

dr inż. Tomasz Nowak¹⁾

Wpływ smukłości przekrojów zginanych elementów z drewna klejonego warstwowo na nośność w warunkach pożaru

The cross-sectional slenderness of bent glued-laminated timber elements and its effect on their load-bearing capacity in the case of fire

DOI: 10.15199/33.2015.01.15

Streszczenie. W pracy przedstawiono algorytm obliczeń nośności zginanych przekrojów z drewna klejonego o stałej wysokości wg Eurokodu 5. Podano różnice w wartościach efektu oddziaływań w warunkach pożaru w zależności od przyjętej metody jego obliczania. Ponadto przedstawiona została analiza wpływu smukłości przekroju na jego nośność z uwzględnieniem utraty stateczności przy zginaniu. Porównano dwie metody szacowania nośności w warunkach pożaru – zredukowanego przekroju oraz zredukowanych właściwości.

Słowa kluczowe: konstrukcje drewniane, odporność ogniowa, stateczność giętą.

Abstract. This paper presents an algorithm for calculating the load-bearing capacity of bent constant-height glulam elements, in accordance to Eurocode 5. The differences in the values of the design effect of action for the fire situation, depending on the adopted calculation method, are included. Moreover, an analysis of the effect of the cross-sectional slenderness on the load-bearing capacity of the cross section, taking into account the loss of stability under bending, is carried out. Two methods of estimating load-bearing capacity in fire conditions, i.e. the reduced cross-section method and the reduced properties method, are compared.

Keywords: timber structures, fire resistance, lateral buckling.

Pomimo obiegowych opinii dotyczących małej odporności ogniowej konstrukcyjnych elementów drewnianych niezabezpieczone masywne elementy z drewna klejonego warstwowo, stanowiące nośną konstrukcję dachu, na ogół spełniają warunek R30, a przy odpowiednich wymiarach przekroju poprzecznego można uzyskać odporność ogniową nawet powyżej 60 min [1].

W artykule przedstawiono analizę wpływu smukłości na nośność zginanego przekroju z drewna klejonego warstwowo w warunkach pożaru oraz wpływ wyboru metody obliczania nośności i wyznaczania obliczeniowych efektów oddziaływań w warunkach pożarowych na uzyskane rezultaty. Wpływ smukłości na nośność przekroju zginanego jest często pomijany w obliczeniach sprawdzających odporność ogniową. Ocena samych naprężeń przy zginaniu jest niewystarczająca, w obliczeniach należy uwzględnić współczynnik zwirchrenia:

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} \quad (1)$$

¹⁾ Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego; e-mail: tomasz.nowak@pwr.edu.pl

gdzie:

$\sigma_{m,d}$ – obliczeniowe naprężenie przy zginaniu;
 $f_{m,d}$ – obliczeniowa wytrzymałość na zginanie;
 k_{crit} – współczynnik uwzględniający redukcję wytrzymałości ze względu na zwirchowanie elementu (współczynnik stateczności giętej).

Tylko w przypadku belek zabezpieczonych na całej swej długości w strefie ściskanej przed przemieszczeniami bocznymi i na podporach przed skręcaniem można bez wykonywania obliczeń uznać, że przekrój jest zabezpieczony przed zwirchreniem i przyjąć, że współczynnik $k_{crit} = 1$. Jeżeli zabezpieczenie belki przed zwirchreniem ulegnie w czasie pożaru uszkodzeniu, należy ten fakt uwzględnić w obliczeniach.

Obliczeniowy efekt oddziaływań w warunkach pożaru

W warunkach pożaru należy sprawdzić, dla wymaganego czasu jego oddziaływania, warunek nośności:

$$E_{d,fi} \leq R_{d,fi} \quad (2)$$

gdzie:

$E_{d,fi}$ – obliczeniowy efekt oddziaływania w warunkach pożaru uwzględniający efekty rozszerzalności i deformacji termicznej;
 $R_{d,fi}$ – nośność obliczeniowa w warunkach pożaru.

W celu weryfikacji standardowej odporności ogniowej wystarczająca jest analiza elementów. Zgodnie z [2] pożar zalicza się do wyjątkowych sytuacji obliczeniowych. Kombinację oddziaływań w warunkach pożaru można wyrazić wzorem:

$$A_c = \left(\log_{10} \frac{I_0}{I_t}\right) \cdot \frac{1}{\%T} \cdot \frac{I_1^3}{I_2} \quad (3)$$

gdzie:

G_k – wartość charakterystyczna obciążenia stałego;
 Q_k – wartość charakterystyczna obciążenia zmiennego;
 Ψ_1 – współczynnik dla wartości częstej oddziaływania zmiennego;
 Ψ_2 – współczynnik dla wartości prawie stałej oddziaływania zmiennego.

W sytuacji pożaru zaleca się stosowanie wartości prawie stałej obciążenia zmiennego $\Psi_{2,1} Q_1$, ale wg załącznika krajowego NB normy [3] należy przyjmować wartość częstą $\Psi_{1,1} Q_1$.

W przypadku dachów płaskich, w warunkach pożaru znaczenie mają jedynie obciążenia stałe oraz dominujące obciążenie zmienne (najczęściej śnieg). Wówczas wzór (3) można zapisać w uproszczonej postaci:

$$\sum G_{k,j} + \psi_{1,1} Q_{k,1} \quad (4)$$

Jako alternatywę i uproszczenie wzoru (2), skutek oddziaływań $E_{d,fi}$ można otrzymać z analizy temperatury normalnej przez zastosowanie współczynnika redukcyjnego obciążenia obliczeniowego w warunkach pożaru η_{fi} z wzoru:

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} E_d \quad (5)$$

gdzie:

E_d – wartość obliczeniowa efektu oddziaływań w temperaturze normalnej w przypadku podstawowej kombinacji obciążeń wg [3].

Jako kolejne uproszczenie zgodnie z [3] zalecaną wartością jest $\eta_{fi} = 0,6$, z wyjątkiem obciążeń powierzchni przeznaczonych do przechowywania towarów.

Wartość współczynnika $\psi_{1,1}$ w zależności od wysokości położenia budynku, tj. do wysokości 1000 m włącznie oraz powyżej, wynosi odpowiednio 0,2 lub 0,5 [2].

W tabeli 1 zestawiono różnice wartości obliczeniowego efektu oddziaływań w warunkach pożaru w zależności od przyjętej metody jej wyznaczania: metoda 1 wg wzoru (4) oraz metoda 2 wg (5). W analizie przyjęto współczynnik k [%], który jest stosunkiem wartości zmiennego obciążenia charakterystycznego (śniegu) do sumy obciążeń charakterystycznych:

$$k = \frac{Q_{k,1}}{\sum G_{k,j} + Q_{k,1}} \cdot 100\% \quad (6)$$

Przy wyznaczeniu wartości obliczeniowej efektu oddziaływań w temperaturze normalnej przyjęto, zgodnie z [2],

Tabela 1. Różnice wartości obliczeniowych efektów oddziaływań dla warunków pożarowych w zależności od metody obliczeniowej

k [%]	$\Delta E_{d,fi}$ [%]	
	przy $\Psi_{1,1} = 0,2$	przy $\Psi_{1,1} = 0,5$
20	1,4	8,7
25	- 3,9	5,1
30	- 9,2	1,6
35	- 14,4	- 2,0
40	- 19,6	- 5,4
45	- 24,8	- 8,9
50	- 29,8	- 12,3
55	- 34,8	- 15,6
60	- 39,8	- 19,0
65	- 44,7	- 22,3
70	- 49,6	- 25,5
75	- 54,4	- 28,8
80	- 59,2	- 32,0

współczynniki częściowe: w przypadku obciążeń stałych $\gamma_G = 1,35$ i obciążeń zmiennych $\gamma_Q = 1,5$. Różnice wartości obliczeniowych efektów oddziaływań w warunkach pożaru, w przypadku dwóch przedstawionych metod, wyznaczono wg wzoru:

$$\Delta E_{d,fi} = \frac{E_{d,fi,met1} - E_{d,fi,met2}}{E_{d,fi,met2}} \cdot 100\% \quad (7)$$

Przyjęcie współczynnika redukcyjnego $\eta_{fi} = 0,6$ w metodzie 2 do określania skutków oddziaływań w warunkach pożaru, w przypadku obciążenia ciężarem własnym i śniegiem, jest niewłaściwe i prowadzi do znacznego zawyżenia wartości obciążeń w stosunku do metody 1. Szczególnie istotne różnice pojawiają się, gdy udział obciążeń zmiennych, w tym przypadku śniegu, jest znaczny (tabela 1). Uzyskane wartości obliczeniowych efektów oddziaływań z zastosowaniem współczynnika $\eta_{fi} = 0,6$ (metoda 2) należy uznać za mało wiarygodne [4].

Metody obliczania nośności w warunkach pożaru

W [5] przedstawione są dwie metody obliczania nośności w warunkach pożaru: metoda zredukowanego przekroju (zalecana) oraz metoda zredukowanych właściwości. **Metoda zredukowanego przekroju** polega na określeniu efektywnego przekroju poprzecznego – zmniejszeniu początkowego przekroju poprzecznego o efektywną głębokość zwęglania d_{ef} (rysunek 1).

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 d_0 \quad (8)$$

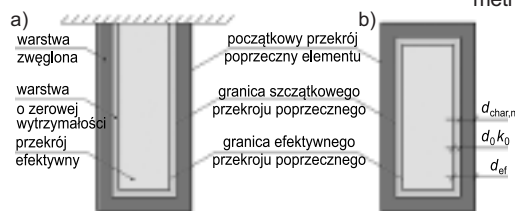
gdzie:

d_0 – głębokość warstwy o zerowej wytrzymałości, wynosząca 7 mm;

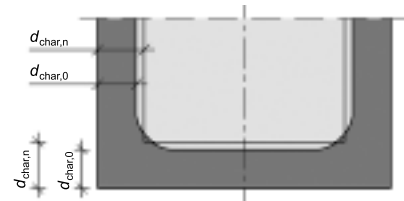
k_0 – współczynnik równy 1,0 dla pożaru trwającego nie mniej niż 20 min;

$d_{char,n}$ – obliczeniowa głębokość zwęglania, uwzględniająca wpływ zaokrąglenia narożników (rysunek 2).

Obliczeniową głębokość zwęglania $d_{char,n}$ wyznacza się jako iloczyn czasu oddziaływania pożaru t (np. zgodnie z wymaganiami zawartymi w [9]) oraz



Rys. 1. Szczytkowy i efektywny przekrój poprzeczny dla ekspozycji ognia: a) z 3 stron; b) z 4 stron



Rys. 2. Głębokość zwęglania jednokierunkowego $d_{char,0}$ oraz uwzględniająca wpływ zaokrąglenia narożników $d_{char,n}$

obliczeniowej prędkości zwęglania z uwzględnieniem wpływu na zaokrąglenia narożników β_n (w przypadku drewna klejonego warstwowo wynosi 0,7 mm/min).

$$d_{char,n} = \beta_n t \quad (9)$$

Metoda zredukowanych właściwości polega na określeniu szczytkowego przekroju poprzecznego wg wzoru [9] oraz przyjęciu współczynników modyfikacyjnych w warunkach pożaru $k_{mod,fi}$ (dla czasu oddziaływania pożaru $t \geq 20$ min) w przypadku zginania wg wzoru (10) i modułu sprężystości wg wzoru (11).

$$k_{mod,fi,m} = 1,0 - \frac{1}{200} \frac{p}{A_r} \quad (10)$$

$$k_{mod,fi,E} = 1,0 - \frac{1}{330} \frac{p}{A_r} \quad (11)$$

gdzie:

p – obwód szczytkowego przekroju poprzecznego [m];

A_r – powierzchnia szczytkowego przekroju poprzecznego [m²].

W warunkach pożaru wartości obliczeniowe wytrzymałości $f_{d,fi}$ oraz sztywności $S_{d,fi}$ są wyznaczone wg wzorów:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (12)$$

$$S_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{S_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (13)$$

gdzie:

$k_{mod,fi}$ – współczynnik modyfikujący w warunkach pożaru; w metodzie zredukowanego przekroju przyjmowany 1,0, a w metodzie zredukowanych właściwości wg wzorów (10), (11);

$\gamma_{M,fi}$ – współczynnik częściowy drewna w warunkach pożaru ($\gamma_{M,fi} = 1,0$);

f_{20} , S_{20} – 20% kwantyl wytrzymałości, parametru sztywności w temperaturze normalnej.

20% kwantyl wytrzymałości (parametru sztywności) obliczany jest jako iloczyn 5% kwantyla wytrzymałości (parametru sztywności) i współczynnika k_{fi} ($k_{fi} = 1,15$ dla drewna klejonego warstwowo; $k_{fi} = 1,25$ dla drewna litego).

Nośność przekroju zginanego w warunkach pożaru z uwzględnieniem utraty stateczności

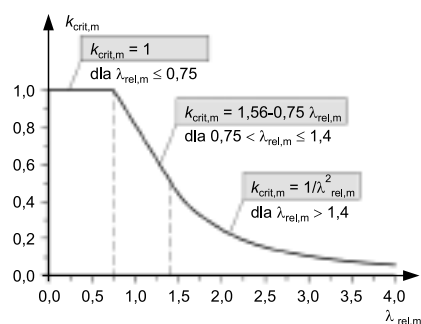
Nośność na zginanie jednokierunkowe w warunkach pożaru można wyznaczyć ze wzoru:

$$R_{m,d,fi} = k_{crit,m} f_{m,d,fi} W_{y,ef(t)} \quad (14)$$

gdzie:

$W_{y,ef(t)}$ – wskaźnik na zginanie, w zależności od metody szacowania nośności – przekroju efektywnego lub szczątkowego.

Współczynnik stateczności giętej $k_{crit,m}$, zgodnie z [6], zależy od wartości smukłości względnej przy zginaniu $\lambda_{rel,m}$ (rysunek 3).



Rys. 3. Zależność pomiędzy współczynnikiem stateczności giętej a smukłością względną przy zginaniu

Smukłość względna przy zginaniu wyrażona jest wzorem:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad (15)$$

gdzie:

$f_{m,k}$ – wytrzymałość charakterystyczna na zginanie.

Naprężenia krytyczne przy zginaniu $\sigma_{m,crit}$ należy wyznaczyć wg wzoru:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \sqrt{E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{tor}}}{I_{ef} W_y} \quad (16)$$

Moment bezwładności przy zginaniu dla przekroju prostokątnego można zapisać w uproszczonej postaci [7]:

$$I_{tor} \sim \frac{hb^3}{3} \left(1 - 0,63 \frac{b}{h}\right) \quad (17)$$

Wtedy:

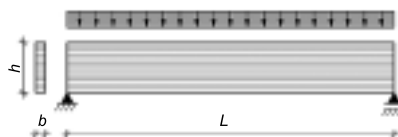
$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi b^2}{h I_{ef}} \sqrt{E_{0,05} G_{0,05} \left(1 - 0,63 \frac{b}{h}\right)} \quad (18)$$

gdzie:

b, h – szerokość, wysokość przekroju poprzecznego;
 I_{ef} – efektywna długość w przypadku belki swobodnie podpartej, obciążonej obciążeniem równomiernie rozłożonym przyłożonym do górnej powierzchni belki $I_{ef} = 0,9l + 2h$;
 $E_{0,05}, G_{0,05}$ – 5% kwantyl modułu sprężystości wzdłuż włókien i odkształcenia postaciowego.

Wpływ smukłości przekroju zginanego na jego nośność

Analizie poddano dźwigar dachowy, o schemacie belki swobodnie podpartej obciążonej obciążeniem równomiernie rozłożonym (rysunek 4). W analizie przyjęto stałą wysokość przekroju $h = 1000$ mm, a szerokość belki zmie-



Rys. 4. Schemat statyczny analizowanego dźwigara drewnianego

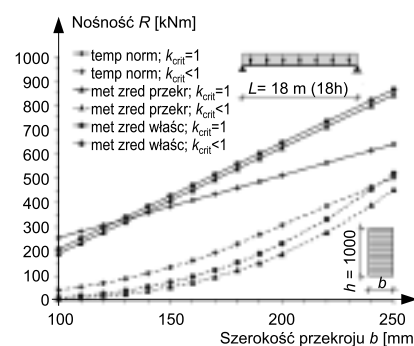
niała się w zakresie $b = 100 \div 250$ mm. Przyjęto rozpiętość obliczeniową belki L jako 12, 15, 18 i 21-krotność wysokości przekroju oraz ekspozycję ognia z trzech stron. Założono, że górna powierzchnia dźwigara zabezpieczona jest pokryciem i sprawdzono nośność dźwigara w temperaturze normalnej oraz po $t_{req} = 30$ min pożaru metodami zredukowanego przekroju i zredukowanych właściwości. Przyjęte w analizie dane zestawiono w tabeli 2. Parametry popularnej klasy drewna klejonego GL24c przyjęto zgodnie z [8]. W temperaturze normalnej, zgodnie z [6], współczynnik modyfikacyjny k_{mod} wynosi 0,8 (dla 1 i 2 klasy użytkowania i obciążeń średniotrwałych – śniegu), a częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla właściwości materiału $\gamma_M = 1,25$.

Tabela 2. Dane przyjęte do analizy

Parametry	W temperaturze normalnej	W warunkach pożaru, $t_{req} = 30$ min	
		metoda zredukowanego przekroju	metoda zredukowanych właściwości
Szerokość przekroju poprzecznego [mm]	$b = 100 \div 250$	$b_{ef} = b - 2 \cdot d_{ef} = b - 2 \cdot 28$	$b_r = b - 2 \cdot d_{char,n} = b - 2 \cdot 21$
Wysokość przekroju poprzecznego [mm]	$h = 1000$	$h_{ef} = h - d_{ef} = h - 28$	$h_r = h - d_{char,n} = h - 21$
Obliczeniowa długość [mm]	$l = 12000; 15000; 18000; 21000$		
Efektywna długość [mm]	$l_{ef} = 0,9 \cdot l + 2 \cdot h$	$l_{ef} = 0,9 \cdot l + 2 \cdot h_{ef}$	$l_{ef} = 0,9 \cdot l + 2 \cdot h_r$
Współczynnik modyfikacyjny	$k_{mod} = 0,8$	$k_{mod,fi} = 1,0$	$k_{mod,fi,m} = 1,0 - \frac{1}{200} \frac{\rho}{A_r}$ $k_{mod,fi,E} = 1,0 - \frac{1}{330} \frac{\rho}{A_r}$
Wytrzymałość na zginanie [MPa]	$f_{m,k} = 24,0$ $f_{m,d} = 15,36$	$f_{m,20} = 27,6$ $f_{m,d,fi} = 27,6$	$f_{m,20} = 27,6$ $f_{m,d,fi} = 27,6 \cdot k_{mod,fi,m}$
Moduł sprężystości podłużnej [MPa]	$E_{0,05} = 9100$	$E_{0,20} = 10\ 465$	$E_{0,20} = 10\ 465$
Moduł sprężystości poprzecznej [MPa]	$G_{0,05} = 540$	$E_{0,20} = 621$	$E_{0,20} = 621$

Przy wyznaczaniu smukłości względnej przy zginaniu – wzory (15) i (18) – a następnie współczynnika zwiczerzenia jest kwestią dyskusyjną, jakie powinno się przyjmować wartości wytrzymałości na zginanie oraz modułu sprężystości podłużnej i poprzecznej. W literaturze przedmiotu nie ma jednoznaczności. W normie [5] również brakuje jednoznacznego zapisu. Ze względu na strukturę wzorów (15) i (18) nie ma jednakże znaczenia, czy przyjęte zostaną 5% czy 20% kwantyle wartości. W analizie konsekwentnie jednak przyjęto $f_{m,20}, E_{0,20}, G_{0,20}$ (tabela 2).

W tabeli 3 przedstawiono wartości nośności dźwigara, zgodnie z wzorem (14), uwzględniające zabezpieczenie przed utratą stateczności przy zginaniu ($k_{crit} = 1$) oraz jego brak ($k_{crit} \neq 1$). Na rysunku 5 pokazano wpływ szerokości przekroju (smukłości) na jego nośność



Rys. 5. Wpływ szerokości przekroju (smukłości) przy stałej wysokości $h = 1000$ mm i długości $l = 18\ 000$ mm na jego nośność w temperaturze normalnej i w warunkach pożaru

Tabela 3. Nośność na zginanie dźwigara z drewna klejonego warstwowo GL24c w warunkach normalnych i po 30 min pożaru (ekspozycja ognia z trzech stron)

Smukłość przekroju h/b [-]	Nośność dźwigara R [kNm]					
	w temperaturze normalnej		w warunkach pożaru, $t_{req} = 30$ min			
	$k_{crit} = 1$	$k_{crit} \neq 1$	metoda zredukowanego przekroju		metoda zredukowanych właściwości	
			$k_{crit} = 1$	$k_{crit} \neq 1$	$k_{crit} = 1$	$k_{crit} \neq 1$
$l = 12\ 000$ mm						
1000/250 = 4	640,00	583,08	843,13	594,05	863,58	653,71
1000/200 = 5	512,00	387,20	625,82	269,92	645,39	330,73
1000/150 = 6,67	384,00	191,43	408,52	76,41	427,20	104,13
1000/100 = 10	256,00	57,70	191,22	7,97	209,01	14,95
$l = 15\ 000$ mm						
1000/250 = 4	640,00	541,38	843,13	521,31	863,58	583,85
1000/200 = 5	512,00	345,87	625,82	222,73	645,39	273,04
1000/150 = 6,67	384,00	158,09	408,52	63,05	427,20	85,94
1000/100 = 10	256,00	47,65	191,22	6,58	209,01	12,33
$l = 18\ 000$ mm						
1000/250 = 4	640,00	503,17	843,13	454,70	863,58	519,86
1000/200 = 5	512,00	308,01	625,82	189,59	645,39	232,44
1000/150 = 6,67	384,00	134,63	408,52	53,67	427,20	73,16
1000/100 = 10	256,00	40,58	191,22	5,60	209,01	10,50
$l = 21\ 000$ mm						
1000/250 = 4	640,00	467,70	843,13	396,26	863,58	460,49
1000/200 = 5	512,00	272,87	625,82	165,03	645,39	202,35
1000/150 = 6,67	384,00	117,24	408,52	46,72	427,20	63,69
1000/100 = 10	256,00	35,34	191,22	4,87	209,01	9,14

w temperaturze normalnej oraz w warunkach pożaru, wyznaczoną metodą zredukowanego przekroju i zredukowanych właściwości. Różnice wartości nośności ΔR (bez i z uwzględnieniem utraty stateczności) w warunkach pożaru, wyznaczonych dwiema różnymi metodami (zredukowanego przekroju oraz zredukowanych właściwości), podano w tabeli 4.

Tabela 4. Różnice wartości nośności ΔR w warunkach pożaru ($t_{req} = 30$ min) wyznaczonych metodami zredukowanego przekroju i zredukowanych właściwości

h/b [-]	ΔR [%]	
	$k_{crit} = 1$	$k_{crit} \neq 1$
1000/250 = 4	2,4	10,0 + 16,2
1000/200 = 5	3,1	22,5 + 22,6
1000/150 = 6,67	4,6	36,3
1000/100 = 10	9,3	87,4+87,7

Wnioski

Przy ocenie nośności zginanych przekrojów z drewna klejonego warstwowo nie można pominąć wpływu smukłości. Nawet jeśli przekrój jest zabezpieczony przed utratą stateczności przy zginaniu, to należy analizować, czy zabezpieczenie nie ulegnie uszko-

dzeniu w czasie pożaru i ten fakt uwzględnić w obliczeniach. Wpływ smukłości przekroju na jego nośność jest szczególnie duży w warunkach pożaru (tabela 5).

Przyjęcie uproszczonej metody wyznaczania oddziaływań i współczynnika $\eta_{fi} = 0,6$ w warunkach pożaru jest niewskazane. Uzyskane w ten sposób wartości należy uznać za mało wiarygodne. Różnica pomiędzy obciążeniami wyznaczonymi metodą uproszczoną [5] oraz na podstawie kombinacji oddziaływań w przypadku wyjątkowych sytuacji obliczeniowych [2] wynosiła w analizowanym przypadku prawie 60%. Zginane elementy z drewna klejonego warstwowo o niewielkiej

Tabela 5. Zmiana smukłości przekroju prostokątnego z drewna klejonego warstwowo po 30 minutach pożaru

Początkowa smukłość przekroju h/b [-]	Smukłość przekroju efektywnego po 30 min pożaru h_{ef}/b_{ef} [-]
1000/250 = 4	972/194 = 5,01
1000/200 = 5	972/144 = 6,75
1000/150 = 6,67	972/94 = 10,34
1000/100 = 10	972/44 = 22,09

smukłości przekroju (w analizowanych przypadkach ok. 4) mają większą nośność po 30 min pożaru niż w warunkach normalnych. Wynika to z przyjmowania wyższych wartości obliczeniowych wytrzymałości w warunkach pożaru niż w warunkach normalnych. Należy pamiętać, że w warunkach pożaru przyjmowane są obciążenia o znacznie niższej wartości niż w warunkach normalnych. W przypadku współczynnika k w zakresie $0,2 \div 0,8$ różnica wynosi od 53 do 145%.

W zależności od przyjętej metody szacowania nośności przekroju zginanego w warunkach pożaru uzyskano różne wyniki. W przypadku bardzo smukłego przekroju ($h/b = 10$), nośność przekroju wyznaczona metodą zredukowanych właściwości jest większa o 87,7% od nośności wyznaczonej metodą zredukowanego przekroju, dlatego też zalecaną procedurą weryfikacji nośności w warunkach pożaru jest druga z wymienionych metod (rekomendowana w [5]).

Literatura

- [1] Sulik P.: Odporność ogniowa konstrukcji drewnianych. Ochrona Przeciwożarowa 4/2007, s. 12 – 13.
- [2] PN-EN 1990:2004 + AC:2008 + AC:2010. Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji.
- [3] PN-EN 1991-1-2:2006 + NA:2010. Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-2: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru.
- [4] Maślak M.: Trwałość pożarowa stalowych konstrukcji prętowych. Monografia 370. Seria „Inżynieria Lądowa”. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2008.
- [5] PN-EN 1995-1-2:2008 + AC:2009 + NA:2010. Eurokod 5: Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 1-2: Postanowienia ogólne. Projektowanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe.
- [6] PN-EN 1995-1-1:2010. Eurokod 5: Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 1-1: Postanowienia ogólne. Reguły ogólne i reguły dotyczące budynków.
- [7] Larsen H. J.: Design of structures based on glulam, LVL and other solid timber products. [w:] Timber Engineering. Praca zbiorowa pod red. S. Thelandersson, H. J. Larsen. Wiley & Sons, London, 2003.
- [8] PN-EN 14080:2013. Konstrukcje drewniane. Drewno klejone warstwowo i drewno lite klejone warstwowo. Wymagania.
- [9] Ustawa z 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane. Dz.U. z 2006 r. nr. 156, poz. 1118 z późn. zmianami.

Otrzymano 5.06.2014 r.
Przyjęto do druku 26.11.2014 r.