

ODPORNOŚĆ OGNIOWA KONSTRUKCJI ŻELBETOWYCH



prof. nzw. dr hab. inż.
Mirosław Kosiorek
Szkoła Główna Służby
Pożarniczej

Pierwszą metodą służącą do określania odporności ogniowej jest metoda tablicowa. Podane są w niej klasy odporności ogniowej pojedynczych elementów w zależności od poziomu obciążenia, wymiarów geometrycznych przekroju poprzecznego i odległości osiowej zbrojenia. Tablice dotyczą wyłącznie elementów pełnych, monolitycznych, ogrzewanych według krzywej standardowej. Nie obejmują one elementów prefabrykowanych i kanałowych, a także nie uwzględniono w nich wszystkich możliwych scenariuszy, z uwagi na powierzchnie ekspozycyjne na oddziaływania termiczne. Zasadę określania odporności ogniowej zilustrowano na przykładzie ścian nośnych w tabeli 1. Podany w niej współczynnik wykorzystania nośności μ_{fi} jest zdefiniowany wzorem:

$$\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd} \quad (1)$$

gdzie: $N_{Ed,fi}$ – obliczeniowe obciążenie w temperaturze normalnej,

N_{Rd} – obliczeniowa nośność elementu w temperaturze normalnej.

Zaprezentowana w tab. 1 ekspozycja na działanie ognia z dwóch stron dotyczy ścian nośnych, które nie spełniają funkcji oddzielającej (słupy-ściany). W tym przypadku klasy odporności ogniowej oznacza się: R 30, R 60, R 120, R 240.

Tab. 1. Minimalne wymiary żelbetowych ścian nośnych

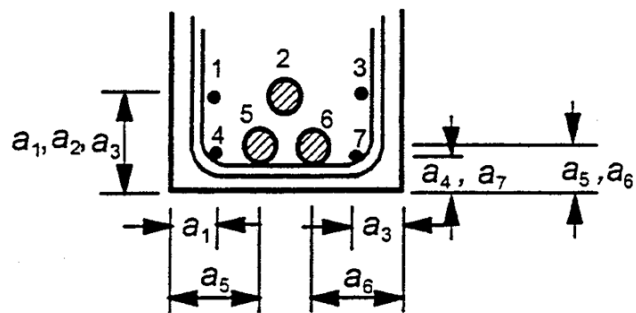
Klasa odporności ogniowej	Minimalne wymiary, mm			
	Grubość ściany / odległość osiowa zbrojenia			
	$\mu_{fi} = 0,35$		$\mu_{fi} = 0,7$	
	ekspozycja z jednej strony	ekspozycja z dwóch stron	ekspozycja z jednej strony	ekspozycja z dwóch stron
REI 30 / R 30	100/10	120/10	120/10	120/10
REI 60 / R 60	110/10	120/10	130/10	140/10
REI 120 / R 120	150/25	160/25	160/35	220/35
REI 240 / R 240	230/55	250/55	270/60	350/60

Zasady określania odporności ogniowej są podane w normie EN 1992-1-2 [1]. Można wyróżnić cztery rodzaje metod: tablicową, izotermę 500°C, strefową oraz metody zaawansowane. W artykule zostanie przedstawiona ich charakterystyka.

Odległość osiową zbrojenia od powierzchni elementu określa się z podanego niżej wzoru, jako średnią ważoną (wzór dotyczy przypadku, gdy wytrzymałości charakterystyczne wszystkich prętów są jednakowe):

$$a_m = \frac{\sum_{i=1}^n A_{si} \cdot a_i}{\sum A_{si}} \quad (2)$$

gdzie: A_{si} – pole powierzchni i-tego pręta,
 a_i – odległość osiowa i-tego pręta.



Rys. 1. Schemat do obliczania odległości osiowej prętów (według wzoru 2)

Podane w tablicach wymiary dotyczą średnicy lub mniejszego wymiaru przekroju poprzecznego elementu, a w przypadku ścian i płyt – grubości ściany lub wysokości płyty. Odporność ogniową słupów można określić z tablic podanych w normie [1], jeżeli:

- obciążenia poziome przenoszone są przez elementy usztywniające,
- długość obliczeniowa słupa $l_o \leq 3,0$ m (na kondygnacjach pośrednich można przyjmować $l_o = 0,5$ l, a dla kondygnacji najwyższej $l_o = 0,7$ l, gdzie l jest długością słupa),

- mimośród $M_{Sd} / N_{Sd} \leq 0,15h$ (lub $0,15 l$ w zależności od zwrotu momentu M_{Sd}), gdzie M_{Sd}/N_{Sd} to moment zginający i siła podłużna wywołana obciążeniem obliczeniowym,
- stopień zbrojenia $A_s/A_c < 0,04$.

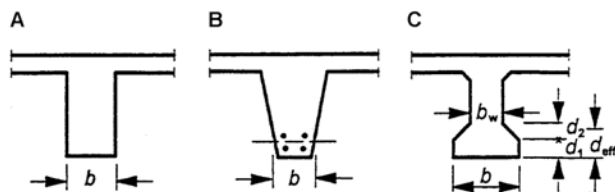
Gdy odległość środka ciężkości zbrojenia (odległość osiowa) $a \geq 70$ mm, należy dodatkowo stosować pod powierzchnią betonu siatkę stalową z drutu o średnicy nie mniejszej niż 4 mm i oczku mniejszym niż 10 mm. W projektowaniu może być pomocna publikacja Instytutu Techniki Budowlanej [2]

W normie podano klasy odporności ogniowej belek ogrzewanych z trzech stron, izolowanych przez cały czas oddziaływania temperatury przez strop. Przekroje, których dotyczy tablica, przedstawiono na rys. 5. W przypadku belek z bokami pochylonymi (rys. 5b) szerokość b przyjmuje się jako szerokość belki w środku ciężkości zbrojenia rozciąganego.

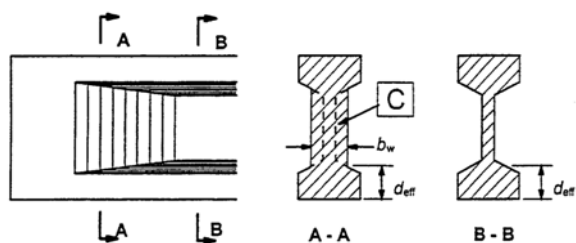
Średnia grubości półki belki dwuteowej (rys. 2c) powinna spełniać warunek:

$$d_{eff} = d_1 + 0,5d_2 \geq b_{min} \quad (3)$$

Zasady tej można nie stosować, jeżeli w przekroju belki da się wpisać przekrój hipotetyczny, spełniający wymagania i zawierający całe zbrojenie (rys. 3).



Rys. 2. Różne rodzaje przekrojów belek żelbetonowych
 a - przekrój o stałej szerokości,
 b - przekrój o zmiennej szerokości (o bokach pochylonych),
 c - przekrój dwuteowy



C - poprzeczny przekrój hipotetyczny

Rysunek 3. Zasada wpisywania przekroju hipotetycznego

Jeżeli rzeczywista szerokość półki $b \geq 1,4b_w$ (b_w - szerokość środnika), $b_{d_{eff}} < 2b_{min}^2$, odległość osiową prętów zbrojeniowych należy zwiększyć do wartości:

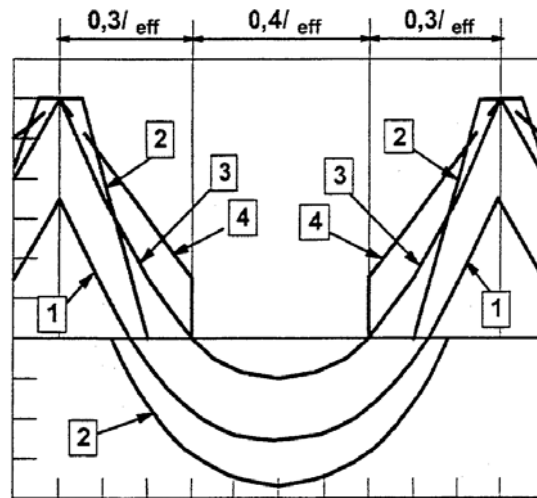
$$a_{eff} = a \left(1,85 - \frac{d_{eff}}{b_{mi}} \sqrt{\frac{b_w}{b}} \right) \geq a \quad (4)$$

gdzie: d_{eff} według wzoru 3, b_{min} według tabeli 4.

Jeżeli szerokość $b > 3,5 b_w$, to otworów w środniku się nie uwzględnia, pod warunkiem, że pozostała powierzchnia przekroju poprzecznego spełnia warunek:

$$A_c \geq 2b_{min}^2 \quad (5)$$

Minimalna odległość osiowa jakiegokolwiek pręta zbrojeniowego nie może być mniejsza niż wymagana dla klasy R 30 ani mniejsza niż połowa średniej odległości osiowej. Z uwagi na duży gradient temperatury w narożach, odległość a_{sd} lin i drutów w belkach swobodnie podpartych z jedną warstwą zbrojenia należy zwiększyć o 10 mm - powinien być spełniony warunek $a_{sd} - a + 10$ mm, jeżeli $b \leq b_{min}$ z tablicy 4. Jeżeli redystrybucja momentu przekracza 15% (rys. 4) i nie przeprowadza się dokładnych obliczeń, należy do belek ciągłych stosować zasady jak dla belek wolnopodpartych.

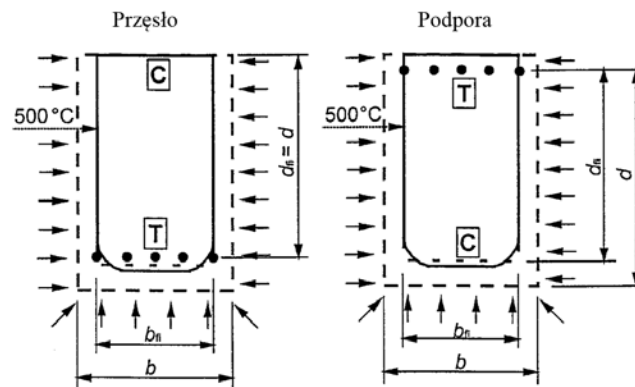


Rys. 4. Obwiednie momentów zginających nad podporą w sytuacji pożarowej (według PN - EN 1992-1-2)

- 1 - wykres momentów zginających w sytuacji pożarowej dla $t = 0$,
- 2 - obwiednia momentów zginających przenoszonych przez zbrojenie rozciągane,
- 3 - wykres momentów zginających w sytuacji pożarowej,
- 4 - obwiednia momentów zginających

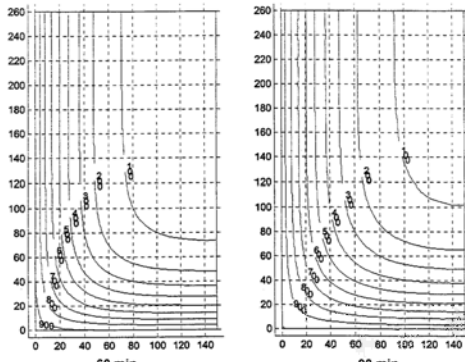
Metoda izotermy 500°C

Metoda ta polega na redukcji przekroju poprzecznego przez odrzucenie tej części przekroju, której temperatura przekracza 500°C. Nośność sprawdza się, przyjmując redukcję wytrzymałości zbrojenia. Temperatura zbrojenia jest taka sama jak temperatura betonu, zbrojenie zostaje uwzględnione w strefie odrzuconej. Na rys. 5 przedstawiono schemat postępowania w przypadku belki ogrzewanej z trzech stron.



Rys. 5. Redukcja przekroju belki ciągłej (według PN - EN1992-1-2)
 T - strefa rozciągana, C - strefa ściskana

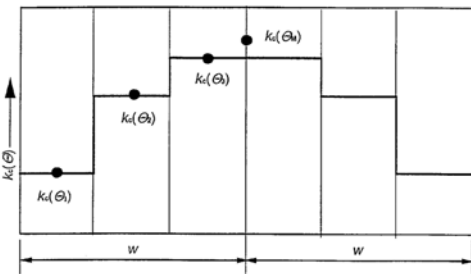
W normie [1] podano rozkłady izoterm w wybranych przekrojach betonowych ogrzewanych według krzywej standardowej. Przekład nodano na rys. 6.



Rys. 6. Rozkłady temperatury w słupach (belkach) ogrzewanych z 4 stron po 60 i 90 minutach (krzywa standardowa). Przekrój 600 x 300 mm

Metoda strefowa

Bardziej dokładna jest metoda stref, polegająca na podziale przekroju na co najmniej 3 części. Właściwości mechaniczne przyjmuje się w obliczeniach odpowiednio do wartości temperatury w środku każdej strefy ($k_c(\theta_1)$, $k_c(\theta_2)$, itd., według rys. 7).



Rys. 7. Przykład podziału na strefy ściany ogrzewanej z dwóch stron (według EN-1-2)

Z metody tej możemy skorzystać, jeżeli znamy rozkład temperatury w przekroju poprzecznym. Jest to metoda prosta w przypadku ścian.

Zabezpieczenia ogniochronne konstrukcji żelbetowych

Takie zabezpieczenia wykonuje się w celu zapewnienia lub zwiększenia odporności ogniowej elementów lub w celu ograniczenia lub wyeliminowania zjawiska odpadania lub eksplozyjnego odpryskiwania betonu od nagrzewanych powierzchni, co jest szczególnie niebezpieczne, jeżeli odpadające lub odpryskujące fragmenty mogą uszkadzać instalacje lub urządzenia służące zapewnieniu bezpieczeństwa pożarowego, np. kable zasilające wentylatory oddymiające.

Zabezpieczenia konstrukcji żelbetowych wykonuje się tylko w wyjątkowych sytuacjach. Normalnie zabezpiecza się na zasadzie „beton – betonem”. Metody zabezpieczeń są podobne jak w przypadku konstrukcji stalowych, z jednym wyjątkiem – nie stosuje się farb pęczniących.

Zabezpieczenia ogniochronne konstrukcji żelbetowych wykonywane są poprzez zabezpieczenie pojedynczych elementów lub całej grupy.

- masy natryskowe,
- okładziny płytowe,
- zabezpieczenia hybrydowe, polegające na połączeniu okładzin płytowych oraz mas natryskowych.

Grupy elementów zabezpiecza się za pomocą:

- membran poziomych (np. sufitów podwieszonych, sufitów samonośnych),
- membran pionowych (np. ściany oddzielające).

Zasady wykonywania zabezpieczeń ogniochronnych są podawane w Aprobatach Technicznych ITB. Poniżej podano przykład tablicy z wymaganymi minimalnymi grubościami zabezpieczenia ogniochronnego żelbetowej płyty stropowej z uwagi na kryterium izolacyjności i szczelności ogniowej.

Grubość płyty [mm]	Minimalne grubości zabezpieczenia [mm] *				
	EI 30	EI 60	EI 120	EI 180	EI 240
60-79	0	5	10	20	35
80-99	0	0	5	15	30
100-119	0	0	5	10	25
120-139	0	0	0	5	20
140-149	0	0	0	5	15
150-159	0	0	0	0	10
160-179	0	0	0	0	5
≥180	0	0	0	0	0

* wartości w tabeli są fikcyjne

Zabezpieczenia elementów ze zbrojeniem zewnętrznym

Często blachy fałdowe stosowane początkowo jako deskowanie tracone są wykorzystywane jako zbrojenie. W przypadku pożaru bardzo szybko następuje znaczny spadek właściwości mechanicznych niezabezpieczonej stali.

Drugim rodzajem zbrojenia zewnętrznego jest zbrojenie doklejane z taśm stalowych, a obecnie coraz częściej z włókien węglowych. Jego współpraca z elementem żelbetowym zapewniona jest przez spoinę klejową. Wzmocnienia doklejane są za pomocą kleju epoksydowego o temperaturze mięknięcia około 50°C – 80°C. Istnieje jednak możliwość, że element ze zbrojeniem zewnętrznym będzie miał wymaganą odporność ogniową bez konieczności wykonywania zabezpieczeń ogniochronnych. Pożar jest oddziaływaniem o charakterze wyjątkowym. W związku z tym w obliczeniach stosuje się kombinację wyjątkową oddziaływań: przy sprawdzaniu nośności w warunkach ogniowych przyjmujemy wytrzymałość o wartościach charakterystycznych.

W momencie wybuchu pożaru wzrasta obliczeniowa nośność i maleją oddziaływania mechaniczne; stopień wykorzystania nośności przeciętnie wynosi około 60%. Bardzo często wykonywanie zabezpieczeń ogniochronnych nie jest konieczne, gdyż zbrojenie wewnętrzne wystarcza do zapewnienia odpowiedniej odporności ogniowej. ■

Literatura

- [1] PN-EN 1992-1-2. Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-2: Reguły ogólne. Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe.
- [2] Woźniak G., Turkowski P., Projektowanie konstrukcji z betonu z uwagi na warunki pożarowe według Eurokodu 2. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2013.

Abstract

The article described of issues related to the fire resistance of concrete structures taking into impacts in an emergency situation and external reinforcement. In many cases, it is possible not to fire-protect a external reinforcement.

Key words: concrete structures, fire resistance, fire protection, external reinforcement.