

ANNA DĘBOWSKA*, WOJCIECH SKOWROŃSKI**

AKTUALNE TENDENCJE NORMALIZACYJNE W ZAKRESIE BEZPIECZEŃSTWA POŻAROWEGO KONSTRUKCJI DREWNIANYCH

CURRENT STANDARDS TENDENCIES ON FIRE SAFETY OF TIMBER STRUCTURES

Streszczenie

Pożary w budynkach są nieprzewidywalne, kiedy się wydarzą, powodują ogromne zniszczenia. Bezpieczeństwo użytkowników zależy od wielu czynników uwzględnianych już przy projektowaniu obiektu budowlanego. Projektowanie na wypadek pożaru jest zatem ważnym elementem całościowego procesu zapewnienia bezpieczeństwa pożarowego konstrukcji. W artykule omówiono obowiązujące aktualnie wymagania związane z bezpieczeństwem pożarowym obiektów budowlanych, a także przedstawiono krótką charakterystykę metod ochrony przeciwpożarowej elementów drewnianych.

Słowa kluczowe: pożar, odporność ogniowa, konstrukcje drewniane, bezpieczeństwo pożarowe

Abstract

Fires in buildings are unpredictable events, when they occur, they can cause great damage. The safety of the occupants depends on many factors taken into account at the stage of buildings design. Structural fire design is an important part of the overall process of providing fire safety of structures. This paper describes currently valid requirements connected with fire safety of structures and also presents a short characteristic of methods of fire protection of timber elements.

Keywords: fire, fire resistance, timber structures, fire safety

*Dr inż. Anna Dębowska, Katedra Podstaw Projektowania Budowlanego, Wydział Budownictwa, Politechnika Opolska.

**Prof. dr hab. inż. Wojciech Skowroński, Katedra Budownictwa i Infrastruktury, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu.

1. Wstęp

Projektanci budowli i budynków przy podejmowaniu decyzji o zabezpieczeniach ogniochronnych powinni korzystać z formuł obliczeniowych, by uzasadnić poziom bezpieczeństwa [1]. Bezpieczeństwo pożarowe konstrukcji drewnianych powinno być analizowane na podstawie zagadnień cieplnych i równań nośności ogrzewanej konstrukcji, przedstawionych np. w [2]. Analizy konstrukcji drewnianych w wielu przypadkach powinny być bardzo precyzyjne, gdyż dotyczą budynków, których elementy wykonane są z materiałów o niekorzystnej charakterystyce ze względu na kryteria palności. Dodać należy, że aktualnie w normach rezygnuje się z wielu kontrowersyjnych uproszczeń powszechnie funkcjonujących w praktyce projektowej podczas analizy konstrukcji ze względu na obciążenie wyjątkowe pożarem i przyjmuje się bardziej obiektywne kształtowanie zabezpieczeń ogniochronnych.

2. Wymagania techniczno-budowlane w zakresie bezpieczeństwa pożarowego

Przepisy określające wymagania dotyczące bezpieczeństwa pożarowego budynków muszą być w szczególny sposób respektowane w odniesieniu do konstrukcji drewnianych. W tym zakresie zapewnienie bezpieczeństwa wymaga uwzględnienia zaleceń techniczno-budowlanych narzucających ograniczenie w przypadku pożaru:

- prędkości utraty nośności konstrukcji (nośność powinna być zachowana w czasie wynikającym z możliwości ewakuacji ludzi przy uwzględnieniu bezpieczeństwa ekip ratowniczych), co jest głównym tematem niniejszej pracy,
- rozprzestrzeniania się ognia i dymu w budynku,
- rozprzestrzeniania się pożaru na sąsiednie budynki.

Zgodnie z § 216, ust. 1, rozporządzenia [3] podstawowe elementy konstrukcji w budynkach zaliczanych do klas odporności pożarowej A, B, C, D oraz E powinny spełniać wymagania nośności ogniowej zawarte w tabl. 1.

Tablica 1

Klasa odporności ogniowej wybranych elementów konstrukcji

Klasa odporności pożarowej budynku	Klasa odporności ogniowej elementów:	
	głównej konstrukcji nośnej	konstrukcji stropów
A	R 240	REI 120
B	R 120	REI 60
C	R 30	REI 60
D	R 30	REI 30
E	–	–

3. Potencjalne możliwości analizy pożarowej

Aktualne tendencje normalizacyjne wiążą się z nowym podejściem do problemu oddziaływania pożaru na konstrukcje, który wynika z teorii wymiany ciepła w ogrzewanych elementach budowlanych, rozpatrywanych z uwzględnieniem prędkości wzrostu temperatury.

W Eurokodzie 1 zakłada się, że temperatura spalin w pomieszczeniach ogarniętych pożarami wzrasta zgodnie z krzywymi „temperatura–czas”. Niektóre z nich podane są w dokumencie interpretacyjnym do Dyrektywy Rady Wspólnot Europejskich 89/106/EEC dotyczącej wyrobów budowlanych [4]. Wzrost temperatury spalin w pomieszczeniu ogarniętym pożarem (po momencie rozgorzenia) zależy przede wszystkim od: obciążenia ogniowego, ilości dopływającego do pomieszczenia powietrza, kształtu pomieszczenia oraz właściwości cieplnych ścian i stropów. Zarówno na forum międzynarodowym, jak i w kraju dyskutowany był problem założeń, jakie należy przyjmować podczas projektowej analizy konstrukcji w tak zwanych sytuacjach wyjątkowych (*accidental situations*), do których zaliczany jest pożar. Chodzi o uwzględnienie scenariuszy pożarów dających możliwość jak najwszechstronnejszej analizy konstrukcji oraz optymalnego doboru kosztownych izolacji ogniochronnych i tym podobnych zabezpieczeń. Uwzględniono je, dopuszczając stosowanie innych krzywych „temperatura–czas” opisujących bardziej i mniej intensywny rozwój pożaru, takich jak krzywa węglowodorowa, krzywa zewnętrzna, krzywa tłącego się ognia. Najbardziej uniwersalna jest krzywa parametryczna wyrażająca rezygnację z uogólnień, opisująca pożar w konkretnym pomieszczeniu z uwzględnieniem zarówno wzrostu temperatury, jak i spadku – w fazie studzenia

$$T = 1325[1 - 0,324 \exp(-0,2t^*) - 0,204 \exp(-1,7t^*) - 0,472 \exp(-19t^*)] \quad (1)$$

gdzie:

T – temperatura,

t^* – funkcja czasu, obciążenia ogniowego, geometrii i wentylacji pomieszczenia, co szczegółowo opisano w Eurokodzie 1, cz. 2 [5].

Gorące gazy w ogarniętym pożarem pomieszczeniu przekazują ciepło elementom konstrukcyjnym. Procesy cieplne zachodzące w konstrukcji i jej izolacji ogniochronnej modeluje się za pomocą równania Fouriera-Kirchhoffa z upustami cieplnymi

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} T) + q \quad (2)$$

gdzie:

t – czas,

q – upust ciepła przemieszczającego się wraz z wilgocią,

c – ciepło właściwe,

ρ – gęstość,

λ – współczynnik przewodności cieplnej.

Na styku materiału konstrukcyjnego i izolacji ogniochronnej obowiązują warunki ciągłości temperatury i gęstości strumienia cieplnego, natomiast wymianę ciepła między powierzchnią zewnętrzną (narażoną na ogień) a otaczającym konstrukcję ośrodkiem można opisać prawem Newtona

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha \Delta T \quad (3)$$

gdzie:

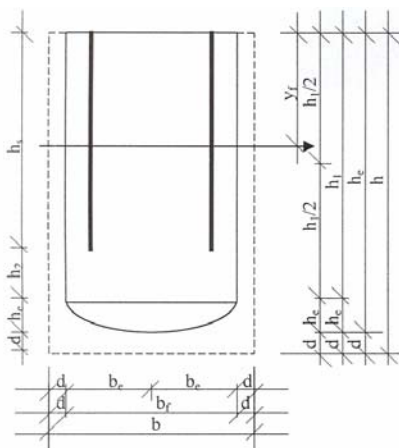
$\partial T/\partial n$ – pochodna w kierunku normalnej do brzegu obszaru,

ΔT – różnica temperatury otoczenia i temperatury izolacji ogniochronnej (lub powierzchni materiału konstrukcyjnego),

α – współczynnik przyjmowania ciepła.

Założenia analiz konstrukcji budowlanych w warunkach pożaru określone zostały między innymi w wytycznych ITB, wytycznych ECCS, normach Eurocode i są nadal dyskutowane. Przy czym wyraźny jest brak informacji umożliwiających sformułowanie racjonalnych modeli obliczeniowych dla potrzeb pożarowej analizy konstrukcji o przekrojach drewnianych. Do rzadko podejmowanych dotychczas należy problem zarówno wpływu prędkości ogrzewania, jak i nieliniowości fizycznej na wyniki obliczeń wartości sił wewnętrznych, ugięć i naprężeń w ogarniętych pożarem elementach konstrukcyjnych.

Konsekwencje nieliniowego zachowania się konstrukcji w pożarze są istotne (często są niekorzystne) z punktu widzenia bezpieczeństwa (o czym była mowa w pracy [2]), ale równocześnie prowadzą do nieco bardziej skomplikowanej analizy charakterystyk przekroju poprzecznego, co pokazano poniżej, rozpatrując przekrój prostokątny drewniany z blachami stalowymi (pokazany na ryc. 1).



Ryc 1. Element drewniany ekspozowany termicznie z trzech stron

Fig. 1. Timber member expose to fire on three sides

W pożarze drewniany rdzeń przekroju ulega sukcesywnej redukcji. W prezentowanej analizie przekrój został rozdzielony na część prostokątną i wyokrągloną (aproksymowaną kształtem połowy elipsy). Cechy geometryczne przykładowego przekroju (ryc. 1) określono, traktując przekrój jako sprowadzony do drewna (wówczas charakterystyki wyznacza się przy uwzględnieniu we wzorach obliczeniowych parametru poprawkowego η_{sw}).

$$\eta_{sw,f} = \frac{A_s^{-1/n_s}}{A_w^{-1/n_w}} \quad (4)$$

gdzie:

A_s, n_s – parametry nieliniowego modelu stali,

A_w, n_w – parametry nieliniowego modelu drewna.

Dla przekroju na ryc. 1 (gdzie: b_s, h_s – grubość i wysokość blachy; $h_2 = h_1 - h_s$) sprowadzony do drewna moment bezwładności przekroju względem osi x – przy podziale na część drewnianą ($I_{x,w,f}$) oraz przy uwzględnieniu wzmocnienia stałą ($I_{x,s,f}$) – opisują równania

$$I_{x,sp,w,f} = I_{x,w,f} + \eta_{sw,f} \cdot I_{x,s,f} \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
 I_{x,w,f} = & b_f \int_{\frac{h_s}{2}}^{\frac{h_s}{2}} \left| y + y_{C,f} - \frac{h_s}{2} \right|^{1+1/n_w} dy + b_f \int_{\frac{h_2}{2}}^{\frac{h_2}{2}} \left| y + \frac{h_2}{2} + h_s - y_{C,f} \right|^{1+1/n_w} dy + \\
 & + 2 \int_{-e_1}^{h_e - e_1} \frac{b_e}{h_e} \sqrt{h_e^2 - (y + e_1)^2} \cdot \left| y + e_1 + h_1 - y_{C,f} \right|^{1+1/n_w} dy - \\
 & - 2 \cdot b_s \int_{\frac{h_s}{2}}^{\frac{h_s}{2}} \left| y + y_{C,f} - \frac{h_s}{2} \right|^{1+1/n_w} dy
 \end{aligned} \quad (6)$$

$$I_{x,s,f} = 2 \cdot b_s \int_{\frac{h_s}{2}}^{\frac{h_s}{2}} \left| y + y_{C,f} - \frac{h_s}{2} \right|^{1+1/n_s} dy \quad (7)$$

4. Zabezpieczenia konstrukcji drewnianych

Celem zabezpieczenia ogniochronnego konstrukcji drewnianych jest obniżenie stopnia palności drewna przez stosowanie chemicznych środków ogniochronnych oraz zabezpieczenie elementów przed płomieniami i wzrostem temperatury przez stosowanie osłon z materiałów niepalnych. Projekt zabezpieczenia powinien wynikać z analizy obliczeniowej konstrukcji w stanie wyjątkowym (wywołanym pożarem).

Środki ogniochronne powinny mieć ważną aprobatę techniczną ITB, jak również inne dokumenty potwierdzające ich przydatność i skuteczność ochronną. W tabelicy 2 zestawiono przykładowe środki zabezpieczeń przeciwpożarowych.

Tabela 2

Zestawienie wybranych środków ochrony przeciwpożarowej elementów drewnianych

Aprobata techniczna	Środek ochronny	Zużycie jednostkowe	Klasyfikacja ogniowa	Termin ważności
AT-15-2129/2003	impregnat solny (10–30% roztwór)	35 kg soli/m ³ ⁽¹⁾ 200 g soli/m ² ⁽²⁾	I stopień palności ⁽¹⁾ II stopień palności ⁽²⁾	31.03.08
AT-15-2167/2002	impregnat solny (20–30% roztwór)	180 g soli/m ² ⁽²⁾	drewno gr. ≥ 12 mm – I stopień palności	31.01.08
AT-15-3039/2003	impregnat solny (20% roztwór)	40 kg soli/m ³ ⁽¹⁾ 200 g soli/m ² ⁽²⁾	drewno gr. ≥ 21 mm – I stopień palności	30.09.08
AT-15-3172/2004	impregnat solny (20% roztwór)	35 kg soli/m ³ ⁽¹⁾ 200 g soli/m ² ⁽²⁾	drewno gr. ≥ 26 mm – I stopień ⁽¹⁾ ; drewno gr. ≥ 28 mm – II st. ⁽²⁾	31.01.09
AT-15-3261/2003	impregnat solny (20–30% roztwór)	40 kg soli/m ³ ⁽¹⁾ 200 g soli/m ² ⁽²⁾	drewno gr. ≥ 12 mm i sklejka gr. ≥ 25 mm – I stopień; sklejka gr. ≥ 12 mm – II stopień	30.04.08
AT-15-4794/2006	impregnat solny (25–30% roztwór)	200 g soli/m ² ⁽²⁾	drewno gr. ≥ 20 mm – I stopień palności	24.11.11
AT-15-5817/2003	impregnat solny	wg danych producenta	II stopień palności	28.02.08
AT-15-5942/2003	impregnat solny (30% roztwór)	40 kg soli/m ³ ⁽¹⁾ 200 g soli/m ² ⁽²⁾	drewno gr. ≥ 20 mm – I stopień palności	31.05.08

AT-15-6847/2005	impregnat solny	wg danych producenta	I stopień palności	31.10.10
AT-15-2715/2002	impregnat	0,5 l/m ² ⁽²⁾	drewno gr. ≥ 19 mm – SRO; gr. ≥ 100 mm – NRO	31.10.07
AT-15-3080/2004	farba pęczniająca 3-składnikowa	60-420 g/m ² ⁽²⁾	drewno gr. ≥ 12 mm – II stopień palności	31.07.09
AT-15-5985/2003	farba pęczniająca	wg danych producenta	I i II stopień palności	30.06.08
AT-15-4854/2001	emulsja + lakier	420 g/m ² – emulsja 100 g/m ² – lakier	II stopień palności (trudno zapalny)	30.09.07
AT-15-2765/2003	lakier jednoskładnikowy	0,35 l/m ² ⁽²⁾	drewno gr. ≥ 19 mm – II stopień palności	31.05.08
AT-15-3041/2003	bezbarwny lakier dwuskładnikowy	200-600 g/m ² ⁽²⁾	sklejka gr. ≥ 12 mm – I stopień; drewno gr. ≥ 18 mm – I lub II st.	28.02.08
AT-15-5848/2003	lakier dwuskładnikowy	wg danych producenta	II stopień palności	31.01.08
AT-15-6052/2004	lakier bezbarwny	200 g/m ² ⁽²⁾	drewno gr. ≥ 20 mm – I st.; okładzina gr. ≥ 20 mm – NRO	30.09.09
AT-15-6769/2005	preparat pęczniący	250 g/m ² ⁽²⁾	drewno gr. ≥ 22 mm – I stopień palności	31.08.10
AT-15-2939/2004	plyty gipsowe	plyty gr. 15-30 mm	plyty niepalne oraz NRO	30.09.09
AT-15-3176/2003	plyty silikatowo-cementowe	plyty gr. 6-60 mm	plyty niepalne	30.09.08
⁽¹⁾ – przy aplikacji metodami wgłębnymi				
⁽²⁾ – przy aplikacji metodami powierzchniowymi				

5. Zakończenie

W praktyce często występuje potrzeba podnoszenia odporności ogniowej elementów konstrukcji drewnianych przez stosowanie przedstawionych zabezpieczeń. Zabezpieczenia należy projektować racjonalnie. Analiza bezpieczeństwa pożarowego w takich przypadkach powinna obejmować zagadnienie cieplne i zagadnienie nośności przedstawione ogólnie w Eurokodach, a w szczególności w literaturze technicznej.

Literatura

- [1] Skowroński W., *Fire safety of metal structures. Theory and design criteria*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2004.
- [2] Dębowska A., Skowroński W., *Zagadnienia nieliniowej analizy drewnianych konstrukcji w pożarze*, Inżynieria i Budownictwo nr 2, 2007, 80-82.
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. DzU z dnia 15 czerwca 2002 r., Nr 75, poz. 690.
- [4] Dokument interpretacyjny do Dyrektywy 89/106/EEC dotyczącej wyrobów budowlanych. Wymaganie podstawowe nr 2 „Bezpieczeństwo pożarowe”, Wyd. ITB, Warszawa 1995.
- [5] Basis of design and actions on structures – Part 2-2: Actions on structures exposed to fire, Eurocode 1- Part 2-2, ENV 1991-2-2, 1994.