

# Nośność na zginanie belek zespolonych metalowo-betonowych w warunkach pożaru standardowego

Mgr inż. Łukasz Polus, dr inż. Marcin Chybiński, dr hab. inż. Maciej Szumigała, prof. PP, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska

## 1. Wprowadzenie

Elementy zespolone stalowo-betonowe są często stosowane na konstrukcję mostów [1] czy też wielokondygnacyjnych budynków [2]. Zarówno mosty [3], jak i budynki [4, 5] zagrożone są pożarem. Belka zespolona składa się z płyty betonowej połączonej łącznikami z dźwigarem stalowym. Powszechnie stosuje się dźwigary wykonane ze stali niestopowych, które niezabezpieczone narażone są na korozję. W celu ograniczenia kosztów związanych z zabezpieczeniem antykorozyjnym dźwigar można wykonać ze stopu aluminium lub ze stali nierdzewnej [6], w szczególności w środowiskach silnie korozyjnych, jakie występują w szeroko rozumianym przemyśle. Rozwiązania te wymagają dokładnej analizy ekonomicznej, konstrukcyjnej oraz pożarowej z uwzględnieniem całego okresu eksploatacji konstrukcji.

## 2. Problem badawczy

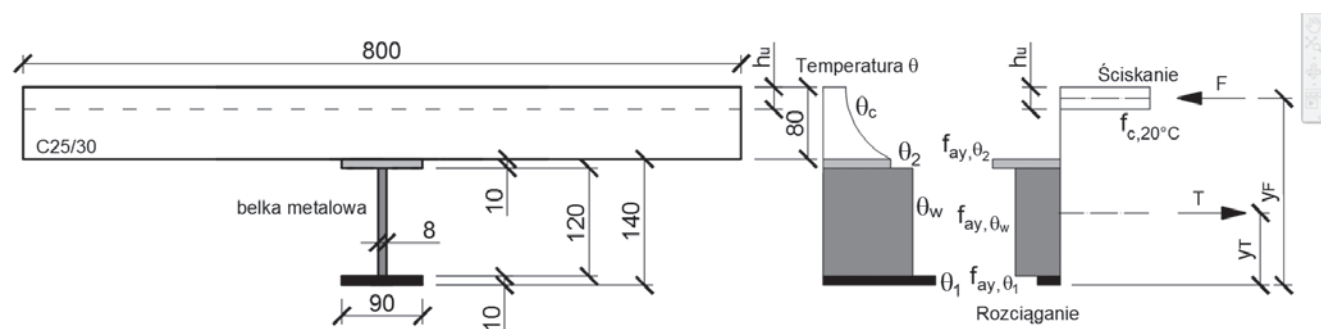
O ile rozwiązanie belek zespolonych wynikające z połączenia betonowej płyty i stalowego dźwigara można uznać dziś za standardowe, o tyle połączenie betonowej płyty z dźwigarami wykonanymi z innych metali jest już propozycją nietypową [7]. Należy jednak pamiętać, że nietypowe rozwiązania konstrukcyjne nie mogą być stosowane w każdej sytuacji, np. w warunkach pożaru oraz wymagają dodatkowych analiz zarówno materiałowo-konstrukcyjnych, jak i ekonomicznych. W obiektach o dużej gęstości obciążenia ogniowego może dojść do pełnego rozwinięcia pożaru mogącego przyczynić

się do utraty nośności i/lub stateczności konstrukcji [8]. Autorzy postanowili ocenić, jak zmienia się nośność na zginanie belek zespolonych wraz ze wzrostem temperatury. W tym celu poddano analizie trzy rodzaje belek o identycznych wymiarach przekroju. Belki składały się z płyty betonowej (C25/30) oraz z dźwigara metalowego (S235J2, X6CrNiMoTi17-12-2 lub AW-6061 T6). Przyjęto następujące założenia:

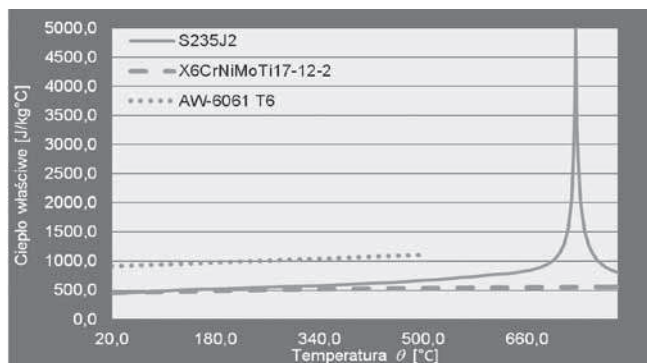
- belki są swobodnie podparte oraz obciążone dodatnim momentem (dolne włókna belki są rozciągane),
- pełne zespolenie w analizowanym czasie pożaru,
- rozwój pożaru na podstawie standardowej krzywej pożarowej wg [9],
- model do obliczania nośności na zginanie momentem dodatnim belki zespolonej poddanej oddziaływaniu ognia od spodu płyty betonowej wg załącznika E do PN-EN 1994-1-2 [10],
- temperatura strefy ściskanej betonu  $h_u$  nie przekroczy  $250^{\circ}\text{C}$ ,
- przekrój belki metalowej w warunkach pożaru jest klasy 1 lub 2.

Przekrój belek wraz z modelem obliczeniowym przedstawiono na rysunku 1.

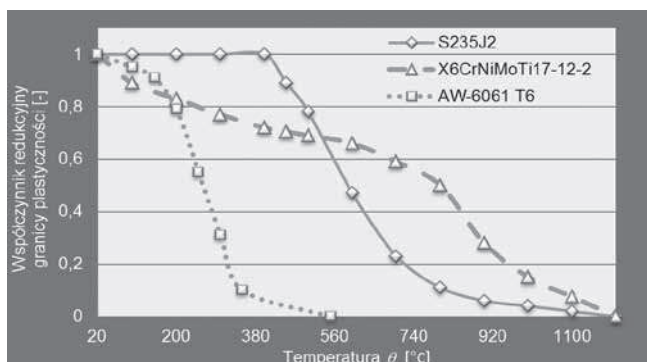
Model obliczeniowy przedstawiony na rysunku 1 wykorzystano również w artykule [11]. Wykazano w nim, że o nośności belki zespolonej stalowo-betonowej w warunkach pożaru decyduje przede wszystkim wytrzymałość stalowego przekroju. Mimo iż zastosowany tu model obliczeniowy nie jest zaawansowany numerycznie, to dobrze nadaje się do analizy pojedynczego elementu [12]. Poza wytrzymałością przekroju



Rys. 1. Przekrój analizowanych belek zespolonych



Rys. 2. Ciepło właściwe metali przyjętych w analizach



Rys. 3. Współczynniki redukcyjne granicy plastyczności metali przyjętych w analizach

stalowego o nośności na zginanie belki zespolonej w podwyższonej temperaturze może decydować również stopień zespolenia jej poszczególnych elementów [13].

Tabela 1. Dane przyjęte do obliczeń

Parametr	Wartość
Szerokość półki dolnej $b_1$ [mm]	90
Grubość półki dolnej $e_1$ [mm]	10
Szerokość półki górnej $b_2$ [mm]	90
Grubość półki górnej $e_2$ [mm]	10
Wysokość środnika $h_w$ [mm]	120
Grubość środnika $e_w$ [mm]	8
Szerokość efektywna płyty $b_{eff}$ [mm]	800
Wysokość płyty $h_c$ [mm]	75
Wysokość przekroju $h$ [mm]	140
Wytrzymałość obliczeniowa betonu na ściskanie $f_{cd}$ [MPa]	17,9
Obliczeniowa granica plastyczności stali S235J2 (1.0117) $f_{yd}$ [MPa]	235,0
Obliczeniowa granica plastyczności stali X6CrNiMoTi17-12-2 (1.4571) $f_{od}$ [MPa]	218,2
Obliczeniowa granica plastyczności stopu AW-6061 T6 (EN AW-Al Mg1SiCu) $f_{od}$ [MPa]	181,8
Gęstość stali $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	7850
Gęstość aluminium $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	2700
Emisyjność stali S235J2 (1.0117) $\epsilon_m$ [-]	0,7
Emisyjność stali X6CrNiMoTi17-12-2 (1.4571) $\epsilon_m$ [-]	0,4
Emisyjność stopu aluminium AW-6061 T6 (EN AW-Al Mg1SiCu) $\epsilon_m$ [-]	0,3
Emisyjność płomienia $\epsilon_f$ [-]	1,0
Współczynnik przewodzenia ciepła przez konwekcję $\alpha_c$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	25,0
Przedział czasu $\Delta t$ [s]	3,0
Współczynnik efektu cienia $k_{shadow}$ [-]	0,62
Wskaźnik przekroju dla dolnej półki $A_1/V_1$ [1/m]	222,2
Wskaźnik przekroju dla górnej półki $A_2/V_2$ [1/m]	122,2

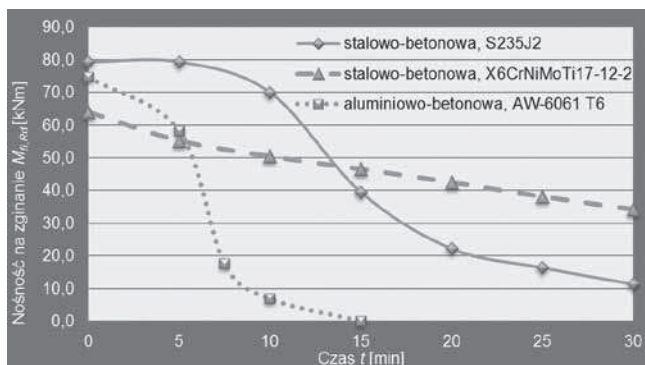
Tabela 2. Obliczenia nośności na zginanie belki zespolonej stalowo-betonowej, stal S235J2 (1.0117)

Parametr	Czas $t$ [min]						
	0	5	10	15	20	25	30
Temperatura półki dolnej $\theta_1$ [°C]	20,0	224,8	472,0	632,3	716,9	748,0	808,1
Temperatura półki górnej $\theta_2$ [°C]	20,0	144,4	327,3	495,7	621,1	704,6	738,0
Współczynnik redukcyjny wytrzymałości dla półki dolnej $k_\theta$ [-]	1,0	1,0	0,84	0,39	0,21	0,17	0,11
Współczynnik redukcyjny wytrzymałości dla półki górnej $k_\theta$ [-]	1,0	1,0	1,0	0,79	0,42	0,22	0,18
Obliczeniowa granica plastyczności w warunkach pożaru dla półki dolnej $f_{av,01}$ [MPa]	235,0	235,0	197,4	91,7	49,4	40,0	25,9
Obliczeniowa granica plastyczności w warunkach pożaru dla półki górnej $f_{av,02}$ [MPa]	235,0	235,0	235,0	185,7	98,7	51,7	42,3
Siła rozciągająca $T$ [kN]	648,6	648,6	578,7	337,6	180,6	120,8	86,2
Położenie siły rozciągającej $y_T$ [mm]	70,0	70,0	73,8	86,3	86,0	75,7	81,2
Szerokość strefy ściskanej $h_y$ [mm]	45,4	45,4	40,5	23,6	12,6	8,5	6,0
Położenie siły ściskającej $y_F$ [mm]	192,3	192,3	194,7	203,2	208,7	210,8	212,0
Nośność na zginanie $M_{fi,Rd}$ [kNm]	79,3	79,3	70,0	39,5	22,2	16,3	11,3

W niniejszej pracy założono pełne zespolenie przez cały analizowany okres pożaru, a analizowane belki różniły się między sobą materiałem, z jakiego wykonano dźwigar. Na dźwigary wybrano metale o podobnej obliczeniowej granicy plastyczności, zwracając uwagę na technologiczne możliwości wykonania dźwigara o przekroju dwuteowym.

### 3. Analizy i obliczenia

Dane przyjęte do obliczeń przedstawiono w tabeli 1. Poszczególne etapy obliczeń nośności na zginanie belek zespolonych metalowo-betonowych w warunkach pożaru przedstawiono w tabelach 2–4. Belki nagrzewano, korzystając z krzywej pożaru standardowego.



**Rys. 4.** Porównanie nośności na zginanie belek zespolonych metalowo-betonowych w warunkach pożaru

Wartości ciepła właściwego stali S235J2 (1.0117), stali nierdzewnej X6CrNiMoTi17-12-2 (1.4571) oraz stopu aluminium AW-6061 T6 (EN AW-Al Mg1SiCu) różniły się i zależały od temperatury, do jakiej nagrzana była belka (rys. 2). Przyrost temperatury w różnych częściach przekroju belki metalowej oceniano co 3 s. Temperaturę środka przyjęto taką samą jak temperaturę półki dolnej. Uprozczenie to zgodnie z [10]

można stosować dla dźwigarów o wysokości  $h < 500$  mm. Współczynniki redukujące granicę plastyczności w podwyższonej temperaturze przyjęto na podstawie norm [14, 15] i przedstawiono na rysunku 3.

#### 4. Wyniki i ich analiza

Porównanie nośności na zginanie belek zespolonych metalowo-betonowych w warunkach pożaru przedstawiono na rysunku 4.

Analizując powyższy wykres można zauważyć, że po 15 minutach pożaru wystąpiła całkowita utrata nośności na zginanie belki zespolonej aluminiowo-betonowej. Po tym samym czasie nośność belki zespolonej stalowo-betonowej z dźwigarem ze stali nierdzewnej X6CrNiMoTi17-12-2 (1.4571) zmalała o 27,2%, a nośność belki zespolonej stalowo-betonowej z dźwigarem ze stali węglowej S235J2 (1.0117) zmalała o 50,0%. Nośność belki zespolonej metalowo-betonowej w warunkach pożaru zależy przede wszystkim od wytrzymałości przekroju belki metalowej. Wraz ze wzrostem temperatury maleje granica plastyczności. Redukcja nośności

**Tabela 3.** Obliczenia nośności na zginanie belki zespolonej stalowo-betonowej, stal X6CrNiMoTi17-12-2 (1.4571)

Parametr	Czas $t$ [min]						
	0	5	10	15	20	25	30
Temperatura półki dolnej $\theta_1$ [°C]	20,0	187,1	406,8	586,7	704,3	773,6	816,6
Temperatura półki górnej $\theta_2$ [°C]	20,0	118,8	267,9	420,1	556,3	666,0	747,0
Współczynnik redukcyjny wytrzymałości dla półki dolnej $k_{\theta}$ [-]	1,0	0,84	0,72	0,66	0,59	0,52	0,46
Współczynnik redukcyjny wytrzymałości dla półki górnej $k_{\theta}$ [-]	1,0	0,88	0,79	0,71	0,67	0,61	0,55
Obliczeniowa granica plastyczności w warunkach pożaru dla półki dolnej $f_{av, \theta 1}$ [MPa]	181,8	152,7	130,9	120,0	107,3	94,5	83,6
Obliczeniowa granica plastyczności w warunkach pożaru dla półki górnej $f_{av, \theta 2}$ [MPa]	181,8	160,0	185,7	166,9	157,5	143,4	129,3
Siła rozciągająca $T$ [kN]	501,8	428,1	410,6	373,4	341,2	304,9	271,9
Położenie siły rozciągającej $y_T$ [mm]	70,0	71,0	77,8	77,3	78,6	79,4	79,8
Szerokość strefy ściskanej $h_{\theta}$ [mm]	35,1	30,0	28,7	26,1	23,9	21,3	19,0
Położenie siły ściskającej $y_F$ [mm]	197,4	200,0	200,6	201,9	203,1	204,3	205,5
Nośność na zginanie $M_{n, Rd}$ [kNm]	63,9	55,2	50,4	46,5	42,5	38,1	34,2

**Tabela 4.** Obliczenia nośności na zginanie belki zespolonej aluminiowo-betonowej, stop aluminium AW-6061 T6 (EN AW-Al Mg1SiCu)

Parametr	Czas $t$ [min]				
	0	5	7,5	10	15
Temperatura półki dolnej $\theta_1$ [°C]	20,0	227,6	351,8	462,2	626,1
Temperatura półki górnej $\theta_2$ [°C]	20,0	145,9	232,1	318,8	478,4
Współczynnik redukcyjny wytrzymałości dla półki dolnej $k_{\theta}$ [-]	1,0	0,66	0,10	0,04	0,0
Współczynnik redukcyjny wytrzymałości dla półki górnej $k_{\theta}$ [-]	1,0	0,91	0,64	0,23	0,04
Obliczeniowa granica plastyczności w warunkach pożaru dla półki dolnej $f_{av, \theta 1}$ [MPa]	218,2	155,1	23,5	9,4	0,0
Obliczeniowa granica plastyczności w warunkach pożaru dla półki górnej $f_{av, \theta 2}$ [MPa]	218,2	213,9	150,4	54,1	9,4
Siła rozciągająca $T$ [kN]	602,2	481,0	179,1	66,1	8,5
Położenie siły rozciągającej $y_T$ [mm]	70,0	77,1	111,5	109,5	135,0
Szerokość strefy ściskanej $h_{\theta}$ [mm]	42,2	33,7	12,5	4,6	0,6
Położenie siły ściskającej $y_F$ [mm]	193,9	198,2	208,7	212,7	214,7
Nośność na zginanie $M_{n, Rd}$ [kNm]	74,6	58,2	17,4	6,8	0,0

**Tabela 5.** Skład chemiczny stali S235J2 i X6CrNiMoTi17-12-2 według analizy wytopowej wyrobów płaskich dla wyrobu o grubości nominalnej  $\leq 16$  mm [16, 17]

EN 10027-1	EN 10027-2	C	Si	Mn	P	S
S235J2	1,0117	$\leq 0,17$	–	$\leq 1,40$	$\leq 0,025$	$\leq 0,025$
X6CrNiMoTi17-12-2	1,4571	$\leq 0,08$	$\leq 1,0$	$\leq 2,0$	$\leq 0,045$	$\leq 0,015$
		Cu	Cr	Mo	Ni	Ti
S235J2	1,0117	$\leq 0,55$	–	–	–	–
X6CrNiMoTi17-12-2	1,4571	–	16,5–18,5	2,0–2,5	10,5–13,5	$5 \times C - 0,70$

**Tabela 6.** Skład chemiczny stopu aluminium EN AW-6061 T6 [20–23]

EN 573-1	EN 573-2	Mg	Mn	Fe	Si	Cu	Zn
EN AW-6061 T6	EN AW-AI Mg1SiCu	0,80–1,20	$\leq 0,15$	$\leq 0,70$	0,40–0,80	0,15–0,40	$\leq 0,25$
		Cr	Ti	Inne	Inne razem		Al
EN AW-6061 T6	EN AW-AI Mg1SiCu	0,04–0,35	$\leq 0,15$	$\leq 0,05$	$\leq 0,15$		reszta

na zginanie belki zespolonej metalowo-betonowej związane jest ze zmniejszeniem właściwości wytrzymałościowych materiału, z jakiego wykonany jest metalowy dźwigar. Stopy aluminium gwałtownie tracą wytrzymałość w warunkach pożaru (patrz rys. 3), stąd nośność na zginanie w podwyższonej temperaturze dla belki zespolonej aluminiowo-betonowej szybko maleje do zera, co stanowi wadę tego rozwiązania i ogranicza zastosowanie dla tego typu elementów. Natomiast bardzo wolno maleje nośność na zginanie belki zespolonej stalowo-betonowej z dźwigarem ze stali nierdzewnej X6CrNiMoTi17-12-2 (1.4571). Źródła takiego zachowania się belki zespolonej należy upatrywać przede wszystkim w specyfice składu chemicznego i strukturze stali nierdzewnej, z jakiej został wykonany dźwigar.

Wykorzystana do analiz stal X6CrNiMoTi17-12-2 (1.4571) jest stalą stopową należącą do grupy stali specjalnych odpornych na korozję i żaroodpornych ze specjalnymi dodatkami. Pod względem składu chemicznego stal X6CrNiMoTi17-12-2 (1.4571) jest stalą austenityczną chromowo-niklowo-molibdenową stabilizowaną tytanem, dzięki temu znajduje ona zastosowanie w konstrukcjach, dla których wymagana jest zarówno odporność na korozję, jak i wytrzymałość w wysokich temperaturach. Stale tej grupy mają jednofazową strukturę austenitu i cechują się dużym stężeniem chromu oraz niklu, co wpływa na ich żaroodporność, czyli odporność na działanie chemicznych czynników utleniających, takich jak agresywne składniki gazów i spalin w temperaturach powyżej 550°C.

Skład chemiczny stali S235J2 i X6CrNiMoTi17-12-2 według analizy wytopowej wyrobów płaskich dla wyrobu o grubości nominalnej  $\leq 16$  mm zestawiono i porównano w tabeli 5. Spośród podstawowych pierwiastków wchodzących w skład tych stali na szczególną uwagę zasługują chrom i nikiel.

Chrom, którego dodanie do stali w ilości około 5% zapewnia jej żaroodporność w temperaturach do 650°C, zaś zwiększenie jego zawartości do ok. 30% powoduje wzrost żaroodporności do temperatury około 1100°C. Nikiel zaś, jako pierwiastek austenitotwórczy, nie jest stosowany samodzielnie, ponieważ nie zwiększa żaroodporności, ale przy

zawartości 9% i obecności około 18% chromu powoduje powstanie trwałej struktury austenitycznej i zwiększenie odporności stali na pełzanie, a co za tym idzie zwiększenie jej żarowytrzymałości w temperaturach powyżej 550°C. Poza tym stale austenityczne cechują się znakomitą odpornością korozyjną (oprócz środowisk zawierających jony chlorkowe) i ciągliwością, szerokim zakresem temperatur pracy, dobrą odpornością na utlenianie, wysoką udarność, dobrą formowalnością i spawalnością oraz są stalami niemagnetycznymi. Niewątpliwie wpływ na wiele zalet tych stali ma wysoka zawartość w ich składzie pierwiastków, takich jak chrom, nikiel i molibden, która przyczynia się do ich wysokiej ceny i stanowi podstawową cechę ograniczającą szerokie zastosowanie stali tej grupy w budownictwie (okucia, balustrady, elementy elewacji). Poza tym dla bardziej agresywnych środowisk występuje zwiększona zawartość pierwiastków stopowych. Pomimo to stale te znajdują szerokie zastosowanie, np. w przemyśle spożywczym, chemicznym, farmaceutycznym, papierniczym i naftowym, jako stale na: rury, wymienniki ciepła, zbiorniki do kontaktu z żywnością itp. [18, 19].

W celu uzupełnienia informacji dotyczących składu chemicznego metali przyjętych do analiz w tabeli 6 zestawiono skład dla stopu aluminium EN AW-6061 T6.

## 5. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych analiz można sformułować następujące wnioski:

- zmniejszenie nośności na zginanie belek zespolonych metalowo-betonowych związane jest przede wszystkim z redukcją parametrów wytrzymałościowych metalu, w warunkach pożaru, z jakiego jest wykonany dźwigar,
- nośność na zginanie belki zespolonej aluminiowo-betonowej szybko maleje do zera w podwyższonej temperaturze,
- wraz ze wzrostem temperatury bardzo wolno maleje nośność na zginanie belki zespolonej stalowo-betonowej z dźwigarem ze stali nierdzewnej X6CrNiMoTi17-12-2 (1.4571).

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Karlikowski J., Madaj A., Wołowicki W., Mostowe konstrukcje zespolone stalowo-betonowe, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2007
- [2] Labocha S., Elementy zespolone stalowo-betonowe, (w): Gizejowski M., Ziółko M. (red.), Budownictwo Ogólne, tom 5, Stalowe konstrukcje budynków, Projektowanie według Eurokodów z przykładami, Arkady, Warszawa, 2010
- [3] Gruszecki T., Litwin A., Zagrożenie pożarowe konstrukcji obiektów mostowych w świetle obowiązujących przepisów, Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza, tom 43, (3)/2016, str. 73–80
- [4] Turkowski P., Sulik P., Projektowanie konstrukcji stalowych z uwagi na warunki pożarowe według Eurokodu 3, ITB, Warszawa, 2015
- [5] Gwóźdź M., Suchodoła M., Bezpieczeństwo pożarowe budowlanych konstrukcji metalowych, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2016
- [6] Polus Ł., Szumigala M., Wpływ zespolenia na nośność i sztywność belki metalowej współpracującej z płytą betonową, Inżynieria i Budownictwo 6/2017, str. 320–323
- [7] Szumigala M., Chybiński M., Polus Ł., Innowacyjne konstrukcje zespolone, Przegląd Budowlany 9/2017, str. 108–110
- [8] Kurzawa Z., Polus Ł., Szumigala M., Stany graniczne i odporność pożarowa elementów stalowych według Eurokodu 3, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2016
- [9] PN-EN 1991-1-2, Eurokod 1, Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-2: Oddziaływania ogólne, Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru, PKN, Warszawa, 2006
- [10] PN-EN 1994-1-2, Eurokod 4, Projektowanie zespolonych konstrukcji stalowo-betonowych, Część 1-2: Reguły ogólne, Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe, PKN, Warszawa, 2008
- [11] Kruppa J., Zhao B., Fire resistance of composite beams to Eurocode 4 Part 1.2. Journal of Constructional Steel Research 33/1995, str. 51–69
- [12] Baj A., Łapko A., Obliczeniowa ocena nośności elementów konstrukcji zespolonych stalowo-betonowych w warunkach obciążeń pożarowych w ujęciu PN-EN 1994-1-2:2008, Budownictwo i Inżynieria Środowiska 2/2011, str. 115–121
- [13] Huang Z., Burgess I. W., Plank R. J., The influence of shear connectors on the behaviour of composite steel-framed buildings in fire. Journal of Constructional Steel Research 51/1999, str. 219–237
- [14] PN-EN 1993-1-2, Eurokod 3 Projektowanie konstrukcji stalowych, Część 1-2: Reguły ogólne, Obliczanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe, PKN, Warszawa, 2007
- [15] PN-EN 1999-1-2, Eurokod 9 Projektowanie konstrukcji aluminiowych, Część 1-2: Projektowanie konstrukcji na wypadek pożaru, PKN, Warszawa, 2007
- [16] PN-EN 10088-1:2014 Stale odporne na korozję. Część 1: Gatunki stali odporne na korozję
- [17] PN-EN 10025-2:2007 Wyroby walcowane na gorąco ze stali konstrukcyjnych. Część 2: Warunki techniczne dostawy stali konstrukcyjnych niestopowych
- [18] Dobrzański L. A., Metalowe materiały inżynierskie, WNT, Warszawa, 2004
- [19] Blicharski M., Inżynieria materiałowa. Stal, WNT, Warszawa, 2004
- [20] PN-EN 1706:2011 Aluminium i stopy aluminium. Odlewy. Skład chemiczny i własności mechaniczne
- [21] PN-EN 573-1:2006 Aluminium i stopy aluminium. Skład chemiczny i rodzaje wyrobów przerobionych plastycznie. System oznaczeń numerycznych
- [22] PN-EN 573-2:1997 Aluminium i stopy aluminium. Skład chemiczny i rodzaje wyrobów przerobionych plastycznie. System oznaczeń na podstawie symboli chemicznych
- [23] PN-EN 573-3:2014-02 Aluminium i stopy aluminium. Skład chemiczny i rodzaje wyrobów przerobionych plastycznie. Część 3: Skład chemiczny i rodzaje wyrobów

Autorzy: **Antoni Matysiak, Elżbieta Grochowska**

Tytuł: **Konstrukcje stalowe. Belki podsuwnicowe. Estakady.**

**Część II: Estakady. Słupy**

Wydawnictwo: **Oficyna Wydawnicza Uniwersytet Zielonogórski, 2018**



Antoni Matysiak i Elżbieta Grochowska

### Konstrukcje stalowe

Belki podsuwnicowe. Estakady  
Część II: Estakady. Słupy

Niniejsza praca obejmuje całokształt zagadnień potrzebnych do racjonalnego projektowania nowych i rekonstrukcji istniejących słupów estakad suwnicowych. Opracowano słupy pełnościenne typu blachownicowego i słupy typu kratownicowego.

Na słupach są oparte belki podsuwnicowe. Podstawowymi obciążeniami słupów estakad są pionowe i poziome reakcje belek obciążonych eksploatowanymi suwnicami oraz wiatrem. Wartościami sił obciążających słupy w opracowanych przykładach są siły wykazane w przykładach w pierwszej części książki: Belki podsuwnicowe.

Publikacja zawiera wiele przykładowych rozwiązań konstrukcyjnych, opatrzonych odpowiednim komentarzem i wskazówkami konstrukcyjnymi. Zamieszczone rozwiązania przedstawiono w taki sposób, w jaki należy opracować szczegóły i elementy konstrukcyjne w dokumentacji technicznej. W książce omówiono i przedstawiono zasady projektowania według norm europejskich PN-EN. Tylko niektóre zagadnienia przedstawiono według norm polskich PN. Dla ułatwienia korzystania z norm i książki, w treści zamieszczono numerację wzorów, rysunków i tablic zgodnie z numeracją normową i z kolejnymi numerami własnymi.

Publikacja jest przeznaczona przede wszystkim dla inżynierów zatrudnionych przy projektowaniu i wykonawstwie budownictwa przemysłowego. Można ją również polecić studentom wydziałów budownictwa uczelni wyższych.