

## Algemeen

Voor het toetsen van de brandwerendheid van een constructie bij een standaardbrand (ISO 834-brandcurve) is een berekening van de afzonderlijke elementen voldoende. [§ 2.4.1]

De effecten van de axiale thermische uitzettingen mogen worden verwaarloosd. De effecten van de thermische vervormingen, veroorzaakt door de temperatuurgradiënt over de dwarsdoorsnede, moeten wel beschouwd worden. [§ 2.4.2]

Niet-rechtstreekse belastingen veroorzaakt door aangrenzende elementen moeten niet meegenomen worden in de berekening bij een standaardbrand. Er mag dus verondersteld worden dat er geen belemmering is aan de steunpunten. Echter, de indirecte belastingen te wijten aan inwendige thermische spanningen moeten in elk geval in rekening gebracht worden. [§ 4.2.2, NBN EN 1991-1-2:2003 + ANB:2008]

*Men mag ervan uitgaan dat de oplegvoorwaarden constant blijven en identiek zijn aan deze in de koude toestand. Daarom mag het bijkomende moment van een kolom (veroorzaakt door de temperatuurgradiënt), waarop een balk ingeklemd wordt opgelegd, verwaarloosd worden in de berekening van die balk.*

*Bij een balk resulteert de thermische kromming (veroorzaakt door de temperatuurgradiënt) niet in een tweede orde effect.*

Het bezwijken op afschuiving (dwarskracht) door brand is zeer ongebruikelijk. [bijlage D]

Wanneer de minimale afmetingen in tabel 5.5 en 5.6 zijn aangehouden, is een verdere controle op afschuiving (dwarskracht), wringing en verankering niet vereist. [§ 4.4]

Berekeningsmethoden voor afschuiving (dwarskracht), wringing en verankering mogen zijn gebruikt wanneer deze zijn onderbouwd door informatie uit proeven. [§ 4.4 en bijlage D]

## Vereenvoudigde berekeningsmethode: 500 °C isotherm methode

### • Toepassingsgebied

Deze methode is van toepassing voor blootstelling aan een standaardbrand en aan elke andere tijd/temperatuur-relatie die een vergelijkbare temperatuurverdeling veroorzaakt in de balk. [§ B.1.1]

Deze methode mag worden toegepast voor de berekening van de weerstand tegen buigmomenten en axiale krachten. [§ 4.2.1]

Deze methode is toepasbaar voor balken in gewapend en voorgespannen beton. [§ 4.2.3]

Deze methode is geldig voor een minimumbreedte van de balk zoals weergegeven in onderstaande tabel. [§ B.1]

Brandwerendheid	R60	R90	R120	R180	R240
Minimumbreedte (mm)	90	120	160	200	280

### • Principe

Gebruik de conventionele berekeningsmethoden voor het bepalen van het weerstand biedend buigmoment op basis van de gereduceerde dwarsdoorsnede van het beton en de gereduceerde sterkte van de wapening, en vergelijk dit met het optredend buigmoment. [§ B.1]

De rekenwaarde van de mechanische materiaaleigenschappen:  $X_{d,fi} = k_{\theta} \cdot X_k / \gamma_{M,fi}$ . [§ 2.3]

De partiële factoren voor de materiaaleigenschappen:  $\gamma_{s,fi} = \gamma_{c,fi} = 1,0$ . [§ 2.3]

De belastingscombinatie voor buitengewone ontwerpsituaties:

$$E_{d,fi} = E(G_{k,j}; A_d; (\psi_{1,1} \text{ of } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1}; \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) \quad [§ 6.4.3.3, NBN EN 1990:2002 + ANB:2013]$$

met:  $A_d$  = de rekenwaarde van de niet-rechtstreekste effecten van de thermische belasting = 0

$Q_{k,1}$  = de karakteristieke waarde van de overheersende veranderlijke belasting ( $\psi_{1,1}$  in geval van wind)

### • Temperatuurverdeling

[bijlage A]

De figuren A.3 tot en met A.10 zijn enkel geldig voor kalksteenhoudende granulaten.

Kalksteenhoudende granulaten bevatten minstens 80 gewichtsprocenten aan kalksteengranulaten.

Onder granulaat moet het grof granulaat verstaan worden en dus niet het zand ( $D_{\max} \leq 4 \text{ mm}$ ). [3.2.2.1]

Voor I-balken: rapport ULg dd. 26/9/2017 (te downloaden op [www.febefast.be](http://www.febefast.be)).

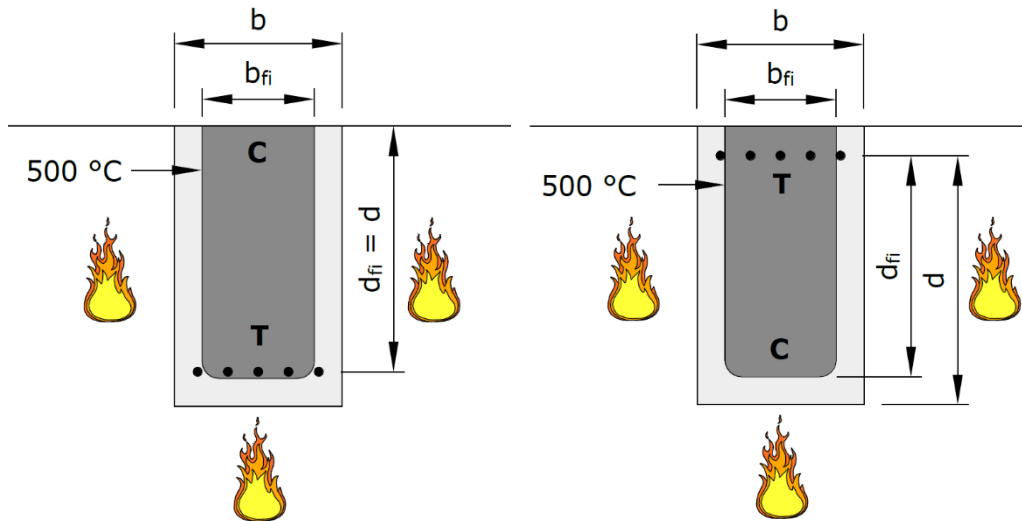
### • Gereduceerde dwarsdoorsnede

[§ B.1]

Beton warmer dan 500 °C levert geen bijdrage meer aan het draagvermogen, beton kouder dan 500 °C behoudt zijn oorspronkelijke sterkte bij 20 °C ( $f_{cd,fi}(20) = \alpha_{cc} \cdot f_{ck}$ ;  $\epsilon_{cu,fi}(20) = \epsilon_{cu} = 0,0035$  voor een beton < C55/67).

$\alpha_{cc} = 0,85$  [§ 5.3.2]

De nieuwe breedte  $b_{fi}$  en de nieuwe effectieve hoogte  $d_{fi}$  moeten bepaald worden door het beton buiten de 500 °C isotherm weg te denken (figuur B.1-a en b).



Figuur B.1-a (links) en b (rechts)

- Gereduceerde sterkte van de wapening**

De wapening die buiten de gereduceerde dwarsdoorsnede valt mag evenzeer meegenomen worden in de berekening van het uiterste draagvermogen. [§ B.1.2]

Betonstaal:  $f_{sy,\theta} = k_s(\theta) \cdot f_{yk}$  [figuur 4.2a]

$\epsilon_{st,\theta} = 0,15$  [figuur 3.3, klasse B ( $\epsilon_{uk} \geq 5,0\%$ )]

Voorspanstaal:  $f_{py,\theta} = k_p(\theta) \cdot (0,95 \cdot f_{pk})$  [figuur 4.3, klasse A is normatief]

$\epsilon_{pt,\theta} = 0,05$  bij 20 °C en 0,10 bij 1200 °C [tabel 3.3]

## Gegevens in tabelvorm

### • Toepassingsgebied

De tabellen zijn bruikbaar voor gewapende en voorgespannen balken. [§ 5.2]

De tabellen zijn van toepassing op balken die aan 3 zijden aan brand zijn blootgesteld, waarbij de bovenzijde is beschermd. [§ 5.6.1]

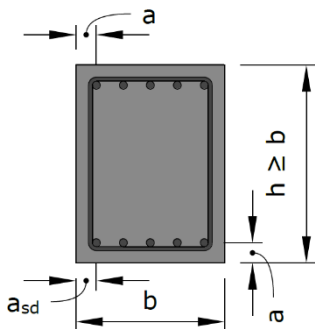
De tabellen zijn van toepassing op beton met kiezelhoudende granulaten. Voor kalksteenhoudende granulaten mag de minimumafmeting van de dwarsdoorsnede worden verminderd met 10 %. [§ 5.1]

De tabellen zijn geldig voor de dwarsdoorsneden in figuur 5.4. [§ 5.6.1]

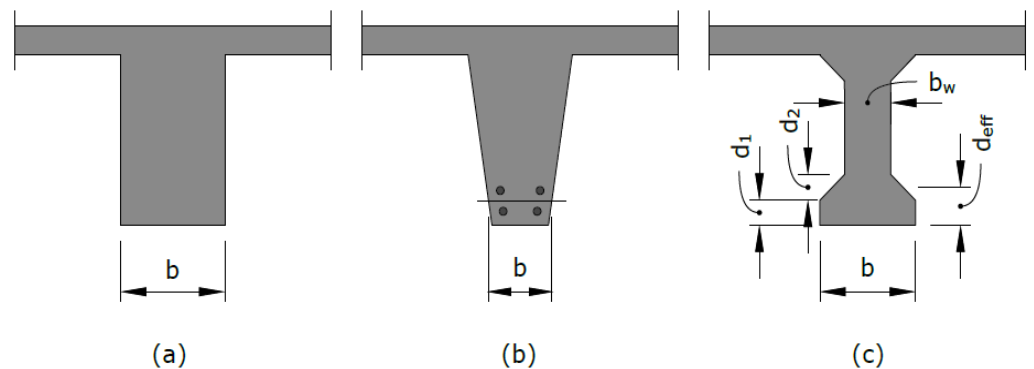
### • Algemeen

De tabellen zijn gebaseerd op een kritieke temperatuur van 500 °C, op een referentie-belastingsniveau  $\eta_{fi} = E_{d,fi}/E_d = 0,7$  en op een staalhoeveelheid  $A_{s,prov} = A_{s,req}$ . [§ 5.2]

De tabellen geven de minimumwaarden voor de balkbreedte 'b', de lijfdikte 'b<sub>w</sub>', de wapeningsafstand 'a' tot de onderzijde en de zijkanten in functie van de brandwerendheid (figuren 5.2 en 5.4). Lineaire interpolatie tussen de waarden is toegelaten. De wapeningsafstanden 'a' zijn nominale waarden. [§ 5.2]



Figuur 5.2



Figuur 5.4

Als  $\eta_{fi} = E_{d,fi}/E_d = 0,7$  en  $A_{s,prov} = A_{s,req}$ :

- is de kritieke temperatuur van betonstaal 500 °C
- is de kritieke temperatuur van voorspanstrengen en -draden 350 °C, waardoor een verhoging van 15 mm nodig is van de wapeningsafstand uit de tabellen. [§ 5.2]

Voor balken met een variabele breedte heeft de breedte 'b' betrekking op de breedte ter hoogte van het zwaartepunt van de trekwapening (figuur 5.4-b). [§ 5.6.1]

De effectieve hoogte  $d_{eff}$  van de onderflens van I-vormige balken behoort niet kleiner te zijn dan  $d_{eff} = d_1 + 0,5 \cdot d_2 \geq b_{min}$  (figuur 5.4-c). [§ 5.6.1]

Wanneer de werkelijke breedte van de onderflens 'b' van I-vormige balken groter is dan 1,4 keer de werkelijke breedte van het lijf 'b<sub>w</sub>', en wanneer  $b \cdot d_{eff} < 2 \cdot b_{min}^2$ , moet de minimumwapeningsafstand

'a<sub>min</sub>' verhoogd worden tot  $a_{eff} = a_{min} \cdot \left( 1,85 - \frac{d_{eff}}{b_{min}} \cdot \sqrt{\frac{b_w}{b}} \right) \geq a_{min}$ . [§ 5.6.1]

Wanneer de wapening is gerangschikt in verscheidene lagen mag de gemiddelde wapeningsafstand 'a<sub>m</sub>' tot de onderzijde en de zijkanten niet kleiner zijn dan de minimumwapeningsafstand 'a<sub>min</sub>'. [§ 5.2]

Voor balken met wapening in de onderzijde uitsluitend in één laag geldt voor de minimale waarde van de afstand van de wapeningstaaf (of voorspandraad of -streng) in de hoek tot de zijkant van de balk: a<sub>sd,min</sub> = a<sub>min</sub> + 10 mm (figuur 5.2). [§ 5.6.1]

Gaten in de lijven van balken hebben geen invloed op de brandwerendheid, mits de resterende oppervlakte van de dwarsdoorsnede in de trekzone niet kleiner is dan A<sub>c</sub> = 2.b<sub>min</sub><sup>2</sup>. [§ 5.6.1]

• **Tabel voor vrij opgelegde balken** [tabel 5.5, Klasse WC is normatief]

Onderstaande tabel is slechts een deel van tabel 5.5.

R	b <sub>min</sub> (mm)/a <sub>min</sub> (mm)				b <sub>w,min</sub> (mm)
	1	2	3	4	
R60	120/40	160/35	200/30	300/25	100
R90	150/55	200/45	300/40	400/35	100
R120	200/65	240/60	300/55	500/50	120

De verhoging met 10 mm van a<sub>min</sub> van de wapeningstaaf (of voorspandraad of -streng) in de hoek vervalt voor balkbreedtes groter dan deze van kolom 4.

Indien η<sub>fi</sub> = E<sub>d,fi</sub>/E<sub>d</sub> < 0,7 en/of A<sub>s,prov</sub> > A<sub>s,req</sub> neemt de kritische temperatuur van de wapening toe. Als gevolg hiervan mag de minimumwapeningsafstand 'a<sub>min</sub>' verminderd worden. Deze reductie bedraagt Δa = 24.(1 - ζ) ≤ 20 mm voor gewapend beton en voorgespannen beton met draden en strengen (hechtend), waarbij ζ = (A<sub>s,req</sub>/A<sub>s,prov</sub>) · (η<sub>fi</sub>/0,7). [§ 5.2]

• **Tabel voor doorgaande balken** [tabel 5.6, Klasse WC is normatief]

Onderstaande tabel is slechts een deel van tabel 5.6.

R	b <sub>min</sub> (mm)/a <sub>min</sub> (mm)				b <sub>w,min</sub> (mm)
	1	2	3	4	
R60	120/25	200/12	/	/	100
R90	150/35	250/25	/	/	100
R120	200/45	300/35	450/35	500/30	120

De verhoging met 10 mm van a<sub>min</sub> van de wapeningstaaf (of voorspandraad of -streng) in de hoek vervalt voor balkbreedtes groter dan deze van kolom 3.

## Vereenvoudigde methode volgens Bijlage E

### • Toepassingsgebied

[§ E.1]

Deze methode is uitsluitend van toepassing voor balken met overwegend gelijkmatig verdeelde belastingen, waarbij het ontwerp bij omgevingstemperatuur is gebaseerd op een lineaire berekening.

Deze methode geeft een uitbreiding van het gebruik van de methode met gegevens in tabelvorm voor balken die aan drie zijden aan brand zijn blootgesteld.

### • Algemeen

[§ E.1]

De methode bepaalt het effect op de buigweerstand in situaties waarin de wapeningsafstand 'a' tot de onderwapening kleiner is dan de vereiste waarden van de tabellen.

De minimumafmetingen van de dwarsdoorsnede ( $b_{\min}$  en  $b_{w,\min}$ ) gegeven in de tabellen mogen niet gereduceerd worden.

### • Vrij opgelegde balken

[§ E.2]

Principe:  $M_{Ed,fi} \leq M_{Rd,fi}$

$$M_{Ed,fi} = w_{Ed,fi} \cdot l_{eff}^2 / 8$$

$$M_{Rd,fi} = \left( \gamma_s / \gamma_{s,fi} \right) \cdot k_s(\theta) \cdot M_{Ed} \cdot (A_{s,prov} / A_{s,req}) \text{ voor gewapend beton}$$

$$M_{Rd,fi} = \left( \gamma_s / \gamma_{s,fi} \right) \cdot k_p(\theta) \cdot M_{Ed} \cdot (A_{s,prov} / A_{s,req}) \text{ voor voorgespannen beton}$$

met:  $k_s(\theta)$  volgens figuur 4.2a,  $k_p(\theta)$  volgens figuur 4.3 (klasse A)

$$1 \leq A_{s,prov} / A_{s,req} \leq 1,3$$

### • Doorlopende balken

[§ E.3]

Principe:  $M_{Ed,fi,span} \leq M_{Rd,fi,span}$  en  $M_{Ed,fi,support} \leq M_{Rd,fi,support}$

$$M_{Rd,fi,span} = \left( \gamma_s / \gamma_{s,fi} \right) \cdot k_s(\theta) \cdot M_{Ed} \cdot (A_{s,prov} / A_{s,req}) \text{ voor gewapend beton}$$

$$M_{Rd,fi,span} = \left( \gamma_s / \gamma_{s,fi} \right) \cdot k_p(\theta) \cdot M_{Ed} \cdot (A_{s,prov} / A_{s,req}) \text{ voor voorgespannen beton}$$

$M_{Rd,fi,support} = \left( \gamma_s / \gamma_{s,fi} \right) \cdot M_{Ed} \cdot (A_{s,prov} / A_{s,req}) \cdot (d-a)/d$  indien de temperatuur van de bovenwapening bij de steunpunten niet meer bedraagt dan 350 °C voor betonstaal en 100 °C voor voorspanstaal. Voor hogere temperaturen moet  $M_{Rd,fi,support}$  gereduceerd worden met  $k_s(\theta_{cr})$  voor betonstaal en  $k_p(\theta_{cr})$  voor voorspanstaal volgens figuur 5.1.

met:  $k_s(\theta)$  volgens figuur 4.2a,  $k_p(\theta)$  volgens figuur 4.3 (klasse A)

$$1 \leq A_{s,prov} / A_{s,req} \leq 1,3$$

a = de vereiste wapeningsafstand volgens kolom 5 in tabel 5.5

## Explosief spatten

[§ 4.5.1]

Explosief spatten moet zijn vermeden, of de invloed ervan op het draagvermogen moet in rekening zijn gebracht.

Explosief spatten is onwaarschijnlijk wanneer het vochtgehalte van het beton lager is dan 3 gewichtsprocenten. Voor toepassing in blootstellingsklasse X<sub>0</sub> en XC<sub>1</sub> mag zijn aangenomen dat het vochtgehalte hieraan voldoet.

Bij gebruik van gegevens in tabelvorm is geen verdere controle vereist voor normaalbeton.

Wanneer het vochtgehalte van het beton groter is dan 3 gewichtsprocenten mag de invloed op het draagvermogen zijn bepaald door een verlies aan betondekking op de wapening aan te nemen en daarna het gereduceerde draagvermogen van de doorsnede te controleren. Voor de andere wapening mag de temperatuur gelijk zijn genomen aan die in een niet-afgespatte doorsnede. Deze toetsing is niet vereist wanneer het spatten experimenteel is gecontroleerd.

Voor balken met een breedte van 400 mm of meer en met meer dan 8 staven, draden of strengen in de trekzone, mag zijn aangenomen dat er voldoende herverdeling van spanningen mogelijk is zonder verlies aan draagvermogen.

## Aanvullende regels voor hogesterktebeton

- **Vereenvoudigde berekeningsmethode: 500 °C isotherm methode**

De methode is ook van toepassing voor hogesterktebeton.

[§ 6.4.2]

De berekende momentcapaciteit moet vermenigvuldigd worden met de factor 'k<sub>m</sub>'.

[§ 6.4.2.2]

$$k_m = 0,98 \text{ voor } C_{55/67} \text{ en } C_{60/75} \text{ en } 0,95 \text{ voor } C_{70/85} \text{ en } C_{80/95}$$

- **Gegevens in tabelvorm**

De methode is ook van toepassing voor hogesterktebeton indien de minimumwapeningsafstand wordt vermenigvuldigd met de factor 'k' en indien de minimumafmetingen van de dwarsdoorsnede vergroot worden met  $2 \cdot (k - 1) \cdot a_{\min}$

[§ 6.4.3]

met:  $k = 1,1$  voor  $C_{55/67}$  en  $C_{60/75}$  en  $1,3$  voor  $C_{70/85}$  en  $C_{80/95}$

$a_{\min}$  = de minimumwapeningsafstand volgens tabel 5.5 of 5.6, vermenigvuldigd met factor k

- **Explosief spatten**

[§ 6.2]

Voor sterkteklasse  $C_{55/67}$  tot en met  $C_{80/95}$  zijn de regels voor normaalbeton van toepassing, mits het maximumgehalte silica fume lager is dan 6 % van het cementgewicht.

Voor hogere gehalten silica fume en voor sterkteklasse  $C_{90/105}$  moeten maatregelen genomen worden. De meest voor de hand liggende is minstens  $2 \text{ kg/m}^3$  monofilament polypropyleenvezels toe te voegen aan het betonmengsel.



Een rechthoekige balk die correct ontworpen is in koude toestand, haalt zonder bijzondere maatregelen makkelijk een brandweerstand van R60 en meer.

### Disclaimer

De inhoud van deze publicatie is uitsluitend bedoeld als informatie voor de gebruiker. FEBE betracht uiterste zorgvuldigheid bij het opstellen van de informatie in deze publicatie. Toch kan FEBE niet garanderen dat deze informatie geheel juist, volledig en actueel is. FEBE kan dan ook niet aansprakelijk worden gesteld voor het gebruik ervan. Voor de correcte toepassing van een product zal rekening moeten gehouden worden met het wettelijk kader, de productnormen, de voorschriften van de fabrikant, de lokale situatie en de gedetailleerde plannen van de ontwerper.