

mgr inż. Piotr Turkowski\*

# Ocena odporności ogniowej stropów z prefabrykowanymi sprężonymi płytami kanałowymi w świetle PN-EN 1168+A3:2011

## Assessment of fire resistance of precast prestressed hollow core slabs according to PN-EN 1168+A3:2011

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono informacje dotyczące metody oceny odporności ogniowej stropów z prefabrykowanymi sprężonymi płytami kanałowymi żelbetowymi i sprężonymi wg PN-EN 1168+A3:2011. Metoda uwzględnia ocenę nośności ogniowej na zginanie, ścinanie oraz awarię zakotwienia. Uzyskane wyniki są znacznie niższe niż odczytane z danych tabelarycznych podanych w poprzednich wydaniach normy.

**Słowa kluczowe:** beton, konstrukcje sprężone, płyty kanałowe, odporność ogniowa.

**Abstract.** This paper presents results of information on assessment method of fire resistance of precast prestressed hollow core slabs according to PN-EN 1168+A3:2011. The method includes assessment of loadbearing capacity regarding bending, shear and anchorage. Results obtained with this method are significantly lower than the ones given in tabulated data in previous norm editions.

**Keywords:** concrete, prestressed structures, hollow core slabs, fire resistance.

PN-EN 1992-1-2:2008 [4] dotycząca projektowania konstrukcji z betonu z uwagi na warunki pożarowe nie wymaga sprawdzania nośności na ścinanie w warunkach pożarowych, o ile wymiary elementów nie są mniejsze niż podane w danych tabelarycznych. Jak wykazali M. Łukomski oraz G. Woźniak w pracach [1] i [2], w odniesieniu do stropów ze sprężonych płyt kanałowych, nośność ogniowa obliczona z pominięciem wpływu ścinania jest przeszacowana w stosunku do wyników badań odporności ogniowej. W czterech z sześciu przeanalizowanych przez nich przypadków, obliczona nośność ogniowa była ponad dwukrotnie wyższa niż uzyskana doświadczalnie. Badania kończono z powodu awarii zakotwienia lub ścięcia płyty nad podporą.

Wprowadzona w 2007 r. PN-EN 1168 *Prefabrykaty z betonu – Płyty kanałowe* [5], wraz z późniejszymi poprawkami A1 [6] i A2 [7], zawierała dane tabelaryczne pozwalające ustalić odporność ogniową stropów wykonanych z płyt kanałowych w zależności od odległości osiowej zbrojenia oraz efektywnej grubości płyty. W tym przypadku przy projektowaniu na warunki pożarowe nie brano pod uwagę efektów ścinania. Dopiero poprawka A3 [8] wydana w październiku 2011 r. wprowadziła odrębny algorytm oceny nośności ogniowej z uwagi na ścinanie oraz zakotwienie.

### Zapisy PN-EN 1168

W Załączniku G do PN-EN 1168:2007 [5] (poprawki A1 [6] i A2 [7] nie zmieniały tych danych) podano dane tabelaryczne pozwalające ocenić klasę odporności ogniowej stropu w zależności od odległości osiowej zbrojenia i grubości płyty. Wymagania te przedstawiono w tabeli 1.

Grubośći stropu  $h$  (rysunek 1) podane w tabeli 1 zostały ustalone w przypadku elementów o polu powierzchni betonu w przekroju równym min. 55%. W przypadku mniejszej powierzchni otworów (większej powierzchni betonu w przekroju) należy stosować wzór (1). Ponadto, przy ustalaniu wymaganej grubości  $h$  stropu,

**Tabela 1. Minimalna grubość i odległość osiowa zbrojenia w płytach kanałowych [wg PN-EN 1168]**

	Wymagana klasa odporności ogniowej REI							
	REI 15	REI 20	REI 30	REI 45	REI 60	REI 90	REI 120	REI 180
Odległość osiowa $a$ zbrojenia <sup>1)</sup> [mm]	10	10	10	15	20	30	40	55
Grubość stropu $h$ [mm]	100	100	100	100	120	140	160	200

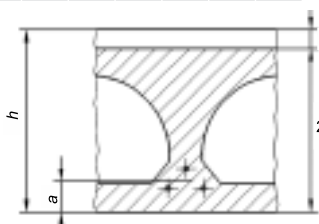
<sup>1)</sup> W przypadku płyt sprężonych należy zwiększyć odległość osiową zgodnie z p. 5.(5) PN-EN 1992-1-2:2008

można uwzględnić niepalne warstwy wykończeniowe (np. nadbeton).

$$t_e = h \sqrt{A_c / (b \times h)} \quad (1)$$

gdzie:

$t_e$  – grubość efektywna;  
 $h$  – rzeczywista grubość płyty;  
 $A_c$  – pole powierzchni betonu w przekroju;  
 $b$  – szerokość płyty.



**Rys. 1. Oznaczenia wymiarowe płyty kanałowej;  $h$  – całkowita wysokość elementu;  $a$  – odległość osiowa zbrojenia; 1 – wysokość nadbetonu; 2 – wysokość płyty kanałowej [wg PN-EN 1168]**

### Zapisy PN-EN 1168+A3

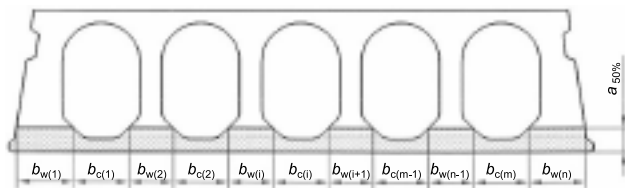
Załącznik G do normy PN-EN 1168+A3:2011 [8] dzieli metodę ustalania odporności ogniowej elementów z płyt kanałowych na trzy części:

- odporność ogniowa z uwagi na zginanie;
- odporność ogniowa z uwagi na ścinanie i zakotwienie;
- odporność ogniowa z uwagi na izolacyjność ogniową.

**Zginanie.** Ocenę odporności ogniowej elementu z uwagi na zginanie można przeprowadzić zgodnie z PN-EN 1992-1-2:2008 [4], wykorzystując uproszczone metody obliczeniowe, np. metodę izotermi 500 °C (przykład takich obliczeń podano w pracy [3]) oraz następujące dodatkowe założenia:

- jeśli nie prowadzi się dokładnej analizy przepływu ciepła w elemencie, to rozkład temperatury na grubości  $a_{50\%}$  można przyjąć dla płyty pełnej (rysunek 2);

\* Instytut Techniki Budowlanej, Zakład Badań Ogniowych



Rys. 2. Obszar, dla którego można przyjąć rozkład temperatury jak w płycie pełnej [wg PN-EN 1168 +A3]

• powyżej poziomu  $a_{50\%}$  można przyjąć liniowy rozkład temperatury w elemencie, zakładając  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$  na jego górnej powierzchni (maksymalna dopuszczalna temperatura z uwagi na izolacyjność ogniową):

$$a_{50\%} = \text{poziom, na którym } \sum_{i=1}^n b_{w(i)} = \sum_{i=1}^m b_{c(i)} \quad (2)$$

gdzie:

$n$  – liczba środników;

$m$  – liczba otworów;

$b_{w(i)}$  – szerokość środnika „i” na rozpatrywanym poziomie;

$b_{c(i)}$  – szerokość otworu „i” na rozpatrywanym poziomie.

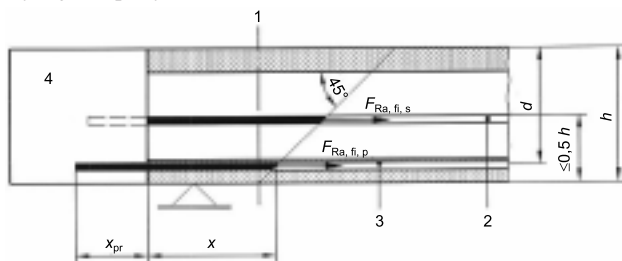
• wartość temperatury w strefie ściskanej wynosi  $100 \div 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a beton zachowuje  $90 \div 95\%$  swojej nośności na ściskanie; przyjmując dla warunków pożarowych  $\gamma_c = 1,0$  oraz  $\alpha_{cc} = 1,0$ , grubość betonu maleje, a ramię sił wewnętrznych rośnie, w związku z czym można przyjąć, iż strefa ściskana betonu w pełni zachowuje swoje właściwości mechaniczne w warunkach pożarowych (ramię sił wewnętrznych należy przyjąć jak przy projektowaniu w warunkach normalnych), pod warunkiem spełnienia przez element warunków izolacyjności ogniowej.

**Ścinanie.** Ocenę odporności ogniowej elementu z uwagi na ścinanie i zakotwienie można przeprowadzić zgodnie z normą PN-EN 1992-1-2:2008 [4], wykorzystując uproszczone metody obliczeniowe, np. metodę izotermi  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ , Załącznik D oraz następujące dodatkowe założenia:

■ temperaturę w przekroju należy wyznaczyć jak w przypadku zginania;

■ w przypadku klasy odporności ogniowej niższej niż R 60 nie ma potrzeby weryfikacji z uwagi na ścinanie i zakotwienie.

Na rysunku 3 przedstawiono model do obliczeń wytrzymałościowych z uwagi na ścinanie i zakotwienie (przykład z wystającymi splotami): 1 – rozpatrywany przekrój; 2 – zbrojenie połączenia; 3 – splot; 4 – wylewane na budowie [wg PN-EN 1168 +A3]



Rys. 3. Model do obliczeń wytrzymałościowych z uwagi na ścinanie i zakotwienie (przykład z wystającymi splotami): 1 – rozpatrywany przekrój; 2 – zbrojenie połączenia; 3 – splot; 4 – wylewane na budowie [wg PN-EN 1168 +A3]

Do obliczeń wykorzystuje się równanie empiryczne:

$$v_{Rd,c,fi} = [C_{\theta,1} + \alpha_k \cdot C_{\theta,2}] \cdot b_w \cdot d \quad (3)$$

gdzie:

$v_{Rd,c,fi}$  – nośność na ścinanie w warunkach pożarowych;

$C_{\theta,1}$  – współczynnik uwzględniający naprężenia w betonie w warunkach

$$\text{kach pożarowych} = 0,15 \cdot \min(k_p(\theta_p) \sigma_{cp,20^{\circ}\text{C}} \cdot \frac{F_{Ra,fi,p}}{A_c})$$

$$\alpha_k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$$

$C_{\theta,2}$  – współczynnik uwzględniający zakotwione zbrojenie podłużne

$$= \sqrt[3]{0,58 \times \frac{F_{Ra,fi}}{f_{yk} \times b_w \times d} \times f_{c,fi,m}}$$

$\sigma_{cp,20^{\circ}\text{C}}$  – średnie naprężenia w betonie od siły sprężającej w temperaturze normalnej;

$A_c$  – pole powierzchni betonowej;

$f_{c,fi,m}$  – średnia wytrzymałość betonu w podwyższonej temperaturze; można przyjmować ją jako równą wytrzymałości betonu w temperaturze w połowie wysokości środnika;

$b_w$  – całkowita grubość środników;

$f_{ck}$  – charakterystyczna wytrzymałość walcowa na ściskanie betonu po 28 dniach;

$v_{\min}$  – dopuszczalne wyteżenie betonu niezbrojonego, jak podano w EN 1992-1-1:2004, 6.2.2;

$F_{Ra,fi}$  – zdolność do przeniesienia siły od sprężenia i zakotwionego zbrojenia połączenia w rozpatrywanym przekroju =  $F_{Ra,fi,p} + F_{Ra,fi,s}$

gdzie:

$F_{Ra,fi,p}$  – zdolność do przeniesienia siły od sprężenia w rozpatrywanym przekroju

$$= A_p \times \min\left(\frac{x_{pr} \times f_{bpd,pr,fi} + x \times f_{bpd,fi}}{\alpha_2 \phi}; 0,9 f_{pk} k_p(\theta_p)\right)$$

$\alpha_2; \phi$  – jak podano w EN 1992-1-1:2004, 8.10.2.2;

$x$  – długość ciągną w rozpatrywanym przekroju;

$x_{pr}$  – długość wystającego ciągną w rozpatrywanym przekroju;

$f_{bpd,fi}$  – naprężenie przyczepności ciągną w zakotwieniu, w podwyż-

$$\text{szonej temperaturze} = \eta_{p2} \times \eta_1 \frac{0,7 \times f_{cm} \times k_{c,t}(\theta_{p,m})}{\gamma_{c,fi}};$$

$f_{bpd,pr,fi}$  – naprężenie przyczepności ciągną w zakotwieniu, w betonie wylewanym na budowie, w podwyższonej temperaturze

$$= \eta_{p2} \times \eta_1 \frac{0,7 \times f_{cm,insitu} \times k_{c,t,insitu}(\theta_{p,pr,m})}{\gamma_{c,fi}}$$

$F_{Ra,fi,s}$  – zdolność do przeniesienia siły od zakotwionego zbrojenia połączenia =  $A f_{yk} k_s(\theta_s)$ ;

$k_s(\theta_s)$  – współczynnik redukcji wytrzymałości stali sprężającej w temperaturze  $\theta_s$ , zgodnie z EN 1992-1-2:2004, 4.2.4.3;

$k_s(\theta_s)$  – współczynnik redukcji wytrzymałości stali zbrojeniowej w temperaturze  $\theta_s$ , zgodnie z EN 1992-1-2:2004, 4.2.4.3;

$k_{c,t}(\theta_{p,m})$  – współczynnik redukcji średniej wytrzymałości betonu na rozciąganie, w strefie zakotwienia, w temperaturze średniej  $\theta_{p,m}$  zgodnie z EN 1992-1-2:2004, 3.2.2.2;

$k_{c,t,insitu}(\theta_{p,pr,m})$  – współczynnik redukcji średniej wytrzymałości betonu na rozciąganie wylewanego na budowie, na rozpatrywanej długości zakotwienia, zgodnie z EN 1992-1-2:2004, 3.2.2.2;

$\eta_{p2}; \eta_1$  – jak podano w EN 1992-1-1:2004, 8.10.2.3.

Uwagi i postanowienia dodatkowe:

• należy uwzględnić jedynie zbrojenie w dolnej części elementu ( $\leq 0,5 h$ );

• normalnie rozpatrywany przekrój to przekrój na skraju podpory;

• zdolność do przeniesienia siły od zakotwionego w podporze zbrojenia podłużnego może być obliczana z uwzględnieniem wpływu masy betonu na rozkład temperatury, przez wykorzystanie średniej temperatury  $\theta_m$  i  $\theta_{p,m}$  splotów na długości w podporze, odpowiednio  $x$  w elemencie prefabrykowanym oraz  $x_{pr}$  w betonie wylewanym na budowie (jeśli występuje);

• w przypadku zbrojenia podłużnego umieszczonego mniej więcej w środku wysokości płyty, współczynnik redukcji  $k_s$  można przyjąć jako równy 1,0.

W tabeli 2 przedstawiono wartości przy następujących założeniach: sprężone płyty kanałowe ze splotami uciętymi na końcach elementów; długość podpory wynosi 70 mm; zakotwienie podłużne umiejscowione w połowie wysokości płyty o przekroju  $1,88\text{ cm}^2/2$ .

Tabela 2. Wytrzymałość na ścinanie  $V_{Rd,c,fi}$  [wg PN-EN 1168+A3]

Klasa odporności ogniowej	Grubość płyty [mm]				
	160	200	240 – 280	320	260 – 400
REI 60	70%	65%	60%	60%	55%
REI 90	65%	60%	60%	55%	50%
REI 120	65%	60%	55%	50%	50%
REI 180	45%	50%	50%	45%	40%

\*  $V_{Rd,c,cold}$  – wytrzymałość na ścinanie obliczona zgodnie z EN 1168+A3, 4.3.3.2.2.1.

**Izolacyjność ogniowa.** Tablica, która we wcześniejszych wydaniach normy [5, 6, 7] służyła do oceny nośności ogniowej, szczelności ogniowej i izolacyjności ogniowej, w poprawce A3 [8], nieco zmieniona służy już tylko do oceny ostatniej charakterystyki. Grubości stropu  $h$ , podane w tabeli 3, zostały ustalone dla elementów o polu powierzchni betonu w przekroju min.  $0,4 bh$ , przeliczone z wartości podanych dla płyt pełnych w PN-EN 1992-1-2 [4] wg wzoru (1). Przy ustalaniu wymaganej grubości  $h$  stropu można uwzględnić niepalne warstwy wykończeniowe (np. nadbeton).

Tabela 3. Minimalna grubość płyt kanałowych z uwagi na izolacyjność ogniową zgodnie z PN-EN 1168+A3:2011

Grubość stropu $h$ [mm]	Wymagana klasa odporności ogniowej REI			
	REI 60	REI 90	REI 120	REI 180
130	130	160	200	250

### Porównanie

Nośność ogniowa  $R$  zawsze powinna być podawana wraz z dopuszczalnym obciążeniem lub wyężeniem elementu. Z reguły im większe obciążenie, tym niższa nośność ogniowa. Normy w uproszczeniu podają klasy REI 60, REI 120 itp., za czym w domniemaniu kryje się możliwość wykorzystania pełnej nośności elementu w warunkach pożarowych. Nic nie stoi jednak na przeszkodzie, aby elementy klasyfikować przy częściowym obciążeniu, co zresztą jest powszechną praktyką w badaniach odporności ogniowej ścian murowanych. Tak też postąpiono w odniesieniu do płyt kanałowych i w Załączniku ZA PN-EN 1168+A3:2011 [8], w deklaracji właściwości użytkowych wyrobu widnieje pole *Resistance to fire RXX for  $\eta_{fi} = 0$ , xx; RYY for  $\eta_{fi} = 0$ , yy* (ang. klasa odporności ogniowej RXX dla  $\eta_{fi} = 0$ , xx; RYY dla  $\eta_{fi} = 0$ , yy).

W tabelach 4 i 5 przedstawiono wyniki obliczeń przeprowadzonych zgodnie z zapisami PN-EN 1168+A3 w przypadku kilku rodzajów płyt kanałowych sprężonych o objętości drążek 40%, szerokości 1200 mm i grubości 200 mm, z betonu klasy C 50/60, ze splotami uciętymi na końcach elementów, w różnych wariantach zbrojenia (6, 8, 10 i 12 splotów siedmiodrutowych  $f_{pk} = 1860$  MPa) i odległości osiowej zbrojenia wynoszącej 55 mm. Zgodnie z wcześniejszymi wydaniem PN-EN 1168 [5, 6, 7] (tabela 1), płyty te spełniają wymagania w klasie odporności ogniowej REI 180. Zgodnie z nowym wydaniem [8], płyty

Tabela 4. Parametry wytrzymałościowe płyt w warunkach normalnych [opracowanie własne]

Typ płyty	Nośność charakterystyczna na zginanie $M_{R,k}$ [kNm]	Nośność charakterystyczna na ścinanie $V_{R,k}$ [kN]	Nośność obliczeniowa na zginanie $M_{R,d}$ [kNm]	Nośność obliczeniowa na ścinanie $V_{R,d}$ [kN]
HC 200/6	88,15	54,06	123,4	75,69
HC 200/8	107,63	66,01	150,68	92,42
HC 200/10	118,76	72,84	166,26	101,97
HC 200/12	129,89	79,67	181,85	111,53

Tabela 5. Parametry wytrzymałościowe płyt w warunkach pożarowych oraz klasa odporności ogniowej stropów z płyt kanałowych obliczone wg PN-EN 1168+A3 [8] [opracowanie własne]

Typ płyty	Klasa odporności ogniowej	Nośność na ścinanie w warunkach pożarowych $V_{R,d,fi}$ [kN]	Nośność na zginanie w warunkach pożarowych $M_{R,d,fi}$ [kNm]	Maksymalny stopień wykorzystania nośności w sytuacji pożarowej [%]	Maksymalny współczynnik redukcji dla obliczeniowego poziomu obciążenia w warunkach pożarowych
HC 200/6	REI 60	171,92	103,92	$\mu_{fi} = 100$	$\eta_{fi} = 0,70$
	REI 90	159,13	80,55	$\mu_{fi} = 93$	$\eta_{fi} = 0,65$
	REI 120	132,52	57,17	$\mu_{fi} = 66$	$\eta_{fi} = 0,46$
HC 200/8	REI 60	198,65	131,2	$\mu_{fi} = 100$	$\eta_{fi} = 0,70$
	REI 90	183,32	107,82	$\mu_{fi} = 100$	$\eta_{fi} = 0,70$
	REI 120	150,75	72,75	$\mu_{fi} = 69$	$\eta_{fi} = 0,48$
HC 200/10	REI 60	221,32	146,78	$\mu_{fi} = 100$	$\eta_{fi} = 0,70$
	REI 90	195,02	123,4	$\mu_{fi} = 100$	$\eta_{fi} = 0,70$
	REI 120	158,88	92,23	$\mu_{fi} = 79$	$\eta_{fi} = 0,55$
HC 200/12	REI 60	229,54	162,37	$\mu_{fi} = 100$	$\eta_{fi} = 0,70$
	REI 90	202,64	135,09	$\mu_{fi} = 100$	$\eta_{fi} = 0,70$
	REI 120	165,26	107,82	$\mu_{fi} = 85$	$\eta_{fi} = 0,59$

ty wysokości 200 mm spełniają wymagania izolacyjności ogniowej co najwyżej przez 120 min.

Płyty HC, gdzie odległość osiowa zbrojenia wynosiła 55 mm, pomimo większej otuliny, po 120 minutach oddziaływania pożaru standardowego zachowują  $66 \div 85\%$  swojej nośności początkowej. Stropy te można sklasyfikować w klasie REI 120 pod warunkiem ograniczenia ich wyężenia. Różnica w stosunku do klasy REI 180 (przy pełnym wyężeniu), którą te płyty mogłyby uzyskać na podstawie normy PN-EN 1168+A2:2009 [7], jest znacząca.

### Podsumowanie

Klasy odporności ogniowej konstrukcji z prefabrykowanych płyt kanałowych żelbetowych i sprężonych obliczone zgodnie z PN-EN 1168+A3 [8] są niższe w stosunku do odczytanych na podstawie danych tabelarycznych w poprzednich wydaniach tej normy, a bliższe wynikom badań odporności ogniowej. Podana metodologia uwzględnia już nie tylko utratę nośności na skutek zginania, ale również ścicia na podporze oraz awarii zakotwienia. Należy przeprowadzić nowe badania odporności ogniowej w celu weryfikacji metody obliczeniowej na elementach w dużej skali.

### Literatura

- [1] Łukomski M., Woźniak G., Odporność ogniowa stropów z płyt kanałowych sprężonych – badania i obliczenia, Konferencja Beton i Prefabrykacja, Jadwisin 2002.
- [2] Łukomski M., Woźniak G., Nośność stropów z płyt kanałowych sprężonych w warunkach pożarowych, Konferencja Beton i Prefabrykacja, Jadwisin 2004.
- [3] Woźniak G., Turkowski P., Projektowanie konstrukcji z betonu z uwagi na warunki pożarowe według Eurokodu 2, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2013.
- [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 1168:2007. Prefabrykaty z betonu – Płyty kanałowe.
- [6] PN-EN 1168+A1:2008. Prefabrykaty z betonu – Płyty kanałowe.
- [7] PN-EN 1168+A2:2009. Prefabrykaty z betonu – Płyty kanałowe.
- [8] PN-EN 1168+A3:2011. Prefabrykaty z betonu – Płyty kanałowe.