



RYSZARD WALENTYŃSKI, *ryszard.walentynski@polsl.pl*

JERZY PILŚNIAK, *jerzy.pilsniak@polsl.pl*

ROBERT CYBULSKI, *robert.cybulski@polsl.pl*

Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa, Katedra Teorii Konstrukcji Budowlanych

## POŻAR SAMONOŚNEJ HALI ŁUKOWEJ WYKONANEJ W SYSTEMIE ABM

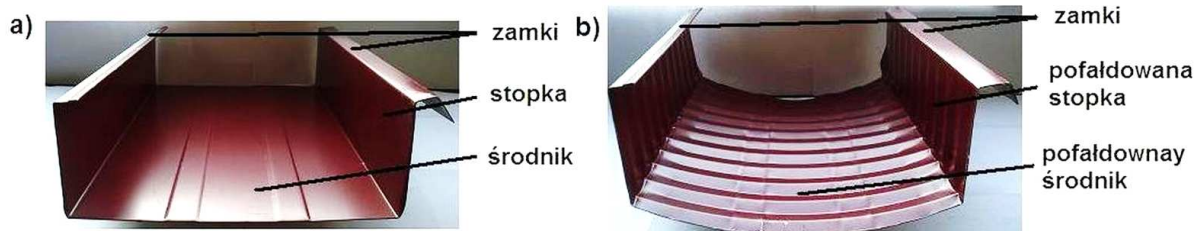
### FIRE OF SELF SUPPORTED ARCH BUILDING MADE IN ABM SYSTEM

**Streszczenie** Referat przedstawia zwięźle technologię ABM 120, wykorzystywaną do budowy samonośnych, stalowych hal łukowych składających się z paneli giętych na zimno. Przykładem takiej hali jest hala magazynowa w Siemianowicach Śląskich, która uległa pożarowi pod koniec kwietnia 2012 roku. W referacie przedstawiono pokrótce przebieg pożaru hali wraz z zwięzłym omówieniem formy zniszczenia. Autorzy, korzystając z bardzo ogólnych danych dotyczących przebiegu pożaru, podjęli próbę symulacji numerycznej zdarzenia. Z uwagi na niepewność danych symulacje te wykonano w kilku scenariuszach.

**Abstract** Paper presents briefly ABM 120 technology which is used to build self supported steel arch building consisting of cold formed panels. As an example of such building, warehouse in Siemianowice Śląskie is used. This building burned down at the end of April 2012. In the paper course of the building fire is shortly introduced together with brief description of its collapse. The authors, using very general data on the course of fire, attempted to do numerical simulation of that situation. Due to the data uncertainty, simulations were performed in several case scenarios.

### 1. Opis systemu ABM

Technologia ABM 120 (ang. *Automatic Building Machine*) pochodzi z USA i należy do MIC Industries Inc. Była ona powszechnie używana przez amerykańską armię do budowy tymczasowych budynków, a w dzisiejszych czasach technologia ta stała się popularna w budownictwie cywilnym. Jest to przenośna fabryka używana do prefabrykacji i budowy łukowych hal i dachów stalowych w oparciu o samonośne panele o przekrojach przedstawionych na rys. 1.



Rys. 1. a) panel prosty, b) panel karbowany

Maszyna służąca do prefabrykacji paneli jest umieszczona na przyczepie, tworząc „fabrykę na kółkach” i może być łatwo transportowana na każdą budowę. Po przywiezieniu na teren

budowy urządzenia i kręgów blachy płaskiej, proces prefabrykacji może być wykonany przez niewielką grupę przeszkolonych monterów. W pierwszym etapie, z rolki blachy powstaje prosty panel o geometrii jak na rys. 1a. Wysokość tego elementu wynosi 110 mm, a jego szerokość 305 mm. Panel jest docięty tak, aby osiągnąć potrzebną rozpiętość przyszłej konstrukcji łukowej. Następnie, prosty panel jest wyginany, tworząc łuk, a jego kształt zmienia się w skutek pofałdowania powierzchni dolnej i powierzchni bocznych (rys. 1b). Pofałdowany panel ma wysokość równą 135 mm, a jego szerokość zmienia się w niewielkim stopniu. Panele mogą mieć grubość do 1 mm.

Kilka pojedynczych paneli jest ze sobą połączonych zginiarką, następnie są one mocowane do zawiesia i transportowane do miejsca wznoszenia za pomocą dźwigu. Rys. 2 przedstawia gotowy budynek wykonany w technologii ABM w Siemianowicach Śląskich.

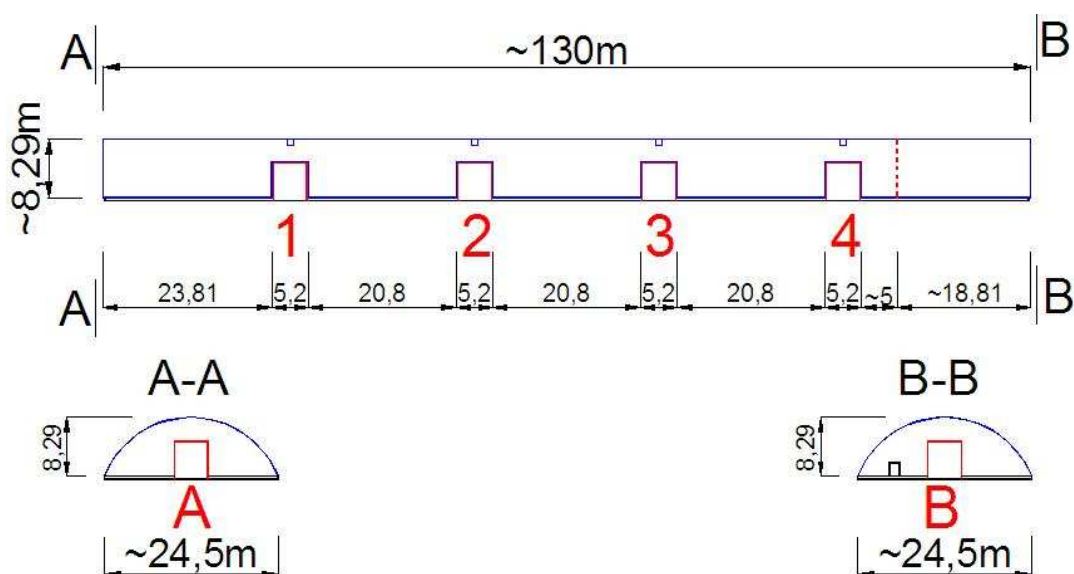


Rys. 2. Hala w systemie ABM 120 w Siemianowicach Śląskich

Hala przedstawiona na rys. 2 pod koniec kwietnia 2012 roku uległa zniszczeniu w wyniku pożaru. Niniejszy referat pokrótce omówi zachowanie się konstrukcji hali w czasie pożaru.

## 2. Opis pożaru

Pożar hali magazynowej w Siemianowicach Śląskich rozpoczął się pod koniec kwietnia 2012 w godzinach wieczornych, a akcja gaśnicza zakończyła się rankiem następnego dnia. Rys. 3 przedstawia główne wymiary hali magazynowej.



Rys. 3. Główne wymiary hali magazynowej

W wyniku pożaru spaliły się zgromadzone w hali odpady recyklingowe, maszyny i urządzenia do recyklingu, meble oraz części meblowe przeznaczone do sprzedaży, które były pakowane w hali, samochód dostawczy, około 400 plastikowych kontenerów na śmieci o poj. 1 m<sup>3</sup>, dwa wózki widłowe oraz wyposażenie warsztatów. Całkowitemu zniszczeniu uległo około połowy konstrukcji hali wraz z dachem (rys. 4).



Rys. 4. Zniszczona hala magazynowa (bramy 1, 2, 3)

W pozostałej części hali widoczne są również znaczne uszkodzenia. Całkowitemu stopieniu uległy świetliki dachowe przedstawione na rys. 5. Powłoka została podziurawiona na skutek wybuchów butli gazowych i zbiorników na paliwo pojazdów. We względnie najlepszym stanie zachowała się część hali za ścianą działową pokazaną na rys. 5, widoczną na widoku z boku na rys. 3 (obszar 4-B). Jednak i tam panowała wysoka temperatura, o czym świadczy nadtopienie obudów lusterek bocznych parkującego tam samochodu. Pod kalenicą temperatura musiała mieć znacznie wyższą wartość, tak dużą, że mogła spowodować wyraźną degradację własności stali.



Rys. 5. Stopione świetliki dachowe oraz widok na ścianę działową (za bramą nr 4)

Niezawalenie się części hali w okolicy wejścia 4 można tłumaczyć częściowym oparciem się powłoki na ścianie działowej, oddaleniem od źródła ciepła oraz częściowym oddzieleniem od wpływu pożaru poprzez ścianę działową (pomimo otworów w górnej jej części).

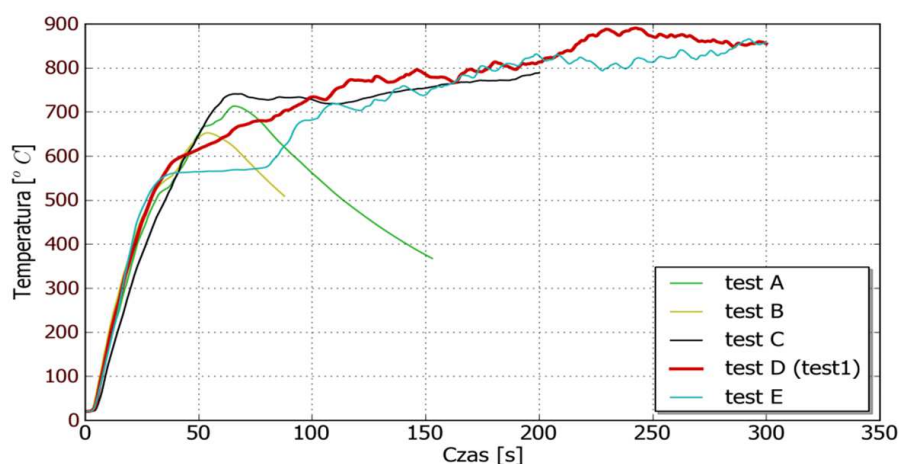
Wybuchy w trakcie pożaru były tak intensywne, że odłamek stalowy z części zawalonej przebił ścianę działową i utknął w bramie w ścianie szczytowej wschodniej. Pożar rozpoczął się w obrębie bram bocznych 1 i 2 a omawiany odłamek po wybuchu przebił ścianę działową i znalazł się w bramie głównej pokazanej na widoku B-B (rys. 3)

Intensywność pożaru była znaczna, występowało znaczne zadymienie. Część konstrukcji od widoku A-A do odległości występowania bramy bocznej 2 zawaliła się bardzo szybko.

### 3. Symulacja komputerowa

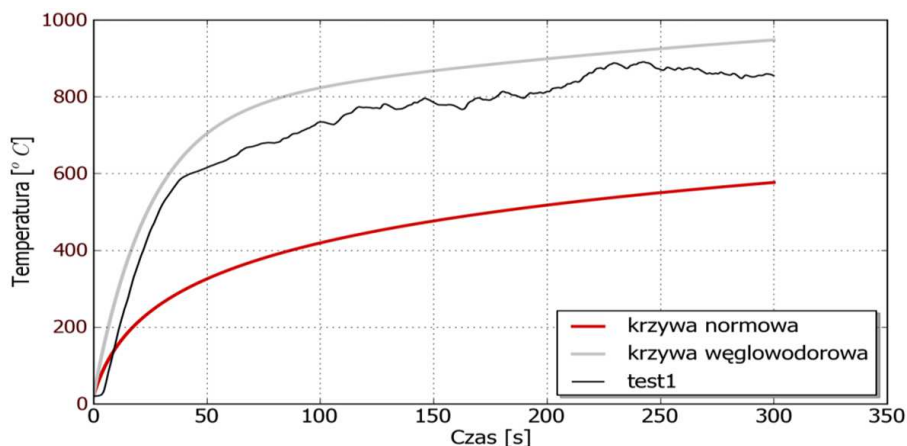
Autorzy, korzystając z bardzo ogólnych i niezbyt precyzyjnych danych dotyczących przebiegu pożaru, podjęli próbę symulacji numerycznej zdarzenia. Z uwagi na niepewność danych obliczenia wykonano w kilku scenariuszach.

Symulację przebiegu pożaru wykonano programem FDS w wersji 5.3.10. Czas symulacji, ze względu na gwałtowny rozwój pożaru, ograniczono do pierwszych kilku minut zdarzenia. Wykonano kilka różnych symulacji pożaru zmieniając rodzaj reakcji oraz ilość materiału palnego. Takie podejście pozwoliło na uzyskanie różnych wartości obciążenia ogniowego hali. Otrzymane rozkłady temperatur na powierzchni profilu stalowego w jego najwyższym punkcie (okolice bramy 1) pokazano na rys. 6.



Rys. 6. Wykresy rozkładu temperatur na powierzchni profilu stalowego w najwyższym jego miejscu w okolicach bramy 1 dla różnych scenariuszy pożaru (program FDS). Do dalszych analiz wybrano test 1 (scenariusz D)

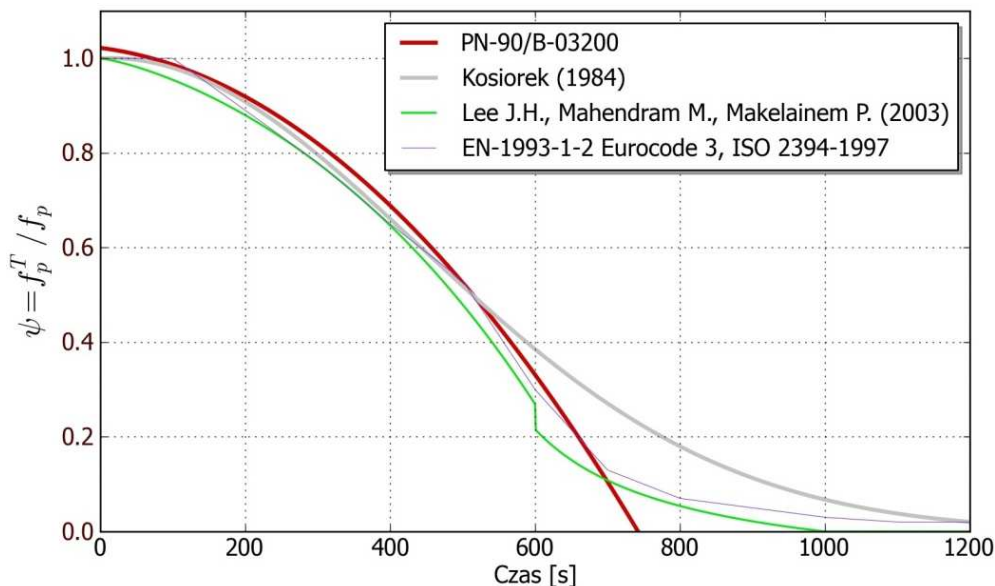
Do dalszych analiz wybrano scenariusz dla którego otrzymano najbardziej niekorzystny przebieg temperatury na powierzchni panelu stalowego. Porównanie rozkładu temperatur na powierzchni elementu stalowego z wybranymi krzywymi temperatura-czas przedstawiono na rys. 7. Wykres ten potwierdza wniosek, że dla profili rozpatrywanego typu (grubość blach na poziomie 1 mm) temperatura powierzchni w czasie pożaru jest bliska temperaturze otaczającego medium gazowego [1, 2].



Rys. 7. Wykresy temperatur wg krzywych pożaru standardowego, pożaru węglowodorowego oraz pożaru symulowanego programem FDS

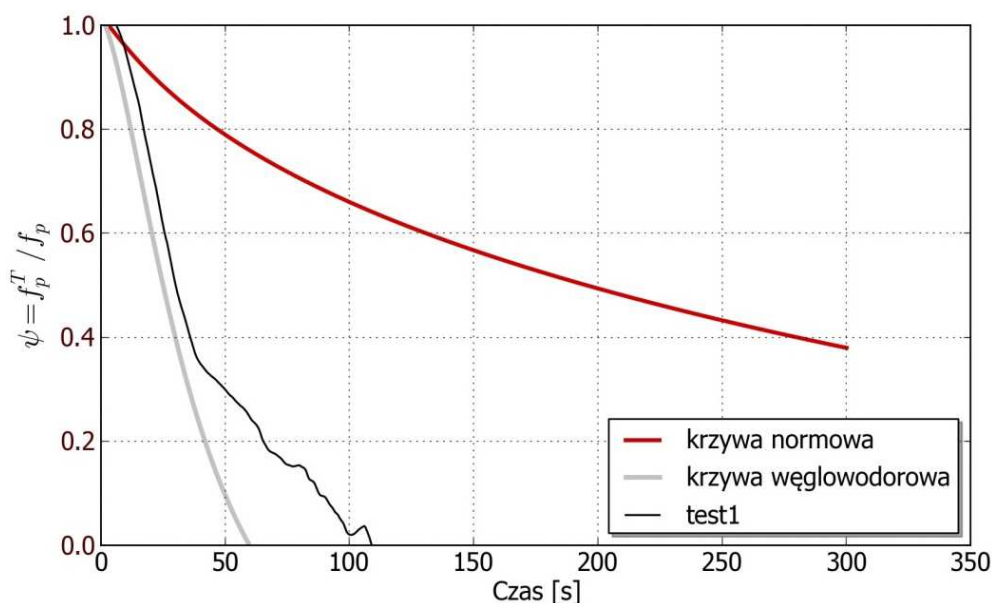


Analiza szacowania czasu zniszczenia konstrukcji opierała się na współczynniku redukcji granicy plastyczności  $\psi(\theta) = f_y^T / f_y^T$ . Niestety dla tak wysokich temperatur, jakie uzyskano w trakcie symulacji (ponad  $600^\circ\text{C}$ ) występują znaczne różnice względem różnych opracowań jak to pokazano na rys. 8. Do dalszych analiz przyjęto zależności podane w PN-90/B-03200 [3].

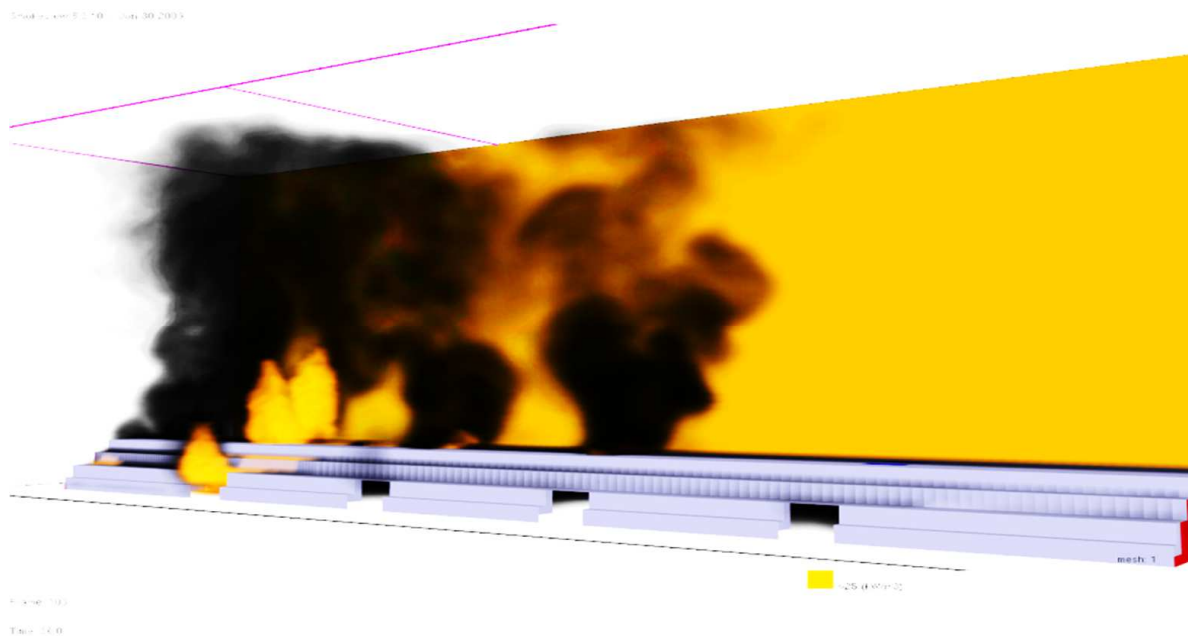


Rys. 8. Wykresy współczynników redukcji granicy plastycznej w funkcji temperatury według różnych opracowań [1, 3, 4, 5]

Rysunek 9 pokazuje dla przyjętych założeń, że całkowita utrata zdolności materiału do przenoszenia obciążeń nastąpiła bardzo szybko oraz miała charakter nagły. Analiza wytrzymałościowa z uwzględnieniem wpływów rozszerzalności termicznej wskazywała na zniszczenie konstrukcji przy współczynniku  $\psi \approx 0.1$ . Wartość ta (na podstawie rys. 9) osiągnięta była w analizowanym scenariuszu już po około 100 sekundach fazy rozwiniętej pożaru.

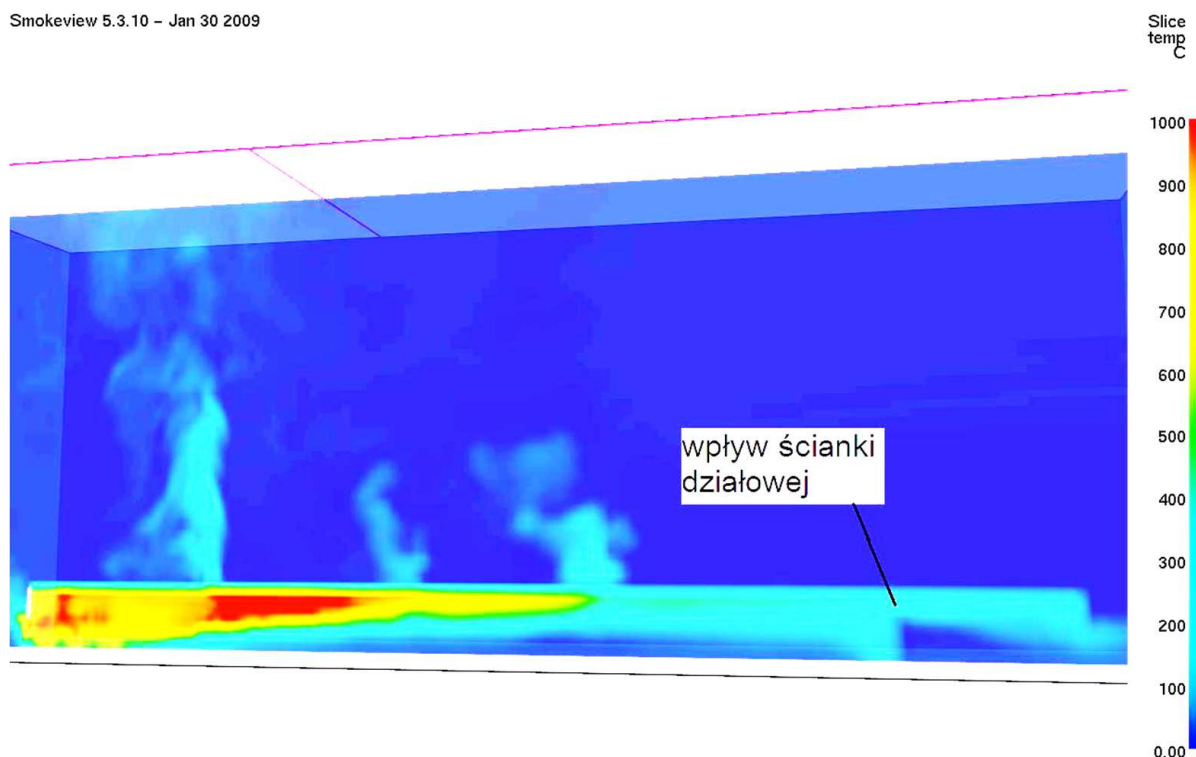


Rys. 9. Wykresy współczynników redukcji granicy plastyczności wg normy PN-90/B-03200 dla krzywych pożaru standardowego, węglowodorowego oraz danych uzyskanych na podstawie symulacji



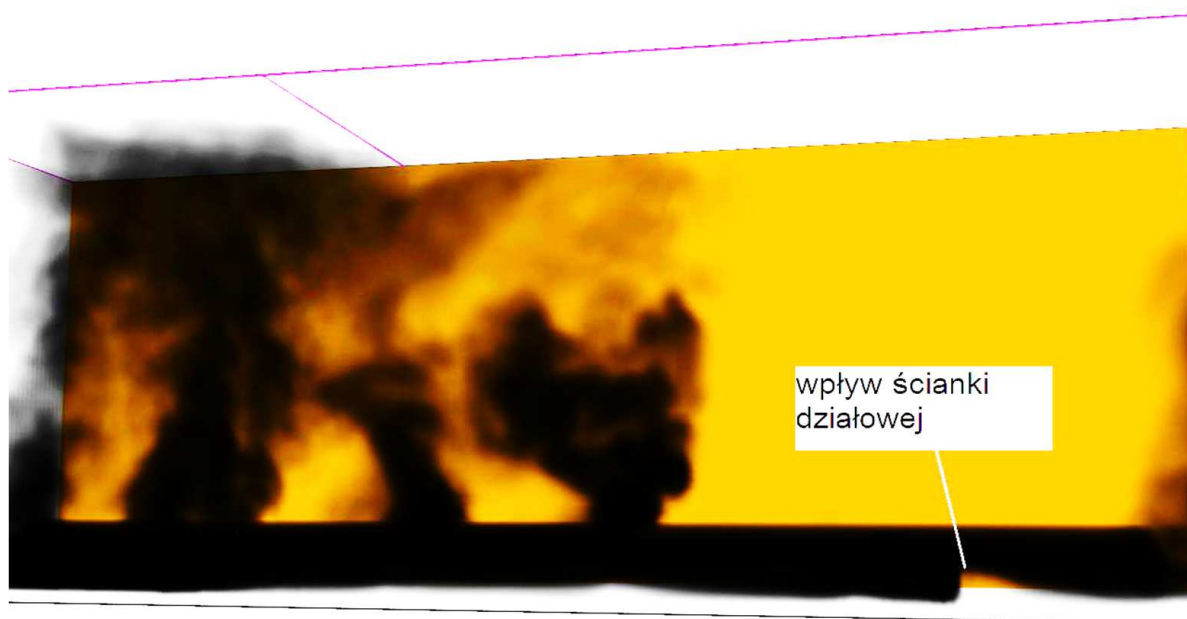
Rys. 10. Rozkład zadymienia w 36 sekundzie symulacji (program FDS).

Na rys. 10÷12 przedstawiono wybrane wykresy uzyskane w czasie symulacji pożaru. Pokazano obraz zadymienia wraz zasięgiem płomieni (patrz rys. 10) oraz samo zadymienie w widoku na płaszczyznę pionową przechodzącą przez oś podłużną hali (rys. 12). Rysunek 11 jest mapą temperatur w płaszczyźnie pionowej wzdłuż osi głównej hali.



Rys. 11. Wykres rozkładu temperatur w czterdziestej sekundzie pożaru: płaszczyzna pionowa przechodząca przez oś podłużną hali

Smokeview 5.3.10 – Jan 30 2009

Frame: 120  
Time: 40.0

mesh: 1

Rys. 12. Wykres zadymienia w czterdziestej sekundzie symulacji pożaru: widok na płaszczyznę pionową przechodzącą przez oś podłużną

#### 4. Wnioski

Obecność ścianki oraz zniszczenie świetlika w jej bezpośrednim sąsiedztwie miał znaczący wpływ na rozkład temperatur i zadymienia w oddzielonej części hali. Wpływ ten można zaobserwować na rysunkach 11 oraz 12. Perforacja ścianki działowej w górnej jej części nie ograniczała w pełni wpływu pożaru ale jednak w pewnym stopniu ograniczyła wielkość zniszczeń wewnątrz części hali.

Przedstawione wyniki symulacji pożaru obarczone są znaczną niepewnością wyników ze względu na szacunkowe dane początkowe. Autorzy uważają, że pomimo tego można wyciągnąć kilka wniosków dotyczących zdarzenia:

- profile ABM 120 ze względu na niewielką grubość blach ulegają bardzo szybkiemu oraz prawie równomiernemu (w płaszczyźnie przekroju) ogrzewaniu,
- ze względu na brak jakiegokolwiek izolacji termicznej uzyskane temperatury powierzchni zbliżone są do temperatur otaczającego medium gazowego (temperatury te zbliżają się do temperatur opisanych przez krzywą węglowodorową,
- skutkiem gwałtownego rozwoju pożaru oraz małej grubości blach jest bardzo szybki spadek parametrów wytrzymałościowych doprowadzający do zniszczenia konstrukcji poprzez lokalną utratę stateczności. Wstępne analizy numeryczne wykonane programem ABAQUS potwierdzają ten mechanizm zniszczenia paneli: lokalna utrata stateczności na niewielkiej długości elementu doprowadzała do globalnego załamania łuku (patrz rys. 4).

### Literatura

1. Kosiorek M., Pogorzelski J. A., Laskowska Z., Pilich K.: Odporność ogniowa konstrukcji budowlanych, Arkady, Warszawa 1988.
2. Maślak M.: Trwałość stalowych konstrukcji prętowych, Politechnika Krakowska, Kraków 2008.
3. PN-90/B-03200 Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.
4. Lee J.H., Mahendran M., Makelainen P.: Prediction of mechanical properties of light gauge steels at elevated temperatures, Journal of Constructional Steel Research, 59 (2003), s 1517-1532.
5. EN 1993-1-2 Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-2: General rules – Structural of fire design.

*Projekt o podwójnie giętych konstrukcjach cienkościennych jest finansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-2011/01/N/ST8/03552. Współautor R. Cybulski jest Stypendystą w ramach projektu "DoktoRIS – Program stypendialny na rzecz innowacyjnego Śląska" współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.*