

mgr inż. Piotr Turkowski^{1)*}
dr inż. Paweł Sulik¹⁾

Odporność ogniowa stropów belkowo-pustakowych

Fire resistance of beam-and-block floors

DOI: 10.15199/33.2015.07.05

Streszczenie. W artykule przedstawiono informacje na temat metod oceny odporności ogniowej stropów gęstożebrowych, z pustakami z polistyrenu, betonowymi i ceramicznymi na belkach stalowych lub betonowych. W przypadku stropów niezabezpieczonych ogniochronnie podano dane tabelaryczne do oceny, a stropów zabezpieczonych zasady doboru izolacji ogniochronnej elementów nośnych i wypełnień.

Słowa kluczowe: stropy, belkowo-pustakowe systemy stropowe, odporność ogniowa, zabezpieczenia ogniochronne.

Abstract. This paper presents information on fire resistance assessment methods of beam-and-block floor systems, with polystyrene, concrete, clay, hollow or solid blocks, on steel or concrete beams. With regard to the unprotected floors, tabulated data for assessing their fire resistance have been given. For the protected floors, a guidance for the determination of fire protection material thickness has been given, both for loadbearing elements and fillings.

Keywords: floors, beam-and-block floor systems, fire resistance, fire protection material.

W przypadku budynków starych i zabytkowych, wysokich [14], a także nowych, częstym problemem okazuje się spełnienie wymagań dotyczących odporności ogniowej stropów. Od przegród tych niejednokrotnie wymaga się godzinnej (REI 60), a nawet dwugodzinnej (REI 120) odporności ogniowej [13]. Powszechnie stosowane są stropy Kleina, skrzynkowe, Ackermana lub inne gęstożebrowe.

Zgodnie z wg PN-EN 13501-2 [7] trzy parametry dotyczą odporności ogniowej belkowo-pustakowych systemów stropowych. Są to:

1) **nośność ogniowa „R”** związana przede wszystkim z temperaturą zbrojenia/stali belek, warunkami nagrzewania (ekspozycji belek), wytworzeniem belek, materiałem belek i pustaków, współpracą belek z nadbetonem konstrukcyjnym;

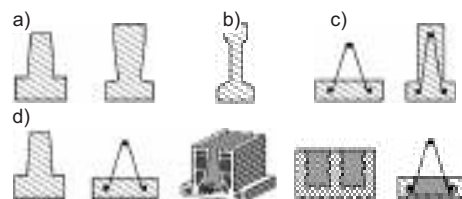
2) **szczelność ogniowa „E”** związana przede wszystkim z grubością i rodzajem zastosowanego nadbetonu, którego zadaniem będzie powstrzymanie przedostawania się płomieni na stronę nienagrzewaną po czasie odpadnięcia pustaków;

3) **izolacyjność ogniowa „I”** zależna od tych samych parametrów, co szczelność ogniowa, z naciskiem na grubość zastosowanego nadbetonu.

Odporność ogniowa stropów niezabezpieczonych ogniochronnie

W poradniku „Projektowania konstrukcji z betonu z uwagi na warunki pożarowe wg Eurokodu 2” [12] przedstawiono dane

tabelaryczne oceny odporności ogniowej stropów wykonanych z prefabrykowanych belek żelbetowych lub sprężonych z betonu zwykłego, wg PN-EN 15037-1 [8], z wypełnieniem z pustaków betonowych (z betonu zwykłego lub lekkiego kruszywego wg PN-EN 15037-2 [9]), ceramicznych wg PN-EN 15037-3 [10] lub polistyrenowych wg PN-EN 15037-4 [11]. W tabeli 1 przedstawiono dane do oceny odporności ogniowej stropów wg PN-EN 15037-1 [8]. Wysokość belek żelbetowych (rysunek 1) powinna mieścić się w przedziale



Rys. 1. Przykłady belek stropowych betonowych: a) belka typu odwrócone T; b) belka typu I; c) belki ze zbrojeniem kratownicowym; d) belki z osłoną ceramiczną
Fig. 1. Examples of concrete beams: a) inverted T beams, b) I beams, c) beams with lattice girder, d) beams with clasp shells

Tabela 1. Klasy odporności ogniowej belkowo-pustakowych systemów stropowych
Table 1. Fire resistance classification of beam-and-block floor systems

Typ stropu	Klasa odporności ogniowej
Systemy stropowe z nadbetonem konstrukcyjnym (50 mm) układanym na budowie (rysunek 2b):	
z pustakami z tworzyw sztucznych*	REI 30
z pustakami betonowymi lub ceramicznymi	REI 30
z pełnymi blokami betonowymi lub ceramicznymi	REI 60
Systemy stropowe ze złożoną warstwą nadbetonu (30 mm) (rysunek 2c)	REI 30
Systemy stropowe z częściową warstwą nadbetonu (30 mm) (np. podłogi pływające) (rysunek 2d)	REI 30
Systemy stropowe z belkami samo-nośnymi (rysunek 2a):	
z pustakami z tworzyw sztucznych*	REI 15
z pustakami konstrukcyjnymi	REI 30

* w świetle obecnej wiedzy, dotyczącej zachowania pod działaniem ognia, te systemy stropowe stosuje się wyłącznie nad pomieszczeniami podlegającymi kontroli ciągłej

6 – 50 cm, a ich maksymalny rozstaw nie może przekraczać 1 m.

W świetle wyników badań ogniowych stropów gęstożebrowych należy przyjąć, że klasyfikacja podana w tabeli 1 stanowi dolne oszacowanie. Na rynku dostępnych jest wiele systemów stropowych spełniających ogólne założenia konstrukcyjne PN-EN 15037-1 [8], znacznie różniących się geometrią belek, ilością zbrojenia, grubością ścianek pustaków i innymi parametrami wpływającymi na klasę odporności ogniowej stropów. Istnieją też systemy stropowe, które spełniają wymagania odporności ogniowej w klasie REI 120 bez potrzeby stosowania zabezpieczeń ogniochronnych, a jedynie wymagające otynkowania spodniej powierzchni.

W przypadku stropów na belkach stalowych istotna jest temperatura elementów nośnych, którą można wyznaczać wg PN-EN 1993-1-2 [5], wykorzystując wzór:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{A_m - V}{C_a \rho_a} \dot{h}_{net,d} \Delta t \quad (1)$$

gdzie:

¹⁾ Instytut Techniki Budowlanej, Zakład Badań Ogniowych

^{*} Autor do korespondencji: e-mail: p.turkowski@itb.pl

A_m/V – wskaźnik ekspozycji przekroju nieosłoniętego (rysunek 2);

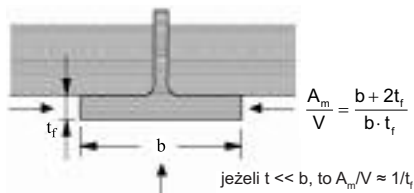
$h_{net,d}$ – wartość obliczeniowa przyjętego strumienia ciepła określona na jednostkę powierzchni zgodnie z PN-EN 1991-1-2 [3];

Δt – krok czasowy równy 1 s;

c_a – ciepło właściwe stali zmienne wraz z temperaturą zgodnie z normą PN-EN 1993-1-2 [5];

ρ_a – gęstość masy stali 7850 kg/m³.

Przykładowe wartości temperatury belek stalowych, podczas pożaru, przedstawiono w tabeli 2. Zgodnie z PN-EN 1993-1-2 [5], temperaturę krytyczną niezabezpieczonych ogniochronnie belek nagrzewanych, jak na rysunku 3, można konserwatywnie przyjmować jako 625 °C. Jak wynika z tabeli 2, temperatura stali jest niższa od temperatury krytycznej tylko w nielicznych przypadkach oddziaływania pożaru standardowego przez 15 min. Zatem w odniesieniu do belkowo-pustakowych systemów stropowych, na belkach stalowych, zwykle wymagane będzie stosowanie izolacji ogniochronnej.



Rys. 2. Wskaźnik ekspozycji dwuteowego przekroju niezabezpieczonego ogniochronnie systemu belkowo-pustakowego

Fig. 2. Section factor of unprotected I-section steel flange of beam-and-block floor system

Tabela 2. Temperatura belek stalowych w systemach belkowo-pustakowych

Table 2. Steel beam temperature in beam-and-block floor systems

Kształtownik	A_m/V [m ⁻¹] (por. rys. 3)	Temperatura [°C] po czasie trwania pożaru [min]			
		15	30	60	120
IPE 120	190	677	827	942	1048
IPE 160	160	655	819	941	1047
IPE 200	138	631	808	940	1047
IPE 240	119	603	791	939	1047
IPE 300	107	580	777	939	1046

Nośność ogniowa belek stropowych

Nośność ogniową belek żelbetowych i sprężonych można wyznaczyć na podstawie danych tabelarycznych podanych w normie PN-EN 1992-1-2 [4], a przytoczonych w tabeli 3. Zabezpieczenia ogniochronne należy dobrać na podstawie aprobaty technicznej systemu zabezpieczeń ogniochronnych przeznaczonego do konstrukcji betonowych jak w przypadku zwykłych belek, lub przeliczyć z ekwiwalentnej grubości betonu.

W przypadku belek stalowych, narażonych na oddziaływanie pożaru standardowego, zabezpieczenie ogniochronne będzie konieczne prawie zawsze. Wymaganą jego grubość można odczytać z aprobaty technicznej systemów zabezpieczeń ogniochronnych przeznaczonych do stosowania na konstrukcjach stalowych. Jako dane wyjściowe należy przyjąć:

- czas klasyfikacyjny wynikający z Rozporządzenia [13];
- temperaturę krytyczną obliczoną wg PN-EN 1993-1-2 [5] lub wartość konserwatywną: 570 °C – w przypadku belek nienarażonych na zwichrzenie; 500 °C – w przypadku belek narażonych na zwichrzenie; 350 °C – w przypadku belek o przekroju klasy 4; 450 °C – w odniesieniu do belek o przekroju klasy 1, 2 lub 3, jeśli zabezpieczenie dotyczy istniejącej konstrukcji, wykonanej z materiałów o nieznanych właściwościach mechanicznych;

■ wskaźnik ekspozycji przekroju, gdzie za pole powierzchni przekroju należy przyjąć całkowite pole powierzchni kształtownika (rysunek 3), a obwód narażony na działanie ognia wg zasad podanych na rysunku 3 i w tabelach 4 i 5. Pole przekroju dwuteownika przy wyznaczaniu wskaźnika ekspozycji przekroju zabezpieczonego wynosi $V = t_w (h - 2t_f) + 2 (b \cdot t_f)$.

Tabela 3. Minimalne wymiary i odległość osiowa zbrojenia swobodnie podpartych belek żelbetowych i sprężonych

Table 3. Minimum dimensions and reinforcement axial distance for simply supported RC and prestressed beams

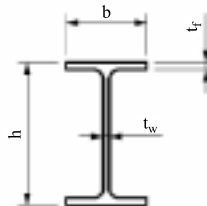
Klasa odporności ogniowej	Minimalne wymiary [mm]				
	możliwe kombinacje a* i b_min**				
R 30	b_min	80	120	160	200
	a	80	20	15	15
R 60	b_min	120	160	200	300
	a	45	35	30	25
R 120	b_min	200	240	300	500
	a	65	60	55	50
a_sd = a + 10 mm (uwaga pod tabelą)					

* a – średnia odległość osiowa

** b_min – szerokość belki

W przypadku belek sprężonych należy powiększyć odległość osiową w zależności od typu zbrojenia sprężającego o: 10 mm (dla prętów sprężających) lub 15 mm (dla drutów i splotów).

a_sd – odległość osiowa do boku belki dla narożnych prętów (lub cięgna bądź drutu) w belkach z pojedynczą warstwą zbrojenia 0,69a. W przypadku wartości b_min wyższych niż podane w ciemnoszarej rubryce nie jest wymagany wzrost wartości a_sd.



Rys. 3. Oznaczenia wymiarów dwuteownika i zasady obliczenia pola przekroju, przy wyznaczaniu wskaźnika ekspozycji przekroju zabezpieczonego

Fig. 3. Designations of I-section dimensions and rules for calculation of section area in establishing the section factor of protected steel member

Szczelność i izolacyjność ogniowa systemu stropowego

Zachowanie szczelności i izolacyjności ogniowej systemu stropowego zależy przede wszystkim od obecności i grubości nadbetonu lub zabezpieczenia ogniochronnego. W przypadku braku takiego zabezpieczenia, wymagana grubość nadbetonu konstrukcyjnego, niezbędna do zachowania szczelności ogniowej i izolacyjności ogniowej, może być ustalona na podstawie danych tabelarycznych podanych w normie PN-EN 1992-1-2 [4], przyjmując zachowawczo, że pustaki wypadną w pierwszych minutach pożaru. Minimalną grubość nadbetonu podano w tabeli 6. Takie podejście z pewnością pozwala na bezpieczne oszacowanie charakterystyk skuteczności działania, ale nie jest ekonomiczne. Wymagana grubość jest bardzo duża, co zaprzecza idei stropów gęstożebrowych, zwiększa ciężar własny konstrukcji oraz koszt inwestycji. Warto zatem przyjrzeć się innej możliwości zapewnienia szczelności i izolacyjności ogniowej, w odniesieniu do czasów klasyfikacyjnych 60 i 120 minut, tj. zabezpieczeniom ogniochronnym.

Przeprowadzając ocenę skuteczności systemów zabezpieczeń ogniochronnych konstrukcji betonowych, wg normy PN-EN 13381-3 [6], wyznacza się m.in. parametr ekwiwalentnej grubości betonu ϵ , który oznacza grubość betonu, jaką zastępuje dana grubość izolacji ogniochronnej. W normie PN-EN 15037-1 [8] podano wartości: 1 cm zaprawy cementowej – 0,67 cm betonu; 1 cm kruszywa lekkiego – 2,5 cm betonu; 1 cm wełny szklanej – 2,5 cm betonu; 1 cm zwykłego tynku gipsowego – 2,5 cm betonu. W przypadku typowych systemów zabezpieczeń ogniochronnych wartości te są zwykle jeszcze większe i wynoszą ok. 5,0 cm betonu

Tabela 4. Obwód przekroju narażonego na działanie ognia, zabezpieczonego konturowo

Table 4. Perimeter of contour protected section exposed to fire

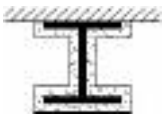
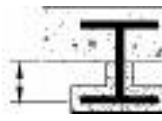

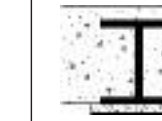
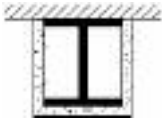
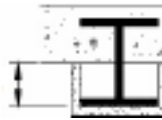


3-stronnie	3-stronnie częściowe	2-stronnie	1-stronnie
			
$A_p = 3b + 2h - 2t_w$	$A_p = 2b + 2d - 2t_w$	$A_p = 2b + h - t_w$	$A_p = b$

Tabela 5. Obwód przekroju narażonego na działanie ognia, zabezpieczonego skrzynkowo

Table 5. Perimeter of box protected section exposed to fire

3-stronnie	3-stronnie częściowe	2-stronnie	1-stronnie
			
$A_p = b + 2h$	$A_p = b + 2d$	$A_p = b + h$	$A_p = b$

za 1 cm izolacji ogniochronnej. Zależą od czasu oddziaływania pożaru i grubości izolacji (wraz ze wzrostem grubości izolacji ogniochronnej, ekwiwalentna grubość betonu rośnie, lecz coraz mniej). Dużą grubość betonu (tabela 6) można więc zastąpić mniejszą grubością izolacji ogniochronnej.

Ostatni parametr, który należy uwzględnić, to **pryczepność izolacji ogniochronnej do podłoża**. Wiarygodnym sposobem oceny tej właściwości są badania odporności ogniowej, gdyż jako jedyne uwzględniają możliwe odpadanie i odpryskiwanie izolacji oraz elementów stropu, deformacje łączników mechanicznych, powstawanie rys, rozszczelnienie na styku materiałów, a także inne trudne do symulowania zjawiska fizyczne. Producent systemu ogniochronnego powinien dysponować odpowiednimi raportami z badań ogniowych,

Tabela 6. Minimalna grubość nadbetonu w celu zachowania szczelności i izolacyjności ogniowej w belkowo-pustakowych systemach stropowych niezabezpieczonych ogniochronnie

Table 6. Minimum topping thickness due to integrity and thermal insulation criteria in unprotected beam-and-block floor systems

Wymagany okres zachowania szczelności ogniowej „E” i izolacyjności ogniowej „I”	Minimalna grubość nadbetonu [mm]
30 minut	60
60 minut	80
120 minut	120

udowadniającymi przyczepność materiału do danego typu podłoża, a ta zależec będzie od: materiału podłoża (beton, stal, ceramika itp.); grubości podłoża, w tym np. grubości ścianek pustaków; obecności tynków, zanieczyszczeń, luźnych części; przygotowania powierzchni: zastosowania środków gruntujących, szepnych, siatek drucianych (np. Rabitza, Leduchowskiego, innych).

Materiały ogniochronne zastosowane na spodniej powierzchni stropu mają zapewnić izolacyjność ogniową dzięki swoim właściwościom akumulacji ciepła, szczelność ogniową, minimalizując grubość nadbetonu lub całkowicie go eliminując oraz ograniczyć szok termiczny w pustakach stropowych.

Podsumowanie

Obecnie na rynku krajowych wyrobów budowlanych dostępne są systemy zabezpieczeń ogniochronnych, których zakres stosowania obejmuje omówione pustakowo-belkowe systemy stropowe, na belkach stalowych i betonowych, z wypełnieniem w postaci pełnych lub drażonych pustaków betonowych i ceramicznych. Ich zastosowanie pozwala na spełnienie wymagań w klasie odporności ogniowej do REI 120. Oznacza to, że dostosowanie do współczesnych wymagań istniejących pomieszczeń, w których zastosowano stropy gęstoźbrowe, jest możliwe i nie wymaga ich wymiany. Przy zmianie przeznaczenia pomieszczenia najczęściej mamy do czynienia z deficytem nośności stropów. Oznacza to, że

niewskazane jest ich dociążanie obciążeniem stałym, np. w postaci dodatkowej warstwy nadbetonu, pozytywnie wpływającej na izolacyjność i szczelność ogniową. W celu uniknięcia wzmocnienia stropów, rozsądne wydaje się wykorzystanie biernych izolacji ogniochronnych, których niewielka grubość potrafi znacznie zwiększyć odporność ogniową stropu.

Literatura

- [1] PN-EN 1363-1: 2012. Badania odporności ogniowej – Część 1: Wymagania ogólne.
- [2] PN-EN 1365-2: 2002. Badania odporności ogniowej elementów nośnych – Część 2: Stropy i dachy.
- [3] PN-EN 1991-1-2: 2006. Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 1-2: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru.
- [4] PN-EN 1992-1-2: 2008. Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-2: Reguły ogólne – Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe.
- [5] PN-EN 1993-1-2: 2007. Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-2: Reguły ogólne – Obliczanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe.
- [6] PN-EN13381-3: 2015. Metody badawcze ustalania wpływu zabezpieczeń na odporność ogniową elementów konstrukcyjnych – Część 3: Zabezpieczenia elementów betonowych.
- [7] PN-EN 13501-2+A1: 2010. Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków – Część 2: Klasyfikacja na podstawie wyników badań odporności ogniowej, z wyłączeniem instalacji wentylacyjnej.
- [8] PN-EN15037-1: 2011. Prefabrykaty z betonu – Belkowo-pustakowe systemy stropowe – Część 1: Belki.
- [9] PN-EN 15037-2+A1: 2011. Prefabrykaty z betonu – Belkowo-pustakowe systemy stropowe – Część 2: Pustaki betonowe.
- [10] PN-EN 15037-3+A1: 2011. Prefabrykaty z betonu – Belkowo-pustakowe systemy stropowe – Część 3: Pustaki ceramiczne.
- [11] PN-EN 15037-4+A1: 2013-10. Prefabrykaty z betonu – Belkowo-pustakowe systemy stropowe – Część 4: Bloki styropianowe.
- [12] Woźniak G., Turkowski P., Projektowanie konstrukcji z betonu z uwagi na warunki pożarowe według Eurokodu 2, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2013.
- [13] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. nr 75/2002 poz. 690 z późniejszymi zmianami).
- [14] Sulik P., Sędlak B., Turkowski P., Węgrzyński W. (2014): Bezpieczeństwo pożarowe budynków wysokich i wysokościowych. [W:] A. Halicka, Budownictwo na obszarach zurbanizowanych, Nauka, praktyka, perspektywy, Politechnika Lubelska 2014, pp. 105 – 120.

Przyjęto do druku: 19.05.2015 r.