

Projekt z przedmiotu Przeciwpowarowe Projektowanie Budowli

Konspekt - cd

Projekt powinien składa się ze:

- Strony tytułowej,
- Opisu technicznego,
- Obliczeń statycznych i sprawdzenia stanów granicznych w sytuacji trwałej dla:
 - płyty stropowej,
 - rygla ramy głównej,
 - słupa najniższej kondygnacji.
- Ustalenie odporności ogniowej elementów budynku,
- Obliczeń statycznych i sprawdzenia stanów granicznych w sytuacji pożaru dla:
 - płyty stropowej,
 - rygla ramy głównej,
 - słupa najniższej kondygnacji.
- Dobór i opis technologii zabezpieczenia przeciwpożarowego elementów budynku,
- Wnioski

(Preferowane jest sprawdzenie stanów granicznych w sytuacji pożaru kilkoma metodami)

OBLICZENIA KONSTRUKCJI W WARUNKACH POŻAROWYCH,

Poz. 3. Słup ramy głównej

W projekcie słup uważa się za wyizolowany element konstrukcyjny. Nie uwzględnia się pożarodziałalności pożaru z wyjątkiem wynikających z gradientów temperatury (tutaj ten wpływ również będzie pominięty). Stąd należy stosować wszystkie trzy metody analizy.

3.1 Zestawienie obciążeń i schemat statyczny słupa ramy

Zestawienie obciążeń i schemat statyczny słupa ramy zostały przyjęte dla sytuacji obliczeniowej trwałej.

3.2 Kombinatoryka obciążeń

Według PN-EN 1990-1 w przypadku wyjątkowych sytuacji obliczeniowych wykonuje się kombinacje oddziaływań:

Stan Graniczny No normalny:

$$Q_{Ed,fi} = G_k + A_d + P_k \cdot 1,1$$

A_d jest wartością obliczeniową po redniego oddziaływania wywołanego po arami (np. termiczne wydłużenie lub wygięcie elementu), w przypadku projektu przyjmujemy słup ramy o schemacie statycznie wyznaczalnym wpływające na pominięte wstępnych obliczeniach ($A_d = 0$).

Przy okazji można wyznaczyć współczynnik redukcyjny dla obliczeniowego poziomu obciążenia w sytuacji pożarowej:

$$\eta_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Ed}} = \frac{G_k + P_k \cdot \psi_{1,1}}{G_k \cdot \gamma_G + P_k \cdot \psi_{0,i} \cdot \gamma_Q} \quad \text{lub} \quad \eta_{fi} = \frac{N_{Ed,fi}}{N_{Ed}} = \frac{G_k + P_k \cdot \psi_{1,1}}{G_k \cdot \xi \cdot \gamma_G + P_k \cdot \gamma_Q}$$

(miarodajna jest wartość mniejsza z powyższych)

3.3 Obliczenie sił wewnętrznych w sytuacji pożarowej.

Dla celów projektu wystarczy określić maksymalne siły osiowe w warunkach pożarowych $N_{Ed,fi}$.

Obliczenia te można wykonać identycznie jak w sytuacji trwałej, będąc przemieszczone wartości siły osiowej z sytuacji trwałej przez współczynnik η_{fi} .

3.4 Sprawdzanie nośności słupa

Obliczenia w sytuacji pożarowej można wykonywać różnymi metodami. Do zaliczenia projektu wystarczy obliczenia według jednej z metod.

Słup ramy głównej w konstrukcji belkowej według PN-EN 1992-1-2 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-2: Reguły ogólne. Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe

Metoda tabelaryczna:

Opis podstaw metody został podany w konspekcie K-3.

Słup.

Dane tabelaryczne dotyczą jedynie konstrukcji usztywnionych (ram słupowych). Norma PN EN 1992-1-2 wprowadza dwie metody oceny odporności ogniowej słupów.

Metoda A

Można uznać, że słupy belkowe i sprężone, poddawane głównie ścisłaniu w konstrukcjach usztywnionych, uzyskują odpowiednią odporność ogniową, jeżeli stosujemy do nich wartości zamieszczone w Tabelicy 5.2a normy.

Zakres wartości minimalnych wartości szerokości słupa b_{min} i odległości osiowej podługożbrojenia a podanych w Tabelicy 5.2a normy ograniczony jest następująco:

- długość efektywna słupa w warunkach pożarowych: $l_{0,fi} \leq 3 \text{ m}$
- mimośród pierwszego rzędu w warunkach pożarowych: $e = M_{0Ed,fi} / N_{0Ed,fi} \leq e_{max}$
- ilość zbrojenia: $A_s < 0,04 \cdot A_c$

Wartość e_{max} , mieszcząca się w granicach $0,15 \cdot h$ (lub b) $e_{max} \leq 0,4 \cdot h$ (i b). Wartość zalecana wynosi $0,15h$ (i b).

Warto efektywnej długości słupa w warunkach pożarowych $l_{0,fi}$ można przyjmować we wszystkich przypadkach za równą l_0 w normalnej temperaturze. Dla usztywnionych konstrukcji budynków, gdy wymagany czas standardowej odporności ogniowej jest większy niż 30 minut, wartość efektywnej długości $l_{0,fi}$ może być równa $0,5 \cdot l$ dla poziomych kondygnacji oraz $0,5 \cdot l$ dla kondygnacji najwyższej, przy czym l oznacza rzeczywistą długość słupa (mierzoną w osiach podpór).

Wartość mimo rodzaju pierwszego rzędu w warunkach pożarowych można przyjmować za równą wartości mimo rodzaju przy projektowaniu w warunkach normalnych.

Tablica 5.2a: Minimalne wymiary i odległości osiowe dla słupów o przekroju prostokątnym lub kołowym

Standardowa odporność ogniowa	Minimalne wymiary (mm)			
	Szerokość słupa b_{min} /odległość osiowa a głównych prętów			
	Słupy nagrzewane z więcej niż jednej strony			Nagrzewane z jednej strony
	$\mu_{fi} = 0,2$	$\mu_{fi} = 0,5$	$\mu_{fi} = 0,7$	$\mu_{fi} = 0,7$
1	2	3	4	5
R 30	200/25	200/25	200/32 300/27	155/25
R 60	200/25	200/36 300/31	250/46 350/40	155/25
R 90	200/31 300/25	300/45 400/38	350/53 450/40**	155/25
R 120	250/40 350/35	350/45** 450/40**	350/57** 450/51**	175/35
R 180	350/45**	350/63**	450/70**	230/55
R 240	350/61**	450/75**	–	295/70
** Minimum 8 prętów Dla słupów sprężonych należy powiększyć odległość osiową zgodnie z 4.2.2 (4).				

Uwaga: Tablica 5.2a jest oparta na zalecanej wartości $\alpha_{eo} = 1,0$.

Wprowadza się współczynnik redukcyjny poziomu obciążenia obliczeniowego w sytuacji pożarowej μ_{fi} . Uwzględnia on kombinację obciążenia, wytrzymałość słupa na ściskanie oraz zginanie łącznie z efektami drugiego rzędu.

$$\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd}$$

gdzie: $N_{Ed,fi}$ jest obciążeniem osiowym w sytuacji pożarowej,

N_{Rd} jest obciążeniem nominalnym słupa w warunkach temperatury normalnej,

N_{Rd} oblicza się zgodnie z EN 1992-1-1, uwzględniając γ_m jak dla projektowania w temperaturze normalnej oraz efekty drugiego rzędu i początkowy mimośród jak dla obciążenia w warunkach pożarowych. Zamiast μ_{fi} można zastosować, jako bezpieczne uproszczenie, współczynnik redukcyjny

η_{fi} dla poziomego obciążenia obliczeniowego, ponieważ η_{fi} zakłada pełne obciążenie słupa przy projektowaniu w temperaturze normalnej.

Inne wartości danych tabelarycznych można wyznaczyć z równania:

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

gdzie: $R_{\eta_{fi}} = 83 \cdot \left[1,00 - \mu_{fi} \cdot \frac{(1+\omega)}{0,85 + \omega} \right]$,

$$R_a = 1,60 \cdot (a - 30),$$

$$R_l = 9,60 \cdot (5 - l_{o,fi})$$

$$R_b = 0,09 \cdot b'$$

$$R_n = 0 \text{ dla } n = 4 \text{ (tylko przy narożne)} \text{ lub } R_n = 12 \text{ dla } n > 4$$

a - odległość osiowa do podłóg przętów stalowych (mm); 25 mm $a \leq 80$ mm;

$l_{o,fi}$ - efektywna długość słupa w warunkach poziomych; 2 m $l_{o,fi} \leq 6$ m; wartości odpowiadające $l_{o,fi} = 2$ m dają bezpieczne rezultaty dla słupów o $l_{o,fi} < 2$ m;

$b' = 2 \cdot A_c / (b+h)$ dla prostokątnych przekrojów poprzecznych lub średnica kołowych przekrojów poprzecznych; 200 mm $b' \leq 450$ mm; $h \leq 1,5 b$.

ω - stopień zbrojenia w warunkach temperatury normalnej: $\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}}$.

a_{cc} - jest współczynnikiem dla wytrzymałości na ściskanie.

W stosunku do mimośrodu pierwszego rzędu w warunkach poziomych stosuj się także do podanych ograniczeń zakresu wartości.

Metoda B

Można przyjąć, iż belkowe słupy wykażą odpowiednią odporność ogniową, korzystając z danych zestawionych w Tabelicy 5.2b normy oraz przestrzegając odpowiednie reguły.

Tabelica 5.2b obowiązuje jedynie dla słupów w konstrukcjach usztywnionych (ram nieprzechyłowych), w których:

poziome obciążenie n , w warunkach temperatury normalnej jest określony zależnościami:

$$n = N_{0Ed,fi} / (0,7 \cdot (A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd}))$$

mimośród pierwszego rzędu w warunkach poziomych e , wynosi $e = M_{0Ed,fi} / N_{0Ed,fi}$ stosunek e/b przyjmij to $0,25$ przy $e_{max} = 100$ mm

smukłość słupa w warunkach poziomych l_{fi} , wynosi $l_{fi} = l_{o,fi} / i$ l_{fi} przyjmij to 30 , co odpowiada wikszości słupów w zwykłych budynkach.

gdzie: $l_{o,fi}$ - efektywna długość słupa w warunkach poziomych,

b - minimalny wymiar przekroju w słupach prostokątnych lub średnica w słupach o przekroju kołowym

$N_{0Ed,fi}$, $M_{0Ed,fi}$ - siła osiowa i moment pierwszego rzędu w warunkach poziomych,

ω - stopień zbrojenia w warunkach temperatury normalnej: $\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}}$.

i - minimalny promień bezwładności.

W Tabelicy 5.2b uwzględniono obciążenie osiowe i zginanie pierwszego rzędu wykorzystując obciążenie słupa w warunkach temperatury normalnej. Wzięto także pod uwagę efekty drugiego rzędu. Można przyjmować $N_{0Ed,fi}$ równe $0,7 \cdot N_{0Ed}$ ($\eta_{fi} = 0,7$), o ile η_{fi} nie obliczono dokładniej. W każdym przypadku można przyjmować l_{fi} w warunkach poziomych równą l w temperaturze normalnej. Dla usztywnionych konstrukcji budynków, gdy wymagany czas standardowej odporności ogniowej jest wyższy niż 30 minut, wartość efektywnej długości $l_{0,fi}$ może być równa $0,5 \cdot l$ dla posadzi kondygnacji i $0,5 \cdot l$ $l_{0,fi} = 0,7 \cdot l$ dla kondygnacji najwyższej, przy czym l oznacza rzeczywistą długość słupa (mierzoną w osiach podpór).

W przypadku słupów w których $A_s = 0,02 \cdot A_c$, dla odporności ogniowej wyższej niż 90 minut, wymagany jest równomierny rozkład prętów wzdłuż boków przekroju poprzecznego.

Tabela 5.2b: Minimalne wymiary i odległości osiowe dla słupów żelbetonowych o przekroju prostokątnym lub kołowym

Standardowa odporność ogniowa	Stopień zbrojenia ω	Minimalne wymiary (mm). Szerokość słupa b_{min} /odległość osiowa a			
		$n = 0,15$	$n = 0,3$	$n = 0,5$	$n = 0,7$
1	2	3	4	5	6
R 30	0,100	150/25*	150/25*	200/30:250/25*	300/30:350/25*
	0,500	150/25*	150/25*	150/25*	200/30:250/25*
	1,000	150/25*	150/25*	150/25*	200/30:300/25*
R 60	0,100	150/30:200/25*	200/40:300/25*	300/40:500/25*	500/25*
	0,500	150/25*	150/35:200/25*	250/35:350/25*	350/40:550/25*
	1,000	150/25*	150/30:200/25*	200/40:400/25*	300/50:600/30
R 90	0,100	200/40:250/25*	300/40:400/25*	500/50:550/25*	550/40:600/25*
	0,500	150/35:200/25*	200/45:300/25*	300/45:550/25*	500/50:600/40
	1,000	200/25*	200/40:300/25*	250/40:550/25*	500/50:600/45
R 120	0,100	250/50:350/25*	400/50:550/25*	550/25*	550/60:600/45
	0,500	200/45:300/25*	300/45:550/25*	450/50:600/25*	500/60:600/50
	1,000	200/40:250/25*	250/50:400/25*	450/45:600/30*	600/60
R 180	0,100	400/50:500/25*	500/60:550/25*	550/60:600/30	(1)
	0,500	300/45:450/25*	450/50:600/25*	500/60:600/50	600/75
	1,000	300/35:400/25*	450/50:550/25*	500/60:600/45	(1)
R 240	0,100	500/60:550/25*	550/40:600/25*	600/75	(1)
	0,500	450/45:500/25*	550/55:600/25*	600/70	(1)
	1,000	400/45:500/25*	500/40:600/30	600/60	(1)

* Zwykle decydująca jest otulina wymagana przez EN 1992-1-1.

(1) Wymagana jest szerokość większa niż 600 mm. Należy przeprowadzić szczegółowe obliczenia z uwzględnieniem wybożenia.

Uwzględnienie wybożenia słupów może być zrealizowane przy wykorzystaniu tablic zamieszczonych w załączniku C normy.

W metodzie tej należy sprawdzić :

Warunki konstrukcyjne (wg. PN-EN 1992-1-1)

Określi stopnia zbrojenia, smukłość, mimo rodzaju minimalnych wymiarów przekroju itd.

Dla danej klasy odporności ogniowej sprawdzić czy:

W metodzie A

Dla określonego współczynnika redukcyjny poziomu obciążenia obliczeniowego w sytuacji parowej μ_{fi} i sposobu nagrzewania słupa, średnia odległość osiowa zbrojenia od powierzchni słupa a , oraz szerokość słupa b_{min} są większe od minimalnych wartości podanych w odpowiedniej tabeli.

Szerokość słupa $b \geq b_{min} - (b_{min} - z \text{ odpowiedniej tablicy})$

Osiowa odległość zbrojenia głównego $a \geq a_{min} - (a_{min} - z \text{ odpowiedniej tablicy})$

W metodzie B

Dla określonego stopnia zbrojenia ω , oraz poziomu obciążenia n , kombinacja średniej odległości osiowej zbrojenia od powierzchni słupa a , oraz szerokość słupa b_{min} są większe od minimalnych wartości podanych w odpowiedniej tabeli.

Szerokość słupa $b \geq b_{min} - (b_{min} - z \text{ odpowiedniej tablicy})$

Osiowa odległość zbrojenia głównego $a \geq a_{min} - (a_{min} - z \text{ odpowiedniej tablicy})$

Czasem należy przeprowadzić liniową interpolację wartości tabelarycznych.

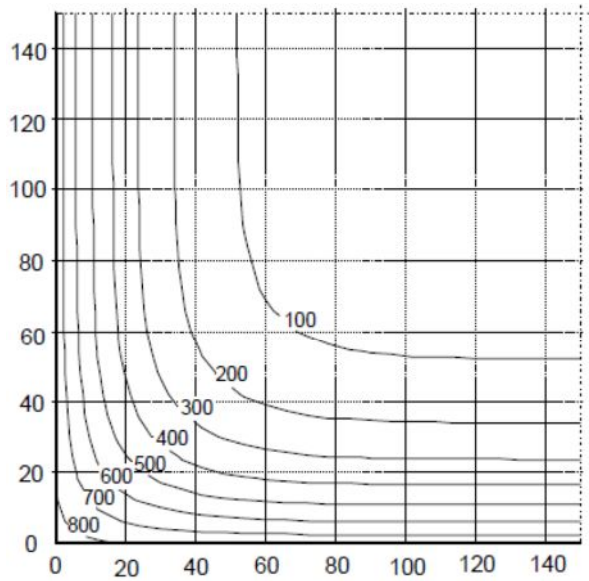
Uproszczona metoda obliczeniowa:

Opis podstaw metody został podany w konspekcie K-3.

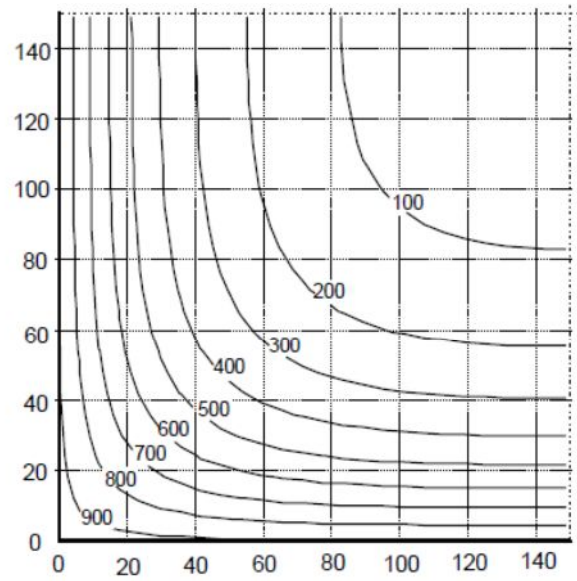
Profile temperatury

Podane rysunki i wykresy oparto na następujących założeniach:

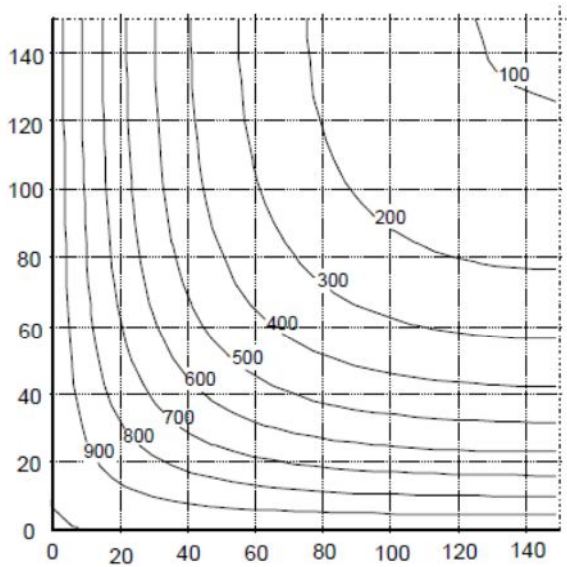
- Ciepłota właściwa betonu jest zgodna z założeniami dla wilgotności 1,5 %. Wykresy temperatury podają wartości bezpieczne w przypadku wilgotności przekraczającej 1,5 %
- Dolna granica przewodności cieplnej betonu jest zgodna z założeniami: Dolna granica przewodności cieplnej została ustalona na podstawie porównania z wartościami temperatury zmierzonymi w badaniach ogniowych dla różnych typów konstrukcji z betonu. Dolna granica dostarcza bardziej realistycznych wartości temperatury dla konstrukcji z betonu niż granica górna, która została ustalona na podstawie badań konstrukcji zespolonych stalowo-betonowych.
- Emisyjność równa 0,7 związana z powierzchnią betonową, jest zgodna z założeniami Normy.
- Współczynnik konwekcji wynosi 25



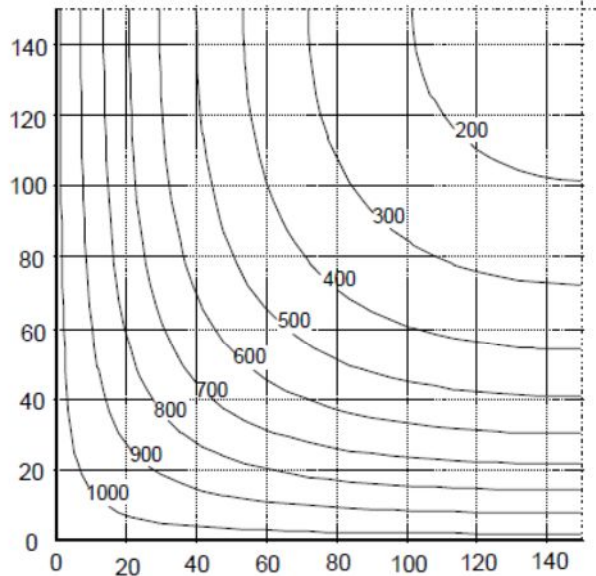
Rysunek A.11: Profile temperatury (°C) dla słupa
h x b = 300 x 300 – R30



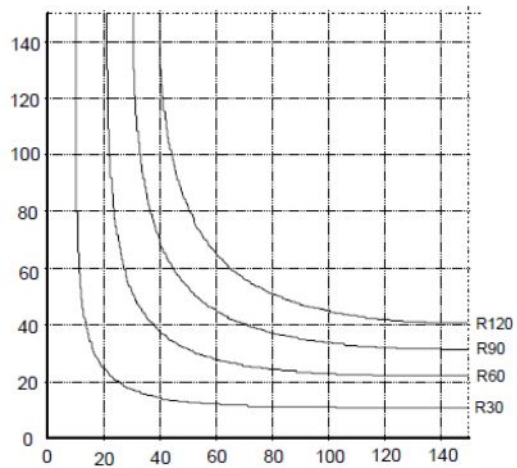
Rysunek A.12: Profile temperatury (°C) dla słupa
h x b = 300 x 300 – R60



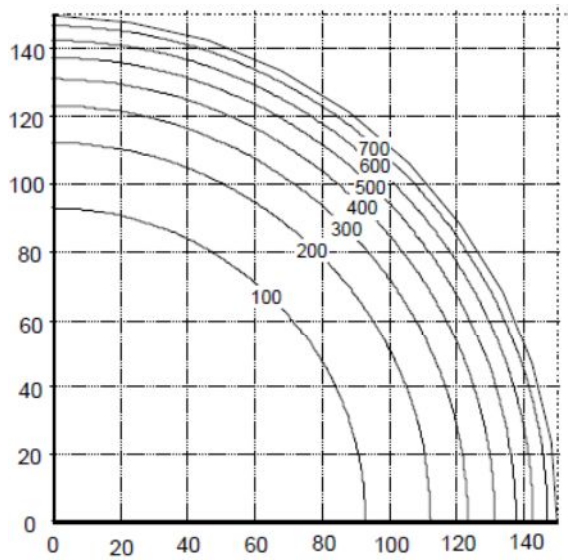
Rysunek A.13: Profile temperatury (°C) dla słupa
h x b = 300 x 300 – R90



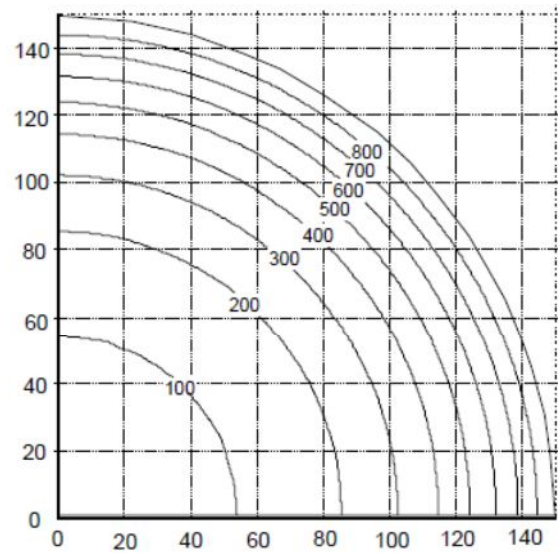
Rysunek A.14: Profile temperatury (°C) dla słupa
h x b = 300 x 300 – R120



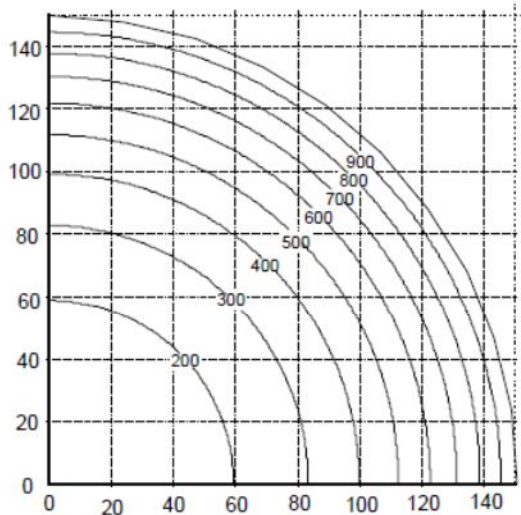
Rysunek A.15: Izotermy 500 °C dla słupa $h \times b = 300 \times 300$



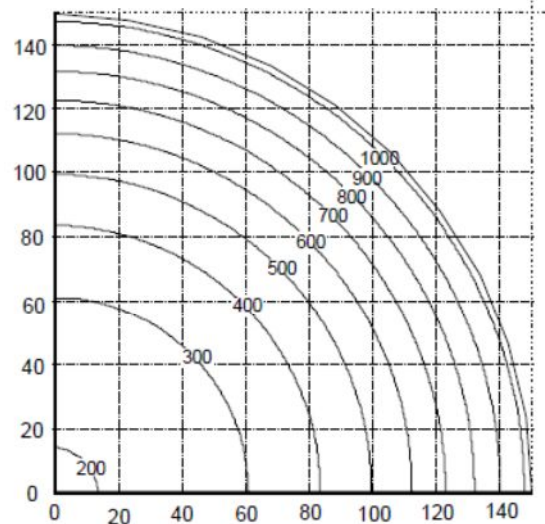
Rysunek A.16: Profile temperatury (°C) dla słupa okrągłego $\varnothing 300$ – R30



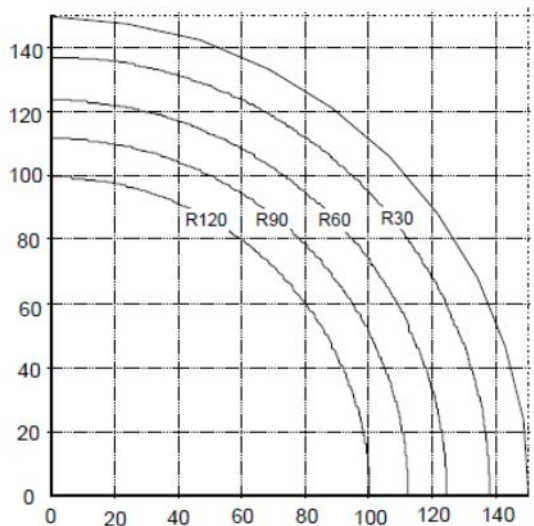
Rysunek A.17: Profile temperatury (°C) dla słupa okrągłego $\varnothing 300$ – R60



Rysunek A.18: Profile temperatury ($^{\circ}\text{C}$) dla słupa okrągłego $\varnothing 300$ – R90



Rysunek A.19: Profile temperatury ($^{\circ}\text{C}$) dla słupa okrągłego $\varnothing 300$ – R120



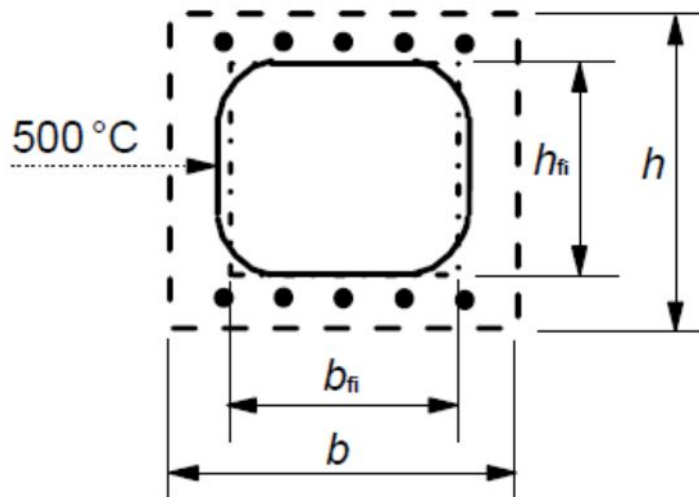
Rysunek A.20: Izotermy 500°C dla słupa okrągłego $\varnothing 300$

Uproszczona metoda obliczeniowa dla słupów – metoda izotermy 500°C .

Procedura projektowania przekroju elbetowego, poddawanego oddziaływaniu momentu zginającego i siły osiowej polega na metodzie przekroju zredukowanego. Można ją przeprowadzić w następujący sposób:

Wyznacza się izoterm 500°C dla ustalonego oddziaływania po prostu: standardowego lub parametrycznego;

Wyznacza się nową szerokość b_{fi} i nową efektywną wysokość d_{fi} przekroju poprzecznego poprzez odrzucenie betonu na zewnętrznej stronie izotermy 500°C . Zaokrąglone narożniki izoterm można zastąpić przez przybliżenie prawdziwego kształtu izotermy, prostokątem lub kwadratem,



oddziaływanie ognia z czterech stron (belka lub słup)

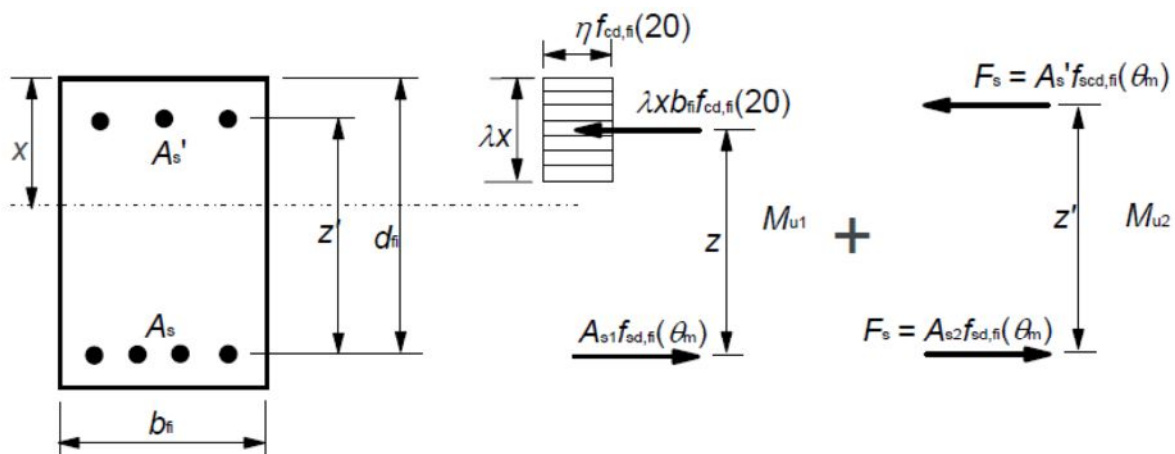
Wyznacza się temperaturę prętów zbrojeniowych w strefach rozciąganej i ściskanej. Temperaturę pojedynczego pręta zbrojeniowego można ustalić na podstawie profili temperatury, biorąc pod uwagę temperaturę rodka pręta. Niektóre spośród prętów zbrojeniowych mogą wystąpić poza obszar zredukowanego przekroju poprzecznego, pomimo to można je uwzględnić w obliczeniach nośności granicznej przekroju poprzecznego narazonego na działanie ognia;

Ustala się zredukowaną wytrzymałość zbrojenia spowodowaną temperaturą,

Stosując konwencjonalne metody obliczeniowe wyznacza się nośność graniczną zredukowanego przekroju, z uwzględnieniem wytrzymałości prętów zbrojeniowych w ustalonej temperaturze,

Porównuje się nośność graniczną z obliczeniowym efektem obciążenia lub alternatywnie, ustalonym odpornością ogniową z odpornością wymaganą.

Obliczenia nośności przekroju ze zbrojeniem rozciągającym i ściskającym przedstawia rysunek.



- b_{fi} jest szerokością efektywnego przekroju poprzecznego
- d_{fi} jest użyteczną wysokością efektywnego przekroju poprzecznego
- z jest ramieniem sił pomiędzy zbrojeniem rozciągającym i betonem
- z' jest ramieniem sił pomiędzy zbrojeniem rozciągającym i ściskającym

- A_s jest polem przekroju zbrojenia rozciąganego
 A_{s1} jest częścią zbrojenia rozciąganego w równowadze z bryłą betonu ściskanego
 A_{s2} jest częścią zbrojenia rozciąganego w równowadze ze zbrojeniem ściskanym
 A_s' jest polem przekroju zbrojenia ściskanego
 $f_{cd,fi}(20)$ jest wartością obliczeniową wytrzymałości betonu na ściskanie w sytuacji pożarowej w temperaturze normalnej
 $= f_{ck} / (\lambda_{c,fi}^{N4})$
 $f_{sd,fi}(\theta_m)$ jest wartością obliczeniową wytrzymałości zbrojenia rozciąganego w sytuacji pożarowej przy średniej temperaturze θ_m w tej warstwie
 $f_{scd,fi}(\theta_m)$ jest wartością obliczeniową wytrzymałości zbrojenia ściskanego w sytuacji pożarowej przy średniej temperaturze θ_m w tej warstwie
Uwaga: $f_{sd,fi}(\theta_m)$ i $f_{scd,fi}(\theta_m)$ mogą mieć różne wartości (patrz 4.2.4.3)
 F jest całkowitą siłą w zbrojeniu ściskanym w sytuacji pożarowej, równą części całkowitej siły w zbrojeniu rozciągającym
 λ, η i x są zdefiniowane w EN 1992-1-1

Rysunek B.2: Rozkład naprężeń w stanie granicznym nośności dla prostokątnego przekroju betonowego ze zbrojeniem ściskanym

Jeśli wszystkie pręty zbrojeniowe są umieszczone w warstwach i mają to samo pole przekroju, wtedy w celu obliczenia odległości osiowej można zastosować wyrażenia z Rysunku.

Średni zredukowany wytrzymałość warstwy zbrojeniowej w podwyższonej temperaturze, oblicza się ze wzoru:

$$k_v(\theta) = \frac{\sum k(\theta_i)}{n_v}$$

gdzie: θ_i jest temperaturą w tej warstwie zbrojeniowej i

$k(\theta_i)$ jest redukcją wytrzymałości w tej warstwie zbrojeniowej i spowodowaną temperaturą θ_i , określona np. na podstawie wykresów

$k(\theta)$ jest średnią redukcją wytrzymałości warstwy zbrojeniowej, n_v jest liczbą prętów zbrojeniowych w warstwie.

Odległość osiową a , od spodniej powierzchni efektywnego przekroju poprzecznego do środka ciężkości warstw zbrojeniowych, można obliczyć wykorzystując wyrażenie:

$$a = \frac{\sum a_v \cdot k_v(\theta)}{\sum k_v(\theta)}$$

gdzie: a jest odległością osiową od spodniej powierzchni efektywnego przekroju poprzecznego do warstwy zbrojeniowej v

W przypadku dwóch warstw zbrojenia, odległość osiową można obliczyć stosując wyrażenie:

$$a = \sqrt{a_1 \cdot a_2}$$

Jeśli pręty zbrojeniowe mają różne pole przekroju i są rozłożone dowolnie, należy zastosować następującą procedurę.

redni wytrzymało stali dla grupy pr tów zbrojeniowych $k(\varphi) \cdot f_{sd,fi}$, w podwy szonej temperaturze, mo na obliczyć z wyrażenia :

$$k(\varphi) \cdot f_{sd,fi} = \frac{\sum_i [k_s(\theta_i) \cdot f_{sd,i} \cdot A_i]}{\sum_i A_i}$$

gdzie: $k_s(\theta_i)$ jest redukcj wytrzymało ci pr ta zbrojeniowego i

$f_{sd,i}$ jest obliczeniow wytrzymało ci pr ta zbrojeniowego i

A_i jest polem przekroju poprzecznego pr ta zbrojeniowego i

Odległo osiow a, od efektywnego przekroju poprzecznego do środka ci ko ci grupy pr tów zbrojenia, oblicza si z wyra enia:

$$a = \frac{\sum_i [a_i \cdot k_s(\theta_i) \cdot f_{sd,i} \cdot A_i]}{\sum_i [k_s(\theta_i) \cdot f_{sd,i} \cdot A_i]}$$

gdzie: a_i jest odległo ci osiow od efektywnego przekroju poprzecznego do pr ta zbrojeniowego i

Moment zginaj cy w przekroju oblicza si : w następujący sposób:

$$M_{u1} = A_{s1} \cdot f_{sd, fi}(\theta_m) \cdot z$$

$$\omega_k = \frac{A_{s1} \cdot f_{sd,fi}(\theta_m)}{b_{fi} \cdot d_{fi} \cdot f_{cd,fi}(20)}$$

$$M_{u2} = A_{s2} \cdot f_{scd, fi}(\theta_m) \cdot z'$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

gdzie: A_s jest całkowitym polem przekroju zbrojenia

$f_{sd,fi}$ jest obliczeniow wytrzymało ci zbrojenia na rozci ganie,

$f_{scd,fi}$ jest obliczeniow wytrzymało ci zbrojenia ciskanego,

k jest obliczeniowym stosunkiem wytrzymało ci zbrojenia dla przekroju nara onego na działanie ognia

b_{fi} jest szeroko ci przekroju poprzecznego nara onego na działanie ognia

d_{fi} jest u yteczn wysoko ci przekroju poprzecznego nara onego na działanie ognia

$f_{cd,fi}(20)$ jest obliczeniow wytrzymało ci betonu na ciskanie (w temperaturze 20°C)

z jest ramieniem sił pomi dzy zbrojeniem rozci ganym i betonem

z' jest ramieniem sił pomi dzy zbrojeniem rozci ganym i ciskany

m jest redni temperatur warstwy zbrojenia

Gdy udział momentów oblicza si w sposób wskazany powy ej, całkowit no no na zginanie wyznacza si wykorzystuj c zale no :

$$M_u = M_{u1} + M_{u2}$$

W metodzie tej należy sprawdzić :

Warunki konstrukcyjne dotyczące zbrojenia (wg. PN-EN 1992-1-1)

Dla wyznaczonej klasy odporności ogniowej z wykresu wyznacza się przebieg izoterm 500°C, aby wyznaczyć efektywne pole przekroju betonowego.

W zależności od grubości otulenia prętów zbrojenia podługo słupa, z wykresu określa się temperaturę θ prętów zbrojenia głównego.

Następnie według procedury i schematu przedstawionego na Rys. B-2 wyznacza się nośność przekroju na ściskanie $N_{Rd,fi}$ i zginanie $M_{u,fi}$ w warunkach pożaru.

Według procedury dla sytuacji trwałej określa się nośność słupa z uwzględnieniem smukłości.

Sprawdza się warunek nośności $N_{Ed,fi} \leq N_{Rd,fi}$.

Uproszczona metoda obliczeniowa dla słupów – metoda strefowa.

Metoda strefowa polega na podziale przekroju poprzecznego na kilka stref. Metoda ta, jakkolwiek bardziej pracochłonna, jest dokładniejsza niż metoda izoterm 500°C, zwłaszcza dla słupów. Metodę strefową można stosować jedynie dla standardowej krzywej temperaturzczas. Przekrój poprzeczny dzieli się na pewną liczbę ($n \geq 3$) równoległych stref o równej grubości (elementy prostokątne), przy czym dla każdej strefy ustala się temperaturę średnią oraz odpowiadającą jej średnią wytrzymałość na ściskanie i moduł sprężystości (jeżeli jest wykorzystywany). Zniszczony w pożarze przekrój poprzeczny przedstawiany jest w postaci przekroju zredukowanego, po odrzuceniu zniszczonej strefy o grubość a_z wzdłuż boków poddawanych oddziaływaniu ognia. Punkt M jest dowolnym punktem na linii przebiegającej przez środek ekwiwalentnej strefy, wykorzystanym do wyznaczenia zredukowanej wytrzymałości na ściskanie całego zredukowanego przekroju. W przypadku gdy dwie przeciwne strony słupka narażone na działanie ognia, przyjmuje się jego szerokość jest równa $2w$. Dla prostokątnego przekroju poprzecznego narażonego na działanie ognia tylko z jednej strony, przyjmuje się jego szerokość jest równa w . Dla dolnych i krańcowych powierzchni elementów prostokątnych narażonych na działanie ognia, w których szerokość jest mniejsza niż wysokość, wartość a_z przyjmuje się równą wartości obliczonej dla boków.

Podstawą dla redukcji przekroju stanowi zniszczona strefa o grubości a_z , znajdująca się na powierzchniach narażonych na działanie ognia. Zniszczoną strefę a_z dla ciany ekwiwalentnej narażonej na działanie ognia z dwóch stron, wyznacza się w następujący sposób:

- Połow grubości ciany dzieli się na n równoległych stref o równej grubości, przy czym $n \geq 3$
- Dla każdej strefy oblicza się temperaturę w środku jej szerokości.
- Wyznacza się odpowiadającą tej temperaturze współczynnik redukcyjny dla wytrzymałości na ściskanie $k_c(\theta_i)$.

Średni współczynnik redukcyjny dla konkretnego przekroju, zawierający czynnik $(1 - 0,2/n)$ uwzględniający zmiany temperatury w obrębie każdej strefy, oblicza się z wyrażenia

$$k_{c,m} = \frac{(1 - 0,2/n)}{n} \cdot \sum_{i=1}^n k_c(\theta_i)$$

gdzie: n jest liczbą równoległych stref na szerokości w
 w jest połową całkowitej szerokości
 m jest numerem strefy.

Szerokość zniszczonej strefy dla belek, płyt lub elementów ścinanych w płaszczyźnie, oblicza się z wyrażenia

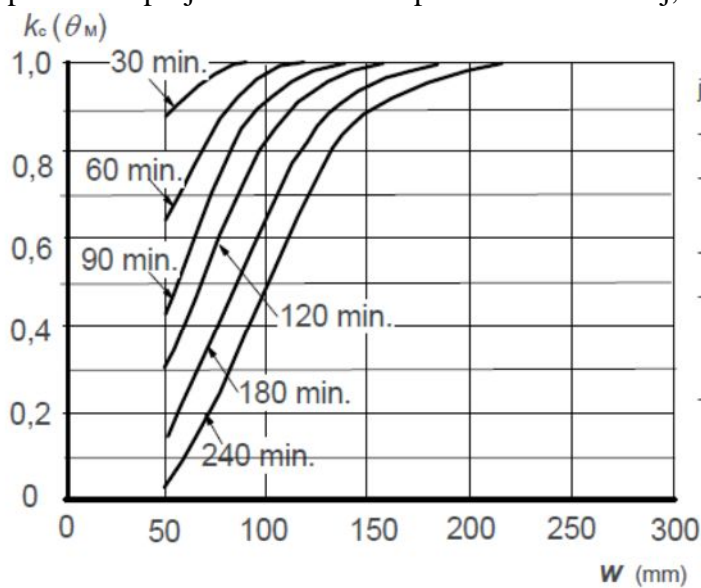
$$a_z = w \cdot \left[1 - \frac{k_{c,m}}{k_c(\theta_M)} \right]$$

gdzie $k_c(\theta_M)$ oznacza współczynnik redukcyjny dla betonu w punkcie M.

Dla słupów, cian oraz innych konstrukcji w których odgrywają rolę efekty drugiego rzędu, szerokość zniszczonej strefy oblicza się z wyrażenia:

$$a_z = w \cdot \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_c(\theta_M)} \right)^{1,3} \right]$$

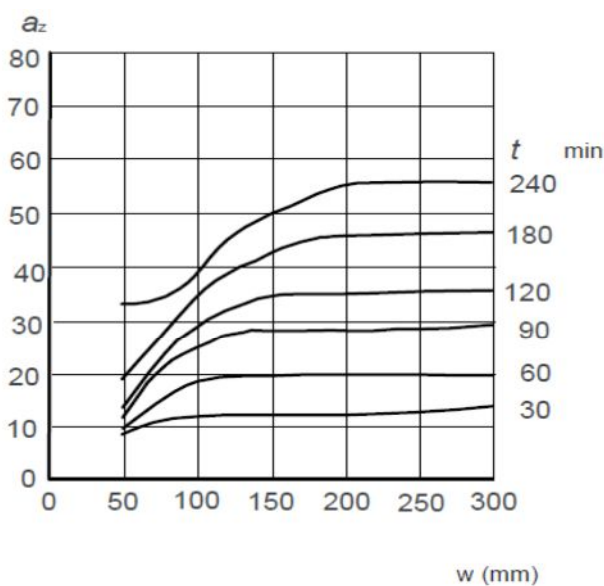
Gdy jest już znany zredukowany przekrój poprzeczny oraz wyznaczono wytrzymałość i moduł sprężystości w sytuacji powarowej, projektowanie na warunki powarowe przebiega zgodnie z procedurą projektowania w temperaturze normalnej, dla wartości $\gamma_{M,fi}$.



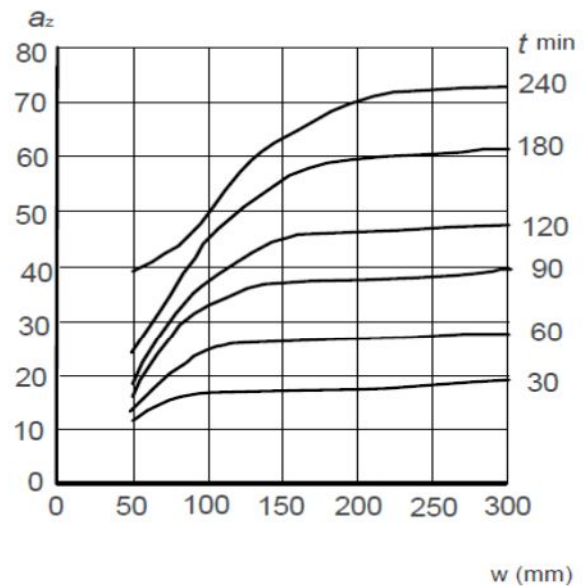
jako w należy przyjmować :

- grubość płyty,
- grubość ściany lub słupa narażonego na działanie ognia z jednej strony,
- połowę grubości średnicy belki,
- połowę grubości ściany lub słupa narażonego na działanie ognia z dwóch stron,
- połowę mniejszego wymiaru słupa narażonego na działanie ognia z czterech stron.

a) Redukcja wytrzymałości na ściskanie dla przekroju zredukowanego z betonu na kruszywie krzemianowym



b) Redukcja przekroju a_z belki lub płyty z betonu na kruszywie krzemianowym



c) Redukcja przekroju a_z słupa lub ściany z betonu na kruszywie krzemianowym

W metodzie tej należy sprawdzić :

Warunki konstrukcyjne dotyczące zbrojenia (wg. PN-EN 1992-1-1)

Podzielić przekrój słupa na n warstw, przy czym $n \geq 3$.

Dla każdej z wyznaczonych stref określić temperaturę w środku jej grubości.

Określić właściwości wytrzymałościowe i sprężystości stali i betonu dla temperatur określonych dla poszczególnych stref.

Według procedury dla sytuacji trwałej określić nośność słupa z uwzględnieniem smukłości, przyjmując wartość γ_M jako $\gamma_{M,fi}$.

Sprawdzić warunek nośności $N_{Ed,fi} \leq N_{Rd,fi}$.

Uproszczona metoda obliczeniowa dla słupów – metoda oszacowania krzywizny.

Wyboczenie słupów w warunkach pożaru

Zagadnienia dotyczące słupów, których zachowanie się w konstrukcji w warunkach pożaru w znacznym stopniu zależy od efektów drugiego rzędu. Zniszczenie zewnętrznych warstw elementu spowodowane wysoką temperaturą, połączone ze spadkiem modułu sprężystości w warstwach wewnętrznych, daje efekt obniżenia sztywności elementów konstrukcyjnych w warunkach pożaru. Z tego powodu efekty drugiego rzędu mogą być znaczące dla słupów w sytuacji pożarowej, jakkolwiek w warunkach temperatury otoczenia ich efekt jest nieistotny. Oceny słupa w warunkach pożarowych, jako wydzielonego elementu, dokonuje się przy użyciu metody opartej na oszacowaniu krzywizny pod warunkiem, że stosuje się reguły.

W konstrukcjach usztywnionych można nie uwzględniać pośrodkowych oddziaływań pożaru, jeżeli nie bierze się pod uwagę obniżenia momentów pierwszego rzędu spowodowanego zmniejszeniem sztywności słupa. Jako bezpieczne uproszczenie przyjmujemy, że efektywna długość w warunkach pożaru $l_{0,fi}$, jest równa l_0 w warunkach temperatury normalnej. W celu dokładniejszego oszacowania można wziąć pod uwagę wzrost względnej reakcji na końcach słupa, spowodowany spadkiem jego sztywności. W tym celu można wykorzystać zredukowany przekrój poprzeczny słupa, np. z metody strefowej. Należy zauważyć, że odpowiednia sztywność zredukowanego przekroju betonowego w tym przypadku wynosi:

$$(EI)_z = [k_c(\alpha_M)]^2 \cdot E_c \cdot I_z$$

gdzie: $k_c(\alpha_M)$ jest współczynnikiem redukcyjnym dla betonu w punkcie M,

E_c jest modułem sprężystości betonu w temperaturze normalnej,

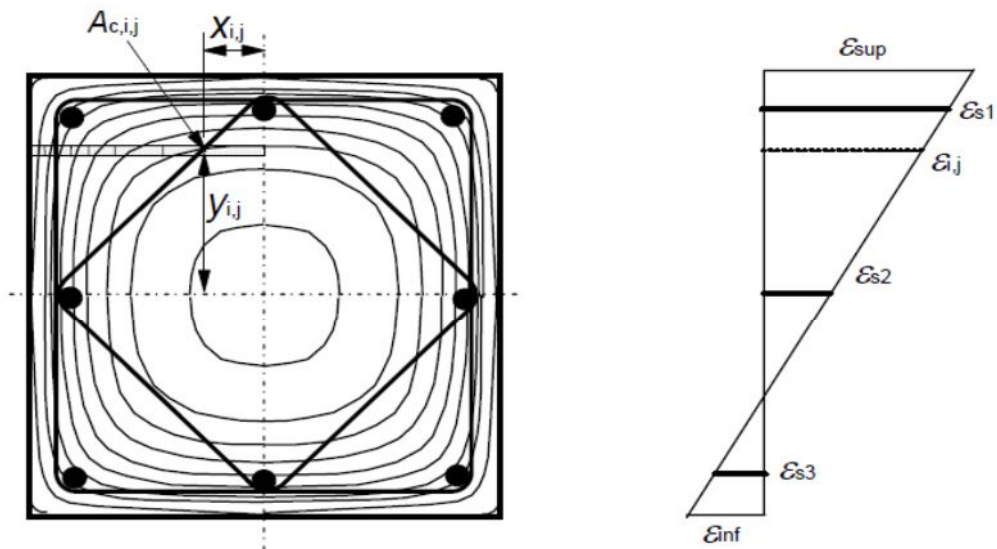
I_z jest momentem bezwładności zredukowanego przekroju

Moduł sprężystości zbrojenia wynosi E_s .

Procedura oceny odporności ogniowej przekrojów słupów

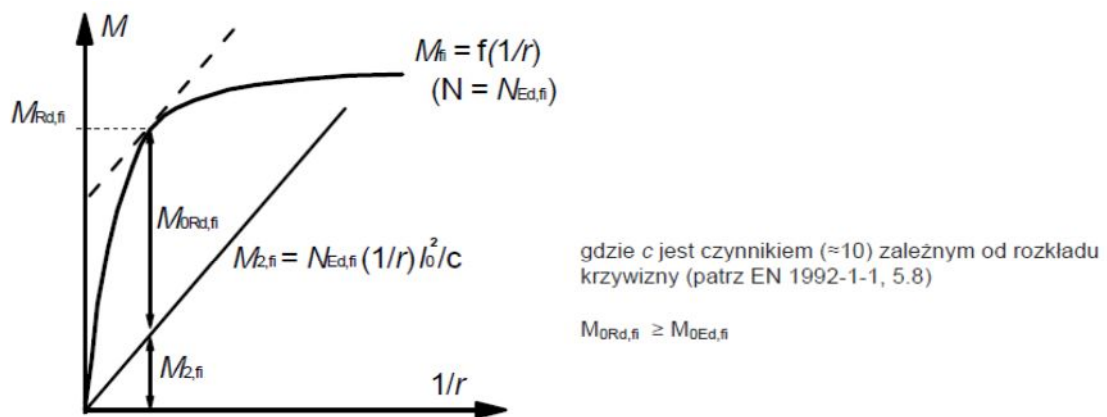
Poniższe metody stosuje się jedynie przy ocenie słupów w konstrukcjach usztywnionych.

- Należy wyznaczyć krzywe izoterm dla ustalonego oddziaływania pożaru: standardowego lub parametrycznego.
- Przekrój poprzeczny dzieli się na strefy o przybliżonej średniej temperaturze 20°C, 100°C, 200°C, 300°C... do 1100 °C.
- Wyznacza się szerokości w_{ij} , powierzchni A_{cij} oraz współrzędne x_{ij} y_{ij} środka każdej strefy.



Rysunek B6: Podział przekroju poprzecznego słupa na strefy o względnie równomiernej temperaturze

- Wyznacza się temperaturę prętów zbrojeniowych. Temperaturę pojedynczego pręta zbrojeniowego można ustalić na podstawie profili temperatury przyjmując temperaturę rdzenia pręta.
- Wyznacza się wykres moment-krzywizna dla $N_{Ed,fi}$, wykorzystując dla każdego pręta zbrojeniowego i każdej strefy betonu odpowiedni wykres naprężenie-odkształcenie,
- Stosując konwencjonalne metody obliczeniowe, wyznacza się moment zginania $M_{Rd,fi}$ dla $N_{Ed,fi}$ oraz nominalny moment drugiego rzędu $M_{2,fi}$ dla odpowiadającej jej krzywizny.
- Wyznacza się pozostałą nośność graniczną pierwszego rzędu $M_{0Rd,fi}$ dla określonego oddziaływania po aru oraz $N_{Ed,fi}$, jako różnicę pomiędzy nośnością graniczną na zginanie $M_{Rd,fi}$ i nominalnym momentem drugiego rzędu $M_{2,fi}$, obliczonym w sposób pokazany na rysunku.



Rysunek B7: Wyznaczenie nośności na zginanie ($M_{Rd,fi}$), momentu drugiego rzędu ($M_{2,fi}$) i nośności na zginanie pierwszego rzędu ($M_{0Rd,fi}$)

- Dokonuje się porównania nośności pierwszego rzędu $M_{0Rd,fi}$, z obliczeniowym momentem zginającym pierwszego rzędu w warunkach początkowych $M_{0Ed,fi}$.

Zaawansowane metody oblicze

Metody te zostawiam dla indywidualnego przestudiowania (dla ciekawych)

**Słup ramy głównej w konstrukcji stalowej według PN-EN 1993-1-2 Eurokod 3:
Projektowanie konstrukcji stalowych. Cz. 1-2: Reguły ogólne. Projektowanie z uwagi na warunki po arowe**

Opis podstaw metody został podany w konspekcie K-4.

W przypadku weryfikacji wymaga zwi zanych z po arem normowym, wystarczaj co miarodajna jest analiza elementu.

Proste modele obliczeniowe

Nale y przyj , e funkcja no na elementu stalowego w warunkach po aru normowego jest zachowana po upływie czasu t, je eli spełniony jest nast puj cy warunek:

$$E_{fi,d} \geq R_{fi,d,t}$$

gdzie: $E_{fi,d}$ – warto obliczeniowa efektu oddziaływa w po arowej sytuacji projektowej, wyznaczona zgodnie z EN 1991-1-2;

$R_{fi,d,t}$ – odpowiednia obliczeniowa no no elementu stalowego w czasie trwania po aru t.

Słup.

Słupy o przekrojach klasy 1, 2 lub 3

W przypadku elementów ciskanych o przekroju klasy 1, 2 lub 3 i równomiernej temperatury θ obliczeniowa no no na wyboczenie $N_{b,fi,t,Rd}$ w czasie trwania po aru t jest okre lona wzorem:

$$N_{b,fi,t,Rd} = \eta_{fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_{y,fi} / M_{1,fi}$$

gdzie: η_{fi} – współczynnik wyboczenia gi tnego w po arowej sytuacji projektowej;

$k_{y,\theta}$ – współczynnik redukcyjny granicy plastyczno ci stali w temperaturze stali θ osi gni tej w czasie trwania po aru t.

Warto η_{fi} przyjmuje si jako mniejszą z warto sci $\chi_{y,fi}$ i $\chi_{z,fi}$ wyznaczonych według wzoru:

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_{\theta} + \sqrt{\varphi_{\theta}^2 + \bar{\lambda}_{\theta}^2}}$$

przy czym $\varphi_{\theta} = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot \bar{\lambda}_{\theta} + \bar{\lambda}_{\theta}^2)$, oraz $\alpha = 0,65 \cdot \sqrt{235/f_y}$

Smukło wzgl dna $\bar{\lambda}_{\theta}$ w temperaturze θ jest określona wzorem:

$$\bar{\lambda}_{\theta} = \bar{\lambda} \cdot \sqrt{k_{y,\theta}/k_{E,\theta}}$$

gdzie: $k_{y,\theta}$ – współczynnik redukcyjny granicy plastyczno ci stali w temperaturze θ osi gni tej w czasie t trwania po aru,

$k_{E,\theta}$ – współczynnik redukcyjny modułu spr ysto ci liniowej w temperaturze stali θ osi gni tej w czasie t trwania po aru.

Długo wyboczeniow słupa l_{fi} w po arowej sytuacji projektowej na ogół wyznacza si jak w obliczeniach w normalnej temperaturze. Długo wyboczeniow słupa l_{fi} w st onych

układach ramowych można wyznaczyć przy założeniu nieprzesuwności w zółw ograniczających element od góry i od dołu w siednich pomieszczeniach wydzielonych ogniowo, pod warunkiem że odporność ogniowa elementów oddzielających pomieszczenia wydzielone ogniowo jest nie mniejsza niż odporność ogniowa słupa. W przypadku ramy stalowej, w której każda kondygnacja stanowi wydzielone ogniowo pomieszczenia, długość wyboczeń słupa można przyjąć jako $l_{fi} = 0,5 \cdot L$ dla kondygnacji pośredniej oraz jako $l_{fi} = 0,7 \cdot L$ dla kondygnacji najwyższej, gdzie L jest odpowiednią długością teoretyczną słupa rozpatrywanej kondygnacji.



Rysunek 4.1: Długości wyboczeń słupów l_{fi} w ramach stężonych

Gdy w obliczeniach przyjmuje się nominalną ekspozycję po stronie zewnętrznej, obliczeniowa nośność $N_{b,fi,t,Rd}$ elementu ciskanego o nierównomiernym rozkładzie temperatury jest równa obliczeniowej nośności $N_{b,fi,Rd}$ elementu ciskanego o równomiernej temperaturze stali σ_a , odpowiadającej najwyższej temperaturze $\sigma_{a,max}$ osi gniazda w czasie trwania pożaru.

Słupy o przekrojach klasy 4

W przypadku elementu o przekrojach klasy 4 można przyjąć, że warunek nośności jest spełniony, jeżeli w czasie trwania pożaru t temperatura stali σ_a w każdym z przekrojów nie przekracza wartości σ_{crit} . Graniczną wartość σ_{crit} zaleca się przyjmować jako $\sigma_{crit} = 350^\circ\text{C}$.

Dokładniejsze informacje dla przekrojów klasy 4 są podane w Załączniku E normy PN EN 1993-1-2. Słupy z kształtowników walcowanych zwykle nie są przekrojami klasy 4.

Narastanie temperatury w stali

Elementy stalowe nieosłonięte

W przypadku równoważnego równomiernego rozkładu temperatury w przekroju, przyrost temperatury $\Delta\theta_{a,t}$ w przedziale czasu t w stalowym elemencie nieosłoniętym jest określony wzorem:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \cdot \frac{A_m/V}{c_a \cdot \rho_a} \cdot \dot{h}_{net,d} \cdot \Delta t$$

gdzie: k_{sh} – współczynnik poprawkowy uwzględniający efekt zacienienia;
 A_m/V – wskaźnik ekspozycji przekroju elementów nieosłoniętych [1/m];
 A_m – pole powierzchni elementu na jednostkę długości [m²/m];
 V – objętość elementu na jednostkę długości [m³/m];
 c_a – ciepło właściwe stali [J/kgK];
 $\dot{h}_{net,d}$ – wartość obliczeniowa prędkości strumienia ciepła określona na jednostkę powierzchni [W/m²];
 t – przedział czasu [s];
 ρ_a – gęstość masy stali [kg/m³].

W przypadku przekrojów dwuteowych narażonych na oddziaływanie poprzeczne nominalnego, współczynnik poprawkowy związany z efektem zacienienia może być wyznaczony według wzoru:

$$k_{sh} = 0,9 \cdot [A_m/V]_b / [A_m/V]$$

gdzie: $[A_m/V]_b$ – wskaźnik ekspozycji przekroju jak dla umownego przekroju skrzynkowego.

We wszystkich pozostałych przypadkach, wartość k_{sh} wyznacza się według wzoru:

$$k_{sh} = [A_m/V]_b / [A_m/V]$$

W przypadku przekrojów o kształcie wypukłym (np. przekrojów rurowych prostokątnych i okrągłych) i w całości ogarniętych poprzecznie, efekt zacienienia nie odgrywa roli i w konsekwencji współczynnik korekcyjny k_{sh} przyjmuje się równy jednemu. Pominięcie efektu zacienienia (tzn.: $k_{sh} = 1$) prowadzi do uzyskania wyników po stronie bezpiecznej.

Wartość $\dot{h}_{net,d}$ wyznacza się wg PN EN 1991-1-2 przyjmując $c_{ef} = 1,0$.

Wartość t przyjmuje się nie większą niż 5 sekund.

Wartość wskaźnika ekspozycji przekroju A_m/V przyjmuje się nie mniejszą niż 10 m⁻¹.

Wzory do wyznaczenia wartości obliczeniowej wskaźnika ekspozycji przekroju A_m/V dla niektórych nieosłoniętych elementów stalowych podano w Tablicy 4.2 normy PN EN 1993-1-2.

Elementy stalowe z izolacją ogniochronną

W przypadku równomiernego rozkładu temperatury w przekroju, przyrost temperatury osłoniętego elementu stalowego w przedziale czasu Δt jest określony wzorem:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p \cdot A_p / V \cdot (\theta_{g,t} - \theta_{a,t})}{d_p \cdot c_a \cdot \rho_a \cdot (1 + \phi/3)} \cdot \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \cdot \Delta\theta_{g,t} \text{ przy czym } \Delta\theta_{a,t} \geq 0 \text{ gdy } \Delta\theta_{g,t} > 0$$

We wzorze: $\phi = \frac{c_p \cdot \rho_p}{c_a \cdot \rho_a} \cdot d_p \cdot A_p / V$

gdzie: A_p / V – wskaźnik ekspozycji przekroju elementów stalowych chronionych przez materiał izolacji ogniochronnej;

A_p – odpowiednie pole powierzchni materiału izolacji ogniochronnej na jednostkę długości elementu [m^2/m];

V – objętość elementu na jednostkę długości [m^3/m];

c_a – zależne od temperatury ciepło właściwe stali, [J/kgK];

c_p – niezależne od temperatury ciepło właściwe materiału izolacji ogniochronnej [J/kgK];

d_p – grubość warstwy materiału izolacji ogniochronnej [m];

t – przedział czasu [s];

$\theta_{a,t}$ – temperatura stali w czasie trwania pożaru t [$^{\circ}C$];

$\theta_{g,t}$ – temperatura otaczających gazów w czasie trwania pożaru t [$^{\circ}C$];

$\Delta\theta_{g,t}$ – przyrost temperatury otaczających gazów w przedziale czasu t [K];

λ_p – przewodność cieplna zabezpieczenia ogniochronnego [W/mK];

ρ_a – gęstość masy stali [kg/m^3];

ρ_p – gęstość masy materiału izolacji ogniochronnej [kg/m^3].

Wartość t przyjmuje się nie większą niż 30 sekund.

Pole powierzchni A_p materiału izolacji ogniochronnej na ogół przyjmuje się jako pole jego wewnętrznej powierzchni, przy czym w przypadku obudowy skrzynkowej ze szczeliną na styku z elementem stalowym można przyjmować taką samą wartość jak dla obudowy skrzynkowej bez szczeliny. Wartości obliczeniowe wskaźnika ekspozycji A_p/V niektórych osłoni tych elementów stalowych podano w Tabelicy 4.3 normy PN-EN 1993-1-2.

W przypadku zawilgoconych materiałów izolacji ogniochronnej, sposób obliczenia przyrostu temperatury stali $\theta_{a,t}$ może być zmodyfikowany w celu uwzględnienia efektu opóźnienia wzrostu temperatury stali, gdy osiągnie ona wartość $100^{\circ}C$. Wspomniany czas opóźnienia wyznacza się metodą ujętą w PN - EN 13381-4.

Wewnętrzne elementy stalowe chronione ekranami cieplnymi

W przypadku wewnętrznych elementów stalowych chronionych ekranami cieplnymi, przyrost temperatury $\theta_{a,t}$ oblicza się odpowiednią metodą, przyjmując temperaturę otaczających gazów $\theta_{g,t}$ jako równą temperaturze gazu w przestrzeni ekranowanej.

Wewnętrzne elementy stalowe chronione ekranami cieplnymi to elementy stalowe, które u góry stykają się ze stropem, u dołu są chronione poziomym ekranem cieplnym, oraz elementy stalowe, które z obu stron są chronione pionowymi ekranami cieplnymi, pod warunkiem że w żadnym przypadku nie zachodzi bezpośredni kontakt między ekranem cieplnym a chronionym elementem.

Właściwości i skuteczność ekranów cieplnych przyjętych w projekcie powinny być wyznaczone przy zastosowaniu badań do wiadczalnych przeprowadzonych zgodnie z procedurami podanymi w odpowiedniej normie PN-EN 13381-1 lub PN-EN 13381-2.

Właściwości mechaniczne stali w głowach

Przy szybkości nagrzewania w granicach od 2 do 50 K/min właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe stali w podwyższonych temperaturach uzyskuje się z zależności naprężenie-odkształcenie. Reguły podane w normie stosuje się przy założeniu, że szybko nagrzewanie ma miejsce w podanych granicach. W Tabelicy zestawiono współczynniki redukcyjne do zależności naprężenie-odkształcenie stali w podwyższonych temperaturach. Współczynniki te określono następująco:

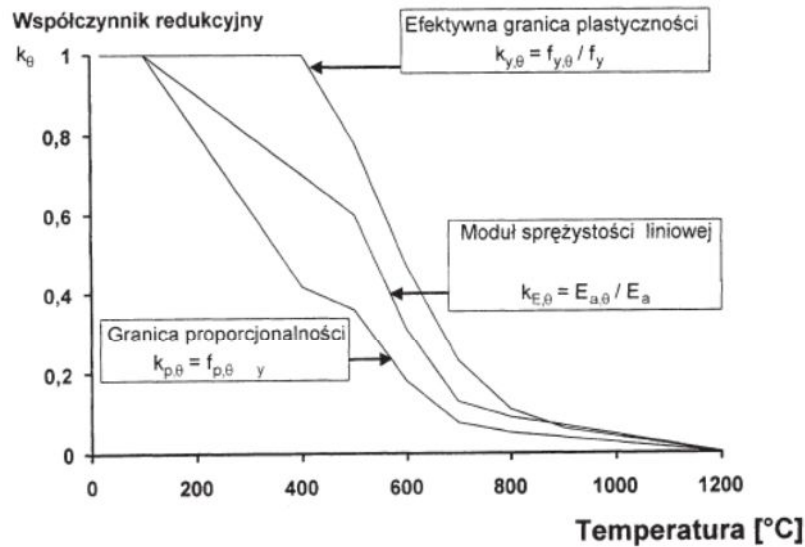
Tabela 3.1: Współczynniki redukcyjne do zależności naprężenie-odkształcenie dla stali węglowej w podwyższonych temperaturach

Temperatura stali θ_a	Współczynniki redukcyjne przy temperaturze θ_a w stosunku do wartości f_y lub E_a w temperaturze 20 °C		
	Współczynnik redukcyjny efektywnej granicy plastyczności (w stosunku do f_y) $k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y$	Współczynnik redukcyjny granicy proporcjonalności (w stosunku do f_y) $k_{p,\theta} = f_{p,\theta} / f_y$	Współczynnik redukcyjny modułu sprężystości liniowej (w stosunku do E_a) $k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$
20 °C	1,000	1,000	1,000
100 °C	1,000	1,000	1,000
200 °C	1,000	0,807	0,900
300 °C	1,000	0,613	0,800
400 °C	1,000	0,420	0,700
500 °C	0,780	0,360	0,600
600 °C	0,470	0,180	0,310
700 °C	0,230	0,075	0,130
800 °C	0,110	0,050	0,090
900 °C	0,060	0,0375	0,0675
1000 °C	0,040	0,0250	0,0450
1100 °C	0,020	0,0125	0,0225
1200 °C	0,000	0,0000	0,0000

UWAGA: Dla pośrednich wartości temperatury można stosować interpolację liniową.

- stosunek efektywnej granicy plastyczności do granicy plastyczności w temperaturze 20°C: $k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y$
- stosunek granicy proporcjonalności do granicy plastyczności w temperaturze 20°C: $k_{p,\theta} = f_{p,\theta} / f_y$
- stosunek modułu sprężystości liniowej do modułu sprężystości w temperaturze 20°C: $k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$

Zmienne współczynników redukcyjnych w zależności od temperatury zilustrowano na Rysunku.



Rysunek 3.2: Współczynniki redukcyjne do zależności naprężenie-odkształcenie dla stali węglowej w podwyższonych temperaturach

Alternatywnie, podane powyżej zależności naprężenie-odkształcenie można w temperaturach poniżej 400 °C zastąpić charakterystykami z umocnieniem, pod warunkiem że miejscowa lub ogólna niestateczność elementu nie okaże się potencjalną przyczyną przedwczesnego zawalenia się konstrukcji.

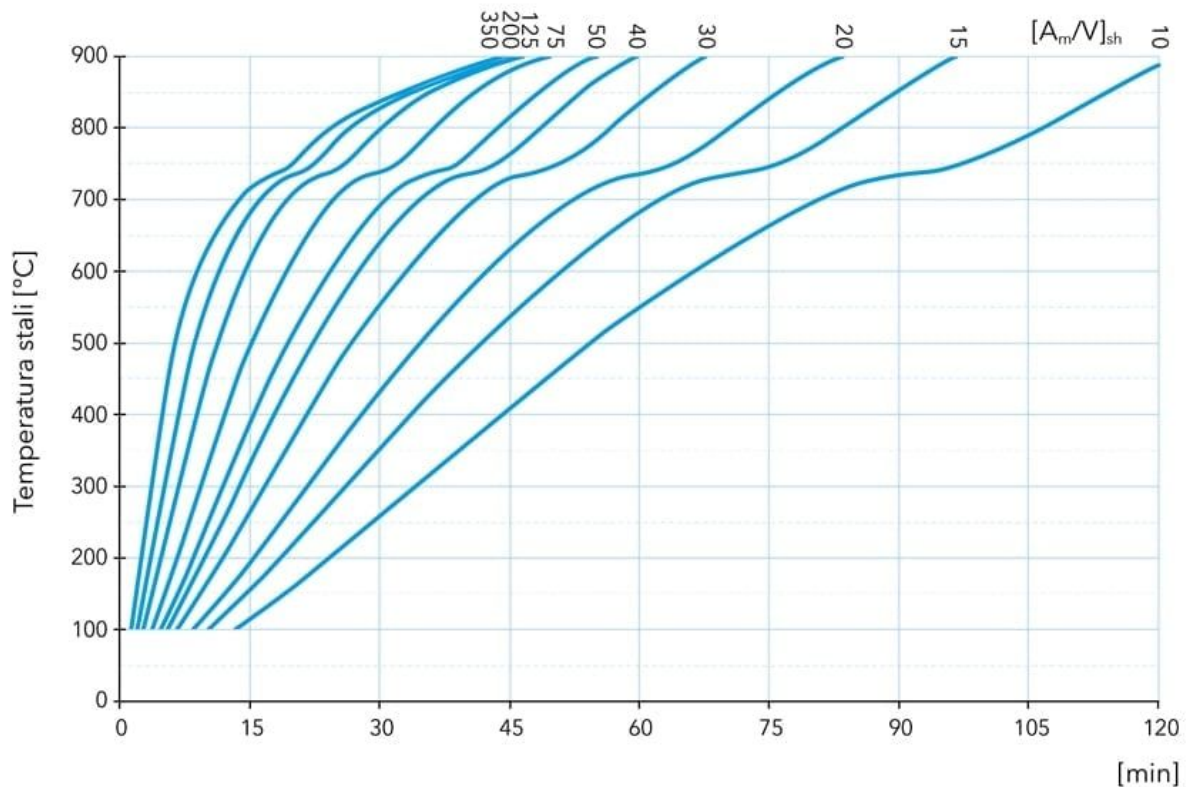
Można przyjmować niezależnie od temperatury gęstość masy stali ρ_a o wartości: $\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$

W metodzie tej należy sprawdzić:

Zestawić obciążenia i wyznaczyć η_{fi} .

Obliczyć siły osiowe w słupie w warunkach postępu $N_{Ed,fi}$.

Określić temperaturę θ_i stali przy standardowej krzywej postępu w okresie wymaganej odporności ogniowej. Obliczenia można prowadzić według przedstawionego wzoru normowego z $\dot{h}_{net,d}$ wyznaczonym wg PN EN 1991-1-2. Można posłużyć się wykresami lub tablicami np. wg. Giżejowski M., Król P.: Projektowanie stalowych elementów rozciąganych, ściskanych i zginanych z uwagi na warunki postępu według PN-EN 1993-1-2. INŻYNIERIA I BUDOWNICTWO NR 9/2008.



Ogrzewanie niechronionych profili stalowych dla współczynników przekroju, dla pożaru zgodnie ze standardową krzywą pożaru zgodnie z ISO 834

Dla określonej temperatury stali, zależnej od czasu odporności ogniowej słupa, wyznacza się współczynniki $k_{y, \theta, i}$ i $k_{E, \theta, i}$

Sprawdza się klasę przekroju w warunkach pożarowych aby określić z jakich wzorów należy określić nośność przekroju stalowego.

Wyznacza się nośność słupa na ściskanie $N_{fi, t, Rd} = k_{y, \theta, i} \cdot f_y \cdot A$.

Wyznacza się długość wyboczeń słupa, i określa współczynnik wybozeniowy η jako mniejszą z wartości η_y i η_z

Określa się nośność słupa w warunkach pożaru $N_{b, fi, t, Rd}$

Sprawdza się warunki nośności słupa na ściskanie $N_{b, fi, t, Rd} \geq N_{Ed, fi}$

Metoda temperaturowa

Temperatura krytyczna

Alternatywnie do metody czasowej weryfikacji można przeprowadzić w dziedzinie temperatury. Z wyjątkiem przypadków, gdy stosuje się kryteria odkształceniowe lub gdy należy uwzględnić zjawiska niestacjonarne, temperaturę krytyczną $t_{a, cr}$ w czasie trwania pożaru t elementu o równomiernym rozkładzie temperatury i wykonanego ze stali w głównym kierunku – dla określonego wskaźnika wykorzystania nośności μ_0 w czasie $t = 0$ – wyznacza się według wzoru:

$$\theta_{a,cr} = 39,19 \cdot \ln \left[\frac{1}{0,9674 \cdot \mu_0^{3,833}} - 1 \right] + 482$$

gdzie μ_0 przyjmuje się o wartości nie mniejszej niż 0,013.

Przykładowe wartości $\theta_{a,cr}$ określone dla μ_0 z przedziału od 0,22 do 0,80 podano w Tabelicy

Tabelica 4.1: Temperatura krytyczna $\theta_{a,cr}$ w zależności od wskaźnika wykorzystania nośności μ_0

μ_0	$\theta_{a,cr}$	μ_0	$\theta_{a,cr}$	μ_0	$\theta_{a,cr}$
0,22	711	0,42	612	0,62	549
0,24	698	0,44	605	0,64	543
0,26	685	0,46	598	0,66	537
0,28	674	0,48	591	0,68	531
0,30	664	0,50	585	0,70	526
0,32	654	0,52	578	0,72	520
0,34	645	0,54	572	0,74	514
0,36	636	0,56	566	0,76	508
0,38	628	0,58	560	0,78	502
0,40	620	0,60	554	0,80	496

W przypadku elementów o przekrojach klasy 1, 2 lub 3 oraz elementów rozci ganych, wskaźnik wykorzystania nośności μ_0 w czasie $t = 0$ można wyznaczyć według wzoru:

$$\mu_0 = E_{fi,d} / R_{fi,d,0}$$

gdzie: $R_{fi,d,0}$ – wartość $R_{fi,d,t}$ w czasie $t = 0$,

$E_{fi,d}$ i $R_{fi,d,t}$ – okre la się jak w metodzie czasowej.

Alternatywnie, w przypadku elementów rozci ganych, a także belek, gdy zwichrzenie nie jest potencjalną formą zniszczenia, wskaźnik μ_0 można ostro nie wyznaczyć według wzoru:

$$\mu_0 = \eta_{fi} [M_{fi} / M_0]$$

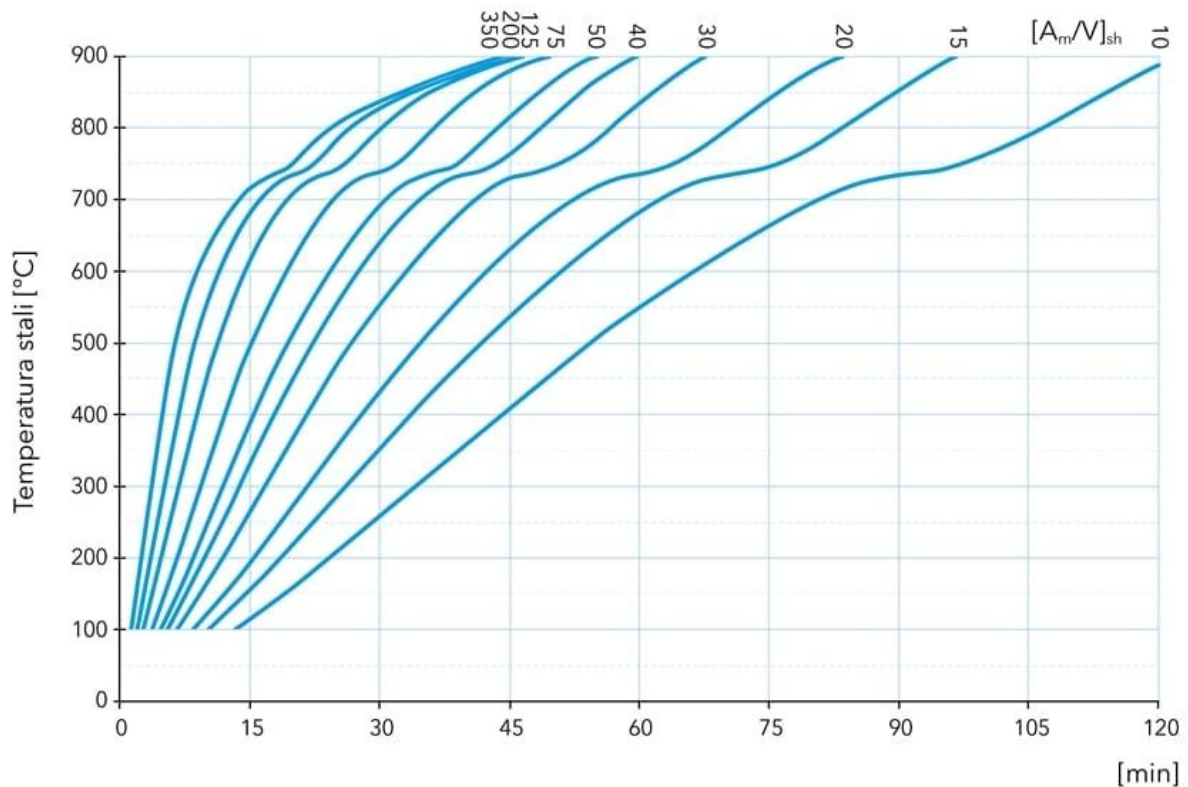
gdzie: η_{fi} – współczynnik redukcyjny.

W metodzie tej należy sprawdzić :

Zestawi obciążenia i wyznaczy η_{fi} .

Obliczy siły osiowe w słupie w warunkach poarunku $N_{Ed,fi}$,

Okre la się temperaturę θ_s stali przy standardowej krzywej poaru w okresie wymaganej odporności ogniowej. Obliczenia można prowadzić według przedstawionego wzoru normowego z $\dot{h}_{net,d}$ wyznaczonym wg PN EN 1991-1-2. Można posłużyć się wykresem lub tablicami np. wg. Giżejowski M., Król P.: Projektowanie stalowych elementów rozci ganych, ciskanych i zginanych z uwagi na warunki poarowe według PN-EN 1993-1-2. IN YNIERIA I BUDOWNICTWO NR 9/2008.



Ogrzewanie niechronionych profili stalowych dla współczynników przekroju, dla pożaru zgodnie ze standardową krzywą pożaru zgodnie z ISO 834

Dla określonej temperatury stali wyznacza się $k_{y,t}$ w chwili $t = 0$.

Sprawdza się klasę przekroju w warunkach pożarowych aby określić z jakich wzorów należy określić $N_{fi,t}$ przekroju stalowego.

Wyznacza się $N_{fi,t}$ słupa na podstawie $N_{fi,t,Rd}$ w chwili $t = 0$ (można je przyjąć jako równość $N_{fi,t}$ słupa w sytuacji trwałej).

Wyznacza się wskaźnik wykorzystania przekroju μ_0 i na jego podstawie oblicza się temperaturę krytyczną $\theta_{a,cr}$.

Sprawdza się warunek temperaturowy: $\theta_{a,cr} \leq \theta_a$

We wszystkich obliczeniach wartości tablicowe należy aproksymować liniowo.

Zaawansowane modele obliczeniowe

Zastosowanie tej metody pozostawiam do indywidualnych rozważań.