

mgr inż. Kamil Kmiecik¹⁾
ORCID: 0000-0002-1067-8566

Wpływ gatunku drewna na charakterystykę wytrzymałościową belki drewnianej w sytuacji pożaru

Influence of wood species on the strength characteristic of a timber beam in a fire situation

DOI: 10.15199/33.2019.05.14

Streszczenie. W artykule przedstawiono symulacje numeryczne przepływu ciepła przez belki drewniane różnych klas, w warunkach pożaru standardowego ISO. Modele numeryczne wykonano w programie SAFIR. Następnie, na podstawie izotermii 300 określono przekroje belek zmieniające się podczas pożaru. Finalnie uzyskano wytyczenie belek wykonanych z różnych gatunków drewna, w sytuacji pożaru.

Słowa kluczowe: odporność ogniowa; belka drewniana; klasa drewna.

Abstract. The article presents numerical simulations of heat flow through timber beams of different classes, in the conditions of standard ISO fire. Numerical models were made in the SAFIR program. Then, the beam cross-sections were determined on the basis of the 300 isotherm. Finally, effort of beams made of various types of wood were obtained in a fire situation.

Keywords: fire resistance, timber beam; wood class.

Drewno konstrukcyjne dzieli się na klasy wytrzymałości. Wprowadzenie europejskich standardów i norm do projektowania konstrukcji spowodowało ujednoczenie charakterystyk wytrzymałościowych oraz fizycznych elementów drewnianych. Aby odzwierciedlić zmienność właściwości mechanicznych, bazuje się na tzw. wartościach charakterystycznych.

Metody określania właściwości mechanicznych, zawartości wilgoci i gęstości drewna są określone w normie PN-EN 408 [6], natomiast klasy wytrzymałości drewna w PN-EN 338 [5]. Norma ta definiuje dwanaście klas wytrzymałości drewna drzew iglastych oraz osiem liściastych. Europejski system klasyfikacji wytrzymałości bazuje na trzech podstawowych parametrach:

- charakterystycznej wytrzymałości na zginanie $f_{m,k}$ [MPa];
- podłużnym module sprężystości $E_{0,mean}$ [GPa];
- gęstości drewna ρ_k [kg/m³].

Pozostałe właściwości mechaniczne niezbędne do projektowania konstrukcji drewnianych wyznacza się na podstawie formuł empirycznych z tych trzech podstawowych właściwości.

Zagadnienie odporności ogniowej konstrukcji drewnianych było podejmowane przez wielu badaczy. W literaturze można znaleźć prace dotyczące projektowania elementów drewnianych w sytuacji pożarowej. W artykule [1] oszacowano nośność belek drewnianych w sytuacji ogniowej. Autorzy opracowali wykresy i tablice pozwalające określić nośność na zginanie belek drewnianych w sytuacji pożaru. W tym artykule przedstawie wpływ gatunku drewna na nośność belki podczas pożaru.

Zwęglanie przekroju

W czasie pożaru temperatura wokół elementu drewnianego wzrasta. W przypadku, gdy drewno osiągnie ok. 100°C, następuje odparowanie wody, a w efekcie zmniejszenie wilgotności elementu. Po osiągnięciu temperatury ok. 300°C zaczyna się piroliza, czyli termiczny proces rozkładu drewna bez dostępu powietrza, w wyniku którego następuje jego zwęglenie oraz wydzielenie gazów palnych. Prędkość spalania drewna zależy w dużej mierze od jego właściwości. Podczas spalania dochodzi do transferu ciepła i masy. Proces ten zależy od temperatury, wilgotności i gęstości drewna. Przebieg zwęglania opisywany jest przez:

■ prędkość przesuwania się frontu zwęglania [mm/s];

■ prędkość utraty masy [g/s].

Przy projektowaniu konstrukcji budowlanych najczęściej stosuje się podejście pierwsze. Na podstawie utraty przekroju w czasie pożaru możliwe jest wyznaczenie zwiększających się naprężeń.

Norma PN-EN 1995-1-2 [4] wprowadza wartości obliczeniowe prędkości zwęglania drewna i elementów drewnopochodnych w zależności od gęstości charakterystycznej. Normową prędkość zwęglania przedstawiono w tabeli, natomiast modele obliczeniowe zwęglania zostały opisane w [7].

Wartości obliczeniowe prędkości zwęglania drewna [4]

Design charring rates of timber

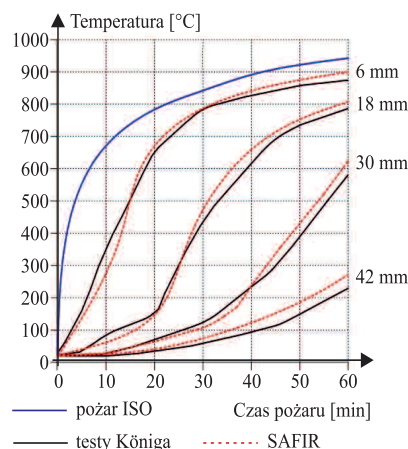
Rodzaj drewna	Parametr [mm/min]	
	β_0	β_n
Drewno iglaste i bukowe Drewno klejone warstwowo o gęstości charakterystycznej $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ Drewno lite o gęstości charakterystycznej $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Drewno liściaste Drewno lite lub klejone warstwowo o gęstości charakterystycznej 290 kg/m^3 Drewno lite lub klejone warstwowo o gęstości charakterystycznej $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
	0,5	0,55

¹⁾ Politechnika Krakowska; Wydział Inżynierii Lądowej; kkmiecik@pk.edu.pl

Model obliczeniowy

Dokonano analizy wpływu gatunku drewna na charakterystyki wytrzymałościowe belek drewnianych niezabezpieczonych przed działaniem ognia podczas pożaru. Badano belki z drewna w pięciu różnych klasach: C16, C30, C50, D30 i D50. Założono, że obciążenie belki w sytuacji wyjątkowej wyniesie 4 kN/m, rozpiętość belki 5 m, a przekrój poprzeczny: 16 x 24 cm.

W pierwszym etapie dokonano walidacji modeli numerycznych na podstawie testów ogniowych Königa [3], który przeprowadził badania na próbkach z drewna świerkowego o gęstości ok. 425 kg/m³ oraz wilgotności 12%. Próbkę poddał krzywej standardowej ISO 834. W trakcie eksperymentu mierzył on temperaturę w odległości 6, 18, 30 i 42 mm od powierzchni ekspozowanej na działanie ognia. Wykonano symulację numeryczną przepływu ciepła w elemencie drewnianym za pomocą programu SAFIR [2]. Na rysunku 1 porównano wyniki Königa z wynikami własnych symulacji numerycznych. Temperatura w przekroju drewna otrzymana z symulacji numerycznych jest nieznacznie większa od temperatury z testów doświadczalnych. Może to wynikać z braku uwzględnienia dodatkowej warstwy ochronnej przekroju drewna (zwęgliny).



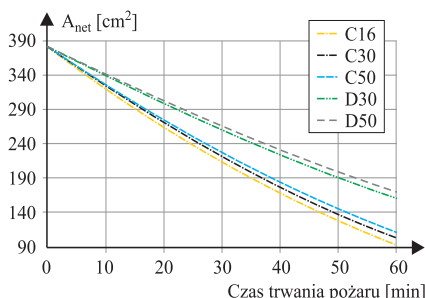
Rys. 1. Temperatura w funkcji czasu na różnej głębokości drewna w warunkach pożaru standardowego ISO

Fig. 1. Temperature as a function of time at different timber depths under ISO fire

Wyniki symulacji numerycznych

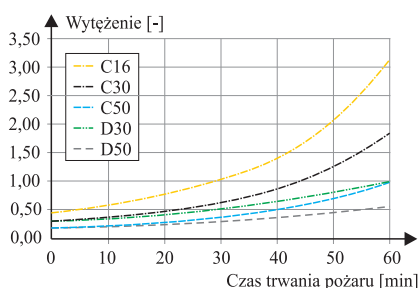
Wykonano modele numeryczne przepływu ciepła przez pięć belek z drewna różnych klas w sytuacji pożaru. Parametry materiałowe przyjęto zgodnie z PN-EN 338 [5]. Na podstawie izotermi 300 określono przekrój, który pełni funkcję nośną. Na rysunku 2 przedstawiono przekroje resztkowe belek w czasie trwania pożaru. Największą prędkość zwęglania odnotowano w przypadku belek z drewna iglastego. Stwierdzono zależność między gęstością drewna a prędkością spalania. Wraz ze wzrostem gęstości drewna maleje prędkość zwęglania przekroju. Belki z drewna iglastego już po ok. 35 min pożaru tracą połowę powierzchni przekroju. W przypadku drewna liściastego zwęglanie przekroju następuje o wiele wolniej.

Na rysunku 3 przedstawiono wyężenie (stosunek naprężenia zginającego w przekroju do jego wytrzymałości na zginanie) belek drewnianych w sytuacji pożaru. Konsekwencją utraty części przekroju belek jest wzrost naprężeń, które są związane z nośnością belki. Najważniejszym czynnikiem wpływającym



Rys. 2. Przekroje netto belek wykonanych z różnych gatunków drewna poddanych oddziaływaniu pożaru standardowego ISO

Fig. 2. Residual cross-sections of beams made of different wood species under ISO fire



Rys. 3. Wyężenie belek drewnianych w sytuacji pożaru standardowego ISO

Fig. 3. Effort of the beams under ISO fire

na nośność elementu w warunkach pożaru jest jednak wytrzymałość na zginanie, która zależy od klasy drewna. Belki z drewna klasy D30, D50 i C50 mają odporność ogniową większą niż 60 min. Belka z drewna klasy C16 już po ok. 30 min przekracza warunek nośności, natomiast belki z drewna C50 i D30 mają podobne wyężenie w sytuacji pożarowej. Mimo że belka z drewna klasy C50 ma o wiele większą wytrzymałość niż D30, to na skutek szybkiej utraty przekroju wykazuje finalnie podobne wyężenie.

Podsumowanie

Przy szacowaniu odporności ogniowej belek drewnianych pomocne może być modelowanie numeryczne przepływu ciepła przez element. Na podstawie izotermi 300 można określić przekrój, który w sytuacji pożaru pełni funkcję nośną. Dane te mogą posłużyć do wyznaczenia naprężeń w zredukowanym przekroju. Zauważono, że drewno liściaste wykazało mniejsze wyężenie w pożarze w porównaniu z iglastym. Najmniej odporne na działanie ognia są belki z drewna iglastego niskiej klasy.

Literatura

- [1] Dębski Mariusz, Paweł Sulik. 2014. „Szacowanie nośności belek drewnianych w sytuacji ogniowej”. *Materiały Budowlane* 540 (10): 97 – 99.
- [2] Franssen Jean-Marc, Thomas Gernay. 2017. „Modeling structures in fire with SAFIR: theoretical background and capabilities”. *Journal of Structural Engineering* (8): 300 – 323.
- [3] König Jürgen. 1999. *One-dimensional charring of timber exposed to standard and parametric fires in initially unprotected and post-protection fire situations*. Rapport I 9908029, Swedish Institute for Wood Technology Research, Stockholm, Sweden.
- [4] PN-EN 1995 1-2:2010. Eurokod 5: Projektowanie konstrukcji drewnianych, Część 1-2: Postanowienia ogólne. Projektowanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe.
- [5] PN-EN 338:2011. Drewno konstrukcyjne. Klasy wytrzymałości.
- [6] PN-EN 408:2012. Konstrukcje drewniane. Drewno konstrukcyjne lite i klejone warstwowo. Oznaczanie niektórych właściwości fizycznych i mechanicznych.
- [7] Roszkowski Paweł, Paweł Sulik, Grzegorz Kimbar. 2017. „Ocena głębokości zwęglania elementów drewnianych w ustrojach powierzchniowych”. *Materiały Budowlane* 506 (8): 23 – 28. DOI: 10.15199/33.2017.08.07.

Przyjęto do druku: 02.04.2019 r.