Research Fund for Coal & Steel

Instytut Techniki Budowlanej

Oddziaływanie membranowe w projektowaniu na warunki pożarowe płyt zespolonych z pełnymi i ażurowymi belkami stalowymi – Waloryzacja

Weryfikacja metody w nowych badaniach ogniowych

Praca naukowa finansowana ze środków finansowych na naukę w roku 2012 przyznanych na realizację projektu międzynarodowego współfinansowanego

Plan prezentacji

- Cele nowych badań ogniowych
- Badania ogniowe w pełnej skali w ramach projektów:
  - FRACOF (Test 1 – pożar standardowy)
  - COSSFIRE (Test 2 – pożar standardowy)
  - FICEB (Test 3 – pożar naturalny; belki ażurowe)
- Przygotowanie badania
- Wyniki doświadczalne
  - Temperatura
  - Przemieszczenie
- Obserwacje i analiza
- Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania
- Wnioski

Po co więcej badań ogniowych?

Cele

Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

- **Podstawy**
  - **Badania ogniowe w Cardington**
    - **Doskonałe zachowanie w warunkach pożaru naturalnego**
    - **Maks. θ stali $\approx$ 1150°C, czas nagrzewania $\approx$ 60 min (> 800°C)**
    - **Brytyjskie szczegóły konstrukcyjne**
- **Cele**
  - **Potwierdzenie równie dobrego zachowania przy długotrwałym nagrzewaniu (co najmniej 90 minut według krzywej nagrzewania ISO)**
  - **Zbadanie wpływu różnych szczegółów konstrukcyjnych, takich jak stalowa siatka zbrojeniowa i zabezpieczenie ogniochronne belek skrajnych**
  - **Walidacja różnych narzędzi inżynierii bezpieczeństwa pożarowego**

Cele

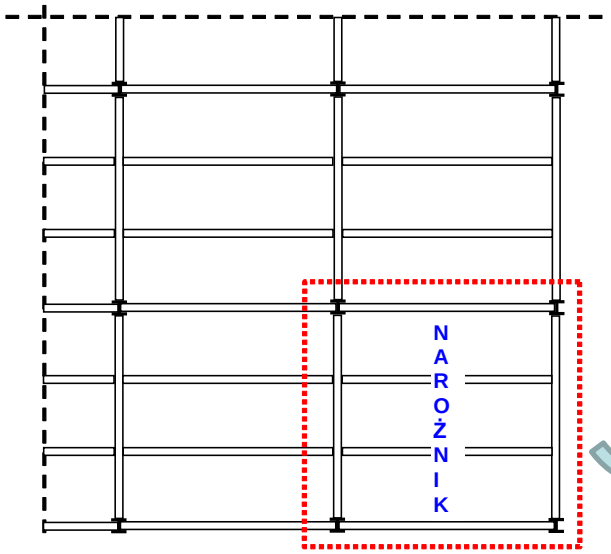
Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

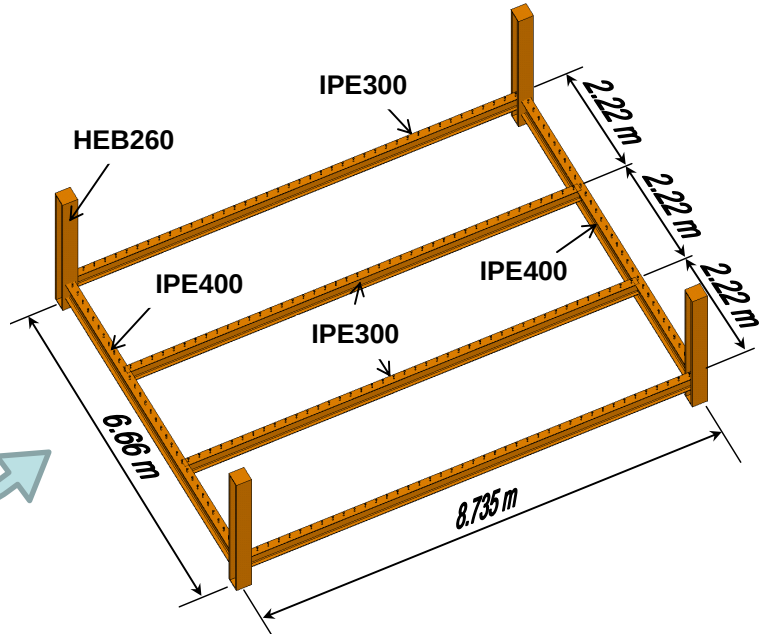
Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

- **Badanie 1 (FRACOF)**



Siatka konstrukcyjna rzeczywistego budynku



Ramy stalowe przyjęte do badania ogniowego FRACOF

Cele

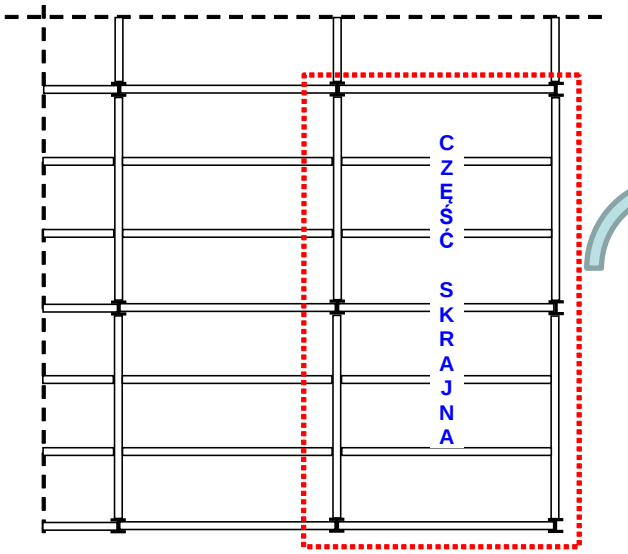
Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

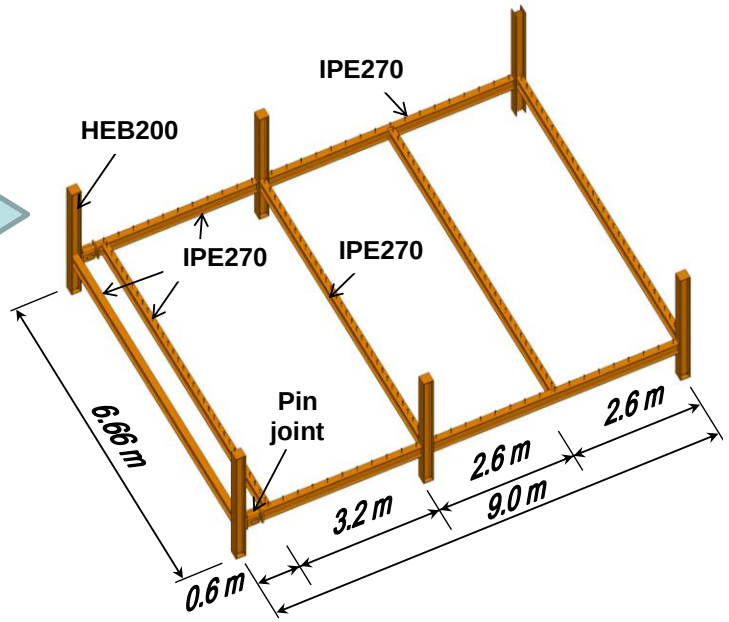
Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

- **Badanie 2 (COSSFIRE)**



Siatka konstrukcyjna rzeczywistego budynku



Ramy stalowe przyjęte do badania ogniowego COSSFIRE

Projekt elementów próbnych

Cele

Przygotowanie badania

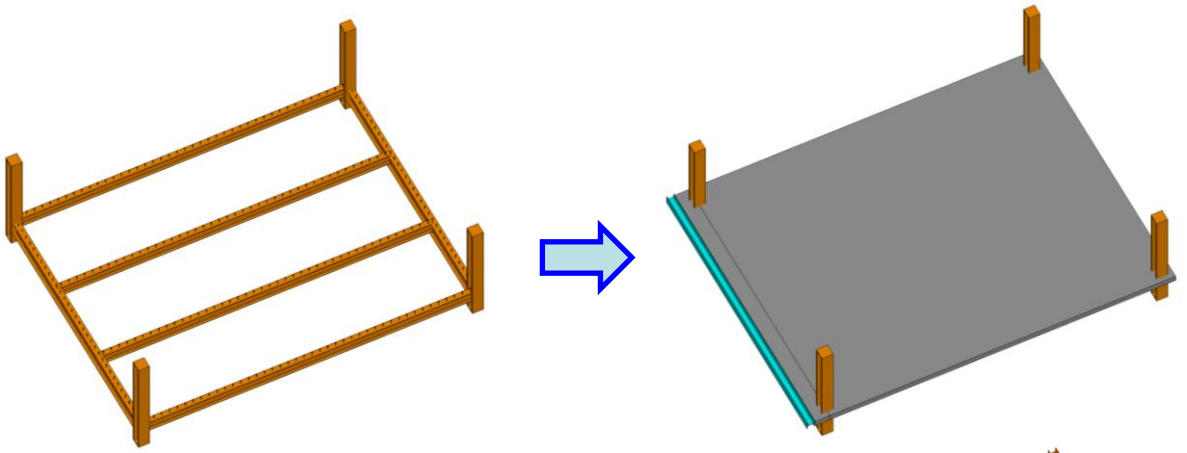
Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

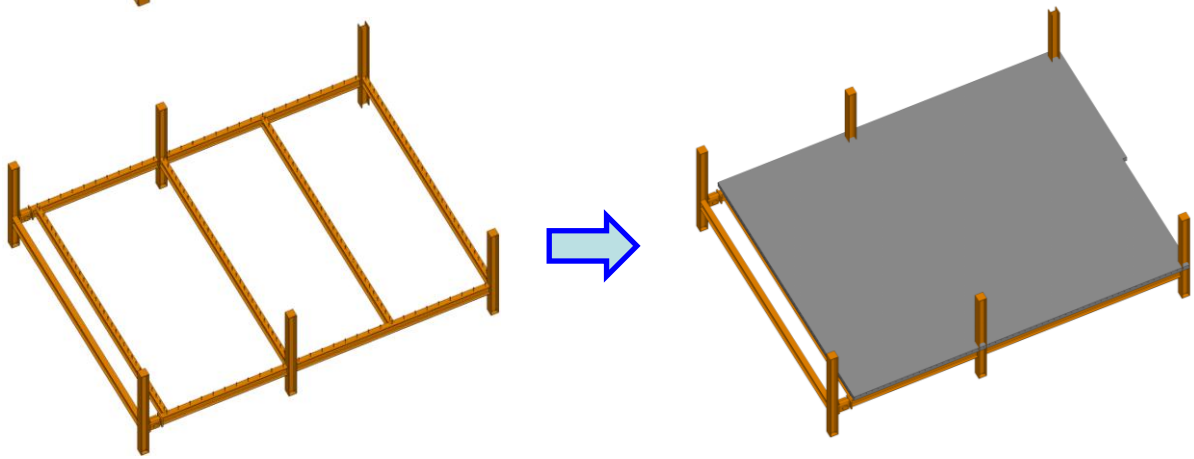
Wnioski

- **Ostateczne systemy stropów zespolonych**

FRACOF



COSSFIRE



Projekt elementów konstrukcyjnych

Cele

Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

- **Rama stalowa**
  - Stalowo – betonowe belki zespolone
    - **Według Eurokodu 4 część 1-1 (EN 1994-1-1)**
  - Krótkie słupy stalowe
- **Płyta zespolona**
  - Całkowita grubość
    - **Według Eurokodu 4 część 1-2 (EN 1994-1-2)**
  - Stalowa siatka zbrojeniowa
    - **Na podstawie uproszczonych zasad projektowania**
- **Połączenia stalowe**
  - Powszechnie używane złącza: podwójny kątownik i blacha czołowa
    - **Według Eurokodu 3 część 1.8 (EN 1993-1-8)**

Cele

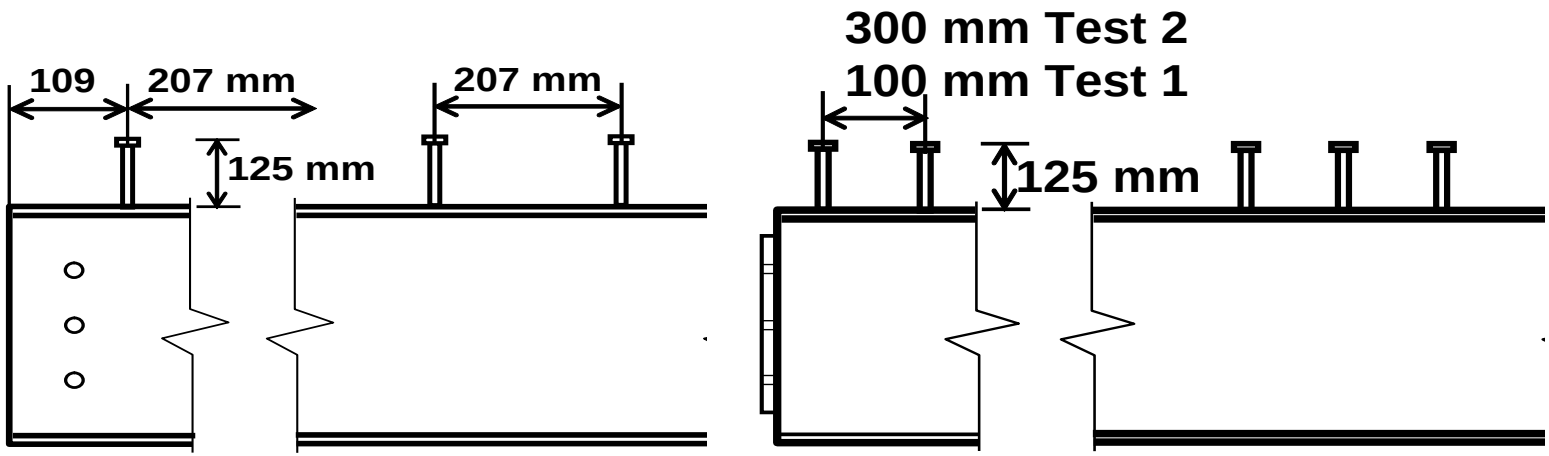
Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

- **Układ trzpieni na belkach stalowych**



Belki drugorzędne

Belki główne

- **Rodzaj sworzni stalowych**
  - TRW Nelson KB 3/4" – 125 (Φ = 19mm; h = 125 mm; f_y = 350 N/mm²; f_u = 450 N/mm²)

Połączenia stalowe

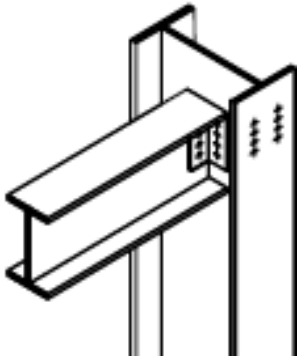
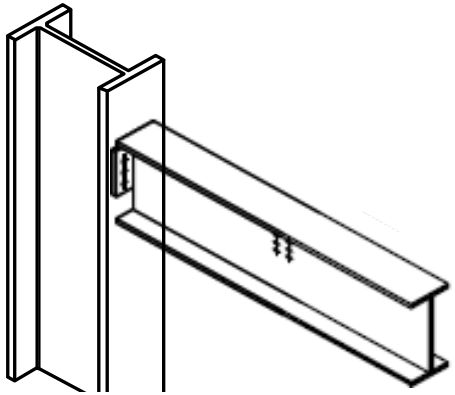
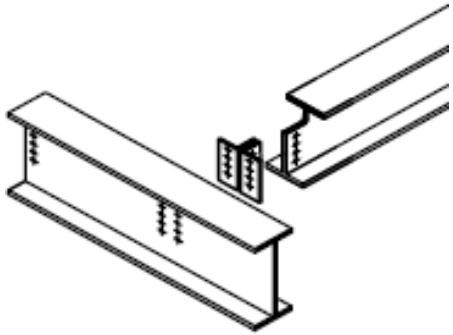
Cele

Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

Belka do słupa		Belka do belki
Belka drugorzędna	Belka główna	
Nakładki z podwójnego kątownika	Podatna blacha czołowa	Nakładki z podwójnego kątownika
		

Klasa śrub stalowych: 8.8

Średnica śruby stalowej: 20 mm

Wymiary elementów konstrukcyjnych

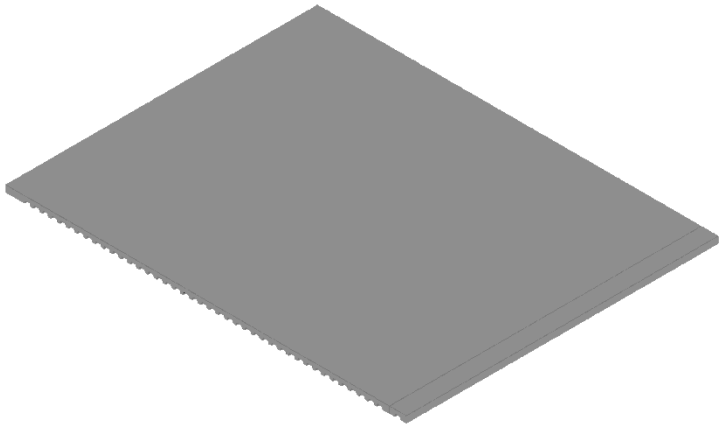
Cele

Przygotowanie badania

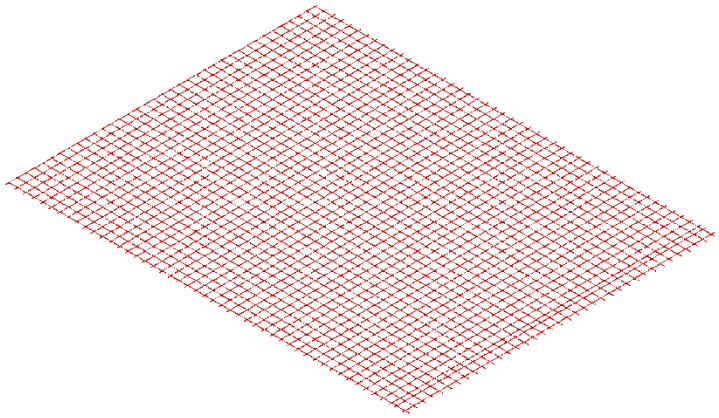
Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

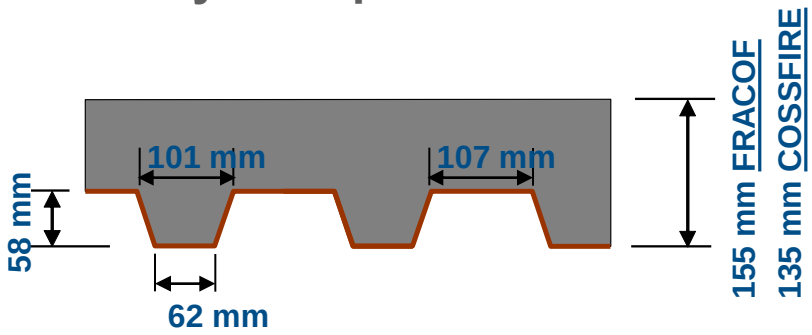
Wnioski



Płyta zespolona



Stalowa siatka zbrojeniowa



Stalowy szalunek: **COFRAPLUS60 – 0,75 mm**

Klasa betonu: **C30/37**

Rozmiar siatki: 150x150

Średnica: 7 mm

Gatunek stali: S500

Odległość osi zbrojenia od górnej powierzchni płyty:

- 50 mm FRACOF
- 35 mm COSSFIRE

Warunki obciążenia mechanicznego

Cele

Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

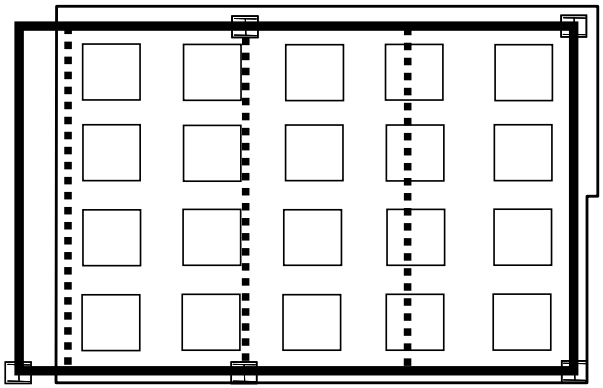
Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

FRACOF

15 worków z piaskiem 1512 kg

równoważne równomiernemu obciążeniu: 3,90 kN/m²



COSSFIRE

20 worków z piaskiem 1098 kg

Równoważne równomiernemu obciążeniu: 3,93 kN/m²

Przygotowanie badania COSSFIRE

Cele

Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

1

2

3

4

Zachowanie stropu podczas badania

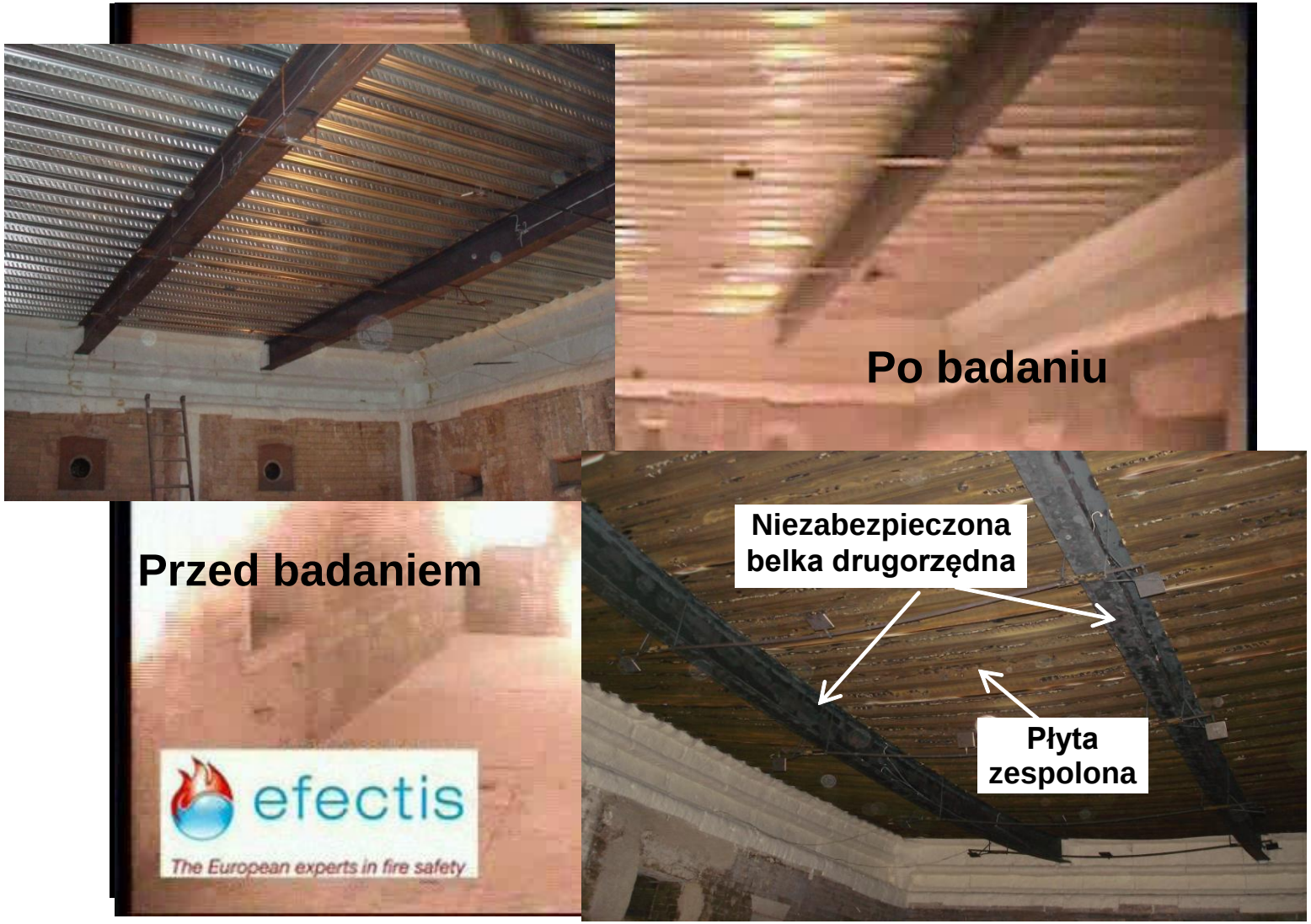
Cele

Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski



Konstrukcja w Badaniu 3 (FICEB)

Cele

Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

Konstrukcja w Badaniu 3 (FICEB)

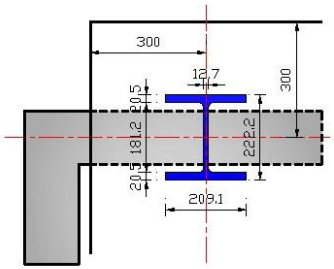
Cele

Przygotowanie badania

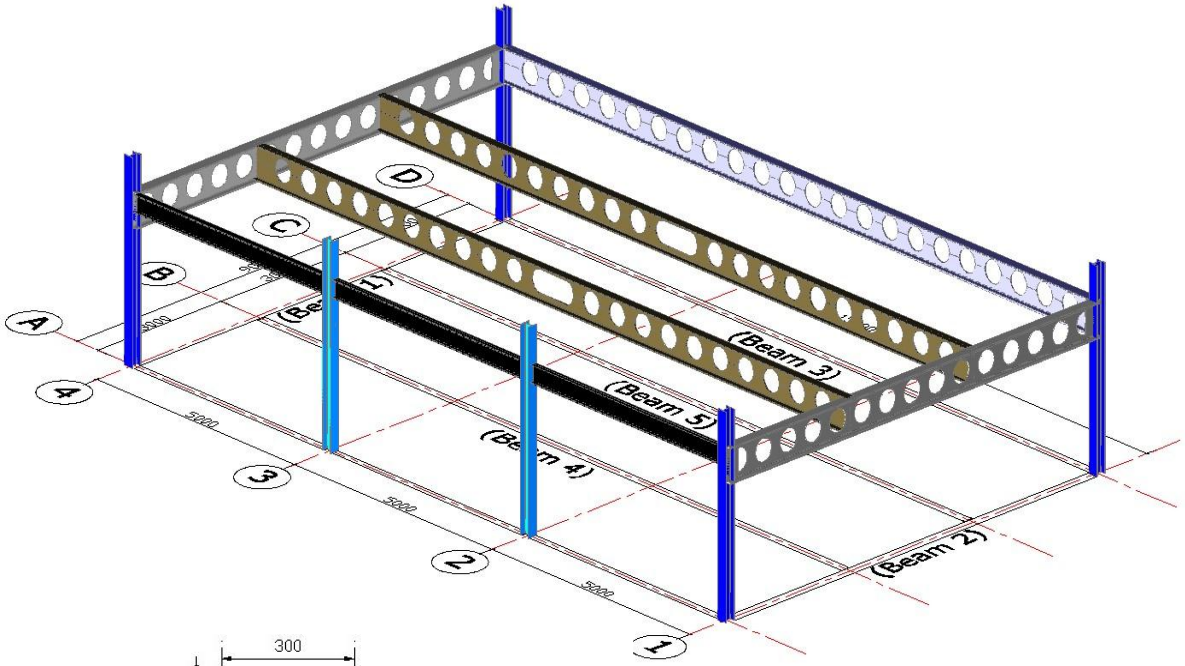
Wyniki doświadczalne i obserwacje

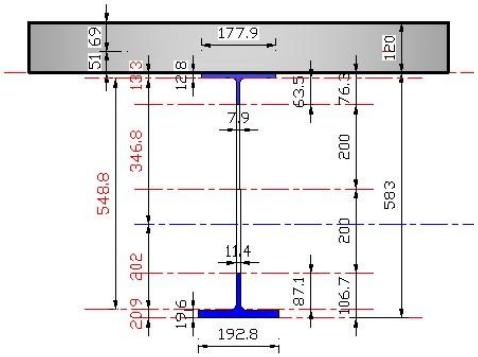
Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

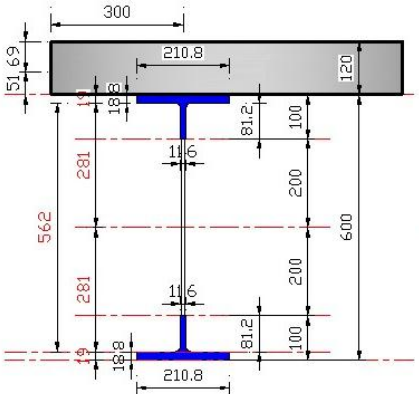


(Słup GL-A)

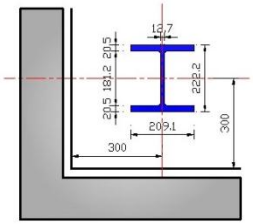




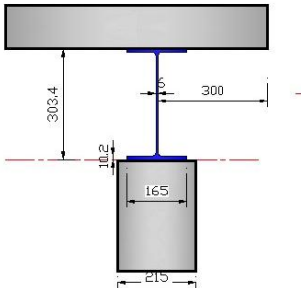
(Belka 3/4/5)



(Belka 1/2)



(Słup GL-D)



(Belka pełna)

Cele

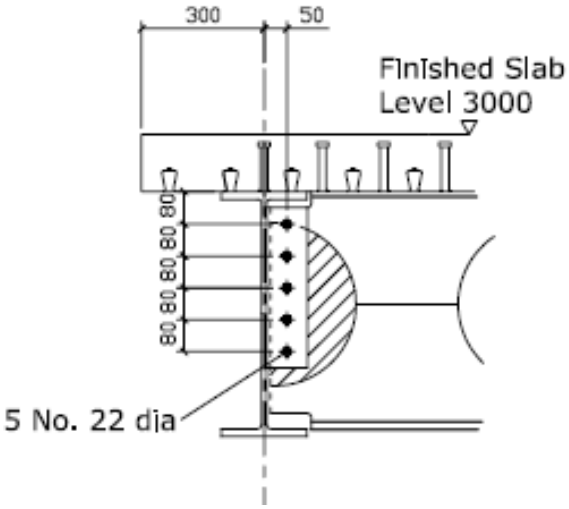
Przygotowanie badania

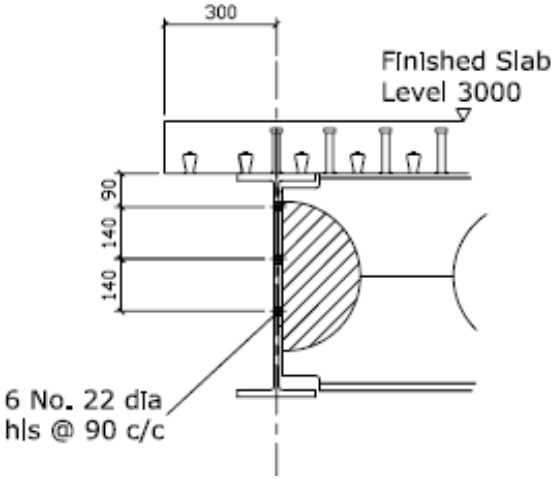
Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

Połączenia Belka – Belka





Konstrukcja w Badaniu 3 (FICEB)

Cele

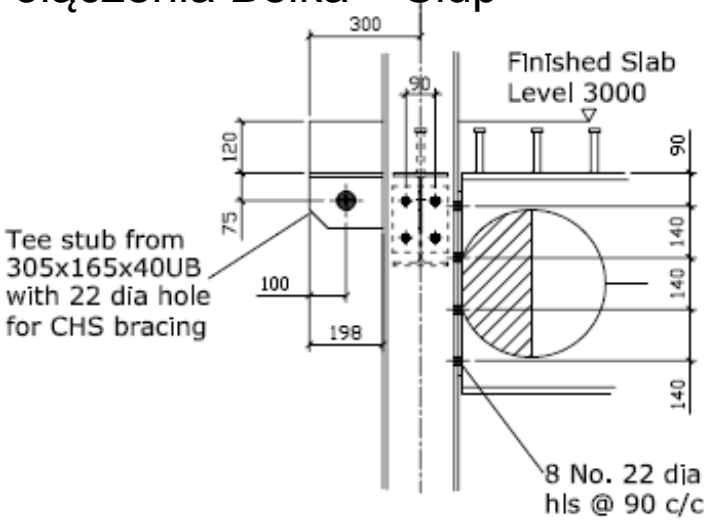
Przygotowanie badania

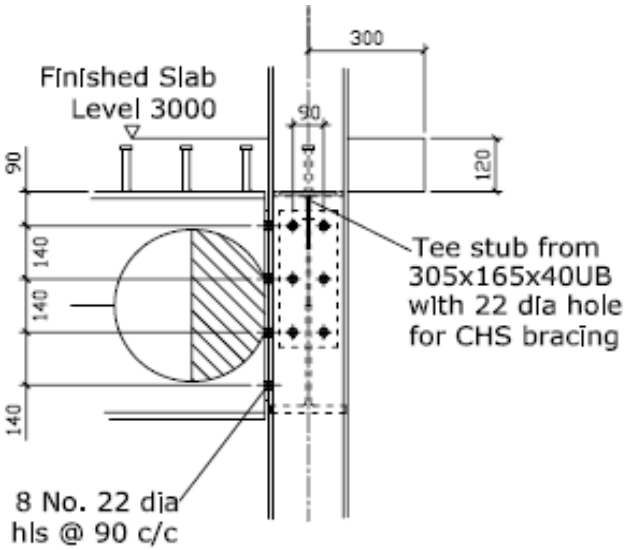
Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

Połączenia Belka – Słup





Konstrukcja w Badaniu 3 (FICEB)

Cele

Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

Siatka zbrojeniowa A393, Ø 10mm

Pełna współpraca: między płytą i belkami, osiągnięta dzięki trzpieniom, Ø19, h=95mm

Wokół płyty dodano pręty U-kształtne w celu zapewnienia poprawności zbrojenia na warunki normalne

Konstrukcja w Badaniu 3 (FICEB)

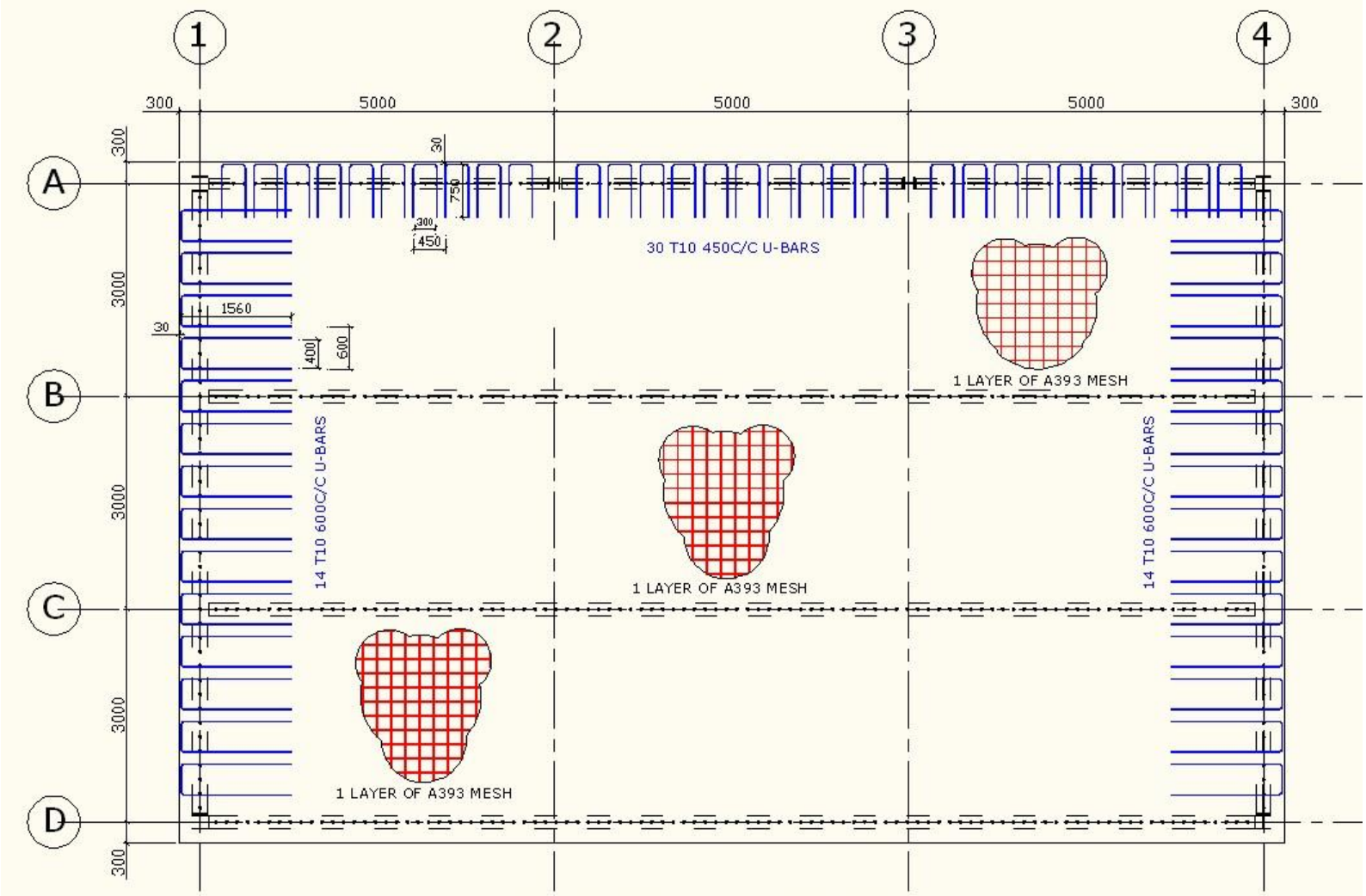
Cele

Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski



Widok na górną powierzchnię płyty

Konstrukcja w Badaniu 3 (FICEB)

Cele

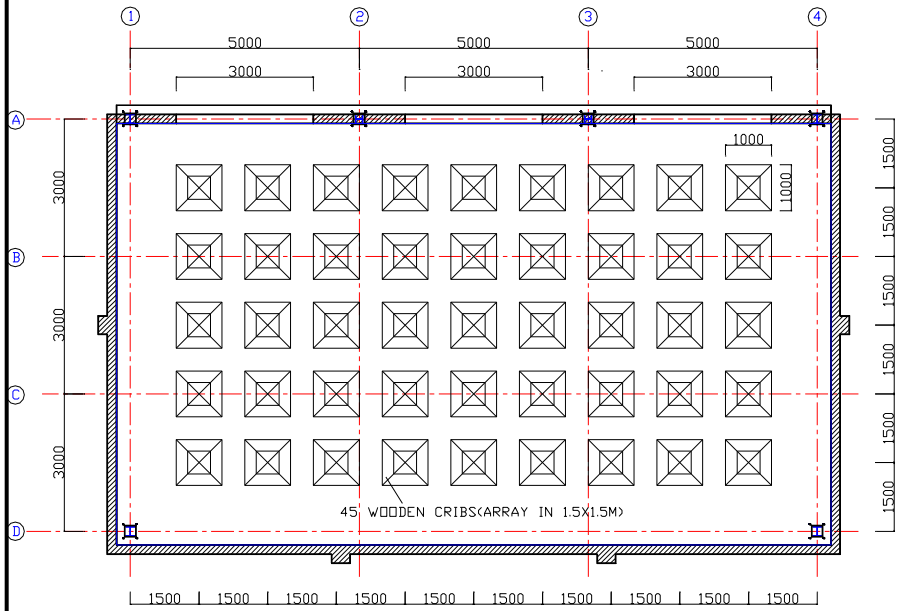
Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

Gęstość obciążenia ogniowego wyniosła 700MJ/m^2
Zastosowano 45 standardowych stosów drewna (1m x 1m x 0,5 m wysokości), rozmieszczonych równomiernie w pomieszczeniu (9,0m x 15,0m).



Rozmieszczenie stosów drewna

Wyniki doświadczalne

Cele

Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

- **Temperatura nagrzewania**
- **Nagrzewanie niezabezpieczonych belek stalowych**
- **Nagrzewanie zabezpieczonych elementów stalowych**
- **Nagrzewanie płyty zespolonej**
- **Ugięcie stropu**
- **Obserwacje wynikające z zachowania systemów stropów zespolonych**
  - **Pękanie betonu i kruszenie betonu**
  - **Zniszczenie stalowej siatki zbrojeniowej podczas badania**
  - **Załamanie belek skrajnych**

Wyniki doświadczalne

Cele

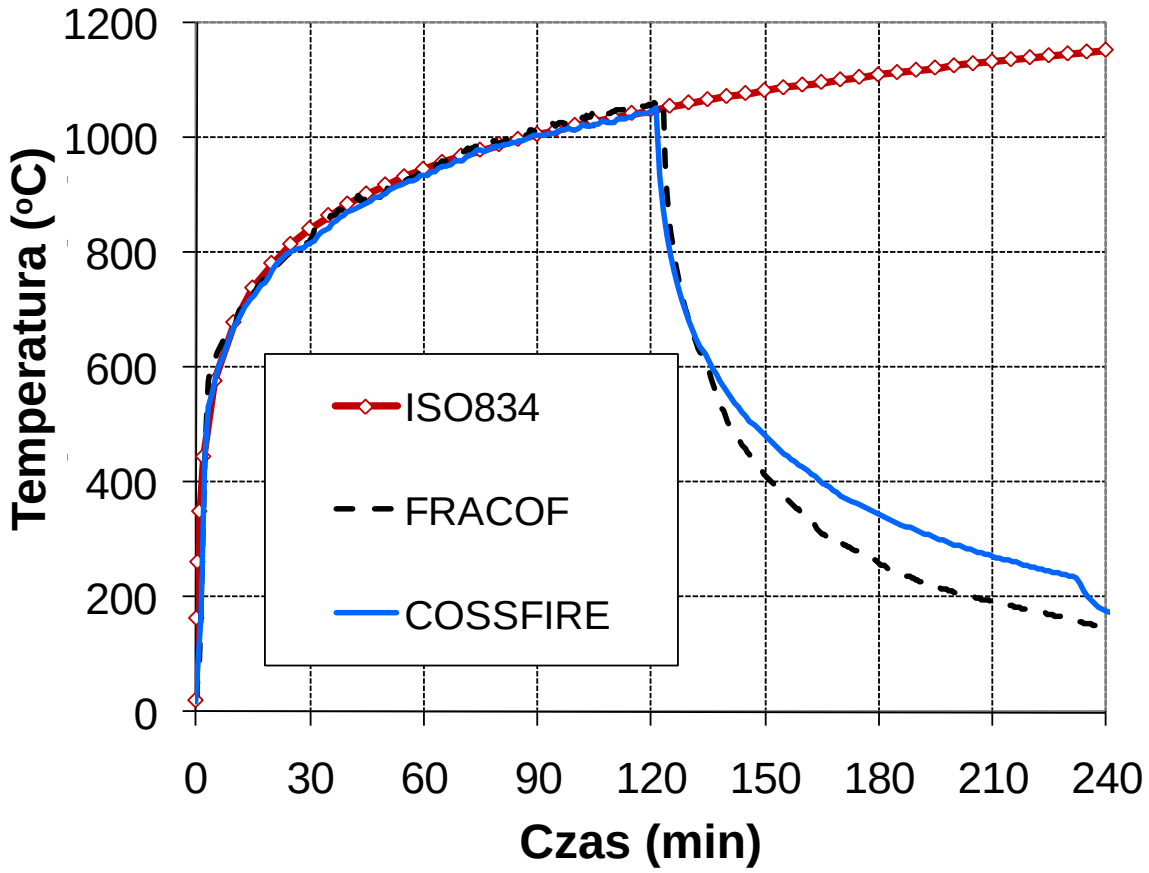
Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

- **Temperatura nagrzewania**



Wyniki doświadczalne

Cele

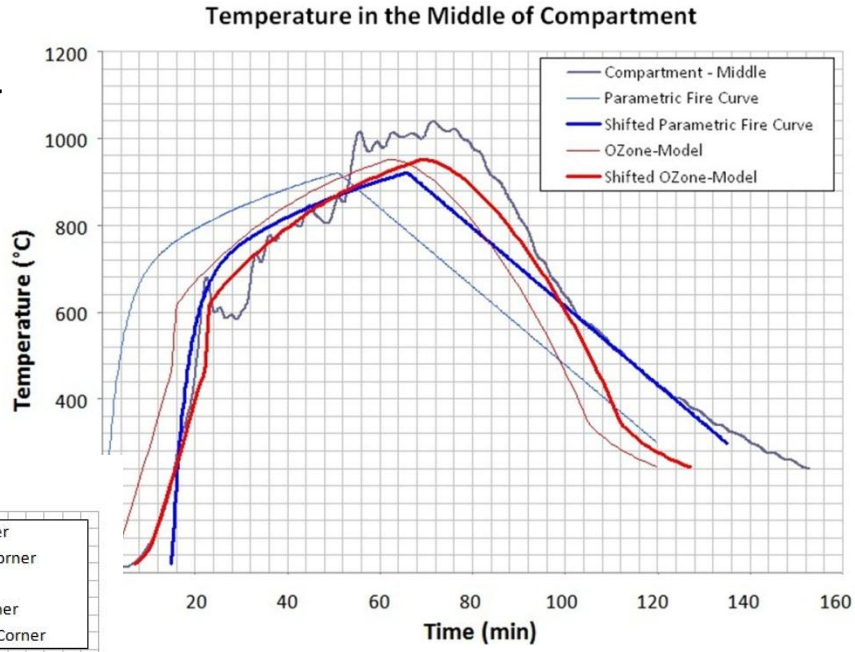
Przygotowanie badania

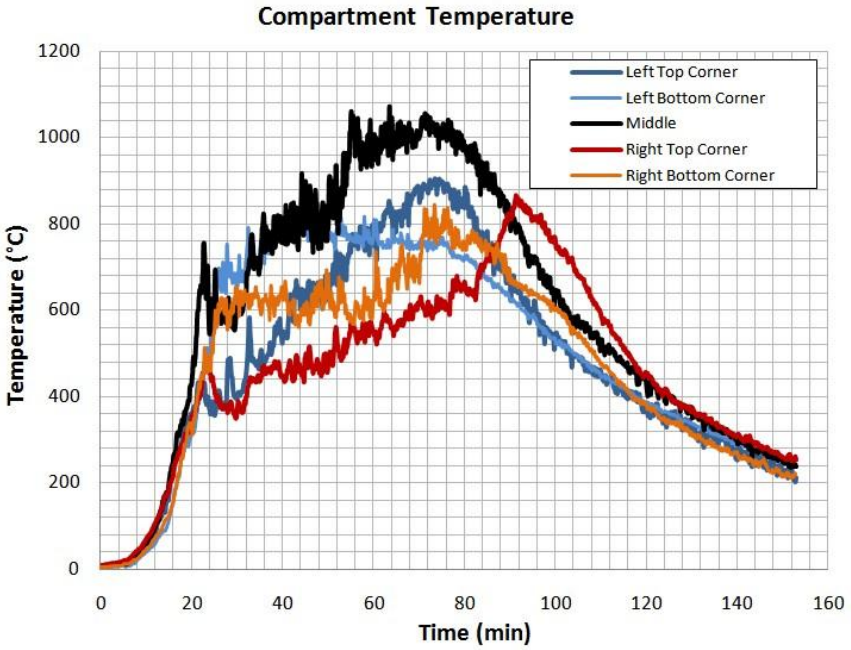
Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

- **Temperatura nagrzewania w Badaniu 3 (FICEB)**





Wyniki doświadczalne

Cele

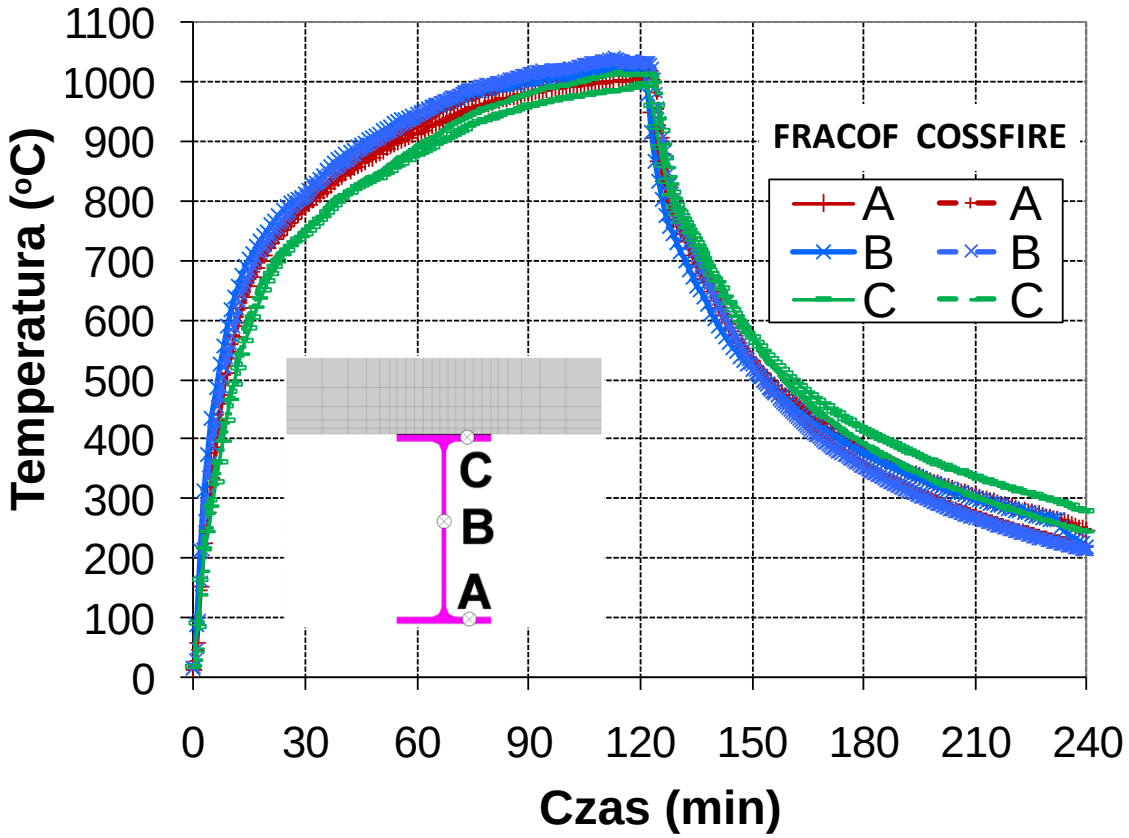
Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

- **Nagrzewania niezabezpieczonych belek stalowych**



Wyniki doświadczalne

Cele

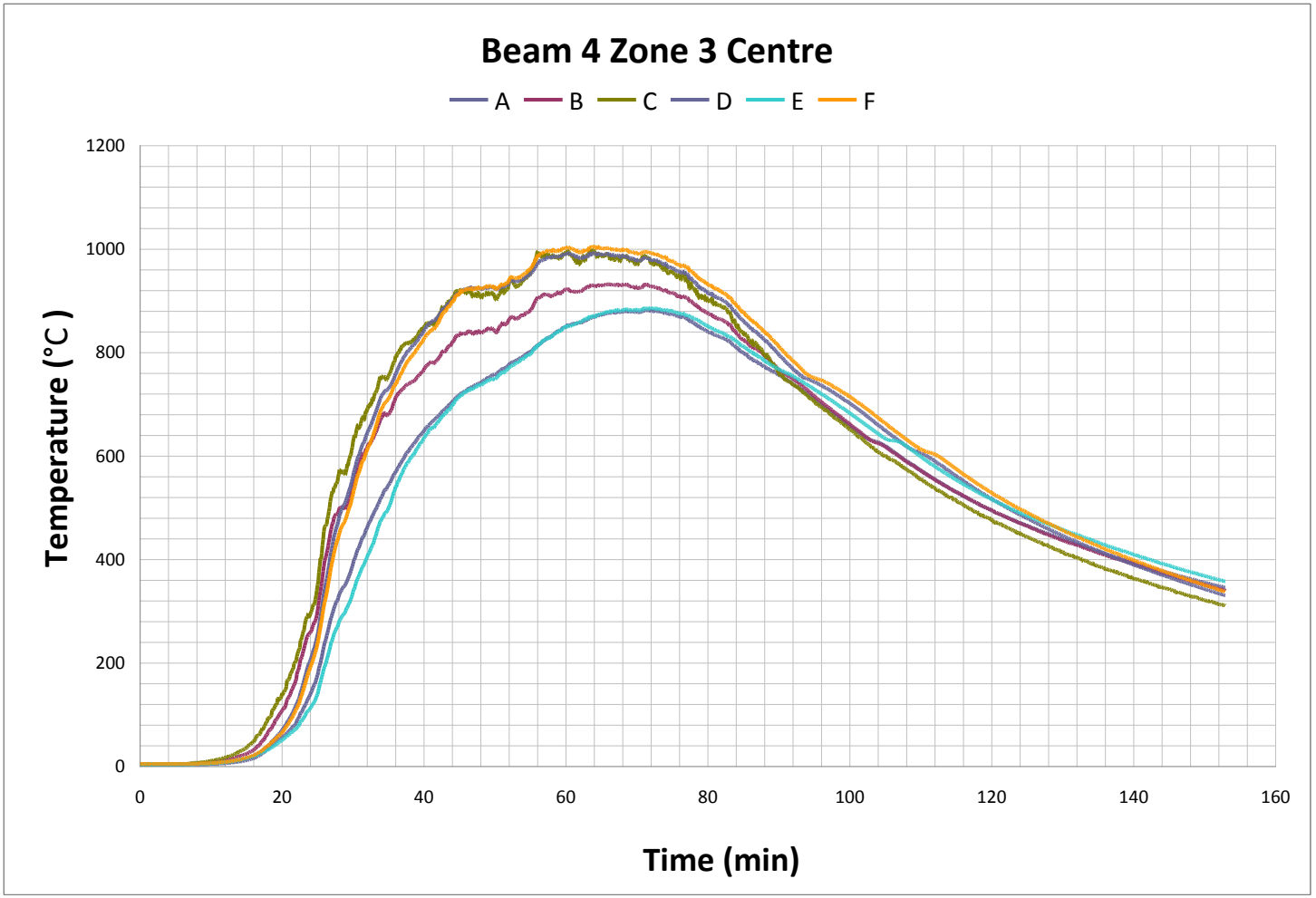
Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

- **Nagrzewania niezabezpieczonych belek stalowych (FICEB)**



Wyniki doświadczalne

Cele

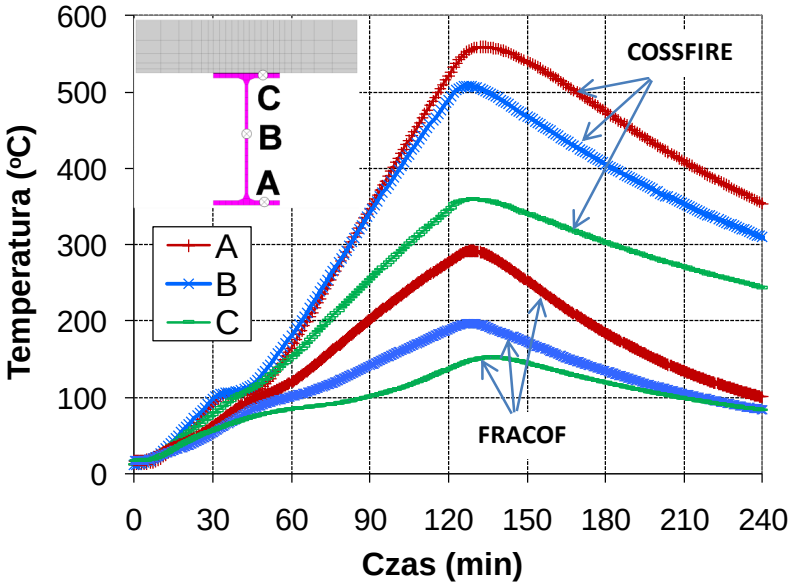
Przygotowanie badania

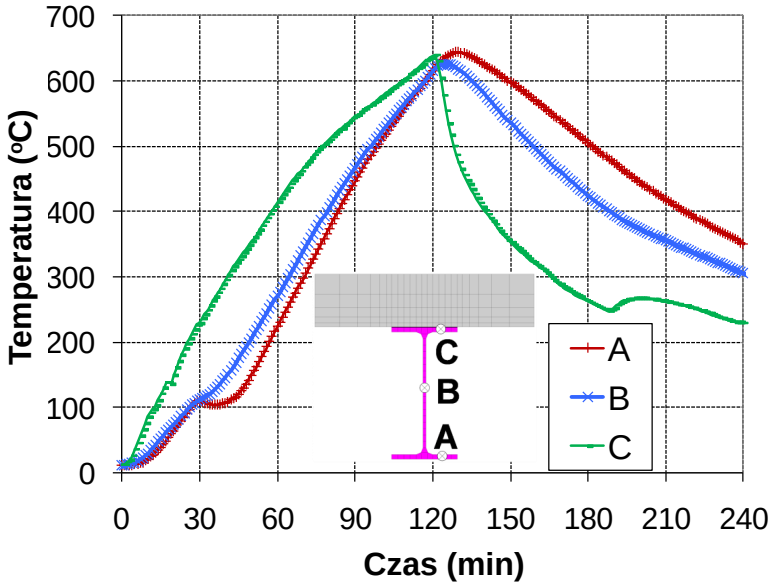
Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

- **Nagrzewanie zabezpieczonych belek stalowych**





- **Obserwacje**
  - **Znacznie bardziej nagrzane belki w badaniu COSSFIRE, temperatura ≈ 550 °C i jedna skrajna belka drugorzędna nagrzana do > 600 °C**

Wyniki doświadczalne

Cele

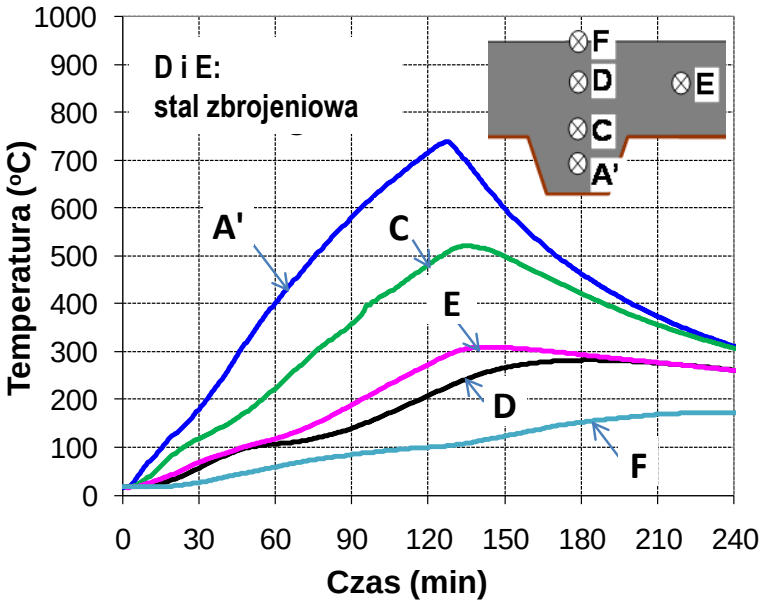
Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

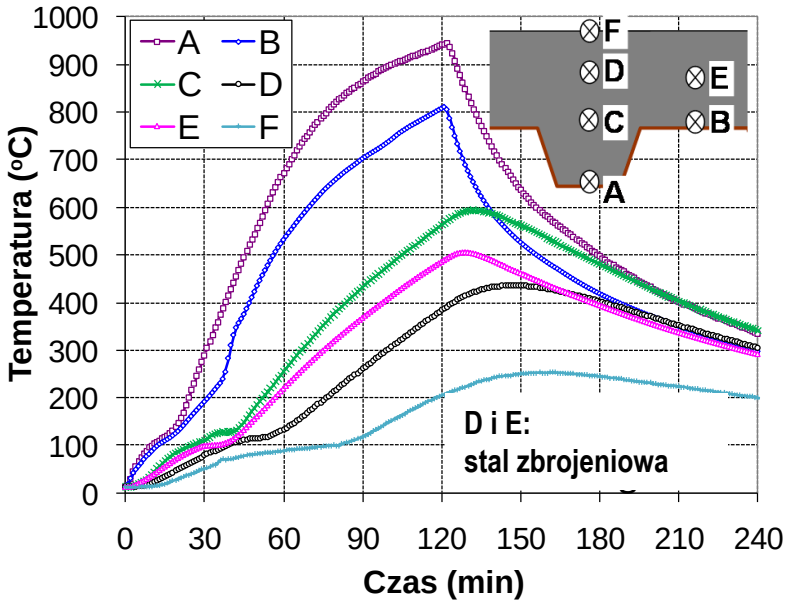
Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

- **Nagrzewanie płyty zespolonej**



FRACOF



COSSFIRE

Wyniki doświadczalne

Cele

Przygotowanie badania

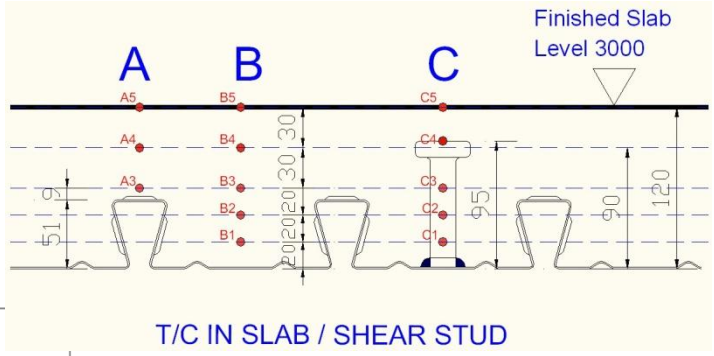
Wyniki doświadczalne i obserwacje

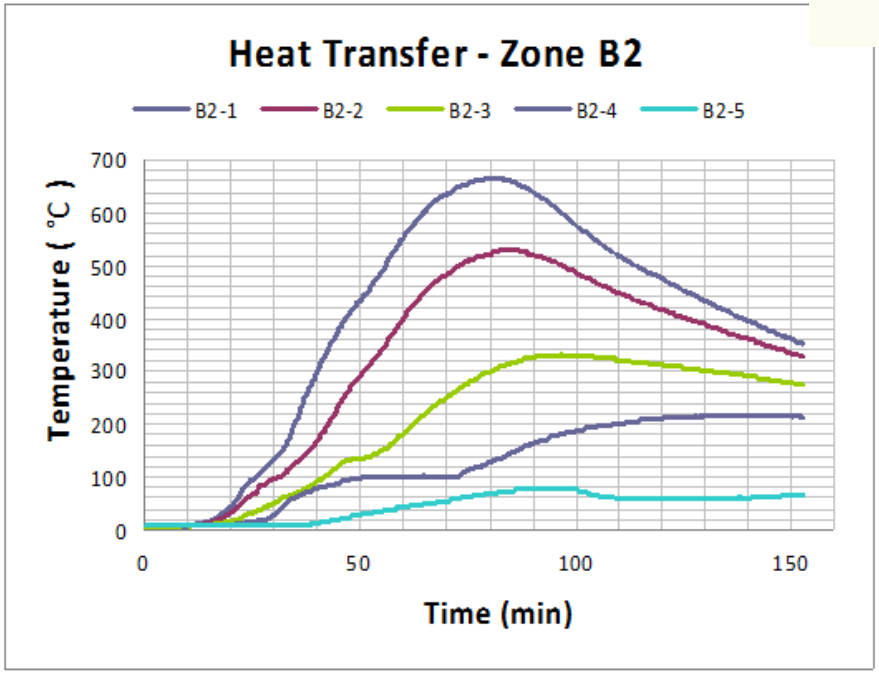
Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

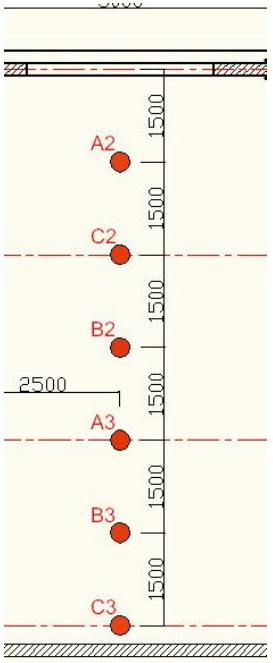
Wnioski

- **Nagrzewanie płyty zespolonej**

FICEB







Wyniki doświadczalne

Cele

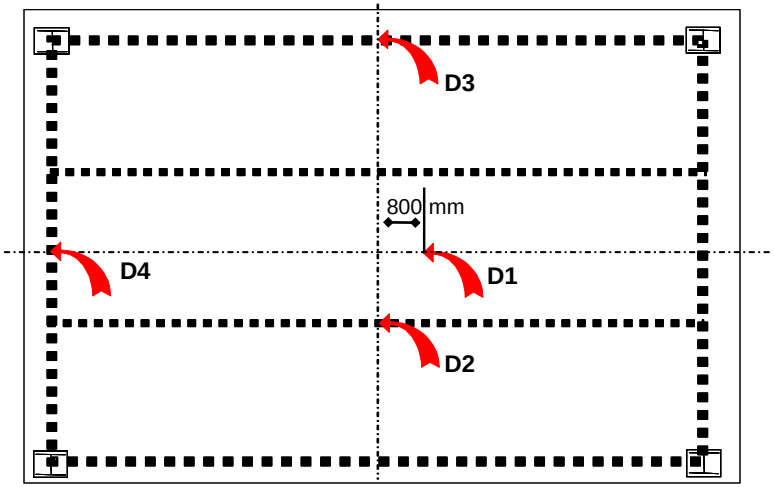
Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

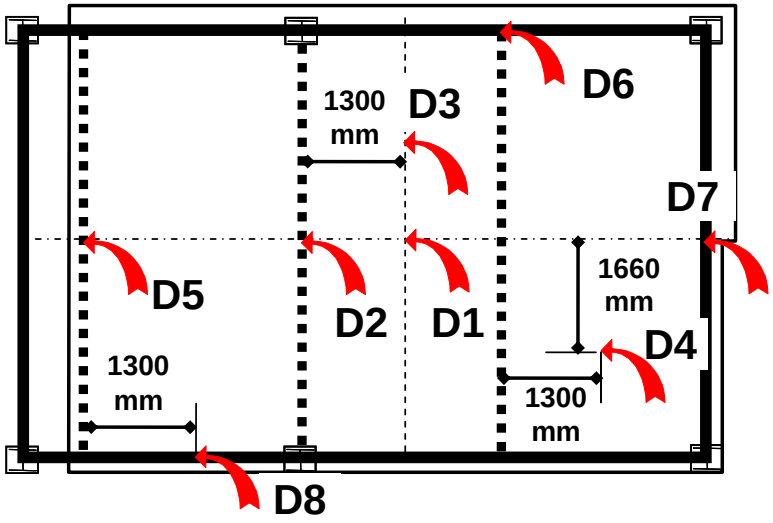
Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

- **Czujniki przemieszczenia do pomiaru ugięć**



FRACOF



COSSFIRE

Wyniki doświadczalne

Cele

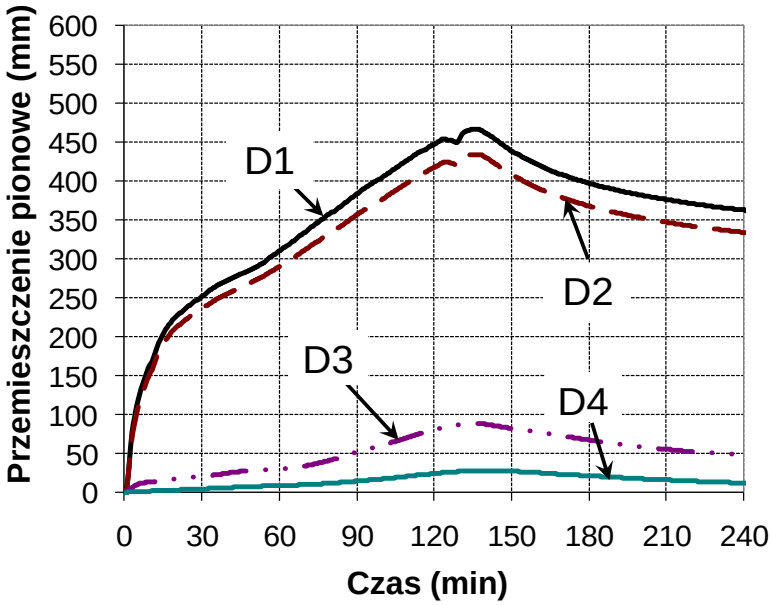
Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

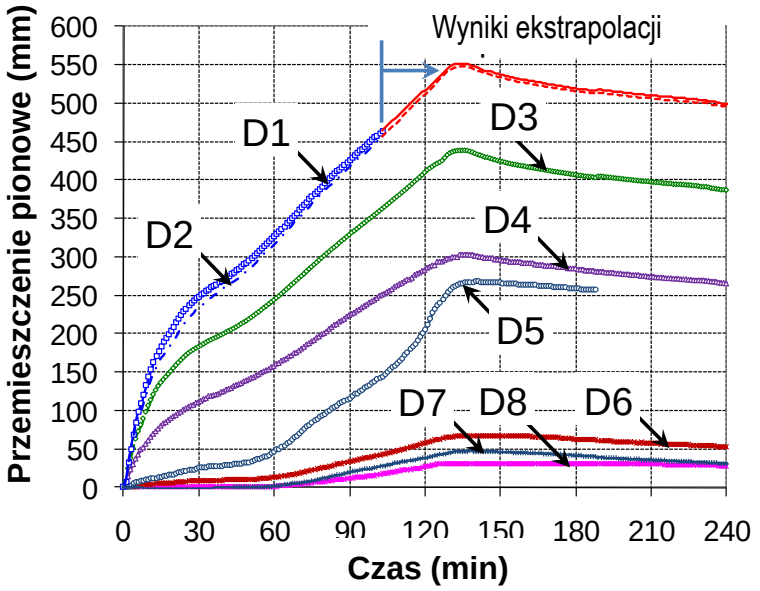
Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

- **Ugięcie stropów**



FRACOF



COSSFIRE

Wyniki doświadczalne

Cele

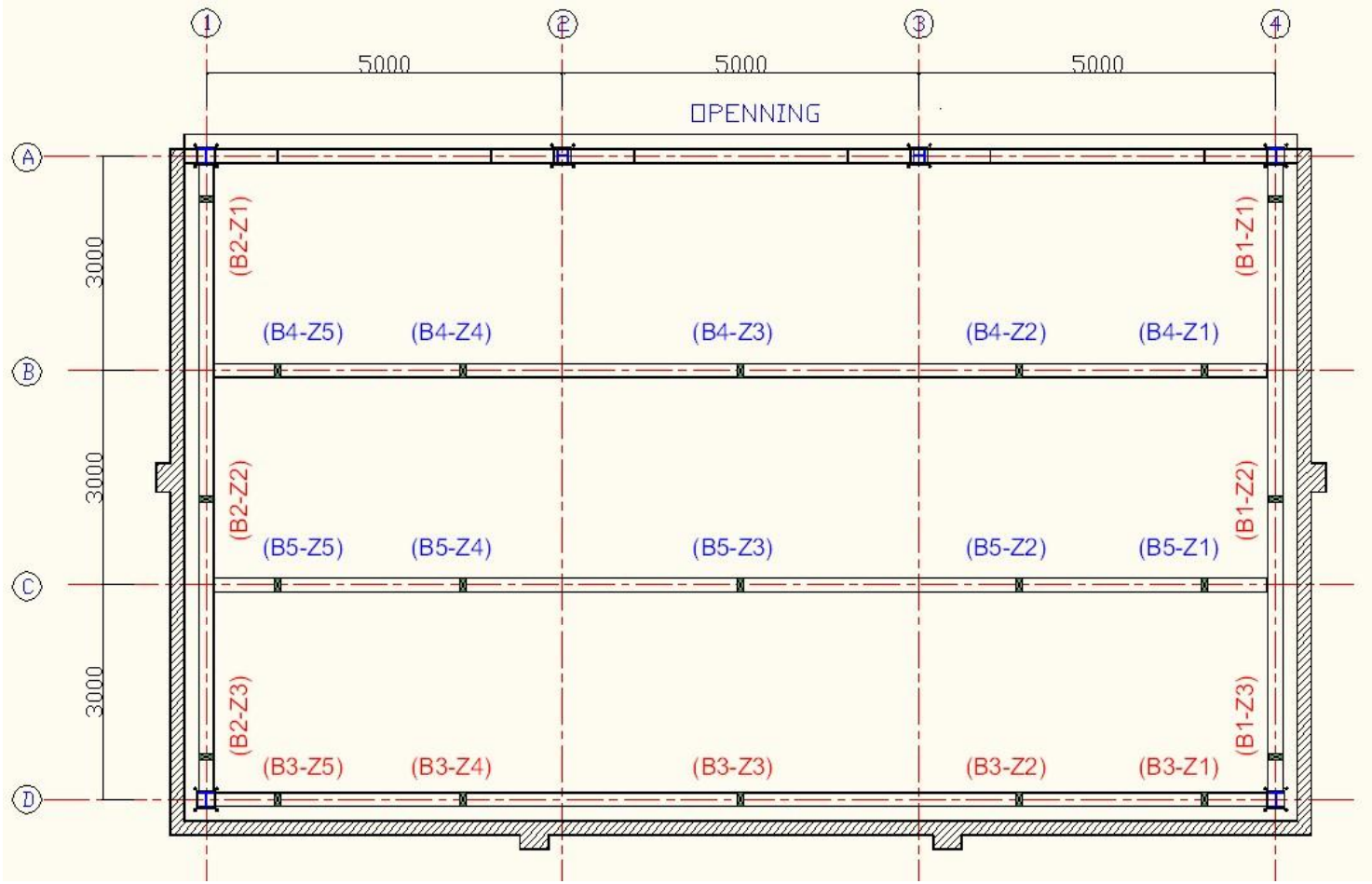
Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

- **Badanie FICEB – punkty pomiaru ugięć**



Rozmieszczenie termopar na elementach stalowych

Wyniki doświadczalne

Cele

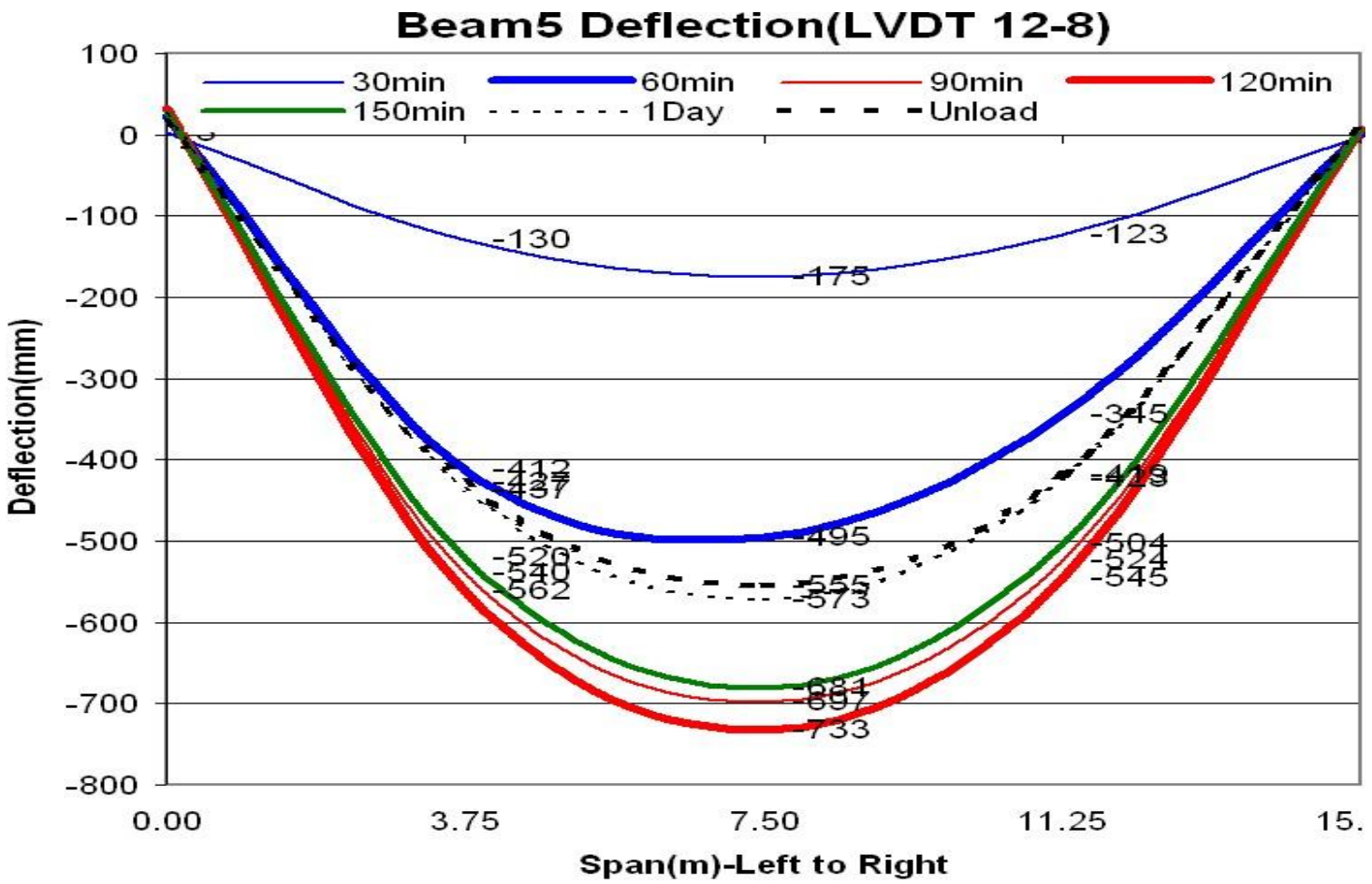
Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

- **Ugięcie stropów (FICEB)**



Wyniki doświadczalne

Cele

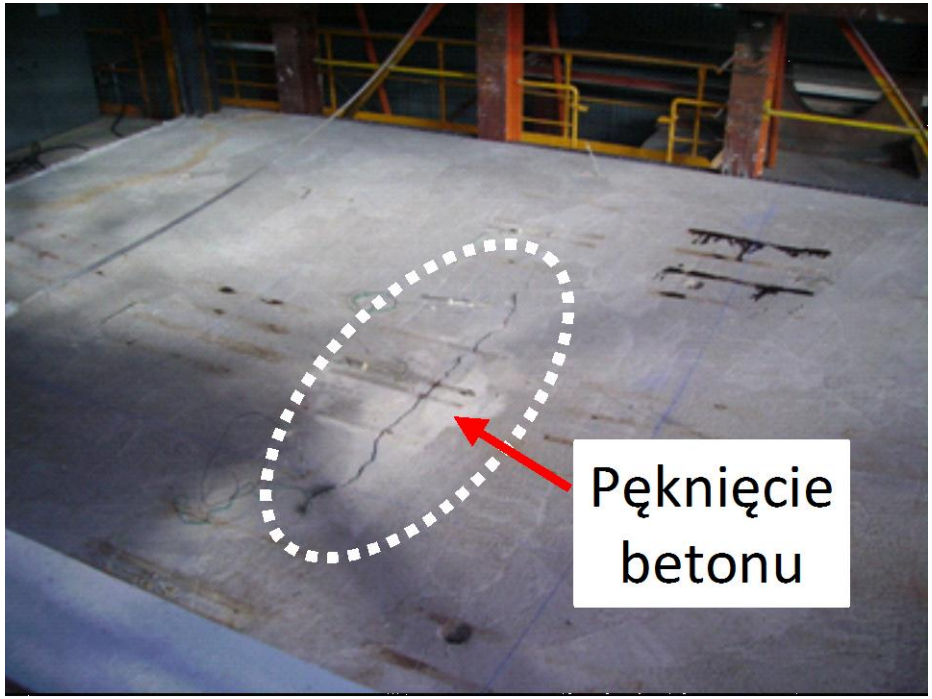
Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

- **Pękanie betonu (FRACOF)**



- **Obserwacje**
  - **Doskonała globalna nośność stropu pomimo zniszczenia stalowej siatki zbrojeniowej**

Wyniki doświadczalne

Cele

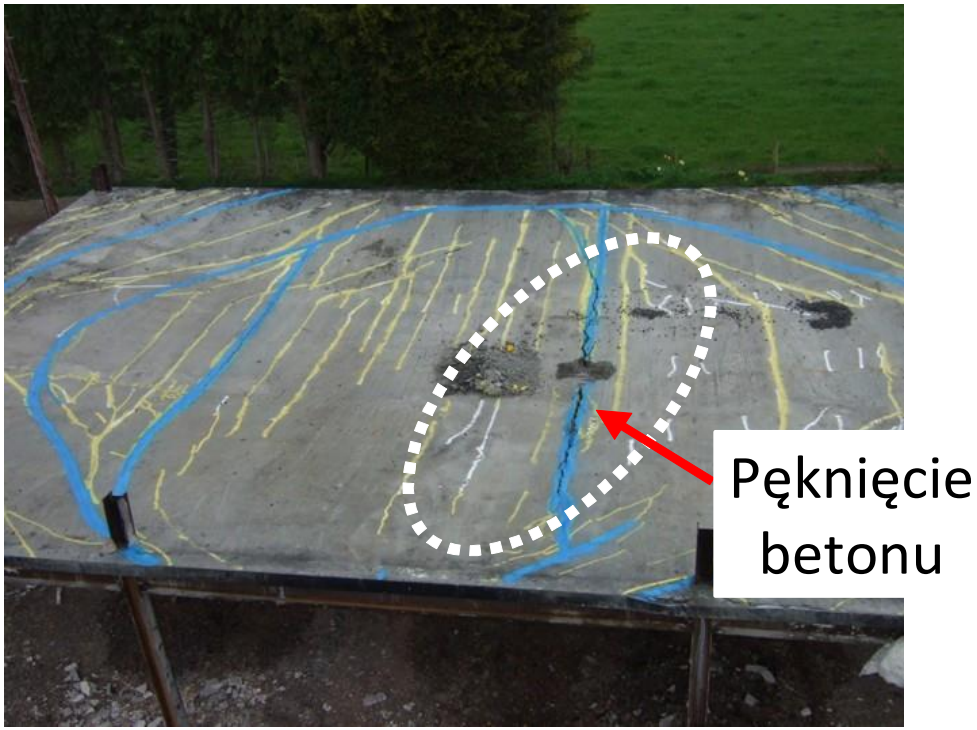
Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

- **Pękanie betonu (FICEB)**



- **Obserwacje**
  - **Doskonała globalna nośność stropu pomimo pojawienia się rysy**

Wyniki doświadczalne

Cele

Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

- **Utrata stateczności środnika belki (FICEB)**

Wyniki doświadczalne

Cele

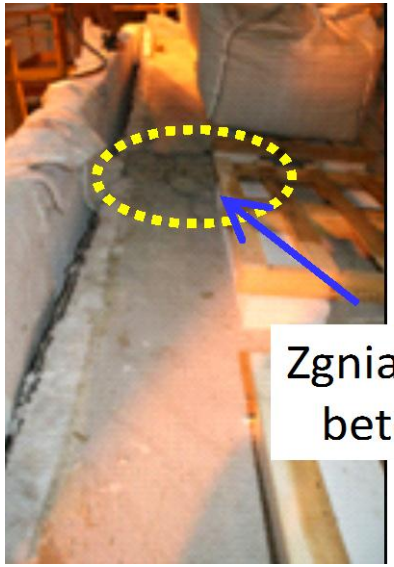
Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

- **Zgniatanie betonu (COSSFIRE)**



- **Obserwacje**
  - **Globalna stateczność stropu zostaje zachowana pomimo zniszczenia jednej belki skrajnej**

Porównanie z uproszczonymi zasadami projektowania

Cele

Przygotowanie badania

Wyniki doświadczalne i obserwacje

Porównanie z uproszczonymi metodami projektowania

Wnioski

	FRACOF		COSSFIRE	
	Badanie	Uproszczone metody projektowania	Badanie	Uproszczone metody projektowania
Odporność ogniowa (min)	> 120	120	> 120	96
Ugięcie (mm)	450	366(*)	510	376(*)

- **Obserwacje**
  - Wyniki doświadczalne:
    - **Odporność ogniowa > 120 minut**

Wyniki nowych badań ogniowych

- **Ogólne wnioski dotyczące nowych badań ogniowych**
  - **Doskonałe zachowanie systemów stropów zespolonych pozostających pod działaniem membranowym przez długi czas oddziaływania ognia według krzywej ISO (>120 minut)**
  - **Wysoki poziom trwałości systemów stropów zespolonych pomimo pewnych lokalnych uszkodzeń**
  - **Szczególną uwagę należy zwrócić na rozwiązanie konstrukcyjne uwzględniające stalową siatkę zbrojeniową w celu spełnienia kryteriów szczelności ogniowej**
  - **Uproszczona metoda projektowania jest po bezpiecznej stronie w porównaniu z wynikami badań**
  - **Brak oznak zniszczenia podczas fazy studzenia systemów stropów zespolonych**