

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. 1. Płyta stropowa

Płyta stropowa jest elementem belkowym, więc obliczenia prowadzi się według PN-EN 1992-1-2 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-2: Reguły ogólne. Projektowanie z uwzględnieniem warunków pożarowych

Dodatkowo w EN 1991-1-2 opisano oddziaływania termiczne i mechaniczne do projektowania konstrukcji budynków, poddawanych oddziaływaniu pożarowemu, z uwzględnieniem następujących aspektów:

Wymagania bezpieczeństwa:

Głównym celem ochrony przeciwpożarowej jest ograniczenie ryzyka pożaru z poszanowaniem jednostki i społeczeństwa, sąsiadującego mienia, a także, jeżeli jest to wymagane, środowiska lub mienia bezpośrednio poddanego oddziaływaniu pożarowemu. W celu ograniczenia ryzyka pożaru, obiekty budowlane powinny być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby w przypadku pożaru:

- nie konstrukcja mogła być zapewniona przez ustalony okres czasu,
- powstanie i rozprzestrzenianie się ognia i dymu w obiektach było ograniczone,
- rozprzestrzenianie się ognia na sąsiednie obiekty było ograniczone,
- mieszkańcy mogli opuścić obiekt lub być uratowani w inny sposób,
- było uwzględnione bezpieczeństwo ekip ratowniczych.

Dodatkowe wymagania dotyczą, na przykład:

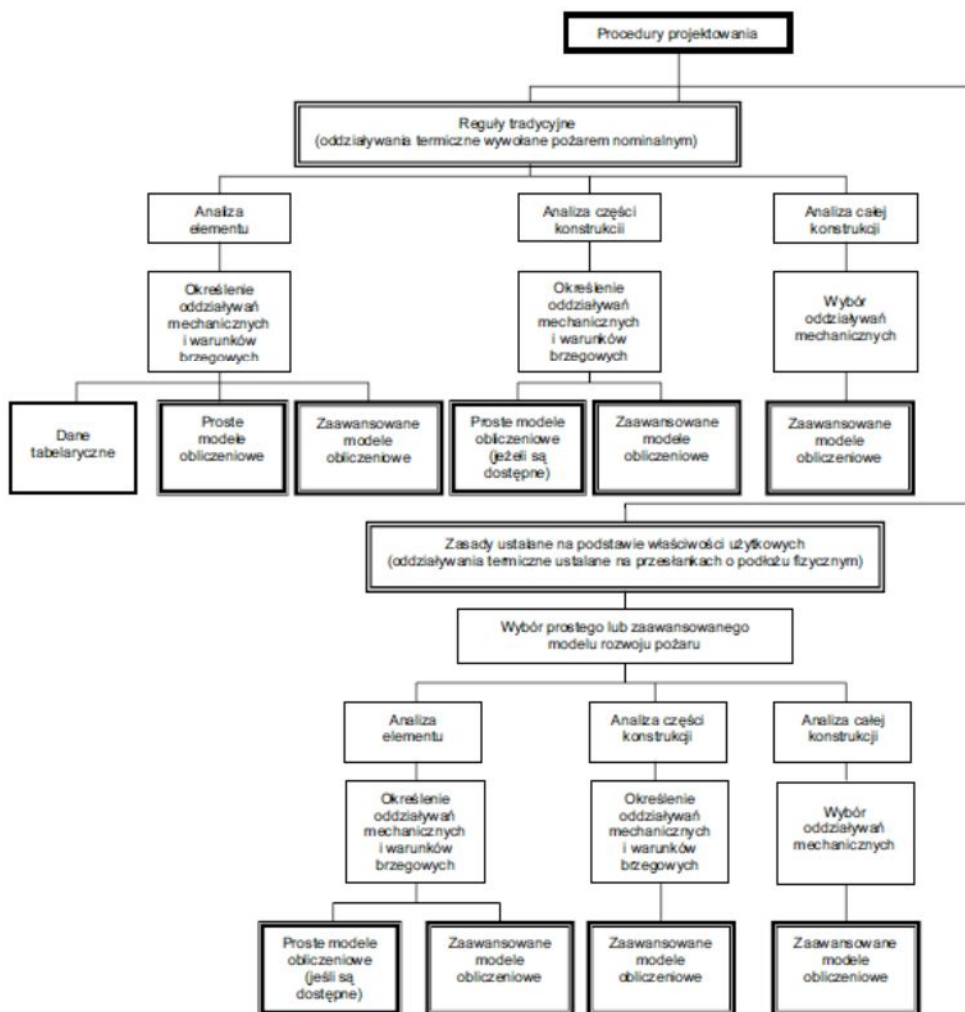
- mo liwej instalacji i konserwacji urz dze tryskaczowych,
- warunków u ytkowania budynku lub strefy po arowej,
- stosowania zaaprobowanych instalacji i materiałów pokrywaj cych, ł cznie z ich utrzymaniem,

nie s podane ale s przedmiotem ustale władz, inwestorów i projektantów.

Procedury projektowania

W pełni analityczna procedura projektowania konstrukcji na warunki po arowe mogłaby uwzgl dnia zachowanie systemu konstrukcyjnego w podwy szonych temperaturach, potencjalne oddziaływania ciepła i korzystne efekty czynnych i biernych systemów ochrony przeciwpo arowej, ł cznie z niepewno ciami zwi zanymi z tymi trzema cechami oraz wa no konstrukcji (konsekwencje zniszczenia). Obecnie mo liwe jest stosowanie procedury okre laj cej odpowiednie wła ciwo ci u ytkowe, która zawiera przynajmniej kilka – je eli nie wszystkie – z tych parametrów oraz wykazuje, e konstrukcja, lub jej elementy, zapewni odpowiednie wła ciwo ci u ytkowe w warunkach rzeczywistego po aru budynku. Jednak e je li procedura dotyczy po aru nominalnego (standardowego), system klasyfikacji – który wymaga okre lonych klas odporno ci ogniowej – uwzgl dnia (cho niezbyt jasno) opisane wy ej cechy i niepewno ci.

Wyró nione zostały podej cie tradycyjne i podej cie oparte na wła ciwo ciach u ytkowych. Podej cie tradycyjne posługuje si po arami nominalnymi generuj cymi oddziaływania termiczne. Podej cie oparte na wła ciwo ciach u ytkowych, posługuj ce si zasadami in ynierii bezpiecze stwa po arowego, korzysta z oddziaływa termicznych opartych na parametrach fizycznych i chemicznych.



Rysunek 1 – Alternatywne procedury projektowania

Tablica 0.1 Tablica podsumowująca alternatywne metody weryfikacji odporności ogniowej

	Dane tabelaryczne	Uprozczone metody obliczeń	Zaawansowane modele obliczeniowe
Analiza elementu Element uważa się za wyizolowany. Nie uwzględnia się pośrednich oddziaływań pożaru z wyjątkiem wynikających z gradientów temperatury	TAK – Dane ustalone tylko dla pożaru standardowego, 5.1(1) – W zasadzie dane można by opracować dla innych krzywych pożarowych	TAK – pożar standardowy i parametryczny, 4.2.1(1) – profile temperatury określone tylko dla pożaru standardowego, 4.2.2(1) – modele materiałów odnoszą się tylko do prędkości nagrzewania podobnych do pożaru standardowego, 4.2.4.1(2)	TAK 4.3.1(1)P Podane są tylko zasady
Analiza części konstrukcji Analiza części konstrukcji. Uwzględnia się pośrednie oddziaływania pożaru w podzespole, ale nie uwzględnia się zależnego od czasu oddziaływania z innymi częściami konstrukcji.	NIE	TAK – pożar standardowy i parametryczny, 4.2.1(1) – profile temperatury określone tylko dla pożaru standardowego, 4.2.2(1) – modele materiałów odnoszą się tylko do prędkości nagrzewania podobnych do pożaru standardowego, 4.2.4.1(2)	TAK 4.3.1(1)P Podane są tylko zasady
Główna analiza konstrukcji Analiza całej konstrukcji. Uwzględnia się pośrednie oddziaływania pożaru w całej konstrukcji.	NIE	NIE	TAK 4.3.1(1)P Podane są tylko zasady

Norma PN-EN 1992-1-2 w celu spełnienia warunku dla odno nego czasu oddziaływania po aru t , dopuszcza stosowanie nast puj cych metod projektowania:

- projektowanie zgodne ze znanymi rozwi zaniami projektowymi (dane tabelaryczne lub badania), (Rozdział 5 normy)
- uproszczone metody obliczeniowe dla okre lonych typów elementów, (punkt 4.2 normy)
- zaawansowane metody obliczeniowe słu ce symulacji zachowania elementów konstrukcji, cz ci konstrukcji lub całej konstrukcji, (punkt 4.3 normy).

Uwaga: Stosuj c metody obliczeniowe, nale y uwzgl dni postanowienia dotycz ce kryterium szczelno ci ogniowej (E) zawarte w punkcie 4.6 normy. Sprawdzaj c kryterium izolacyjno ci ogniowej (I) zwykle przyjmuje si , i temperatura otoczenia wynosi 20 °C.

Dodatkowo nale y zapobiega odpryskiwaniu otuliny betonu stosuj c odpowiednie rodki zaradcze. W przeciwnym razie nale y bra pod uwag wpływ odpryskiwania na spełnienie wymaga no no ci i szczelno ci (punkt 4.5 normy).

Nale y również zapobiega nagłej utracie no no ci, spowodowanej nadmiernym wydfu eniem stali pod wpływem nagrzewania w elementach spr onych ci gnami bez przyczepno ci do betonu.

Zach cam do przeczytania całej tre ci Norm!!!!

W projekcie płyt uważa się za wyizolowany. Nie uwzględnia się po średnich oddziaływań po stronie wyłukiem wynikających z gradientów temperatury (tutaj ten wpływ również pomijamy). Stąd te można stosować wszystkie trzy metody analizy.

1.1 Zestawienie obciążeń i schemat statyczny płyty

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

1.2 Kombinatoryka obciążeń

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

Stan Graniczny Nośności:

$$q_{Ed,fi} = g_k + A_d + p_{k \cdot 1,1}$$

A_d jest wartością obliczeniową po średniego oddziaływania wywołanego po stronie (np. termiczne wydłużenie lub wygięcie elementu), w przypadku projektu przyjmując płyt stropów o schemacie statycznie wyznaczalnym wpływa to 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 przeliskrajnym belki wieloprzłkowej, bądź momentów przeliskrajnych w płycie krzywozbrojonej.

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

1.4 Sprawdzanie nośności płyty

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

Metoda tabelaryczna:

Metoda tabelaryczna odnosi się dla warunków po stronie standardowego trwania do 240 minut. Tablice zostały opracowane na podstawie badań do wiadczalnych i teoretycznej oceny wyników. Wartości podane w tablicach dotyczą betonu zwykłego o gęstości od 2000 kg/m³ do 2600 kg/m³ na kruszywie krzemianowym.

Przy posługiwaniu si danymi tabelarycznymi nie wymaga si dodatkowego sprawdzania no no ci na cinanie i skr canie oraz szczegółów zakotwie nie wymaga si tak e dodatkowego sprawdzania w zakresie odpryskiwania, z wyj tkiem zbrojenia powierzchniowego.

Wymagania dla funkcji oddzielaj cej (kryteria szczelno ci E i izolacyjno ci I) mo na uzna za spełnione, gdy minimalna grubo płyty jest zgodna z danymi w Tablicy 5.3 PN-EN 1992-1-2.

Tablica 5.3: Minimalna grubość ścian nienośnych (działowych)

Standardowa odporność ogniowa	Minimalna grubość ściany (mm)
1	2
EI 30	60
EI 60	80
EI 90	100
EI 120	120
EI 180	150
EI 240	175

Dla funkcji no nej (kryterium no no ci R), minimalne wymagania dotycz ce rozmiarów przekroju i odległo ci osiowej stali w tablicach, ustalane s na podstawie nast puj cej nierównno ci:

$$E_{d,fi} / R_{d,fi} \leq 1,0$$

gdzie: $E_{d,fi}$ jest obliczeniowym efektem oddziaływa w sytuacji po arowej,
 $R_{d,fi}$ jest obliczeniow no no ci (odporno ci) w sytuacji po arowej.

czyli $M_{Ed,fi} / M_{Rd,fi} \leq 1,0$

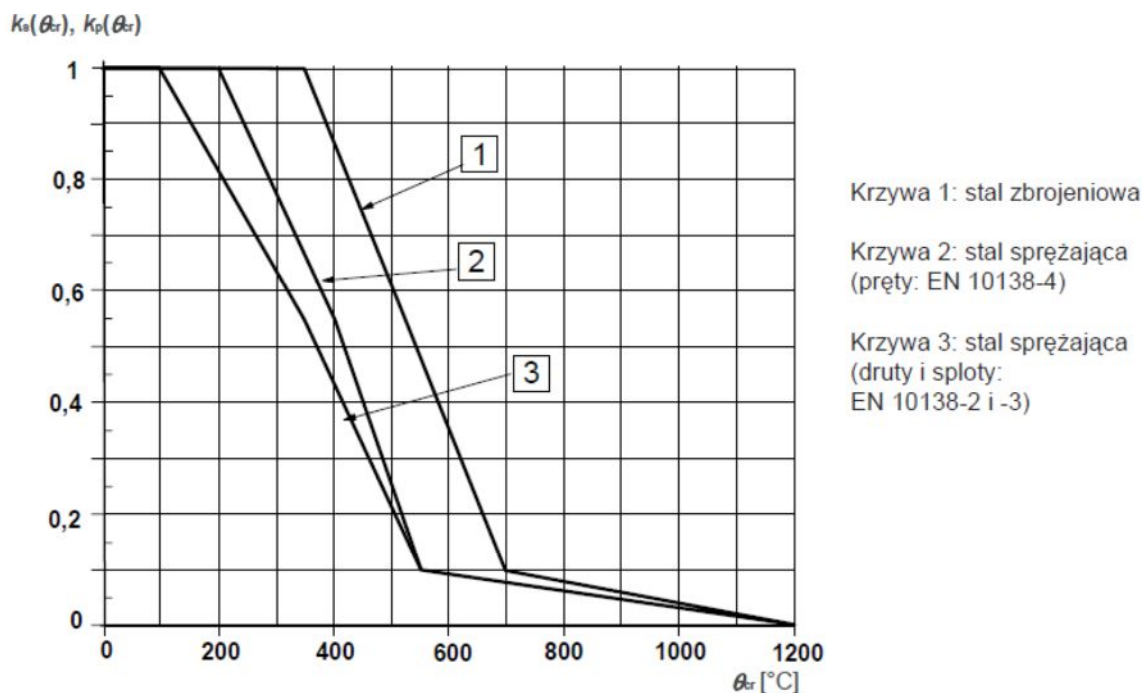
gdzie: $M_{Ed,fi}$ jest obliczeniowym momentem zginaj cym w sytuacji po arowej,
 $M_{Rd,fi}$ jest obliczeniow no no ci na zginanie w sytuacji po arowej.

Dane tabelaryczne oparte s na referencyjnym poziomie obci enia $\eta_{fi} = 0,7$.

Aby zapewni wymagan odległo osiow w rozci ganych strefach swobodnie podpartych belek i płyt, (kolumna 3 Tablic 5.5, 5.6 i 5.8) opracowano na podstawie temperatury krytycznej stali $\theta_{cr} = 500 \text{ }^\circ\text{C}$ (wg. zało e o ciami $\eta_{fi} = 0,7$, $\gamma_s = 1,15$, $\sigma_{s,fi}/f_{yk} = 0,60$)

W przypadku ci gien spr aj cych przyjmuje si , i temperatura krytyczna dla pr tów wynosi $400 \text{ }^\circ\text{C}$, a dla splotów i drutów $350 \text{ }^\circ\text{C}$ (wg. zało e o ciami $\eta_{fi} = 0,7$, $\gamma_s = 1,15$, $f_{p0,1k}/f_{yk} = 0,9$, $\sigma_{s,fi}/f_{p0,1k} = 0,55$). Je eli dla spr onych elementów rozci ganych, belek i płyt nie dokonuje si innego sprawdzania, wówczas wymagana odległo osiowa a powinna by zwi kszona o: 10 mm dla pr tów spr aj cych (odpowiada to $\theta_{cr} = 400^\circ\text{C}$) i 15 mm dla drutów i splotów spr aj cych, (odpowiada to $\theta_{cr} = 350^\circ\text{C}$).

Redukcj wytrzymało ci charakterystycznej stali zbrojeniowej i spr aj cej jako funkcj temperatury θ , wykorzystywan w tablicach przedstawiono w postaci odpowiednich krzywych na Rysunku 5.1 PN-EN 1992-1-2. Norma podaje równie zale no ci funkcyjne tych krzywych.



Rysunek 5.1: Krzywe odniesienia dla temperatury krytycznej stali zbrojeniowej i sprężającej θ_{cr} odpowiadające współczynnikowi redukcyjnemu $k_s(\theta_{cr}) = \sigma_{s,fi}/f_{yk}(20^\circ\text{C})$ lub $k_p(\theta_{cr}) = \sigma_{p,fi}/f_{pk}(20^\circ\text{C})$

W przypadku elementów rozci ganych oraz swobodnie podpartych elementów zginanych (poza elementó w z ci gnami bez przyczepno ci), których temperatura krytyczna jest ró na od 500 °C, odlegó osiów podan w Tablicach 5.5, 5.6 i 5.9 PN-EN 1992-1-2 mo na zmodyfikowa w nast puj cy sposób:

- a) okre li napr enia w stali $\sigma_{s,fi}$ przy oddziaływaniach w sytuacji po arowej ($E_{d,fi}$), wykorzystuj c wyra nie:

$$\sigma_{s,fi} = \frac{E_{d,fi}}{E_d} \times \frac{f_{yk}(20^\circ\text{C})}{\gamma_s} \times \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}}$$

gdzie: γ_s - jest cz ciowym współczynnikiem bezpiecze stwa dla stali zbrojeniowej,
 $A_{s,req}$ - jest polem przekroju zbrojenia wymaganym z uwagi na warunek stanu granicznego no no ci,
 $A_{s,prov}$ - jest polem przekroju zastosowanego zbrojenia,
 $E_{d,fi}/E_d$ mo na ustali wykorzystuj c η_{fi} .

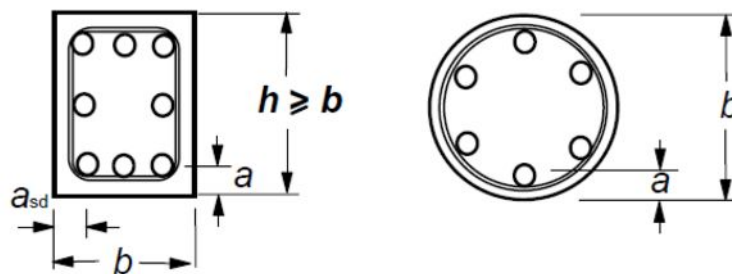
- b) ustali temperatur krytyczn zbrojenia θ_{cr} odpowiadaj c współczynnikowi redukcyjnemu $k_s(\theta_{cr})$, wykorzystuj c Rysunek 5.1.

- c) dostosowa minimaln odlegó osiów podan w tablicach do nowej temperatury krytycznej θ_{cr} , wykorzystuj c przybli one równanie $a = 0,1 \cdot (500 - \theta_{cr})$ [mm], w którym a oznacza ró nic pomi dzy odlegó ciami osiowymi, podan w milimetrach.

Powy sze przybli nie zachowuje wa no dla $350^\circ\text{C} < \theta_{cr} < 700^\circ\text{C}$ i słu y jedynie modyfikacji odlegó ci osiowych podanych w tablicach. W przypadku warto ci temperatury nie mieszcz ych si w podanych granicach oraz w celu ustalenia dokładniejszych wyników, nale y wykorzystywa profile temperatury.

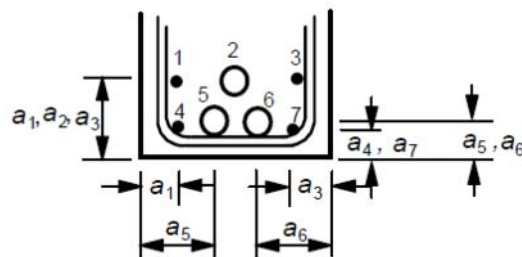
W przypadku elementów rozci ganych lub belek, dla których wymagana w projekcie wartość t_{cr} nie przekracza $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, wymiary przekroju poprzecznego należy zwi kszy poprzez powi kszenie minimalnej szeroko ci elementu rozci ganego lub strefy rozci ganej belki zgodnie z wyrażeniem $b_{\text{mod}} = b_{\text{min}} + 0,8(400 - t_{cr})$ [mm], gdzie b_{min} oznacza minimalny wymiar b podany w tablicach, odnoszący się do wymaganej standardowej odporno ci ogniowej. Alternatywnym rozwizaniem dla zwi kszenia szeroko ci może być dostosowanie odległo ci osiowej zbrojenia w celu uzyskania temperatury wymaganej dla okre lonego napręenia. Wymaga to zastosowania dokładniejszej metody niż tabelaryczna.

Warto ci podane w tablicach stanowi minimalne wymiary z uwagi na odporno o ogniw jako uzupełnienie zasad konstrukcyjnych wymaganych przez EN 1992-1-1. Niektóre warto ci odległo ci osiowej stali wykorzystane w tablicach s mniejsze niż wymagane przez EN 1992-1-1 i powinny być brane pod uwagę jedynie w celu interpolacji. Pomiędzy warto ciami podanymi w tablicach można dokonywać interpolacji liniowej. Symbole wykorzystywane w tablicach podano na Rysunku 5.2.



Rysunek 5.2: Przekroje elementów konstrukcyjnych, z zaznaczoną nominalną odległością osiową a

Odległo ci osiowe a do stalowego pręta, drutu lub cięgnaka s warto ciami nominalnymi. Nie wymaga się dodawania poprawki na tolerancje. W przypadku gdy zbrojenie jest ułożone w kilku warstwach, jak pokazano na Rysunku 5.3, i składa się ze stali zbrojeniowej lub sprężonej o jednakowej wytrzymało ci charakterystycznej f_{yk} i odpowiednio f_{pk} , wtedy średnia odległo o osiowa a_m nie powinna być mniejsza niż odległo a podana w tablicach.



Rysunek 5.3: Wymiary wykorzystywane do obliczania średniej odległości osiowej a_m

średni odległo o osiów wyznacza się zgodnie z wyrażeniem:

$$a_m = \frac{A_{s1}a_1 + A_{s2}a_2 + \dots + A_{sn}a_n}{A_{s1} + A_{s2} + \dots + A_{sn}} = \frac{\sum A_{si}a_i}{\sum A_{si}}$$

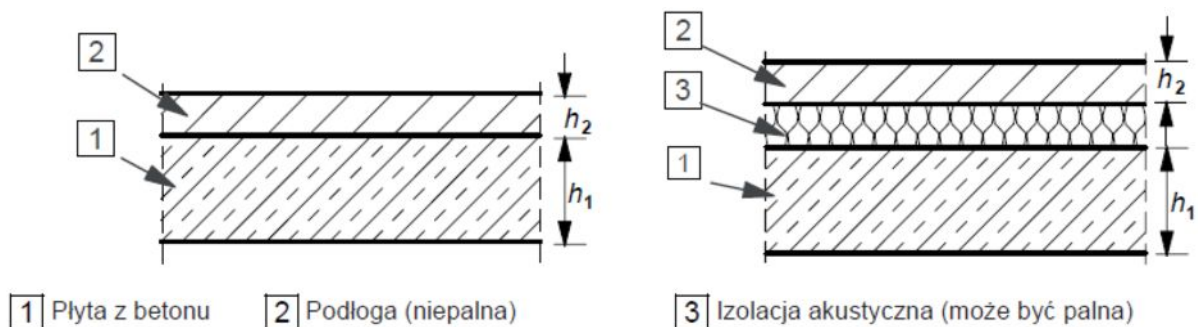
gdzie: A_{si} jest polem przekroju stalowego pręta (cięgnaka, drutu) „i”,
 a_i jest odległo ci osiów stalowego pręta (cięgnaka, drutu) „i” od najbliższej powierzchni nagrzewanej.

Gdy zbrojenie składa się ze stali o różnej wytrzymałości charakterystycznej, wtedy A_{si} należy zastąpić przez $A_{si} \cdot f_{yk1}$ lub $A_{si} \cdot f_{pk1}$. W przypadku gdy stal zbrojeniowa i sprężająca stosowane jednocześnie (np. w elemencie częściowo sprężonym), odległości osiowe stali zbrojeniowej i sprężającej powinny zostać ustalone osobno. (Zaleca się korzystanie z wykresów temperatury i uproszczonych metod obliczeniowych).

Minimalna odległość osiowa dla każdego pojedynczego pręta nie powinna być mniejsza niż odległość wymagana dla klasy R 30 dla prętów w pojedynczej warstwie, oraz połowa redniej odległości osiowej dla prętów w wielu warstwach.

Płyta.

Można przyjąć, że płyty betonowe lub sprężone wykazują należyte odporność ogniową, jeżeli odpowiadają wartościom zestawionym w Tabelicy 5.8 PN-EN 1992-1-2 i jednocześnie nie podanym niżej regułom. Minimalna grubość płyty h_s podana w Tabelicy 5.8 zapewnia odpowiednią funkcję oddzielającą (kryterium szczelności E i izolacyjności I). Warstwy wykończeniowe podłogi mają wpływ na funkcję oddzielającą w proporcji odpowiedniej do ich grubości. Jeżeli wymagana jest tylko funkcja nośna (kryterium R), można przyjmować grubość płyty zgodnie z EN 1992-1-1 (sama płyta bez warstw wykończeniowych). Reguły te stosuje się również do półek belek o kształcie T lub TT.



$$h_s = h_1 + h_2 \text{ (Tabelica 5.9)}$$

Rysunek 5.7: Płyta betonowa z podłogą

Płyty monolityczne swobodnie podparte

W Tabelicy 5.8 PN-EN 1992-1-2 podano minimalne odległości osiowe do spodu swobodnie podpartych płyt dla standardowych odporności ogniowych od R 30 do R 240. W płytach dwukierunkowo zbrojonych a oznacza odległość osiową zbrojenia w niższej warstwie.

Tablica 5.8: Minimalne wymiary i odległości osiowe dla jednokierunkowo i dwukierunkowo zbrojonych swobodnie podpartych monolitycznych płyt żelbetowych i sprężonych

Standardowa odporność ogniowa	Minimalne wymiary (mm)			
	grubość płyty h_s (mm)	odległość osiowa a		
		jednokierunkowe	dwukierunkowe:	
			$l_y/l_x \leq 1,5$	$1,5 < l_y/l_x \leq 2$
1	2	3	4	5
REI 30	60	10*	10*	10*
REI 60	80	20	10*	15*
REI 90	100	30	15*	20
REI 120	120	40	20	25
REI 180	150	55	30	40
REI 240	175	65	40	50

l_x i l_y są przęsłami dwukierunkowo zbrojonej płyty (dwa kierunki pod kątem prostym), przy czym l_y jest dłuższym przęsłem.

Dla płyt sprężonych należy powiększyć odległość osiową zgodnie z 5.2.(5).

Odległość osiowa a w kolumnie 4 i 5 dla płyt dwukierunkowo zbrojonych odnosi się do płyt podpartych na wszystkich czterech krawędziach. W przeciwnym razie należy je traktować jako płyty rozpięte w jednym kierunku.

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

Monolityczne płyty ci głe

Wartości podane w Tabelicy 5.8 PN-EN 1992-1-2 (kolumny 2 i 4) mają zastosowanie również do jedno- lub dwukierunkowo zbrojonych płyt ci głych. Reguły mają zastosowanie do płyt, w których podział na redystrybucja momentów nie przekracza 15 % uytkowej w temperaturze otoczenia. Jeżeli nie przeprowadza się dokładniejszych obliczeń, a redystrybucja przekracza 15 %, lub nie spełnia się wymagań konstrukcyjnych, należy przyjąć, że płyty ci głe traktować należy jako płyt swobodnie podpart, korzystając z Tabelicy 5.8.

Pole przekroju zbrojenia górnego nad każdą podporą po redukcji dla standardowej odporności ogniowej R 90 i wyżej, sięgać powinno do odległości $0,3l_{eff}$ mierzonej od osi podpory, nie powinno być mniejsze niż: $A_{s,req}(x) = A_{s,req}(0) \cdot (1 - 2,5 \cdot x/l_{eff})$; gdzie: x jest odległością od analizowanego przekroju do osi podpory ($x \leq 0,3 l_{eff}$), $A_{s,req}(0)$ jest polem przekroju zbrojenia górnego wymaganego nad podporą, $A_{s,req}(x)$ 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. Jeżeli odstępuje się od tych reguł, należy płyty ci głe traktować jako płyt swobodnie podpart.

Jeżeli w płycie stosuje się zbrojenie obrabiane na zimno, lub w płytach ci głych dwuprzęsłowych nie zapewnia się ograniczenia zginania na końcowych podporach, lub nie ma możliwości redystrybucji obciążenia w kierunku poprzecznym, należy zapewnić minimalne zbrojenie górne $A_s \geq 0,005A_c$ nad podporą po redukcji.

Płyty płaskie

Dla płyt płaskich, w których redystrybucja momentów przekracza 15 % odległości osiowe powinny zostać przyjęte jak dla płyty jednokierunkowo zbrojonej (kolumna 3 w Tabelicy 5.8) a

minimalna grubość z Tablicy 5.9 PN-EN 1992-1-2. Dla klas odporności ogniowej REI 90 i wyższych, przynajmniej 20 % całkowitego zbrojenia górnego w każdym kierunku ponad podporami pośrednimi powinno być ściśle na całej długości przęsła. Zbrojenie to powinno być ulokowane w pasie nad słupami. Minimalna grubość płyty nie należy zmniejszać (na przykład poprzez uwzględnienie warstw wykończeniowych stropów). Odległość osiowa a oznacza odległość osi zbrojenia w niższej warstwie.

Tablica 5.9: Minimalne wymiary i odległości osiowe dla żelbetowych i sprężonych monolitycznych płyt w układach słupowo-płytowych

Standardowa odporność ogniowa	Minimalne wymiary (mm)	
	grubość płyty h_s	odległość osiowa a
1	2	3
REI 30	150	10*
REI 60	180	15*
REI 90	200	25
REI 120	200	35
REI 180	200	45
REI 240	200	50

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

Płyty ebrowe

Dla oceny odporności ogniowej jednokierunkowo zbrojonych żelbetowych i sprężonych płyt ebrowych stosuje się Tablicę 5.8, kolumny 2 i 5 PN-EN 1992-1-2. Można przyjąć, że dwukierunkowo zbrojone żelbetowe i sprężone płyty ebrowe spełniają odpowiednie wymagania w zakresie odporności ogniowej, jeżeli spełnione zostały wymagania podane w Tablicach 5.10 i 5.11 PN-EN 1992-1-2 oraz jednocześnie:

- płyta ebrowa poddana jest głównie obciążeniu równomiernie rozłożonemu.
- w przypadku zbrojenia w kilku warstwach spełnione są założenia ogólne.
- w ciętych płytach ebrowych zbrojenie górne powinno znajdować się w górnej połowie pólki.

Tablica 5.10 dotyczy płyt ebrowych swobodnie podpartych zbrojonych dwukierunkowo. Obowiązuje ona również dla rozpiętych w dwóch kierunkach płyt ebrowanych z przynajmniej jedną krawędzią zamocowaną i standardowych odpornościach ogniowych niższych niż REI 180, w przypadku gdy konstrukcja górnego zbrojenia nie spełnia odpowiednich wymagań.

Tablica 5.11 dotyczy płyt ebrowych zbrojonych dwukierunkowo z przynajmniej jedną krawędzią zamocowaną. Zbrojenie górne należy konstruować zgodnie z odpowiednimi wymaganiami dla wszystkich klas standardowej odporności ogniowej.

Tablica 5.10: Minimalne wymiary i odległości osiowe dla zbrojonych dwukierunkowo, swobodnie podpartych żebrowych płyt żelbetowych lub sprężonych

Standardowa odporność ogniowa	Minimalne wymiary (mm)			
	Możliwe kombinacje szerokości żeber b_{min} i odległości osiowej a			Grubość płyty h_s i odległość osiowa a w półce
1	2	3	4	5
REI 30	$b_{min} = 80$ $a = 15^*$			$h_s = 80$ $a = 10^*$
REI 60	$b_{min} = 100$ $a = 35$	120 25	≥ 200 15*	$h_s = 80$ $a = 10^*$
REI 90	$b_{min} = 120$ $a = 45$	160 40	≥ 250 30	$h_s = 100$ $a = 15^*$
REI 120	$b_{min} = 160$ $a = 60$	190 55	≥ 300 40	$h_s = 120$ $a = 20$
REI 180	$b_{min} = 220$ $a = 75$	260 70	≥ 410 60	$h_s = 150$ $a = 30$
REI 240	$b_{min} = 280$ $a = 90$	350 75	≥ 500 70	$h_s = 175$ $a = 40$
$a_{sd} = a + 10$				
Dla sprężonych płyt żebrowych należy zwiększyć odległość osiową a zgodnie z 5.2(4). a_{sd} oznacza odległość mierzoną pomiędzy osią zbrojenia a boczną powierzchnią żebra narażoną na działanie ognia.				
* Zwykle decydująca jest otulina wymagana przez EN 1992-1-1.				

Tablica 5.11: Minimalne wymiary i odległości osiowe dla zbrojonych dwukierunkowo żebrowych płyt żelbetowych lub sprężonych z przynajmniej jedną krawędzią zamocowaną

Standardowa odporność ogniowa	Minimalne wymiary (mm)			
	Możliwe kombinacje szerokości żeber b_{min} i odległości osiowej a			Grubość płyty h_s i odległość osiowa a w półce
1	2	3	4	5
REI 30	$b_{min} = 80$ $a = 10^*$			$h_s = 80$ $a = 10^*$
REI 60	$b_{min} = 100$ $a = 25$	120 15*	≥ 200 10*	$h_s = 80$ $a = 10^*$
REI 90	$b_{min} = 120$ $a = 35$	160 25	≥ 250 15*	$h_s = 100$ $a = 15^*$
REI 120	$b_{min} = 160$ $a = 45$	190 40	≥ 300 30	$h_s = 120$ $a = 20$
REI 180	$b_{min} = 310$ $a = 60$	600 50		$h_s = 150$ $a = 30$
REI 240	$b_{min} = 450$ $a = 70$	700 60		$h_s = 175$ $a = 40$
$a_{sd} = a + 10$				
Dla sprężonych płyt żebrowych należy zwiększyć odległość osiową a zgodnie z 5.2(4). a_{sd} oznacza odległość mierzoną pomiędzy osią zbrojenia a boczną powierzchnią żebra narażoną na działanie ognia.				
* Zwykle decydująca jest otulina wymagana przez EN 1992-1-1.				

W metodzie tej należy sprawdzić :

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

Grubość płyty $t_{pt} = h_s - h_{s,min} - (h_{s,min} - z \text{ odpowiedniej tablicy})$

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

Czasem należy przeprowadzić liniową interpolację wartości tabelarycznych.

Uproszczona metoda obliczeniowa:

Uprozczone metody obliczeń przekroju poprzecznego mogą być stosowane w celu wyznaczenia nośności granicznej nagrzewanego przekroju i porównania nośności z odpowiednimi kombinacjami oddziaływań.

W Załączniku informacyjnym B normy PN-EN 1992-1-2 podano dwie alternatywne metody: B.1 „metoda izoterm 500 °C” i B.2 „metoda strefowa”, służące do obliczania nośności na zginanie i działanie sił osiowych. Obydwa modele mogą uwzględniać efekty drugiego rzędu. Metody te mają zastosowanie do konstrukcji narażonych na oddziaływanie po obciążeniu standardowego. Metodę B.1 można stosować zarówno do warunków po obciążeniu standardowego jak i parametrycznego. Metodę B.2 zaleca się stosować w odniesieniu do małych przekrojów i smukłych słupów, przy czym obowiązuje ona tylko dla obciążeń standardowych.

W Załączniku informacyjnym C normy PN-EN 1992-1-2 przedstawiono metodę strefową przeznaczoną do analizy przekrojów słupów charakteryzujących się znacznymi efektami drugiego rzędu.

Uprozczone metody obliczeń przekroju poprzecznego mogą być stosowane również do wyznaczania nośności na ścinanie, skręcanie i zakotwienie prętów w warunkach po obciążeniu. W Załączniku informacyjnym D normy PN-EN 1992-1-2 przedstawiono uproszczoną metodę obliczeń dla ścinania, skręcania i zakotwienia.

Uprozczone metody projektowania belek i płyt można stosować w przypadku, gdy dominującym obciążeniem jest rozłożone równomiernie i gdy projektowanie w temperaturze normalnej oparto na analizie liniowej. W Załączniku informacyjnym E normy PN-EN 1992-1-2 przedstawiono uproszczoną metodę projektowania belek i płyt.

Profile temperatury

Wartości temperatury w konstrukcjach z betonu poddawanych oddziaływaniu po obciążeniu ustalamo na podstawie badań lub obliczeń. Profile temperatury podane w Załączniku A normy PN-EN 1992-1-2 można stosować do ustalania temperatury w przekrojach z betonu na kruszywie krzemianowym, poddawanych oddziaływaniu po obciążeniu standardowego do czasu osiągnięcia maksymalnej temperatury gazu. Stosowanie tych profili w przypadku większości innych rodzajów kruszywa jest bezpieczne.

Przekrój zredukowany

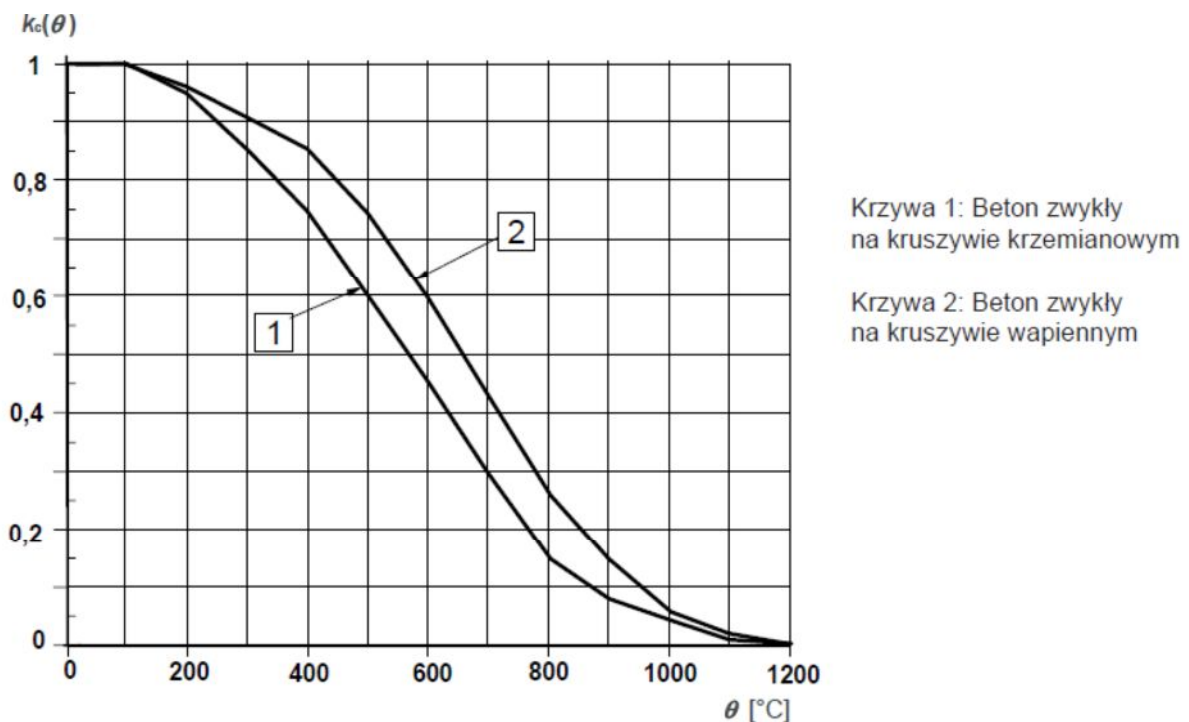
Można stosować uproszczone metody posługujące się przekrojem zredukowanym. W Załączniku informacyjnym B normy PN-EN 1992-1-2 podano dwie metody posługujące się przekrojem zredukowanym. Metoda opisana w Załączniku B.1 jest oparta na hipotezie, że beton przy temperaturze wyższej niż 500 °C pomija się przy obliczaniu nośności, podczas gdy beton

przy temperaturze poniżej 500 °C zachowuje pełną wytrzymałość. Metoda ta znajduje zastosowanie do przekrojów elbetyowych i sprężonych poddawanych obciążeniu osiowemu, momentem zginającym i ich kombinacji. Podstawą metody opisanej w Załączniku B.2 stanowi zasada, mówiąca o tym, że przekrój zniszczony w poprzedzie podlega redukcji poprzez odrzucenie zniszczonej strefy na powierzchniach poddanych oddziaływaniu ognia. Obliczenia należy prowadzić według określonej procedury. Metodę można stosować do przekrojów elbetyowych i sprężonych poddawanych obciążeniu osiowemu, momentem zginającym i ich kombinacji.

Redukcja wytrzymałości

Metoda uproszczona opiera się na obliczaniu konstrukcji przy przyjęciu zredukowanych wartości wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie betonu i wytrzymałości charakterystycznej stali zbrojeniowej i sprężonej. Wartości współczynników redukcyjnych wytrzymałości należy stosować jedynie dla przypadku nagrzewania zbliżonych do występujących w warunkach poprzedzie standardowego do czasu osiągnięcia maksymalnej temperatury gazu. W obliczeniach można posługiwać się odmiennie określonymi związkami materiałowymi pod warunkiem, że uzyskane rozwiązanie jest zgodne z wynikami badań.

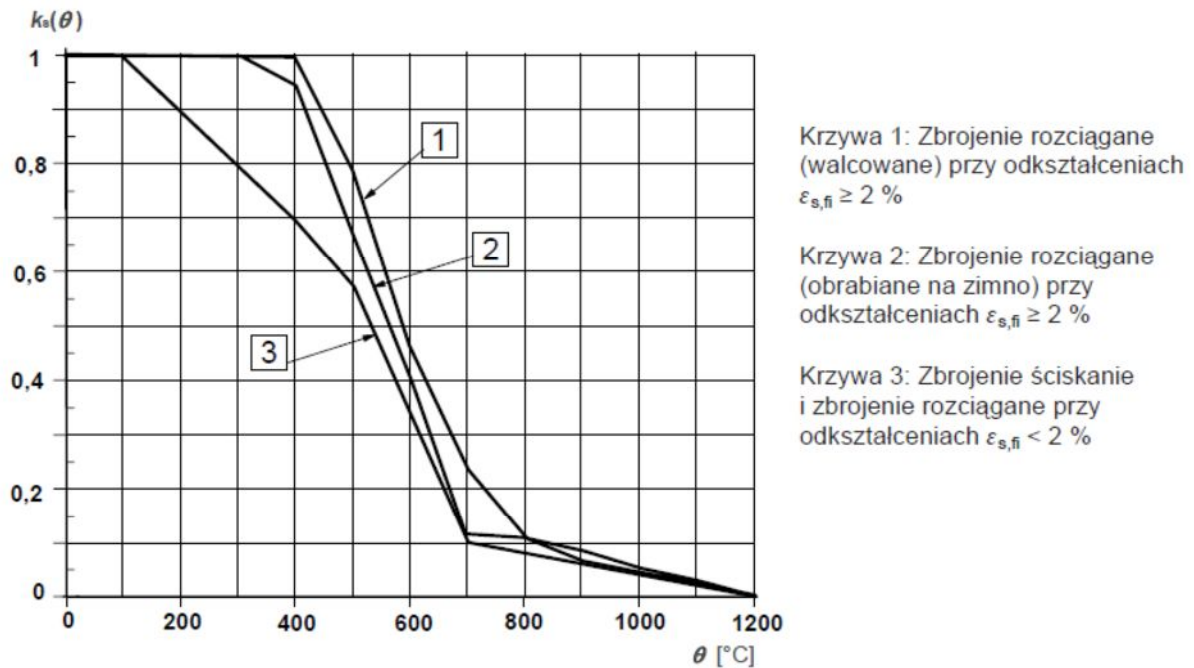
Redukcji charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie w funkcji temperatury można dokonywać zgodnie z wartościami podanymi na rysunku:



Rysunek 4.1: Współczynnik $k_c(\theta)$ uwzględniający spadek charakterystycznej wytrzymałości (f_{ck}) betonu

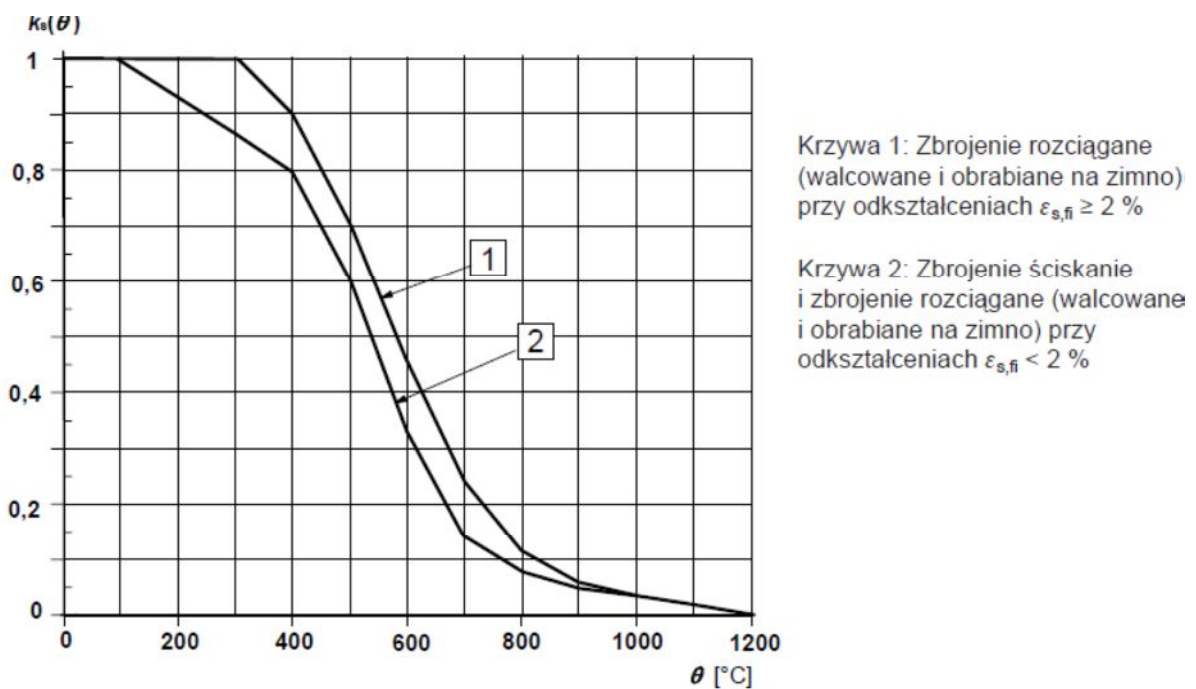
Współczynniki redukcyjne wytrzymałości charakterystycznej stali zbrojeniowej w funkcji temperatury można wyznaczać według wykresów. Redukcję dla zbrojenia rozciąganego w przypadku zbrojenia rozciąganego w belkach i płytach, gdzie $\epsilon_{s,fi} \geq 2\%$, dla zbrojenia klasy N. W przypadku zbrojenia ściskanego w słupach i strefach ściskanych belek i płyt stosuje się redukcję gwarantowanej granicy plastyczności stali (0,2%) dla zbrojenia klasy N, wyrażoną przez współczynnik $k_s(\theta)$. Ta sama redukcja wytrzymałości dotyczy również zbrojenia

rozci ganego w którym $\epsilon_{s,fi} < 2 \%$, w przypadku stosowania uproszczonych metod oblicze przekroju dla stali zbrojeniowej obrabianej na zimno.



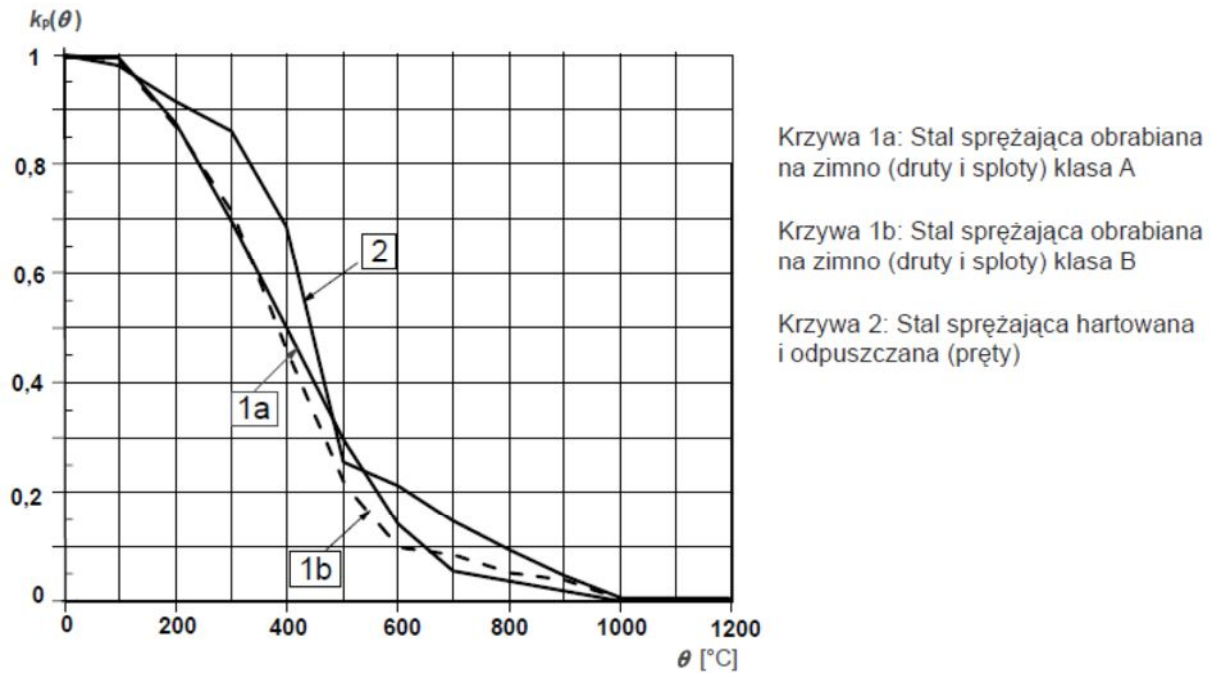
Rysunek 4.2a: Współczynnik $k_s(\theta)$ uwzględniający spadek wytrzymałości charakterystycznej (f_{yk}) zbrojenia rozciąganego i ściskanego (klasa N)

Redukcj dla zbrojenia rozci ganego w przypadku zbrojenia rozci ganego w belkach i płytach, gdzie $\epsilon_{s,fi} = 2 \%$, dla zbrojenia klasy X, oraz dla stali zbrojeniowej walcowanej i obrabianej na zimno. Podobnie redukcj gwarantowanej granicy plastyczo ci 0,2 % dla zbrojenia klasy X. Taka sama redukcja wytrzymało ci dotyczy równie zbrojenia rozci ganego, w którym $\epsilon_{s,fi} < 2 \%$



Rysunek 4.2b: Współczynnik $k_s(\theta)$ uwzględniający spadek wytrzymałości charakterystycznej (f_{yk}) zbrojenia rozciąganego i ściskanego (klasa X)

Redukcja charakterystycznej wytrzymałości stali sprężanej hartowanej i odpuszczanej w funkcji temperatury powinna być przyjmowana zgodnie z :

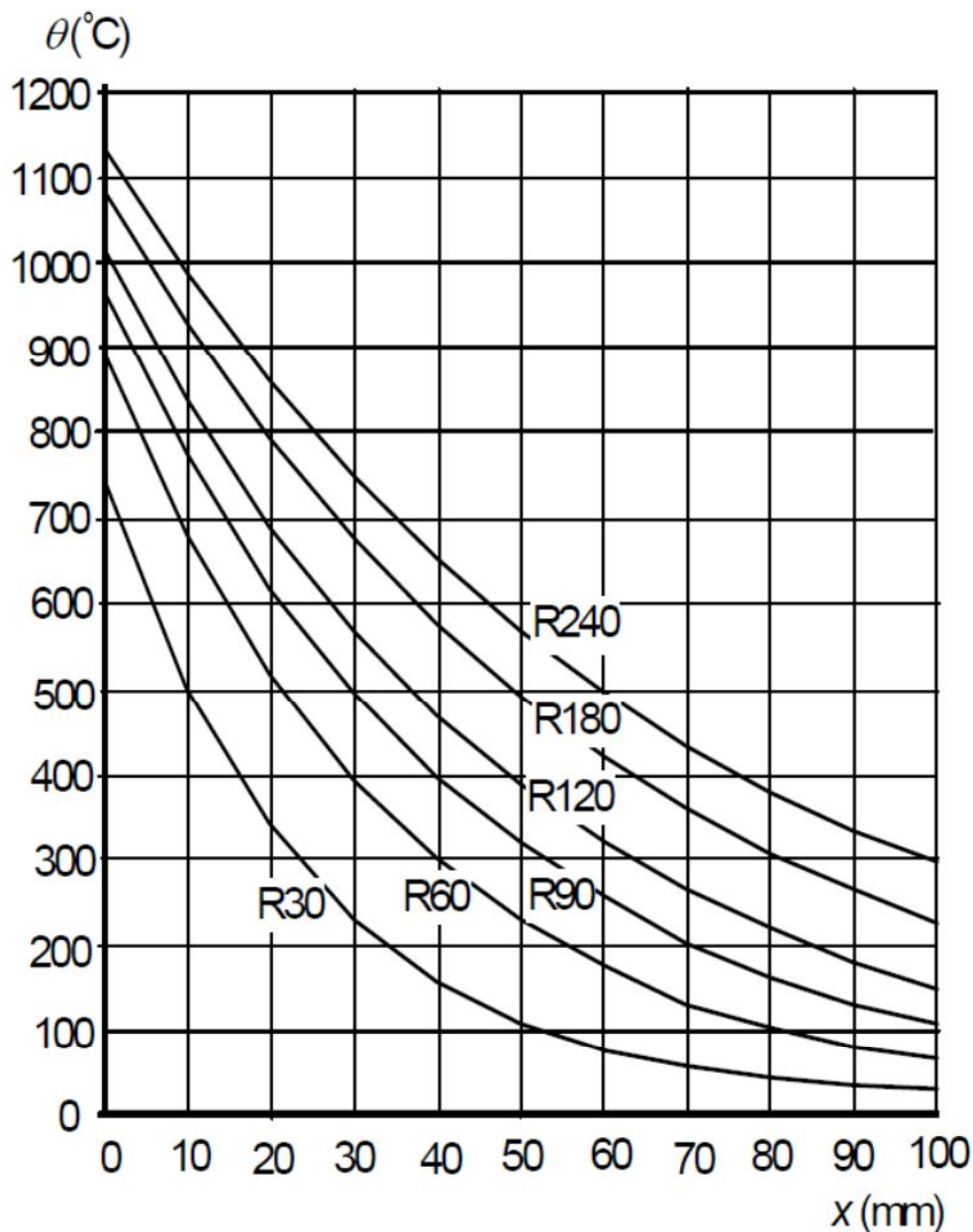


Rysunek 4.3: Współczynnik $k_p(\theta)$ uwzględniający spadek wytrzymałości charakterystycznej (β_{fk}) stali sprężającej

Profile temperatury

Podane rysunki i wykresy oparto na następujących założeniach:

- Ciepło właściwe betonu jest zgodne 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



x jest odległością od powierzchni nagrzewanej

Rysunek A.2: Profile temperatury dla płyt (wysokość $h=200$) dla R60 – R240

Rysunek A.2 dla płyt stosuje się również do ciał narażonych na działanie ognia z jednej strony.

Uproszczona metoda obliczeniowa dla belek i płyt

Uproszczoną metodę 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. Metodę 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 powtarzalnego.

Uproszczona metoda obliczeniowa stanowi rozszerzenie metody tabelarycznej dla belek narażonych na działanie ognia z trzech stron oraz płyt. Pozwala ustalić, jak zmienia się nośność na zginanie w sytuacjach, gdy odległość osiowa a do 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. Metodę uproszczoną można stosować w celu uzasadnienia redukcji odległości osiowej a. 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 pożaru wyznacza się na podstawie odpowiedniej kombinacji według EN 1991-1-2, a moment zginający na podstawie analizy liniowej.

Nośność na zginanie $M_{Rd,fi}$ przy projektowaniu na warunki pożarowe oblicza się wykorzystując wyrażenie:

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

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 pożaru $\gamma_{s,fi} = 1,0$,
 $k_s(\theta)$ jest współczynnikiem redukcyjnym wytrzymałości stali dla danej temperatury przy wymaganej odporności ogniowej. Wartość 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 rozciągniętej,

$A_{s,req}$ jest polem przekroju stali rozciągniętej, wymaganym przy projektowaniu w temperaturze otoczenia zgodnie z PN-EN 1992-1-1

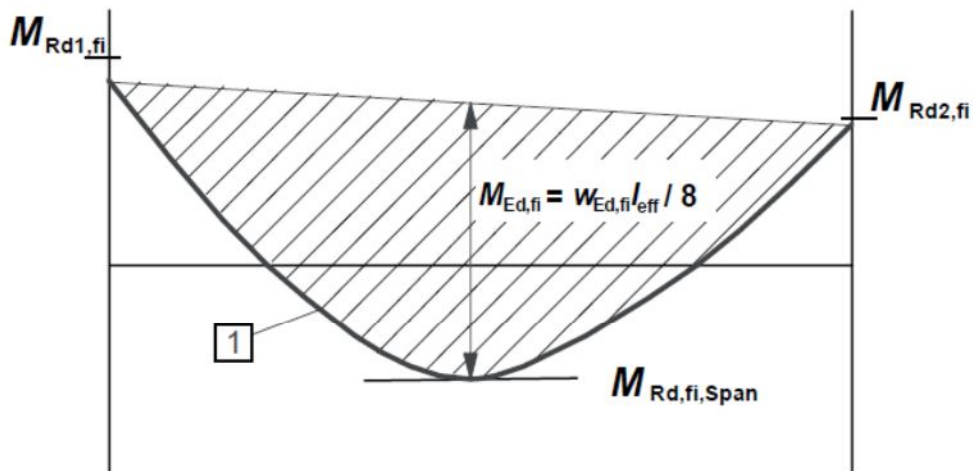
Wartość $A_{s,prov} / A_{s,req}$ nie powinna być większa niż 1,3.

Belki i płyty cięte

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

Nośność na zginanie $M_{Rd,fi,Span}$ przekroju, w którym w warunkach pożarowych występuje maksymalny moment zginający, wyznacza się tak jak dla belki swobodnie podpartej. Maksymalny moment zginający dla belki wolnopodpartej pod równomiernie rozłożonym

obciążeniem w sytuacji po arowej powinien być tak dopasowany do no no ci, 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 czynnik $k_s(cr)$ lub $k_p(cr)$.

Nale y sprawdzi obliczeniow długo zakotwienia $l_{bd,fi}$, wymagany 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 $n_{o,ci}$ na cinanie, skręcanie i zakotwienie można obliczać posługując się metodami podanymi w PN-EN 1992-1-1, uwzględniając zredukowane właściwości materiałowe i zredukowane sprężenie dla każdej części przekroju poprzecznego.

Jeżeli wykorzystuje się uproszczony metod obliczeń można bezpośrednio zastosować postanowienia PN-EN 1992-1-1 do zredukowanego przekroju poprzecznego.

Jeżeli wykorzystuje się uproszczony metod obliczeń i nie występuje zbrojenie na cinanie b_d $n_{o,ci}$ na cinanie zależy przede wszystkim od zredukowanej wytrzymałości betonu na rozciąganie, należy uwzględnić zachowanie betonu przy cinaniu w warunkach podwyższonej temperatury. W przypadku, gdy brak jest dokładniejszych informacji dotyczących redukcji wytrzymałości betonu na rozciąganie, można wykorzystywać wartość $k_{ct}(\theta)$.

Przy posługiwaniu się uproszczonym metod obliczeń do elementów, których $n_{o,ci}$ na cinanie jest uzależniona od wytrzymałości na rozciąganie betonu, wówczas należy zwrócić szczególną uwagę na miejsca w których naprężenia rozciągające są wywołane nieliniowymi rozkładami temperatury (np. płyty z otworami, grube belki itd.). Redukcję wytrzymałości na cinanie przeprowadza się uwzględniając zmniejszone wartości naprężeń rozciągających.

W metodzie tej należy sprawdzić:

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

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

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

Ze wzoru określa się $n_{o,ci}$ płyty na zginanie w warunkach podporowych.

Jeżeli płyta jest ciągła w kierunku zbrojenia, wyznacza się rozkład momentów zginających z uwzględnieniem sztywności płyty w warunkach podporowych.

Sprawdza się warunek $n_{o,ci} M_{Ed,fi} \leq M_{Rd,fi}$. W przypadku płyty krzywozbrojonej warunek sprawdza się osobno dla kierunków x i y .

Sprawdza się warunek $n_{o,ci}$ na cinanie $V_{Ed,fi} \leq V_{Rd,fi}$. Dla wyznaczonej klasy odporności ogniowej, ustala się odległość od powierzchni nagrzewanej x dla temperatury $\theta = 500^\circ\text{C}$. Wartość $n_{o,ci}$ na cinanie w warunkach podporowych oblicza się z tego samego wzoru co w sytuacji stałej przyjmując do obliczeń wysokość płyty jako $t_{pl} - x$.

Czasem należy przeprowadzić liniową interpolację wartości tabelarycznych.

Zaawansowane metody obliczeń

Zaawansowane metody obliczeń powinny pozwalać na realistyczną analizę konstrukcji poddawanych oddziaływaniu podporowemu. Ich podstawą powinny stanowić fundamentalne prawa fizyczne prowadzące do wiarygodnego przybliżenia przewidywanego zachowania odpowiedniego elementu konstrukcyjnego w warunkach podporowych.

Metody te zostawiam dla indywidualnego przestudiowania (dla chętnych)