

## DE BRANDWEER- STAND VAN CON- STRUCTIES EN DE EUROCODES

### DEEL 1 : BELASTING OP DRAAGSYSTEMEN BIJ BRAND EN BEREKENING VAN HET GEDRAG BIJ BRAND VAN BETONCONSTRUCTIES

Yves Martin, ir., onderzoeker, afdeling Structuren, animator Normen-Antenne «Brandpreventie», WTCTB

Benoit Parmentier, ir., projectleider, afdeling Structuren, animator Normen-Antenne «Eurocodes», WTCTB

De auteurs betuigen Alois Brûls, dr.ir., van de universiteit Luik, hun oprechte dank voor zijn nuttige adviezen.

Dit artikel vormt het eerste deel van een reeks van drie artikels over de berekening van de brandweerstand van constructies met behulp van de Eurocodes. In dit eerste luik bespreken we de voornormen ENV 1991-2-2 “Eurocode 1. Grondslag voor ontwerp en belasting op draagsystemen. Deel 2-2 : belasting op draagsystemen bij brand” en ENV 1992-1-2 “Eurocode 2. Berekening van betonconstructies. Deel 1-2 : algemene regels; berekening van het gedrag bij brand”.

### 1 EEN REKEN- METHODE VOOR DE BRANDWEERSTAND VAN CONSTRUCTIES

De brandveiligheid behoort tot de zes fundamentele voorschriften waaraan bouwwerken dienen te voldoen en die opgenomen

zijn in de Europese Bouwproductenrichtlijn (BPR). Bouwconstructies moeten zo ontworpen en gebouwd worden, dat, in geval van brand :

- ◆ hun draagvermogen gedurende een bepaalde tijd verzekerd is
- ◆ het risico op het ontstaan en de voortplanting van brand zo klein mogelijk gehouden wordt
- ◆ de mogelijkheid tot uitbreiding van de brand naar aanpalende gebouwen beperkt wordt
- ◆ de gebruikers het gebouw kunnen verlaten
- ◆ de veiligheid van de hulpdiensten niet in het gedrang komt.

Volgens het Basisdocument kan men aan deze eis voldoen door verschillende brandveiligheidsstrategieën toe te passen, met name :

- ◆ actieve maatregelen (automatische opsporing, blussysteem, ...)
- ◆ passieve maatregelen (compartimentering, dimensionering van structuurelementen, ...).

Sommige Eurocode-delen behandelen de passieve maatregelen ter preventie van brand, en meer bepaald de brandweerstand van structuren die aan brand blootgesteld zijn. Om te vermijden dat men voor elk afzonderlijk bouwproduct een brandweerstandsproef zou moeten uitvoeren, werden immers methoden ont-

wikkeld, die het mogelijk maken de brandweerstand van constructies uit beton, staal, combinatie van staal en beton, hout, metselwerk en aluminium te berekenen. Deze rekenmethoden zijn opgenomen in de Eurocode-delen die betrekking hebben op brand.

**Tabel 1** Eurocodes (EC) overgenomen als ENV-voornormen.

EC1, Part 2.2	ENV 1991-2-2:1995	Actions on structures exposed to fire
EC2, Part 1.2	ENV 1992-1-2:1995	Structural fire design of concrete structures
EC3, Part 1.2	ENV 1993-1-2:1995	Structural fire design of steel structures
EC4, Part 1.2	ENV 1994-1-2:1994	Structural fire design of composite steel concrete structures
EC5, Part 1.2	ENV 1995-1-2:1994	Structural fire design of timber structures
EC6, Part 1.2	ENV 1996-1-2:1995	Structural fire design of masonry structures
EC9, Part 1.2	ENV 1999-1-2:1998	Structural fire design of aluminium structures

Deze documenten hebben tot doel een uniforme manier voor te stellen om de brandweerstand van structuren in heel Europa te beoordelen.

Zolang de Eurocodes in het stadium van Europese voornorm verkeren, mogen ze niet toegepast worden zonder een nationaal toepassingsdocument (NAD). De Belgische NAD-experts hebben trouwens een groot aantal wijzigingen aan de Eurocodes aangebracht, om deze te vervolledigen en hun gebruik in ons land gemakkelijker te maken.

Om de brandweerstand van bouwelementen in België te beoordelen, is het volgens de basisnormen betreffende de brandreactie (bekrachtigd door het koninklijk besluit van 19 december 1995) toegelaten, gebruik te maken van :

- een proef volgens de norm NBN 713-020
- of een rekenmethode, erkend door de minister van Binnenlandse Zaken.

Tot nu toe heeft de betrokken minister geen enkele Eurocode noch enige andere rekenmethode erkend. In afwachting van de definitieve versie van deze Europese normen dient men echter de NAD als de beste stand der kennis terzake te beschouwen.

## 2 BELASTING OP DRAAG-SYSTEMEN BIJ BRAND (EUROCODE 1, DEEL 2-2)

### 2.1 BASISPRINCIPES

Eurocode 1 handelt over de belastingen op constructies (alsook over de grondslag voor hun ontwerp), onafhankelijk van het type bouwwerk. De Eurocodes 2 tot 6 en Eurocode 9 behandelen daarentegen elk een specifiek type bouwwerk afhankelijk van het materiaal : beton, staal, combinaties van staal en beton, hout, metselwerk en aluminium. Voor de dimensionering van structuren die weerstand moeten bieden aan brand, dient men dus :

- ◆ rekening te houden met de invloed van de thermische belastingen die beschreven zijn in deel 2-2 van Eurocode 1
- ◆ de stabiliteit van dragende elementen te controleren met behulp van de ontwerp-Eurocodes naargelang van het gebruikte materiaal (deel 1-2 van Eurocodes 2 à 6 en 9).

### 2.2 MECHANISCHE BELASTINGEN

Wat de in acht te nemen mechanische belastingen bij brand betreft, mag men veronderstellen dat de kans op het gelijktijdige optreden van een brand en een erg ongunstig belastingsniveau zeer klein is : brand moet dus beschouwd worden als een toevallige situatie. Dit principe, dat vermeld is in deel 2-2 van Eurocode 1, vormt een eerste belangrijk verschilpunt tussen het ontwerp bij brand en het ontwerp bij normale temperaturen : men moet de toevallige belastingscombinatie gebruiken, d.i. de rekenwaarde van de permanente belasting die gelijktijdig optreedt met de frequente waarde van de variabele hoofd-

belasting, de quasi-permanente waarden van de andere variabele belastingen en de rekenwaarde van de brandbelasting. Dit leidt tot de volgende uitdrukking :

$$\sum \gamma_{GA} \cdot G_{k,j} + \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} + A_{d(t)} \quad [1]$$

waarbij :

$G_{k,j}$  = karakteristieke waarde van de permanente belastingen (eigengewicht, voorspanning)

$Q_{k,1}$  = karakteristieke waarde van de variabele hoofdbelasting

$Q_{k,i}$  = karakteristieke waarden van de andere variabele belastingen

$\gamma_{GA}$  = partiële veiligheidscoëfficiënt voor permanente belastingen in een toevallige situatie (= 1,0)

$\Psi_{1,1}$  = coëfficiënt die de frequent voorkomende waarde van een variabele belasting geeft (cf. tabel 9.3 van ENV 1991-1)

$\Psi_{2,i}$  = coëfficiënt die de quasi-permanente waarde van een variabele belasting geeft (cf. tabel 9.3 van ENV 1991-1)

$A_{d(t)}$  = rekenwaarde van de toevallige belasting ten gevolge van brand.

#### Praktijkvoorbeeld

We beschouwen een isostatische vloerbalk in een kantoorgebouw. Deze balk wordt onderworpen aan een permanente belasting  $G_k$  van 3 kN/m<sup>2</sup> en aan een nuttige belasting  $Q_{k,1}$  van 2 kN/m<sup>2</sup> als variabele hoofdbelasting. In formule [1] wordt het gedeelte betreffende de statische belastingen dan als volgt geschreven :

$$1,0 G_k + 0,5 Q_{k,1} = 4 \text{ kN/m}^2.$$

Over het algemeen leidt dit ertoe dat de belasting bij brand 50 tot 70 % bedraagt van deze waarmee gerekend wordt bij de dimensionering bij normale temperatuur.

### 2.3 THERMISCHE BELASTINGEN EN VOORSTELLING VAN DE BRAND

Deel 2-2 van Eurocode 1 specificeert de thermische belastingen, die gepaard gaan met de ontwikkeling van een brand. De netto warmtestroom  $h$  [W/m<sup>2</sup>] wordt hierin beschreven, evenals zijn convectie- en stralingscomponenten. In deel 1-2 van de specifieke Eurocodes voor het ontwerp van de diverse constructies worden deze definities gebruikt om de opwarming van bouwelementen te bepalen (opwarming van stalen profielen bijvoorbeeld).

De meest interessante informatie uit dit deel ligt in de beschrijving van voorstellingsmodellen voor brand. Drie mogelijke modellen worden overwogen voor een brand in een

gebouw, nl. :

- ◆ genormaliseerde curven
- ◆ equivalent tijdsmodel
- ◆ parametrische curven.

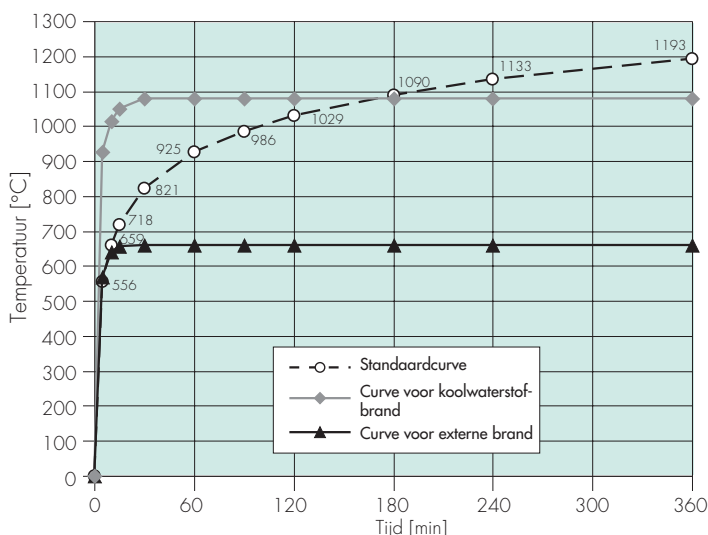
## 2.3.1 GENORMALISEERDE CURVEN

De eenvoudigste manier om een brand voor te stellen, is het gebruik van een genormaliseerde curve, d.i. een relatie die de temperatuur van de omgevende gassen weergeeft, afhankelijk van het tijdsverloop.

Oorspronkelijk werden deze relaties ontwikkeld om het brandgedrag van bouwelementen in het laboratorium te beproeven. Om een klassering te maken van elementen, beproefd in verschillende ovens, is het immers nodig ze aan dezelfde thermische belasting te onderwerpen.

Hoewel de bestaande curven alle mogelijke situaties van de werkelijkheid niet kunnen weergeven, blijven ze in de praktijk het meest gebruikte voorstellingsmodel. Ze maken het daarbij mogelijk een indeling te maken van de brandweerstand van bouwelementen.

Deel 2-2 van Eurocode 1 geeft drie voorbeelden van genormaliseerde curven : standaardcurve (of ISO-curve), curve voor externe brand en curve voor koolwaterstofbrand. Deze curven zijn voorgesteld in afbeelding 1.



Afb. 1 Voorstelling van brand met genormaliseerde curven.

Alle Belgische reglementen (o.a. de Belgische norm NBN 713-020) verwijzen naar de standaardcurve.

*Belangrijke opmerking* : de duur van de weerstand aan een genormaliseerde brand is een refe-

rentiewaarde en is niet gelijk aan de tijd gedurende de welke de structuur werkelijk weerstand zal bieden, daar de thermische aantasting verschillend is bij elke brand. Een echte brand kan immers heviger of minder hevig zijn dan de brand, voorgesteld door de genormaliseerde curve.

## 2.3.2 EQUIVALENT TIJDSMODEL

Om de werkelijkheid te benaderen, werd het begrip “equivalente tijd” ingevoerd. Hiermee kan men het verband vastleggen tussen de standaardcurve en een curve die het temperatuursverloop afhankelijk van de tijd weergeeft, bij een natuurlijke brand die in een compartiment gesimuleerd wordt.

De equivalente tijd is de opwarmingsduur, overeenkomstig de standaardcurve, waarna de gevolgen voor de structuur even ernstig zouden zijn als bij een echte brand. Dit model is uitgewerkt in de informatieve bijlage E van de ENV 1991-2-2. De equivalente tijd heeft enkel zin in een welbepaald kader (type wanden, ventilatie enz.).

## 2.3.3 PARAMETRISCHE CURVEN

Een parametrische curve stelt, net zoals een genormaliseerde curve, een relatie voor, die het temperatuursverloop bij brand afhankelijk van de tijd weergeeft. In tegenstelling tot de genormaliseerde curven houdt deze relatie rekening met parameters van fysische aard, die de ontwikkeling van de brand in een compartiment beïnvloeden : brandbelasting, ventilatiefactor, eigenschappen van de wanden.

In bijlage B van ENV 1991-2-2 worden voorbeelden van parametrische curven gegeven, die geacht worden de werkelijke brandtoestand zo goed mogelijk te benaderen.

Verder in dit artikel wordt enkel de standaardcurve gebruikt, vermits deze aan de basis ligt van de Belgische en Europese regelgeving in verband met de brandpreventie.

## 3 INLEIDING TOT DE ONTWERP-EUROCODES

Dit hoofdstuk omvat beschouwingen die gelden voor alle delen 1-2 van de ontwerp-Eurocodes (voornormen ENV 1992 tot ENV 1996 en ENV 1999) met betrekking tot de rekenmethoden in warme toestand.

### 3.1 TYPEN REKENMODELLEN

In deel 1-2 van de gemelde Eurocodes worden drie soorten rekenmodellen voor de brandweerstand van structurelementen voorgesteld :

- ◆ niveau 1 : *berekening met tabelwaarden*; de tabellen steunen op empirische gegevens en op de evaluatie van proefresultaten
- ◆ niveau 2 : *vereenvoudigde rekenmodellen*; deze zijn gebaseerd op evenwichtsvergelijkingen en vormen een extrapolatie van de berekeningen bij normale temperatuur
- ◆ niveau 3 : *gevorderde rekenmodellen*; hiermee kan men een volledige thermische en mechanische analyse van de structuur maken. Er wordt rekening gehouden met de voortdurende veranderingen van de thermische en mechanische eigenschappen van materialen en met hun invloed op de hele structuur. Deze modellen vereisen het gebruik van geavanceerde rekenprogramma's, waarvoor veel kennis en vaak ook veel tijd nodig is. De Eurocode-delen i.v.m. brand geven hieromtrent slechts weinig informatie.

De eerste twee methoden verwijzen naar de standaard-opwarmingscurve. Enkel de methode van niveau 3 kan andere opwarmingstoestanden in aanmerking nemen.

### 3.2 STRUCTURELE SCHEMA'S

Volgens de Eurocodes kan men de structuur op drie manieren schematiseren :

- ◆ bij het eenvoudigste schema worden de *individuele elementen* beoordeeld, zonder rekening te houden met de interactie van het beschouwde element met de rest van de structuur
- ◆ men kan ook *een deel van de ganse structuur* berekenen; hierbij worden de interacties tussen de diverse elementen meegerekend
- ◆ de berekening van de *ganse structuur* vormt de meest correcte, maar ook de meest ingewikkelde benadering : er wordt rekening gehouden met de indirecte belastingen. Dit soort analyse is slechts mogelijk met gevorderde rekenmodellen (niveau 3).

## 4 BEREKENING VAN HET BRANDGEDRAG VAN BETONSTRUCTUREN (EUROCODE 2, DEEL 1-2)

### 4.1 BASISPRINCIPES

Deel 1-2 van Eurocode 2 omvat de regels voor het dimensioneren van betonconstructies in

geval van brand. Wij wijzen erop dat dit document de regels geeft voor de passieve weerstand van bouwelementen, d.w.z. voor de weerstand die een constructie moet bieden bij brand.

Als algemeen principe voor het dimensioneren bij brand geldt dat

een structurelement weerstand zal bieden tegen brand zolang  $E_{d,fi,t} \leq R_{d,fi,t}$

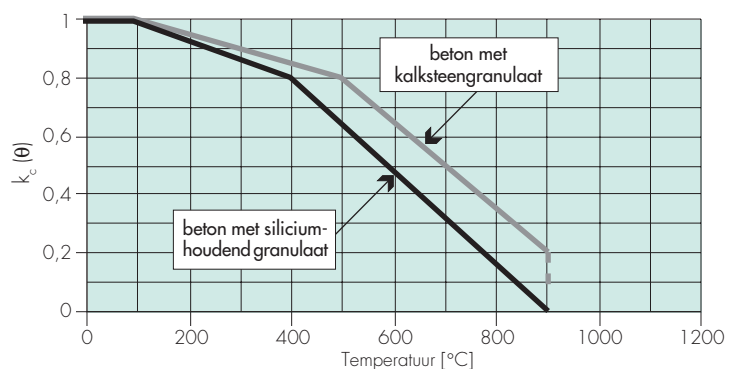
waarbij :

$E_{d,fi,t}$  = invloed van de belastingen die in rekening moeten gebracht worden bij brand; deze invloed is constant in de tijd

$R_{d,fi,t}$  = draagvermogen, dat vermindert naarmate de temperatuur verhoogt, dus na verloop van tijd. Het is uiterst belangrijk dit gedrag (d.i. het verlies van het weerstandsvermogen van beton afhankelijk van een temperatuurverhoging) te kennen.

In hoofdstuk 3 van de Eurocode in verband met de eigenschappen van materialen wordt de nodige informatie verschaft om het verlies van weerstandsvermogen bij (gewapende of voorgespannen) betonelementen te berekenen. Zo worden drie *reductiecoëfficiënten* gedefinieerd. Met de eerste,  $k_c(\theta)$  (afbeelding 2), kan men de vermindering van de karakteristieke druksterkte van beton berekenen, afhankelijk van de temperatuur  $\theta$  (°C), nl. :

$$f_{ck}(\theta) = k_c(\theta) \cdot f_{ck}(20^\circ\text{C}) \quad [2].$$



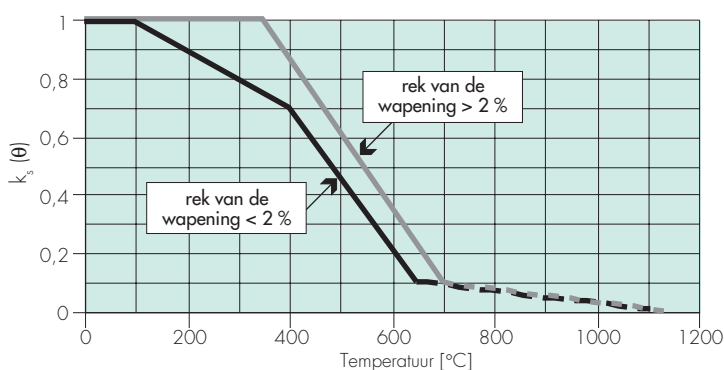
**Afb. 2** Reductiecoëfficiënt voor de karakteristieke druksterkte van beton, afhankelijk van de temperatuur (ENV 1992-1-2).

Het NAD houdt rekening met de positieve invloed van kalksteengranulaten (endotherme reactie) op het brandgedrag van beton, door de invoering van een tweede curve, die gekenmerkt wordt door een tragere vermindering van de betondruksterkte. Noch in het NAD, noch in de Eurocode worden echter regels vermeld voor betonsoorten met lichte granulaten.

Met behulp van een tweede reductiecoëfficiënt,  $k_s(\theta)$ , kan men het verlies van de karakteristieke sterkte van staalwapening afhankelijk van de temperatuur kenmerken (afbeelding 3) :

$$f_{yk}(\theta) = k_s(\theta) \cdot f_{yk}(20\text{ °C}) \quad [3].$$

Hiertoe worden twee curven verstrekt. De eerste wordt gekenmerkt door een trage afname en wordt gebruikt voor wapeningen onderworpen aan trek (balken onder buiging), indien men kan aantonen dat een relatieve rek  $\epsilon \geq 2\%$  in de wapening ontwikkeld kan worden. Als dit niet zo is, gebruikt men de tweede curve ( $\epsilon < 2\%$ ) (kolommen hoofdzakelijk onder druk).

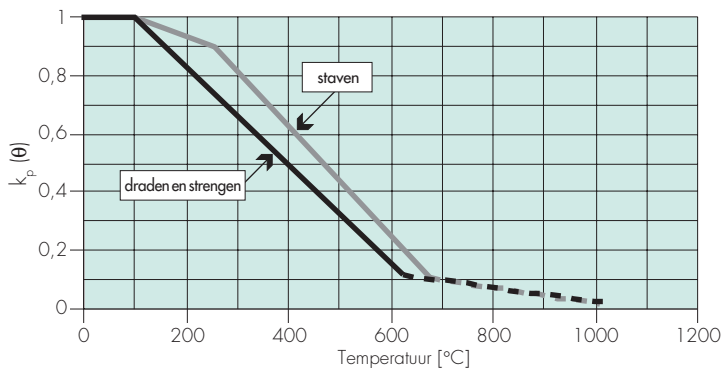


**Afb. 3** Reductiecoëfficiënt voor de karakteristieke sterkte van wapening, afhankelijk van de temperatuur (ENV 1992-1-2).

Tenslotte wordt een derde reductiecoëfficiënt,  $k_p(\theta)$ , gedefinieerd, die van toepassing is op voorgespannen staven en strengens :

$$f_{pk}(\theta) = k_p(\theta) \cdot f_{pk}(20\text{ °C}) \quad [4].$$

Hierbij merkt men dat de karakteristieke sterkte sneller daalt dan bij staalwapening.



**Afb. 4** Reductiecoëfficiënt voor de karakteristieke sterkte van voorgespannen wapening, afhankelijk van de temperatuur (ENV 1992-1-2).

## 4.2 METHODEN MET DE TABELWAARDEN

### 4.2.1 ALGEMENE PRINCIPES

De methoden met de tabelwaarden zijn van toepassing op de elementen-analyse en zijn nauw verbonden met de standaard-opwarmingscurve. Het evidente voordeel van deze methoden is, dat het voor de ontwerper onmiddellijk duidelijk wordt of de afmetingen van de elementen, die blijken uit de dimensionering in koude toestand, al dan niet geschikt zijn voor de vereiste sterkte van deze elementen in warme toestand.

Uit de tabellen kan men de minimumafmetingen afleiden waaraan structurelementen moeten voldoen, om aan de volgende voorwaarde te beantwoorden :

$$E_{d,fi,t} \leq R_{d,fi,t} \quad [5]$$

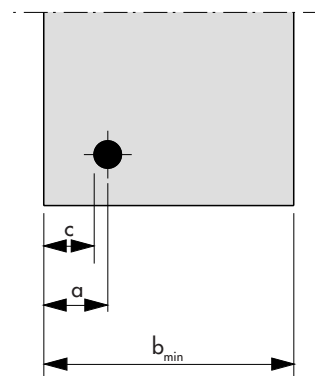
waarbij :

$R_{d,fi,t}$  = de rekenwaarde van het weerstandvermogen bij brand

$E_{d,fi,t}$  = de rekenwaarde van de invloed van de belastingen bij brand.

Volgens het type structurelement stemmen de in deze tabellen gegeven resultaten overeen :

- ◆ met de minimale breedte of dikte van de doorsnede :  $b_{min}$
- ◆ met de afstand tot de as van de staalwapening :  $a = c + \varnothing/2$ , waarbij  $c$  de betondekking is en  $\varnothing$  de diameter van de wapening.



**Afb. 5** Minimumafmetingen van structurele elementen.

- $a$  = afstand tot de as van de wapening
- $b_{min}$  = minimale breedte of dikte van de doorsnede
- $c$  = betondekking

Om de uiteindelijke afmetingen en constructieve schikkingen te bekomen, worden de resultaten uit deze tabellen aangepast aan een aantal parameters <sup>(1)</sup>. In opmerking 4.2.1(3) van de Eurocode kunnen we bv. lezen dat : de waarden uit de tabellen van toepassing zijn op beton met siliciumhoudend granulaat. Indien kalksteengranulaat gebruikt wordt, mag men ofwel de minimumbreedte, ofwel de afstand tot de as van de wapening met 10 % verminderen.

<sup>(1)</sup> Cf. §§ 4.2.1, 4.2.2 en 4.2.3 van ENV 1992-1-2.

#### 4.2.2 GEBRUIK VAN DE METHODE VOOR DE CONTROLE VAN EEN BETONKOLOM

##### □ Voorschriften

Het NAD heeft de hele paragraaf van de Eurocode met betrekking tot de dimensionering van kolommen vervangen. Uit de resultaten van 82 proeven, uitgevoerd in België (Luik en Gent), Duitsland (Braunschweig) en Canada

(Ottawa), bleek immers dat de in de Eurocode opgenomen waarden niet aan de veilige kant liggen.

Tabel 2 hiernaast (overgenomen uit het NAD) werd opgesteld, rekening houdend met welbepaalde beperkingen, bv. voor kolommen met een hoogte van 3 m; indien de hoogte groter is dan 3 m, dient men de formules uit de vereenvoudigde rekenmethoden te gebruiken <sup>(2)</sup> (cf. § 4.3.2 verder in dit artikel).

### Praktijkvoorbeeld

We beschouwen een 3 meter hoge, gewapend-betonkolom, onderhevig aan enkelvoudige druk in een kantoorgebouw. Deze kolom wordt blootgesteld aan brand op één van haar zijden en staat op een afstand van 25 cm van een venster. We veronderstellen dat de overdracht van de belastingen de volgende normaalkrachten op de kolom veroorzaakt :

- permanente belasting : 950 kN
- variabele nuttige belasting : 550 kN.

We nemen eveneens aan dat de dimensionering van de kolom in koude toestand de volgende resultaten heeft gegeven :

- doorsnede van 350 x 350 mm<sup>2</sup>
- 8 Ø 16 mm, waarvan de as zich op 30 mm van de rand bevindt
- staalkwaliteit S500 en beton C25/30 met siliciumhoudend granaulaat.

Wat is de brandweerstand van deze kolom ?

### 1. Verificatie van de toepasbaarheid van de methode

Om de waarden uit tabel 2 te mogen gebruiken, moet aan een aantal voorwaarden voldaan worden <sup>(3)</sup> :

- kolomhoogte = 3 m
- diameter van de staalwapening < 25 mm
- $A_s$  (staalsectie) < 0,04 ·  $A_c$  (betonsectie).

### 2. Bepaling van de belastingsgraad $\eta = E_{d,fi}/R_d$ , met $E_{d,fi}$ = rekenwaarde van de invloed van de belastingen bij het begin van de brand $R_d$ = dragende weerstand van het element in koude toestand (volgens ENV1992-1-1)

In geval van brand (d.i. een toevallige situatie) wordt de rekenwaarde van de normaalkracht door de volgende formule [1] gegeven :

$$E_{d,fi} = N_{d,fi} = 1,0 N_G + 0,5 N_Q = 1225 \text{ kN}$$

waarbij :  $N_G$  = de normaalkracht ten gevolge van het eigengewicht en de permanente belastingen

$N_Q$  = de normaalkracht ten gevolge van de variabele nuttige belastingen.

De rekenwaarde van de sterkte in koude toestand kan bekomen worden met behulp van de volgende relatie, die van toepassing is op zogenaamde korte kolommen (geen knikeffect) :

$$R_d = N_d = A_s \cdot \frac{f_y}{1,15} + A_c \cdot \frac{f_{ck}}{1,5} = 1608 \cdot \frac{500}{1,15} + 122500 \cdot \frac{25}{1,5} = 2740 \text{ kN.}$$

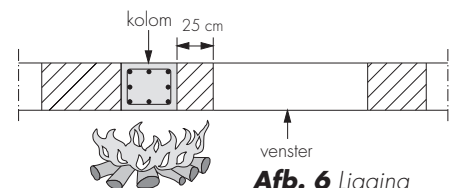
We krijgen dus een belastingsgraad bij brand die gelijk is aan :  $\eta_{fi} = \frac{E_{d,fi}}{R_d} = \frac{N_{d,fi}}{N_d} = 0,45$ .

### 3. Bepaling van de brandweerstand van de kolom

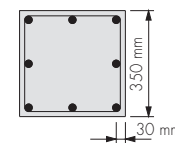
Hoewel de kolom slechts aan één zijde aan vuur blootgesteld wordt, moet ze beschouwd worden als een kolom die aan meerdere zijden blootgesteld wordt, vermits ze in de nabijheid van een opening (venster) staat <sup>(4)</sup>. Bij een belastingsgraad van 0,5 (veiliger dan 0,45) en bij gebruik van tabel 2 (kolom 3) bekomt men :

- $b_{\min} = 350 \text{ mm}$
- $a = 30 \text{ mm}$ .

Men stelt vast dat de kolom de vereiste afmetingen bezit om een standaardbrandweerstand van 90 minuten (R 90) te hebben. Opgemerkt wordt dat de brandweerstand van 90 minuten in België niet voorgeschreven wordt; er wordt gewoonlijk een brandweerstand van 60 minuten of 120 minuten voor structuren vereist, respectievelijk in middelhoge en hoge gebouwen.



Afb. 6 Ligging van de kolom.



Afb. 7 Afmetingen van de kolom.

<sup>(2)</sup> Cf. § 4.3.4.2 van het NAD van ENV 1992-1-2.

<sup>(3)</sup> Cf. §§ 4.2.3(1) en 4.2.3(2) van het NAD van ENV 1992-1-2.

<sup>(4)</sup> Cf. § 4.2.3(4) van ENV 1992-1-2.

**Tabel 2**  
Minimum-afmetingen (in mm) van een betonkolom, afhankelijk van de vereiste brandweerstand (NAD van ENV 1992-1-2).

STANDAARD-BRANDWEERSTAND	KOLOMBREEDTE ( $b_{min}$ )/AFSTAND TOT DE AS VAN DE HOOFDWAPENING (1)			
	Kolom, blootgesteld aan meerdere zijden (2)			Kolom, blootgesteld aan één zijde
	$\eta_{fi} = 0,2$	$\eta_{fi} = 0,5$	$\eta_{fi} = 0,7$	$\eta_{fi} = 0,7$
R 30	200/25	200/25	200/25	140 (3) / 25
R 60	200/25	200/35 250/30	200/45 300/30 (4)	140/25
R 90	200/30 300/25	300/40 350/30 (4)	300/45 (4) 450/35 (4)	140/25
R 120	250/40 300/30 (4)	300/45 (4) 450/35 (4)	350/50 (4) 450/45 (4)	160/35
R 180	350/45 (4)	350/60 (4)	450/65 (4)	210/55
R 240	350/60 (4)	450/70 (4)	450/80 (4)	270/70

(1) Voor voorgespannen staven : verhoging van  $a$  volgens opmerking 4.2.2(4) van het NAD.  
 (2)  $\eta_{fi} = E_{d,fi}$  (normaalkracht bij brand) /  $R_d$  (rekenwaarde van de sterkte in koude toestand).  
 (3) Balken en kolommen moeten in principe een minimumbreedte van 200 mm hebben.  
 (4) Minstens acht wapeningen.

## 4.2.3 GEBRUIK VAN DE METHODE VOOR DE CONTROLE VAN EEN BETONMUUR

### Voorschriften

Men maakt hierbij een onderscheid tussen dragende en niet-dragende muren. In de ENV 1992-1-2 worden in dit verband twee tabellen voorgesteld. De eerste tabel (tabel 3 hieronder) betreft niet-dragende muren en geeft aan, wat de minimale muurdikte is om te voldoen aan de eisen i.v.m. de warmte-isolatie (I) en de vlamdichtheid (E). Om deze tabel te kunnen gebruik-

ken, moet de verhouding tussen de dikte en de hoogte van de muur kleiner zijn dan 40. De vervormingen van de muur, blootgesteld aan brand aan één zijde, zouden immers het instorten ervan kunnen veroorzaken onder invloed van zijn eigengewicht en de excentriciteit van het eigengewicht door de thermische vervorming.

De tweede tabel (tabel 4) betreft dragende muren en legt grotere diktes op dan deze die men terugvindt in de tabel voor niet-dragende muren. Dit verzekert dus automatisch dat aan de vereisten in verband met de warmte-isolatie en de vlamdichtheid voldaan is.

**Tabel 3**  
Minimum-afmetingen (in mm) van niet-dragende betonmuren.

STANDAARD-BRANDWEERSTAND	MINIMALE MUURDIKTE (mm)
REI 30	60
REI 60	80
REI 90	100
REI 120	120
REI 180	150
REI 240	175

### Praktijkvoorbeeld

Welke minimumafmetingen zijn vereist opdat een dragende muur uit beton met kalksteengranulaat, die aan beide zijden aan brand blootgesteld wordt, gedurende 120 minuten weerstand zou bieden aan een standaardbrand? In opmerking 4.2.4.2(3) van ENV 1992-1-2 wordt verwezen naar de opmerking 4.2.3(2) : men kan in alle gevallen (veiligheidshalve) de waarde van de belastingsgraad gelijk stellen aan 0,7. Voor een meer precieze waarde dient men de verhouding te bepalen tussen de invloed van de belastingen bij brand (toevallige belastingscombinatie) en de rekenwaarde van de sterkte in warme toestand op het tijdstip  $t = 0$ . Uitgaande van tabel 4 vindt men voor REI 120 :  $b_{min} = 220$  mm en  $a = 35$  mm.

**Tabel 4**  
Minimum-afmetingen (in mm) van dragende muren in gewapend beton (ENV 1992-1-2).

STANDAARD-BRANDWEERSTAND	MUURDIKTE/AFSTAND TOT DE AS VAN DE WAPENING			
	$\mu_f = 0,35$		$\mu_f = 0,7$	
	Muur, aan één zijde blootgesteld aan brand	Muur, aan twee zijden blootgesteld aan brand	Muur, aan één zijde blootgesteld aan brand	Muur, aan twee zijden blootgesteld aan brand
REI 30	100/10 (*)	120/10 (*)	120/10 (*)	120/10 (*)
REI 60	110/10 (*)	120/10 (*)	130/10 (*)	140/10 (*)
REI 90	120/20 (*)	140/10 (*)	140/25	170/25
REI 120	150/25	160/25	160/35	220/35
REI 180	180/45	200/45	210/55	300/55
REI 240	230/60	250/60	270/70	360/70

(\*) De door de ENV 1992-1-1 vereiste betondekking moet gecontroleerd worden.

#### 4.2.4 GEBRUIK VAN DE METHODE VOOR DE CONTROLE VAN EEN BETONBAK

##### □ Voorschriften

De Eurocode maakt een onderscheid tussen eenvoudig opgelegde balken (isostatische balken op twee steunpunten) en continue (hyperstatische) balken. De gegeven tabellen zijn van toepassing op balken die blootgesteld zijn aan brand op drie zijden (we nemen aan dat de bovenzijde tijdens de hele duur van de brand tegen het vuur beschermd is door een betonplaat of een ander element) <sup>(5)</sup>. Bovendien gelden de tabellen voor balken met de volgen-

de rechte doorsneden : constante breedte, variabele breedte en I-doorsnede <sup>(6)</sup>.

Tabel 5 betreft eenvoudig opgelegde balken (voor doorlopende balken wordt verwezen naar tabel 4.6 van ENV 1992-1-2).

De constructieve schikkingen voor betonbalken, met name met betrekking tot de bovenwapening (om het negatieve moment op te nemen), worden in de Eurocode vermeld. Een verlenging van deze wapening blijkt noodzakelijk om een zeker percentage wapening te verzekeren over de volledige lengte van de balk <sup>(7)</sup>. Zo wordt vermeden dat een brosse breuk plotseling optreedt.

**Tabel 5**  
Minimum-afmetingen (in mm) van eenvoudig opgelegde balken uit gewapend beton, aan brand blootgesteld op drie zijden <sup>(\*)</sup> (ENV 1992-1-2).

STANDAARD-BRAND-WEERSTAND	MOGELIJKE COMBINATIES VAN $a$ (afstand van de as van de wapening tot de rand) <sup>(***)</sup> EN $b_{\min}$ (breedte van de balk)				$b_w$ (dikte van het lijf van een I-vormige balk)
R 30	$b_{\min} = 80$ $a = 25$	120 15 <sup>(**)</sup>	160 10 <sup>(**)</sup>	200 10 <sup>(**)</sup>	80 -
R 60	$b_{\min} = 120$ $a = 40$	160 35	200 30	300 25	100 -
R 90	$b_{\min} = 150$ $a = 55$	200 45	250 40	400 35	100 -
R 120	$b_{\min} = 200$ $a = 65$	240 55	300 50	500 45	120 -
R 180	$b_{\min} = 240$ $a = 80$	300 70	400 65	600 60	140 -
R 240	$b_{\min} = 280$ $a = 90$	350 80	500 75	700 70	160 -

<sup>(\*)</sup> Voor continue balken, zie tabel 4.6 uit de ENV 1992-1-2. In geval van blootstelling aan vier zijden, zie ENV 1992-1-2, § 4.2.6.4. Voor balken uit voorgespannen beton dient men § 4.2.2(4) van de ENV te raadplegen.  
<sup>(\*\*)</sup> De door de ENV 1992-1-1 vereiste betondekking moet gecontroleerd worden.  
<sup>(\*\*\*)</sup> De afstand tot de as van een hoekwapening in een balk met slechts één wapeningslaag moet met 10 mm verhoogd worden ten opzichte van de in deze tabel vermelde waarden (behalve voor  $b_{\min}$ -waarden die groter zijn dan deze van kolom 4).

#### Praktijkvoorbeeld

We beschouwen een op twee steunpunten opgelegde gewapend-betonbalk (beton C30/37 met siliciumgranulaat, staal S500) met een lengte van 4 m. We veronderstellen dat het ontwerp in koude toestand de volgende resultaten gaf :

- $b = 300$  mm
- $h = 400$  mm
- afstand tot de as van de wapening :  $a = 40$  mm
- $3 \phi 16$ .

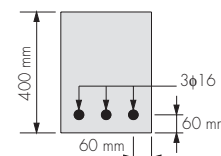
We stellen ons de vraag aan welke voorwaarden de balk moet voldoen om R 120 te zijn. In kolom 4 van tabel 5 vindt men voor R 120 :  $b_{\min} = 300$  mm en  $a = 50$  mm.

De betondekking moet dus vergroot worden om te voldoen aan de eisen voor een standaardbrandweerstand van 120 minuten.

Omdat de balk aan drie zijden aan vuur blootgesteld is, zal de temperatuurverhoging in de hoeken nog groter zijn. In opmerking <sup>(\*\*\*)</sup> onderaan tabel 5 wordt daarom aanbevolen de betondekking van de hoekwapening met 10 mm te vergroten voor balken met slechts één wapeningslaag; dit geeft dan :  $a_{sd}$  (afstand tot de as van de hoekwapening) = 60 mm.

In theorie zou de wapening in het midden op 50 mm van de onderste rand van de doorsnede kunnen geplaatst worden. Gemakshalve zal men in de praktijk de drie wapeningen op een rij plaatsen. Omwille van de grote betondekking wordt bovendien een huidwapening vereist (wapeningsnet).

**Afb. 8** Uiteindelijk uitzicht van de balk-doorsnede.



<sup>(5)</sup> Indien dit niet het geval is, dient men de ENV 1992-1-2, § 4.2.6.4, te raadplegen.

<sup>(6)</sup> Men moet bepaalde verbanden tussen de afmetingen in acht nemen; zie ook ENV 1992-1-2, § 4.2.6.1(5)(6)(7).

<sup>(7)</sup> Cf. afbeelding 4.6B uit het NAD van ENV 1992-1-2.

## 4.2.5 GEBRUIK VAN DE METHODE VOOR DE CONTROLE VAN EEN BETONPLAAT

### □ Voorschriften

Het NAD heeft de taak van de ontwerpers enorm vergemakkelijkt, door slechts één regel voor alle soorten platen te weerhouden. De ingewikkelde en moeilijk toe te passen voorschriften van de Eurocode in verband met geribde platen werden dus in het Belgische NAD geschrapt. Bij een geribde plaat volstaat het immers de regels voor platen op de plaat toe te passen en de regels voor balken op de ribben.

Tabel 6 geeft de minimumafmetingen voor platen uit gewapend beton, gewoon opgelegd en dragend in een of twee richtingen <sup>(8)</sup>.

## 4.3 VEREENVOUDIGDE REKENMODELLEN

Hoofdstuk 4.3 van ENV 1992-1-2 heeft betrekking op de vereenvoudigde rekenmethoden. Het uiteindelijke draagvermogen van een betondoorsnede bij brand wordt bepaald met behulp van de volgende algemene procedure.

1. Uitgaande van de temperatuurverdeling in de betondoorsnede op het beschouwde moment (bijlage B van ENV 1992-1-2) bepaalt men :
  - de vermindering van de rechte betondoorsnede
  - de temperatuur van de wapening.
2. Het weerstandsvermogen wordt bepaald rekening houdend met de daling van de mechanische kenmerken van staal en met de vermindering van de rechte betondoorsnede.

**Tabel 6**  
Minimumafmetingen (in mm) van in een of twee richtingen dragende platen uit gewapend beton (NAD van ENV 1992-1-2).

STANDAARD-BRAND-WEERSTAND	PLAATDIKTE $h_s$ (mm)	AFSTAND "a" TOT DE AS VAN DE WAPENING		
		TWEEZIJDIG OPGELEGDE PLAAT	VIERZIJDIG OPGELEGDE PLAAT <sup>(1)</sup>	
			$l_y / l_x \leq 1,5$	$1,5 < l_y / l_x \leq 2$
REI 30	60	10 <sup>(2)</sup>	10 <sup>(2)</sup>	10 <sup>(2)</sup>
REI 60	80	20	15 <sup>(2)</sup>	20
REI 90	100	30	20	25
REI 120	120	40 <sup>(3)</sup>	25	35
REI 180	150	55 <sup>(3)</sup>	35	45 <sup>(3)</sup>
REI 240	175	65 <sup>(3)</sup>	45 <sup>(3)</sup>	55 <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>  $l_y$  en  $l_x$  = lengte van de spanwijdte van de aan de vier randen opgelegde plaat (waarbij  $l_y$  de langste overspanning is).  
<sup>(2)</sup> De door de ENV 1992-1-1 vereiste betondekking moet gecontroleerd worden.  
<sup>(3)</sup> Voor balken uit gewapend beton, waarbij de te voorzien afstand tot de as van de wapening groot is ( $a \geq 40$  mm), moet men een huidwapening gebruiken. Bovendien moeten de eventuele scheuren gecontroleerd worden (indien  $a \geq 0,2h$ ).

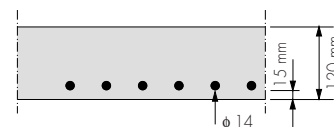
### Praktijkvoorbeeld

We beschouwen een 12 cm dikke plaat van gewapend beton (beton C30/37 met kalksteengranulaat en staal S500), die opgelegd wordt op twee enkelvoudige eindsteunpunten, terwijl de twee andere randen vrijdragend zijn. De betondekking  $c$  bedraagt 15 mm en de diameter van de wapening 14 mm.

Wat is de standaardbrandweerstand ? R 60 of R 120 ?

R 60 ? Tabel 6 :  $h = 120 \text{ mm} > 80 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$   
 $a = c + \phi/2 = 22 \text{ mm} > 20 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$   
 $\rightarrow \text{OK voor beton met siliciumhoudend granulaat en dus ook voor beton met kalksteengranulaat.}$

R 120 ? Tabel 6 :  $h = 120 \text{ mm} \geq 120 \text{ mm} ? \rightarrow \text{OK}$   
 $a = 22 \text{ mm} > 40 \text{ mm} ? \rightarrow \text{NIET OK}$   
 $\rightarrow \text{Niet nagekeken voor beton met siliciumhoudend granulaat}$   
 $\rightarrow \text{Voor beton met kalksteengranulaat kan men de vereiste afstand tot de as van de wapening met 10 \% verminderen (cf. ENV 1992-1-2, § 4.2.1(3)); men heeft dus :}$   
 $a = 22 \text{ mm} > 36 \text{ mm} (40 \text{ mm} - 10 \%) ? \rightarrow \text{NIET OK}$   
 $\rightarrow \text{Niet R 120}$   
 $\rightarrow \text{Opdat de plaat R 120 zou worden, moet de betondekking vergroot worden.}$



Afb. 9 Schema van de plaat.

<sup>(8)</sup> Voor balken uit voorgespannen beton wordt verwezen naar § 4.2.2(4) van ENV 1992-1-2.

Twee gevallen worden apart bekeken : balken en platen enerzijds en kolommen anderzijds. In vergelijking met de Eurocode zijn er, wat deze methoden betreft, veel wijzigingen aangebracht in het Belgische NAD.

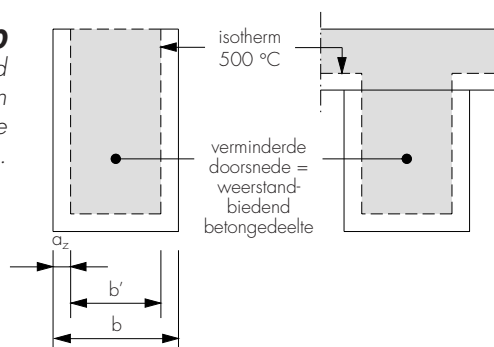
#### 4.3.1 BALKEN EN PLATEN UIT GEWAPEND OF VOORGESPANNEN BETON

##### □ Voorschriften

De methoden van de Eurocode en van het NAD steunen in feite op hetzelfde principe : de rechte doorsnede, blootgesteld aan brand, wordt voorgesteld door een verminderde rechte doorsnede. Hierbij wordt een beschadigde zone in de buurt van de aan het vuur blootgestelde oppervlakken buiten beschouwing gelaten. Het verschil tussen de twee methoden ligt vooral in de manier waarop de beschadigde zone bepaald wordt. De methode uit de Eurocode is onnodig veel moeilijker dan deze die in het NAD voorgesteld wordt. In België moet men de NAD-methode toepassen.

De NAD-methode is gebaseerd op de vereenvoudigende hypothese dat de betonzone, die een temperatuur van 500 °C of meer bereikt heeft, bij de berekening van het draagvermogen mag verwaarloosd worden (afbeelding 10).

**Afb. 10**  
Beschadigd  
betongedeelte en  
verminderde  
betonddoorsnede.



#### 4.3.2 KOLOMMEN UIT GEWAPEND OF VOORGESPANNEN BETON

Voor kolommen heeft het NAD een andere benadering dan de Eurocode. De in België, Duitsland en Canada bekomen proefresultaten zijn niet in overeenstemming met de in de Eurocode opgenomen tabelwaarden : deze laatste zijn meestal te optimistisch. In het NAD worden daarom twee andere methoden voorgesteld :

- ◆ een eerste methode <sup>(9)</sup> steunt op een formule, die door de universiteit van Luik uitgewerkt werd bij de studie van de invloed van bepaalde parameters op het brandgedrag van kolommen
- ◆ een tweede, meer theoretische methode <sup>(10)</sup> dient gebruikt te worden indien de eerste niet toepasbaar is.

De eerste methode is eerder te beschouwen als een methode met tabelwaarden, aangezien ze berust op een formule, opgesteld op basis van proefresultaten. Ze neemt vijf parameters in aanmerking, die de geometrie en de belasting van de kolom karakteriseren : betondekking, knik, massief karakter van de kolom, belastingsgraad en aantal wapeningsstaven. De tweede methode bestaat erin de plastische verbrijzingssterkte van de kolom te bepalen na  $t$  minuten brand. ■

(wordt vervolgd)

Dit artikel kwam tot stand in het kader van de actie KMO Normen-Antennes "Brandpreventie" en "Eurocodes". Deze Normen-Antennes zijn binnen het WTTCB opgericht met de steun van het ministerie van Economische Zaken. Ze hebben tot doel informatie over de brandpreventie en de Eurocodes zo ruim mogelijk te verspreiden naar de betrokken sectoren toe en in het bijzonder naar de KMO.

Voor meer informatie hieromtrent kan u terecht op de WTTCB-internetsite, ofwel rechtstreeks contact nemen met het WTTCB :

☎ 02/655.77.11  
 📠 02/653.07.29  
 ✉ info@bbri.be  
 🌐 [http://www.bbri.be/antenne\\_norm](http://www.bbri.be/antenne_norm)

<sup>(9)</sup> Zie § 4.2.3.2(1) van het NAD van ENV 1992-1-2.

<sup>(10)</sup> Zie § 4.2.3.2(2) van het NAD van ENV 1992-1-2.

## Praktijkvoorbeeld (balken en platen)

We beschouwen opnieuw de balk uit het in § 4.2.4 besproken voorbeeld, nl. een op twee steunpunten opgelegde vloerbalk van gewapend beton (beton C30/37 met kalksteengranulaat en staal S500) van 4 m lang, in een kantoorgebouw. Deze balk wordt onderworpen aan een permanente belasting  $G = 20 \text{ kN/m}$  en een variabele hoofdbelasting  $Q = 10 \text{ kN/m}$ . We nemen aan dat het ontwerp in koude toestand de volgende resultaten gaf :

- $b = 300 \text{ mm}$
- $h = 400 \text{ mm}$
- wapeningsstaven :  $3 \phi 16$
- afstand tot de as van de wapening :  $a = 40 \text{ mm}$ .

De vraag is of deze balk, blootgesteld aan drie zijden, gedurende 120 minuten weerstand kan bieden aan een standaardbrand.

### 1. Berekening van het maximale belastingsmoment

Met behulp van formule [1] kunnen we de belasting bepalen, die aan het begin van de brand uitgeoefend wordt :

$$1 \times G + 0,5 \times Q = 25 \text{ kN/m.}$$

Dit geeft een maximaal belastingsmoment in het midden van de overspanning  $M_{d,fi} (= E_{d,fi,t})$  van 50 kNm aan het begin van de brand.

### 2. Berekening van het weerstandsmoment met $t = 120 \text{ min}$

#### A. Bepaling van de verminderde betondoorsnede

Met behulp van afbeelding B.3.b uit bijlage B van ENV 1992-1-2 (zie afbeelding 12) kan men de dikte  $a_z$  berekenen. Hiermee kan men de door het vuur beschadigde zone bepalen, die geen rol meer zal spelen in de sterkte van de balk.

Indien  $w = 1/2$  balkdikte =  $b/2 = 150 \text{ mm}$ , dan krijgt men :  $a = 34 \text{ mm}$ .

We berekenen de verminderde doorsnede :

- $a_z = 34 \text{ mm}$
- $b' = b - 2a_z = 232 \text{ mm}$
- $b'/b = 0,77 > 0,5$  : de NAD-methode is van toepassing (cf. § 4.3.4.1(5) van het NAD van ENV 1992-1-2). Men mag dus verder berekenen.

#### B. Bepaling van het sterkteverlies van de wapening

Eerst wordt de temperatuur van de wapening bepaald aan de hand van afbeelding 13 :

- $\theta$  (externe wapening) =  $615 \text{ }^\circ\text{C}$
- $\theta$  (interne wapening) =  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ .

De bruikbare trekkracht in de onderwapening kan aldus bepaald worden, rekening houdend met de daling van de staalprestaties afhankelijk van de temperatuur.

Met behulp van afbeelding 3 (p. 45) kunnen we de reductiefactor  $k_s(\theta)$  bepalen.

We veronderstellen in eerste instantie dat staal een rek groter dan 2% kan bereiken (dit kan naderhand gemakkelijk gecontroleerd worden aan de hand van de compatibiliteitsvergelijkingen). We krijgen dan :

- $k_s(615 \text{ }^\circ\text{C}) = 0,28$
- $k_s(500 \text{ }^\circ\text{C}) = 0,6$ .

#### C. Berekening van het weerstandsmoment van de doorsnede in warme toestand

Om het weerstandsmoment van de doorsnede in warme toestand te bepalen, volstaat het de theorie voor de berekening van gewapend beton in koude toestand toe te passen op de verminderde doorsnede (dimensionering bij uiterste grenstoestand), rekening houdend met het sterkteverlies van de wapening. Belangrijke opmerking : de reductiecoëfficiënt  $\gamma_M$  voor staal en beton is gelijk aan 1 bij berekening in warme toestand (cf. § 2.3.(2) van ENV 1992-1-2).

Het weerstandsmoment in warme toestand bedraagt :  $M_{R,fire,t} = F_{trek} \cdot z$ , waarbij  $F_{trek}$  de trekkracht is van de wapening in warme toestand en  $z$  de hefboomsarm.

De bruikbare kracht in de wapening in warme toestand bedraagt :  $F_{trek} = \sum \Omega_{ci} \cdot k_i(\theta) \cdot f_{yi}(20^\circ\text{C}) = 201 \text{ mm}^2 \times 500 \times (0,28 \times 2 + 0,6) = 116,6 \text{ kN}$ .

De hefboomsarm kan als volgt bepaald worden (theorie voor het dimensioneren in koude toestand) :

- de kracht, opgenomen door een betonstrook van 1 mm, bedraagt :  $R_{mm} = f_{ck} \cdot b' = 30 \cdot 232 = 6,96 \text{ kN/mm}$
- de hoogte van het equivalente rechthoekige diagram bedraagt :  $H = F_{trek} / R_{mm} = 16,75 \text{ mm}$
- de hefboomsarm is dus gelijk aan  $z =$  nuttige hoogte  $- H/2 = 351,6 \text{ mm}$ .

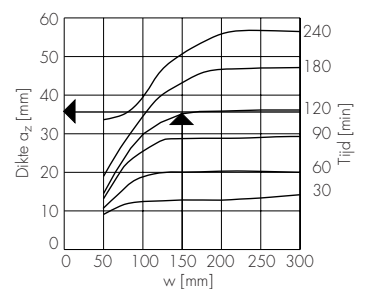
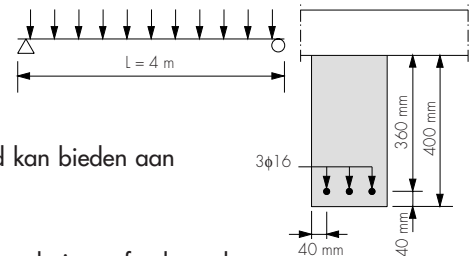
Het weerstandsmoment is tenslotte gelijk aan  $M_{R,fire,t} = F_{trek} \cdot z = 41 \text{ kNm}$ .

#### D. Besluit

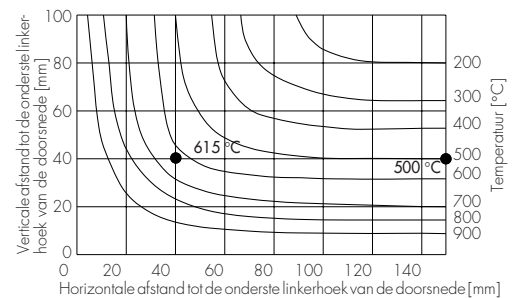
De rekenwaarde van het weerstandsvermogen na 120 minuten standaardbrand, met name  $R_{d,fi,t} = M_{r,fire,t} = 41 \text{ kNm}$ , is kleiner dan de rekenwaarde van de invloed van de belastingen bij brand, d.i.  $E_{d,fi,t} = 50 \text{ kNm}$ .

De vergelijking [3] is niet geverifieerd en de balk is dus niet R 120. Een oplossing bestaat erin de betondekking te vergroten. Door de afstand tot de as van de wapening van 40 mm tot 50 mm te vergroten, verkrijgt men een weerstandsmoment in warme toestand dat groter is dan het uitgeoefende moment. De voorwaarde [3] is dus vervuld.

Afb. 11 Schema van de balk.



Afb. 12 Bepaling van de verminderde doorsnede van een betonbalk of een betonplaat met siliciumgranulaat (ENV 1992-1-2).



Afb. 13 Temperatuurverdeling in de doorsnede van een betonbalk ( $b = 300 \text{ mm}$ ;  $h = 600 \text{ mm}$ ) na 120 min. blootstelling aan een standaardbrand (ENV 1992-1-2).

## LITERATUURLIJST

- 1** Belgisch Instituut voor Normalisatie  
NBN ENV 1991-2-2 Eurocode 1 Grondslag voor ontwerp en belasting op draagsystemen. Deel 2-2 : Belasting op draagsystemen – Belasting op draagsystemen bij brand. Brussel, BIN, februari 1995 (+ NAD 1999).  
NBN ENV 1992-1-2 NAD Eurocode 2 Berekening van betonconstructies. Deel 1-2 : Algemene regels – Berekening van het gedrag bij brand. Brussel, BIN, november 1995 (+ NAD 1999)  
NBN 713-020 Beveiliging tegen brand. Gedrag bij brand bij bouwmaterialen en bouwelementen. Weerstand tegen brand van bouwelementen (met erratum). Brussel, BIN, 1968.  
NBN 713-020/A1 Beveiliging tegen brand. Gedrag bij brand bij bouwmaterialen en bouwelementen. Weerstand tegen brand van bouwelementen. Brussel, BIN, 1982.  
NBN 713-020/A2 Beveiliging tegen brand. Gedrag bij brand bij bouwmaterialen en bouwelementen. Weerstand tegen brand van bouwelementen. Brussel, BIN, 1985.  
NBN 713-020/A3 Beveiliging tegen brand. Gedrag bij brand bij bouwmaterialen en bouwelementen. Weerstand tegen brand van bouwelementen. Brussel, BIN, 1994.
  
- 2** Brûls A. & Vandeveld P.  
Brandveiligheid in gebouwen. Deel 1 : passieve beveiliging. Gent, Instituut voor Brandveiligheid (ISIB), mei 2000.
  
- 3** Comité Européen de Normalisation  
Internet-adres van het CEN : <http://www.cenorm.be/>
  
- 4** Dotreppe J.C.  
Module 5. Eurocode 2 : béton. Uitgegeven in het kader van de opleiding voor Fire Safety Engineering «Résistance au feu des constructions. Applications des Eurocodes», Universiteit Luik, november 2000.
  
- 5** Schaerlaekens S.  
De Eurocodes : alles wat u reeds had willen weten. Brussel, WTCB-Tijdschrift, zomer 1999.
  
- 6** Schleich J.B. & Franssen J.M.  
Module 4. Eurocode 1 : (actions et) parties communes aux autres Eurocodes. Uitgegeven in het kader van de opleiding voor Fire Safety Engineering «Résistance au feu des constructions. Applications des Eurocodes», Universiteit Luik, 26 oktober 2000.