

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. 2. Rygiel ramy głównej

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

1.1 Zestawienie obciążeń i schemat statyczny rygla ramy

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

1.2 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 redniemu oddziaływania wywołanego przez siły (np. termiczne wydłużenie lub wygięcie elementu), w przypadku projektu przyjmując rygiel 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:

$$\eta_{fi} = \frac{q_{Ed,fi}}{q_{Ed}} = \frac{g_k + p_k \cdot \psi_{1,1}}{g_k \cdot \gamma_G + p_k \cdot \psi_{0,i} \cdot \gamma_Q} \quad \text{lub} \quad \eta_{fi} = \frac{q_{Ed,fi}}{q_{Ed}} = \frac{g_k + p_k \cdot \psi_{1,1}}{g_k \cdot \xi \cdot \gamma_G + p_k \cdot \gamma_Q}$$

(miarodajna jest wartość mniejsza z powyższych)

1.3 Obliczenie sił wewnętrznych w sytuacji pożarowej.

Dla celów projektu wystarczy określić maksymalny moment zginający $M_{Ed,fi}$ w przelotnej i siłach poprzecznych przy podporze.

Obliczenia te można wykonać identycznie jak w sytuacji trwałej, będącym przemnożenie wartości sił wewnętrznych z sytuacji trwałej przez współczynnik η_{fi} .

1.4 Sprawdzanie nośności rygla

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

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

Metoda tabelaryczna:

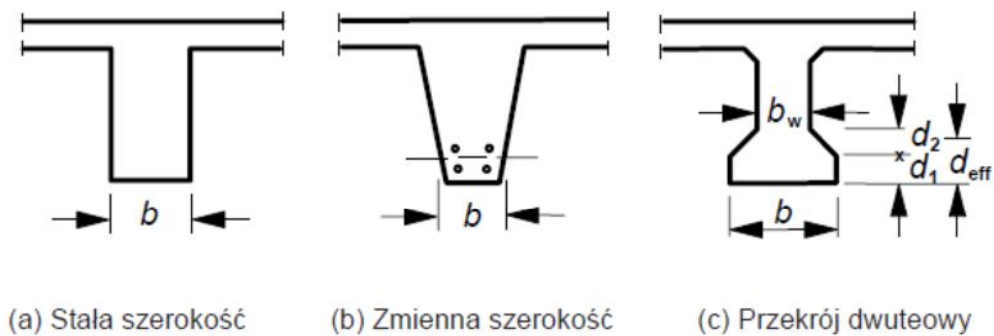
Opis podstaw metody został podany w konspekcie K-3.

Belka.

Można przyjąć, że belkowe lub sprężone belki wykazują należyte odporność ogniową, jeżeli spełniają wymagania odpowiedniej szerokości i otuliny zbrojenia podanym w Tablicach 5.5; 5.6 i 5.7 Normy i dodatkowym regułem. Grubość rdzenia podana jest jako klasa WA, WB lub WC.

Tablice dotyczą belek, które mogą być narażone na działanie ognia z trzech stron, co oznacza, że ich górna strona jest izolowana płytami lub innymi elementami pełniącymi funkcję izolacyjną przez cały okres odporności ogniowej. Dla belek narażonych na działanie ognia ze wszystkich stron stosuje się reguły podane w dalszej części Normy.

Wartości w tablicach dotyczą przekrojów przedstawionych na Rysunku.

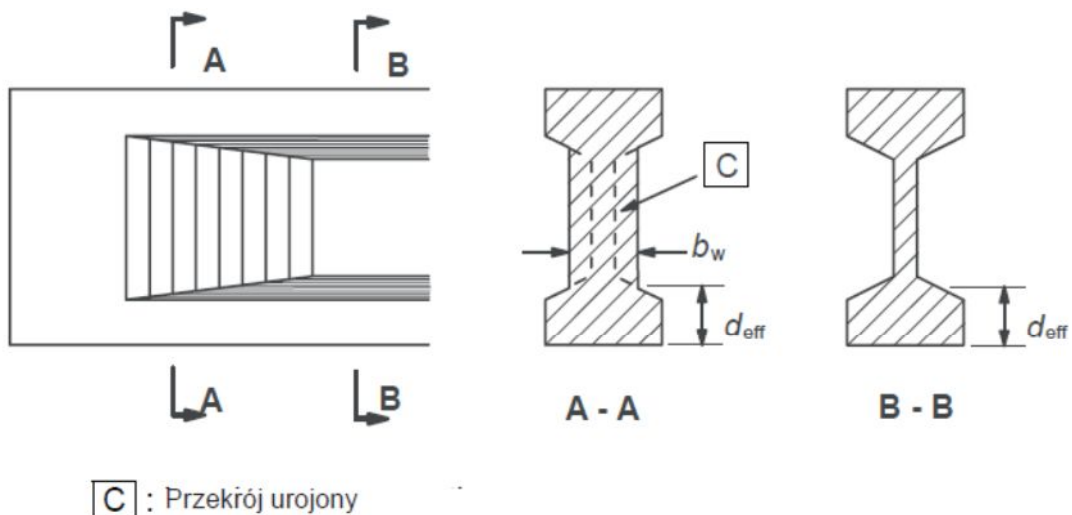


Rysunek 5.4: Definicja wymiarów dla różnych typów przekroju belki

Prezentowane reguły zapewniają wymiary przekroju poprzecznego wystarczające dla ochrony zbrojenia. Dla belek o zmiennej szerokości (Rys. b) minimalna wartość b odnosi się do rodka zbrojenia rozciąganego. Efektywna wysokość d_{eff} dolnej półki belek dwuteowych o zmiennych rodnicach (Rys. c) nie powinna być mniejsza niż: $d_{eff} = d_1 + 0,5 d_2 \geq b_{min}$ gdzie b_{min} jest minimalną szerokością belki. Ta zasada nie obowiązuje, jeżeli urojony przekrój poprzeczny, który spełnia minimalne wymagania w zakresie odporności ogniowej i mechanicznej zbrojenia, może zostać narysowany wewnątrz właściwego przekroju poprzecznego.

W przypadku, gdy szerokość półki dolnej b przekracza wartość graniczną $1,4 b_w$, oraz $b \cdot d_{eff} < 2b_{min}^2$, odległość osiowa do stali zbrojeniowej lub sprężającej powinna być zwikszoana do:

$$a_{eff} = a \left(1,85 - \frac{d_{eff}}{b_{min}} \sqrt{\frac{b_w}{b}} \right) \geq a$$



Rysunek 5.5: Belka o przekroju dwuteowym o rosnącej szerokości środnika b_w spełniająca wymagania urojonego przekroju poprzecznego

Otwory w rodnicach belek nie mają wpływu na odporność ogniową pod warunkiem, że pozostała powierzchnia przekroju poprzecznego elementu w strefie rozciąganej nie jest mniejsza niż $A_c = 2b_{min}^2$. W dolnych narożnikach belek występują koncentracje temperatury.

Z tego powodu odległość osiowa a_{sd} przód do boku belki dla przęt naro nego (ci gna lub drutu) na dole belek o tylko jednej warstwie zbrojenia, powinna zosta zwi kszo na o 10 mm w przypadku belek o szeroko ciach nie wi kszych ni podane w kolumnie 4 Tablicy 5.5 dla belek swobodnie podpartych i w kolumnie 3 Tablicy 5.6 dla belek ci głych, dla odpowiedniej standardowej odporno ci ogniowej.

Belki swobodnie podparte

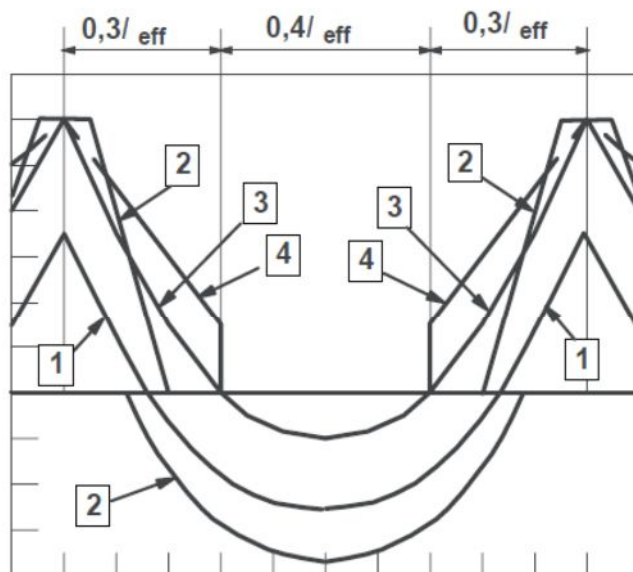
W Tablicy 5.5 podano minimalne warto ci odległo ci osiowych do spodu i boków swobodnie podpartych belek wraz z minimalnymi warto ciami szeroko ci belki, dla standardowej odporno ci ogniowej od R 30 do R 240.

Belki ci głe

W Tablicy 5.6 podano minimalne warto ci odległo ci osiowych do spodu i boków belek ci głych wraz z minimalnymi warto ciami szeroko ci belki, dla standardowej odporno ci ogniowej od R 30 do R 240. Dane zestawione w Tablicy 5.6 zachowuj wa no tylko wtedy, gdy:

- przeznaczane s podane reguły konstrukcyjne, i
- redystrybucja momentu zginaj cego dla projektu w temperaturze normalnej nie przekracza 15 %. W przeciwnym wypadku belki powinny by traktowane jako swobodnie podparte.

Uwaga: Tablic 5.6 mo na stosowa dla belek ci głych gdy redystrybucja momentów przekracza 15 %, pod warunkiem, e dla wymaganych warunków oddziaływania po aru zachowana jest wystarczaj ca zdolno obrotu na podporach.



Objaśnienia:

- Wykres momentów zginających dla oddziaływań w sytuacji pożarowej przy $t=0$
- Obwiednia działających momentów zginających, które mają być przeniesione przez zbrojenie rozciągane zgodnie z EN 1992-1-1
- Wykres momentów zginających w warunkach pożarowych
- Obwiednia nośności na zginanie, zgodna z wyrażeniem (5.11)

Rysunek 5.6: Obwiednia nośności na zginanie nad podporami w warunkach pożarowych

Pole przekroju zbrojenia górnego nad każdą podporą po średniej dla standardowej odporności ogniowej R 90 i wyżej, sięgającego do odległości $0,3l_{eff}$ mierzonej od osi podpory, nie powinno być mniejsze niż :

$$A_{s,req}(x) = A_{s,req}(0) \cdot (1 - 2,5x/l_{eff})$$

gdzie: x jest odległością od analizowanego przekroju do osi podpory gdzie $x \leq 0,3 l_{eff}$,

$A_{s,req}(0)$ jest polem przekroju zbrojenia wymaganego nad podporą, w sytuacji trwałej,

$A_{s,req}(x)$ jest minimalnym polem przekroju zbrojenia górnego wymaganego w odległości x od osi rozpatrywanej podpory, nie mniejszym jednak niż $A_s(x)$.

l_{eff} jest efektywną długością przęsła. Jeżeli efektywna długość przęsła przylegających jest większa, to należy przyjąć wartość

Tablica 5.5: Minimalne wymiary i odległości osiowe dla swobodnie podpartych belek żelbetowych i sprężonych

Standardowa odporność ogniowa	Minimalne wymiary (mm)						
	Możliwe kombinacje a i b_{min} , gdzie a oznacza średnią odległość osiową a b_{min} szerokość belki				Grubość środnika b_w		
					Klasa WA	Klasa WB	Klasa WC
1	2	3	4	5	6	7	8
R 30	$b_{min}=80$ $a = 25$	120 20	160 15*	200 15*	80	80	80
R 60	$b_{min}=120$ $a = 45$	160 35	200 30	300 25	100	80	100
R 90	$b_{min}=120$ $a = 45$	200 45	300 40	400 35	110	100	100
R 120	$b_{min}=200$ $a = 65$	240 60	300 55	500 50	130	120	120
R 180	$b_{min}=240$ $a = 80$	300 70	400 65	600 60	150	150	140
R 240	$b_{min}=280$ $a = 90$	350 70	500 75	700 70	170	170	160
$a_{sd} = a + 10$ mm (patrz uwaga poniżej)							
Dla belek sprężonych należy powiększyć odległość osiową zgodnie z 5.2.(5). a_{sd} jest odległością osiową do boku belki dla narożnych prętów (lub ciętna bądź drutu) w belkach z pojedynczą warstwą zbrojenia. W przypadku wartości b_{min} wyższych niż podane w kolumnie 4 nie jest wymagany wzrost wartości a_{sd} . * Zwykle decydująca jest otulina wymagana przez EN 1992-1-1.							

Tablica 5.6: Minimalne wymiary i odległości osiowe dla belek ciągłych żelbetowych i sprężonych (patrz również Tablica 5.7)

Standardowa odporność ogniowa	Minimalne wymiary (mm)						
	Możliwe kombinacje a i b_{min} , gdzie a oznacza średnią odległość osiową a b_{min} szerokość belki				Grubość środnika b_w		
					Klasa WA	Klasa WB	Klasa WC
1	2	3	4	5	6	7	8
R 30	$b_{min}=80$ $a = 15^*$	160 12*			80	80	80
R 60	$b_{min}=120$ $a = 25$	200 12*			100	80	100
R 90	$b_{min}=150$ $a = 35$	250 25			110	100	100
R 120	$b_{min}=200$ $a = 45$	300 35	450 35	500 30	130	120	120
R 180	$b_{min}=240$ $a = 60$	400 50	550 50	600 40	150	150	140
R 240	$b_{min}=280$ $a = 75$	500 60	650 60	700 50	170	170	160
$a_{sd} = a + 10\text{mm}$ (patrz uwaga poniżej)							
Dla belek sprężonych należy powiększyć odległość osiową zgodnie z 5.2.(5).							
a_{sd} jest odległością osiową do boku belki dla narożnych prętów (lub cięgna bądź drutu) w belkach z pojedynczą warstwą zbrojenia. W przypadku wartości b_{min} wyższych niż podane w kolumnie 3 nie jest wymagany wzrost wartości a_{sd} .							
* Zwykle decydująca jest otulina wymagana przez EN 1992-1-1.							

Tablica 5.6 stosuje się do belek ciągłych z cięgna bez przyczepności tylko wtedy, gdy całkowity moment górny nad podporami po redukcji w warunkach powolnych jest przenoszony przez zbrojenie z przyczepności.

Grubość środnika belek ciągłych o przekroju dwuteowym b_w w odległości $2h$ od podpory po redukcji, nie powinna być mniejsza od minimalnej wartości b_{min} podanej w kolumnie 2 Tablicy 5.6, o ile nie zostanie wykazane, że nie nastąpi odpryskiwanie eksplozyjne.

W celu zapobieżenia utracie nośności przy ściskaniu lub ścinaniu betonu w belce ciągłej na pierwszej po redukcji podporze, szerokość belki i grubość środnika należy powiększyć dla standardowych odporności ogniowych R120 – R240 zgodnie z Tablicą 5.7, jeżeli spełnione są dwa następujące warunki:

- Połączenie lub belka nie zapewniają nośności na zginanie na kolejnej podporze (dla celów tego punktu w EN 1992-1-1, 9.2.1.2 (1) podano nośności na zginanie połączenia, mogącego przenosić moment), oraz
- $V_{Ed} > 2/3 V_{Rd,max}$ na pierwszej po redukcji podporze, gdzie V_{Ed} oznacza obliczeniową siłę ścinającą w temperaturze otoczenia, a $V_{Rd,max}$ jest obliczeniową nośnością na ścinanie krzywociskanych w sytuacji trwałej.

Tablica 5.7: Ciągłe dwuteowe belki żelbetowe i sprężone; zwiększona szerokość belki i grubość środka dla warunków zgodnych z 5.6.3 (6)

Standardowa odporność ogniowa	Minimalna szerokość belki b_{min} (mm) i grubość środka b_w (mm)
1	2
R 120	220
R 180	380
R 240	480

Belki narażone na działanie ognia ze wszystkich stron

Można stosować warunki zamieszczone w Tablicach 5.5, 5.6 i 5.7 o ile są spełnione warunki:

- wysokość belki nie powinna być mniejsza niż minimalna szerokość wymagana dla odpowiedniego okresu odporności ogniowej,
- powierzchnia przekroju poprzecznego belki nie powinna być mniejsza niż $A_c = 2b_{min}^2$,

W metodzie tej należy sprawdzić:

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

Określenie do jakiej klasy należy przekrój (WA; WB; WC)

Dla danej klasy odporności ogniowej sprawdzić czy dla każdej z możliwych kombinacji a i b_{min} , średnia odległość osiowa zbrojenia od powierzchni belki a , oraz szerokość belki b_{min} są większe od minimalnych wartości podanych w odpowiedniej tabeli.

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

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

Grubość środka belki $b_w \geq b_{w,min}$ - ($b_{w,min}$ - z odpowiedniej tablicy)

Czasem należy przeprowadzić liniową interpolację wartości tabelarycznych.

Uproszczona metoda obliczeniowa:

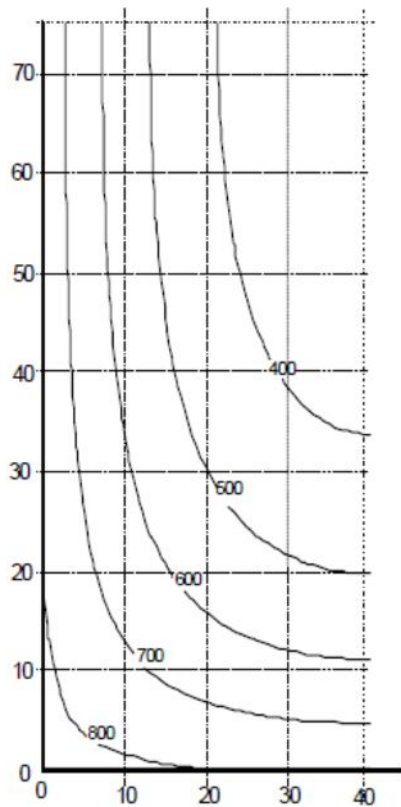
Opis podstaw metody został podany w konspekcie K-3.

Profile temperatury

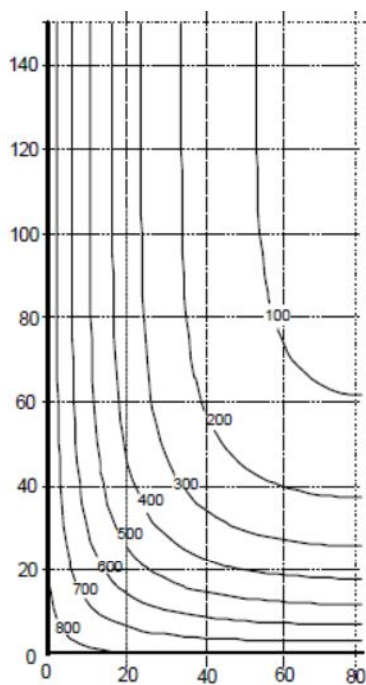
Podane rysunki i wykresy oparto na następujących założeniach:

- 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.

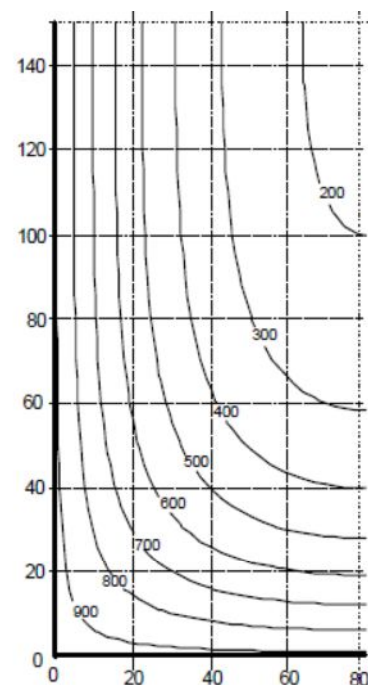
- Emisyjność równa 0,7 zważana z powierzchni betonów, jest zgodna z założeniami Normy.
- Współczynnik konwekcji wynosi 25



Rysunek A.3: Profile temperatury (°C) dla belki $h \times b = 150 \times 80 - R30$

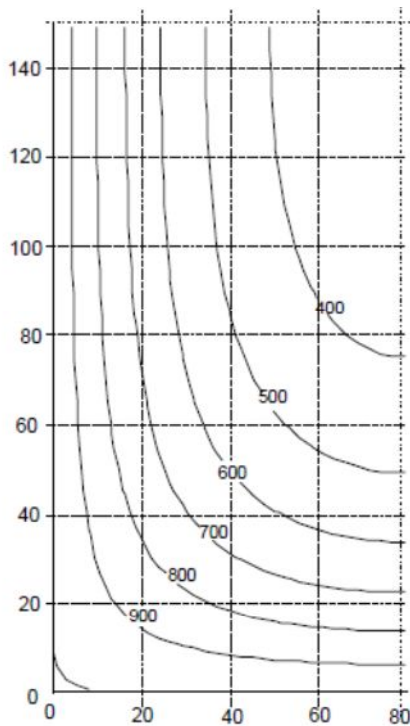


a) R30



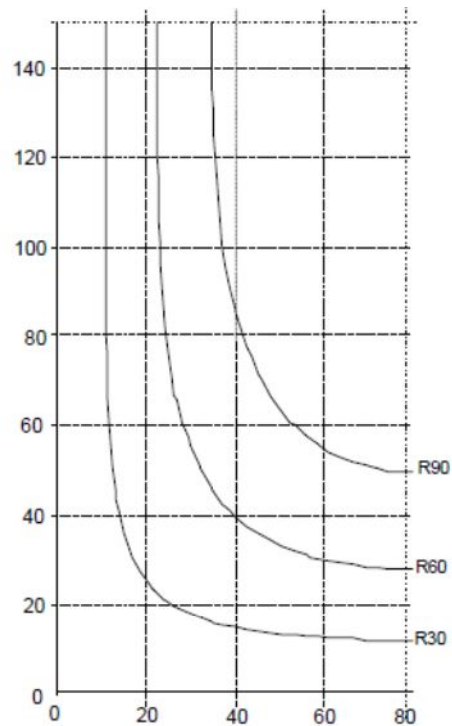
b) R60

Rysunek A.4: Profile temperatury (°C) dla belki $h \times b = 300 \times 160$

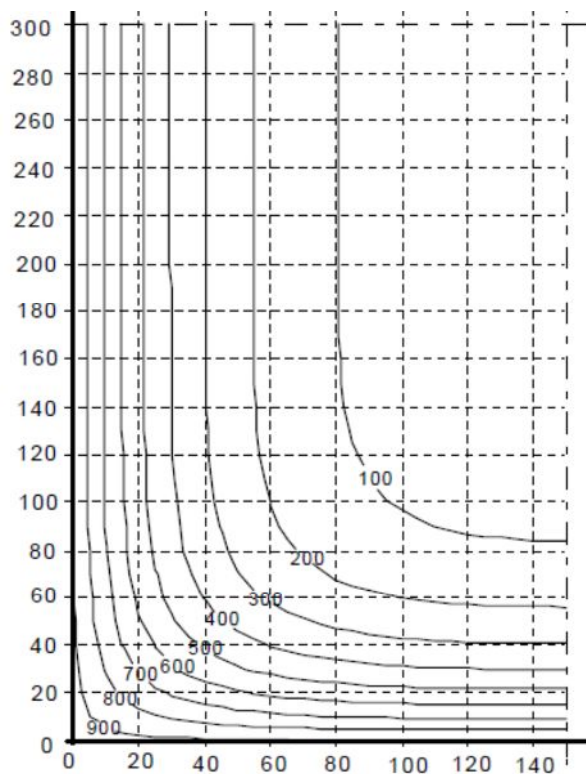


a) R90

Rysunek A.5: Profile temperatury (°C) dla belki $h \times b = 300 \times 160$

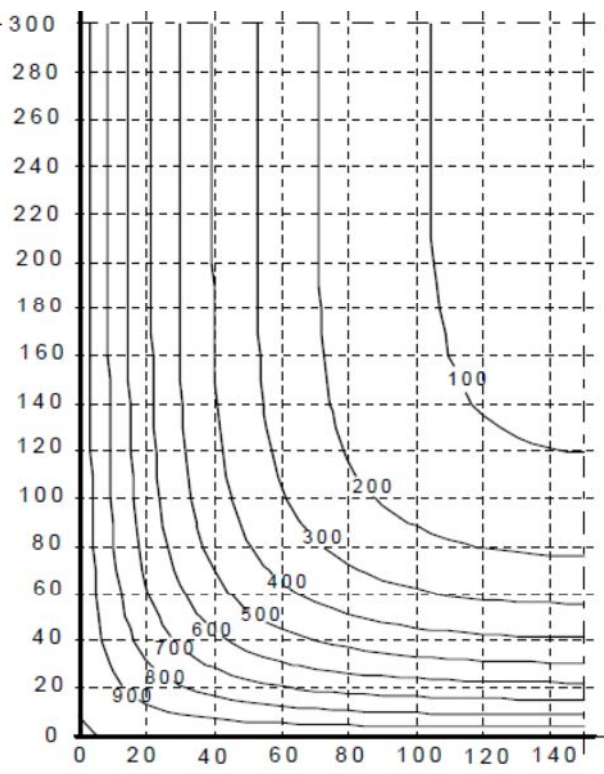


Rysunek A.6: Izotermy 500°C dla belki $h \times b = 300 \times 160$

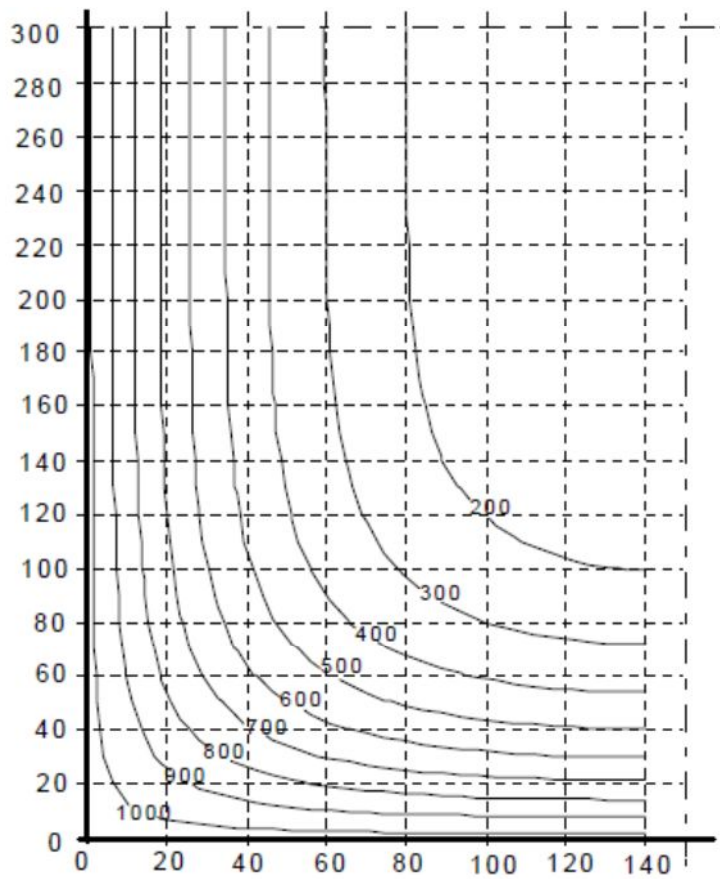


a) R60

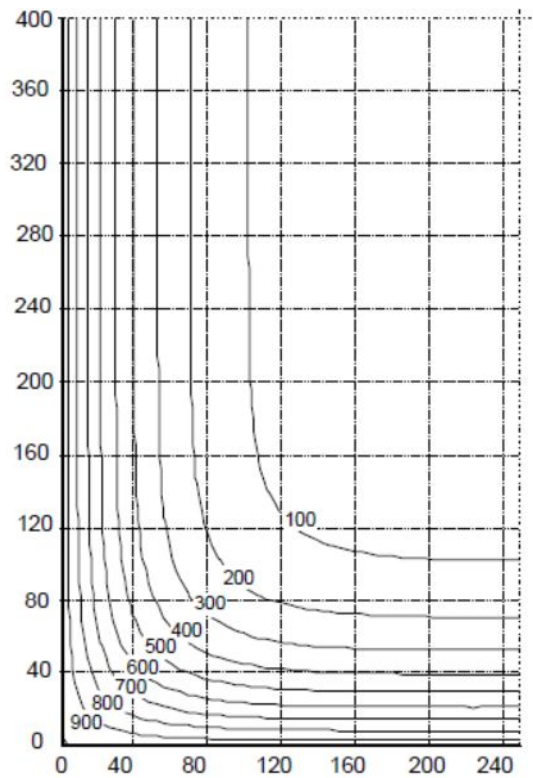
Rysunek A.7: Profile temperatury (°C) dla belki $h \times b = 600 \times 300$



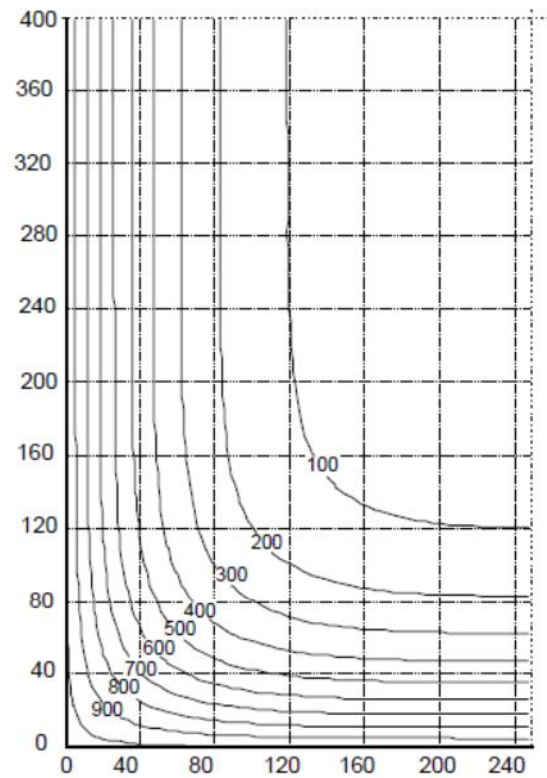
b) R90



Rysunek A.8: Profile temperatury (°C) dla belki $h \times b = 600 \times 300 - R120$

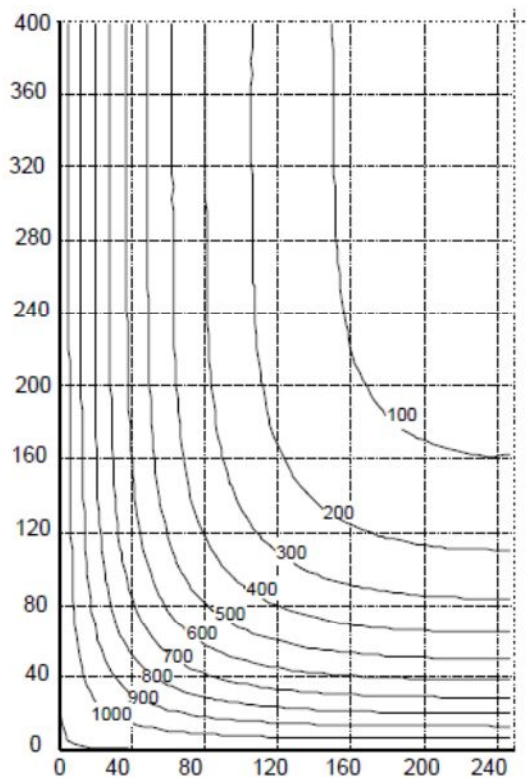


a) R90

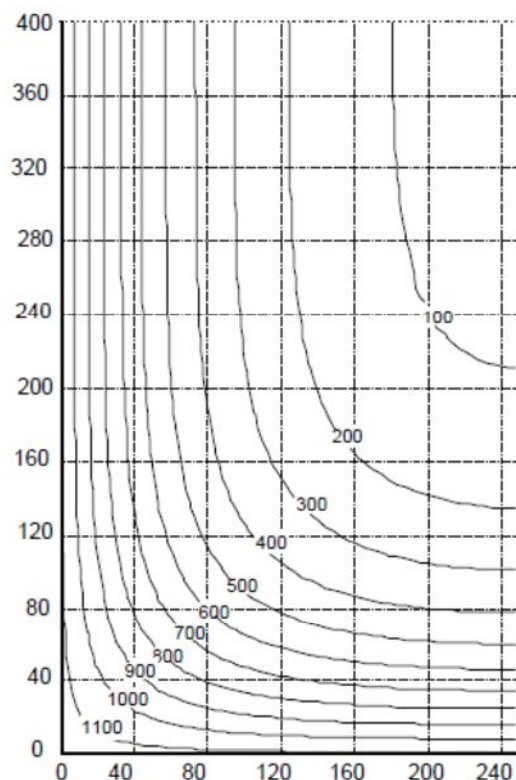


b) R120

Rysunek A.9: Profile temperatury (°C) dla belki $h \times b = 800 \times 500$



a) R180



b) R240

Rysunek A.10: Profile temperatury (°C) dla belki $h \times b = 800 \times 500$

Uproszczona metoda obliczeniowa dla belek i płyt

Uproszczony metod stosuje się jedynie w przypadku obciążenia głównie równomiernie rozłożonego, gdy projekt w temperaturze otoczenia został oparty na analizie liniowej lub analizie liniowej z ograniczoną redystrybucją. Metod można stosować do ciętych belek lub płyt, dla których redystrybucja momentów przekracza 15 %, pod warunkiem że na podporach została zapewniona wystarczająca zdolność obrotu dla wymaganych warunków oddziaływania pożaru.

Uproszczona metoda obliczeniowa stanowi rozszerzenie metody tabelarycznej dla belek narażonych na działanie ognia z trzech stron oraz płyt. Pozwala ustalić, jak zmienia się moment zginania w sytuacjach, gdy odległość osiowa od zbrojenia dolnego jest mniejsza od przyjętej w Tablicach metody tabelarycznej.

Minimalne wymiary przekroju poprzecznego (b_{\min} , b_w , h_s) nie powinny ulegać redukcji. Metoda posługuje się współczynnikami redukcji wytrzymałości. Metod uproszczony można stosować w celu uzasadnienia redukcji odległości osiowej. W innych przypadkach należy przestrzegać reguł podanych dla metody tabelarycznej.

Metody uproszczonej nie stosuje się do belek ciętych, których szerokość b_{\min} lub b_w w obszarze ujemnego momentu jest mniejsza niż 200 mm, a wysokość h_s jest mniejsza niż $2b$.

Belki i płyty swobodnie podparte

Metoda uproszczona polega na sprawdzeniu, czy $M_{Ed,fi} \leq M_{Rd,fi}$. Obciążenie w warunkach prostopadłościowych wyznacza się na podstawie odpowiedniej kombinacji według EN 1991-1-2, a moment zginający na podstawie analizy liniowej.

Wzrost momentu na zginanie $M_{Rd,fi}$ przy projektowaniu na warunki prostopadłościowe oblicza się wykorzystując wyrażenie:

$$M_{Rd,fi} = (\gamma_s / \gamma_{s,fi}) \times k_s(\xi) \times M_{Ed} (A_{s,prov}/A_{s,req})$$

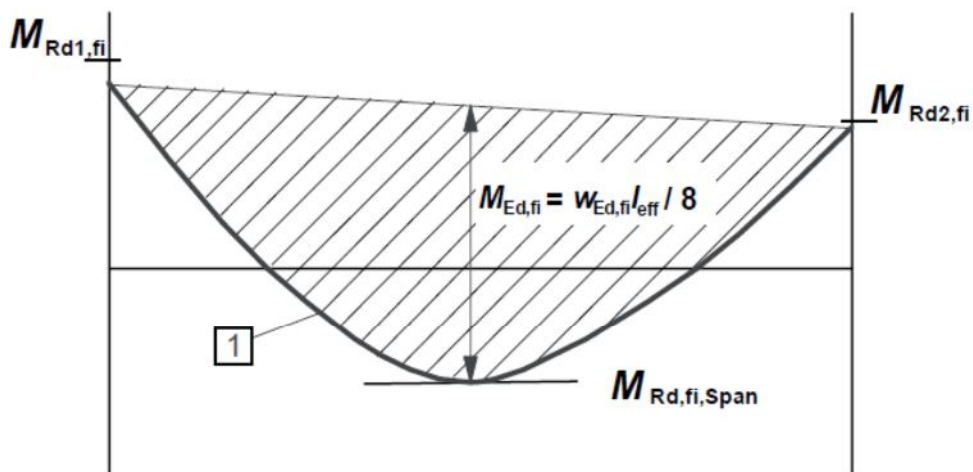
gdzie: γ_s jest częściowym współczynnikiem materiałowym dla stali wg PN-EN 1992-1-1, $\gamma_s = 1,15$,
 $\gamma_{s,fi}$ jest częściowym współczynnikiem materiałowym dla stali w warunkach prostopadłościowych $\gamma_{s,fi} = 1,0$,
 $k_s(\xi)$ jest współczynnikiem redukcyjnym wytrzymałości stali dla danej temperatury przy wymaganej odporności ogniowej. Wartość $k_s(\xi)$ dla wybranej odległości osiowej można przyjmować na podstawie wykresu z Załącznika A Normy PN-EN 1992-1-2
 M_{Ed} jest momentem wykorzystywanym przy projektowaniu w zwykłej temperaturze zgodnie z PN-EN 1992-1-1
 $A_{s,prov}$ jest rzeczywistym polem przekroju stali rozciąganej,
 $A_{s,req}$ jest polem przekroju stali rozciąganej, wymaganym przy projektowaniu w temperaturze otoczenia zgodnie z PN-EN 1992-1-1

Wartość $A_{s,prov} / A_{s,req}$ nie powinna być większa niż 1,3.

Belki i płyty ciągłe

W projektowych warunkach prostopadłościowych, na całej długości belek i płyt ciągłych, należy zapewnić statyczną równowagę momentów zginających oraz sił poprzecznych. W celu zapewnienia równowagi przy projektowaniu z uwagi na warunki prostopadłościowe, dopuszcza się redystrybucję momentów z przęsła nad podpory w miejscach, gdzie nad podporami zastosowano zbrojenie o polu przekroju wystarczającym dla przejścia obliczeniowego obciążenia prostopadłościowego. Zbrojenie to powinno się gromadzić na wystarczającej odległości w stron przęsła w celu zapewnienia bezpiecznej obwiedni momentów zginających.

Wzrost momentu na zginanie $M_{Rd,fi,Span}$ przekroju, w którym w warunkach prostopadłościowych występuje maksymalny moment zginający, wyznacza się tak jak dla belki swobodnie podpartej. Maksymalny moment zginający dla belki wolnopodpartej pod równomiernie rozłożonym obciążeniem w sytuacji prostopadłościowej powinien być tak dopasowany do wzrostu, aby momenty zamocowania $M_{Rd1,fi}$ i $M_{Rd2,fi}$ spełniały warunek równowagi, jak przedstawiono na Rysunku.



1 Wykres momentów dla obciążenia równomiernie rozłożonego w warunkach pożarowych

Rysunek E.1: Wyznaczanie pozycji wykresu momentu zginającego $M_{Ed,fi}$ w celu ustalenia równowagi

Mo na to uzyskać, wyznaczaj c moment zamocowania na jednym z ko ców, równy lub mniejszy ni no no elementu na tej podporze obliczona (w przypadku braku dokładniejszych oblicze , no no na zginanie nad podporami przy projektowaniu na warunki po arowe) ze wzoru:

$$M_{Rd,fi} = (\gamma_s/\gamma_{s,fi}) M_{Ed} (A_{s,prov}/A_{s,req}) (d-a)/d$$

gdzie: γ_s , $\gamma_{s,fi}$, M_{Ed} , $A_{s,prov}$, $A_{s,req}$ jak zdefiniowano poprzednio
 a jest redni wymagan doln odległo ci osiow zbrojenia dla belek lub płyt,
 d jest efektywn wysoko ci przekroju

Nie nale y przyjmowa warto ci $A_{s,prov}/A_{s,req}$ wi kszych ni 1,3.

Nast pnie wyznacza si moment wymagany na drugim ko cu prz sła.

Powy sze wyra enie zachowuje wa no w przypadku, gdy temperatura stali zbrojenia górnego nad podporami nie przekracza 350 °C dla pr tów zbrojeniowych i 100 °C dla ci gien spr aj cych. W przypadku wy szych warto ci temperatury, wzrost $M_{Rd,fi}$ nale y zredukowa mno c czynnikiem $k_s(\text{ cr})$ lub $k_p(\text{ cr})$.

Nale y sprawdzi obliczeniow długo zakotwienia $l_{bd,fi}$, wymagan w warunkach po arowych. Mo na w tym celu skorzystać z wyra enia:

$$l_{bd,fi} = (\gamma_s/\gamma_{s,fi}) (\gamma_{c,fi}/\gamma_c) \cdot l_{bd}$$

przy czym warto l_{bd} jest podana w PN-EN 1992-1-1, dla sytuacji trwałej. Długo zastosowanego pr ta powinna si ga poza podpor do odpowiedniego punktu zmiany znaku momentu, dodatkowo przesuni tego o dystans równy $l_{bd,fi}$.

cinanie

No no na cinanie, skr canie i zakotwienie mo na oblicza posługuj c si metodami podanymi w PN-EN 1992-1-1, uwzgl dniaj c zredukowane wła ciwo ci materiałowe i zredukowane spr enie dla ka dej cz ci przekroju poprzecznego.

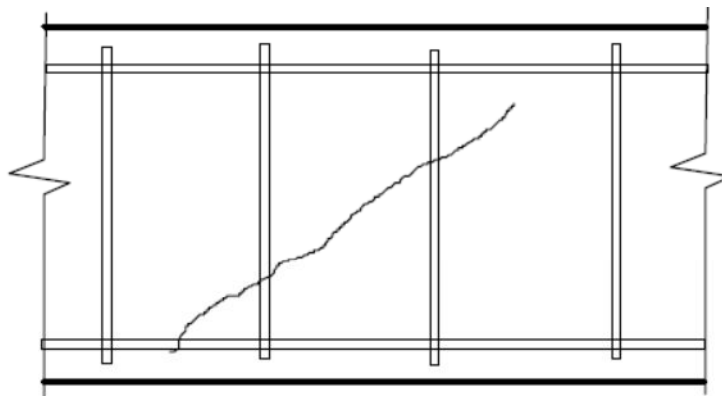
Je eli wykorzystuje si uproszczon metod oblicze mo na bezpo rednio zastosowa postanowienia PN-EN 1992-1-1 do zredukowanego przekroju poprzecznego.

Je eli wykorzystuje si uproszczon metod oblicze i nie wyst puje zbrojenie na cinanie b d no no na cinanie zale y przede wszystkim od zredukowanej wytrzymało ci betonu na rozci ganie, nale y uwzgl dni zachowanie betonu przy cinaniu w warunkach podwy szonej temperatury. W przypadku, gdy brak jest dokładniejszych informacji dotycz cych redukcji wytrzymało ci betonu na rozci ganie, mo na wykorzystywa warto ci k_{ct} ().

Przy posługiwaniu si uproszczon metod oblicze do elementów, których no no na cinanie jest uzale niona od wytrzymało ci na rozci ganie betonu, wówczas nale y zwróci szczególn uwa g na miejsca w których napr enia rozci gaj ce s wywołane nieliniowymi rozkładami temperatury (np. płyty z otworami, grube belki itd.). Redukcj wytrzymało ci na cinanie przeprowadza si uwzgl dniaj c zwi kszone warto ci napr e rozci gaj cych.

Zbrojenie na cinanie i skr canie

Dokonuj c oceny no no ci przy oddziaływaniach zwykłych (osiowych i zginaniu), mo na wyznaczy profile temperatury bez uwzgl dniania obecno ci stali i przypisa zbrojeniu temperatur w betonie w tym samym punkcie. Powy sze przybli enie mo na stosowa do zbrojenia podł u nego, ale nie jest ono w pełni prawdziwe dla strzemion. Strzemiona przechodz przez strefy o ró nych temperaturach (zasadniczo naro nik i spód belki s cieplejsze ni góra) i rozprawdzaj ciepło od strefy cieplejszej do chłodniejszej. Wynika st d, e temperatura strzemienia jest ni sza od temperatury otaczaj cego betonu i ma tendencj do zrównywania si na całej długo ci strzemienia. Nawet je li pomin ten drobny korzystny efekt, strzemi nie odkształca si na całej swojej długo ci, a najwi ksze napr enie w rzeczywisto ci wyst pi w pobli u rysy spowodowanej cinaniem lub skr caniem. W zwi zku z tym niezb dne jest okre lenie temperatury miarodajnej ustalonej w charakterystycznym miejscu w przekroju. Na podstawie temperatury miarodajnej wyznacza si no no na cinanie lub skr canie w warunkach po arowych, w sposób podany poni ej.



Rysunek D.1: Rysy spowodowane ścinaniem przecinają strzemiona w różnych odległościach od zbrojenia na zginanie

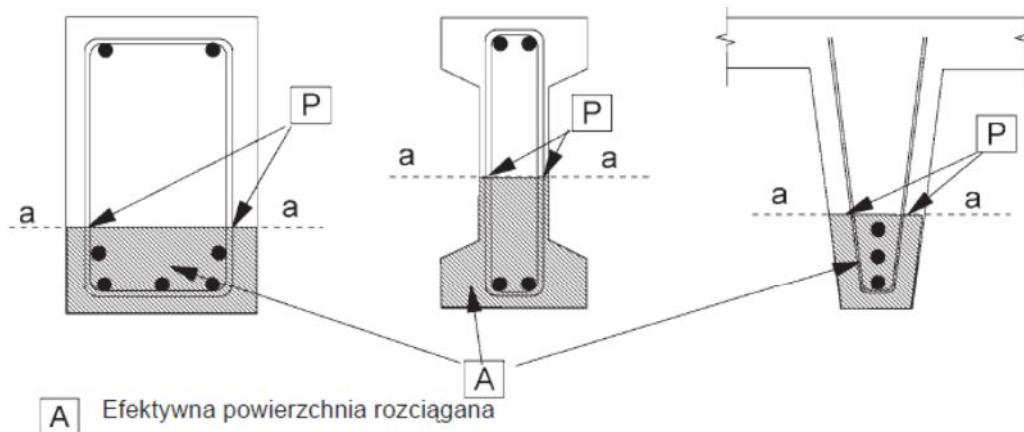
Procedura obliczania nośności przekroju belkowego na ścinanie

Obliczenia zredukowanej geometrii przekroju poprzecznego przeprowadza się identycznie jak w przypadku oddziaływa zginających i osiowych.

Pozostała wytrzymałość betonu na ścinanie wyznacza się zgodnie z Załącznikami Normy (w przypadku metody izotermi 500 °C jest to pełna wytrzymałość $f_{cd,fi} = f_{cd,fi}(20)$ w obszarze wewnątrz izotermi 500 °C, zaś w przypadku metody strefowej jest to zredukowana wytrzymałość $f_{cd,fi} = k_{c(M)} \cdot f_{cd,fi}$).

Pozostała wytrzymałość betonu na rozciąganie wyznacza się zgodnie z Załącznikiem Normy (w przypadku metody izotermi 500 °C jest to pełna wytrzymałość $f_{ctd,fi} = f_{ctd,fi}(20)$ w obszarze wewnątrz izotermi 500 °C, zaś w przypadku metody strefowej jest to zredukowana wytrzymałość $f_{ctd,fi} = k_{ct(M)} \cdot f_{ctd,fi}$).

Efektywna powierzchnia rozciągania wyznacza się ograniczoną od góry przekrojem a-a



Rysunek D.2: W celu obliczenia nośności na ścinanie wyznacza się temperaturę miarodajną θ_p w punktach P wzdłuż linii 'a-a'. Efektywną powierzchnię rozciąganą można uzyskać na podstawie EN 1992-1-1 (SLS dla zarysowania)

Temperaturę referencyjną θ_p w strzemionach wyznacza się jako temperaturę w punkcie P (punkt przecięcia przekroju a-a ze strzemieniem). Temperaturę stali można obliczyć przy użyciu programu komputerowego lub wykorzystując profile temperatury zgodnie z Załącznikiem A.

Redukcję obliczeniowej wytrzymałości stali w strzemionach przeprowadza się dla temperatury referencyjnej $f_{sd,fi} = k_s(\theta) f_{sd}(20)$.

Metody obliczeniowe służące do projektowania i oceny ścinania, podane w EN 1992-1-1, można stosować bezpośrednio do zredukowanego przekroju, wykorzystując zredukowaną wytrzymałość stali i betonu zgodnie z powyższym opisem.

W metodzie tej należy sprawdzić :

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

Dla wyznaczonej klasy odporności ogniowej, wymiarów zewnętrznych belki i grubości otulenia, określa się z wykresu temperatur θ prętów zbrojenia głównego belki.

Z wykresu wyznacza się przebieg izotermy 500° C, aby wyznaczyć efektywne pole przekroju betonowego.

Z wykresu dla odpowiedniego gatunku stali zbrojeniowej odczytuje się współczynnik $k_s(\theta)$ w zależności od określonej temperatury prętów zbrojenia.

Ze wzoru określa się momenty belki na zginanie w warunkach powolnych.

Jeżeli belka jest cięgła, wyznacza się rozkład momentów zginających z uwzględnieniem sztywności belki w warunkach powolnych.

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

Sprawdza się warunek nośności na ścinanie $V_{Ed,fi} \leq V_{Rd,fi}$. Dla wyznaczonej klasy odporności ogniowej, przyjmuje się efektywny przekrój betonu w obrębie izotermy 500° C. Z wykresu ustala się temperaturę strzemion w punkcie P. Oblicza się wartość $f_{sd,fi}$ wytrzymałości stali strzemion w warunkach powolnych. Dla tej wartości określa się momenty na ścinanie.

Czasem należy przeprowadzić liniową interpolację wartości tabelarycznych.

Zaawansowane metody oblicze

Metody te zostawiam dla indywidualnego przestudiowania (dla chętnych)

Rygiel ramy głównej w konstrukcji stalowej według PN-EN 1993-1-2 Eurokod 3:

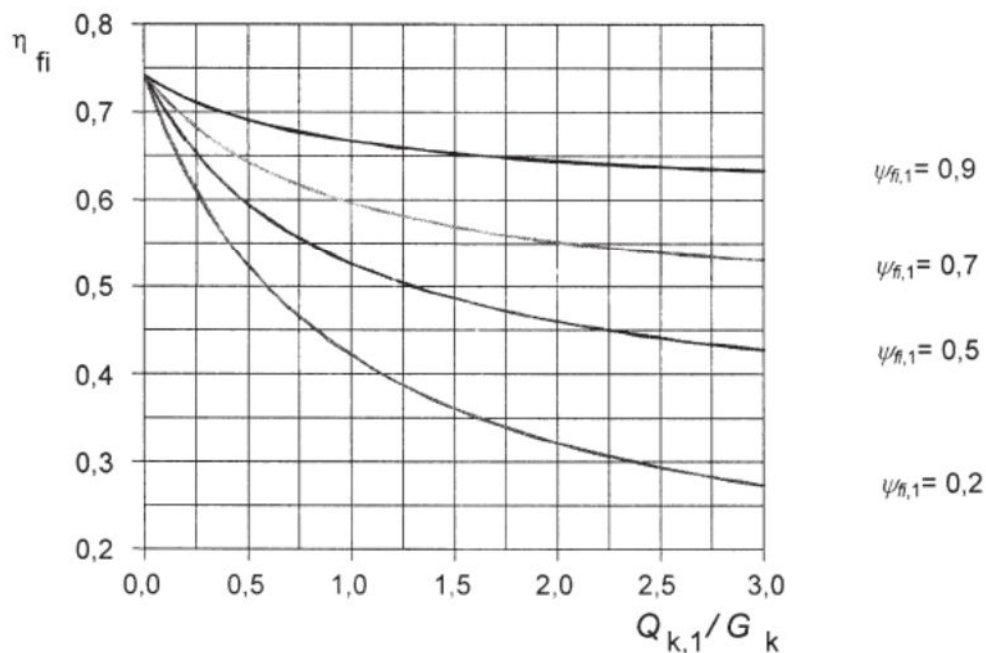
Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-2: Reguły ogólne. Projektowanie z uwagi na warunki powolne

Gdy wymagane jest zapewnienie nośności w warunkach powolnych, to konstrukcje stalowe powinny być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby ich funkcja nośna była utrzymana podczas określonego czasu ekspozycji powolnej. Kryteria odkształceniowe stosuje się wtedy, gdy skuteczność ochrony powolnej lub kryteria projektowania elementów oddzielających wymagają rozpatrzenia deformacji konstrukcji nośnej. Model układu konstrukcyjnego przyjmowany do obliczeń powinien w sposób realistyczny odwzorowywać zachowanie się konstrukcji w powolnym.

Tak samo jak w przypadku konstrukcji żelbetonowych, analizę konstrukcji w sytuacji powolnej przeprowadza się jako analizę elementu, analizę podukładu konstrukcji lub jako globalną analizę konstrukcji. **W przypadku weryfikacji wymaga się zwizualizacji z powołaniem normowym, wystarczająco miarodajną jest analiza elementu.** Jako metodą alternatywną do weryfikacji obliczeniowej, projektowanie można przeprowadzać na podstawie wyników powolnych badań do wiadczałych lub na podstawie badań i obliczeń.

Analiza elementu

Efekty oddziaływania wyznacza się w czasie $t = 0$, uwzględniając współczynniki kombinacji $\psi_{1,1}$ lub $\psi_{2,1}$. Jako uproszczenie, efekty oddziaływania $E_{d,fi}$ można uzyskać, stosując analizę konstrukcji w normalnej temperaturze i redukcję $E_{d,fi} = \eta_i E_d$, η_i współczynnik redukcyjny do wyznaczenia obliczeniowych efektów oddziaływania w sytuacji powolnej zdefiniowany tak samo jak w przypadku elementów żelbetonowych.



Rysunek 2.1: Wartości współczynnika redukcyjnego η_{fi} w zależności od stosunku $Q_{k,1}/G_k$

Jako uproszczenie można przyjmować $\eta_{fi} = 0,65$, z wyjątkiem obciążenia zmiennego należącego do kategorii E wg EN 1991-1-1 (powierzchnie wykorzystywane do składowania towarów wraz z miejscami dostępu do tych obszarów), w którym to przypadku zaleca się przyjmować wartość 0,7.

Przy analizie elementu uwzględnia się wyłącznie efekty odkształceń termicznych wynikające z gradientu temperatury w przekroju. Efekty związane z podłożem rozszerzalności termicznej mogą być pominięte. Warunki brzegowe w punktach podparcia i na końcach elementu mogą być przyjmowane jako niezmiennie w całym okresie ekspozycji po pożarze. Uproszczone i zaawansowane metody obliczeniowe przydatne do weryfikacji elementu w warunkach pożarowych podane są w Rozdziałach 4.2 i 4.3 Normy PN-EN 1993-1-2

Norma PN-EN 1993-1-2 dzieli konstrukcje na:

- nieosłonięte;
- osłonięte materiałami izolacji ogniochronnej;
- chronione ekranami cieplnymi.

Przykładami metod ochrony innego typu są zabezpieczenia przez wypełnienie wodą lub czynnikiem gaśniczym konstrukcji ścian lub stropu.

W celu wyznaczenia odporności ogniowej dopuszcza się stosowanie metod obliczeniowych, które wykorzystują:

- proste modele obliczeniowe;
- zaawansowane modele obliczeniowe;
- badania doświadczalne.

Proste modele obliczeniowe stosuje się w przypadku uproszczonych metod obliczania pojedynczych elementów, wykorzystując ostrożne założenia upraszczające. Zaawansowane modele obliczeniowe stosuje się w szczególnych przypadkach, gdy metody obliczania wykorzystują w sposób realistyczny zasady inżynierii pożarowej.

Proste modele obliczeniowe

Należy przyjąć, że funkcja no na elemencie stalowym w warunkach pożaru normowego jest zachowana po upływie czasu t , jeżeli spełniony jest następujący warunek:

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

gdzie: $E_{fi,d}$ – wartość obliczeniowa efektu oddziaływania w pożarowej sytuacji projektowej, wyznaczona zgodnie z EN 1991-1-2;

$R_{fi,d,t}$ – odpowiednia obliczeniowa no na elemencie stalowym w czasie trwania pożaru t . Obliczeniowa no $R_{fi,d,t}$ w czasie trwania pożaru t wyznacza się przyjmując zazwyczaj hipotezę równomiernej temperatury w przekroju i stosując modyfikację obliczeniową no na ci w normalnej temperaturze wyznaczoną wg PN-EN 1993-1-1, polegającą na uwzględnieniu właściwości mechanicznych stali w podwyższonych temperaturach. (w obliczeniach, $R_{fi,d,t}$ staje się $M_{fi,t,Rd}$, $N_{fi,t,Rd}$ itd. (oddzielnie lub w kombinacjach), za $E_{fi,d}$ staje się $M_{fi,Ed}$, $N_{fi,Ed}$ itd.). Gdy uwzględnia się nierównomierny rozkład temperatury, to obliczeniowa no na ci w normalnej temperaturze modyfikuje się odpowiednio do przyjętego rozkładu temperatury. Alternatywnie, przyjmując równomierny rozkład temperatury, weryfikację przeprowadza się według kryterium temperaturowego.

Nie ma potrzeby rozpatrywania zniszczenia przekroju netto, jeżeli w każdym otworze występuje cznik, gdy temperatura stali w węzłach jest niższa z uwagi na występowanie tam dodatkowego materiału. Można przyjąć, że odporność ogniowa w węzłach na rury lub w węzłach spawanym jest wystarczająca, jeżeli spełnione są następujące warunki:

1. Odporność termiczna izolacji ogniochronnej w węzłach $(d_p / \lambda)_c$ jest co najmniej równa minimalnej wartości odporności termicznej izolacji ogniochronnej łączonych elementów $(d_p / \lambda)_m$,

gdzie: d_p – grubość warstwy materiału izolacji ogniochronnej ($d_p = 0$ w przypadku elementu nieosłoniętego),

λ – efektywna przewodność cieplna materiału izolacji ogniochronnej.

2. Wskaźnik wykorzystania no na ci w węzłach jest co najwyżej równy maksymalnej wartości wskaźników wykorzystania no na ci łączonych elementów.
3. No na ci w węzłach w temperaturze otoczenia wyznacza się zgodnie z EN 1993-1-8.

Alternatywnie do tej metody, odporność ogniową w węzłach można wyznaczyć z wykorzystaniem metody podanej w Załączniku D normy PN EN 1993-1-2. Porównanie wskaźników wykorzystania no na ci w węzłach i łączonych elementów można w uproszczeniu przeprowadzić w temperaturze pokojowej.

Klasyfikacja przekrojów

Zgodnie z uproszczonymi regułami, przekroje poprzeczne mogą być klasyfikowane jak w obliczeniach przy normalnej temperaturze, lecz z uwzględnieniem zredukowanej wartości określonej wzorem:

$$= 0,85 [235/f_y]^{0,5}$$

gdzie: f_y – granica plastyczności w temperaturze 20°C.

Współczynnik redukcyjny 0,85 uwzględnia wpływ czynników związanych z podwyższoną temperaturą.

Belka.

Belki o przekrojach klasy 1 lub 2

Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{fi,Rd}$ przekroju klasy 1 lub 2 o równomiernej temperaturze t_a jest określona wzorem:

$$M_{fi,Rd} = k_{y,fi} \cdot [M_{pl,0}/M_{pl,fi}] \cdot M_{Rd}$$

gdzie: M_{Rd} – nośność plastyczna przy zginaniu przekroju brutto w normalnej temperaturze, równa $M_{pl,Rd}$ wg PN EN 1993-1-1, w razie konieczności z uwzględnieniem wpływu zginania;

$k_{y,fi}$ – współczynnik redukcyjny granicy plastyczności stali w temperaturze t_a .

W przypadku przekroju klasy 1 lub 2 o nierównomiernym rozkładzie temperatury obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{fi,t,Rd}$ w czasie t trwania pożaru można wyznaczyć według wzoru:

$$M_{fi,t,Rd} = A_i \cdot z_i \cdot k_{y,fi} \cdot f_{y,i} / M_{fi}$$

gdzie: z_i – odległość od osi obojonej w stanie plastycznym do środka ciężkości elementarnego pola przekroju A_i ;

$f_{y,i}$ – nominalna granica plastyczności f_y w elementarnym polu A_i , przyjmowana jako dodatnia po stronie ściskanej od osi obojonej w stanie plastycznym i jako ujemna po stronie rozciąganej;

A_i – elementarne pole przekroju z temperatury t ;

$k_{y,fi}$ – współczynnik redukcyjny granicy plastyczności stali w temperaturze t_a .

Alternatywnie, w przypadku elementów o przekroju klasy 1 lub 2 i o nierównomiernym rozkładzie temperatury, obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{fi,t,Rd}$ w czasie t trwania pożaru można wyznaczyć według wzoru:

$$M_{fi,t,Rd} = M_{fi,Rd} / \alpha_1 \cdot \alpha_2$$

gdzie: $M_{fi,Rd}$ – obliczeniowa nośność przekroju przy zginaniu z równomierną temperaturą t_a , b d c równomierną temperaturą t_a w czasie trwania pożaru t w przekroju, którego termiczne zachowanie się nie jest zakłócone przez warunki podparcia;

α_1 – współczynnik przystosowania uwzględniający nierównomierny rozkład temperatury w przekroju,

α_2 – współczynnik przystosowania uwzględniający nierównomierny rozkład temperatury na długości belki.

W przypadku elementów o przekroju klasy 1 lub 2 bez podparć bocznych obliczeniowa nośność na zwężenie $M_{b,fi,t,Rd}$ w czasie trwania pożaru t jest określona wzorem:

$$M_{b,fi,t,Rd} = L_{T,fi} \cdot W_{pl,y} \cdot k_{y,com} \cdot f_{y,com} / M_{fi}$$

gdzie: $L_{T,fi}$ – współczynnik zwężenia w poziomej sytuacji projektowej;

$k_{y,com}$ – współczynnik redukcyjny granicy plastyczności stali, określony dla stali pasy ściskanej i najwyższej jej temperatury $t_{a,com}$ osi gni tej w czasie trwania pożaru t .

Można w sposób bezpieczny przyjąć, że $t_{a,com}$ odpowiada równomiernej temperaturze t_a .

Wartości $\chi_{LT,fi}$ wyznacza się według wzoru:

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\phi_{LT,\theta,com} + \sqrt{\phi_{LT,\theta,com}^2 - \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2}}$$

przy czym $\phi_{LT,\theta,com} = 0,5 \cdot 1 + \alpha \cdot \bar{\lambda}_{LT,\theta,com} + \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2$

oraz $\alpha = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}}$ i $\bar{\lambda}_{LT,\theta,com} = \bar{\lambda}_{LT} \cdot \sqrt{\frac{k_{y,\theta,com}}{k_{E,\theta,com}}}$

gdzie: $k_{E,\theta,com}$ – współczynnik redukcyjny modułu sprężystości liniowej, określony dla stali pasy ciskanego i najwyższej jej temperatury $\theta_{a,com}$ osi gni tej w czasie trwania t .

W przypadku elementów o przekroju klasy 1 lub 2 obliczeniowa wartość przyćcinaniu $V_{fi,t,Rd}$ w czasie trwania t jest określona wzorem:

$$V_{fi,t,Rd} = k_{y,web} V_{Rd} [M_{0}/M_{fi}]$$

gdzie: V_{Rd} – wartość przekroju brutto przyćcinaniu w normalnej temperaturze wg EN 1993-1-1;

$k_{y,web}$ – uśredniona temperatura w rdzeniu przekroju;

$k_{y,web}$ – współczynnik redukcyjny granicy plastycznej stali w temperaturze stali t_{web} ,

W sytuacji nierównomiernego rozkładu temperatury, wartość współczynnika przystosowania γ_1 przyjmuje się następująco:

- w przypadku belki eksponowanej z czterech stron: $\gamma_1 = 1,0$
- w przypadku belki nieosłoniętej eksponowanej z trzech stron i stykającej się z płytami stropów zespolonych lub elbetów po stronie czwartej: $\gamma_1 = 0,70$
- w przypadku belki osłoniętej z trzech stron i stykającej się z płytami stropów zespolonych lub elbetów po stronie czwartej: $\gamma_1 = 0,85$

W sytuacji nierównomiernego rozkładu temperatury na długości elementu, współczynniki przystosowania γ_2 przyjmuje się następująco:

- na podporach belek statycznie niewyznaczalnych: $\gamma_2 = 0,85$
- we wszystkich pozostałych przypadkach: $\gamma_2 = 1,0$.

Belki o przekrojach klasy 3

W przypadku przekroju klasy 3 o równomiernym rozkładzie temperatury, obliczeniowa wartość przyćcinaniu $M_{fi,t,Rd}$ w czasie trwania t jest określona wzorem:

$$M_{fi,t,Rd} = k_{y,el} \cdot M_{Rd} [M_{0}/M_{fi}]$$

gdzie: M_{Rd} – wartość sprężysta przekroju brutto przyćcinaniu w normalnej temperaturze, równa $M_{el,Rd}$ wg EN 1993-1-1, w razie konieczności z uwzględnieniem wpływu ćcinania;

$k_{y,el}$ – współczynnik redukcyjny granicy plastycznej stali w temperaturze t_a ,

W przypadku przekroju klasy 3 o nierównomiernym rozkładzie temperatury, obliczeniowa wartość przyćcinaniu $M_{fi,t,Rd}$ w czasie trwania t można wyznaczyć ze wzoru:

$$M_{fi,t,Rd} = k_{y,max} \cdot M_{Rd} [M_{0}/M_{fi}] / 1 \cdot \gamma_2$$

gdzie: M_{Rd} – nośność sprężysta przekroju brutto przy zginaniu w normalnej temperaturze, równa $M_{el,Rd}$ wg EN 1993-1-1, w razie konieczności z uwzględnieniem wpływu ścinania;

$k_{y, \max}$ – współczynnik redukcyjny granicy plastyczności stali dla najwyższej temperatury stali $\sigma_{a, \max}$ osiągniętej w czasie trwania pożaru t ,

- 1 – współczynnik przystosowania w przypadku nierównomiernej temperatury w przekroju,
- 2 – współczynnik przystosowania uwzględniający nierównomierny rozkład temperatury na długości belki,

W przypadku belek o przekroju klasy 3 bez podparć bocznych, obliczeniowa nośność na zwichrzenie $M_{b,fi,t,Rd}$ w czasie t trwania pożaru jest określona wzorem:

$$M_{b,fi,t,Rd} = M_{T,fi} \cdot W_{el,y} \cdot k_{y, \max} \cdot f_y / M_{1,fi}$$

gdzie: $M_{T,fi}$ – jak dla belek o przekroju klasy 1 i 2.

Możliwość przyjęcia $\sigma_{a, \max}$ odpowiada najwyższej temperaturze $\sigma_{a, \max}$.

W przypadku przekroju klasy 3, obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{fi,t,Rd}$ w czasie trwania pożaru t jest określona wzorem:

$$V_{fi,t,Rd} = k_{y, \max} \cdot V_{Rd} \cdot [M_{0}/M_{1,fi}]$$

gdzie: V_{Rd} – nośność przekroju brutto przy ścinaniu w normalnej temperaturze wg EN 1993-1-1.

Belki o przekrojach klasy 4

W przypadku elementu o przekrojach klasy 4 możliwym jest przyjęcie warunków 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. Belki z kształtowników walcowanych zwykle nie są przekrojami klasy 4.

Narastanie temperatury w stali

Elementy stalowe nieosłonięte

W przypadku równomiernego rozkładu temperatury w przekroju, przyrost temperatury $\theta_{a,t}$ 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 przebiegu tego strumienia ciepła określona na jednostkę powierzchni [W/m²];
 t – przedział czasu [s];
 a – gęstość masy stali [kg/m³].

W przypadku przekrojów dwuteowych narażonych na oddziaływanie po obu stronach 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 po obu stronach, efekt zacienienia nie odgrywa roli i w konsekwencji współczynnik korekcyjny k_{sh} przyjmuje się równy jedno. Pominięcie efektu zacienienia (tzn.: $k_{sh} = 1$) prowadzi do uzyskania wyników po stronie bezpiecznej.

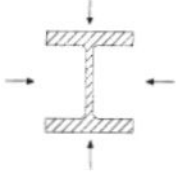
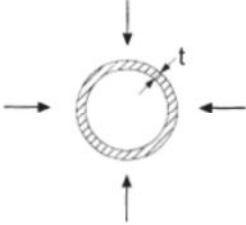
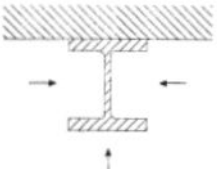
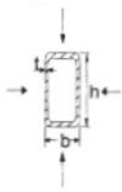
Wartość $\dot{h}_{net,d}$ wyznacza się wg PN EN 1991-1-2 przyjmując $c_f = 1,0$.

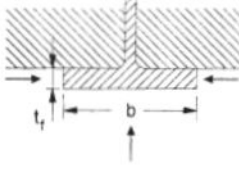
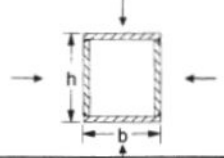
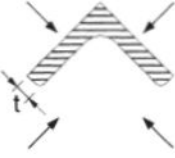
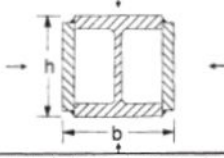
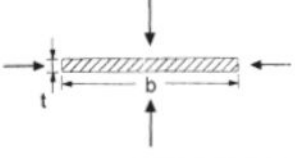
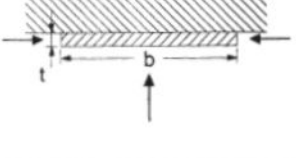
Wartość t przyjmuje się nie większą niż 5 sekund.

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 Tabelicy 4.2 normy PN EN 1993-1-2.

Tablica 4.2: Wskaźniki ekspozycji przekroju A_m/V dla nieosłoniętych elementów stalowych.

<p>Przekrój otwarty ogarnięty pożarem ze wszystkich stron: $\frac{A_m}{V} = \frac{\text{obwód}}{\text{pole przekroju poprzecznego}}$</p> 	<p>Rura ogarnięta pożarem ze wszystkich stron: $A_m/V = 1/t$</p> 
<p>Przekrój otwarty ogarnięty pożarem z trzech stron: $\frac{A_m}{V} = \frac{\text{powierzchnia ogarnięta pożarem}}{\text{pole przekroju poprzecznego}}$</p> 	<p>Kształtownik rurowy prostokątny (lub spawany przekrój skrzynkowy o stałej grubości ścianki) ogarnięty pożarem ze wszystkich stron: Jeżeli $t \ll b$: $A_m/V \approx 1/t$</p> 

<p>Przekrój dwuteowy ogarnięty pożarem z trzech stron: $A_m / V = (b + 2t_f) / (bt_f)$ Jeżeli $t \ll b$: $A_m / V \approx 1 / t_f$</p> 	<p>Przekrój skrzynkowy spawany ogarnięty pożarem ze wszystkich stron: $\frac{A_m}{V} = \frac{2(b+h)}{\text{pole przekroju poprzecznego}}$ Jeżeli $t \ll b$: $A_m / V \approx 1 / t$</p> 
<p>Kątownik ogarnięty pożarem ze wszystkich stron: $A_m / V = 2/t$</p> 	<p>Przekrój dwuteowy wzmocniony blachami tworzącymi przekrój skrzynkowy, ogarnięty pożarem ze wszystkich stron: $\frac{A_m}{V} = \frac{2(b+h)}{\text{pole przekroju poprzecznego}}$</p> 
<p>Płaskownik ogarnięty pożarem ze wszystkich stron: $A_m / V = 2(b+t) / (bt)$ Jeżeli $t \ll b$: $A_m / V \approx 2 / t$</p> 	<p>Płaskownik ogarnięty pożarem z trzech stron: $A_m / V = (b + 2t) / (bt)$ Jeżeli $t \ll b$: $A_m / V \approx 1 / t$</p> 

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 [$^{\circ}\text{C}$];

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

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

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

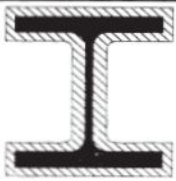
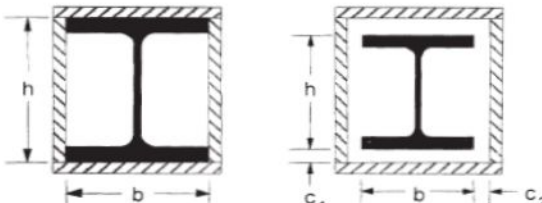
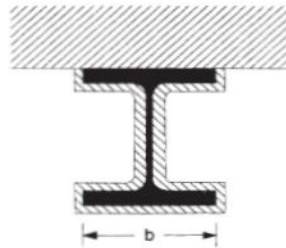
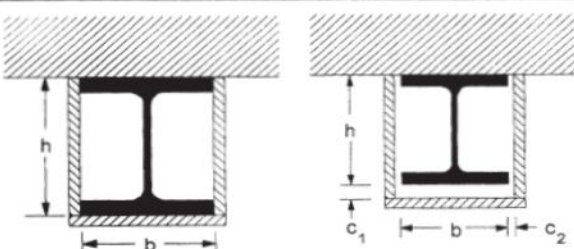
ρ_s – gęstość masy stali [kg/m³];

ρ_i – gęstość masy materiału izolacji ogniochronnej [kg/m³].

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 szczelinami na styku z elementem stalowym można przyjmować taką samą wartość jak dla obudowy skrzynkowej bez szczeliny. Wartości obliczeniowe wskaźnika ekspozycji A_p/V niektórych osłoniętych elementów stalowych podano w Tabelicy 4.3 normy PN-EN 1993-1-2.

Tabela 4.3: Wskaźnik ekspozycji A_p / V dla elementów stalowych z izolacją ogniochronną

Szkic	Opis	Wskaźnik ekspozycji (A_p / V)
	Izolacja konturowa o stałej grubości	$\frac{\text{Obwód przekroju stalowego}}{\text{pole przekroju stalowego}}$
	Izolacja skrzynkowa o stałej grubości ¹⁾	$\frac{2(b + h)}{\text{pole przekroju stalowego}}$
	Izolacja konturowa o stałej grubości, narażona na pożar z trzech stron	$\frac{\text{Wymiar } b \text{ przekroju stalowego}}{\text{pole przekroju stalowego}}$
	Izolacja skrzynkowa o stałej grubości, narażona na pożar z trzech stron ¹⁾	$\frac{2h + b}{\text{pole przekroju stalowego}}$

¹⁾ Wymiary szczelin c_1 i c_2 nie powinny na ogół przekraczać $h/4$

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

Alternatywnie, równomiernie temperatur osłoni tego elementu stalowego przy określonym czasie trwania porówna standardowego można przyjmować z nomogramów do projektowania opracowanych zgodnie z PN - EN 13381-4.

Wewnętrzne elementy stalowe chronione ekranami cieplnymi

W przypadku wewnętrznych elementów stalowych chronionych ekranami cieplnymi, przyrost temperatury Δt oblicza się odpowiednią metodą, przyjmując temperatur otaczających gazów t_g 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.

Narastanie temperatury w przestrzeni ekranowanej, w której umieszczono elementy stalowe, określa się na podstawie pomiarów wykonanych zgodnie z odpowiednią normą PN-EN 13381-1 lub PN-EN 13381-2.

Elementy stalowe zewnętrzne

Temperatur zewnętrznych elementów stalowych wyznacza się biorąc pod uwagę :

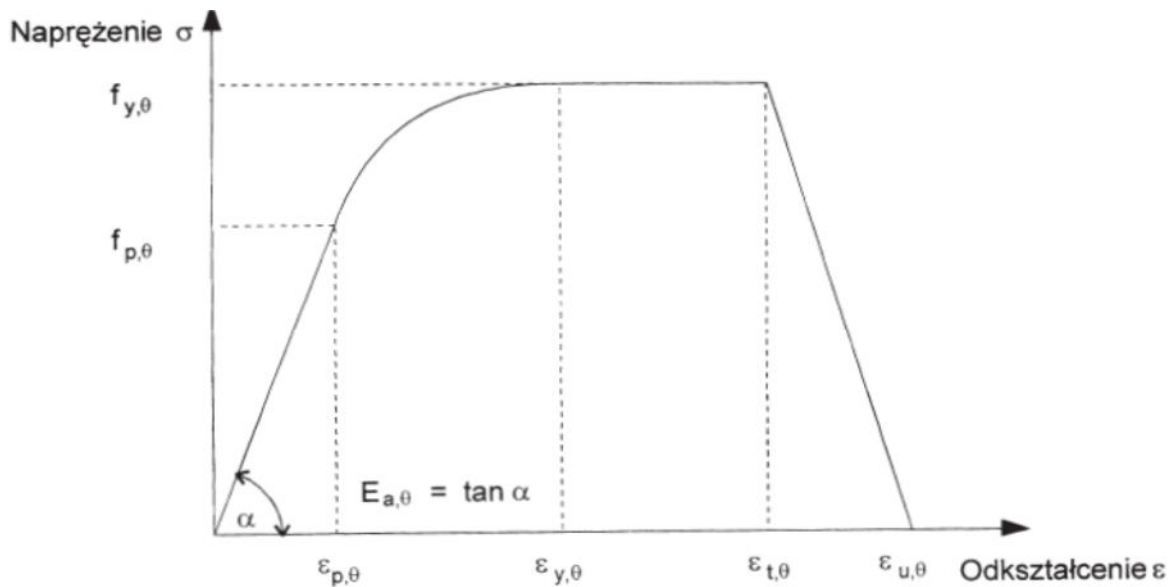
- radialny strumień ciepła z pomieszczenia wydzielonego ogniowo;
- radialny i konwekcyjny strumień ciepła wydostający się przez otwory;
- radialne i konwekcyjne straty ciepła z elementu stalowego do otaczającej atmosfery;
- rozmiary i usytuowanie elementów konstrukcyjnych.

Ekran cieplny można umieszczać po jednej, dwóch lub trzech stronach zewnętrznego elementu stalowego w celu jego ochrony przed promieniowaniem cieplnym. Ekran cieplny powinien być : albo połączony bezpośrednio do tej strony elementu stalowego, która ma być chroniona, albo wystarczająco duży, aby umożliwić całkowitą ochronę osłanianej strony elementu przed oczekiwanym działaniem radialnego strumienia ciepła. Ekran cieplny powinien być niepalny i mieć odporność ogniową co najmniej EI 30

Temperaturę w zewnętrznych elementach stalowych chronionych ekranami cieplnymi wyznacza się przy założeniu, że nie zachodzi radialny przepływ ciepła w kierunku powierzchni, które są chronione tymi ekranami. Punktem wyjścia do obliczeń mogą być warunki równowagi ustalone na podstawie stacjonarnego bilansu cieplnego. W obliczeniach przyjmuje się model opisujący warunki porównawcze w pomieszczeniu wydzielonym ogniowo z uwzględnieniem płomieni wydostających się przez otwory, na podstawie których oblicza się radialne i konwekcyjne strumienie ciepła.

Właściwości mechaniczne stali w głowach

Przy szybkości nagrzewania w granicach od 2 do 50 K/min walcowa cięwa wytrzymała i odkształceniowa stali w podwyższonych temperaturach uzyskuje się z zależności naprężenie-odkształcenie przedstawionej na Rysunku. UWAGA: Reguły podane w normie stosuje się przy założeniu, że szybko nagrzewania mieści się w podanych granicach.



- Objaśnienia:**
- $f_{y,\theta}$ efektywna granica plastyczności;
 - $f_{p,\theta}$ granica proporcjonalności;
 - $E_{a,\theta}$ moduł sprężystości liniowej;
 - $\varepsilon_{p,\theta}$ odkształcenie przy osiągnięciu granicy proporcjonalności;
 - $\varepsilon_{y,\theta}$ odkształcenie przy osiągnięciu granicy plastyczności;
 - $\varepsilon_{t,\theta}$ odkształcenie przy końcu plastycznego płynięcia;
 - $\varepsilon_{u,\theta}$ odkształcenie graniczne.

Rysunek 3.1: Zależność naprężenie-odkształcenie dla stali węglowej w podwyższonych temperaturach.

Zakres odkształceń	Naprężenie σ	Moduł styczny
$\varepsilon \leq \varepsilon_{p,\theta}$	$\varepsilon E_{a,\theta}$	$E_{a,\theta}$
$\varepsilon_{p,\theta} < \varepsilon < \varepsilon_{y,\theta}$	$f_{p,\theta} - c + (b/a) [a^2 - (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon)^2]^{0,5}$	$\frac{b(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon)}{a [a^2 - (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon)^2]^{0,5}}$
$\varepsilon_{y,\theta} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{t,\theta}$	$f_{y,\theta}$	0
$\varepsilon_{t,\theta} < \varepsilon < \varepsilon_{u,\theta}$	$f_{y,\theta} [1 - (\varepsilon - \varepsilon_{t,\theta}) / (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{t,\theta})]$	-
$\varepsilon = \varepsilon_{u,\theta}$	0,00	-
Parametry	$\varepsilon_{p,\theta} = f_{p,\theta} / E_{a,\theta}$ $\varepsilon_{y,\theta} = 0,02$	$\varepsilon_{t,\theta} = 0,15$ $\varepsilon_{u,\theta} = 0,20$
Funkcje	$a^2 = (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta})(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta} + c / E_{a,\theta})$ $b^2 = c(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta})E_{a,\theta} + c^2$ $c = \frac{(f_{y,\theta} - f_{p,\theta})^2}{(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta})E_{a,\theta} - 2(f_{y,\theta} - f_{p,\theta})}$	

Zależności przedstawione na Rysunku stosuje się do wyznaczenia naprężeń przy rozciąganiu, ścisnieniu, zginaniu i ścinaniu. W Tabelcy zestawiono współczynniki redukcyjne do przedstawionej na Rysunku zależności naprężenie-odkształcenie stali w podwyższonych temperaturach. Współczynniki te określono następująco:

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

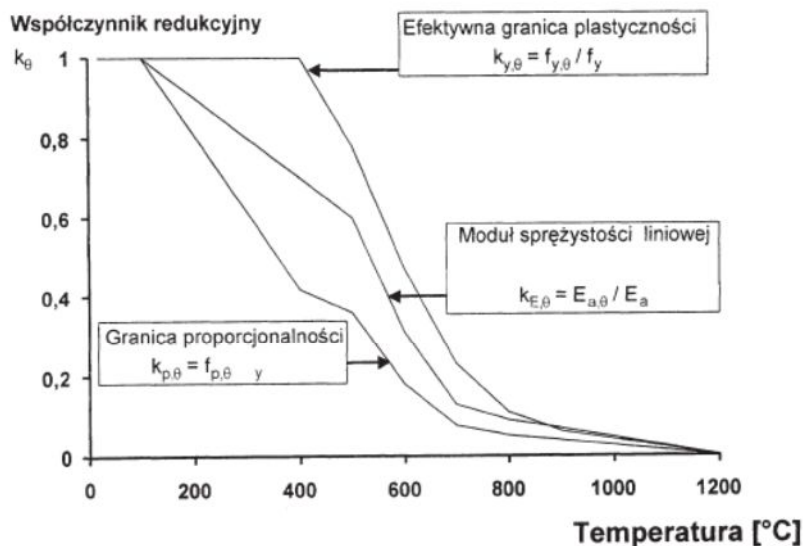
Temperatura stali θ_a	Współczynniki redukcyjne przy temperaturze θ_a w stosunku do wartości f_y lub E_a w temperaturze 20 °C		
	Współczynnik redukcyjny efektywnej granicy plastyczności (w stosunku do f_y) $k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y$	Współczynnik redukcyjny granicy proporcjonalności (w stosunku 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.

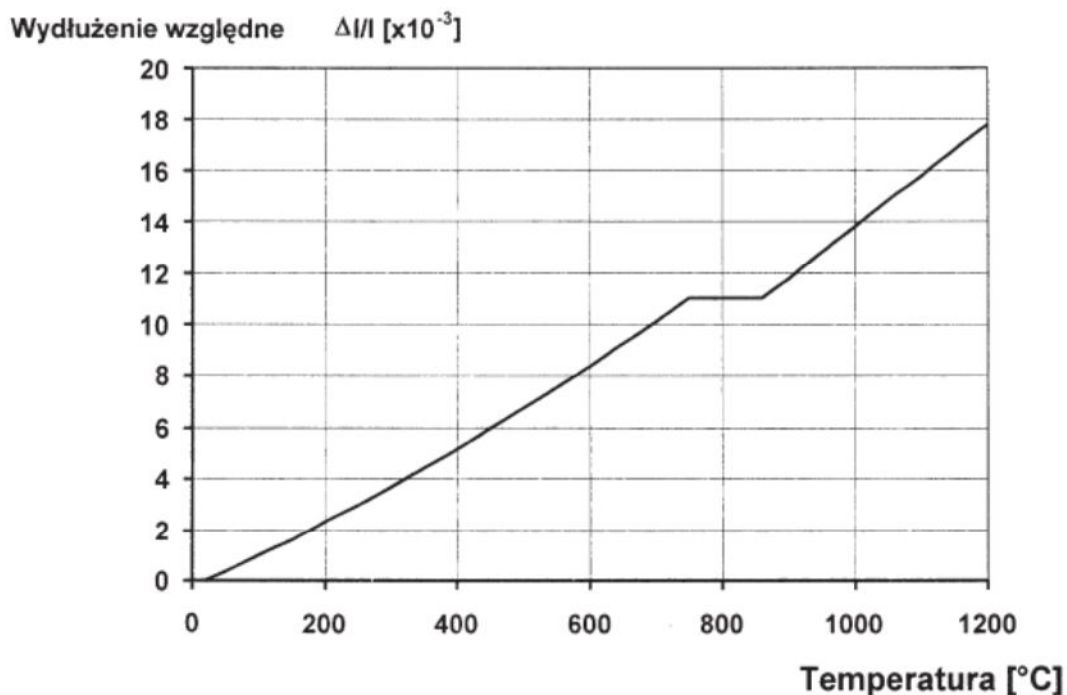
Alternatywnie, podane powyżej zależności naprężenie-odkształcenie można w temperaturach poniżej 400 °C zastąpić charakterystykami z umocnieniem, pod warunkiem że miejscowa lub ogólna niestateczność elementu nie okaże się potencjalną przyczyną przedwczesnego zaważenia się konstrukcji.



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

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

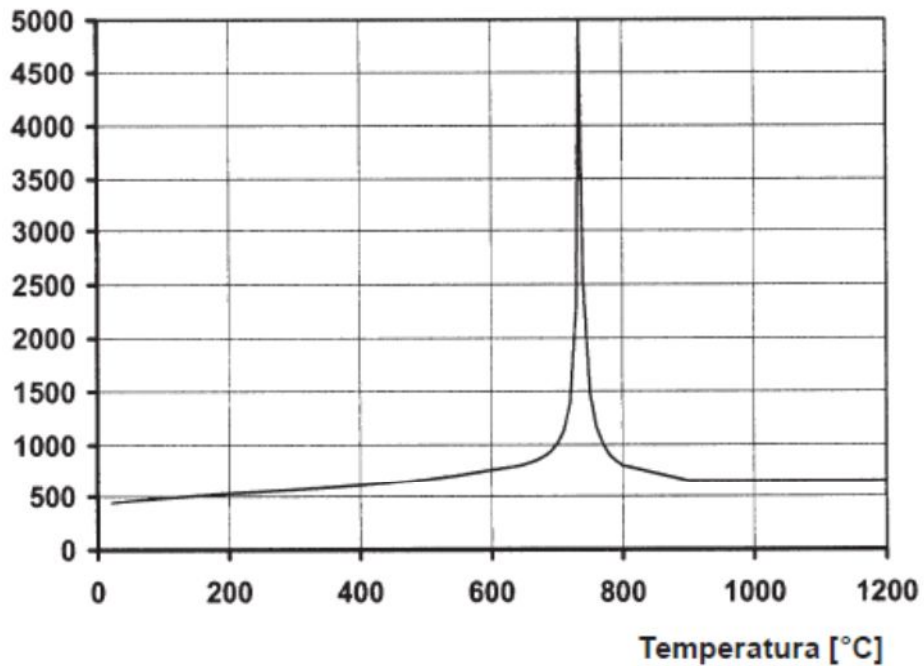
Względne wydłużenie termiczne stali $\Delta l/l$ wyznaczymy natomiast według rysunku:



Rysunek 3.3: Względne wydłużenie termiczne stali węglowej jako funkcja temperatury

Ciepło właściwe stali c_p wyznacza się według rysunku

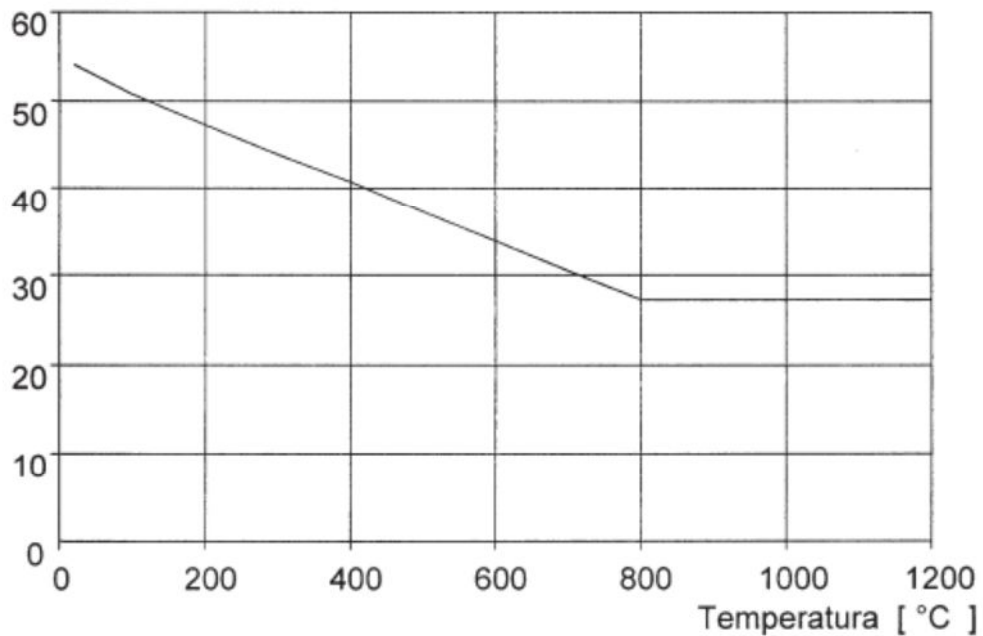
Ciepło właściwe [J/kg K]



Rysunek 3.4: Ciepło właściwe stali węglowej jako funkcja temperatury

Przewodność cieplna stali λ wyznacza się z rysunku:

Przewodność cieplna [W/mK]



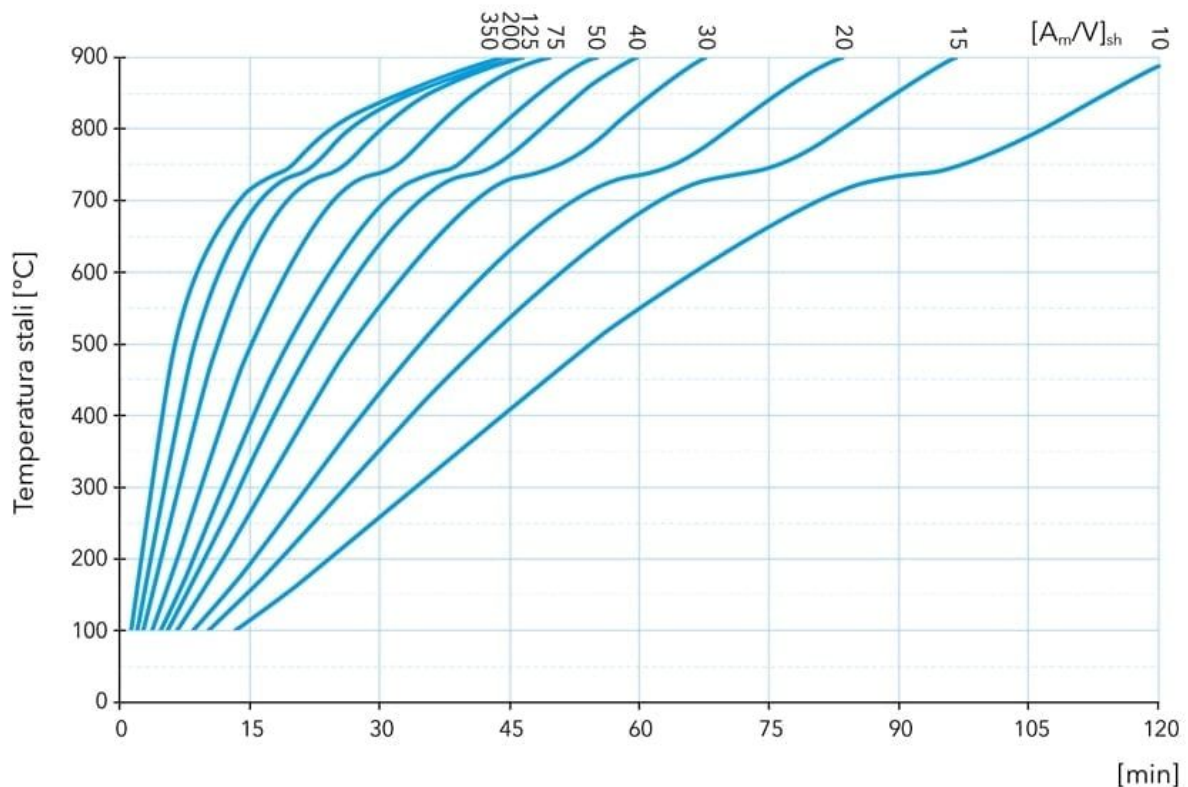
Rysunek 3.5: Przewodność cieplna stali węglowej jako funkcja temperatury

W metodzie tej należy sprawdzić :

Zestawić obciążenia i wyznaczyć η_{fi} .

Obliczyć siły wewnętrzne w warunkach posar $M_{Ed,fi}$ i $V_{Ed,fi}$.

Określić temperaturę θ_a stali przy standardowej krzywej posaru 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 rozciąganych, ściskanych i zginanych z uwzględnieniem warunków posarowych 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 wyznacza się $k_{y,fi}$.

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

Wyznacza się nośność rygla na zginanie $M_{fi,t,Rd}$ i na ścinanie $V_{fi,t,Rd}$.

Sprawdza się warunki nośności belki na zginanie $M_{fi,t,Rd} \geq M_{Ed,fi}$ i $V_{fi,t,Rd} \geq V_{Ed,fi}$.

Ze względu na usztywnienie rygla płyt stropów nie ma konieczności sprawdzania stateczności rygla $M_{fi,t,Rd} = M_{b,fi,t,Rd}$.

Metoda temperaturowa

Temperatura krytyczna

Alternatywnie do metody czasowej weryfikacji można na przeprowadzić w dziedzinie temperatury. Z wyjątkiem przypadków, gdy stosuje się kryteria odkształceniowe lub gdy należy uwzględnić zjawiska niestacystyczne, temperaturę krytyczną $\theta_{a,cr}$ w czasie trwania po prostu elementu o równomiernym rozkładzie temperatury i wykonanego ze stali w głowicy można wyznaczyć dla określonego wskaźnika wykorzystania nośności μ_0 w czasie $t = 0$ – wyznacza 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

Tabela 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 rozciąganych, 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 $R_{fi,d,t}$ – określa się jak w metodzie czasowej.

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

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

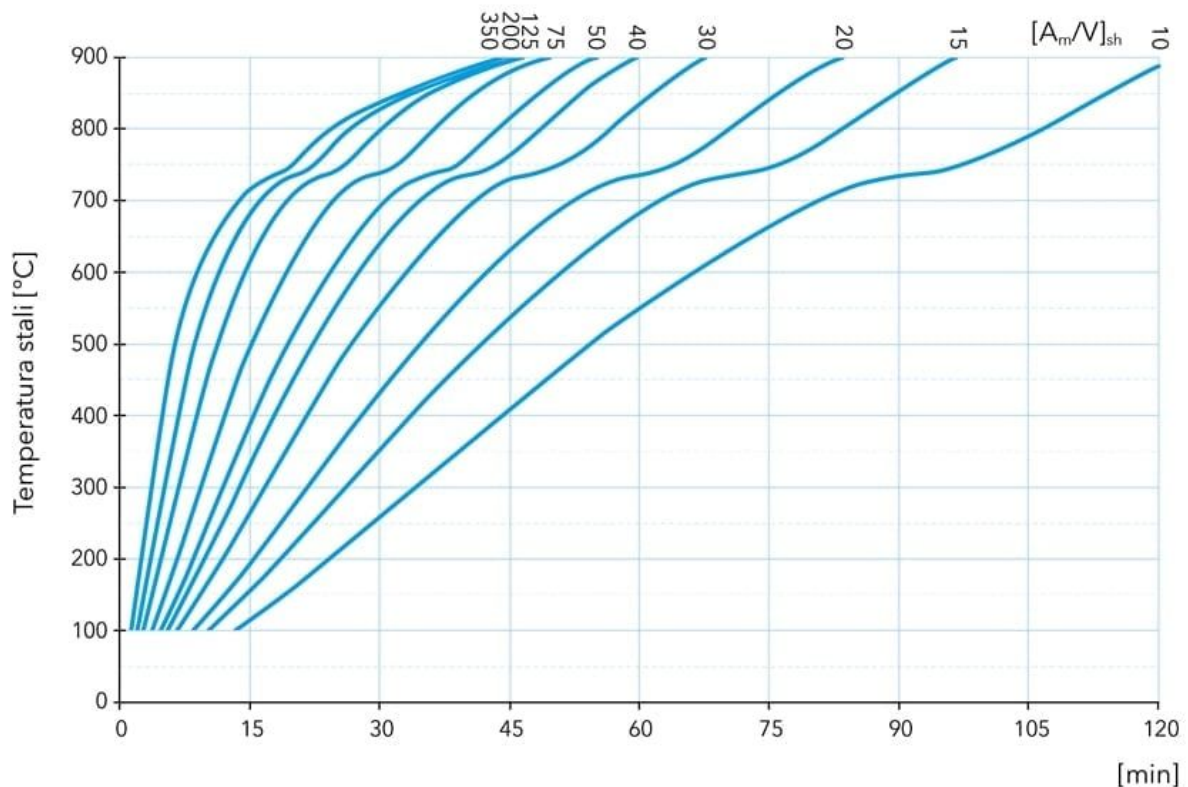
gdzie: η_{fi} – współczynnik redukcyjny.

W metodzie tej należy sprawdzić :

Zestawić obciążenia i wyznaczyć η_{fi} .

Obliczyć siły wewnętrzne w warunkach posar $M_{Ed,fi}$ i $V_{Ed,fi}$.

Określić temperaturę θ_a stali przy standardowej krzywej posaru 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 rozciąganych, ściskanych i zginanych z uwzględnieniem warunków posarowych 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 wyznacza się $k_{y,fi}$ w chwili $t = 0$.

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

Wyznacza się nośność na zginanie $M_{fi,t,Rd}$ i na ścinanie $V_{fi,t,Rd}$ w chwili $t = 0$.

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

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

We wszystkich obliczeniach wartości tablicowe należy aproksymować liniowo.

Zaawansowane modele obliczeniowe

Zaawansowane metody obliczeniowe powinny umożliwiać realistyczną analizę konstrukcji narażonej na pożar. Metody te powinny odzwierciedlać podstawowe procesy fizyczne w taki sposób, aby można było uzyskać wiarygodne przybliżenie rzeczywistego zachowania się rozpatrywanego elementu konstrukcji w warunkach pożaru. Potencjalne formy zniszczenia, która nie są uwzględnione w zaawansowanej metodzie obliczeniowej (w szczególności miejscowa utrata stateczności i zniszczenie wskutek ścinania) powinny być konstrukcyjnie wyeliminowane.

Zaawansowane metody obliczeniowe powinny uwzględniać oddzielne modele obliczeniowe odwzorowujące:

- narastanie i rozkład temperatury w elementach konstrukcyjnych (model odpowiedzi termicznej);
- zachowanie się konstrukcji lub dowolnego jej elementu pod obciążeniem (model odpowiedzi mechanicznej).

Zaawansowane metody obliczeniowe mogą być stosowane w powiązaniu z dowolnym krzywą opisującą proces nagrzewania, pod warunkiem że w rozpatrywanym zakresie temperatur znane są właściwości materiału. Zaawansowane metody obliczeniowe można stosować w przypadku dowolnego typu przekroju.

W zaawansowanych metodach obliczeniowych służących wyznaczaniu odpowiedzi termicznej stosuje się zasady i założenia ogólnie przyjęte w teorii przepływu ciepła.

W modelu odpowiedzi termicznej uwzględnia się:

- odpowiednie oddziaływania termiczne ujęte w PN-EN 1991-1-2;
- zmianę właściwości termicznych materiału w zależności od temperatury,

Efekty związane z niejednorodnymi warunkami termicznymi i przepływem ciepła do sąsiadujących elementów budynku mogą być uwzględnione w sytuacjach, gdy jest to uzasadnione. Wpływ stopnia zawilgocenia i związanej z tym migracji wilgoci w materiale izolacji ognioochronnej może być – z korzyścią dla bezpieczeństwa – pominięty.

W zaawansowanych metodach obliczeniowych służących wyznaczaniu odpowiedzi mechanicznej stosuje się zasady i założenia ogólnie przyjęte w mechanice konstrukcji, biorąc pod uwagę zmiany właściwości mechanicznych w zależności od temperatury. W obliczeniach uwzględnia się odkształcenia i naprężenia termiczne, wywołane zarówno przyrostem temperatury, jak i jej nierównomiernym rozkładem. W modelu odpowiedzi mechanicznej uwzględnia się:

- łeczne efekty oddziaływań mechanicznych, imperfekcji geometrycznych i oddziaływań termicznych;
- zależności od temperatury właściwości mechanicznych materiału,
- efekty związane z nieliniowością geometryczną;
- efekty związane z nieliniowym zachowaniem się materiału, w tym także niekorzystny wpływ efektów obciążenia i odciążenia na sztywność konstrukcji.

Jeżeli stosuje się zależność naprężenie-odkształcenie, to nie ma potrzeby jawnego uwzględnienia efektów związanych z termicznym pełzaniem. Deformacje w stanie granicznym można wyznaczyć metodami obliczeniowymi powinny być ograniczone w celu zapewnienia integralności wszystkich elementów konstrukcji. W projektowaniu uwzględnia się stan

graniczny no no ci ze wzgl du na mo liwo pojawienia si odkształce , które mogłyby doprowadzi do zniszczenia konstrukcji w wyniku utraty wi zi ł cz cych poszczególne jej elementy. Gdy odpowiednie normy wyrobów nie stanowi inaczej, analiz wydzielonego elementu pionowego przeprowadza si przy założeniu sinusoidalnego rozkładu początkowych imperfekcji, ze strzałką wygięcia o wartości $h/1000$ w rodku rozpiętości.

Weryfikację dokładności modeli obliczeniowych przeprowadza si na podstawie odpowiednich badań do wiadczalnych. Wyniki obliczeń mogą odnosi si do temperatury, deformacji i czasu (odporności ogniowej). Stosując analizę wrażliwości – w odniesieniu do parametrów krytycznych – należy wykazać zgodność modelu z najważniejszymi zasadami nauk inżynierskich. Parametry krytyczne mogą odnosi si np. do długości wybojeniowej, rozmiaru elementów, poziomu obciążenia.

Zastosowanie tej metody pozostawiam do indywidualnych rozważań.