



Zasady projektowania systemów stropów zespolonych z niezabezpieczonymi ogniocronnie drugorzędowymi belkami stalowymi

14 czerwca 2011 r.

Zachowanie stropów stalowych i zespolonych w warunkach pożarowych

*Obserwacje z badań ogniowych w pełnej
skali*

Olivier VASSART - Bin ZHAO

- **Badania ogniowe w Cardington**
 - Badanie belki z zastosowaniem palników
 - Badanie ramy z zastosowaniem palników
 - Badania narożnika z zastosowaniem stosów drewna
 - Badania demonstracyjne z rzeczywistym wyposażeniem biura
- **Badania ogniowe otwartych parkingów samochodowych**
 - Badania lokalnych pożarów samochodów
- **Dane dotyczące pożarów w istniejących budynkach i innych badaniach ogniowych spoza Europy**
 - Pożary rzeczywiste
 - Inne badania ogniowe

- Ośmiopiętrowy budynek o stalowej konstrukcji ramowej

Badania
ogniowe
w Cardington

Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych

Dane z pożarów
rzeczywistych



Połączenie belka - belka



Połączenie belka - słup

- **Główne parametry budynku**

- **Długość: 45 m przy 5 przęsłach 9 m**
- **Szerokość: 21 m przy 3 przęsłach 6 m, 9 m i 6 m**
- **Wysokość kondygnacji: 4.2 m**
- **Elementy stalowe: belki UB i słupy UC**
- **Płyta zespolona: beton lekki o całkowitej grubości 130 mm i blacha trapezowa jako szalunek tracony**
- **Siatka stalowa: 142 mm²/m**
- **Połączenia stalowe: na blachy zakładkowe dla połączeń belka-belka i na blachy czołowe dla połączeń belka-słup**
- **Zastosowane obciążenie: worki z piaskiem**

Badania
ogniowe
w Cardington

Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych

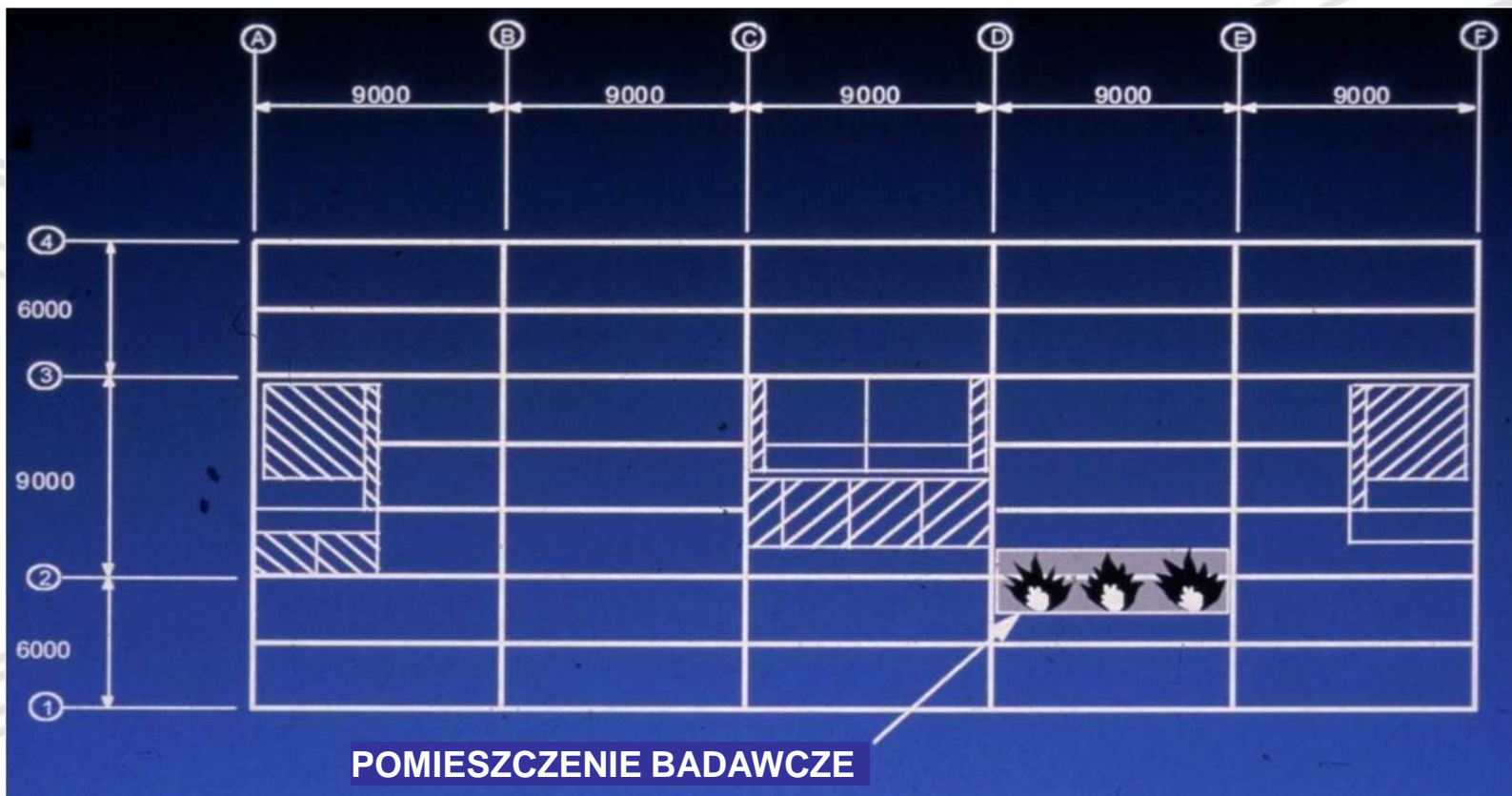
Dane z pożarów
rzeczywistych

- **Badanie belki utwierdzonej: rozpiętość = 9.0 m**

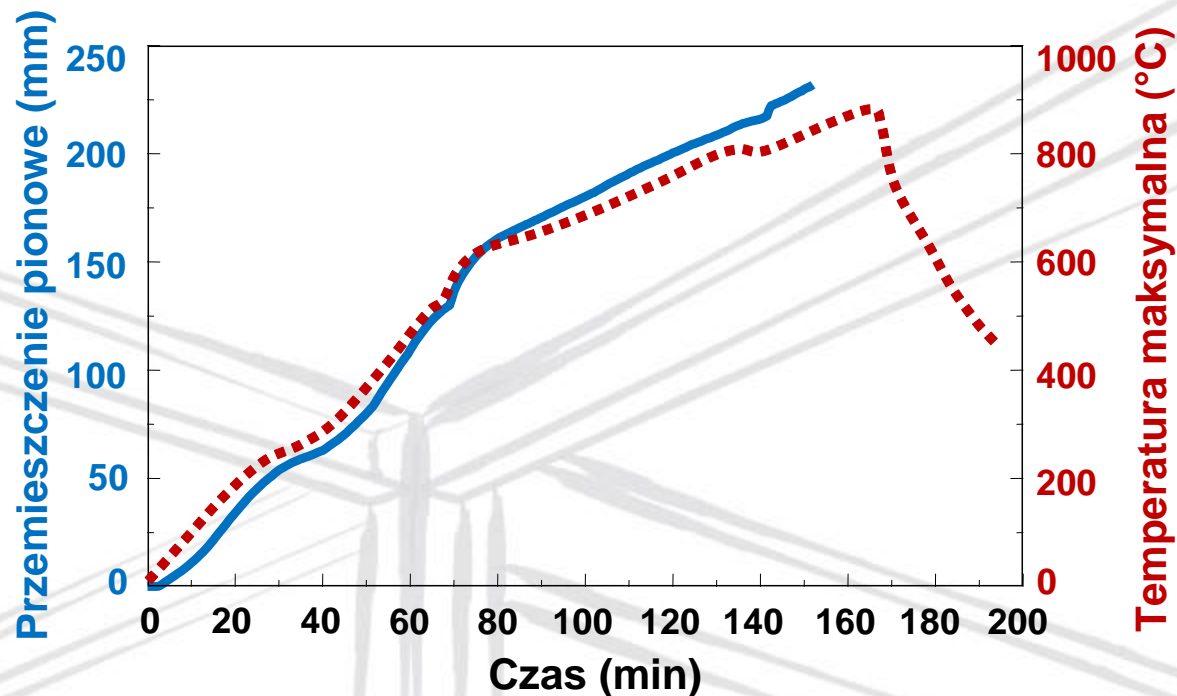
Badania ogniowe w Cardington

Badania ogniowe otwartych parkingów samochodowych

Dane z pożarów rzeczywistych



- **Badanie belki utwierdzonej: wyniki doświadczalne**



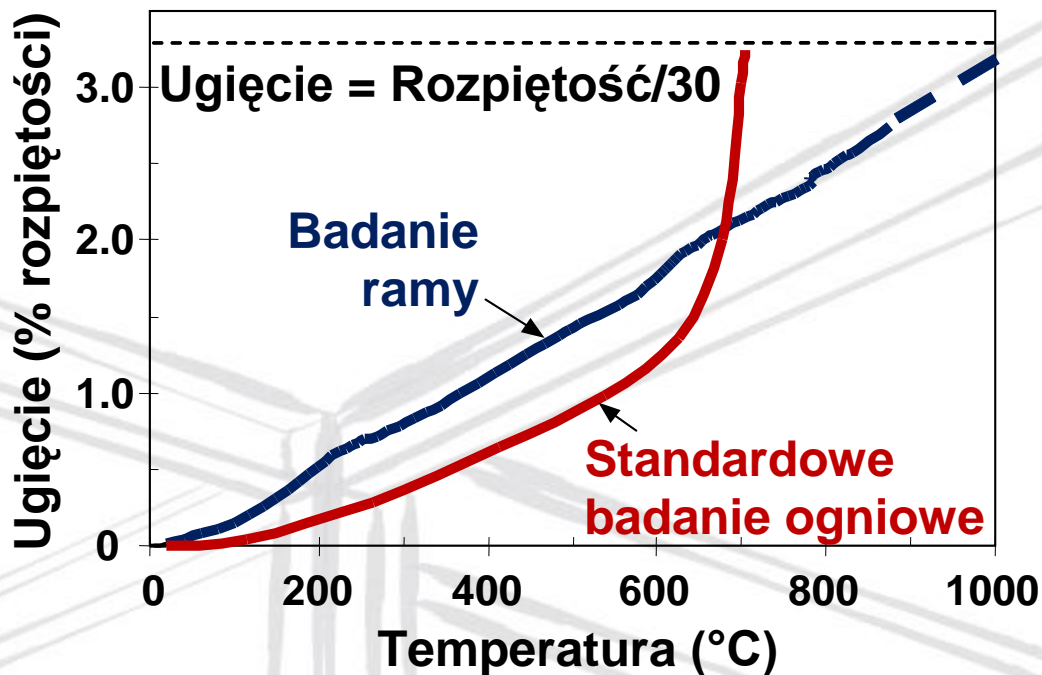
- **Obserwacje**
 - Maksymalna temperatura belki $\approx 900\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Ugięcie belki: $< 250\text{ mm}$

Badania ogniowe w Cardington

Badania ogniowe otwartych parkingów samochodowych

Dane z pożarów rzeczywistych

- Porównanie ze standardowym badaniem ogniowym



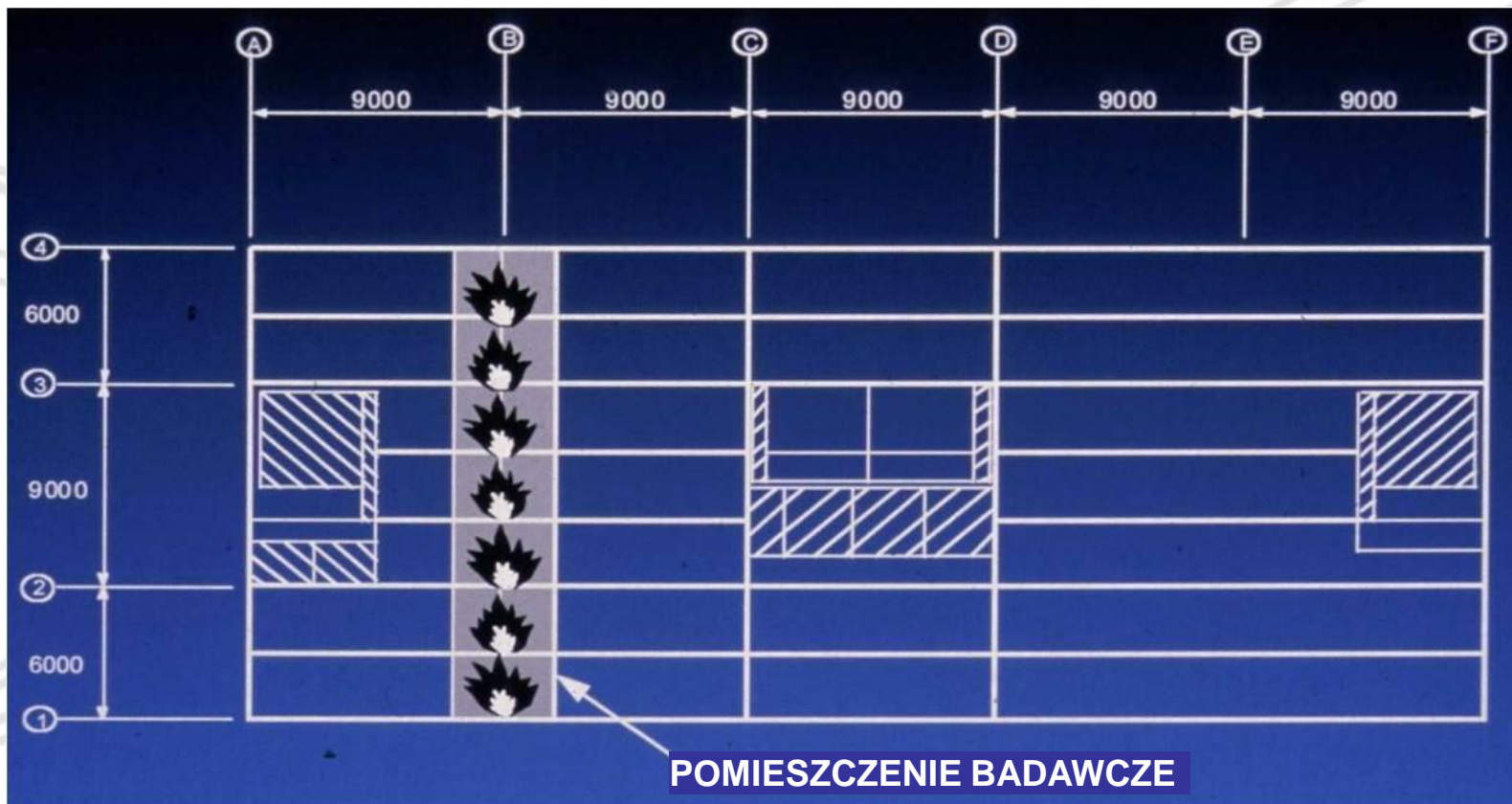
Badania ogniowe w Cardington

Badania ogniowe otwartych parkingów samochodowych

Dane z pożarów rzeczywistych

- **Konkluzja**
 - Brak oznak zniszczenia w całym systemie stropu zespolonego
 - Załamanie przy $\theta \approx 650 \text{ }^\circ\text{C}$ jeśli strop swobodnie podparty

- Badanie ramy płaskiej

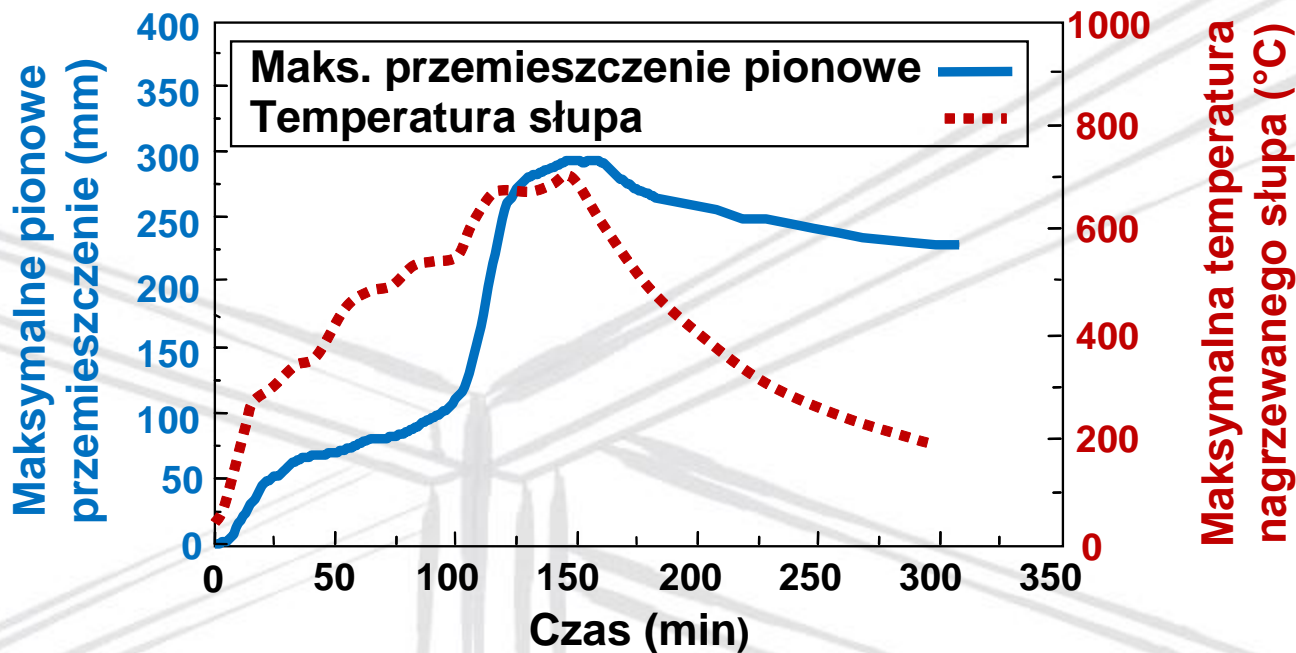


Badania
 ogniowe
 w Cardington

Badania ogniowe
 otwartych
 parkingów
 samochodowych

Dane z pożarów
 rzeczywistych

- **Badanie ramy płaskiej: wyniki doświadczalne**



- **Obserwacje**
 - Maksymalna temperatura słupa $\approx 750\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Ugięcie belki $\approx 300\text{ mm}$

Badania ogniowe w Cardington

Badania ogniowe otwartych parkingów samochodowych

Dane z pożarów rzeczywistych

- Stan deformacji nagrzewanej części stropu



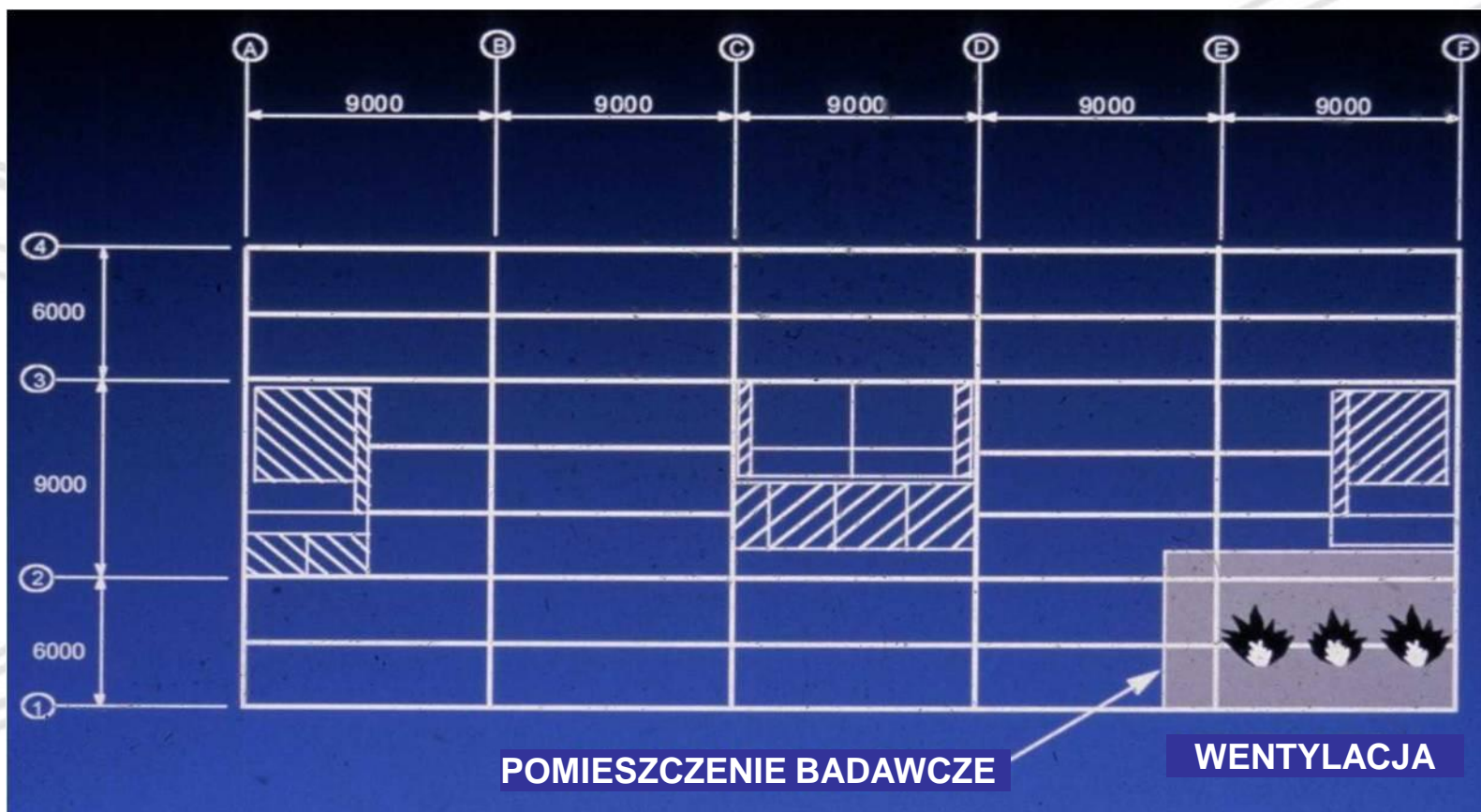
Badania
ogniowe
w Cardington

Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych

Dane z pożarów
rzeczywistych

- **Wnioski**
 - Nastąpiło zgniecenie niezabezpieczonej części słupa
 - Nie nastąpiło dalsze załamanie pomimo powyższego lokalnego zniszczenia

- **Badanie narożnika w pomieszczeniu**



- **Badanie narożnika w pomieszczeniu: układ**



**Obciążenie ogniowe
od stosów drewna
równe 45 kg/m²**



**Ściany pomieszczenia
z bloczków drażonych**

Badania
ogniowe
w Cardington

Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych

Dane z pożarów
rzeczywistych

- **Badanie narożnika w pomieszczeniu: wyniki doświadczalne**



Ogień podczas badania

Zdeformowany strop po badaniu

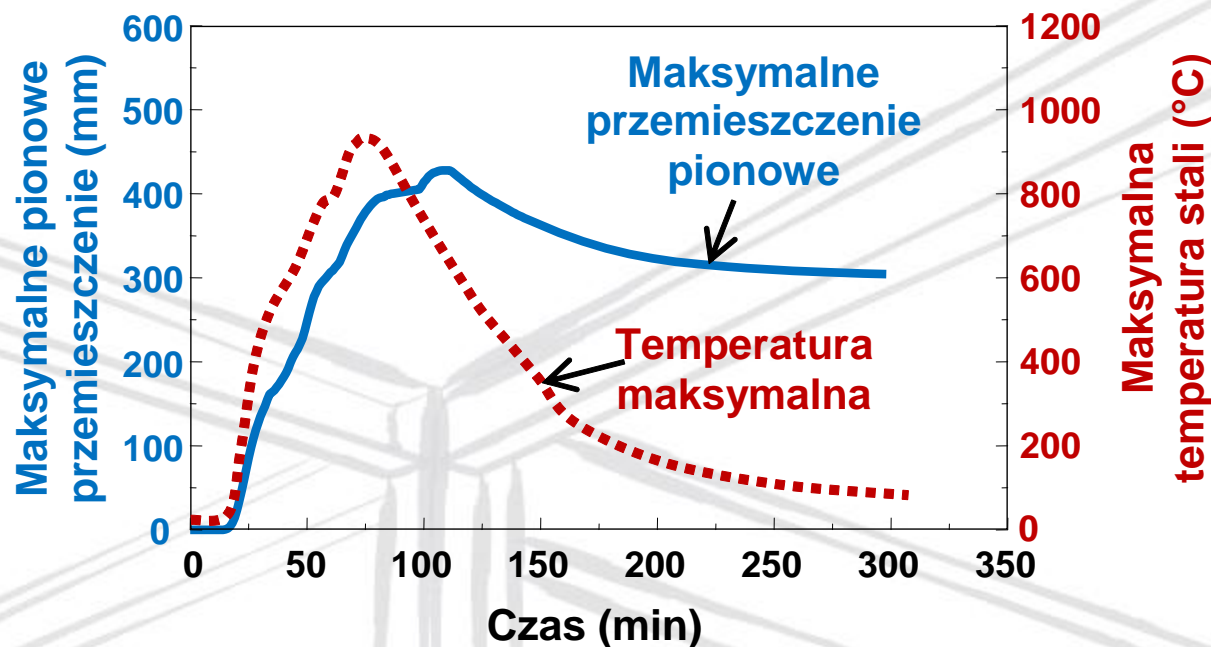


Badania ogniowe w Cardington

Badania ogniowe otwartych parkingów samochodowych

Dane z pożarów rzeczywistych

- Badanie narożnika w pomieszczeniu: wyniki doświadczalne



- Obserwacje
 - Maksymalna temperatura stali $\approx 1014 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Maksymalne ugięcie stropu $\approx 428 \text{ mm}$

- **Badanie narożnika w pomieszczeniu: konstrukcja po badaniu**



Stan deformacji nagrzewanej części stropu zespolonego



Stan deformacji elementów stalowych wokół zabezpieczonego słupa stalowego

- **Wniosek**
 - Brak oznak globalnego zniszczenia stropu jak również osiągnięcia granicznego ugięcia pomimo znacznego nagrzania stali

Badania ogniowe w Cardington

Badania ogniowe otwartych parkingów samochodowych

Dane z pożarów rzeczywistych

- Badanie demonstracyjne (powierzchnia ponad 130 m²)

Badania
 ogniowe
 w Cardington

Badania ogniowe
 otwartych
 parkingów
 samochodowych

Dane z pożarów
 rzeczywistych



- **Badanie demonstracyjne: układ**



Otwory okienne ze szkleniem zwykłym



**Obciążenie ogniowe
- rzeczywiste
wyposażenie biura**

**Badania
ogniowe
w Cardington**

Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych

Dane z pożarów
rzeczywistych

- **Badanie demonstracyjne: wyniki doświadczalne**



Wczesna faza pożaru



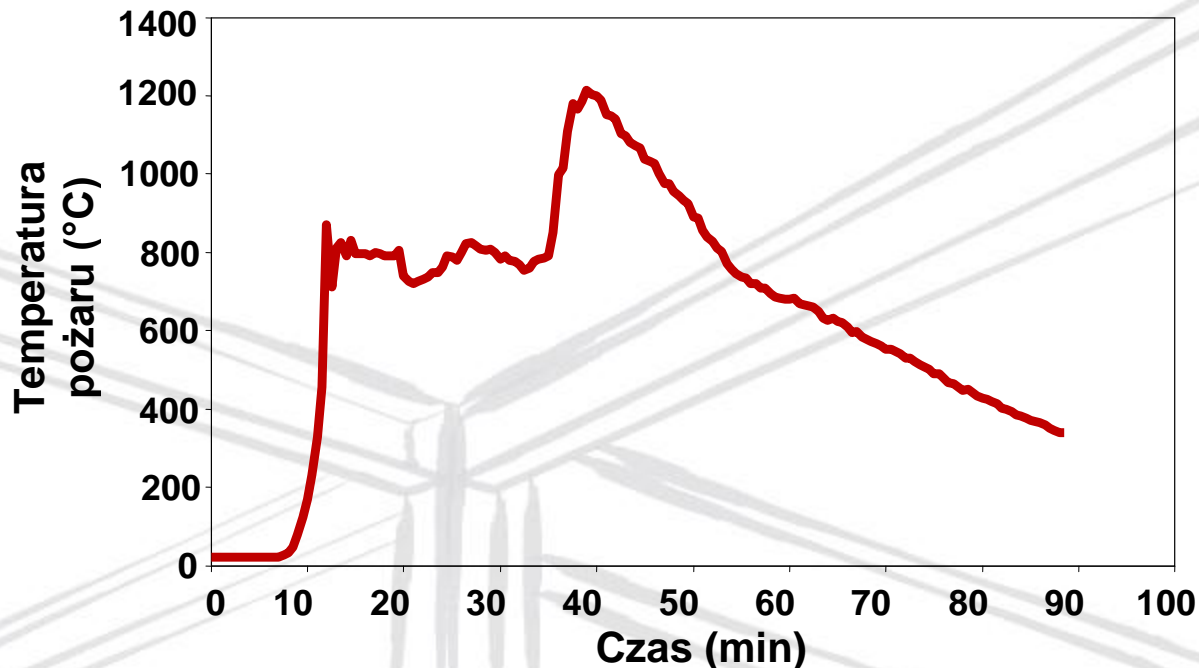
Pożar w pełni rozwinięty

Badania
ogniowe
w Cardington

Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych

Dane z pożarów
rzeczywistych

- **Badanie demonstracyjne: wyniki doświadczalne**



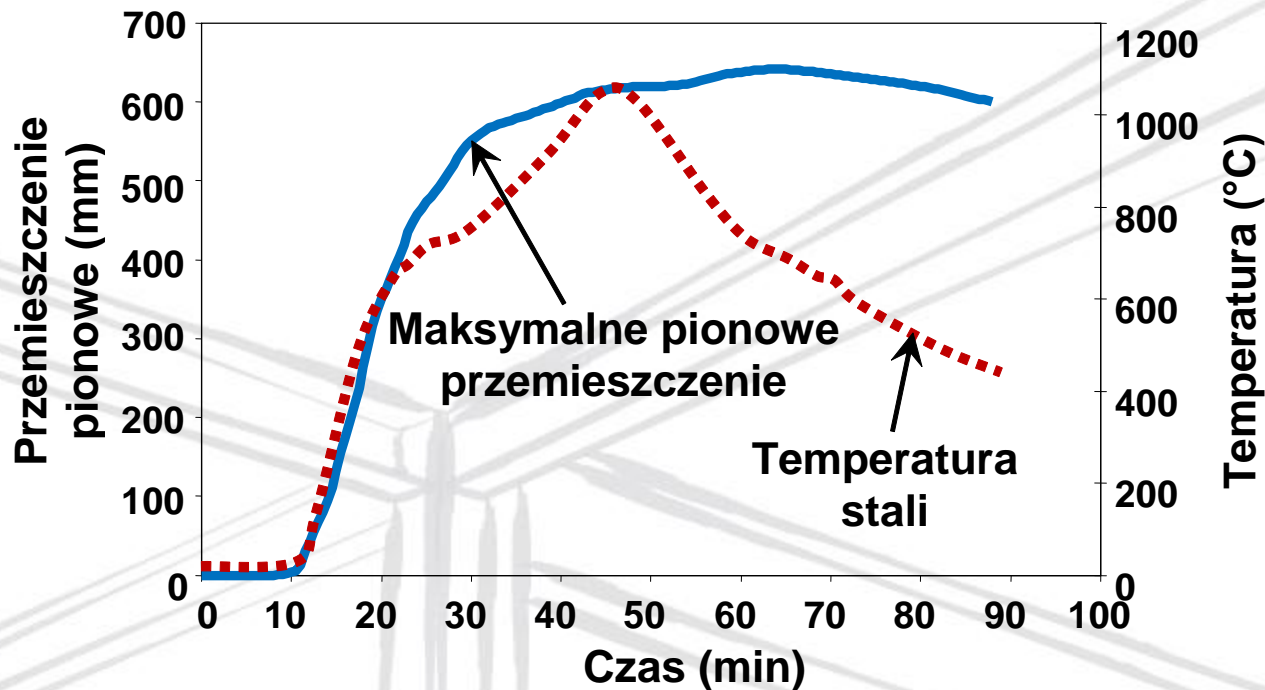
- **Obserwacje**
 - Maksymalna temperatura spalin $\approx 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Maksymalna temperatura stali $\approx 1150\text{ }^{\circ}\text{C}$

Badania
 ogniowe
 w Cardington

Badania ogniowe
 otwartych
 parkingów
 samochodowych

Dane z pożarów
 rzeczywistych

- **Badanie demonstracyjne: wyniki doświadczalne**



- **Obserwacje**
 - Poważne ugięcie stropu ≈ 640 mm
 - Nie nastąpiło zawalenie stropu

Badania ogniowe w Cardington

Badania ogniowe otwartych parkingów samochodowych

Dane z pożarów rzeczywistych

- **Badanie demonstracyjne: konstrukcja po badaniu**



Stan deformacji nagrzewanej części stropu zespolonego



Stan deformacji elementów stalowych wokół zabezpieczonego słupa stalowego

- **Wniosek**
 - **Brak oznak globalnego zniszczenia stropu poмимо poważnego nagrzania stali i ugięcia stropu**

Badania ogniowe w Cardington

Badania ogniowe otwartych parkingów samochodowych

Dane z pożarów rzeczywistych

**Badania
ogniowe
w Cardington**

Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych

Dane z pożarów
rzeczywistych

- **Inne badania ogniowe**
 - **Drugie badanie narożnika**
 - **Badanie dużego pomieszczenia**
 - **Nowe badanie narożnika**

- **Uwagi ogólne**

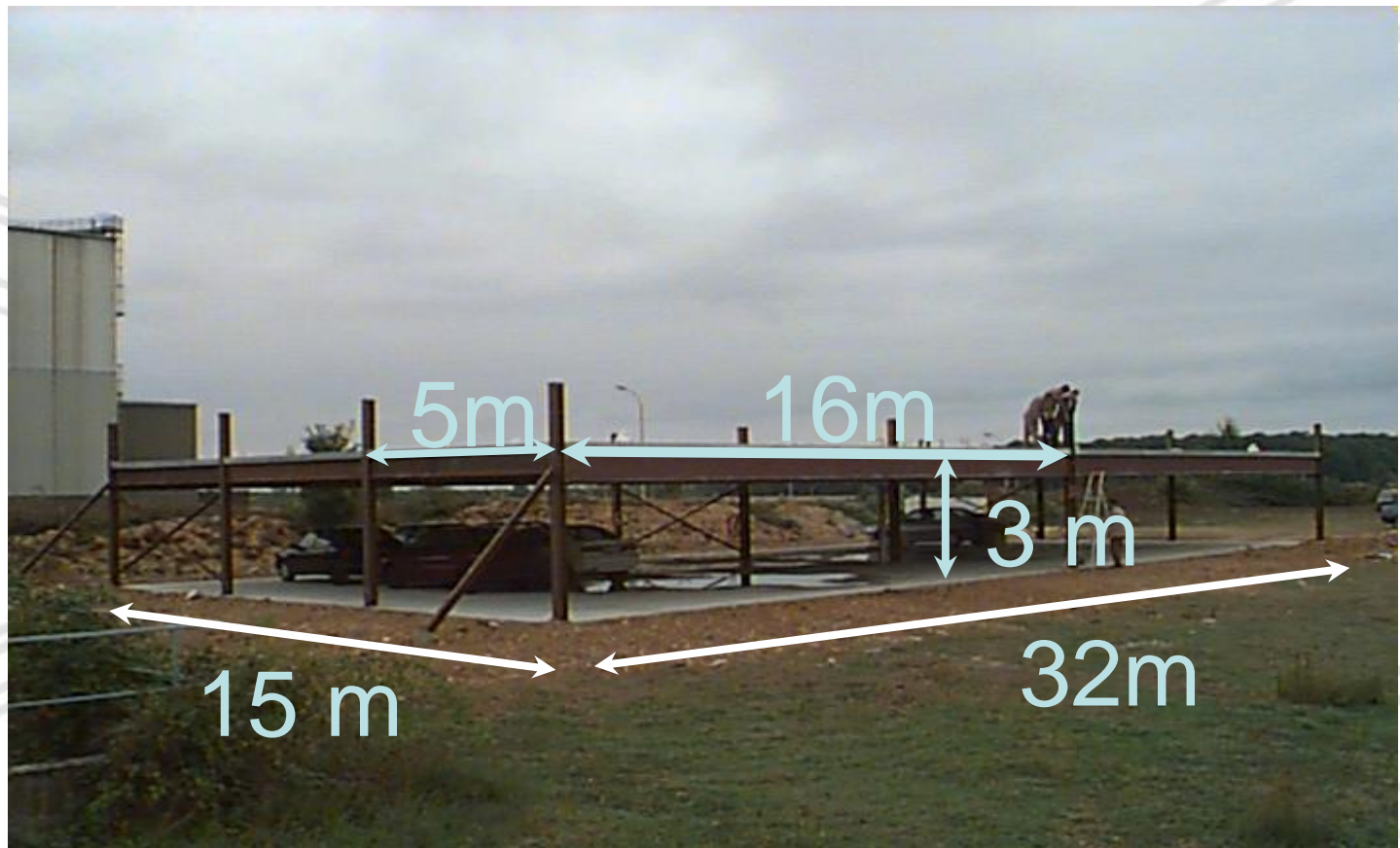
- Duża liczba badań ogniowych w surowych warunkach przeprowadzonych w tym budynku o ramowej konstrukcji stalowej bez zawalenia globalnej konstrukcji
- **Znacznie lepsze obserwowane zachowanie w warunkach pożarowych w porównaniu do standardowych badań odporności ogniowej izolowanych elementów stalowych**
- **Doskonałe globalne zachowanie stropu zespolonego nawet jeśli belki stalowe zostały nagrzane do ponad 1000 °C**
- **Oczywiste podwyższenie odporności ogniowej stropu zespolonego zawdzięczone wywołanemu efektowi membranowemu przy dużym ugięciu**
- **Wysoka trwałość systemu stropu zespolonego w przypadku poważnych pęknięć betonu**

Badania
ogniowe
w Cardington

Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych

Dane z pożarów
rzeczywistych

- **Jednokondygnacyjny budynek o szkielecie stalowym**

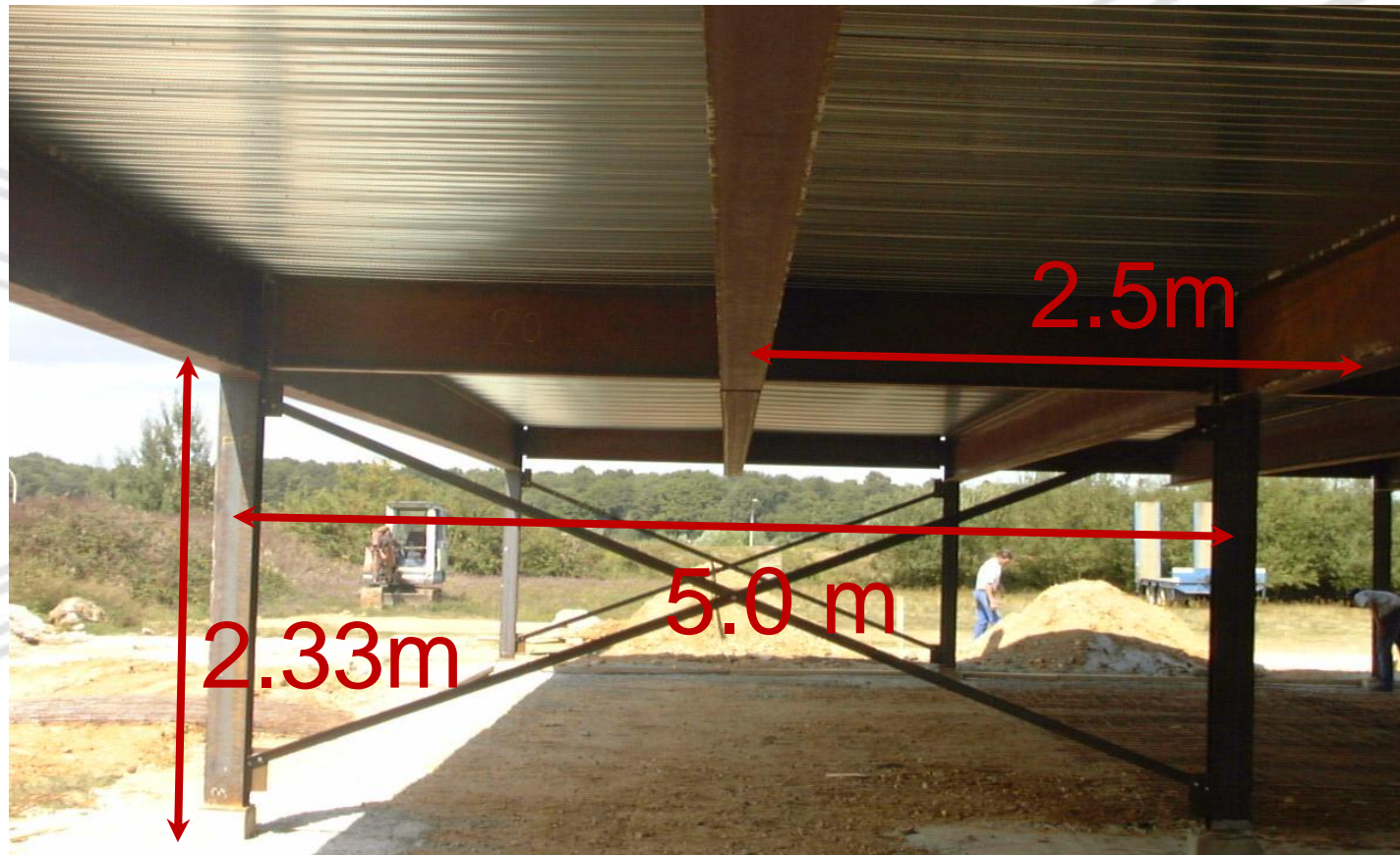


Badania ogniowe
w Cardington

Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych

Dane z pożarów
rzeczywistych

- **Jednokondygnacyjny budynek o szkieletie stalowym**



Badania ogniowe
w Cardington

Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych

Dane z pożarów
rzeczywistych

- **Główne parametry budynku**

- **Długość: 32 m przy 2 przęsłach 16 m**
- **Szerokość: 15 m przy 3 przęsłach 5 m**
- **Wysokość kondygnacji: 3.0 m**
- **Elementy stalowe: belki IPE i słupy H**
- **Płyta zespolona: beton zwykły o całkowitej grubości 120 mm i stalowy szalunek tracony o wklęsłych narożach**
- **Siatka stalowa:**
- **Połączenia stalowe: na nakładki z podwójnych kątowników dla połączeń belka-belka i na blachy czołowe dla połączeń belka-słup**
- **Zastosowane obciążenie: rzeczywiste samochody**

Badania ogniowe
w Cardington

Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych

Dane z pożarów
rzeczywistych

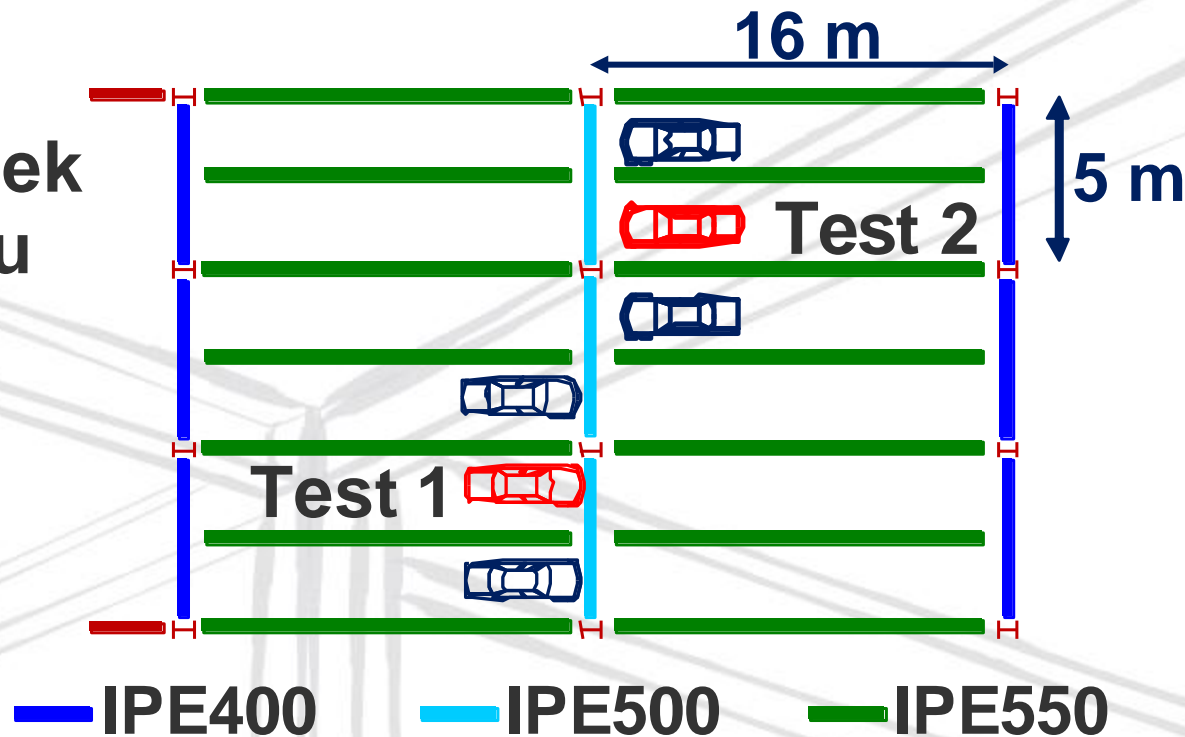
- Dwa badania ogniowe obejmujące po trzy samochody

Badania ogniowe
w Cardington

Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych

Dane z pożarów
rzeczywistych

**Kierunek
wiatru**



Słupy skrajne: HEA 180
Słupy środkowe: HEB 200

- Wyniki doświadczalne (test 1)



0 min

Badania ogniowe
w Cardington

Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych

Dane z pożarów
rzeczywistych

- Wyniki doświadczalne (test 1)



10 min

Badania ogniowe
w Cardington

Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych

Dane z pożarów
rzeczywistych

- Wyniki doświadczalne (test 1)



33 min

Badania ogniowe
w Cardington

Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych

Dane z pożarów
rzeczywistych

- Wyniki doświadczalne (test 1)

Badania ogniowe
w Cardington

Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych

62 min

Dane z pożarów
rzeczywistych



- Wyniki doświadczalne (test 2)

Badania ogniowe
w Cardington

Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych

0 min

Dane z pożarów
rzeczywistych



- Wyniki doświadczalne (test 2)



10 min

Badania ogniowe
w Cardington

Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych

Dane z pożarów
rzeczywistych

- Wyniki doświadczalne (test 2)

Badania ogniowe
w Cardington

Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych

25 min

Dane z pożarów
rzeczywistych



- Wyniki doświadczalne (test 2)

Badania ogniowe
w Cardington

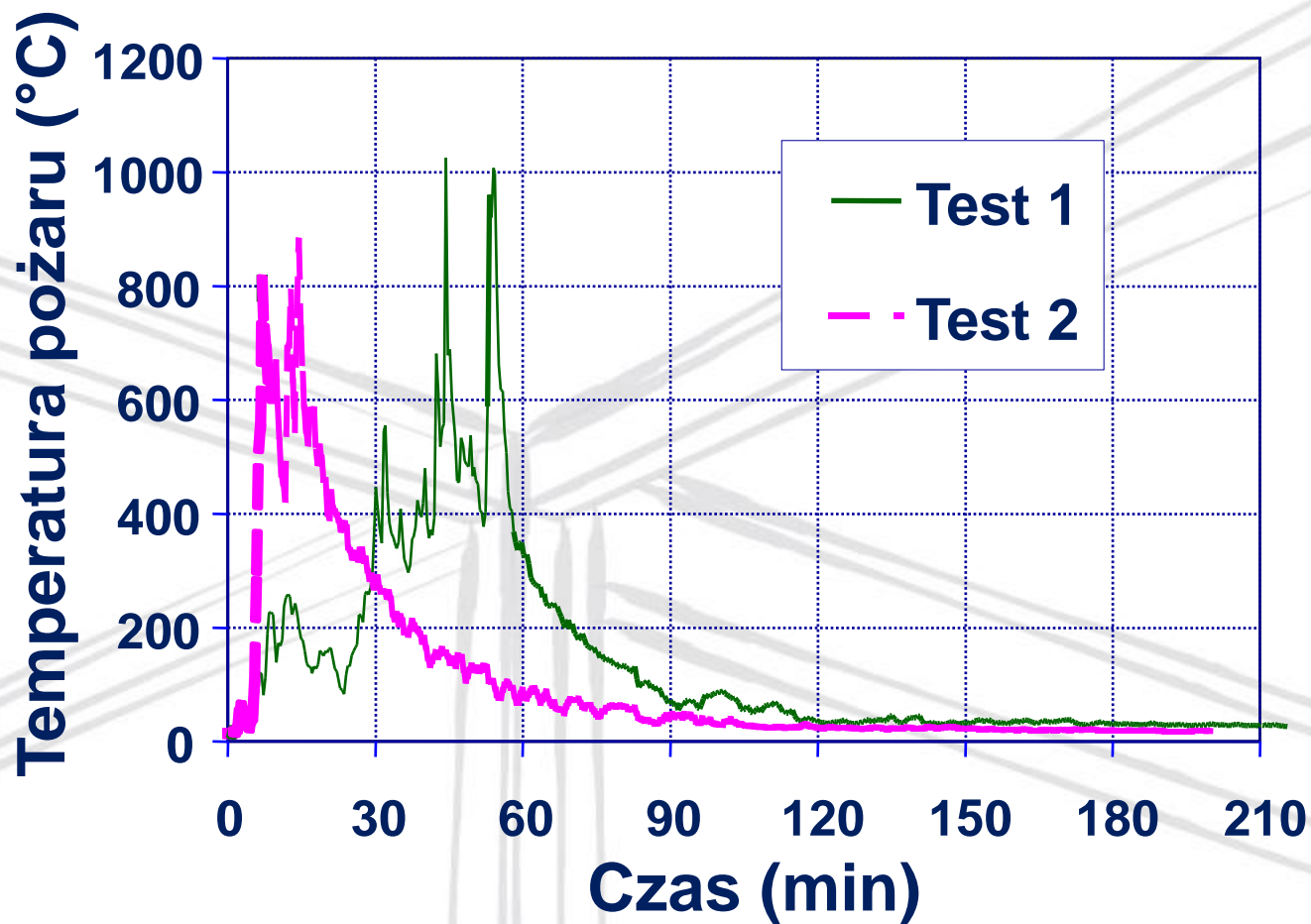
**Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych**

44 min

Dane z pożarów
rzeczywistych



- Wyniki doświadczalne: temperatura spalin

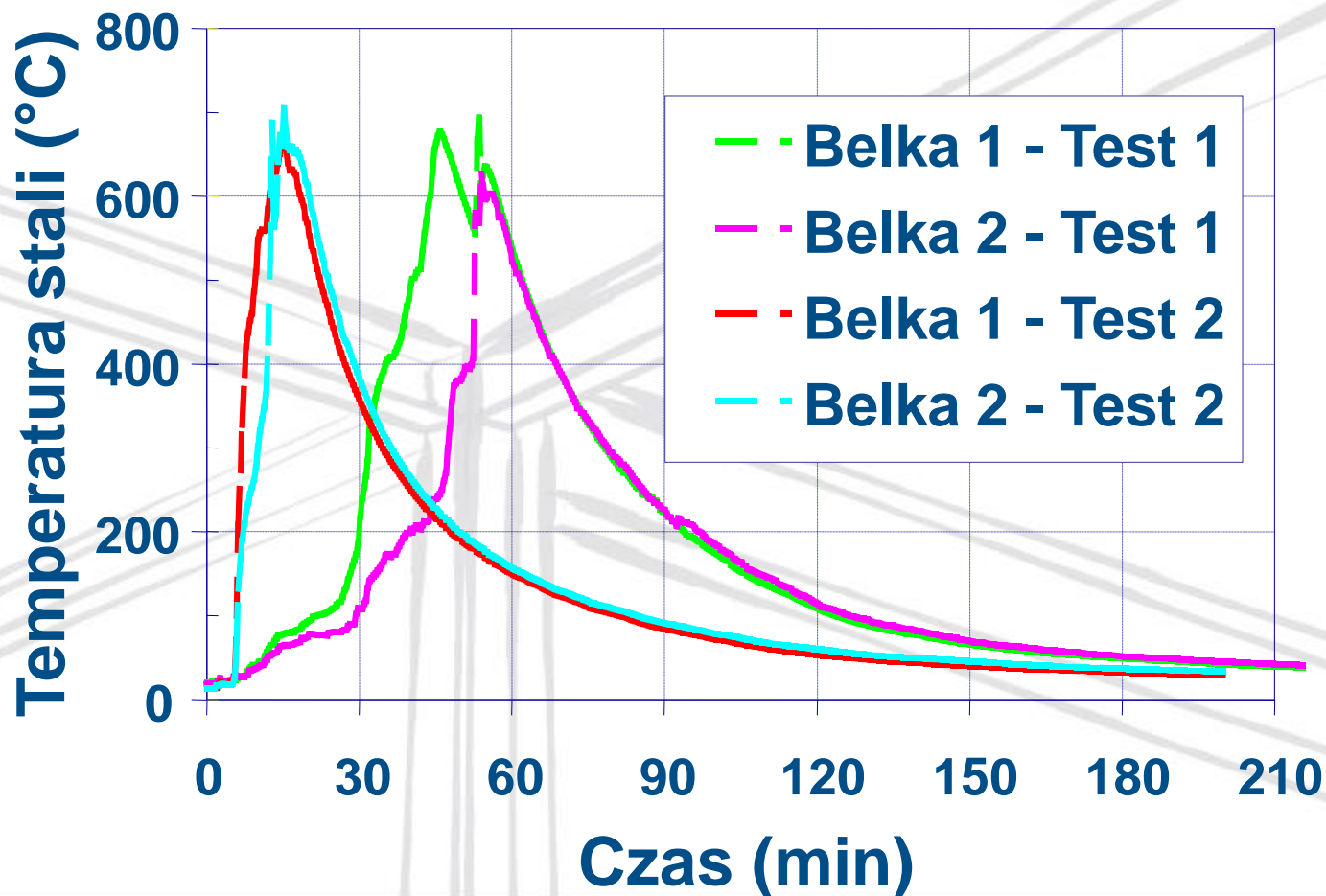


Badania ogniowe
w Cardington

Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych

Dane z pożarów
rzeczywistych

- Wyniki doświadczalne: temperatura stali

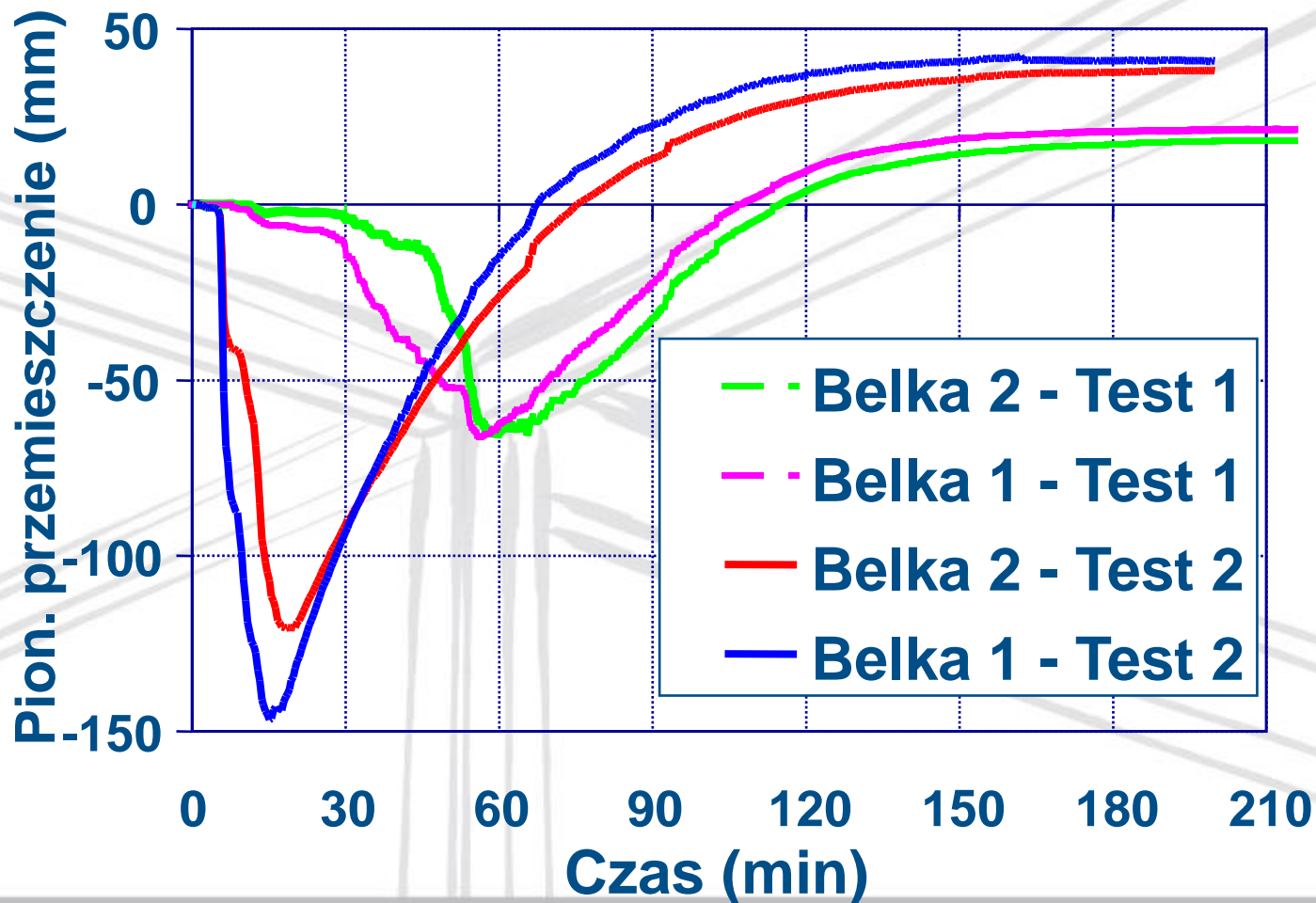


Badania ogniowe
w Cardington

Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych

Dane z pożarów
rzeczywistych

- Wyniki doświadczalne: deformacje stali

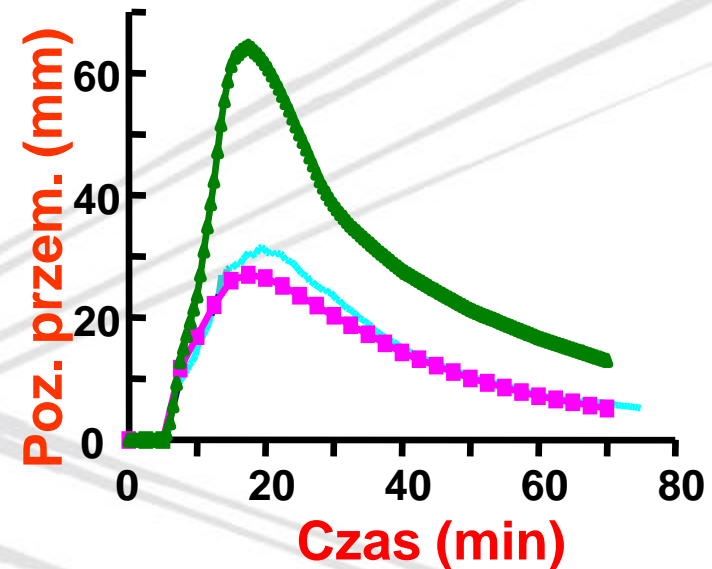
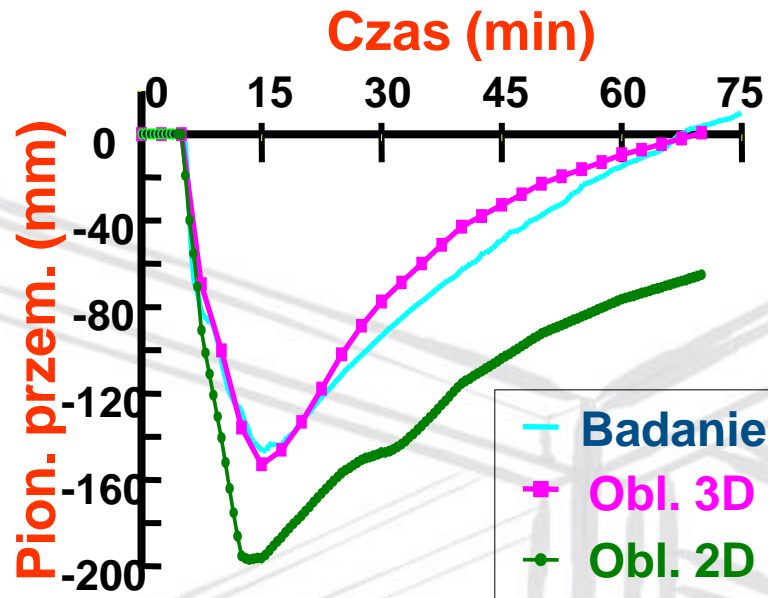


Badania ogniowe
w Cardington

Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych

Dane z pożarów
rzeczywistych

- Efekt membranowy 3D



- Wniosek

- Redukcja przemieszczeń przy 3D efekcie membranowym porównywalna do 2D zachowania ramy portalowej

Badania ogniowe
w Cardington

Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych

Dane z pożarów
rzeczywistych

- **Pożar w Broadgate**

- 14 piętrowy budynek biurowy z systemem stropów zespolonych
- Temperatura pożaru powyżej 1000 °C
- Istotne ugięcie stropu (ponad 600 mm), ale zawalenie nie nastąpiło

Badania ogniowe
w Cardington

Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych

Dane z pożarów
rzeczywistych



- **Australijskie badania ogniowe**
 - Strop zespolony w pełnej skali
 - Obciążenie ogniowe: 52 kg/m² od stosów drewna
 - Temperatura pożaru powyżej 1228 °C
 - Zawalenie stropu nie nastąpiło

Badania ogniowe
w Cardington

Badania ogniowe
otwartych
parkingów
samochodowych

Dane z pożarów
rzeczywistych

