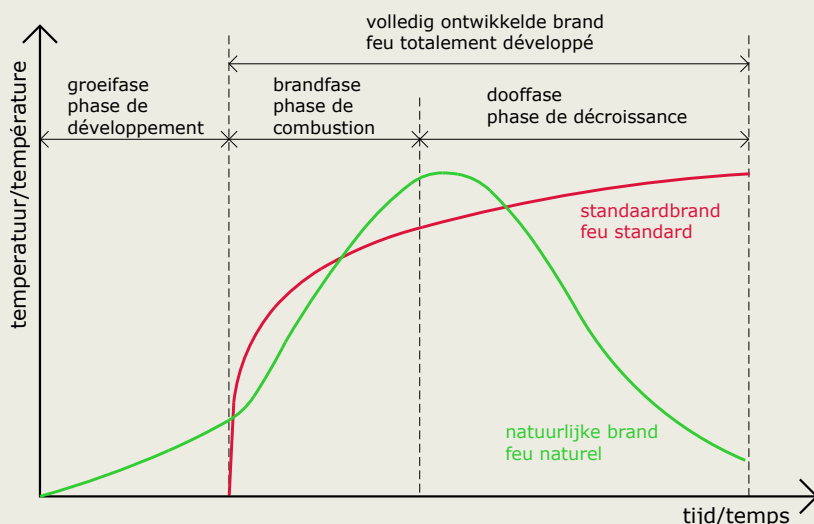


Fig. 1: Standaardbrand en natuurlijke brand

Fig. 1 : Feu standard et feu naturel

de la norme NBN EN 1992-1-2+ANB[5] et - d'autre part - la courbe d'un feu standard (ISO 834) de la norme NBN EN 1991-1-2+ANB[4] pour déterminer la résistance au feu des différents éléments de la construction (poutre, colonne, plancher, ...). Une résistance au feu (R60 par exemple) n'est en fait qu'une simple étiquette et ne dit pas grand-chose sur le comportement dans un véritable incendie. Une approche alternative, plus réaliste, basée sur une méthode de calcul de pointe est permise

berekeningsmethode is toegelaten mits goedkeuring van de Commissie voor Afwijking van de FOD Binnenlandse Zaken. Het toepassen van zo'n alternatieve berekeningsmethode is onderdeel van FSE.

Op www.febefast.be vindt u technische documenten die de vereenvoudigde berekeningsmethode en de methode op basis van gegevens in tabelvorm toelichten voor balken en kolommen. Deze documenten geven de verschillende stappen die noodzakelijk zijn bij de bepaling van de brandweerstand, inclusief de parameters die hierbij toegepast moeten worden. Naast de verwijzing naar de artikelen uit de NBN EN 1991-1-2+ANB [4] en NBN EN 1992-1-2+ANB [5] zijn ook enkele kritische opmerkingen ter verduidelijking toegevoegd. De documenten werden opgesteld door de Technische Commissie van FEBE na een grondige analyse van de voornoemde normen.

NATUURLIJKE BRANDEN

Bij toepassing van FSE wordt, in plaats van de standaardbrand toe te passen, gebruik gemaakt van natuurlijke branden om het brandgedrag van volledige constructies (of delen ervan) te beoordelen.

Onder een natuurlijke brand verstaat men het temperatuurverloop in een ruimte in een werkelijke situatie. Dit verloop verschilt per situatie en hangt bijvoorbeeld af van de geometrie van de ruimte, de thermische eigenschappen van de scheidingsconstructies, de hoeveelheid en het soort brandbaar materiaal en de ventilatiecondities (toetreding van zuurstof en afvoer van verbrandingsgassen via openingen). Daar waar de standaardbrand uitsluitend rekening houdt met een volledig ontwikkelde brand (compartimentsbrand) kent de natuurlijke brand ook een groei- en een dooffase waarbij de brandtemperatuur relatief snel afneemt (fig. 1).

Brandmodellen verschaffen inzicht in het brandverloop in specifieke omstandigheden. De NBN EN 1991-1-2+ANB [4] onderscheidt vereenvoudigde en geavanceerde natuurlijke-brandmodellen. De laatste worden onderverdeeld in één-zonemodellen, twee-zonemodellen en numerieke stromingsmodellen. Bij een één-zonemodel is er sprake van een gelijkmatige temperatuurverdeling in de ruimte. Bij een twee-zonemodel wordt uitgegaan van een horizontale scheiding tussen een hete bovenlaag, de rooklaag, en een koude onderlaag, de rookvrije laag. Bij verdere

moyennant l'accord de la Commission de dérogation du SPF «Intérieur». L'application d'une telle méthode de calcul alternative fait partie de la FSE.

Sur www.febefast.be, vous trouverez des documents techniques expliquant la méthode de calcul simplifiée et la méthode basée sur des données sous forme de tableau pour les poutres et les colonnes. Ces documents indiquent les différentes étapes à parcourir obligatoirement pour définir la résistance au feu, en ce compris les paramètres à appliquer dans ce cadre. Outre le renvoi aux articles de la norme NBN EN 1991-1-2+ANB [4] et de la norme NBN EN 1992-1-2+ANB [5], vous y trouverez également quelques remarques critiques à titre explicatif. Les documents ont été établis par la Commission technique de la FEBE à l'issue d'une analyse approfondie des normes précitées.

INCENDIES NATURELS

Dans l'application de la FSE, on recourt à des feux naturels plutôt qu'à des feux standard, afin d'évaluer le comportement au feu de constructions complètes (ou de parties de celles-ci). On entend par «feu naturel», la variation de température dans un espace, en situation réelle. Cette variation de la température

est différente d'une situation à l'autre et dépend, par exemple, de la géométrie de l'espace, des propriétés thermiques des cloisons, de la quantité et du type de matériau combustible et des conditions de ventilation (entrée d'oxygène et évacuation des gaz de combustion par les ouvertures). Alors qu'un feu standard ne tient compte que d'un incendie en plein développement (incendie de compartiment), un feu naturel présente également une phase d'expansion et une phase d'extinction au cours desquelles la température diminue assez rapidement (fig. 1).

Les modèles de feu offrent un aperçu de l'évolution d'un incendie dans des circonstances spécifiques. La norme NBN EN 1991-1-2+ANB [4] fait une distinction entre les modèles de feu naturel simplifiés et avancés. Ces derniers sont subdivisés en modèles à zone unique, à deux zones et modèles à flux numérique. Dans un modèle à zone unique, on observe une répartition uniforme de la température dans l'espace. Dans un modèle à deux zones, on part d'une séparation horizontale entre une couche supérieure extrêmement chaude, la couche de fumée et une couche inférieure froide, la couche exempte de fumée. Au fur et à mesure que le feu se développe, la couche de fumée s'épaissit et la température augmente au niveau de la couche de fumée. La couche exempte

- ▶ **ontwikkeling van de brand wordt de rooklaag dikker en stijgt de temperatuur in de rooklaag. De rookvrije laag wordt kleiner. Wanneer vlamoverslag optreedt, gaat een twee-zonemodel over in een één-zone-model. De zonemodellen worden gebruikt voor kleinere ruimten, zoals kantoren en scholen. Ze kunnen gesimuleerd worden door het softwarepakket OZONE¹, ontwikkeld door de Universiteit van Luik. Met numerieke stromingsmodellen (Computational Fluid Dynamics = CFD) is het mogelijk om lucht- en rookstromingen inzichtelijk te maken (fig. 6). Door het volume van de ruimte te verdelen in een groot aantal kleine volume-elementjes kan op elk willekeurig punt in de ruimte de temperatuur bepaald worden. Het numerieke stromingsmodel, ook wel veldmodel genoemd, kan gesimuleerd worden door geavanceerde software zoals FDS, SMARTFIRE en FLUENT². Het veldmodel wordt gebruikt voor grotere ruimten, zoals industriehallen en parkeergarages.**

Interessant aan FSE is dat het effect van actieve brandbeveiligingsmaatregelen op de thermische belasting kan bepaald worden. Bij een goed ontworpen en onderhouden sprinklerinstallatie

¹ Voor OZONE, zie https://www.uee.uliege.be/cms/c_2383494/fr/ozone-v2

² Voor FDS, zie <https://fdstutorial.com/>

Voor Smartfire, zie <https://fseg.gre.ac.uk/smartfire/>

Voor Fluent, zie <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-fluent>

bijvoorbeeld, kan rekening worden gehouden met een kleinere brandgrootte en dus lagere temperaturen. De staalbouw maakt hier regelmatig gebruik van om zijn competitiviteit te verbeteren. Opgelet, bij een bestemmingsverandering van het gebouw kan de thermische belasting veranderen ten opzichte van het oorspronkelijke concept. In dat geval kan de keuze van een andere curve dan de ISO-curve een aanpassing van de constructie noodzakelijk maken om het vereiste veiligheidsniveau te bereiken.

THERMISCHE EN MECHANISCHE RESPONS VAN DE CONSTRUCTIE

Het brandmodel levert de thermische belasting waaraan de constructie wordt blootgesteld. Op basis hiervan kan de thermische en mechanische respons van de constructie bepaald worden. De eerste is de ontwikkeling en de verdeling van de temperatuur in de constructie (fig. 2). De tweede is het mechanische gedrag van de constructie tijdens brand, waarbij beoordeeld wordt of de draagkracht van de constructie tijdens brand (en dus de brandweerstand) voldoende is.

de fumée diminue progressivement. Lorsque l'embrasement se produit, le modèle à deux zones se transforme en modèle à zone unique. Les modèles à zones sont utilisés pour les plus petits espaces, tels que les bureaux et les écoles. Le progiciel OZONE¹, développé par l'Université de Liège, permet de les simuler. Les modèles de flux numériques (Computational Fluid Dynamics ou CFD) permettent de se faire une idée des flux d'air et de fumée (fig. 6). Il est possible de déterminer la température au niveau de tout point quelconque de l'espace en divisant le volume de l'espace en un nombre élevé de petits éléments au niveau du volume. Le modèle de flux numérique, également appelé modèle de champ, peut être simulé grâce à des logiciels de pointe, tels que FDS, SMARTFIRE et FLUENT². Le modèle de champ est utilisé pour de plus grands espaces, tels que des halls industriels et des parkings.

Un atout de la FSE est la possibilité de déterminer l'effet de mesures actives de sécurité incendie sur la charge thermique. À titre d'exemple, dans une installation automatique d'extinction par eau diffusée

bien conçue et entretenue il est possible de tenir compte d'une moindre ampleur de l'incendie et dès lors de températures plus basses. Le secteur de la construction métallique y recourt régulièrement, afin de renforcer sa compétitivité. Il faut être attentif à tout changement d'affectation du bâtiment pouvant entraîner une modification de la charge thermique par rapport à la conception initiale. Dans ce cas, le choix d'une autre courbe que la courbe ISO peut nécessiter une adaptation de la construction pour atteindre le niveau de sécurité requis.

RÉPONSE THERMIQUE ET MÉCANIQUE DE LA CONSTRUCTION

Le modèle de feu indique la charge thermique à laquelle la construction est exposée. La réponse thermique et mécanique de la construction peut être déterminée en partant de là. La première étant

¹ Pour OZONE, veuillez consulter https://www.uee.uliege.be/cms/c_2383494/fr/ozone-v2

² Pour FDS, veuillez consulter <https://fdstutorial.com/>

Pour Smartfire, veuillez consulter <https://fseg.gre.ac.uk/smartfire/>

Pour Fluent, veuillez consulter <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-fluent>

De NBN EN 1992-1-2+ANB[5] geeft de mogelijkheid om een geavanceerde berekeningsmethode toe te passen om de mechanische respons van de constructie te bepalen. De methode moet volgens de norm gebaseerd zijn op fundamenteel fysisch gedrag, dat leidt tot een betrouwbare benadering van het verwachte gedrag van de constructie. De Universiteit de Liège heeft het softwarepakket SAFIR³ ontwikkeld. Daarmee kan zowel de thermische als de mechanische respons van een constructie bepaald worden. Andere pakketten zijn bijvoorbeeld ANSYS en DIANA³. In vergelijking met een brandproef en de vereenvoudigde berekeningsmethode wordt hiermee dus het werkelijk gedrag van een constructie gesimuleerd. Dit kan namelijk afwijken van het

gedrag tijdens de brandproef. Tijdens de brandproef wordt het beproefde constructiedeel namelijk niet verhinderd om uit te zetten en te vervormen. Dit zijn ook uitgangspunten in de vereenvoudigde berekeningen. Bovendien is het beproefde constructiedeel niet in interactie met de constructiedelen waarmee het in werkelijkheid is verbonden, waardoor men geen inzicht krijgt in de wijzigende krachtswerking in de constructie tijdens de brand. Soms is het werkelijke gedrag gunstiger, soms ook ongunstiger.

Op vraag van FEBE heeft de Universiteit de Liège een thermische studie uitgevoerd op 12 I-liggers. Telkens werd op basis van de standaardbrand de thermische respons van de liggers bepaald met het softwarepakket SAFIR. Het verslag van dit rapport kan gedownload worden op www.febefast.be.

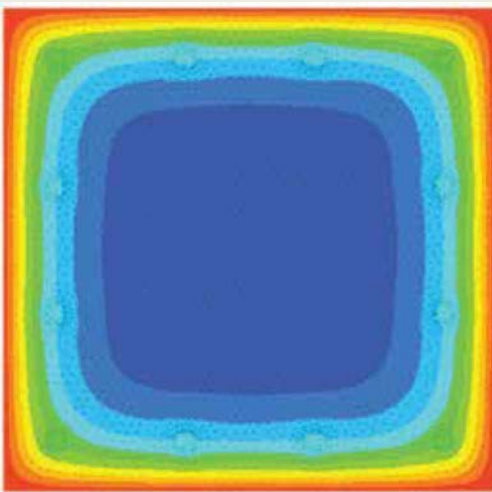


Fig. 2 – Thermische respons kolom (4 zijden blootgesteld aan brand)

Fig. 2 - Réponse thermique d'une colonne (exposée au feu sur 4 faces)

le développement et la répartition de la température dans la construction (fig. 2). La deuxième est le comportement mécanique de la construction pendant l'incendie, au cours duquel on évalue si la capacité porteuse de la construction (et donc sa résistance au feu) est suffisante pendant l'incendie.

La norme NBN EN 1992-1-2+ANB[5] offre la possibilité d'appliquer une méthode de calcul avancée, afin de déterminer la réponse mécanique de la construction. En vertu de la norme, la méthode doit être basée sur un comportement physique fondamental menant à une estimation fiable du comportement prévu de la construction. L'Université de Liège a développé le progiciel SAFIR³, qui permet tout à la fois de déterminer la réponse thermique que la réponse mécanique d'une construction. Il existe d'autres progiciels, tels que DIANA et ANSYS³, par exemple. Par rapport aux essais au feu et à la méthode de calcul simplifiée, ils permettent donc de simuler le comportement effectif d'une construction. Celui-ci peut en effet être différent du comportement observé au cours de l'essai au feu. Pendant l'essai au

feu, on n'empêche effectivement pas la partie de la construction testée de se dilater et de se déformer. Il s'agit aussi des bases des calculs simplifiés. Qui plus est, la partie de la construction testée n'est pas en interaction avec les éléments de la construction avec lesquels elle est reliée en réalité et l'on ne peut donc se faire aucune idée du changement de l'impact de la force dans la construction au cours de l'incendie. Le comportement réel est parfois plus favorable et il l'est parfois moins.

L'Université de Liège a réalisé une étude thermique sur 12 poutres en I. À cette occasion, la réponse thermique des poutres a systématiquement été déterminée sur la base d'un feu standard au moyen du progiciel SAFIR. Vous pouvez télécharger ce rapport sur www.febefast.be.

³ Voor SAFIR, https://www.uee.uliege.be/cms/c_6331644/en/safir
Voor ANSYS, <https://www.ansys.com/>
Voor DIANA, <https://dianafea.com/>

³ Pour SAFIR, veuillez consulter https://www.uee.uliege.be/cms/c_6331644/en/safir
Pour ANSYS, veuillez consulter <https://www.ansys.com/>
Pour DIANA, veuillez consulter <https://dianafea.com/>



Holle vloerelementen
in gewapend of
voorgespannen beton...
ook voor eengezinswoningen

Dalles alvéolées
en béton armé ou précontraint...
**également pour
des maisons individuelles**

© Architectenbureau
Michel Janssen

FEBEFLOOR

www.febefloor.be

FEBE

daerden

Dispersant

ECHO

SEGON

FIBRO

MEGATON/Structa

NERVA
FLOOR SOLUTIONS

Ronveaux

VHEJA

► **Case: Analyse van een betonnen kantoorgebouw**

De Universiteit de Liège en CERIB (Het onderzoekscentrum van de prefab betonindustrie in Frankrijk) hebben in 2015 een paper voorgesteld op een congres in Kroatië [6]. Daarin wordt een analyse toegelicht van een betonnen gebouw dat blootgesteld wordt aan een natuurlijke brand. Deze analyse werd in 2017 gebruikt als basis voor het technisch rapport ISO/TR 24679-6 [7]. Het bestudeerde gebouw is een open kantoorgebouw met 6 bovengrondse verdiepingen en 2 ondergrondse parkeerverdiepingen. Het bestaat uit een skelet met doorlopende balken en kolommen in gewapend beton, die de in twee richtingen dragende vloeren in gewapend beton ondersteunen. Het gebouw werd ontworpen op een raster van 6 m x 7,15 m (fig. 3).

Met behulp van OZONE werd de kritische temperatuur-tijdcurve bepaald. De maximale temperatuur

bedraagt 990 °C na 116 minuten. De thermische en mechanische respons werd geanalyseerd met SAFIR. Na 600 minuten blootstelling aan brand treden geen bezwijken op. De doorbuiging van de vloeren bereikt een maximale waarde van 200 mm in de afkoelfase na +/- 160 minuten waarna deze terug afneemt tot een residuele doorbuiging van +/- 140 mm na +/- 400 minuten. De balken buigen maximaal 134 mm door na +/- 160 minuten met een residuele waarde van +/- 105 mm na +/- 300 minuten. De langskracht in de centrale kolommen neemt toe en bereikt een maximale waarde na +/- 60 minuten. Deze toename is het gevolg van de verhindering van de thermische uitzetting van de kolommen door de omringende balken. Na +/- 120 minuten wordt de langskracht kleiner dan de initiële waarde. Verder zien we dat bij blootstelling aan brand het buitenste deel van de kolom uitzet, terwijl het binnenste deel nog koud is. Hierdoor zullen de drukspanningen in het binnenste deel veranderen in trekspanningen. Zelfs in de afkoelfase beweegt de ►

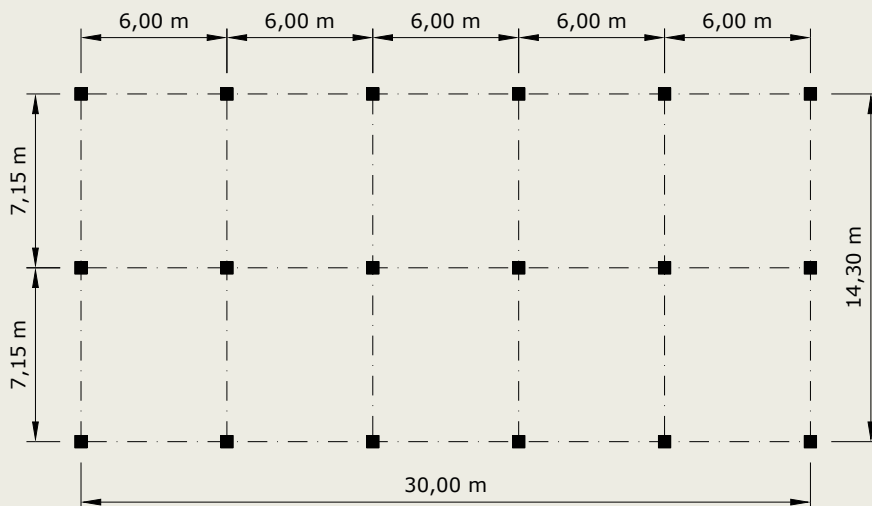


Fig. 3 – Raster bestudeerde gebouw

Fig. 3 - Trame du bâtiment étudié

► **Cas: Analyse d'un immeuble de bureaux en béton**

L'Université de Liège et le CERIB (le centre de recherche de l'industrie du béton préfabriqué en France) ont présenté une communication à l'occasion d'un congrès en Croatie en 2015 [6]. On y donne des explications sur l'analyse d'un bâtiment en béton exposé à un feu naturel. Cette analyse a servi de base à l'établissement du rapport technique ISO/TR 24679-6 en 2017 [7]. Le bâtiment étudié est un immeuble de bureaux de type open-space de 6 étages en surface et de 2 étages souterrains servant de parking. Il se compose d'une charpente avec des poutres et des colonnes continues en béton armé, qui soutiennent les planchers porteurs en béton armé à double sens. Le bâtiment a été conçu sur une trame de 6 m x 7,15 m (fig. 3).

La courbe de température/temps critique a été déterminée à l'aide d'OZONE. La température maximale s'élève à 990°C après 116 minutes. La réponse thermique et mécanique a été analysée au moyen de SAFIR. Aucun effondrement ne se produit au bout de 600 minutes d'exposition au feu. La déformation des planchers atteint une valeur maximale de 200 mm dans la phase de refroidissement au bout de plus ou moins 160 minutes et rediminue ensuite pour atteindre une flexion résiduelle de plus ou moins 140 mm au bout de 400 minutes. Les poutres fléchissent à maximum 134 mm après plus ou moins 160 minutes avec une valeur résiduelle de plus ou moins 105 mm au bout de 300 minutes. La force longitudinale dans les colonnes centrales augmente et atteint une valeur maximale après plus ou moins 60 minutes. Cette augmentation résulte du fait que ►

- thermische gradiënt zich verder naar binnen en verwarmt het binnenste deel, terwijl het buitenste deel begint af te koelen. Hierdoor wordt trek geïntroduceerd in het buitenste deel, terwijl het binnenste deel terug onder druk komt te staan. De hoekstaven worden na +/- 300 minuten op trek belast terwijl de andere staven op druk blijven werken (fig. 4).

De analyse toont ook aan dat in de draagvloeren druk- en trekmembraanwerking geactiveerd worden door de thermische uitzetting van de vloeren die verhinderd worden door de omringende balken. Maar ook de gedeeltelijk verhinderde hoekrotatie van de vloerranden, vanwege het doorbuigen van de vloeren, activeert membraanwerkingen. In het midden van de vloeroverspanningen ontstaan

trekmembraankrachten die worden weerstaan door drukmembraankrachten langs de balken. De verdeling van de membraankrachten wordt weergegeven in fig. 5. De drukkrachten worden weergegeven door donkere dikke lijnen, de trekkrachten door lichte dunne lijnen. De membraanwerking heeft een positief effect op het draagvermogen van de vloer dat niet kan aangetoond worden met een vereenvoudigde berekeningsmethode. De membraanwerking zorgt voor een herverdeling van de krachten en resulteert in een tweede draagweg. Dit is ook mogelijk door bijvoorbeeld de belasting op een kolom die blootgesteld wordt aan brand af te voeren via een doorgaande ligger naar naburige kolommen. Op die manier wordt voortschrijdende instorting vermeden.

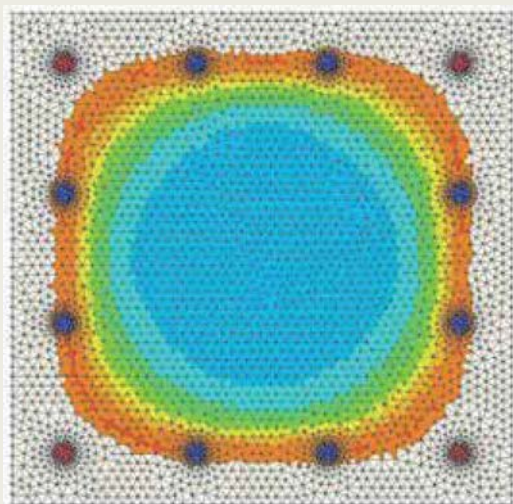


Fig. 4 - Spanningen in kolom na 600 minuten brand [7]
Fig. 4 - Tensions dans une colonne au bout de 600 minutes d'incendie [7]

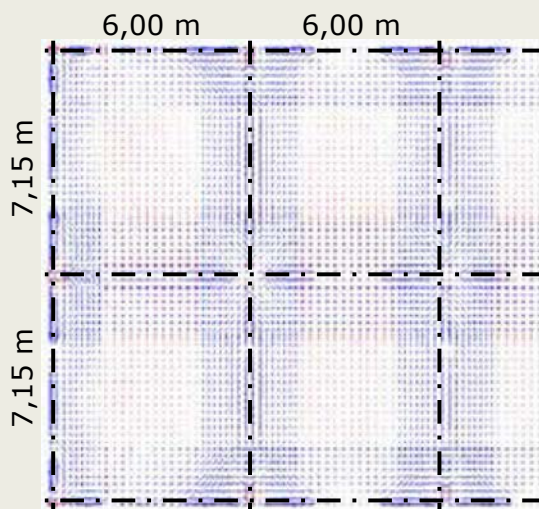


Fig. 5 - Druk- en trekmembraanwerking in de vloeren [7]
Fig. 5 - Action membranaire de compression et de traction dans les planchers [7]

► les poutres environnantes empêchent la dilatation thermique des colonnes. La force longitudinale est inférieure à la valeur initiale après plus ou moins 120 minutes. Nous constatons par ailleurs que la partie externe de la colonne se dilate lorsqu'elle est exposée au feu, alors que la partie interne est encore froide. Les contraintes de compression dans la partie interne se transforment alors en contraintes de traction. Même au cours de la phase de refroidissement, le gradient thermique évolue davantage vers l'intérieur et réchauffe la partie interne, tandis que la partie externe commence à se refroidir. Ce qui induit une traction dans la partie externe, tandis que la partie interne se retrouve à nouveau sous pression. Au bout de plus ou moins 300 minutes,

les cornières sont soumises à des contraintes de traction, tandis que les autres poutres continuent à travailler sous pression (fig. 4).

Il ressort également de l'analyse qu'une action de compression et de traction est activée sur la membrane dans les planchers porteurs par la dilatation thermique des planchers entravée par les poutres environnantes. Mais la rotation angulaire partiellement entravée au niveau des bords des planchers en raison de leur flexion active également l'action membranaire. Des forces membranaires de traction, réfrénées par des forces membranaires de compression, se produisent au milieu des surtensions des planchers. La répartition des forces membranaires

We kunnen besluiten dat Fire Safety Engineering toepasbaar is op betonconstructies. FSE kan vooral interessant zijn voor gebouwen met grote open ruimtes, gebouwen die blootgesteld worden aan een lage thermische belasting, gebouwen met open gevels - zoals parkeergarages - en voor gebouwen met een complexe draagstructuur. Verwacht wordt dat FSE meer en meer gebruikt zal worden om de brandveiligheid van dit soort gebouwen te beoordelen. (BHE) ■



Fig. 6 - Voorbeeld van een numeriek stromingsmodel (CFD)

Fig. 6 - Exemple d'un modèle de flux numérique (CFD)

est représentée dans la fig. 5. Les forces de compression sont représentées par de grosses lignes foncées et les forces de traction par de fines lignes claires. L'action de la membrane exerce un impact positif sur la capacité de charge du plancher, qui ne peut être démontrée par une méthode de calcul simplifiée. L'action membranaire assure une redistribution des forces et offre une capacité de charge de secours. Une autre possibilité existe à savoir, par exemple, évacuer la charge pesant sur une colonne exposée au feu vers des colonnes voisines par le biais d'une poutre continue. Ce qui prévient tout effondrement progressif.

Nous pouvons conclure que la «Fire Safety Engineering» est applicable sur les constructions en béton. La FSE peut surtout s'avérer intéressante au niveau des bâtiments avec de grands espaces ouverts, les bâtiments exposés à une faible charge thermique, les bâtiments aux façades ouvertes - comme les parkings - et les bâtiments dont la structure porteuse est complexe. La FSE devrait être de plus en plus utilisé pour évaluer la sécurité incendie de ce type de bâtiments. (BHE) ■

REFERENTIES/BRONNEN:

- [1] FEBELCEM, *Brandveiligheid en betonconstructies*, 2007
- [2] ISO 24679-1:2019, *Fire safety engineering - Performance of structures in fire - Part 1: General*
- [3] *Performance criteria for performance based fire design of concrete and composite structures*, Proceedings of the International Conference of Applications of Structural Fire Engineering, 9-11 June 2021, Ljubljana, Ruben Van Coile et al.
- [4] NBN EN 1991-1-2:2003+ANB:2008
- [5] NBN EN 1992-1-2005+ANB:2010⁴
- [6] *Analysis of a concrete building exposed to natural fire*, Proceedings of the International Conference of Applications of Structural Fire Engineering, 15-16 October 2015, Dubrovnik, Jean-Marc Franssen et al.
- [7] ISO/TR 24679-6:2017, *Fire safety engineering - Performance of structures in fire - Part 6: Example of an eight-storey office concrete building*
- [8] *Fire resistance and burnout resistance of reinforced concrete columns*, Elsevier Fire Safety Journal 104 (2019), Thomas Gernay
- [9] *Fire resistance and burnout resistance of timber columns*, Elsevier Fire Safety Journal 122 (2021), Thomas Gernay

⁴ Ondertussen is NBN EN 1992-1-2 ANB:2021 door het NBN gepubliceerd als norm. Deze zal binnenkort ook opgenomen worden in de brandwetgeving.

RÉFÉRENCES/SOURCES :

- [1] FEBELCEM, *Sécurité incendie et constructions en béton*, 2007
- [2] ISO 24679-1:2019, *Fire Safety Engineering - Performance of structures in fire - Part 1: General*
- [3] *Performance criteria for performance based fire design of concrete and composite structures*, Proceedings of the International Conference of Applications of Structural Fire Engineering, 9-11 June 2021, Ljubljana, Ruben Van Coile et al.
- [4] NBN EN 1991-1-2:2003+ANB:2008
- [5] NBN EN 1992-1-2005+ANB:2010⁴
- [6] *Analysis of a concrete building exposed to natural fire*, Proceedings of the International Conference of Applications of Structural Fire Engineering, 15-16 October 2015, Dubrovnik, Jean-Marc Franssen et al.
- [7] ISO/TR 24679-6:2017, *Fire safety engineering - Performance of structures in fire - Part 6: Example of an eight-storey office concrete building*
- [8] *Fire resistance and burnout resistance of reinforced concrete columns*, Elsevier Fire Safety Journal 104 (2019), Thomas Gernay
- [9] *Fire resistance and burnout resistance of timber columns*, Elsevier Fire Safety Journal 122 (2021), Thomas Gernay

⁴ La NBN EN 1992-1-2 ANB:2021 est entre-temps publiée en tant que norme par la NBN. Elle sera bientôt reprise dans la législation incendie.