

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. Bij een kolom veroorzaakt de thermische kromming (door de temperatuurgradiënt) een excentriciteit van de verticale belasting. De indirecte belasting is de toename van het buigmoment ten gevolge van dit tweede-orde-effect. [§ 4.2.2, NBN EN 1991-1-2:2003 + ANB:2008]

De verlenging (door de thermische uitzetting) van een balk, opgelegd op een kolom, mag dus verwaarloosd worden in de berekening van die kolom.

Men mag ervan uitgaan dat de oplegvoorwaarden constant blijven en identiek zijn aan deze in de koude toestand.

Er worden in de norm geen richtlijnen gegeven om de thermische kromming te berekenen. Een kolom die aan alle zijden wordt blootgesteld aan brand vertoont geen thermische kromming.

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 kolom. [§ 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 kolommen in gewapend en voorgespannen beton. [§ 4.2.3]

Deze methode is geldig voor een minimumbreedte van de kolom 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 (500 °C isotherm methode), en vergelijk dit met het optredende buigmoment. [§ B.1]

Omdat richtlijnen ontbreken voor het berekenen van de thermische kromming, zou men kunnen veronderstellen dat de kolom aan alle zijden wordt blootgesteld. De dwarsdoorsnede wordt dus langs alle zijden gereduceerd.

De beoordeling van een kolom onder brandomstandigheden, als een afzonderlijk element, mag uitgevoerd worden met de methode gebaseerd op de nominale kromming (zie § 5.8.8 van NBN EN 1992-1-1:2004 + ANB:2010). [§ B.3.1]

Als een veilige vereenvoudiging mag de kniklengte onder brandomstandigheden, $l_{o,fi}$, gelijk zijn genomen aan l_o bij normale temperatuur. [§ B.3.1]

Voor geschoorde constructies met doorlopende kolommen en compartimentsvloeren mag $l_{o,fi} = 0,5 \cdot l$ verondersteld worden voor de tussenverdiepingen en $0,5 \cdot l \leq l_{o,fi} \leq 0,7 \cdot l$ voor de bovenste verdieping. In het geval van een kolom met scharnierende uiteinden mag $l_{o,fi} = 1,0 \cdot l$ in rekening worden gebracht. Voor ongeschoorde constructies mag voor $l_{o,fi}$ het minimum van $2,0 \cdot l$ en l_o genomen worden. Hierin is 'l' de systeemplengte van de kolom.

[§ 5.3.2, NBN EN 1992-1-2:2005 + bijlage C, NBN EN 1992-1-2:2004/A1:2019]

Dit is geldig voor constructies zonder compartimentswanden waarin alle kolommen dezelfde stijfheid hebben.

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:

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

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

Zelfs als de thermische belasting nul is, moet rekening gehouden worden met het effect van de thermische kromming.

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

• **Temperatuurverdeling**

[bijlage A]

De figuren A.11 tot en met A.20 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]

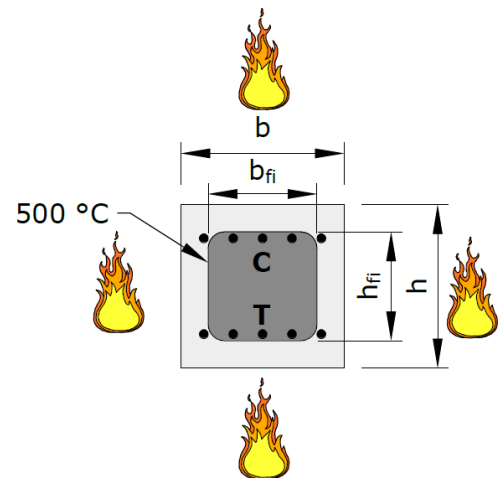
• **Gereduceerde dwarsdoorsnede**

[§ 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).

$$\alpha_{cc} = 0,85 \quad [\S 5.3.2]$$

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-c).



Figuur B.1-c

• **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 ($\epsilon_{uk} \geq 5,0 \%$)]

$E_{s,\theta} = k_s(\theta) \cdot E_s$ [tabel 3.2a]

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]

$E_{p,\theta} = k_p(\theta) \cdot E_p$ [tabel 3.3]

Gegevens in tabelvorm

• Toepassingsgebied

De tabellen zijn gegeven voor geschoorde constructies. Voor niet-geschoorde constructies mogen ze ook gebruikt worden, op voorwaarde dat:

- de grenswaarden voor de kniklengte $l_{o,fi}$ en de slankheid λ_{fi} gerespecteerd worden;
- voor $M_{oEd,fi}$ de maximale waarde van het moment van 1^{ste} orde over de lengte van de kolom genomen wordt. [§ 5.3.1]

De tabellen zijn van toepassing op beton met kiezelhoudende en kalksteenhoudende granulaten. [§ 5.1]

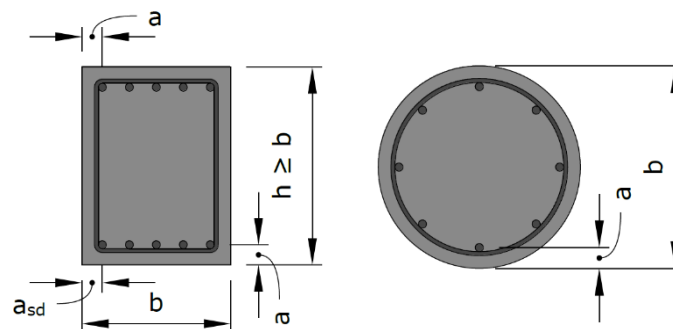
In tegenstelling tot bij balken, is het bij kolommen met kalksteenhoudende granulaten niet toegestaan om de minimale afmetingen van de dwarsdoorsnede uit de tabellen te reduceren.

De tabellen zijn van toepassing op rechthoekige en cirkelvormige doorsneden. [§ 5.3]

• Algemeen [§ 5.2]

De tabellen zijn gebaseerd op een kritieke temperatuur van 500 °C en op een staalhoeveelheid $A_{s,prov} = A_{s,req}$.

De tabellen geven de minimumwaarden voor de kolombreedte 'b' en de wapeningsafstand 'a' tot de randen van de dwarsdoorsnede in functie van de brandwerendheid (figuur 5.2). Lineaire interpolatie tussen de waarden is toegelaten. De wapeningsafstanden 'a' zijn nominale waarden.



Figuur 5.2

Als $A_{s,prov} = A_{s,req}$:

- 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.

Wanneer de wapening is gerangschikt in verscheidene lagen mag de gemiddelde wapeningsafstand 'a' tot de randen niet kleiner zijn dan de minimumwapeningsafstand 'a_{min}'.

• Methode A [§ 5.3.2]

Deze methode is geschikt voor kolommen in gewapend en voorgespannen beton die voornamelijk belast worden op druk.

De minimum waarden in tabel 5.2.a.1-ANB en 5.2.a.2-ANB zijn geldig voor:

- $l_{0,fi} = l_0 \leq 2$ m (tabel 5.2.a.1-ANB) en ≤ 3 m (tabel 5.2.a.2-ANB)
- $e = M_{0Ed,fi} / N_{0Ed,fi} \leq 0,4$ h of $0,4$ b
- $A_s < 0,04 A_c$

De reductiefactor $\eta_{fi} = E_{d,fi}/E_d$ mag zijn gebruikt in plaats van $\mu_{fi} = N_{Ed,fi}/N_{Rd}$.

Onderstaande tabel is slechts een deel van tabel 5.2.a.2-ANB ($l_{0,fi} \leq 3$ m).

R	Blootgesteld aan meer dan één zijde						Blootgesteld aan één zijde	
	b _{min} (mm)	a _{min} (mm)						b _{min} (mm)/a _{min} (mm)
		$\mu_{fi} = 0,2$		$\mu_{fi} = 0,5$		$\mu_{fi} = 0,7$		
		n=4	n=8	n=4	n=8	n=4	n=8	$\mu_{fi} = 0,7$
R60	200	25	25	25	25	42	35	140/25
	250	25	25	25	25	39	32	
	300	25	25	25	25	37	29	
	350	25	25	25	25	34	26	
	400	25	25	25	25	31	25	
	450	25	25	25	25	28	25	
R90	200	29	25	45	37	-	-	140/25
	250	26	25	42	34	52	45	
	300	25	25	39	32	49	42	
	350	25	25	36	29	47	39	
	400	25	25	33	26	44	36	
	450	25	25	31	25	41	34	
R120	200	40	33	-	-	-	-	160/35
	250	37	30	53	45	63	56	
	300	35	27	50	43	61	53	
	350	32	25	47	40	58	50	
	400	29	25	45	37	55	47	
	450	26	25	42	34	52	45	

n = aantal staven

Andere brandwerendheden mogen zijn bepaald met volgende uitdrukking:

$$R = 120((R_{\mu_{fi}} + R_a + R_l + R_b + R_n)/120)^{1,8}$$

Hierbij moet rekening gehouden worden met volgende beperkingen:

- 2 m $\leq l_{0,fi} \leq 6$ m
- 25 mm $\leq a \leq 80$ mm
- 200 mm $\leq b \leq 450$ mm
- $h \leq 1,5$ b

Deze methode maakt het mogelijk om rekening te houden met de invloed op de brandweerstand wanneer $A_{s,prov} > A_{s,req}$ en/of 25 mm $\leq a \leq 80$ mm.

• Methode B

[§ 5.3.3]

Deze methode is geschikt voor kolommen in gewapend beton.

Volgende voorwaarden moeten vervuld zijn:

- $e/b \leq 0,25$ met $e = M_{0Ed,fi} / N_{0Ed,fi} \leq 100$ mm
- $\lambda_{fi} = l_{0,fi}/i = \lambda \leq 30$
- de mechanische wapeningsverhouding ' ω ' onder normale temperaturen moet berekend worden met volgende formule: $\omega = (A_s \cdot f_{yd}) / (A_c \cdot f_{cd})$
- het belastingsniveau ' n ' onder normale temperaturen moet berekend worden met volgende formule: $n = N_{0Ed,fi} / (0,7 \cdot (A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd}))$, waarbij $N_{0Ed,fi} = 0,7 N_{0Ed}$ mag genomen worden

Voor slankere kolommen ($\lambda_{fi} > 30$) kan bijlage C van NBN EN 1992-1-2:2004/A1:2019 geraadpleegd worden.

In kolommen met $A_s \geq 0,02 A_c$ moet, voor een brandwerendheid van meer dan 90 minuten, de wapening gelijkmatig verdeeld worden over de zijden van de dwarsdoorsnede.

Onderstaande tabel is slechts een deel van tabel 5.2b.

R	ω	$b_{min} (mm)/a_{min} (mm)$			
		$n = 0,15$	$n = 0,3$	$n = 0,5$	$n = 0,7$
R60	0,1	150/30:200/25	200/40:300/25	300/40:500/25	500/25
	0,5	150/25	150/35:200/25	250/35:350/25	350/40:550/25
	1,0	150/25	150/30:200/25	200/40:400/25	300/50:600/30
R90	0,1	200/40:250/25	300/40:400/25	500/50:550/25	550/40:600/25
	0,5	150/35:200/25	200/45:300/25	300/45:550/25	500/50:600/40
	1,0	200/25	200/40:300/25	250/40:550/25	500/50:600/45
R120	0,1	250/50:350/25	400/50:550/25	550/25	550/60:600/45
	0,5	200/45:300/25	300/45:550/25	450/50:600/25	500/60:600/50
	1,0	200/40:250/25	250/40:400/25	450/45:600/30	600/60

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 Xo en XC1 mag zijn aangenomen dat het vochtgehalte hieraan voldoet.

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

Aanvullende regels voor hogesterktebeton

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

De methode is ook van toepassing voor hogesterktebeton. [§ 6.4.2]

De dikte van het beschadigde beton 'a₅₀₀' moet vermenigvuldigd worden met de factor 'k'. [§ 6.4.2.1]

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

- **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 5.2.a.1-ANB, 5.2.a.2-ANB of 5.2b

- **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 kg/m^3 monofilament polypropyleenvezels toe te voegen aan het betonmengsel.

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.