

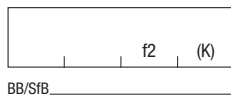
BRANDBESCHERMING DOOR BETONCONSTRUCTIES

De keuze voor beton – reglementeringen – brandweerstand – verschillende benaderingen voor de berekening – herstelling van beton na brand

DOSSIER
CEMENT

37
april 2006

beton
prestaties
bij brand



De dramatische brand in de 'Innovation' in Brussel (1967) heeft de absolute noodzaak aangetoond van een reglementering op het vlak van brandweerstand en van een betere kennis van het gedrag bij brand van materialen en constructies.

Het gevolg was dat een reeks acties zonder voorgaande werd opgezet om tegemoet te komen aan de wens van iedere gebruiker en iedere ontwerper, namelijk het realiseren van een optimale brandweerstand.

Meer recent deden zich branden voor in bergtunnels en in de tunnel onder het Kanaal, in New York ('9/11'), in Madrid, en – in eigen land – te Bergen (Mons) en op onze autowegen. Al deze gebeurtenissen hebben iedereen opnieuw aangezet tot een grotere waakzaamheid, om na te denken over de verschillende invloedsfactoren en zich zeker vragen te stellen omtrent het gedrag van bouwwerken bij brand.

Dit bulletin:

- vat de fundamentele concepten samen in verband met brand ;
- schetst de achtergrond van de reglementen ;
- verduidelijkt het gedrag bij brand van beton en staal gedurende en na een brand ;
- toont aan dat bouwwerken waarin beton verwerkt is onder de vorm van gewapend beton, voor- gespannen beton of betonmetselwerk, **een uitstekende brandweerstand vertonen en bovendien de mogelijkheid bieden om hersteld te worden na een brand.**

Het bulletin biedt op die manier een algemene kijk op beton als middel om aan de eisen van brandbescherming te voldoen.

Uitgangspunt voor dit bulletin is het referentiedocument « Brandveiligheid en betonconstructies ». Beide kunnen gedownload worden van de website www.febelcem.be

1. DOEL VAN DE BRANDVEILIGHEID : BESCHERMING VAN PERSONEN EN GOEDEREN

Het doel van de brandveiligheid [5][7] is de efficiënte bescherming van personen, goederen en bezittingen tegen het brandrisico. Meer bepaald betreft het hier :

- het veiligstellen van de levens van de gebruikers van een gebouw ;
- de bescherming van de levens van de interventiediensten ;
- het verzekeren van de integriteit van een gebouw ;
- het veiligstellen van naburige gebouwen.

De basiseisen met betrekking tot bescherming tegen brand omvatten de volgende doelstellingen :

- de kans op het ontstaan van een brand reduceren ;
- de voortplanting van de brand vermijden ;
- de snelle evacuatie van de gebruikers waarborgen, in voldoende veilige omstandigheden ;
- de interventie van de brandweerdiensten vergemakkelijken.

Onderstaande tabel [27] geeft weer hoe betonelementen voldoen aan deze basiseisen.

De brandveiligheid [17] kan nooit absoluut zijn. Het is wel mogelijk de risico's te reduceren door een gepaste reeks maatregelen te nemen. Elk van deze maatregelen is op zichzelf onvoldoende, maar hun gezamenlijk effect laat toe een voldoende veiligheid te bereiken.

Voor een doeltreffende brandbestrijding, moet de interventie van de brandweerdiensten langs binnen in het gebouw kunnen gebeuren [15]. Op dit vlak bieden betonconstructies de meeste zekerheid zowel wat evacuatie als brandbestrijding betreft.

Volgens waarnemingen [17] in Engeland bij 840 branden, is de kans op vernieling van de draagstructuur beperkt (1%) (over alle materialen heen) terwijl de lokale vernieling van een constructie-element hoger is (15%). Dit toont het belang aan van de mogelijkheid om constructie-elementen te herstellen.

In een aantal Europese landen bestaat een trend om de eisen aan gaande de bescherming tegen brand te verminderen [27]. Dit beïnvloedt rechtstreeks de vereiste brandweerstand van structurele elementen. De voornaamste oorzaak van deze houding komt van de overtuiging dat enkel de brandweerstand die nodig is voor de bescherming van personen moet gereguleerd worden door openbare instanties. De verantwoordelijkheid voor de bescherming van gebouwen en bezittingen wordt aldus overgedragen aan de burgers. Het Wereldcentrum voor Brandstatistieken heeft in haar jaarverslag van 1999 een internationale vergelijking opgenomen van de kosten verbonden aan branden. Deze vergelijking toont het belang aan van brandbescherming :

- De kosten van brandschade bedragen 0,2 tot 0,3 % van het bruto nationaal product.
- Het aantal overlijdens tengevolge van branden per 100 000 inwoners varieert van 0,55 voor Zwitserland, over 1,32 voor België, tot 2,12 voor Finland.
- De som van de kosten verbonden aan brandbescherming en brandschade loopt gemiddeld op tot 0,6 % van het bruto nationaal product.

De cijfers tonen de noodzaak om te beschikken over een globale brandbescherming. Een vermindering van het aantal slachtoffers bij branden en van de brandschade zou moeten nagestreefd worden als onweerlegbaar sociaal en economisch streefdoel.

De beperking van vervuiling door rookgassen, toxische gassen en bezoedeld bluswater moet op haar beurt bijdragen tot de bescherming van het milieu.

In de verslagen van de NFPA [25] (National Fire Protection Association) wordt vermeld dat in de Verenigde Staten het gemiddeld financieel verlies tengevolge van branden die de draagstructuur beïnvloeden met 51 % gestegen is tussen 1977 en 2002. Deze stijging heeft te maken met een versoepeling van de veiligheidseisen, in het bijzonder voor gebouwen. De rechtstreekse of onrechtstreekse verliezen zoals de verhuis van bewoners of de verplaatsing van de bedrijfsactiviteiten kunnen een enorme economische impact hebben voor de gemeenschap. De reglementering zou met deze impact moeten rekening houden.

Fig. 1 - Globaal effect van brandbeveiliging door middel van betonelementen

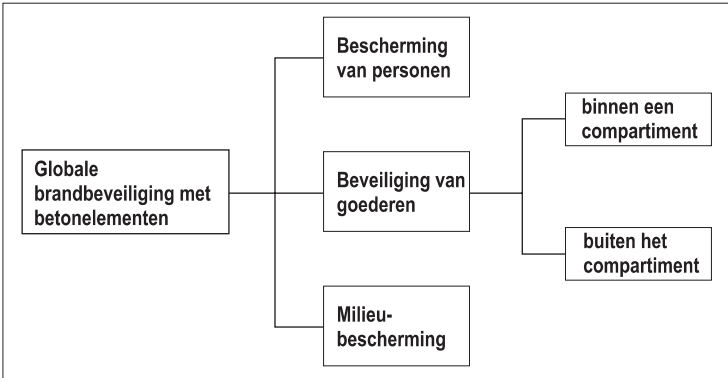


Fig. 2 - Relaties tussen basiseisen ter bescherming tegen brand en beschermingsmaatregelen

Basiseisen ter bescherming tegen brand			
Ontstaan en ontwikkeling van brand beperken	Overslag en verspreiding van brand verhinderen	Snelle en relatief veilige evacuatie van aanwezige personen mogelijk maken	Interventie van brandweer vergemakkelijken
↓	↓	↓	↓
Preventie- en beschermingsmaatregelen			
bijv.: Dankzij onbrandbare muren, vloeren en plafonds	bijv.: Door middel van performante brandmuren, zowel buiten als binnen	bijv.: Via vluchtwegen met een hoge brandweerstand die gedurende een lang tijdsbestek bruikbaar zijn	bijv.: Dankzij draagstructuren met een hoge brandweerstand, wat de efficiënte bestrijding van de brand in het gebouw toelaat

De totale vernieling van een gebouw door het ontbreken van compartimentering belast het milieu zwaar [foto Guido Coolens]



2. ACTIEVE EN PASSIEVE
BESCHERMINGSMAATREGELEN

Twee soorten maatregelen worden klassiek gebruikt om personen en gebouwen te beschermen:

Actieve beschermingsmaatregelen

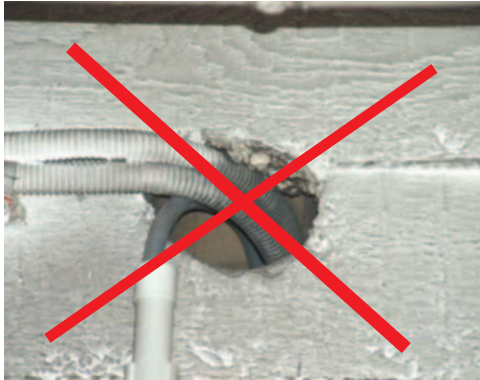
Het gaat om maatregelen die gericht zijn op het ter beschikking stellen van directe bestrijdingsmiddelen tegen het vuur en zijn gevolgen (automatische blussing, alarmsystemen, ...). Hun doel is het risico van een ernstige brand te beperken.
Om de voordelen uit de actieve maatregelen te halen, is het nodig dat hun gebruik bepaald wordt door aangepaste voorzorgen op het vlak van onderhoud, en van vorming, certificatie en agreatie van personen.

Passieve beschermingsmaatregelen

Het gaat om middelen die het door hun ontwerp en plaatsing mogelijk maken de gevolgen van een brand te bedwingen (compartimentering, brandschotten of brandvloeren,...). Zij vormen op elk moment een operationele bescherming.
De brandbescherming gebeurt door middel van een reeks maatregelen die gaan van het ontwerpen van evacuatiewegen en compartimenten over de bescherming tegen hitte, uitwasemingen en toxische gassen, tot de dimensionering voor vuur van dragende structuren.
Het **materiaal beton** neemt hier een belangrijke plaats in. Door zijn grote brandweerstand maakt het een **veilige compartimentering** mogelijk die de uitbreiding van de brand belet. Dit laat toe de bewoners te evacueren of in veiligheid te brengen naar b.v. een ander compartiment. Het vergemakkelijkt de toegang voor de hulpdiensten en draagt zo ook bij tot hun veiligheid tijdens de brandbestrijding. Compartimentering moet reeds bestudeerd worden bij het opmaken van de plannen.



De EI-wand is niet opgemetseld ter hoogte van een leidingdoorgang [22]



Niet toelaatbaar! De opening in een EI-wand werd niet opnieuw dichtgemaakt [22]

2.1. Woningen en kantoren

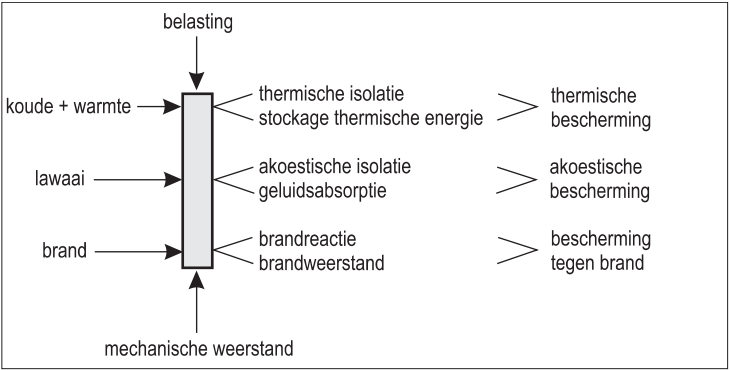
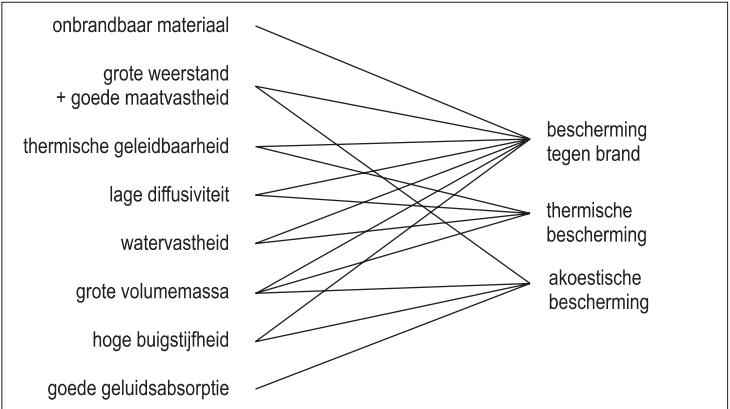


Fig. 3a - Brandmuren in beton bieden een adequate bescherming tegen de uitgeoefende belastingen

Fig. 3b - Dankzij de eigenschappen van het materiaal beton en van betonnen structuurelementen beantwoorden gebouwdelen aan de eisen inzake brandbeveiliging, thermische en akoestische bescherming



Compartimentering van het gebouw verhindert dat brand overslaat tussen aanpalende appartementen [bron: BCA]



VERZEKERINGEN VAN WOONGEBOUWEN

Wist u dat in Noorwegen [29] de verzekeringspremies voor houten eengezinswoningen 3 tot 5 keer hoger zijn dan voor huizen in “harde materialen”?

Een eenvoudige kansrekening gebaseerd op Zweedse statistieken [30] toont dat de kans op het ontstaan van een ernstige brand in houten meergezinswoningen 11,5 keer hoger is dan bij een gebouw in “hard materiaal”.

Van de zwaar door brand gehavende huizen moest slechts 9% van de betonconstructies afgebroken worden, tegen 50% van de houten huizen.

2.2. Industriële gebouwen

Het gebruik van brandwerende betongevels beperkt de thermische flux naar de naburige gebouwen, de brandweer en hun materieel. Het is van fundamenteel belang dat deze gevels op zichzelf stabiel zijn of verbonden zijn met een structuur van dezelfde brandweerstand. Zonder twijfel zijn betonstructuren hiertoe het meest aangegeven.

*Betonnen gevelpanelen als thermisch scherm
CF ('coupe-feu') 2 uur
[bron : CIMBETON]*

*Een gevel in metalen sandwichpanelen vat vuur. De intense
hittestraling dwingt de brandweer op een afstand te blijven.
[bron : CIMBETON]*

*Compartimentering van bedrijfsgebouwen door middel van
brandwerende muren beperkt de verspreiding van het vuur.*

*Brandmuren in beton zorgden ervoor dat het vuur omschreven
bleef en niet oversloeg op de nabijgelegen gebouwen.*



VERZEKERING VAN INDUSTRIËLE GEBOUWEN

De verzekeringspremies, die aangepast worden aan de potentiële risico's, dekken slechts het verlies aan goederen en **niet noodzakelijk het verlies te wijten aan het stilvallen van de productie**. Dit is een belangrijk aspect wanneer men bedenkt dat 50 % van de bedrijven die het slachtoffer werden van een brand, achteraf failliet zijn gegaan [23].

Het **verschil in het bedrag van de verzekeringspremie** tussen een gebouw met een skelet en dakbedekking in beton en een oplossing in staal is in de grootte-orde van 32 % in het voordeel van beton [31].

Een **globaal ontwerp** dat rekening houdt met deze principes, laat toe om het bedrag van de verzekeringspremie voor brand gevoelig te verminderen, maar ook om de menselijke en economische gevolgen voor dit type incident te beperken. Reeds bij het uitwerken van het concept van een nieuw gebouw, een uitbreiding of een herinrichting is het dus aangewezen om de verzekeringsmaatschappijen te contacteren.

3. FYSIEKE ASPECTEN VAN EEN BRAND

3.1. De vuurdriehoek en de ontwikkelingsfasen van brand

Een brand kan pas ontstaan [4] indien drie elementen gelijktijdig aanwezig zijn: zuurstof (21% van het luchtvolume), brandbare materialen en een warmtebron. Zij vormen samen de vuurdriehoek, zoals weergegeven in fig. 4. De eerste twee elementen [14] treden in verbranding van zodra de ontvlammings temperatuur bereikt is. De verbranding van koolstof produceert koolstofdioxide (CO_2), en indien zuurstof ontbreekt, wordt het beruchte koolmonoxide (CO) gevormd, dat zeer gevaarlijk is voor de mens.

De ontwikkeling van een brand [28] – en dus de temperatuur van de gassen – hangt samen met drie belangrijke parameters (fig. 5):

- de grootte van de brandbare lading in het brandend compartiment en haar maximaal calorisch debiet,
- de oppervlakte van de openingen in de buitenwanden en
- de thermische eigenschappen van de wanden.

3.2. Nominale curven – de ISO-curve

De gemakkelijkste manier om een brand voor te stellen is door gebruik te maken van nominale curven, die de evolutie van de gastemperatuur in functie van de tijd weergeven.

Historisch gezien werden deze curven ontwikkeld voor het testen van constructie-elementen, teneinde deze te classificeren volgens brandweerstand en brandreactie. Het is uiteraard wenselijk dat, wanneer elementen getest worden in verschillende ovens, zij aan dezelfde thermische belasting onderworpen worden. Deze curven vormen een eerder conventionele referentiebasis voor de modellering van een brand in een gebouw.

Om historische redenen en omwille van de eenvoud blijven zij veruit de meest gebruikte voorstelling van een brand in praktische toepassingen.

De notie van 'weerstandsduur' [17] is conform met het performantieconcept: geen enkel type materiaal is uitgesloten en de performantie van het element is voorgeschreven.

De curven die het meest worden gebruikt, zijn weergegeven in fig. 6. Zij zijn gebaseerd op de ervaring opgedaan bij werkelijke branden en kunnen worden ondergebracht in 3 categorieën: gebouwen, petrochemie/offshore-constructies en tunnels.

Voor de ISO-curve kan men gemakkelijk aflezen dat na een kwartier de temperatuur ongeveer 745°C bedraagt en verder toeneemt met ongeveer 100°C bij iedere verdubbeling van de tijd.

Betonelementen kunnen zonder problemen aan een ISO-brand van 1 uur of meer voldoen. Dit in sterk contrast met onbeschermd staalelementen, waar al na 15 minuten een temperatuur van 500°C bereikt wordt en de weerstand sterk afneemt. Er bestaan isolerende platen en verven om het staal te beschermen, doch de efficiëntie ervan is sterk afhankelijk van de juiste uitvoering. Een degradatie van deze aangebrachte materialen kan dramatische gevolgen hebben.

3.3. Reactie bij brand en brandweerstand

Reactie bij brand [5] heeft betrekking op **bouwmaterialen** als dusdanig en is een maat voor het geheel van eigenschappen van een materiaal met betrekking tot het ontstaan en de ontwikkeling van een brand. Zij wordt gekarakteriseerd door de calorische potentiaal [4], onbrandbaarheid, ontvlambaarheid, vlamuitbreiding op het oppervlak van het materiaal, en eventueel door andere eigenschappen zoals rookvorming en productie van giftige gassen.

Brandweerstand heeft betrekking op **constructie-elementen** en is een maat voor de wijze waarop ze in staat zijn hun functie te behouden bij brand.

De twee begrippen zijn dus totaal verschillend. Het eerste speelt een rol bij het ontstaan en het begin van de ontwikkeling van een brand, terwijl het tweede van belang is bij een brand in volle intensiteit. Beide moeten bekeken worden bij brandpreventie. De voorschriften stellen dus eisen aan beide aspecten.

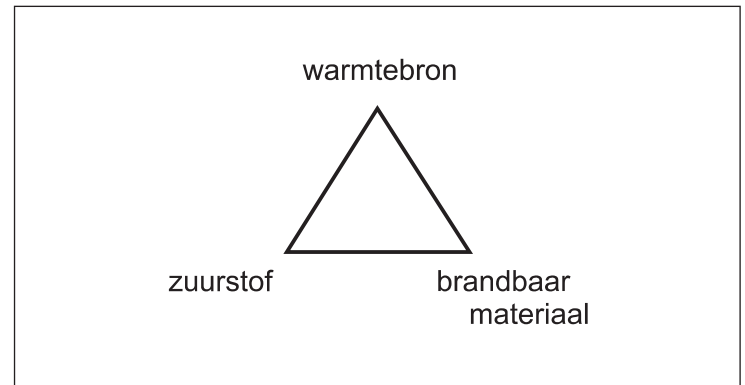


Fig. 4 - De vuurdriehoek

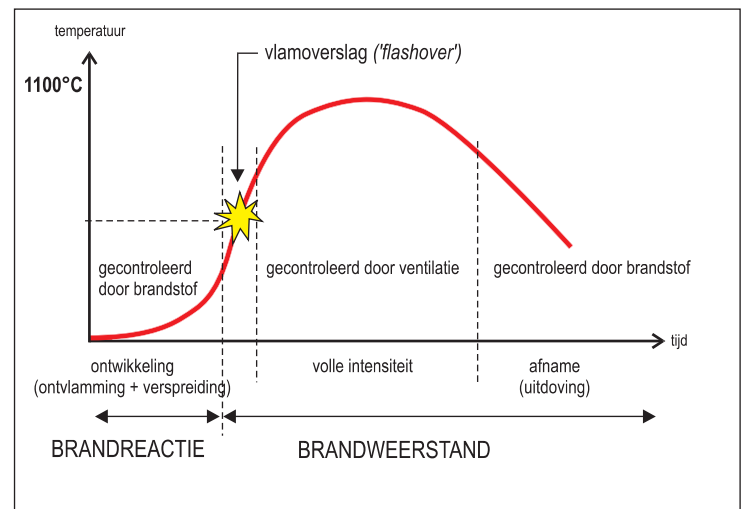


Fig. 5 - De fasen van een brand

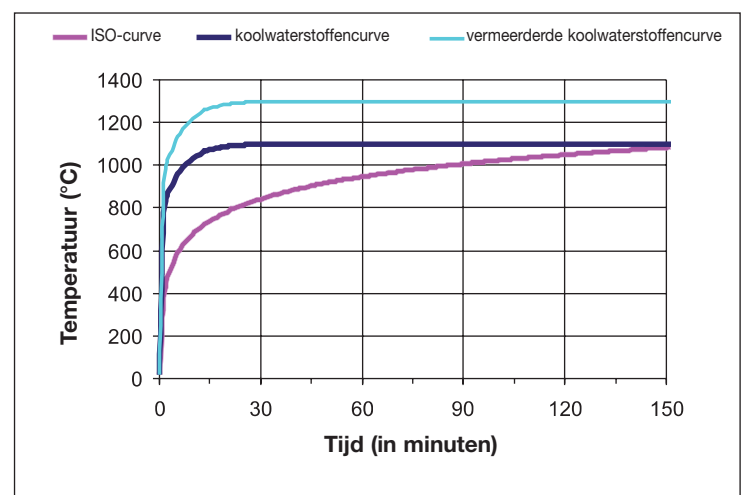


Fig. 6 - Verschillende temperatuurcurves:
- vermeerderde koolwaterstoffencurve (tunnels)
- koolwaterstoffencurve
- ISO-standaardcurve 834 (gebouwen)

Hout [4] is een materiaal met een slechte reactie bij brand – hout brandt – terwijl houten balken en kolommen wel een belangrijke brandweerstand vertonen.
Staal daarentegen heeft een goede reactie bij brand, maar een zeer slechte brandweerstand.
Beton combineert beide kwaliteiten, waardoor het bij uitstek hét materiaal is voor constructies waar een goed gedrag bij brand gewenst is.

Keuzes die de brandweerstand van constructie-elementen verhogen, bieden door hun permanent karakter meer zekerheid naar brandpreventie toe.

3.3.1. Reactie bij brand van bouwproducten – Classificatie

De reactie bij brand wordt vermeld in de CE-markering. Elke bouwprofessioneel moet zich een minimum aan Europees taalgebruik eigen maken voor het begrijpen van de nieuwe normen inzake brandproeven en classificatie.
Dit classificatiesysteem [9] was het onderwerp van beslissingen van de Europese Commissie van 08-02-2000 [19][21] en 26-08-2003. Naarmate de uitvoeringsbesluiten met betrekking tot dit merkteken verschijnen, moeten de producenten verifiëren of hun producten voldoen aan de nieuwe Europese eisen en, indien nodig, hun producten aanpassen.
Het aantal klassen, de achtergrond waarop de indeling gebaseerd is en sommige testen verschillen dermate met de huidige Belgische praktijk dat er geen overeenkomst bestaat tussen de huidige Belgische classificatie en het systeem van Euroklassen.
De bouwproducten zijn onderverdeeld in 2 grote families [24]: producten voor de vloerbekleding en andere producten. Dit onderscheid valt terug op het verschil in blootstelling en in brandgedrag in de twee gevallen.

Voor elke groep worden 7 Euroklassen gedefinieerd, zoals vermeld in de norm NBN EN 13501-1:2002 [3] :

- A1_{Fi}, A2_{Fi}, B_{Fi}, C_{Fi}, D_{Fi}, E_{Fi}, en F_{Fi} voor de vloerbekledingen (Fi van ‘floor’);
- A1, A2, B, C, D, E, et F voor de andere bouwproducten.

A1 en A2 (respectievelijk A1_{Fi}, A2_{Fi}) slaan op producten met weinig of zeer weinig organisch materiaal, waardoor ze zeer weinig of weinig brandbaar zijn.

De klassen B tot E (respectievelijk B_{Fi}, E_{Fi}) slaan op brandbare producten die in belangrijke mate bijdragen tot de algemene vlamoverslag. Klasse E heeft betrekking op producten overeenkomend met het minimum criterium voor de Duitse markt en in klasse F zitten de producten die niet geclassificeerd werden of niet voldeden aan de minst strenge test.

Beton, een mineraal bouw materiaal [27], voldoet aan de eisen van klasse A1 omdat het onontvlambaar is en geen vuur vat bij temperaturen die optreden tijdens een brand. Er komen geen brandende stukken los van beton, er loopt niets van af.

3.3.2. Brandweerstand van structurelementen

De criteria R, E en I

De geschiktheid van een betonconstructie om haar dragende functie te behouden gedurende de vereiste tijdsduur wordt uitgedrukt als :

$E_{d,fi}(t) \leq R_{d,fi}(t)$

met : E_{d,fi}(t) de rekenwaarde van een belastingseffect op de tijdsduur (t) van een brand ;
R_{d,fi}(t) de rekenwaarde van de weerstand van een constructie-element op de tijdsduur (t).

De brandweerstand van structurele elementen wordt proefondervindelijk bepaald onder de thermische belasting volgens de ISO-curve. Hij omvat 3 eisen die van toepassing zijn op de meerderheid van de constructie-elementen :

- de stabiliteit **R** (draagvermogen) ;
- de vlamdichtheid **E** ;
- de thermische isolatie **I**.

De brandweerstand REI van een element wordt uitgedrukt in minuten. Het is de tijdsduur gekozen uit de waarden 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 360 minuten die net korter is dan de waargenomen tijd [19][20].

Het « **stabiliteitscriterium** » (**R**) van een element geeft de tijd aan gedurende dewelke zijn mechanische weerstand verzekerd is onder de belasting en gedurende dewelke zijn vervormingen compatibel blijven met het behoud van stabiliteit (gewoonlijk 1/30^e van de overspanning). In Frankrijk spreekt men van ‘*Stable au Feu SF*’.

Aan het criterium van « **vlamdichtheid** » (**E**) is niet meer voldaan indien een katoenprop, gehouden op een afstand van 2 tot 3 cm voor een opening, spontaan ontvlamt.
In Frankrijk wordt dit als ‘*Pare-Flamme PF*’ aangeduid, hetgeen overeenkomt met het criterium RE.

Aan het criterium van « **thermische isolatie** » (**I**) is voldaan, indien de temperatuurstijging aan de niet blootgestelde zijde gemiddeld kleiner blijft dan 140°C en nergens groter is dan 180°C.
De Franse benaming ‘*Coupe-Feu CF*’ correspondeert met het criterium REI.

De laatste twee criteria laten toe om ontvlaming van materialen in contact met de niet blootgestelde zijde te vermijden.

Bij dragende structuurelementen zoals balken, kolommen, muren en vloeren wordt met het stabiliteitscriterium R de instorting van de structuur vermeden. Algemeen slaan de scheidingsfuncties (E en I) op elementen die integraal deel uitmaken van scheidingswanden of van het compartimentomhulsel, namelijk de muren en vloeren.

Betonelementen gebruikt in gebouwen kunnen voldoen aan alle brandweerstandsklassen zoals gedefinieerd in de Europese Richtlijn in verband met de brandveiligheid, en dit zonder bijkomende bescherming van welke aard ook (bepleistering, schuimvormende verf,...).

Een eenvoudig voorbeeld : brandweerstand van metselwerk (tabel 1)

De blokken [4] worden ingedeeld in groepen naargelang van hun percentage holle ruimtes, dat 70 % kan bedragen. Daardoor varieert de schijnbare volumemassa van de blokken van 500 tot 2000 kg/m³.

Metselwerk in lichte betonblokken van groep 2 heeft een percentage holle ruimtes hoger dan 25 % en een schijnbare volumemassa van meer dan 800 kg/m³.

Enkel metselwerk met een dikte van minstens 14 cm mag belast worden.

Tabel 1 - Minimumdikte van muren in metselwerk (belast of onbelast) in functie van de beoogde brandweerstand (REI).
De dikte is afhankelijk van het type betonmetselblokken.

Groep	1	2a	2b	3
Holtes (%)	0 à 25	25 à 50	50 à 60	≤ 70

Dikte (cm) van de muren in metselwerk	REI 60	REI 120	REI 240	REI 360
Algemeen geval	9 (*)	14	19	24
Lichte betonblokken (groep 2)	-	19	24 (**)	-

(*) Een dikte van 9 cm voor REI 60 is aanvaardbaar indien de voegen tussen de blokken perfect gevuld zijn met mortel, of indien de wand aan weerszijden bepleisterd is.
(**) De opgegeven waarden voor de betonblokken uit groep 2 zijn zeer streng omdat er een grote spreiding is naargelang van productiewijze, vorm, indeling en schikking van de holtes.

4. REGLEMENTERING

4.1. De Bouwproductenrichtlijn

Op te merken valt dat de bescherming van goederen en het voorkomen van een productiestop geen deel uitmaken van de doelstellingen van de Bouwproductenrichtlijn (BPR). De Europese Commissie laat het veiligheidsniveau voor personen door elk land zelf vastleggen. De specifieke bijkomende informatie in EN 1992-1-2 [2] verduidelijkt dat het aan elk land toekomt om in zijn reglementen criteria op te leggen die de bescherming van rechtstreeks blootgestelde goederen in rekening brengen, en dit om economische of milieuredenen. De regionale overheden belast met de economische ontwikkeling en het leefmilieu kunnen belang hechten aan het voorkomen van een productiestop. Deze aspecten vallen uiteraard eveneens onder de bevoegdheid van de bouwheer (zie eerder §1. *Doel van de brandveiligheid*).

4.1.1. De productnormen

Bij het opstellen van de BPR is lang gediscussieerd over het op punt stellen van normen voor het proefondervindelijk bepalen van de brandreactie, omdat elk land zijn eigen procedures heeft. Het is immers zo dat drie vierden van de bouwproducten te maken hebben met het aspect brandveiligheid [24].

Veel bouwproducten, zoals holle vloerplaten en betonblokken, vormen het onderwerp van een geharmoniseerde Europese productnorm. De term « geharmoniseerd » slaat op het feit dat in de norm een bijvoegsel Z opgenomen is. Hierin zijn de verschillende karakteristieken opgesomd die elke producent moet aangeven in zijn CE-markering. Die is aangebracht op het product of vermeld in de documenten die bij het product horen. Een geharmoniseerd product dat verkocht wordt op de Europese economische markt is **verplicht** die markering te dragen. De karakteristieken die moeten aangegeven worden, moeten conform zijn met de norm en worden geattesteerd met een van volgende waarden : 1+, 1, 2+, 2, 3 of 4. Een waardering 1+ komt overeen met een certificaat van een derde partij, terwijl een waardering 4 overeenkomt met een eenvoudige conformiteitsverklaring van de fabrikant. Aangezien België, net als het merendeel van de Europese lidstaten, over een brandreglementering beschikt, **moeten** alle bouwproducten waarvan de norm geharmoniseerd is, een verklaring bevatten betreffende hun reactie bij brand en hun brandweerstand om te mogen worden gebruikt.

We wijzen erop dat het de BPR is die de verklaring omtrent de karakteristieken volgens de geharmoniseerde norm verplicht maakt, en dit voor het op de markt brengen van een product in een specifiek land.

De **productnormen** verwijzen naar de zeer talrijke **beproevingsnormen** die door de Europese normalisatiecommissie CEN TC 127 werden opgesteld. Ze beginnen de proeven uit de Belgische norm NBN 713-020 te vervangen.

4.1.2. De Eurocodes

De productnormen zijn gebaseerd op de Europese berekeningsnormen, Eurocodes genoemd, waarvan er in totaal 58 opgesteld werden door het technisch comité TC250 van het CEN, het Europees comité voor normalisatie. Het is de Europese Commissie die opdracht heeft gegeven voor dit werk. De berekeningsnormen inzake beton onderworpen aan brand en gepubliceerd door het BIN tussen 1995 en 1999 en die van toepassing zijn in België zijn de volgende :

- NBN ENV 1991-2-2 + NTD 'Belastingen op constructies bij brand' ;
- NBN ENV 1992-1-2 + NTD 'Ontwerp en berekening van betonconstructies' - gedeelte brand ;
- NBN ENV 1994-1-2 + NTD 'Ontwerp en berekening van staalbetonconstructies' - gedeelte brand ;
- NBN ENV 1996-1-2 + NTD 'Ontwerp en berekening van constructies van metselwerk' - gedeelte brand.

Men spreekt gewoonlijk van de Eurocodes 1, 2, 4 en 6, gedeelte brand. Deze Belgische normen zijn de Europese voornormen, aangevuld met hun Nationaal Toepassingsdocument (NTD).

Deze voornormen (ENV) zullen over enkele jaren vervangen worden door de Europese normen (EN), aangevuld met hun nationale bijlage (ANB voor 'Annexe Nationale - Nationale Bijlage').

Te noteren valt dat het eerste getal juist na de afkorting EN niet overeenkomt met een jaartal. Het CEN heeft ietwat ongelukkig de reeksen 1990 tot 1999 aan de Eurocodes gegeven. De datum van publicatie van de norm is vermeld na de normaanduiding.

4.2 Brandregelgeving in België

4.2.1. Algemeen kader

Nieuwe bouwprojecten zijn onderworpen aan een regelgeving die valt onder verschillende bevoegdheden :

1. De gemeenten hebben sinds 1790 als algemene opdracht branden te voorkomen en te beperken door middel van de gemeentelijke reglementen en de bouwvergunningen.
2. De gemeenschappen zijn verantwoordelijk voor de hotels en de rusthuizen.
3. De Federale Regering heeft de brandveiligheid gereguleerd van achtereenvolgens werkplaatsten (ARAB, sinds 1947), ziekenhuizen (1979), elektrische installaties (1981), nieuwe hoge gebouwen (1972), middelhoge gebouwen (1994) en lage gebouwen (1997 en 2003 (basisnormen)).

4.2.2. Koninklijk Besluit (KB) van 1997

De bijlagen van het Koninklijk Besluit (KB) van 19 december 1997 [32] leggen de basisnormen vast op het gebied van preventie tegen brand en explosie. **Nieuwe gebouwen** met verdiepingen en **uitbreidingen van bestaande gebouwen** moeten hieraan voldoen.

Bij **renovatie van bestaande gebouwen** waren de basisnormen tot 4 april 2003 [9] evenzeer van toepassing op het gerenoveerde deel. Herhaalde problemen in verband met de toepassing van de norm in geval van renovaties hebben er toe geleid dat renovaties van bestaande gebouwen uit het toepassingsdomein werden geschrapt. Een specifieke regelgeving voor renovaties ligt momenteel ter studie.

De KB's van '94 en '95 gelden niet voor eengezinswoningen, industriële gebouwen en gebouwen met maximum 2 niveaus met een maximale oppervlakte van 100 m².

De bijlagen 1 tot 5 van het Koninklijk Besluit (KB) van 1997 zijn :

1. Terminologie ;
2. Lage gebouwen (LG) : $h < 10 \text{ m}$;
3. Middelhoge gebouwen (MG) : $10 \text{ m} \leq h \leq 25 \text{ m}$;
4. Hoge gebouwen (HG) : $h > 25 \text{ m}$;
5. Reactie bij brand van materialen.

De begrenzing van de hoogtes stemt overeen met de lengte van de kleine en grote ladders van de brandweerdiensten. De beschouwde hoogte (h) is de afstand tussen het vloerniveau van de hoogste verdieping en het laagst gelegen niveau van de wegen rond het gebouw die bruikbaar zijn voor de hulpdiensten. Algemeen [4] zijn de eisen :

- 2 u voor de hoge gebouwen en de ondergrondse verdiepingen van de middelhoge gebouwen ;
- 1 u voor de vloeren van de middelhoge gebouwen en de lage gebouwen ;
- 1/2 u voor de daken van de lage gebouwen.

De volgende constructiemaatregelen worden behandeld:

- afstand tussen tegenoverliggende gebouwen (6 m en 8 m) ;
- brandweerstand van wanden tussen belendende gebouwen (REI van 1 u, 2 u of 4 u) ;
- beperking van de oppervlakte van de compartimenten (2 500 m² of meer) ;
- afmetingen van bovendorpels en vensterbanken (1 m) ;
- inrichting, reactie en weerstand van trappenhuizen en liftkokers ;
- maximumafstanden die moeten afgelegd worden om de evacuatiewegen te bereiken.

4.2.3. Toekenning van bouwvergunning – brandweerstand

Momenteel wordt de brandweerstand bepaald aan de hand van ovenproeven volgens NBN 713-020 of door berekening, zoals toegestaan in de basisnormen (zie bijlage 1 van het KB van 19.12.97), volgens een berekeningsmethode die goedgekeurd is door de Minister van Binnenlandse Zaken.

Voor het gebruik van deze berekeningsmethode kan rekening worden gehouden met volgende gegevens :

- onderzoek van conventionele brandscenario's ;
- onderzoek van natuurlijke brandscenario's, met inbegrip van de rol van blusinstallaties, brandweer en branddetectie-installaties.

Tot op vandaag is echter nog geen enkele methode goedgekeurd. De commissie die zich bezighoudt met afwijkingen laat ze geval per geval toe. In de praktijk worden berekeningen aanvaard, indien ze gebaseerd zijn op het Belgisch « NTD » (Nationaal Toepassingsdocument) van deel 1-2 van de Eurocodes en indien deze correct werden toegepast. De herziening van de basisnormen inzake brand zou deze procedure moeten regulariseren. Studiebureaus verifiëren de gevraagde brandweerstand door berekening. Hij wordt expliciet vermeld op de uitvoeringsplannen. De architect en de bouwheer concentreren zich op de technische conformiteit met de regels en eisen van de brandweer en de verzekeraars.

Vooraleer [22] een bouwvergunning wordt toegekend, moeten de plannen van de nieuwe constructie worden overgemaakt aan de bevoegde brandwerdienst. Deze geeft een advies onder de vorm van een rapport dat samen met de bouw aanvraag wordt ingediend bij de stedenbouwkundige dienst van de betreffende gemeente. Op het einde van de werken voeren de brandwerdiensten een laatste inspectie uit om na te gaan of de constructie overeenstemt met de plannen en of er geen belangrijke gebreken zijn.

5. FYSISCHE EN CHEMISCHE VERSCHIJNSELEN IN BETON

5.1. Fysische en chemische verschijnselen

Bij brand veroorzaakt de zeer sterke temperatuurstoename [16] fysicochemische wijzigingen in het beton, zoals dehydratatie door uitdroging en decarbonatatie. Deze fenomenen veroorzaken krimp en doen de sterkte en stijfheid van het materiaal dalen.

De dehydratatie en decarbonatatie zijn endotherme reacties : ze absorberen warmte-energie. Hierdoor wordt de opwarming van het aan brand blootgestelde materiaal vertraagd.

Vertrekkend van het opgewarmde oppervlak vormt zich een dehydratatie- en verdampingsfront waar de temperatuur rond de 100°C blijft hangen (fig. 7). Als de capillaire poriën te fijn zijn, kan de stijgende dampdruk trekspanningen veroorzaken in het beton, tot op het punt dat de sterktegrens van het beton wordt overschreden. Dit fenomeen wordt nog versterkt door een hoge vochtigheid van het beton en een snelle verhitting. Betonfragmenten kunnen dan met meer of minder geweld weggeslingerd worden van de oppervlakte van het element (zie verder onder 'afspatten van beton').

Wat het beton betreft, wordt het sterkteverlies vooral veroorzaakt door interne scheurvorming en degradatie/desintegratie van de cementsteen. Naast de interne scheuren kunnen bij zeer hoge temperaturen ook scheuren vastgesteld worden in de *interface* tussen de granulaten en de cementsteen. Zoals hiervoor beschreven treden door de belangrijke temperatuurstijging verschillende transformaties op in de cementsteen waardoor de cohesie ervan afneemt.

De structuur van beton verandert op een uiterst complexe wijze in de loop van een brand (zie volgende pagina).

De veranderingen [13] die optreden in het beton bij «lage» temperaturen (< 300°C) weerspiegelen vooral wijzigingen in de cementsteen, aangezien alle gebruikelijke granulaten stabiel blijven tot 300°C. Wel werd aangetoond dat riviergrind van de Theems (*Thames gravel*) reeds bij deze temperatuur uiteenspat, en dit in tegenstelling tot het uitstekend gedrag van de andere granulaten.

Gedrag van cellenbeton

We wijzen nog op het uitstekende gedrag van cellenbeton, dat onder andere wordt gebruikt in het metselwerk van de ovens waarin brandwerende deuren worden getest !

VERSCHIL TUSSEN NORMEN EN REGLEMENTEN

Normen = praktijkcodes met een vrijwillig karakter

Er bestaan Belgische of Europese normen die geregistreerd zijn door het BIN (b.v. : EN 1991-1-2 wordt NBN EN 1991-1-2), eventueel aangevuld met een nationaal bijvoegsel ANB (*Annexe Nationale - Nationale Bijlage*) of NAD (*National Application Document*) (zie Bouwproductenrichtlijn - BPR).

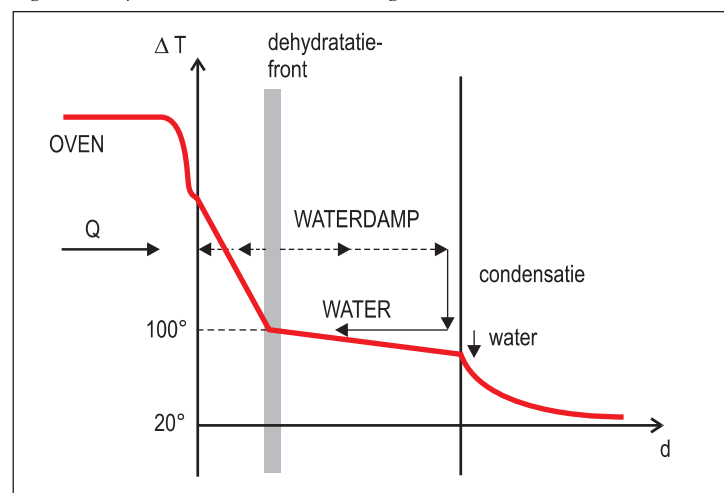
Reglementen = documenten met een verplicht karakter

De norm kan verplicht of reglementair worden gemaakt door een contract of door de bevoegde overheden, met name

- de openbare overheid,
- de verzekeraars (UPEA>ASSURALIA),
- de certificatie-instellingen (ANPI),
- de keuringsinstanties (ANPI, SECO, SGS),
- de gespecialiseerde ontwerp bureaus (inzake RWA : rook- en warmteafvoer).

Basisnormen voor brandveiligheid = algemeen reglement

Fig. 7 - Temperatuur in een wand blootgesteld aan brand [4]



Het gedrag van de granulaten en van de cementsteen

De hierna beschreven scheikundige transformaties (samengevat in tabel 2 & 3) hebben vaak een negatieve invloed op de fysische eigenschappen van beton. **Zelfs in beschadigde toestand werkt het beton nog als een isolerende laag en hitteschild, waardoor de dragende kern van de sectie beschermd wordt tegen het volle effect van de hoge temperaturen. De nadelige effecten van de warmte, zoals hierna vermeld, treden over het algemeen enkel op in de buitenste laag met een dikte van 3 tot 5 cm.**

Onder 100 °C is er eerst een lichte uitzetting van de cementsteen terwijl het beton zijn vrije water verliest. Het verdamppt uit de capillaire poriën. Deze blootstelling aan de warmte is over het algemeen onschadelijk voor het beton.

Boven 100 °C krimpt de cementpasta merkbaar, omdat zowel het vrije als het chemisch gebonden water ontsnapt uit het beton.

Boven 300 °C ontbindt de tobermoriëtgel (CSH) verder, de in de cementsteen aanwezige ijzerhoudende verbindingen oxideren (zie tabel 2). De kleur verandert van grijs naar roze-rood. De cementsteen trekt samen, terwijl de granulaten verder uitzetten.

Bij 400 °C begint de calciumhydroxide Ca(OH)₂ (of afgekort CH), ook portlandiet genoemd, te ontbinden in kalk (CaO) en in water (H₂O). De ontbindingssnelheid is nul bij 400 °C, bereikt een hoogtepunt bij ongeveer 500 °C en keert terug tot 0 bij 600 °C.

Bij 575 °C ondergaan de siliciumhoudende granulaten (zand en grof grind) een endotherme kristallijne omzetting van kwarts α in kwarts β. Dit gaat gepaard met een bruuske vermeerdering van hun volume met ongeveer 5,7 %. Deze vermeerdering kan schade veroorzaken aan het beton. Dergelijke granulaten zijn riviergrind, zandsteen en kwartshoudende rotsen.

Kalkhoudende granulaten zoals kalksteen en dolomiet daarentegen zijn stabiel tot ongeveer 700 °C.

Boven 700 °C begint de decarbonatisering van de kalksteen (CaCO₃) in calciumoxide (CaO) of “ongebluste kalk” en kooldioxide (CO₂). Deze endotherme reactie leidt tot een vertraging van de temperatuurverhoging in het beton en maakt een belangrijke hoeveelheid CO₂ vrij.

Bij afkoeling verbindt de ongebluste kalk die geproduceerd wordt door de dehydratisering van Ca(OH)₂ (boven 400 °C) en de decarbonatisering van CaCO₃ (boven 700 °C) zich met de omgevingsvochtigheid om Ca(OH)₂ te vormen. Deze reactie gaat gepaard met een belangrijke volumevermeerdering (44 %) die het uiteenvallen van het beton met zich meebrengt.

Na een brand wordt daarom het beton gelegen in zones die zijn blootgesteld aan temperaturen hoger dan 300 °C verwijderd en vervangen.

Boven 1100°C begint de cementsteen (naargelang van zijn chemische samenstelling) te smelten. Over het algemeen begint portlandcementsteen te smelten bij ongeveer 1350 °C.

Interactie tussen granulaten en cementsteen

Uiteindelijk hangt de weerstand van het beton niet enkel af van het gedrag van de granulaten en de cementsteen, zoals hierboven uitgelegd, maar ook van het scheidingsvlak tussen de betoncomponenten. De interactie tussen de granulaten en de cementsteen kan fysisch (b.v. thermische incompatibiliteit) of chemisch zijn.

Fysische interacties

De cementsteen krimpt, terwijl de granulaten verder uitzetten. In welke mate dit gebeurt, hangt af van het type granulaten: de uitzetting is maximaal in het geval van graniet en minimaal in het geval van basalt (bruikbaar in tunnels). De cementsteen weet zich aan te passen aan de grote verschillen in thermische vervorming tussen cementsteen en granulaten. Dit kan niet worden verklaard op basis van elastische vervorming en klassieke kruip, want volgens die theorie zou reeds vanaf 100 °C breuk moeten optreden.

Het uitzonderlijk gedrag van beton is verbonden met de capaciteit van de cementsteen om zich aan te passen aan deze verschillen in vervormingen. Dit verschijnsel staat bekend onder de naam LITS ('load induced thermal strain') en komt neer op een relaxatie van het beton onder opgelegde vervormingen.

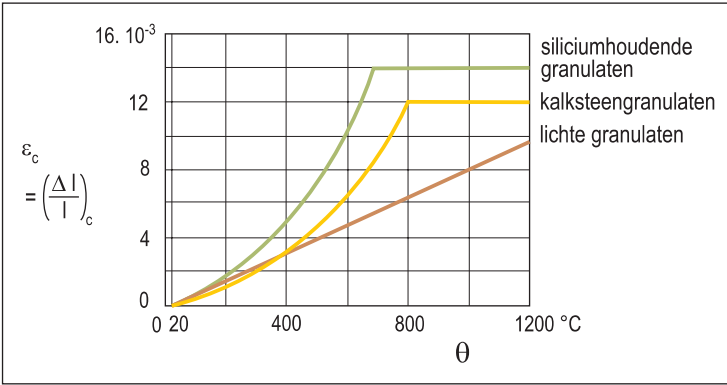


Fig. 8 -Thermische dilatatie ε_c van beton i.f.v. het type granulaten [2]

De thermische dilatatie ε_c(θ) van beton volgens het type granulaten in functie van de temperatuur wordt geïllustreerd in fig. 8.

Om differentiële dilatatie tussen cementsteen en granulaten te beperken, zal natuurlijk eerder worden geopteerd voor kalksteengranulaten (steenslag) dan voor siliciumhoudende granulaten (grind).

Tijdens de afkoeling en latere verhittingen kan de thermische incompatibiliteit enkel nog opgevangen worden door elastische vervormingen en klassieke kruip, want de voorbijgaande kruip is slechts aanwezig gedurende de eerste verhittingscyclus van beton. Van dat ogenblik af kunnen in afwezigheid van LITS inwendige spanningen optreden en grotere scheuren verschijnen tussen cementsteen en granulaten. Zij schaden de mechanische weerstand van het beton.

Door kruip zal een verhinderde uitzetting geen breuk van het beton noch van het staal veroorzaken. Het plastisch worden van beton is fundamenteel om te verklaren waarom beton in staat is om de zeer hoge drukspanningen op te nemen die ontstaan tijdens de verhitting van de betonhuid en, meer algemeen, van elk beton waarvan de vervorming verhinderd is.

Tabel 2 - Voornaamste scheikundige transformaties van hydratatieproducten in functie van de temperatuur [13]

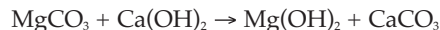
Temp.(°C)	Dehydratisering en transformaties	Scheik. reacties et rehydratisering																					
100 - 800	dehydratisering van CSH	afkoeling CaO + H₂O → Ca(OH)₂ (44 % dilatatie)																					
400 - 600	Ca(OH) ₂ → CaO + H ₂ O																						
575	kwarts α → kwarts β (5,7 % dilatatie)																						
> 700	CaCO ₃ → CaO + CO ₂																						
720	CSH → βC ₂ S + βCS + H ₂ O (*)																						
(*)																							
<table><tr><th>Naam:</th><th>Volledige formule:</th><th>Afgekorte formule:</th></tr><tr><td>kalk</td><td>CaO</td><td>C</td></tr><tr><td>silica</td><td>SiO₂</td><td>S</td></tr><tr><td>aluminiumoxide</td><td>Al₂O₃</td><td>A</td></tr><tr><td>ijzeroxide</td><td>Fe₂O₃</td><td>F</td></tr><tr><td>water</td><td>H₂O</td><td>H</td></tr><tr><td>tobermoriëtgel</td><td>gehydrat. calciumsilicaten</td><td>CSH</td></tr></table>			Naam:	Volledige formule:	Afgekorte formule:	kalk	CaO	C	silica	SiO ₂	S	aluminiumoxide	Al ₂ O ₃	A	ijzeroxide	Fe ₂ O ₃	F	water	H ₂ O	H	tobermoriëtgel	gehydrat. calciumsilicaten	CSH
Naam:	Volledige formule:	Afgekorte formule:																					
kalk	CaO	C																					
silica	SiO ₂	S																					
aluminiumoxide	Al ₂ O ₃	A																					
ijzeroxide	Fe ₂ O ₃	F																					
water	H ₂ O	H																					
tobermoriëtgel	gehydrat. calciumsilicaten	CSH																					

Tabel 3 - Kleurveranderingen van siliciumhoudend beton tijdens verhitting

300°C	normaal	onaangetast
	roze	correct uitzicht, maar belangrijke daling van de weerstand
600°C	witgrijs	zwakke weerstand, brokkelig
900°C	zeemkleurig	

Chemische interacties

Voorbeeld : onder de inwerking van de temperatuur reageert het magnesiumcarbonaat van bepaalde kalkhoudende granulaten met de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ geproduceerd tijdens de hydratatie van het portlandcement :



Deze reactie is expansief en veroorzaakt de verzwakking en dislocatie van het beton. Om dit type reactie te voorkomen,

- is het toevoegen van vliegash een oplossing. De silicaten van de vliegash reageren bij voorkeur met de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en laten de granulaten onbeschadigd; er vormt zich een extra hoeveelheid CSH, de component die het cement bindt ;
- is het beter geen dolomietgranulaten te gebruiken, daar deze veel magnesiumoxide bevatten.

Explosief afspatten van beton (« spalling »)

Dit fenomeen komt vooral voor bij balken in voorgespannen beton waar de thermische spanningen veroorzaakt door dehydratatie gesuperponeerd worden op de zeer hoge spanningen in het beton, en waar het lijf van de balk ingeklemd zit in massievere flenzen. Door een constructie-element in te klemmen worden de vervormingen van dat element belemmerd en geblokkeerd. De analyse van de stabiliteit van een constructie-element dient rekening te houden met de superpositie van deze spanningen.

Om explosief afspatten van het beton te beletten, beperkt de Eurocode de drukspanning in beton door het verplicht maken van een minimale lijfdikte in functie van de gewenste brandweerstand (zie §8.4.2). Deze verplichting is gericht op het vermijden van een brutale breuk van het balklijf.

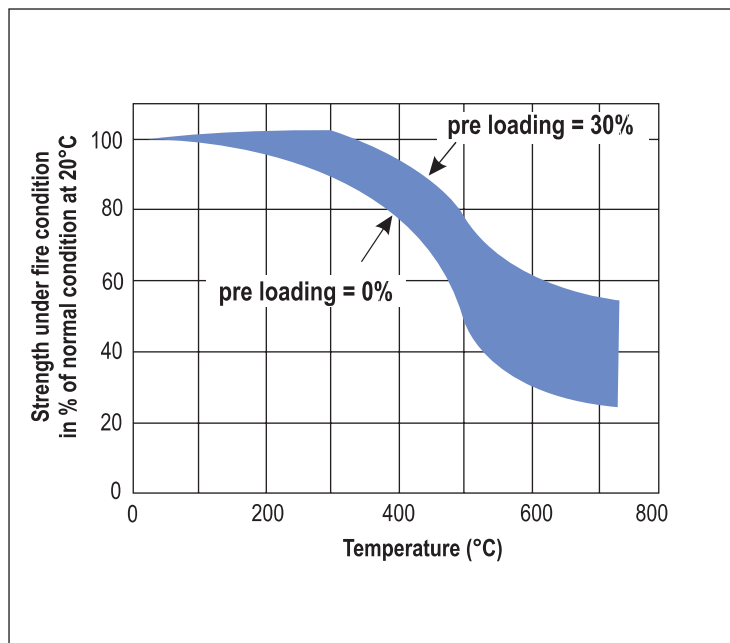
Fysisch gedrag van betonelementen

Bijvoorbeeld, in het geval van een kolom blootgesteld aan brand [4] op de vier zijden raakt het oppervlak snel verhit en het beton wil uitzetten. Zijn uitzetting wordt verhinderd door de kern van de kolom die koud blijft. Op de kern wordt trekkracht uitgeoefend en op de buitenkant van de kolom druk.

De thermische spanningen komen boven op de spanningen die resulteren uit de uitgeoefende belastingen. Als gevolg hiervan wordt de buitenlaag van het beton, waarvan de weerstand afneemt met de temperatuurverhoging, onderworpen aan zeer hoge spanningen, die de bezwijkweerstand naderen. Deze spanningen, gecombineerd met de effecten van de dehydratatie en de uitzetting van de staven, verklaren de betonscherven die bij tests werden waargenomen.

Deze scherven komen het eerst voor bij het beton dat de wapeningen van de hoeken bedekt en daarna op de zijkanten van de kolommen. Het afsplinteren veroorzaakt een vermindering van de doorsnede van het beton en een vergroting van de buiging, want de excentriciteit van de belasting wordt plaatselijk verhoogd. Wapeningen die niet langer bedekt zijn, verhitten bovendien sneller dan waar ze nog beschermd zijn door beton.

Fig. 9 - Restdruksterkte van het beton
[bron: BCA]



5..2.Reststerkte van beton en staal

Reststerkte van beton

Binnen het bestek van deze publicatie is het niet mogelijk alle parameters betreffende de reststerkte van beton na brand te behandelen. Wij vermelden enkel:

- de belasting gedurende de thermische cyclus : de aanwending van een drukbelasting gedurende verhitting en afkoeling kan de reststerkte bij druk met 30 tot 40 % verhogen voor maximumtemperaturen van 300 tot 500 °C (fig. 9). Dit geldt ook voor de weerstand tijdens de brand.
- de thermische behandeling gedurende de afkoeling: het bruusk onderdompelen (in water) van monsters verhit boven de 400 °C, kan 40 % vermindering van de reststerkte teweegbrengen in vergelijking met een geleidelijke afkoeling.

Deze verschijnselen zijn fundamenteel om de resultaten van de proeven te kunnen beoordelen. De reststerkten hebben de neiging zwakker te zijn dan de weerstanden onder hitte.

Reststerkte van de wapeningen [12]

In tegenstelling tot de eigenschappen onder hitte, is weinig aandacht besteed aan de resteigenschappen van gewone wapeningen en wapeningen met een hoge elasticiteitsgrens.

De warmgewalste Tempcore-wapeningen ($f_y = 500 \text{ MPa}$) hebben de neiging hun totale weerstand te herwinnen na een thermische cyclus tot 500 °C. Zij verliezen 30 % van hun bezwijksterkte en 40 tot 50 % van hun elasticiteitsgrens na een blootstelling aan temperaturen tot 850 °C (fig. 10).

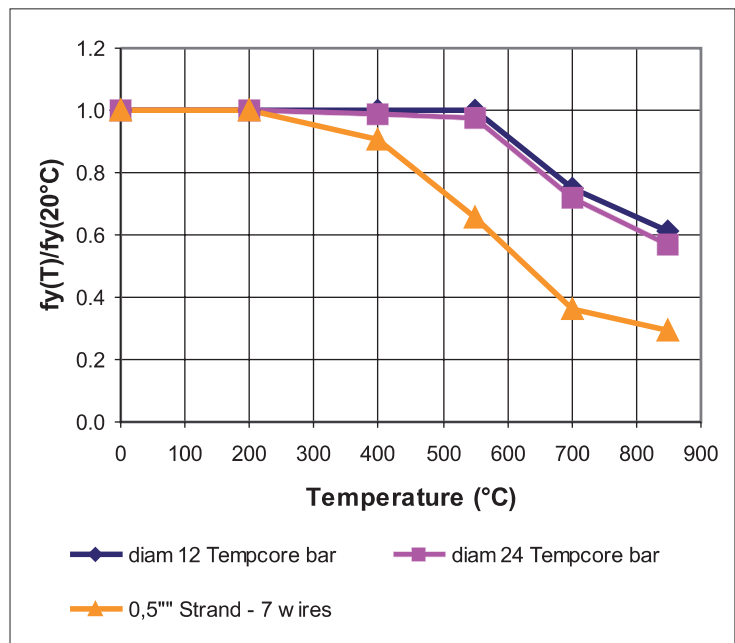
We benadrukken dat het gaat om de temperatuur van het staal en niet om de temperatuur van het betonoppervlak beschouwd in een voorbijgaande thermische cyclus zoals bij een brand.

De voorspankabels ($f_y = 1600 \text{ MPa}$) hebben de neiging 90 % van hun weerstand te herwinnen na een thermische cyclus die eindigt op 400 °C. Zij verliezen 70 % van hun bezwijkweerstand na blootstelling aan een temperatuur van 850 °C. Na hun blootstelling aan 850 °C, merken men

- een verlies van voorspanning door relaxatie van de kabels,
- een daling in de weerstand van deze kabels en
- een daling in de elasticiteitsmodulus van het beton.

De kabels leveren dan ook maar een kleine bijdrage meer aan de reststerkte van een betonelement.

Fig. 10 - Elasticiteitsgrens van enkele staaltypes in functie van de voorafgaande blootstellingstemperatuur [bron: BCA]



6. MECHANISCHE EN THERMISCHE EIGENSCHAPPEN VAN BETON EN STAAL

6.1. Normaal beton (tot C50/60)

De figuur hiernaast (fig. 11) toont de evolutie van de reductiefactor van de druksterkte in functie van de temperatuur en het gebruikte type granulaten.

In het deel 'brand' van EC2 [2] wordt gesteld dat een beton dat minstens 80 % (in massa) kalksteengranulaten bevat als een beton met kalksteengranulaten wordt beschouwd.

Bij gebruik van getabelleerde waarden (zie verder) is voor beton met normale dichtheid ($2000 \leq \rho \leq 2600 \text{ kg/m}^3$) **geen nazicht vereist** voor wat afsputten betreft. Indien de afstand van de as van de wapening tot het oppervlak groter of gelijk is aan 70 mm, moet een 'huidwapening' worden voorzien om te verhinderen dat **brokstukken neervallen**. De maaswijdte van dat net moet kleiner zijn dan $100 \times 100 \text{ mm}$, de staafdiameter is minstens 4 mm.

Worden andere rekenmethoden toegepast, dan moet wel rekening worden gehouden met het fenomeen van afsputten.

Explosief afsputten van beton is onwaarschijnlijk indien het watergehalte van het beton kleiner is dan k % van de totale betonmassa. Boven k % is het nodig om meer in detail de invloed van het vochtgehalte, het granulaattype, de doorlatendheid van het beton en de opwarmingssnelheid te bestuderen.

In ieder land dat lid is van CEN (Europees Normalisatiecomité) wordt de waarde van k vastgelegd in de Nationale Bijlage. Europees wordt de waarde 3 aanbevolen.

Men mag aannemen dat wanneer betonelementen ontworpen worden voor binnentoepassingen (omgevingsklasse EI, cfr. NBN B15-001), het vochtgehalte lager is dan k % van de massa van het beton, met $2,5 \% < k < 3 \%$.

Het is belangrijk op te merken dat "explosief" afsputten niet mag verward worden met minder belangrijke beschadigingen zoals afschilfering, afsputten ter plaatse van granulaten of afspringen van hoeken.

6.2. Hogesterktebeton (fig. 12)

De invoering van hogesterktebeton (HSB) is een nieuwigheid in EC2 en dit zowel voor het «koud» gedeelte als het «warm» gedeelte.

De klassen vermeld in het brandgedeelte van EC2 worden als volgt ingedeeld :

- klasse 1 voor C55/67 en C60/75 ;
- klasse 2 voor C70/85 en C80/95 ;
- klasse 3 voor C90/105.

Eurocode 2 'brand' bevat eveneens aanduidingen voor het nemen van speciale maatregelen met betrekking tot explosief spatten.

Voor de betonklassen C55/67 tot C80/95 volstaan de eerder vermelde regels voor normaal beton in zoverre het gehalte *silica fume* lager blijft dan 6 % van de cementmassa. Voor hogere gehalten *silica fume* zijn de regels voor de betonklassen $80/95 < C \leq 90/115$ van toepassing.

Door de begrenzing van het HSB tot de sterkteklasse C80/95 met een maximum gehalte *silica fume* gelijk aan 6 % van de cementmassa, kan afgezien worden van het gebruik van monofilament polypropyleenvezels, in overeenstemming met EC 2 'brand' [2].

De brandweerstand van de kolommen in HSB van de North-Galaxy-torens te Brussel (zie foto) werd aangetoond met het programma SAFIR van de Universiteit van Luik (ULg), een geavanceerd rekenpakket.

Het gebruik van prefabelementen in torengebouwen bevestigt de voordelen ten opzichte van andere systemen :

- waarborg van een brandweerstand van 2 uur zonder bijkomende bescherming ;
- snelheid van uitvoering ;
- beperkte vervorming van de vloeren ;
- betere akoestische isolatie van de vloeren ;
- competitieve kostprijs.

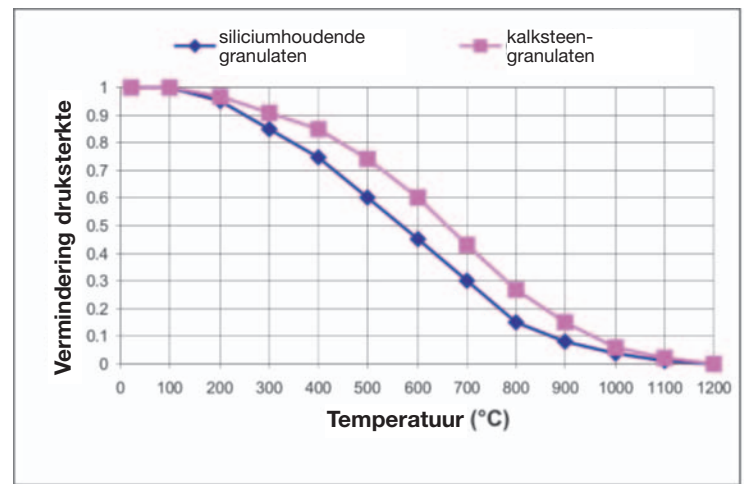


Fig. 11 - Reductie van de druksterkte van het beton in functie van temperatuur en type granulaten, volgens NBN EN 1992-1-1:2005

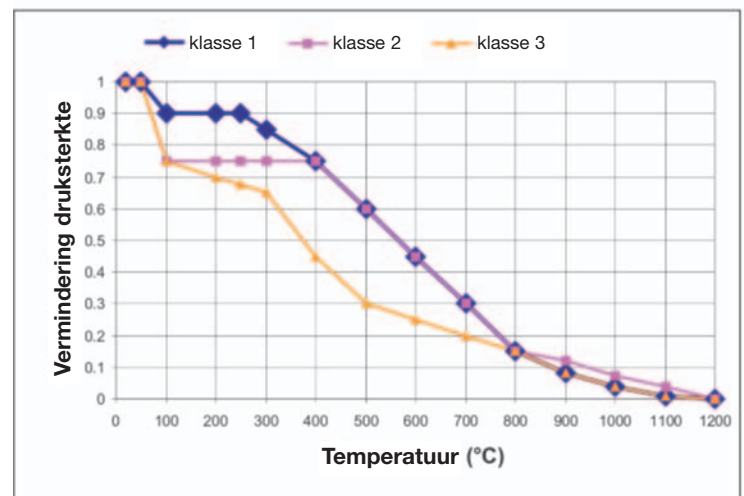


Fig. 12 - Reductie van de druksterkte van hogesterktebeton volgens EC2 'Brand'. De klassen zijn functie van de druksterkte. [2]

North-Galaxy-torens te Brussel [bron: ERGON].



Voor de betonklassen $80/95 < C \leq 90/115$ kan explosief afspatten optreden in alle situaties waarbij het beton blootgesteld is aan brand. Tenminste één van de volgende maatregelen moet toegepast worden [2] :

– *Methode A* : een wapeningsnet aanbrengen met een nominale betondekking van 15 mm. De draden van het net hebben een diameter van tenminste 2 mm en de mazen zijn hoogstens 50 mm x 50 mm. De nominale betondekking van de hoofdwapening moet minstens gelijk zijn aan 40 mm.

We raden deze methode af omdat het moeilijk is een dergelijk net op zijn plaats te houden bij het storten van het beton. Het net kan zich dan dicht tegen het oppervlak bevinden in de 20 mm dikke randlaag met de bijhorende risico's ten aanzien van carbonatatie. De voorgeschreven nominale betondekking is kleiner dan deze vereist volgens EN 1992-1-1 voor alle milieuklassen.

– *Methode B* : een betontype gebruiken waarvoor is aangetoond (door lokale ervaring of door proeven) dat er geen afspatgevaar is bij blootstelling aan brand.

– *Methode C* : beschermende bekledingen gebruiken waarvoor is aangetoond dat er geen afspatgevaar is bij blootstelling aan brand.

– *Methode D* : een beton gebruiken dat minstens 2 kg monofilament polypropyleenvezels bevat per m³.

Deze laatste methode wordt aanbevolen, indien methodes B en C niet kunnen ingeroepen worden.

6.3. Vergelijking staal en beton

De sterkteafnames van beton en staal, in overeenstemming met EC 2 'brand' [2], zijn hieronder uitgezet in eenzelfde grafiek (fig. 13). Voor het staal werd curve 3 gekozen (staalvervorming kleiner dan 2 %).

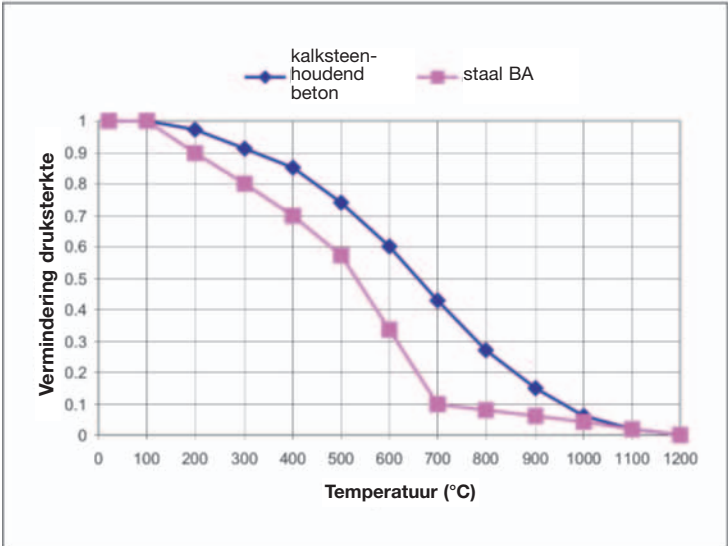
De stijfheidsafnames van beton en staal zijn eveneens samengebracht in eenzelfde grafiek (fig. 14).

Wat in deze grafiek opvalt, is dat de stijfheidsafname meer uitgesproken is voor beton dan voor staal ! Hierdoor kan beton, zoals reeds eerder vermeld, relatief gemakkelijk spanningen opvangen die het gevolg zijn van vervormingsverhindering ("blokkering" door naburige constructie-elementen).

Deze belangrijke afname van de elasticiteitsmodulus van beton bij hoge temperatuur beïnvloedt relatief weinig de stijfheid van beton-elementen onderworpen aan druk, vermits enkel de eerste centimeters onder het oppervlak worden aangetast.

Staal daarentegen heeft een thermische diffusiviteit die 25 maal hoger is dan deze van beton (zie §7). Dit gecombineerd met de zeer lage massiviteit van staalprofielen beïnvloedt in grote mate het knikgedrag van stalen elementen (zie foto).

Fig. 13 - Reductie van de druksterkte van beton en staal



6.4. Sterkte van voorspanstaal

Bij voorspanstaal gaat de sterkteafname veel vlugger dan bij betonstaal. Dit verklaart ondermeer de grotere vereiste betondekking bij toepassing van de getabelleerde waarden (§8.4.4) met betrekking tot gewone staalsoorten:

- 10 mm voor voorspanstaven ;
- 15 mm voor strengen.

Klasse B beantwoordt aan één van de veiligheidscategorieën. Elk land mag zijn veiligheidskeuze bepalen: het veiligheidsniveau is wel degelijk een nationale bevoegdheid. Op Belgisch niveau zal de categorie binnenkort vastgelegd worden.

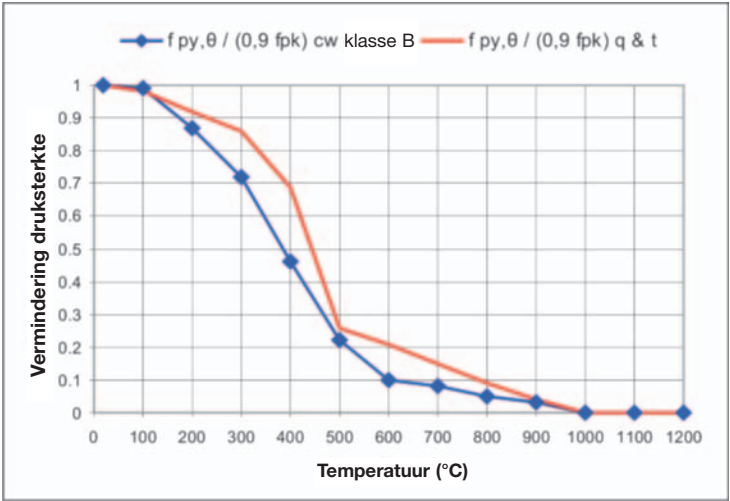


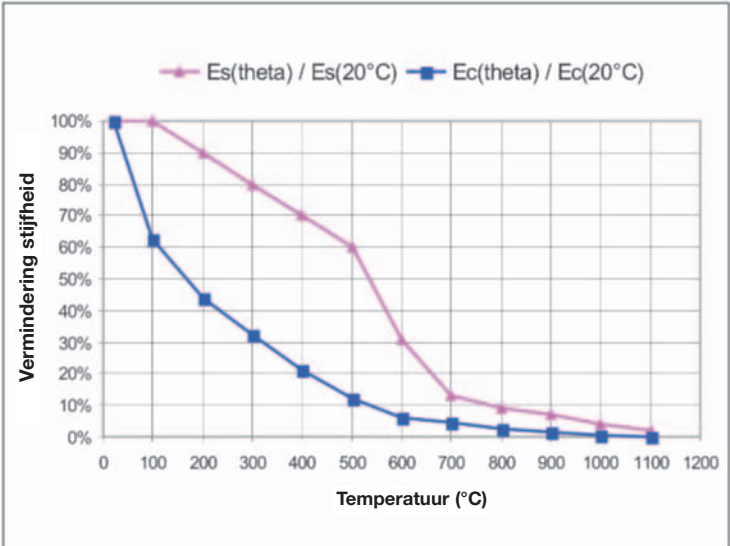
Fig. 15 - Reductiefactor $k_p(\theta)$ van toepassing op de karakteristieke sterkte $\beta \cdot f_{pk}$ van voorspanstaal [2]

- curve $f_{py,\theta} / (0,9 f_{pk})$ cw class B :
koudgetrokken voorspanstaal (strengen en draden) klasse B
- curve $f_{py,\theta} / (0,9 f_{pk})$ q & t :
afgeschrikt en onthaal voorspanstaal (staven)

Knik bij staalprofielen.



Fig. 14 - Afname van de stijfheid van beton en staal [bron: FEBELCEM]



(*) ontvlammings temperatuur ('vlampunt')

8. NAZICHT VAN DE BRANDWEERSTAND :
BEREKENING

8.1. Mechanische belasting

De normale ('koude') belastingscombinatie 1,35G + 1,5Q

wordt in het geval van brand G + ψ_iQ + A_d

waarbij :

ψ_i = 0,5 voor privé gebouwen, residentiële gebouwen en kantoor-
gebouwen ;
0,7 voor handelsgebouwen en publiek toegankelijke gebou-
wen ;
0,9 voor opslagplaatsen (bibliotheken...)

G = eigengewicht ;

Q = nuttige belasting ;

A_d = rekenwaarde van de indirecte thermische belasting tengevolge
van vervormingsverhinderend bij brand.

De maximumverhouding tussen de combinaties van belasting onder
hitte en onder koude is 0,7. De meeste getabelleerde waarden zijn
gebaseerd op de belastingverhouding η_{ti}=0,7.

8.2. Veiligheidscoëfficiënten voor de materialen staal en
beton

Tabel 5 - Veiligheidscoëfficiënten voor materialen

	Koud	Warm
Beton	1,76 (*)	1
Betonstaal	1,15	1
Constructiestaal	1,1 (**)	1
(*) 1,76 = 1,5 / 0,85 (**) volgens ENV 1993-1-1 NAD (1995)		

8.3. Drie methodes, drie berekeningsniveaus

Het is belangrijk dat architecten en voorschrijvers het onderscheid
kunnen maken tussen de drie beschikbare methodes, die elk met een
berekeningsniveau overeenstemmen. Enkel op methode 1 zal nader
ingegaan worden. Deze methode is zeer doelgericht en eenvoudig
van toepassing voor betonconstructies. Voor de andere methodes
wordt verwezen naar de vakliteratuur [10] of rechtstreeks naar NBN
EN1992-1-2 [2].

In het deel brand van de verschillende Eurocodes, worden drie types
rekenmodellen vermeld voor de berekening van de brandweerstand
van constructies [10]. Op federaal niveau werd reeds een tekst opge-
steld betreffende de aanvaarding van rekennota's, opgesteld volgens
de verschillende methodes, door de bevoegde autoriteiten. In de toe-
komst zal deze tekst het onderwerp zijn van een koninklijk besluit
[18]. Hierna volgen de 3 methodes in stijgende orde van com-
plexiteit :

Niveau 1 : nazicht op basis van getabelleerde waarden

Het gebruik van deze methode valt onder de verantwoordelijkheid
van het studiebureau, met toezicht van de gemeente, die op haar
beurt beroep doet op het advies van de brandweerdiensten.

Het deel 1-2 van Eurocode 2 laat toe een nazicht uit te voeren van
balken, kolommen, wanden en platen in gewapend of voorgespan-
nen beton en dit voor een ISO-brand. Deze norm is gebaseerd op
tabellen (*tabulated data*) waarin minimale afmetingen van de dwars-
doorsnede en van de asafstand (*axis distance*) van de wapening tot
het dichtste betonoppervlak, zijn opgenomen. De waarden in deze
tabellen werden hetzij berekend na kalibratie van de materiaalkar-
acteristieken en de rekenmethodes, hetzij afgeleid van empirische for-
mules gekalibreerd op basis van proefresultaten.

Deel 1-2 van de Eurocode 'metselwerk', geeft de minimum dikte
voor wanden in functie van het type blokken dat gebruikt wordt
(*tabel 1*).

Het opnemen van de belastingsgraad als parameter in sommige
tabellen voor wanden en kolommen van gewapend of voorgespan-
nen beton, laat toe de resultaten te verfijnen.

Dit type nazicht wordt beschouwd als zijnde even toegankelijk als
een berekening bij normale temperatuur.

Niveau 2 : vereenvoudigde rekenmodellen

Het gebruik van deze methode valt eveneens onder de verantwoor-
delijkheid van het studiebureau, met toezicht van de gemeente, die
op haar beurt steunt op het advies van de brandweerdiensten, en op
basis van conformiteitsattesteringen :

ofwel is het studiebureau gecertificeerd door een certificatie-orga-
nisme geaccrediteerd door BELAC (EN 45013) en attesteert het zelf
de conformiteit van zijn rekennota's ;

ofwel is het studiebureau niet gecertificeerd en moet de conformiteit
geattesteerd worden door een certificatie-organisme geaccrediteerd
door BELAC (EN 45004).

Bij een meer gedetailleerde berekening op niveau 2 wordt dezelfde
werkwijze gebruikt als voor het ontwerp bij normale temperatuur.
Bijkomend moet het sterkteverlies van het beton en staal in functie
van de temperatuur ingevoerd worden. De betreffende temperaturen
worden voor een ISO-brand bepaald aan de hand van grafieken of
door middel van een rekenprogramma voor de thermische analyse
van een dwarsdoorsnede. Indien de rekenwaarde van de weerstand-
biedende snedekrachten minstens gelijk is aan die van de aangrijpen-
de snedekrachten, zal het constructie-element bijgevolg een brand-
weerstand hebben die minstens gelijk is aan de vereiste waarde.

Niveau 3 : geavanceerde rekenmodellen

De rekennota's die beroep doen op geavanceerde modellen worden
door de afwijdingscommissie van de FOD Binnenlandse Zaken
slechts geval per geval goedgekeurd.

Voor de toepassing van deze geavanceerde rekenmethodes is het
gebruik van gesofisticeerde rekenprogramma's noodzakelijk, waar-
voor echter een grondige achtergrondkennis vereist is. Deze model-
len laten ook toe een thermische analyse uit te voeren van elementen
onderworpen aan een natuurlijke brand. De thermische belasting
kan gekoppeld worden aan een mechanische analyse van de volledi-
ge constructie door gebruik te maken van de eindige-elementenme-
thode. Hierbij moeten grote verplaatsingen beschouwd worden, ten-
einde tweede-orde-effecten op een realistische manier in rekening te
brengen. Hiervoor kan ondermeer de SAFIR *software* van de
Universiteit van Luik gebruikt worden.

Bij de eerste twee methodes wordt beroep gedaan op de ISO- opwar-
mingscurve. Enkel de methode van niveau 3 laat toe andere opwar-
mingsvoorwaarden in rekening te brengen. Daarenboven moet reke-
ning gehouden worden met de detailleringsregels zoals vermeld in
de Eurocodes.

De methode van **niveau 1** laat een **direct nazicht** toe van betonbal-
ken en -platen. In het kader van een voorontwerp kan als conserva-
tieve benadering de belastingsgraad worden gelijkgesteld aan 0,7.
De methode levert **rechtstreeks de minimum afmetingen** op van de
dwarsdoorsnede van kolommen of de dikte van muren.

De methodes van niveau 2 en 3 laten toe de resultaten te verfijnen en
eventueel de structurele reserves tengevolge van hyperstaticiteit in
rekening te brengen, zoals bijvoorbeeld de continuïteit van de
bovenwapening ter plaatse van tussensteunpunten en de gunstige
membraneffecten in monolitische betonplaten.

De ontwerpers van staalconstructies en van gemengde staal-beton-
constructies baten deze laatste aspecten maximaal uit bij het aant-
onen van de brandweerstand van dergelijke constructies.

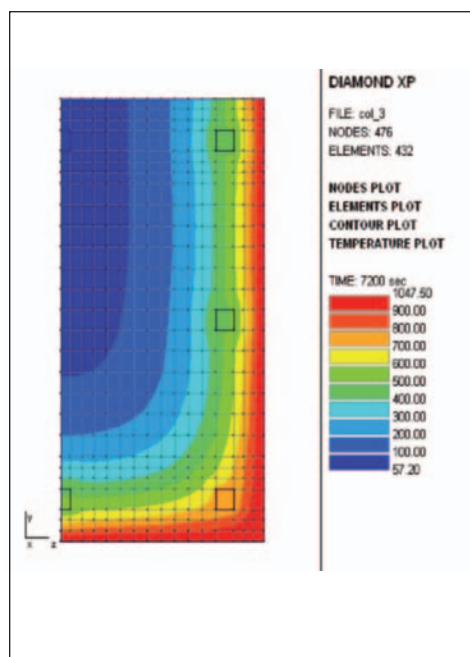


Fig. 17 - Bepaling van de temperatuur (rechthoekige balk) met behulp van een computerprogramma, gevolgd door een mechanische berekening – software SAFIR (ULg)

Fig. 18 - CIMFEU is een voorbeeld van gebruiksvriendelijke software voor brandberekening (volgens Franse DTU - 'Documents Techniques Unifiés')

De verschillende rekenmethodes voor de brandweerstand zijn :

- de classificatie gebaseerd op de standaard ISO-curve ;
- de parametrische branden ;
- de natuurlijke brandcurves gekoppeld aan reductiecoëfficiënten op de brandlast ; deze benadering is een onderdeel van *Fire Safety Engineering* (FSE).

De methodes leiden niet tot hetzelfde veiligheidsniveau !

Eigenaars en verzekeringsmaatschappijen moeten er zich van bewust zijn dat betonconstructies normaal gezien geklasseerd worden op basis van de standaard ISO-curve. Ze zijn robuust, kunnen na een brand hersteld worden en het is mogelijk veranderingen aan te brengen gedurende de levensduur van het gebouw.

De kritische temperatuur voor staalconstructies zonder brandbescherming bedraagt volgens de Europese voornormen 540 °C. Voor staalprofielen wordt deze temperatuur bereikt binnen 10 tot 15 minuten, afhankelijk van de massiviteit van de elementen. Hun stabiliteitslimiet wordt dan bereikt bij een belastingsgraad van 0,7. Daarom werden door de staalindustrie rekenmethodes

ontwikkeld om aan te tonen dat de werkelijk optredende temperaturen veel lager zijn dan deze volgens de ISO-curve. De staalsector toont ook aan dat de mechanische belastingen kleiner kunnen zijn dan deze vereist voor een standaard classificatie volgens de ISO-curve. De houtindustrie deelt deze visie.

Zelfs indien aan de eisen kan worden voldaan door parametrische curven te gebruiken of door FSE, **dan nog verkrijgen eigenaars van gebouwen voor eenzelfde kostprijs een hogere veiligheid en flexibiliteit indien ze voor beton kiezen** met een standaard classificatie.

De meest geavanceerde versie van FSE houdt met behulp van reductiefactoren rekening met de acties van gebruikers en hulpdiensten, met sprinklers, alarmsystemen, enz. om een inherent gebrek aan brandweerstand te compenseren.

Deze hulpmiddelen zijn relatief nieuw [26] en **enkel zeer gekwalificeerde en geoefende personen mogen ze gebruiken**.

Om de voordelen ervan te kunnen benutten moet daarenboven een afwijking aangevraagd worden bij de bevoegde instanties.

EC2 'brand' [2] geeft getabelleerde waarden voor kolommen, balken, platen, dragende en niet-dragende wanden.

8.4.1. Toepassingsgebied

- De tabellen gaan tot genormaliseerde brandweerstanden van 240 minuten.
- De volumemassa van het beton moet begrepen zijn tussen 2000 en 2600 kg/m³.
- In het geval van kalksteengranulaten mogen de minimale dwarsafmetingen gereduceerd worden met 10 %, behalve voor kolommen.
- Bij het gebruik van deze methode moet geen bijkomend nazicht gebeuren van wringing, dwarskracht, verankering van de wapening en explosief afspringen. Wel moet de regel betreffende de 'huidwapening' (zie §6.1) gerespecteerd worden. Merk op dat dwarskrachtbreuken bij brand zeer zeldzaam zijn.
- Bij het gebruik van HSB (sterkteklassen hoger dan C50/60) moet er op gelet worden dat het gebruik van de tabellen onderworpen is aan de toepassing van bijkomende regels.

In de tabellen staan aanduidingen van het type 200/35, dit in functie van de vereiste brandweerstand en eventueel van de betreffende belastingsgraad. Het eerste getal geeft de minimaal vereiste dwarsdoorsnede van het element ($b_{\min}$). Het tweede getal is de minimaal vereiste waarde van a , de afstand tussen de as van de langswapening en het dichtstbijzijnde betonoppervlak.

Verscheidende combinaties van minimale afmeting en asafstand worden voorgesteld. Een doorsnede met een grotere afmeting kan overeenkomen met een geringere dekking en omgekeerd. In een massievere doorsnede kan de warmte immers overgedragen worden naar de kern van de doorsnede in plaats van zich op te stapelen in de perifere zone, waar de wapeningen liggen.

De asafstand a is een nominale waarde. De hiermee verbonden nominale betondekking is dus gelijk aan $a \cdot \Phi / 2$ (met Φ de staafdiameter), eventueel te vermeerderen met de diameter van de beugel. De betondekking die op de plannen aangeduid staat, is een nominale waarde en komt overeen met de hoogte van de afstandhouders. Ze is de som van de minimum dekking en de tolerantietoeslag (klassieke waarden zijn 10 mm voor ter plaatse gestort beton en 5 mm voor beton geprefabriceerd in een fabriek). Er mag 5 mm afgetrokken worden voor hogesterktebeton en voor platen (zie EN 1992-1-1 [1]). De minimum betondekking is gerelateerd aan de omgevingsklassen (cfr. NBN B15-001).

Voor elk type structuurelement vermeldt de norm de toepassingsvoorwaarden van de tabellen.

8.4.3. Isostatische balken

Specifiek voor I-balken geldt dat, wanneer de breedte b van de hiel groter is dan 1,4 keer de werkelijke dikte van het lijf, en wanneer deze hiel onvoldoende massief is, de waarden voor a (afstand tot de aslijn) uit *tabel 6* moeten verhoogd worden volgens de formule uit EC2 'brand' [2].

Tabel 6 - Minimale afmetingen en afstanden vanaf de as van de wapening tot aan het oppervlak in het geval van eenvoudig opgelegde balken in gewapend en voorgespannen beton, zonder steunpuntmoment [2]

Standaard brandweerstand	Minimale afmetingen (mm)						
	Mogelijke combinaties van a en $b_{\min}$ met a = gemiddelde asafstand van de wapening tot het oppervlak en $b_{\min}$ = balkbreedte				Minimale lijfdikte b_w van de balk		
					Klasse WA	Klasse WB	Klasse WC
1	2	3	4	5	6	7	8
R 30	$b_{\min} = 80$ a = 25	120 20	160 15 (*)	200 15 (*)	80	80	80
R 60	$b_{\min} = 120$ a = 40	160 35	200 30	300 25	100	80	100
R 90	$b_{\min} = 155$ a = 55	200 45	300 40	400 35	110	100	100
R 120	$b_{\min} = 200$ a = 65	240 60	300 55	500 50	130	120	120
R 180	$b_{\min} = 240$ a = 80	300 70	400 65	600 60	150	150	140
R 240	$b_{\min} = 280$ a = 90	350 80	500 75	700 70	170	170	160

$a_{sd} = a + 10 \text{ mm}$
 a_{sd} is de afstand van de as van de wapening tot het oppervlak van de balk in het geval van hoekstaven (of strengen en draden) in balken met één wapeningslaag. Indien $b_{\min}$ groter is dan de waarde opgegeven in kolom 4, moet a_{sd} niet vermeerderd worden.

In het geval van voorgespannen balken moet de vermeerdering van de afstand van de as van de wapening tot het oppervlak beantwoorden aan § 8.4.3.

(*) Normaal is de betondekking vereist door EN 1992-1-1 bepalend.

8.4.4. Asafstand

- In het geval van **meerdere wapeningslagen** (zoals in balken) wordt a vervangen door a_m corresponderend met het zwaartepunt van de wapening. Iedere staaf moet echter ook voldoen aan een minimum waarde voor a [2].
- In het geval van balken met één wapeningslaag, moet de waarde a voor hoekstaven verhoogd worden met 10 mm ten opzichte van de waarden vermeld in de tabellen.
- De tabellen zijn gebaseerd op een 'kritische' staaltemperatuur :
 - 500 °C voor betonstaal,
 - 400 °C voor voorspanstaven,
 - 350 °C voor voerspandraden en -strengen. Dit verschil in kritische temperatuur kan worden vertaald in een grotere betondekking in het geval van voorspanning. Zo kunnen dezelfde tabellen worden gebruikt voor voorspanstaal, mits a wordt vermeerderd met 10 mm voor voorspanstaven en met 15 mm voor voerspandraden en -strengen.

Aanpassing van de asafstand : **wanneer voor balken en platen de geplaatste wapeningsdoorsnede groter is dan de berekende waarde in koude toestand en voor een belastingsgraad η_{tr}** , voorziet EC2 een eenvoudige werkwijze op basis van de kritische temperatuur. Voor eenvoudig opgelegde elementen onderworpen aan buiging, kan aldus de asafstand gegeven in de tabellen, verminderd worden.

8.4.5. Doorlopende liggers

Zoals voor isostatische balken geeft EC2 een tabel met gereduceerde asafstanden a .

We beperken ons tot het vermelden van het belang om bij doorlopende liggers een deel van de bovenwapening die nodig is ter plaatse van de steunpunten, te laten doorlopen over de volledige overspanningen, teneinde het optreden van negatieve momenten te kunnen opvangen (fig. 20). Deze treden op in de overspanningen tengevolge van de thermische gradiënten over de dwarsdoorsneden.

8.4.6. Platen

Figuur 19, ontleend aan EC2, geeft de temperatuursverdeling voor een ééndimensionale warmteflux, zoals die voorkomt in platen. Dezelfde curven worden toegepast voor holle vloerplaten, doorgaans ook welfsels genoemd.

EC2 'brand' biedt tabellen voor :

- platen eenvoudig steunend op lijnvormige opleggingen in één of twee richtingen, zonder oplegmoment, in gewapend of voorgespannen beton ;
- doorlopende platen ;
- platen rustend op kolommen ;
- platen geribd in één of twee richtingen. Bijvoorbeeld, een cassettevloer is een geribde plaat met ribben en onderwapeningen in de twee draagrichtingen.

8.4.7. Kolommen

Voor het nazicht van de brandweerstand van kolommen zijn twee methodes vermeld, aangeduid met A en B. Beide methodes kunnen zonder onderscheid gebruikt worden in hun toepassingsgebied. Er wordt rekening gehouden met :

- de lengte en de slankheid van de kolom ;
- de belastingsgraad ;
- de eerste-orde excentriciteit ;
- de betonsterkte ;
- de wapening ;
- de asafstand van de wapening tot het oppervlak.

De getabelleerde waarden zijn enkel geldig voor geschoorde constructies. Kolommen in een gebouw, die platen dragen die verbonden zijn met een centrale kern, worden als geschoord beschouwd.

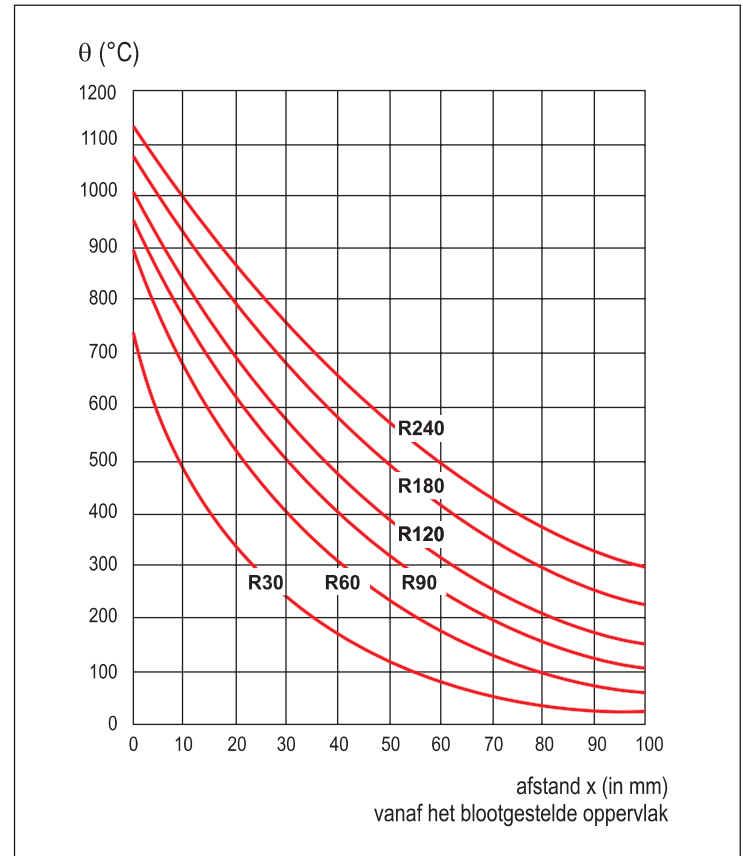


Fig. 19 - Temperatuurverdeling in platen voor R30 tot R240 (dikte $h = 200$ mm) [2]

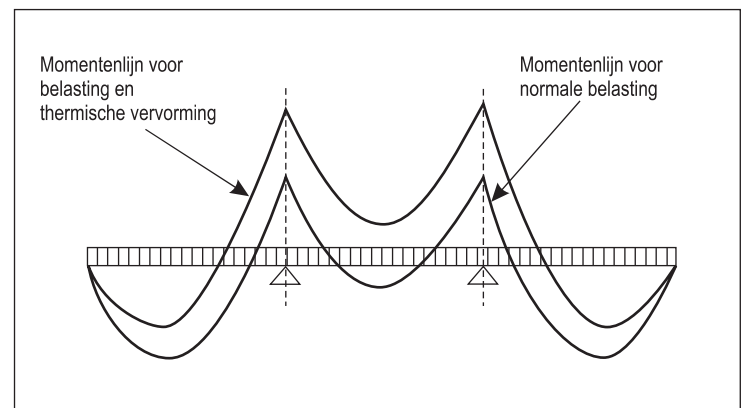


Fig. 20 - Toename van de steunpuntmomenten in het geval van doorlopende structuren [11]

8.4.8. Wanden

EC2 'brand' geeft tabellen op voor :

- dragende wanden ;
- niet-dragende wanden (EI-eis) ;
- brandwerende wanden (bijkomende eis van schokbestendigheid).

WAAROM KIEZEN VOOR EEN BETONCONSTRUCTIE ?

Beton wordt voorgeschreven in gebouwen en civieltechnische projecten om verschillende redenen : kostprijs, uitvoeringssnelheid, esthetiek of architecturale aspecten. Nochtans is één van de voornaamste inherente voordelen van beton zijn gedrag bij brand en dit zonder meerkost. Dit kan een doorslaggevende beslissingsfactor zijn bij de conceptie van een project.

Beton en betonconstructies vertonen een aantal kenmerken die bijzonder gunstig uitvallen :

- Beton is, samen met metselwerk, het enige dragende materiaal dat in staat is om weerstand te bieden aan een brand **zonder bijkomende bescherming** van welke aard ook, zoals een bekleding met een pleisterlaag of een schuimvormende verf. De eigenschappen die het brandgedrag gunstig beïnvloeden, wijzigen niet in de tijd. Ze zijn **van blijvende aard** zonder dat bijkomende uitgaven voor onderhoud nodig zijn. Eenvoudigweg voor beton kiezen is een belangrijk element in het kader van preventieve maatregelen tegen brand ;
- Beton biedt de vereiste brandweerstand op een economische wijze: het volstaat meestal om de betondekking op de wapening en de minimum afmetingen die in tabellen van berekeningsnormen opgenomen zijn, te respecteren. Door het toepassen van deze eenvoudige methode met tabellen moet men geen beroep doen op de ingewikkelde technieken van de *Fire Safety Engineering* ;
- Dragende structuren in beton bieden een zeer grote brandweerstand. Aldus wordt in hoge gebouwen met verschillende verdiepingen het **risico** voor de bewoners en de brandweerdiensten **sterk gereduceerd**. Deze laatste kunnen in het gebouw doordringen en van dichtbij op een efficiënte wijze tussenkomen ;
- Dankzij hun **thermische inertie** en hun **massiviteit** kunnen betonelementen, in tegenstelling tot staalprofielen, zeer lang weerstand bieden aan hoge temperaturen, met een minimum aan vervormingen. Wapeningsstaal gelegen op een diepte van 3,5 cm, bereikt slechts na 2 uur de kritische temperatuur van 500 °C. Beton met lichte granulaten kan aan nog strengere eisen beantwoorden en vormt aldus een efficiënte afscherming tegen branduitbreiding ;
- De hoge thermische inertie van betonwanden is ook bijzonder interessant om de **vlamoverslag** (*'flashover'*) te vertragen ;
- Beton is **niet brandbaar** : er komt niets van los, er druipst niets van af, het smelt niet. Vuur kan zich niet via beton voortplanten, er komen geen rook of toxische gassen vrij, zelfs niet bij de meest extreme temperaturen ;

- Brandmuren combineren op harmonieuze wijze **brandweerstand, akoestische isolatie en thermische inertie**. De compartimentering van grote ruimtes met wanden en vloeren in beton reduceert het risico op een *total loss* door brand. Deze scheidende elementen, evenals trapkokers in beton, waarborgen **veilige, eenvoudige en economische vluchtwegen** ;
- Betonconstructies bieden door hun intrinsieke brandweerstand een **grotere architecturale vrijheid**. De brandweerstandseisen wegen zwaar door bij andere materialen die moeten beschermd worden met behulp van bekledingen, of die moeten gecombineerd worden met actieve beschermingsmaatregelen waarvan bij beton geen last heeft. Op die manier kan de ontwerper zich volledig toeleggen op het architecturaal concept ;
- Dragende betonelementen beschikken over het algemeen over een **reserve aan brandweerstand**, die bijvoorbeeld van pas kan komen wanneer het gebouw een andere bestemming krijgt, zoals dikwijls het geval is ;
- De uitstekende eigenschappen van beton bij brand worden naar waarde geschat door de verzekeraars van immobiëlen : betonconstructies genieten de **voordeligste verzekeringspremies** ;
- Beton ondervindt **geen last van bluswater**, dat soms in grote hoeveelheden gebruikt wordt ;
- Bij compartimentering van ruimtes belet beton de voortplanting van branden en reduceert aldus de **milieu-impact**. Beton dat blootgesteld wordt aan brand genereert geen toxische stoffen ;
- Door de bescherming die beton biedt, zorgt het voor de **continuïteit van activiteiten** in installaties die van vitaal belang zijn. Het beschermt eveneens de plaatsen waar ons cultureel erfgoed is ondergebracht ;
- Het gebruik van geprefabriceerde betonelementen laat een **snelle uitvoering** toe ;
- Betonvloeren vertonen zeer **beperkte vervormingen** in vergelijking met andere materialen ;
- Betonelementen kunnen na brand meestal **eenvoudig en goedkoop hersteld** worden.

HERSTELLING VAN STRUCTUREN – LESSEN UIT BRANDEN

LDe *'Concrete Society'* (UK) heeft in Groot-Brittannië meer dan 100 verschillende betonconstructies onderzocht die door brand waren beschadigd [6][8].

Dit leverde gedetailleerde informatie op inzake prestaties, evaluatie en herstelling. De studie behelsde zowel woningen, kantoren, opslagplaatsen, fabrieken als parkings. Het betrof gebouwen met één of meerdere verdiepingen. De onderzochte constructietypes omvatten zowel paddestoelvloeren en andere vloeren op een balkenrooster, als balken en kolommen. De constructie was uitgevoerd in prefab of ter plaatse gestort beton, gewapend of voorgespannen.

Het onderzoek naar beschadigingen en herstellingen leidde tot de volgende conclusies :

- het merendeel van de structuren werd hersteld. Sommige bleken herstelbaar, maar werden toch afgebroken om andere redenen dan de schade tengevolge van de brand ;
- bijna alle structuren gedroegen zich goed tijdens en na de brand.

Algemeen kunnen betonconstructies na brand hersteld worden. Constructies op basis van andere materialen zouden meestal onherroepelijk beschadigd zijn, zelfs bij lage brandlasten..

BIBLIOGRAFIE

- [1] NBN EN 1992-1-1 : 2005 Eurocode 2 : Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1 : Algemene regels en regels voor gebouwen
- [2] NBN EN 1992-1-2 : 2005 Eurocode 2 : Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-2 : Algemene regels – Ontwerp en berekening van constructies bij brand
- [3] NBN EN 13501-1:2002 : Vuurindeling van bouwwaren en bouwdelen – Deel 1 : Indeling berustend op uitkomsten van de proeven op de tegenwerking tegen vuur van bouwwaren
- [4] BRÜLS A. ; VANDEVELDE P.
Brandveiligheid in gebouwen. Deel 1 : passieve beveiliging
ISIB, mei 2000
- [5] DOTREPPE J.C. ; BRÜLS A.
Résistance au feu des constructions, application des Eurocodes dans le cadre de la formation « Fire Safety Engineering »
2000
- [6] *Concrete and Fire, using concrete to achieve safe, efficient buildings and structures*
The Concrete Centre, 2004
www.concretecentre.com
- [7] GULVANESEAN H. ; CALGARO J.A. ; HOLICKY M.
Designers' Guide to EN 1990 Eurocode : Basis of structural design
2002
- [8] *Assessment and repair of fire-damaged concrete structures*
Technical Report n° 33
Concrete Society, 1990
- [9] PICARD Y.
Construction et incendie : les solutions
Les constructions privées et industrielles, les infrastructures
Evolution de la réglementation belge en matière de sécurité incendie
Studiedag AILG 19 november 2004
- [10] MARTIN Y.
La résistance au feu des constructions et les Eurocodes, 1^{ère} partie
Magazine CSTC, 3^{ème} trimestre 2001
- [11] Modelcursus 'Ontwerpen van constructies in prefab beton' -
Les 10 : Brandweerstand van geprefabriceerde betonnen constructies
Brussel : FEBE, 2005
- [12] BAMONTE P. ; FELICETTI R. ; GAMBAROVA P.G. ; MEDA A.
Guidelines for Structural Design of Concrete Buildings Exposed to Fire, Expertise and assessment of structures after fire
Milan University of Technology & University of Bergamo
(to be published)
- [13] *Fire Design of Concrete Structure, Material, Structures and Modeling, Guide to good Practice*
FIB
(to be published)
- [14] *Sécurité incendie*
Collection Memento acier, 2002
- [15] *Beton en brand*
Brussel : FIC (FEBELCEM), oktober 1981
- [16] *Beton en brand : schademechanisme bij brand – afspatten : fenomeen en hoe voorkomen*
Magazine nr. 169
Brussel : NVBB (ANPI), maart 2004
- [17] *Le comportement au feu des structures*
Commission nationale de recherches – incendie
29 mei 1975
- [18] SPEHL P.
Appropriation des Eurocodes faite en Belgique
Studiedag LCPC
Parijs : 13 juni 2005
- [19] http://www.bbri.be/antenne_norm/brand/dutch/home/norm_and_regl/norm_europe/index.html
- [20] Beschikking van de Commissie van 3 mei 2000 ter uitvoering van Richtlijn 89/106/EEG van de Raad inzake de indeling van voor de bouw bestemde producten, bouwwerken en delen daarvan in klassen van materiaalgedrag bij brand (2000/367/EG) (zie [19])
- [21] Beschikking van de Commissie van 8 februari 2000 ter uitvoering van Richtlijn 89/106/EEG van de Raad wat de indeling van voor de bouw bestemde producten in klassen van reactie bij brand betreft (2000/147/EG) (zie [19])
- [22] GOFFINET D.
Evaluation du risque d'incendie dans les bâtiments à appartements multiples
Eindwerk
Brussel : ECAM, 2004
- [23] *Bedrijf Industrial News* nr. 3031, november 2004
- [24] *Europese testmethoden en classificatie van de brandreactie van bouwproducten*
WTCB Tijdschrift, zomer 2003
- [25] SZOKE S.
Are we protected from fire in buildings ?
Open forum, problems and solutions
PCI journal, jan.-feb. 2005
- [26] *Built to Burn?*
Construction Manager, magazine of the CIOB, juni 2005
- [27] NECK U.
Challenge : comprehensive fire protection
CPI (Concrete Plant International), nr. 5, oktober 2002
- [28] DOTREPPE J.C.
Construction et incendie : les solutions
Les constructions privées et industrielles, les infrastructures
Studiedag AILG, 19 november 2004
- [29] Voorstelling door « Byggutengrenser.no » aan de Noorse verzekeringsmaatschappijen op 25-01-2006.
« Byggutengrenser.no » vertegenwoordigt de volledige Noorse metselwerk-, cement- en betonsector
- [30] LUNDBERG O.
Brand i flerbodstadshus (Fire in multi family houses)
Report on the cost of fire damages in relation to the building material of which the houses are constructed
(Deze studie is gebaseerd op de statistieken van de Zweedse federatie van verzekeraars – *Försäkringsförbundet* – voor de periode 1995-2004 en is beperkt tot branden met een dekking door de verzekeraars groter dan 150 000 €, exclusief meubilair)
- [31] *Conception des bâtiments d'activités en béton - Murs séparatifs coupe-feu et façades à fonction d'écran thermique en béton*
réf. B67
Parijs : CIMBETON, maart 2006
- [32] KB van 19 december 1997 tot wijziging van het koninklijk besluit van 7 juli 1994 tot vaststelling van de basisnormen voor de preventie van brand en ontploffing waaraan de nieuwe gebouwen moeten voldoen



dit bulletin is een publicatie van :
FEBELCEM - Federatie van de
Belgische Cementnijverheid
Voltastraat 8 - 1050 Brussel
tel. 02 645 52 11
fax 02 640 06 70
www.febelcem.be
info@febelcem.be

auteur :
ir. J.F. Denoël

verantwoordelijke uitgever :
J.P. Jacobs

wettelijk depot :
D/2006/0280/05



Albert Cariaux

« *Geen rampzalige branden meer* », zo staat het op de plannen voor de betonbrug die in 1905 gebouwd werd in Luik en genoemd is naar haar ontwerper, François Hennebique. Deze geniale constructeur en uitvinder van de wapeningsbeugel, had snel het uitzonderlijk belang van het materiaal beton begrepen. Hij maakte er zijn reclame-slogan van.