

## Ocena trwałości pożarowej stalowych przekryć strukturalnych The assessment of fire safety of steel structural roofs

Katarzyna Suckert<sup>1</sup>, Urszula Radoń<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Katedra Mechaniki, Konstrukcji Metalowych i Metod Komputerowych,  
Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Świętokrzyska  
Al. 100-lecia PP 7, 25-323Kielce  
e-mail: ksuckert@tu.kielce.pl*

<sup>2</sup>*Department of Structure Mechanics, Metal Structures and Computer Methods  
Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kielce University of Technology  
Al. 100-lecia PP 7, 25-323Kielce  
e-mail: zmbur@tu.kielce.pl*

---

### Streszczenie

Niniejsze opracowanie dotyczy analizy pożarowej stalowego przekrycia strukturalnego. Analiza została przeprowadzana zgodnie z Eurokodem. Wpływ pożaru na konstrukcję został rozważony przy zastosowaniu trzech kryteriów: nośności, temperatury i czasu. Do analizy numerycznej wykorzystano system Robot.

### Abstract

The paper provides a fire analysis of steel structural roof. The analysis was carried in accordance with the Eurocode. The fire impact on the structure was evaluated with respect to three criteria: bearing capacity, temperature and time. To carry out the numerical analysis, the Robot system was used.

*Słowa kluczowe: konstrukcje metalowe, przekrycia strukturalne, bezpieczeństwo pożarowe*  
*Keywords: steel structures, structural roofs, fire safety*

---

### 1. Wstęp

W niniejszym opracowaniu przeanalizowano zachowanie się stalowego przekrycia strukturalnego, zwanego również materacem kratowym, poddanego działaniu pożaru. Przekrycia tego typu mają szereg zalet. Najważniejszą wydaje się ich duża sztywność, co umożliwia ograniczenie lub całkowite wyeliminowanie podpór pośrednich, a tym samym uzyskanie swobodnej przestrzeni. Dowolne rozmieszczanie podpór jest możliwe również dzięki korzystnemu rozkładowi obciążeń w materacu kratowym. Kolejną zaletą struktur stalowych jest możliwość znacznej unifikacji połączeń. Możliwy jest również montaż całych połączeń dachów oraz prefabrykacja elementów przekryć w wytwórni lub na placu budowy. Ten drugi sposób jest bardzo korzystny ze względu na transport, materac kratowy może być transportowany w jednostkach podstawowych rusztu, którymi mogą być płaskie lub przestrzenne segmenty powtarzalne, a także pręty i węzły [2].

Przekrycia strukturalne powinny być stosowane dla rozpiętości 18-60(100m). Smukłość przekrycia, czyli stosunek rozpiętości do wysokości konstrukcyjnej, powinna być rzędu 10-25.

### 2. Właściwości stali w podwyższonych temperaturach

Stal jest materiałem chętnie wykorzystywanym w budownictwie ze względu na szereg korzystnych właściwości, przede wszystkim mechanicznych. Jednak nie jest to materiał pozbawiony wad. Jedną z największych, jeśli nie największą jest wyjątkowo niska odporność na działanie wysokich temperatur.

### 1. Introduction

In the paper, the fire performance of a steel structural roof, also called a lattice mattress, was analyzed. Such roofs have many advantages, high stiffness being a major one. It makes it possible to reduce middle supports, or eliminate them completely, and thus to obtain free space. Arbitrary spacing of supports is also possible due to advantageous load distribution in lattice mattress. Another advantage of steel structural roofs is the possibility of making, to a large extent, connections standardized. Additionally, it is possible to assemble whole roof slopes and to prefabricate roof components in the factory or at the construction site. The other method offers an advantage in transport, because the lattice mattress can be transported in basic grillage units, including flat or spatial repetitive segments, bars and nodes [2].

Structural roofs should be used for the span of 18-60 (100m). The roof slenderness, which is span to structural height ratio, should be of the order of 10-25.

### 2. The steel properties at elevated temperatures

Steel is a widely used material in construction because of its advantageous properties, mainly mechanical ones. Steel, however, has some drawbacks. The major, most serious one is steel extremely low resistance to high temperatures.

Tym co czyni stal wyjątkowo podatną na działanie temperatur pożarowych są jej właściwości, które ulegają znacznemu pogorszeniu wraz ze wzrostem temperatury.

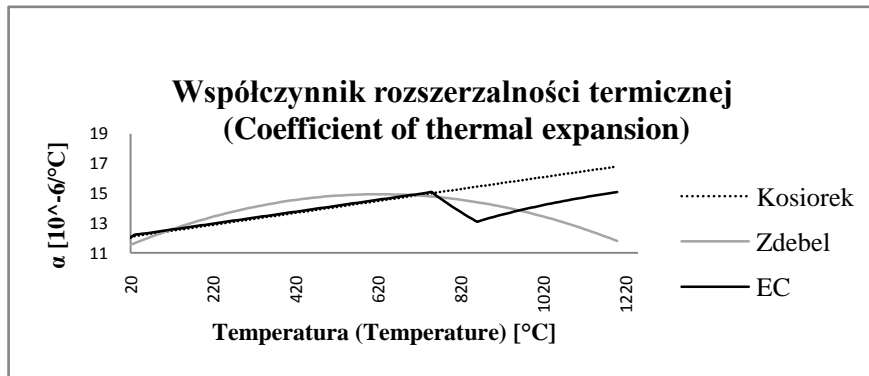
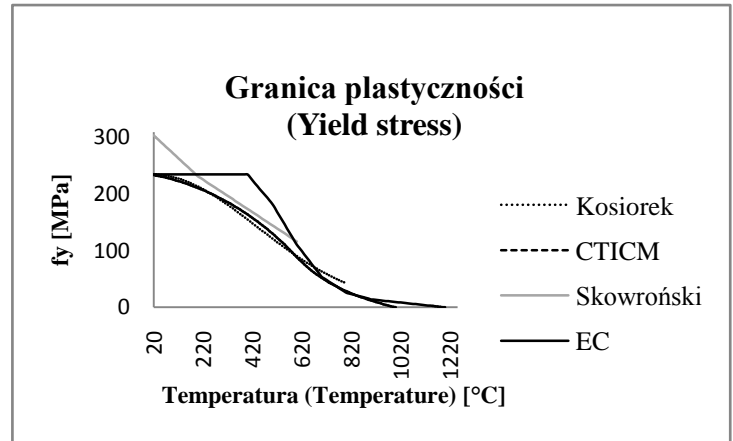
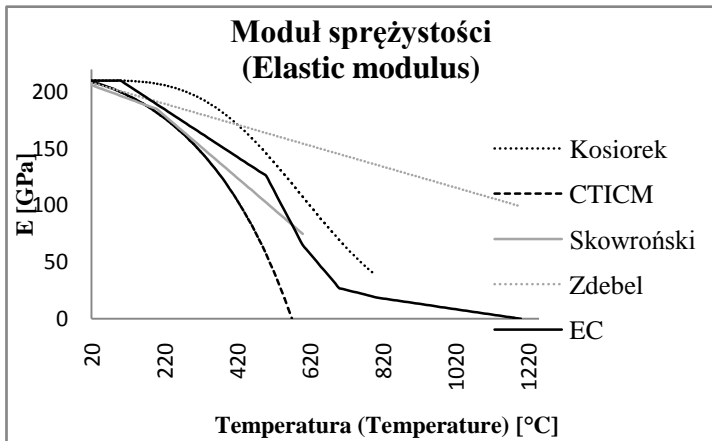
2.1. *Właściwości mechaniczne stali w podwyższonych temperaturach*

Do najważniejszych właściwości mechanicznych stali należy moduł sprężystości, granica plastyczności oraz współczynnik rozszerzalności termicznej. Rysunek 1 przedstawia krzywe opracowane przez różnych naukowców opisujące zmiany wspomnianych właściwości mechanicznych wraz ze wzrostem temperatury.

Steel substantial vulnerability to fire temperatures results from the fact that the properties of the material significantly deteriorate with an increase in temperature.

2.1. *The mechanical properties of steel at elevated temperatures*

The most important mechanical properties of steel include the following: elastic modulus, yield stress and coefficient of thermal expansion. Fig. 1 shows curves developed by various researches to describe changes in steel mechanical properties with an increase in temperature.



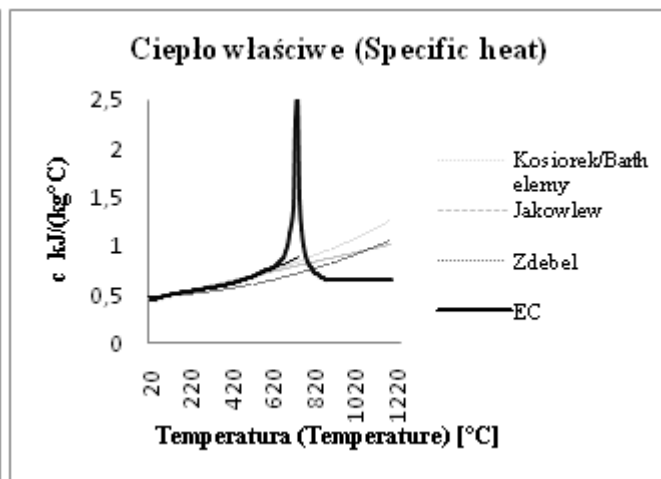
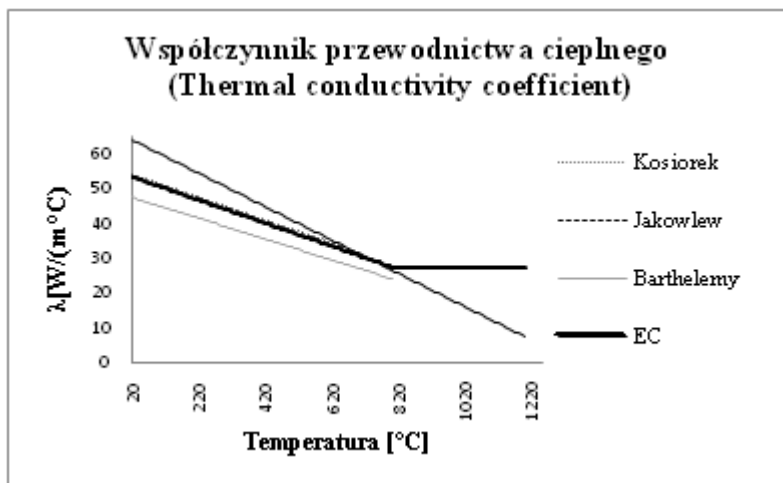
Rys.1. Właściwości mechaniczne stali w podwyższonej temperaturze.  
Fig.1. Mechanical properties of steel at elevated temperature.

2.2. *Właściwości termiczne stali w podwyższonych temperaturach*

Najistotniejsze właściwości termiczne stali to ciepło właściwe i współczynnik przewodnictwa cieplnego. Krzywe na Rys. 2 przedstawiają zmianę tych parametrów wraz ze wzrostem temperatury.

2.2. *The thermal properties of steel at elevated temperatures*

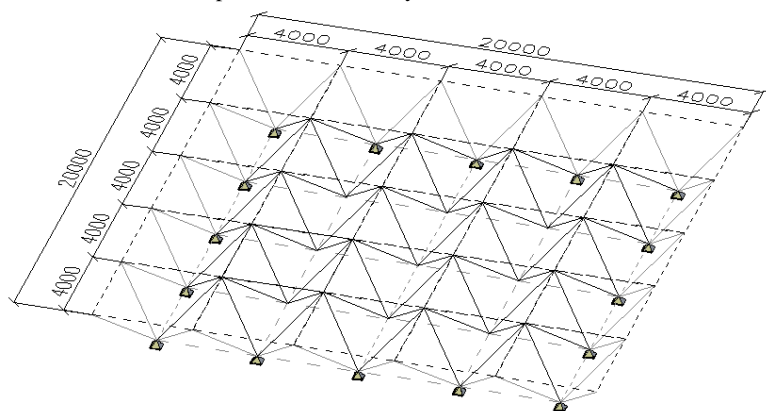
The most important thermal properties of steel are specific heat and a thermal conductivity coefficient. Curves in Fig.2 show changes in those parameters with a temperature increase.



Rys.2. Właściwości termiczne stali w podwyższonej temperaturze.  
Fig.2. The thermal properties of steel under high temperature.

**3. Analiza pożarowa stalowego przekrycia strukturalnego**

Analizie pożarowej poddano stalowe przekrycie strukturalne przedstawione na Rys.3.



Rys.3. Geometria analizowanej struktury.  
Fig.3. The geometry of the analyzed structural roof.

Pręty zostały zaprojektowane ze stali S235. Jako obciążenie przyjęto ciężar własny konstrukcji, płytę żelbetową o grubości 10cm, warstwy wykończeniowe (1,5kN/m<sup>3</sup>) oraz szkło wypełniające boczne ścianki struktury o grubości 8mm. Założono 1 strefę wiatrową i 2 śniegową.

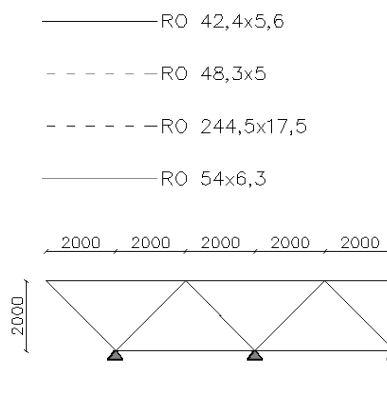
Cała analiza przebiegała z wykorzystaniem systemu Robot. Początkowo przeprowadzono obliczenia dla normalnej sytuacji projektowej, bez uwzględniania wpływu pożaru. Na Rys.4. pogrubioną linią zostały zaznaczone najbardziej wyężone pręty(81-88%).

Następnie przeprowadzono analizę pożarową nieosłoniętej konstrukcji, przyjmując, że cała struktura została objęta działaniem pożaru od spodniej strony. Obliczenia zostały wykonane w trzech dziedzinach dopuszczalnych przez Eurokod: czasu, temperatury i nośności.

Na Rys.5. zostały przedstawione wyniki analizy pożarowej. Pogrubione pręty przekraczają warunek bezpieczeństwa. Linią przerywaną zostały zaznaczone elementy, które w największym stopniu przekroczyły warunki odpowiadające danej dziedzinie (czasu, temperatury, nośności).

**3. Fire analysis of steel structural cover**

The structural roof shown in Fig. 3 was subjected to the fire analysis.

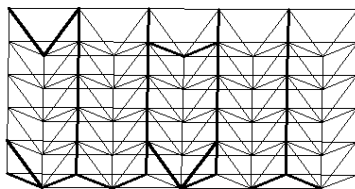


Bars were designed to be made of S235 steel. The load included the following: the structure dead load, reinforced concrete plate 10 cm in thickness, finishing layers (1.5 kN/m<sup>3</sup>) and glass 8mm in thickness, covering the structure side walls. The 1st wind zone and 2nd snow zone were assumed.

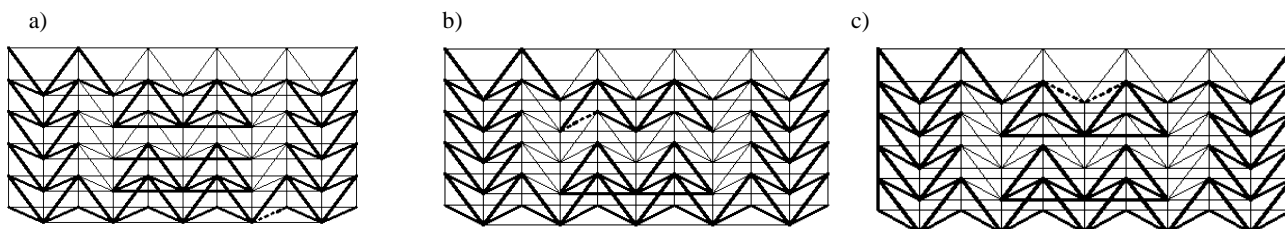
The analysis was carried out using the Robot system. Initially, calculations were made for usual structure performance conditions, without taking into account fire impact. In Fig.4., the highest strained bars (81-88%) were marked with a thick line.

Then, the fire analysis of unprotected structure was performed. It was assumed that the whole structure was affected by fire spreading from the bottom. The calculations were made for three areas permitted by the Eurocode: time, temperature and bearing capacity.

Fire analysis results are shown in Fig.5. Bars denoted with thick lines exceed the safety condition. Dashed line shows the elements that exceeded, to the largest extent, the conditions corresponding to a given area (time, temperature, bearing



Rys.4. Wytyżenie prętów struktury bez uwzględniania wpływu pożaru.  
Fig.4. The strain on structural roof bars without accounting for fire impact.



Rys.5. Wyniki analizy pożarowej metodą: a) temperatury, b) nośności, c) czasu.  
Fig.5. The results of fire analysis with reference to: a) temperature, b) bearing capacity, c) time.

Kolejnym krokiem analizy było dobranie izolacji ogniochronnej. Zastosowanie cementu wermikulitowego o grubości 5 mm zapewnia analizowanej konstrukcji klasę odporności ogniowej R15, natomiast zwiększenie grubości izolacji do 1cm zapewnia klasę R30.

#### 4. Wnioski

Przedstawiona analiza potwierdza, że stal jest materiałem wyjątkowo podatnym na działanie wysokich temperatur. Fakt ten powoduje konieczność przeprowadzania analiz pożarowych konstrukcji wykonanych ze stali. Pożar stalowych budynków przyczynia się nie tylko do znacznych strat materialnych, ale przede wszystkim stanowi poważne zagrożenie zdrowia i życia ludzi. Eurokod proponuje algorytmy, umożliwiające przeprowadzenie analiz konstrukcji stalowych w warunkach pożaru. Przykład przedstawiony w pracy wykazuje jednak, że dopuszczalne normowo metody: nośności, temperatury i czasu dają różne wyniki, w związku z czym żadnej z nich nie można uznać za w pełni bezpieczną. Wspomniany problem generuje potrzebę opracowania ujednoczonej metody analizy pożarowej konstrukcji stalowych, dającej wiarygodne i jednoznaczne wyniki.

#### Literatura • References

- [1] Eurokody
- [2] Kowal Z., (1979), *Wybrane działy z konstrukcji metalowych. Cz.3. Zbiorniki, płyty faldowe i warstwowe, struktury prętowe, budynki wysokie*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- [3] Kurzawa Z., (2011), *Stalowe konstrukcje prętowe. Część II: Struktury przestrzenne, przekrycia cięgnowe, maszty i wieże*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
- [4] Matheja M., (1999), *Uplastycznienie konstrukcji stalowych w czasie pożaru*, Gliwice.
- [5] Maślak M., (2008), *Trwałość pożarowa stalowych konstrukcji prętowych*, Monografia 370. Seria Inżynieria Lądowa. Kraków.
- [6] Skowroński W., (2011), *Teoria bezpieczeństwa pożarowego konstrukcji metalowych*, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa.

The next step was to select the fireproofing insulation. The use of vermiculite cement, 5 mm in thickness, provides the analyzed structure with R15 class fire resistance. Increasing thickness of insulation to 1 cm ensures R30 class.

#### 3. Conclusions

The analysis presented in the paper confirms that steel is extremely sensitive to high temperatures. This fact makes it necessary to carry out fire analysis for the structures made of steel. Fire of steel buildings not only leads to substantial material losses, but it also poses a serious hazard to human life and health. The Eurocode proposes algorithms that make it possible to perform analysis of steel structure under fire conditions. However, the example presented in the paper shows that methods compliant with the code, which rely on the bearing capacity, temperature and time produce different results. Consequently, none of them can be considered fully safe. The problem posed in the paper indicates it is necessary to develop a standardized method of fire analysis of steel structures which would be capable of producing reliable and unambiguous results.