Research Fund for Coal & Steel

Instytut Techniki Budowlanej

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

Numeryczne sprawdzenie uproszczonej metody projektowania

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

Plan prezentacji

- Cele analizy parametrycznej
- Właściwości analizy parametrycznej
- Analiza Metodą Elementów Skończonych
- Walidacja modelu numerycznego
- Efekt ciągłości na brzegu stropu
- Wyniki analizy parametrycznej
- Wnioski

Cele analizy parametrycznej

Cele

Właściwości analizy parametrycznej

Analiza Metodą Elementów Skończonych

Walidacja modelu numerycznego

Efekt warunków brzegowych

Wyniki analizy parametrycznej

Wnioski

- **Podstawy**
  - FRACOF (Badanie 1) – COSSFIRE (Badanie 2) w warunkach pożaru standardowego, w pełnej skali
    - Doskonałe zachowanie systemów stropów zespolonych w warunkach pożarowych (występowanie rozciągającego oddziaływania membranowego)
    - Maks. θ stali $\approx$ 1000 °C, oddziaływanie ognia $>$ 120 min
    - Szczegóły konstrukcyjne wg zaleceń francuskich
    - Ugięcie $\approx$ 450 mm
  - FICEB (Badanie 3) – badanie w pełnej skali w warunkach pożaru naturalnego z belkami ażurowymi
- **Cel**
  - Weryfikacja uproszczonej metody projektowania w całej dziedzinie stosowania (z użyciem zaawansowanych modeli obliczeniowych)
    - Ograniczenie ugięcia stropu
    - Wydłużenie stali zbrojeniowej

Właściwości analizy parametrycznej (1/3)

Cele

Właściwości analizy parametrycznej

Analiza Metodą Elementów Skończonych

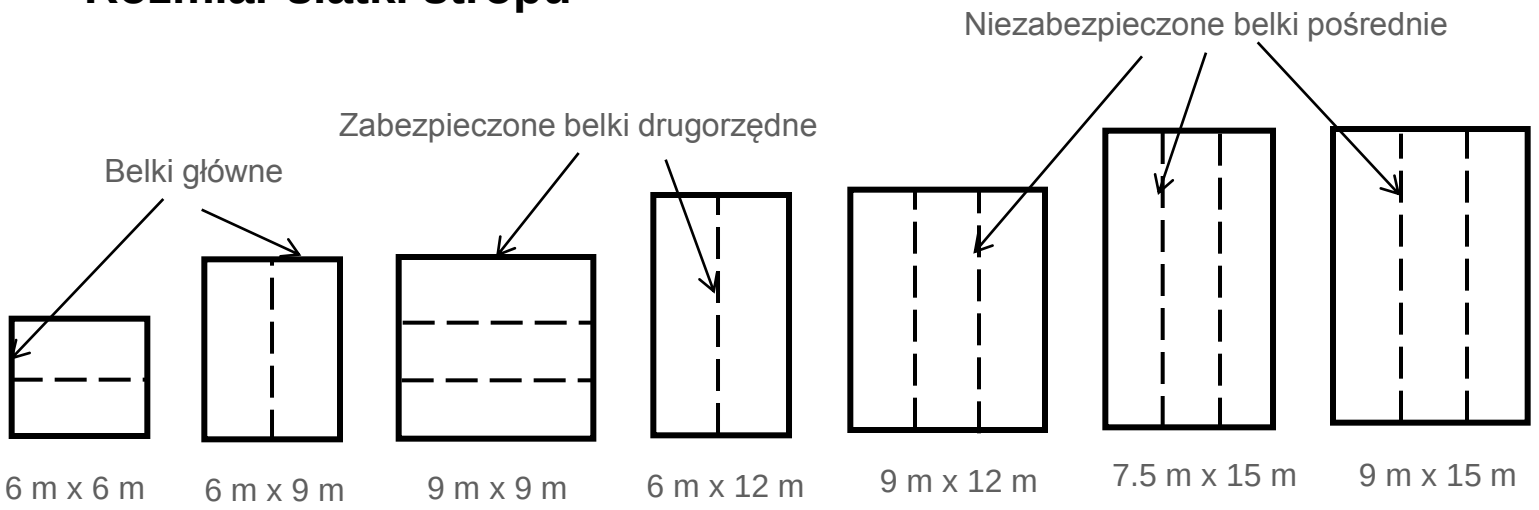
Walidacja modelu numerycznego

Efekt warunków brzegowych

Wyniki analizy parametrycznej

Wnioski

- **Rozmiar siatki stropu**



- **Poziomy obciążenia**

Zgodnie z EC0 kombinacja obciążeń w warunkach pożarowych dla budynków biurowych jest równa:

G (Obciążenie Stałe) + 0,5 Q (Obciążenie Zmienne)

G= ciężar własny + 1,25 kN/m²

Q= 2,5 lub 5 kN/m²

Właściwości analizy parametrycznej (2/3)

Cele

Właściwości analizy parametrycznej

Analiza Metodą Elementów Skończonych

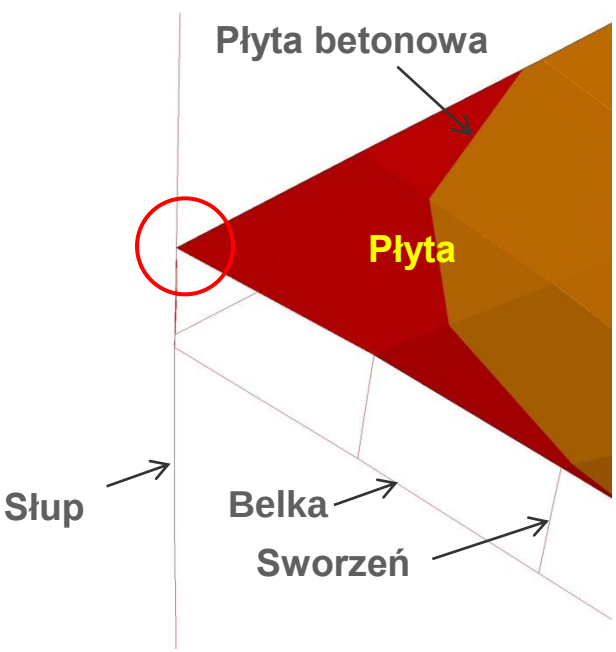
Walidacja modelu numerycznego

Efekt warunków brzegowych

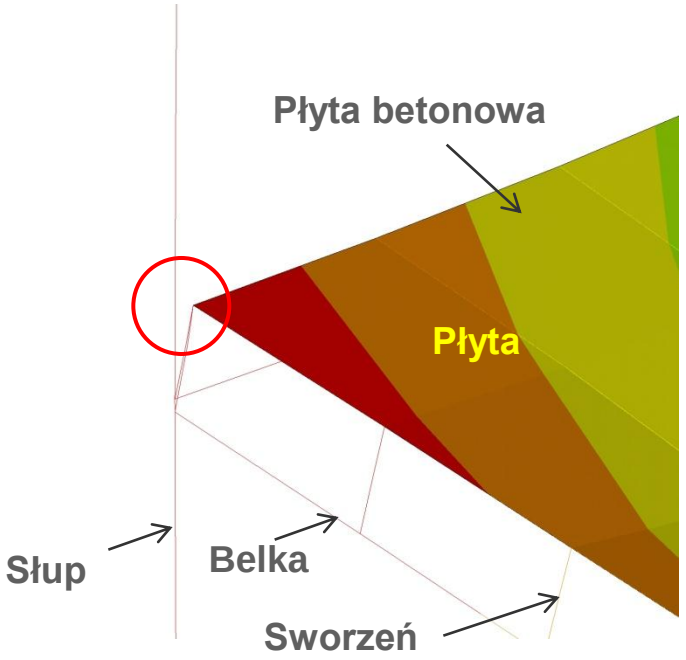
Wyniki analizy parametrycznej

Wnioski

- **Połączenie stropu ze słupami stalowymi**



Przy mechanicznym połączeniu płyty ze słupami



Bez mechanicznego połączenia płyty ze słupami

Właściwości analizy parametrycznej (3/3)

Cele

Właściwości analizy parametrycznej

Analiza Metodą Elementów Skończonych

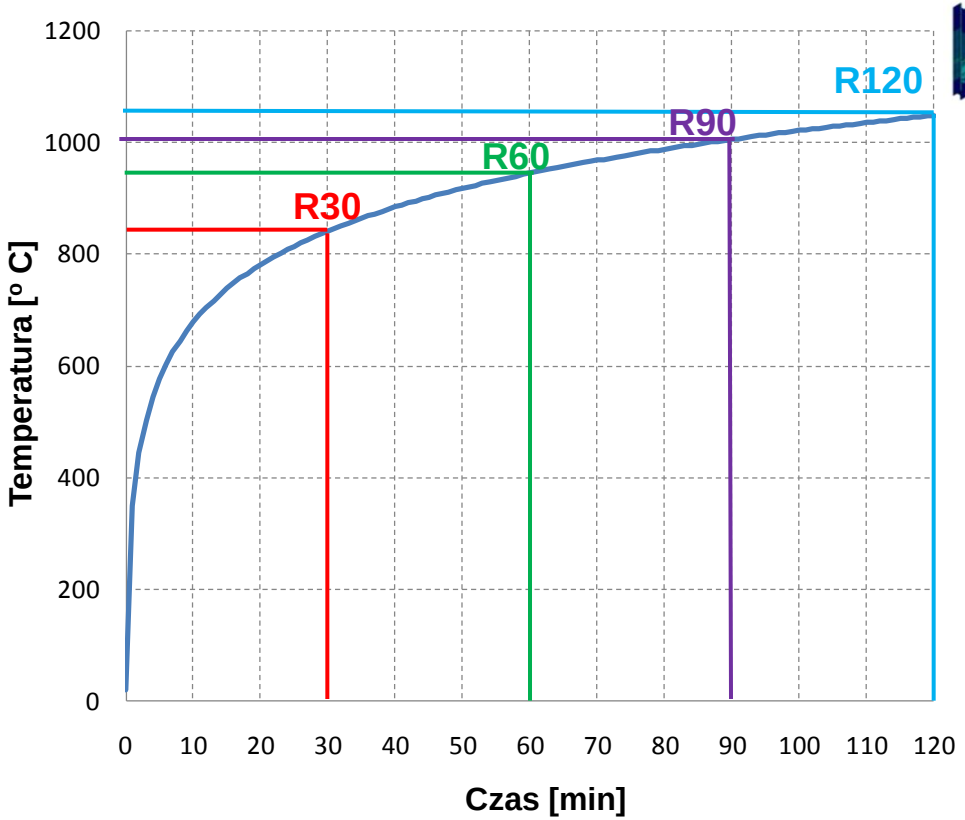
Walidacja modelu numerycznego

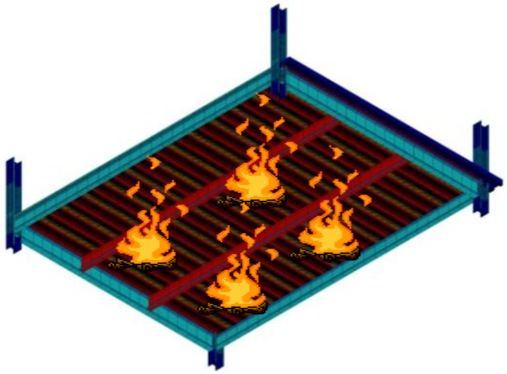
Efekt warunków brzegowych

Wyniki analizy parametrycznej

Wnioski

- **Odporność ogniowa: R30, R60, R90 i R120**





Nagrzewanie belek obwodowych (maks. 550 °C)

Model MES

Cele

Właściwości analizy parametrycznej

Analiza Metodą Elementów Skończonych

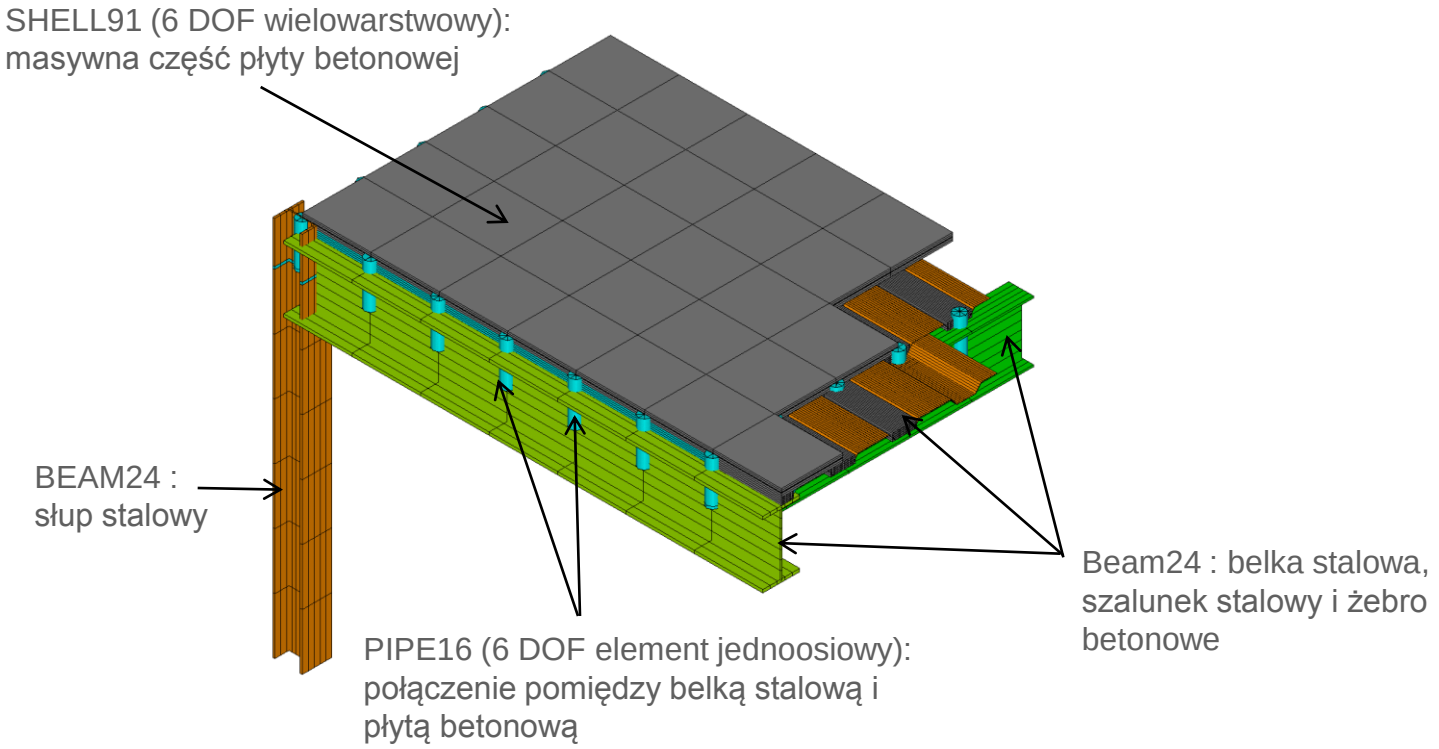
Walidacja modelu numerycznego

Efekt warunków brzegowych

Wyniki analizy parametrycznej

Wnioski

- **Model hybrydowy oparty na kilku typach elementów skończonych oprogramowania ANSYS**



Model MES

Cele

Właściwości analizy parametrycznej

Analiza Metodą Elementów Skończonych

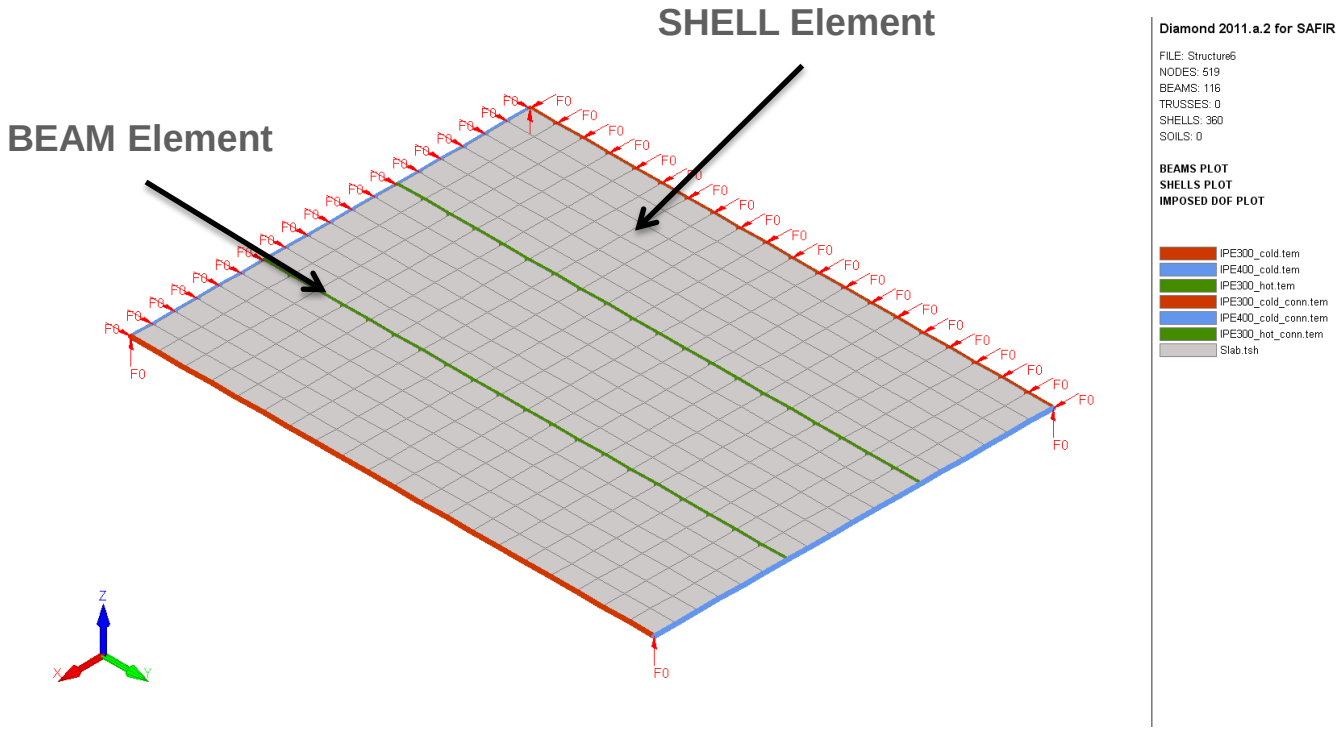
Walidacja modelu numerycznego

Efekt warunków brzegowych

Wyniki analizy parametrycznej

Wnioski

- **Model hybrydowy oparty na kilku typach elementów skończonych oprogramowania SAFIR**



Właściwości płyty stropowej

Cele

Właściwości analizy parametrycznej

Analiza Metodą Elementów Skończonych

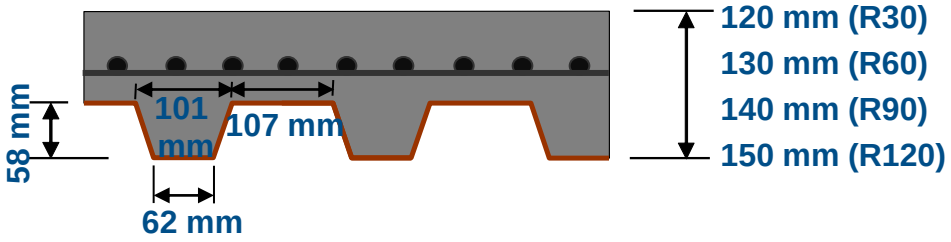
Walidacja modelu numerycznego

Efekt warunków brzegowych

Wyniki analizy parametrycznej

Wnioski

- **Belki S235**
- **Stalowe trapezowe deskowanie COFRAPLUS60 (gr. 0,75 mm)**
- **Beton zwykły C30/37**
- **Siatka zbrojeniowa S500**
- **Położenie siatki, średnio (od górnej powierzchni) = 45 mm**



Właściwości termomechaniczne (1/2)

Cele

Właściwości analizy parametrycznej

Analiza Metodą Elementów Skończonych

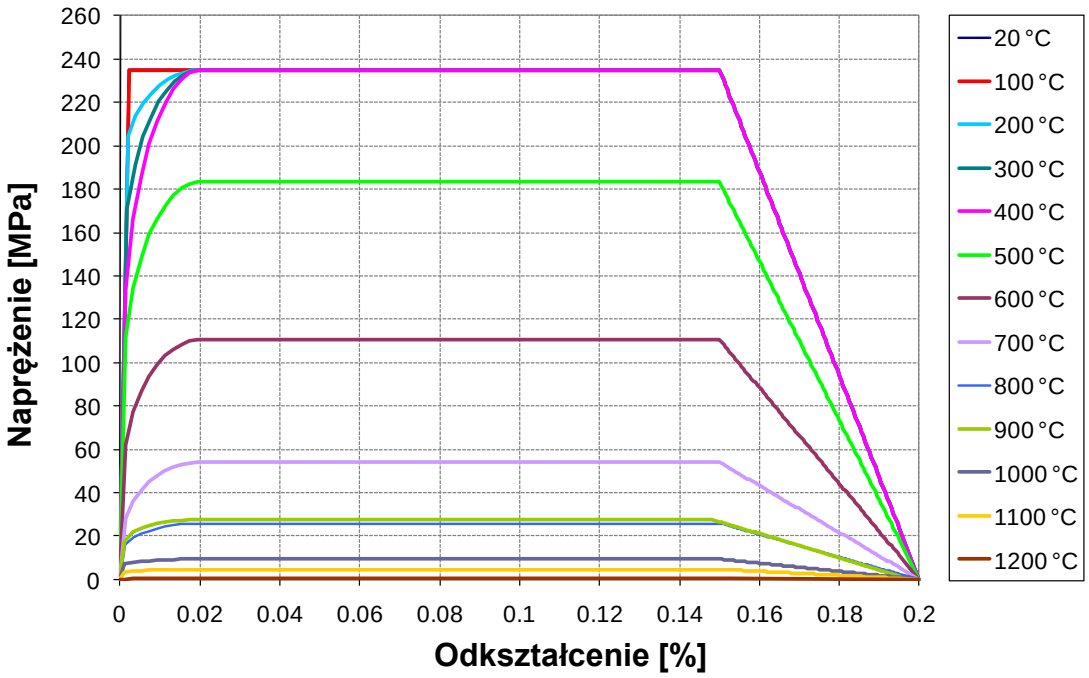
Walidacja modelu numerycznego

Efekt warunków brzegowych

Wyniki analizy parametrycznej

Wnioski

- **Właściwości termomechaniczne stali:**
  - Właściwości termiczne według EC4-1-2
  - Gęstość niezależna od temperatury (ρ_a = 7850 kg/m^3)
  - Zależność naprężenie-odkształcenie:



Właściwości termomechaniczne (2/2)

Objectives

Parametric study properties

Finite Element Analysis

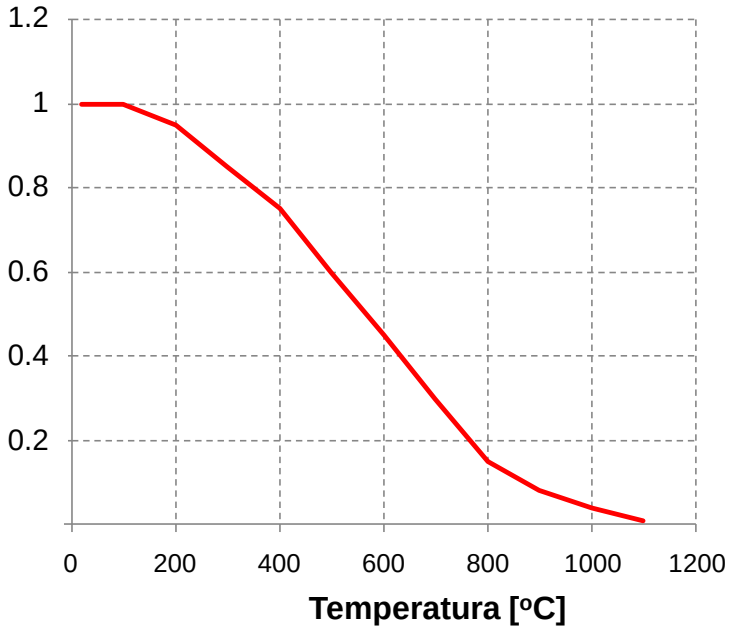
Validation of the numerical model

Effect of boundary conditions

Parametric study results

Conclusion

- **Właściwości termomechaniczne betonu:**
  - Właściwości termiczne według EC4-1-2
  - Gęstość w funkcji temperatury według EC4-1-2
  - Warunek plastyczności Druckera-Pragera
  - Współczynniki redukcyjne wytrzymałości przy ściskaniu według EC4-1-2:



Weryfikacja modelu numerycznego ANSYS w oparciu o badanie FRACOF (1/2)

Research Fund for Coal & Steel

Cele

Właściwości analizy parametrycznej

Analiza Metodą Elementów Skończonych

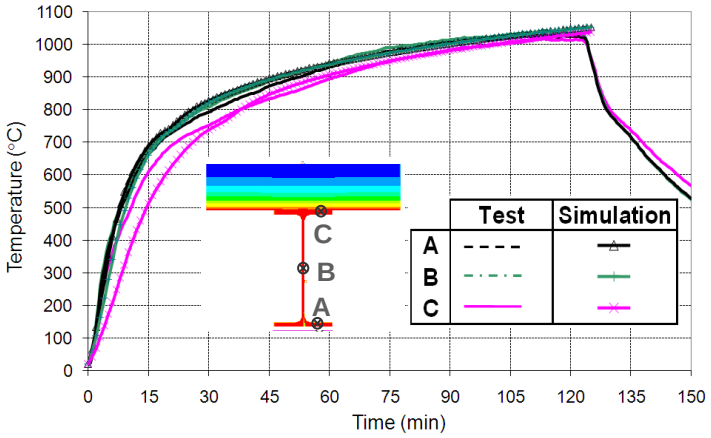
Walidacja modelu numerycznego

Efekt warunków brzegowych

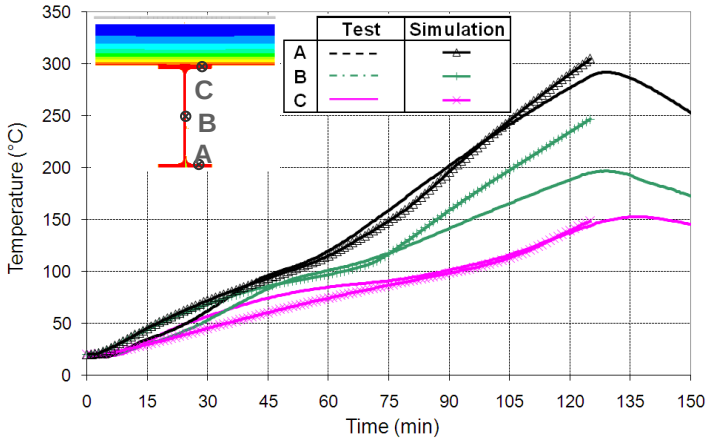
Wyniki analizy parametrycznej

Wnioski

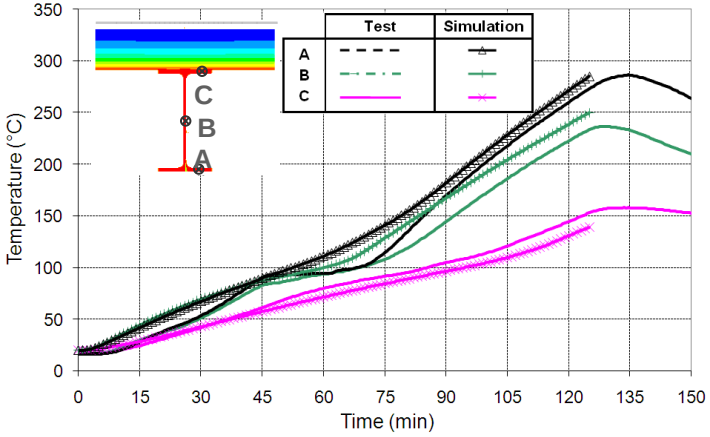
- **Porównanie z badaniem ogniowym (analiza przepływu ciepła)**



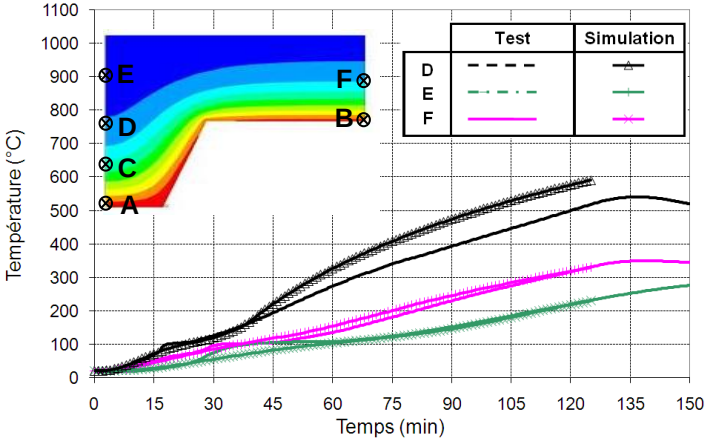
Niezabezpieczone belki stalowe



Zabezpieczone belki drugorzędne



Zabezpieczone belki główne



Płyta zespolona

Weryfikacja modelu numerycznego ANSYS w oparciu o badanie FRACOF (2/2)

Cele

Właściwości analizy parametrycznej

Analiza Metodą Elementów Skończonych

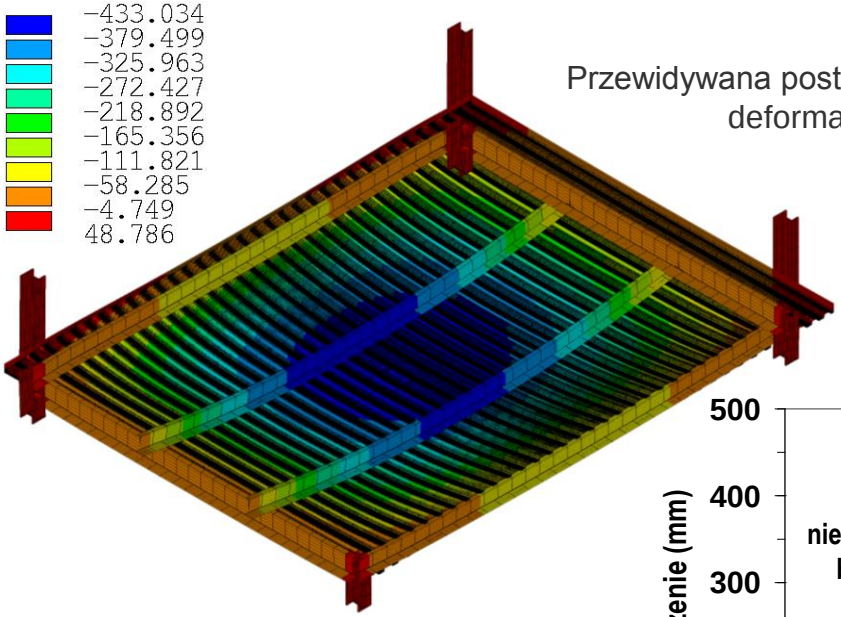
Walidacja modelu numerycznego

Efekt warunków brzegowych

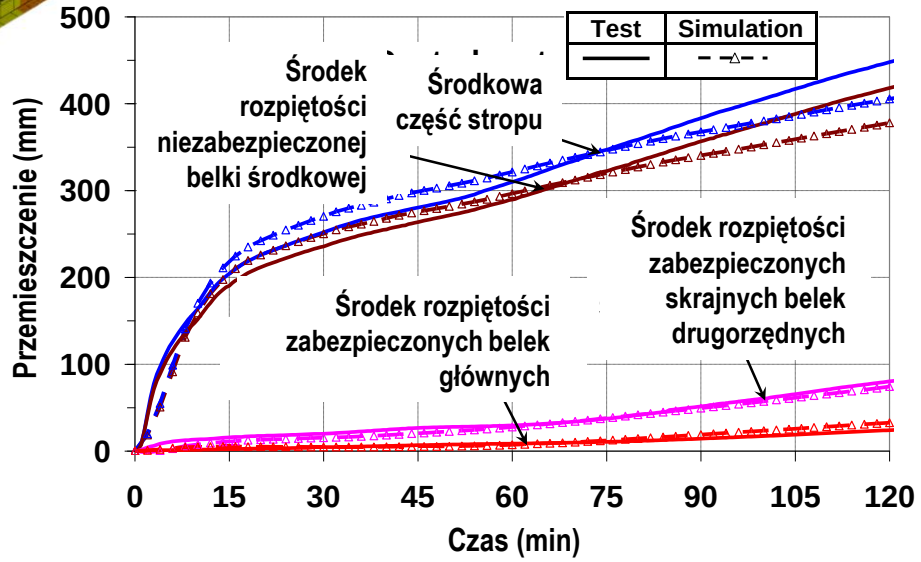
Wyniki analizy parametrycznej

Wnioski

- **Porównanie z badaniem ogniowym (ugięcie)**



Przewidywana postać deformacji



Porównanie ugięcia (płyta i belki)

Weryfikacja modelu numerycznego SAFIR w oparciu o badanie FRACOF (1/2)

Cele

Właściwości analizy parametrycznej

Analiza Metodą Elementów Skończonych

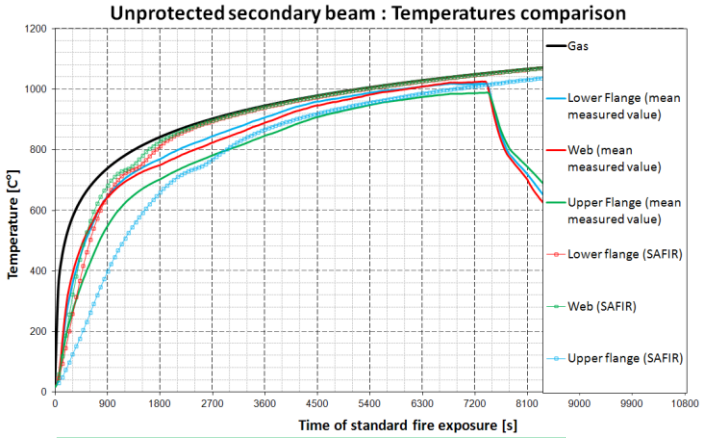
Walidacja modelu numerycznego

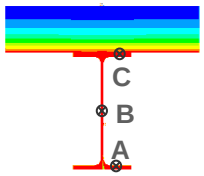
Efekt warunków brzegowych

Wyniki analizy parametrycznej

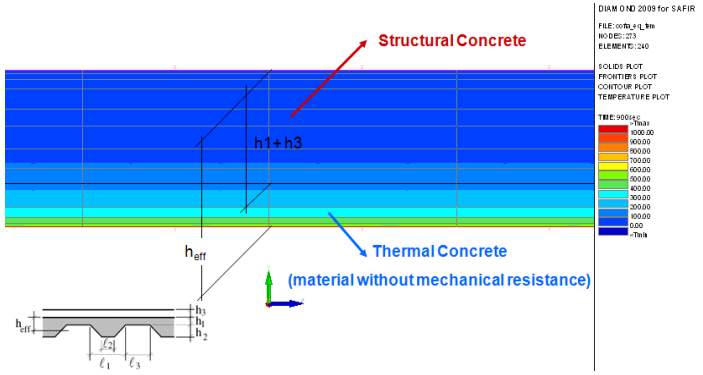
Wnioski

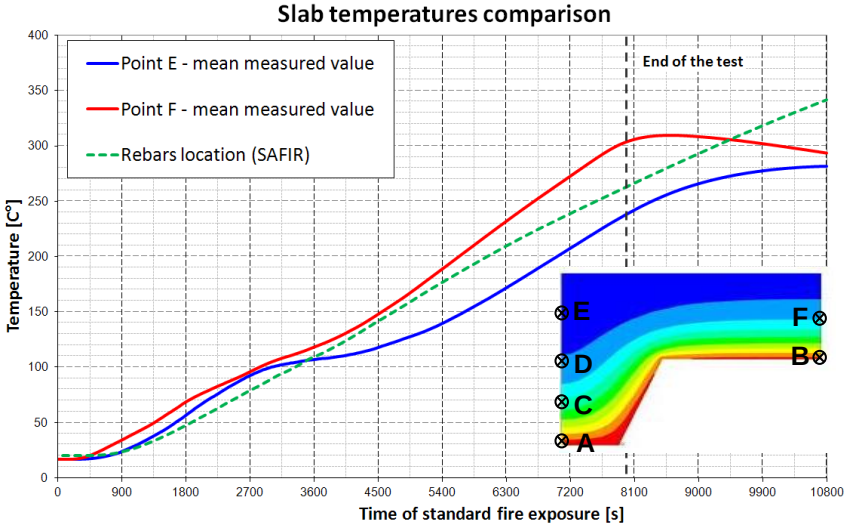
- **Porównanie z badaniem ogniowym (analiza przepływu ciepła)**





Niezabezpieczone belki stalowe





Płyta zespolona

Weryfikacja modelu numerycznego SAFIR w oparciu o badanie FRACOF (2/2)

Cele

Właściwości analizy parametrycznej

Analiza Metodą Elementów Skończonych

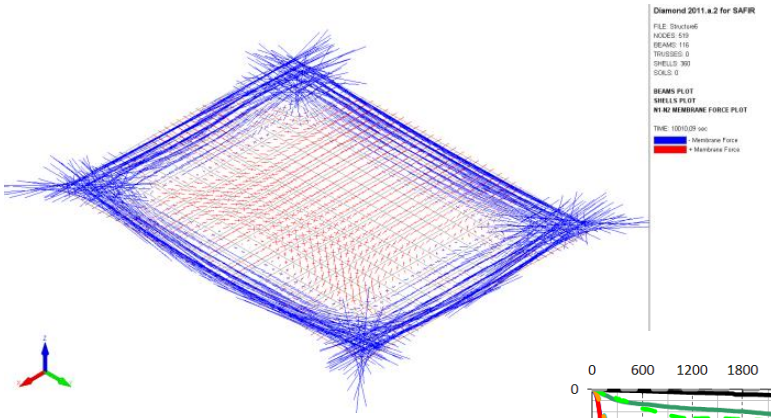
Walidacja modelu numerycznego

Efekt warunków brzegowych

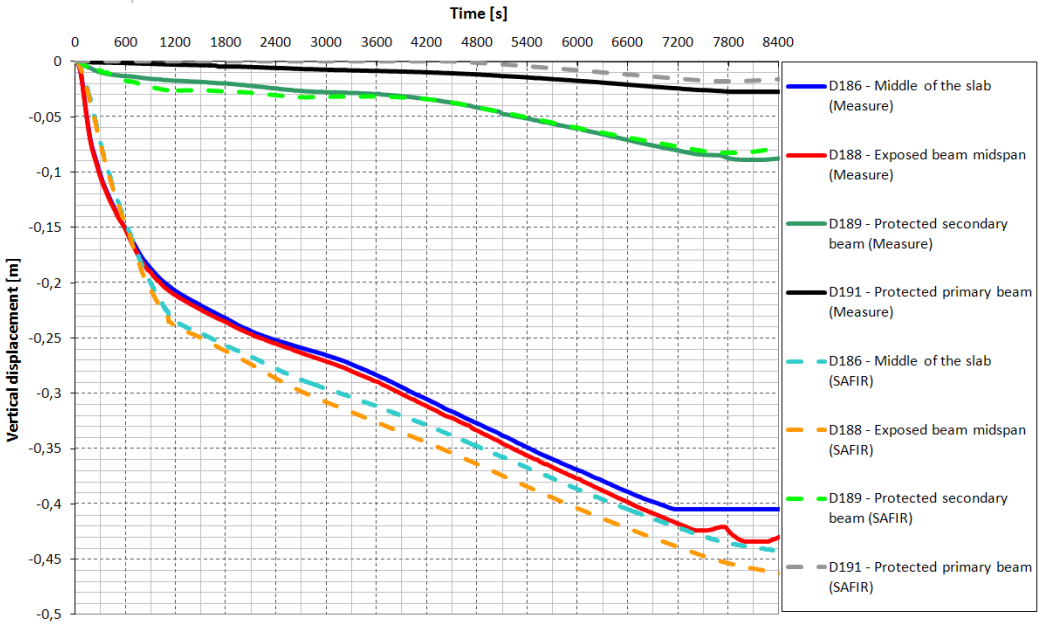
Wyniki analizy parametrycznej

Wnioski

- **Porównanie z badaniem ogniowym (ugięcie)**



Symulowane naprężenia w płycie na koniec badania



Porównanie doświadczanych i numerycznych wartości przemieszczeń pionowych

Weryfikacja modelu numerycznego SAFIR w oparciu o badanie COSSFIRE (1/2)

Cele

Właściwości analizy parametrycznej

Analiza Metodą Elementów Skończonych

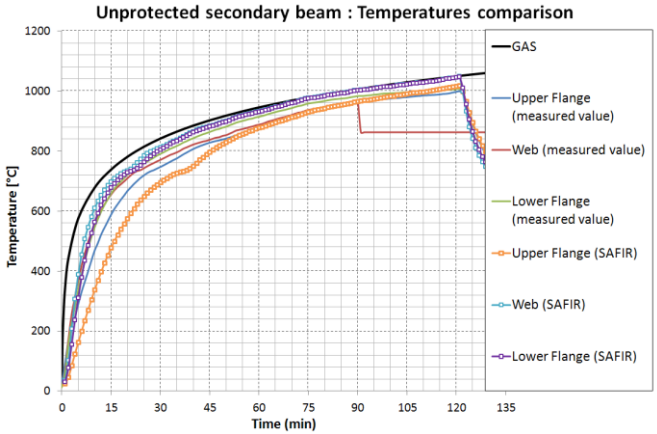
Walidacja modelu numerycznego

Efekt warunków brzegowych

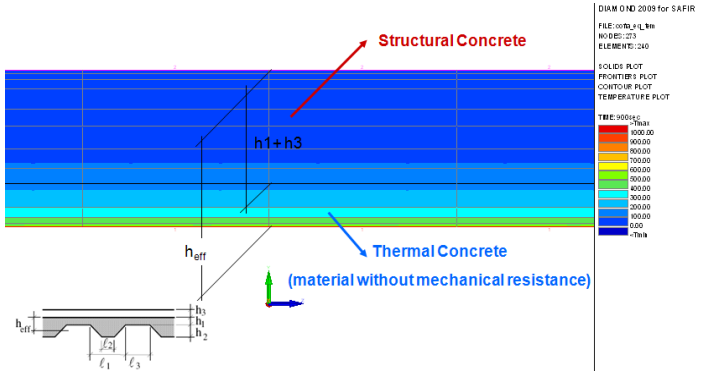
Wyniki analizy parametrycznej

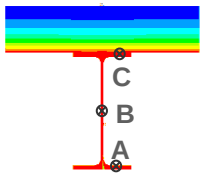
Wnioski

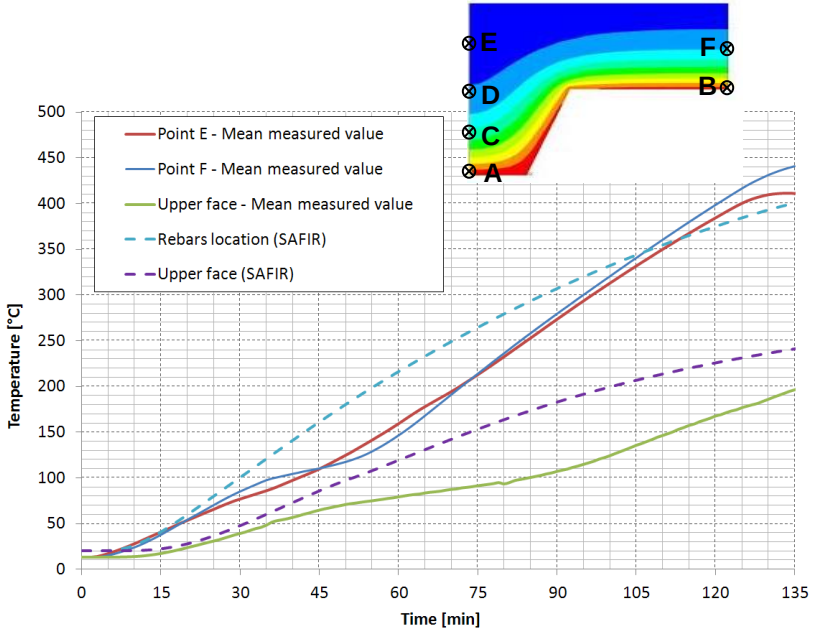
- **Porównanie z badaniem ogniowym (analiza przepływu ciepła)**



Niezabezpieczone belki stalowe







Płyta zespolona

Weryfikacja modelu numerycznego SAFIR w oparciu o badanie COSSFIRE (2/2)

Cele

Właściwości analizy parametrycznej

Analiza Metodą Elementów Skończonych

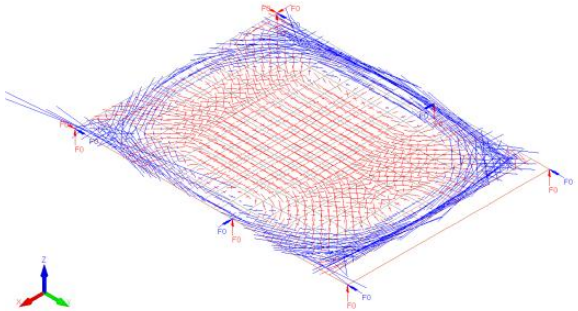
Walidacja modelu numerycznego

Efekt warunków brzegowych

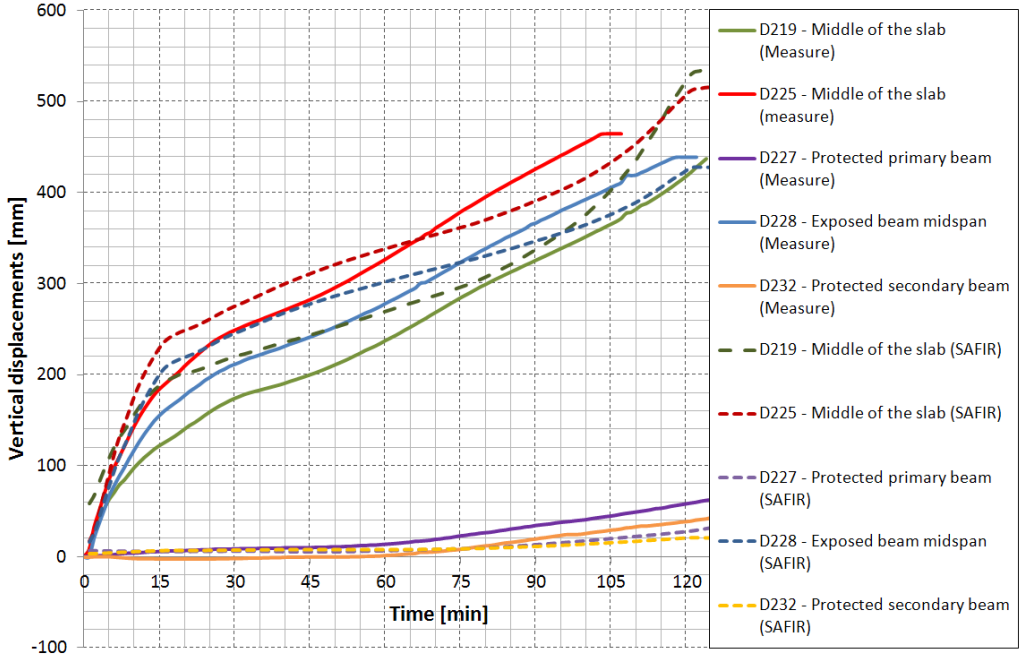
Wyniki analizy parametrycznej

Wnioski

- **Porównanie z badaniem ogniowym (ugięcie)**



Symulowane naprężenia w płycie na koniec badania



Porównanie doświadczanych i numerycznych wartości przemieszczeń pionowych

Weryfikacja modelu numerycznego SAFIR w oparciu o badanie FICEB (1/3)

Cele

Właściwości analizy parametrycznej

Analiza Metodą Elementów Skończonych

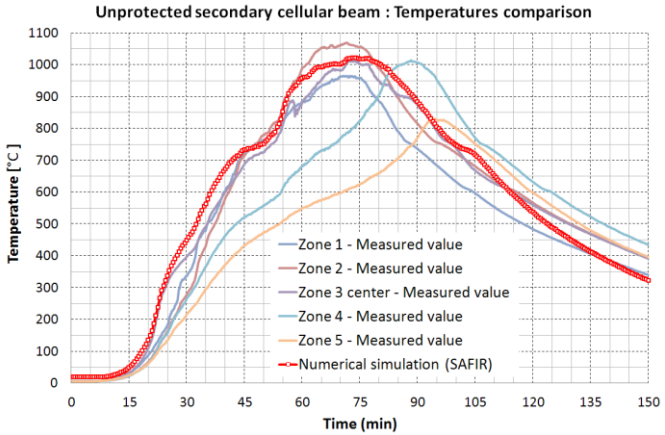
Walidacja modelu numerycznego

Efekt warunków brzegowych

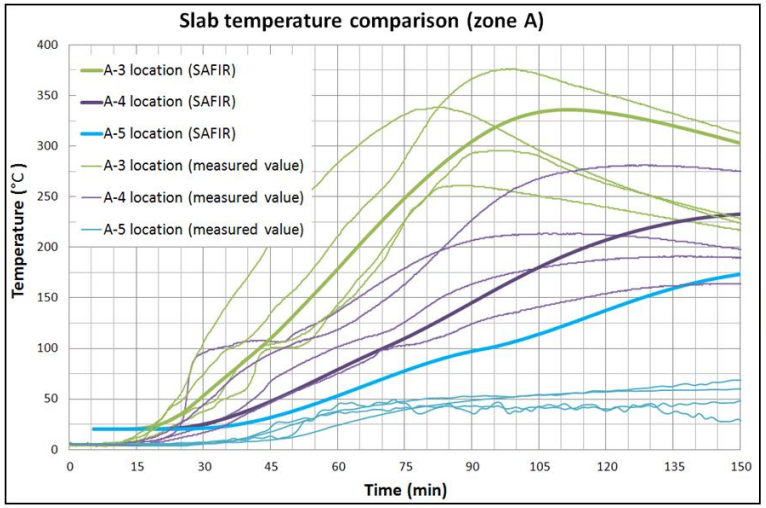
Wyniki analizy parametrycznej

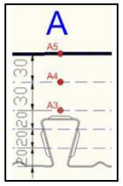
Wnioski

- **Porównanie z badaniem ogniowym (analiza przepływu ciepła)**



Niezabezpieczone belki stalowe





Płyta zespolona

Weryfikacja modelu numerycznego SAFIR w oparciu o badanie FICEB (2/3)

Cele

Właściwości analizy parametrycznej

Analiza Metodą Elementów Skończonych

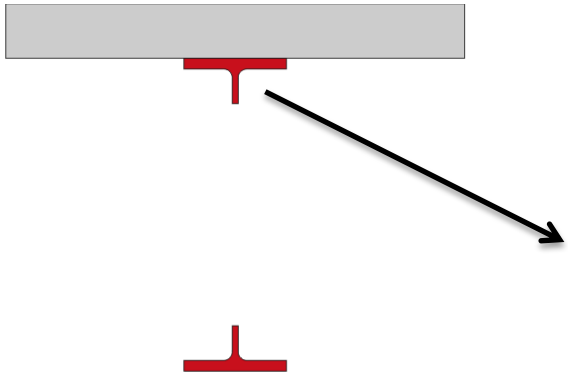
Walidacja modelu numerycznego

Efekt warunków brzegowych

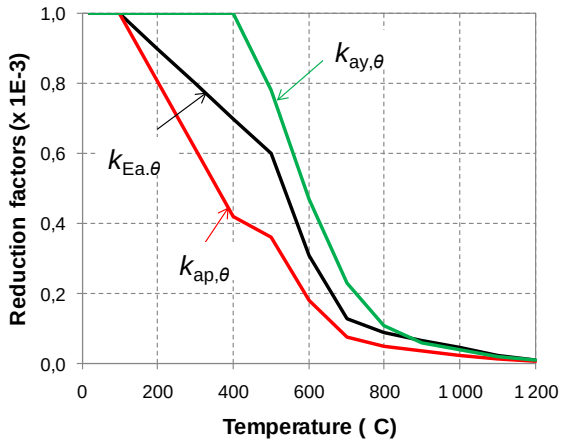
Wyniki analizy parametrycznej

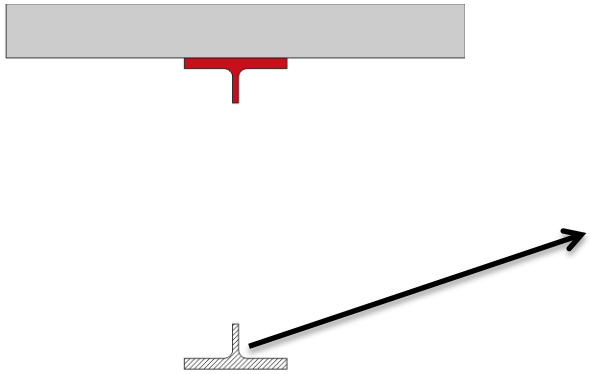
Wnioski

- **Hybrydowy model uwzględniający utratę stateczności (wyboczenie) środnika**

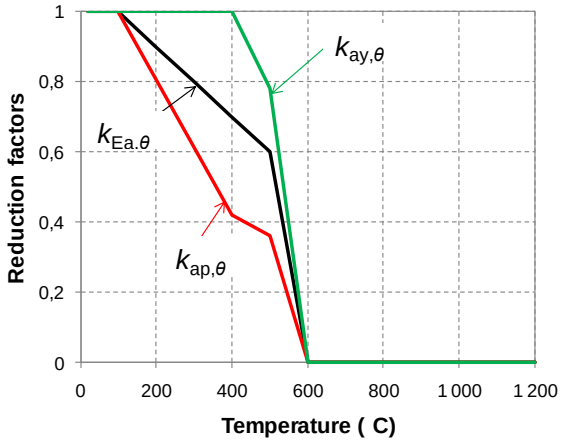


przed utratą stateczności





po utracie stateczności



Weryfikacja modelu numerycznego SAFIR w oparciu o badanie FICEB (3/3)

Cele

Właściwości analizy parametrycznej

Analiza Metodą Elementów Skończonych

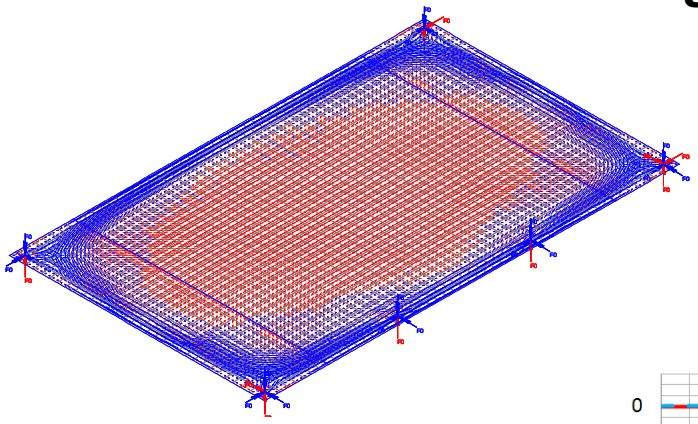
Walidacja modelu numerycznego

Efekt warunków brzegowych

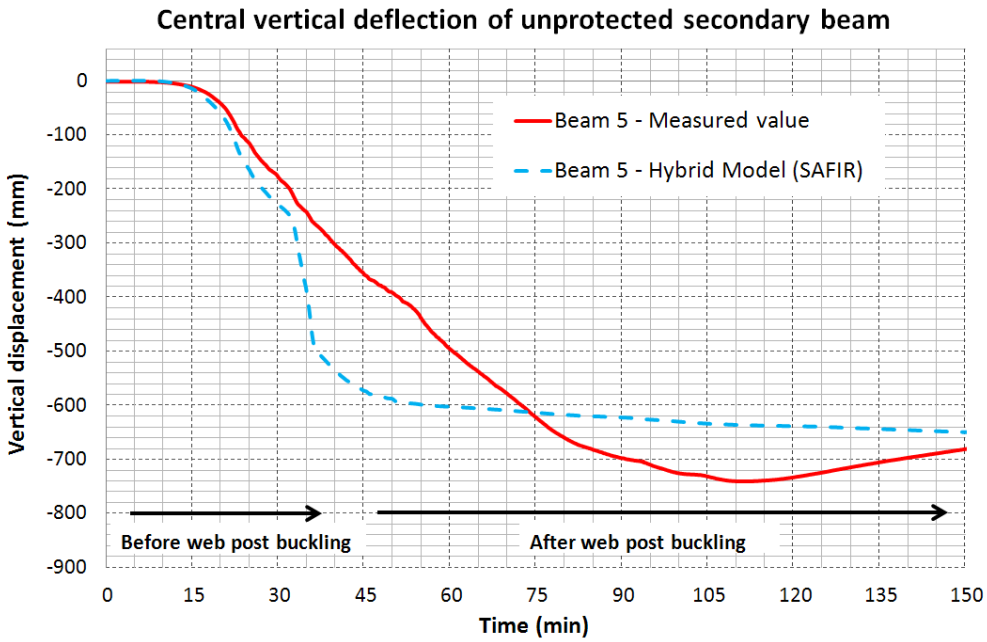
Wyniki analizy parametrycznej

Wnioski

- **Porównanie z badaniem ogniowym (ugięcie)**



Symulowane naprężenia w płycie na koniec badania



Porównanie doświadczanych i numerycznych wartości przemieszczeń pionowych

Efekt ciągłości na brzegu stropu

Cele

Właściwości analizy parametrycznej

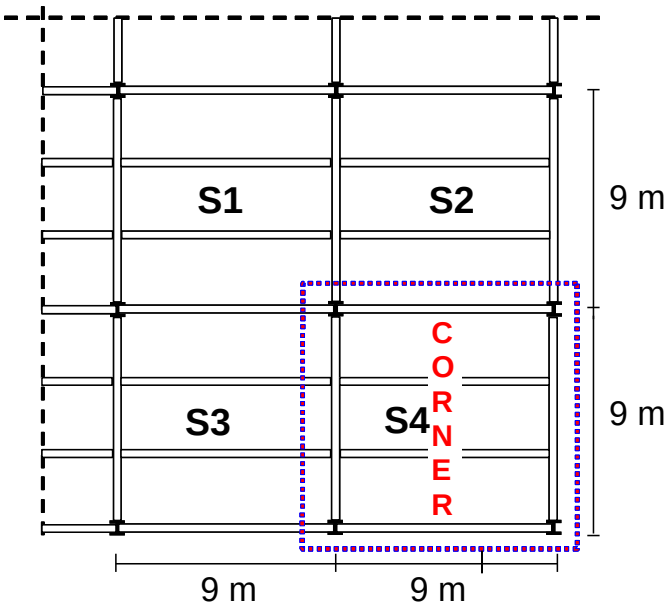
Analiza Metodą Elementów Skończonych

Walidacja modelu numerycznego

Efekt warunków brzegowych

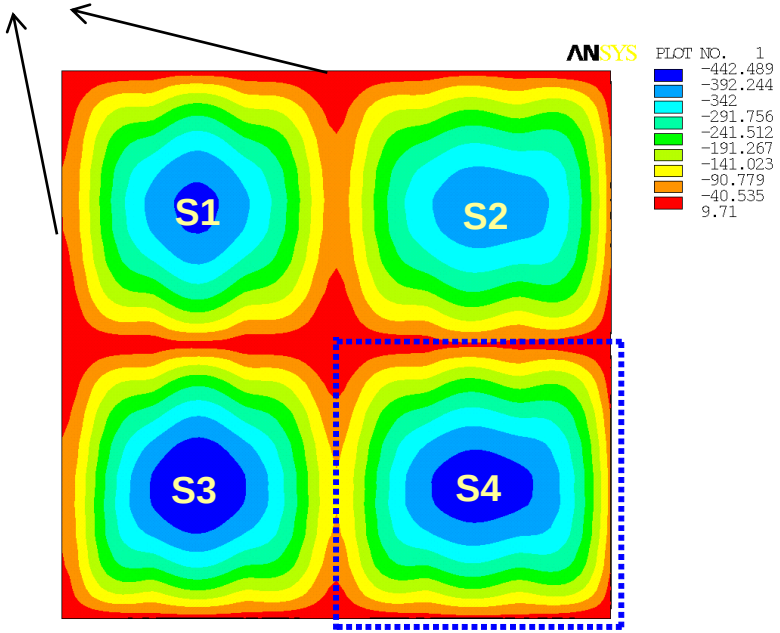
Wyniki analizy parametrycznej

Wnioski



Siatka konstrukcyjna rzeczywistego budynku

Warunki zamocowania



Model ANSYS

- **Wniosek**
  - **Znacznie ważniejsze są przewidywane ugięcia w narożniku siatki z 2 ciągłymi krawędziami niż w pozostałych 3 polach siatki z 3 lub 4 ciągłymi krawędziami.**

Wyniki analizy parametrycznej (1/4)

Cele

Właściwości analizy parametrycznej

Analiza Metodą Elementów Skończonych

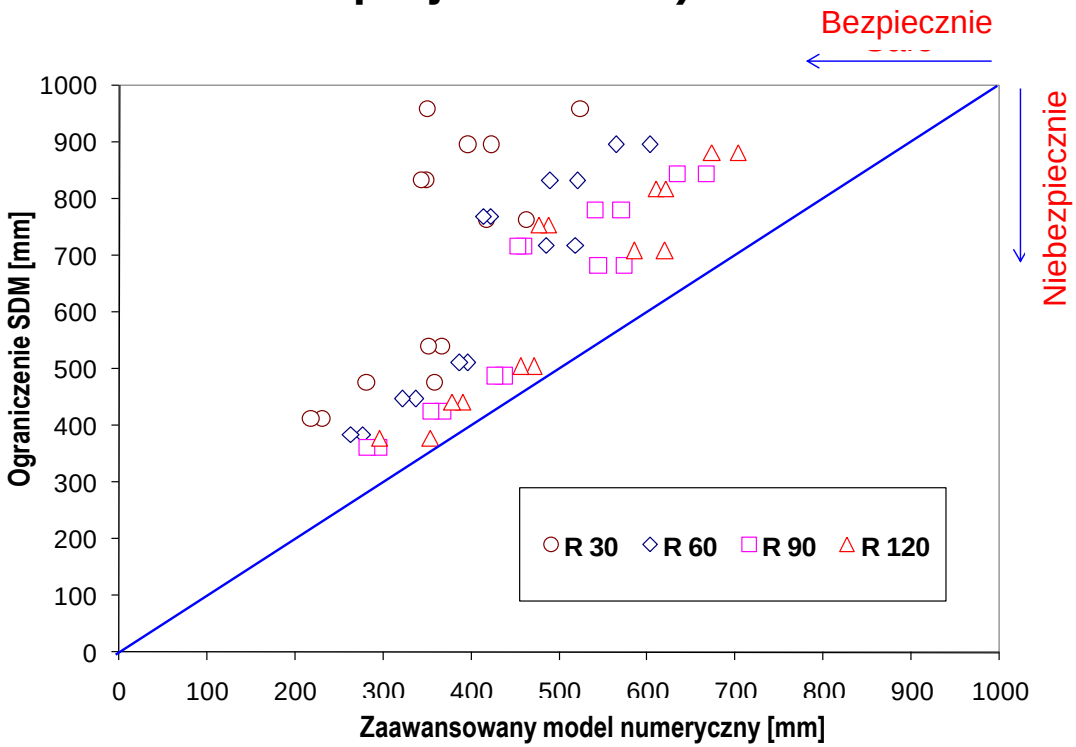
Walidacja modelu numerycznego

Efekt warunków brzegowych

Wyniki analizy parametrycznej

Wnioski

- **Porównanie ugięcia obliczonego MES z maksymalnym dopuszczalnym ugięciem obliczonym według SDM (uproszczona metoda projektowania)**



Przy mechanicznym połączeniu stropu ze słupami w zaawansowanych obliczeniach

Wyniki analizy parametrycznej (2/4)

Cele

Właściwości analizy parametrycznej

Analiza Metodą Elementów Skończonych

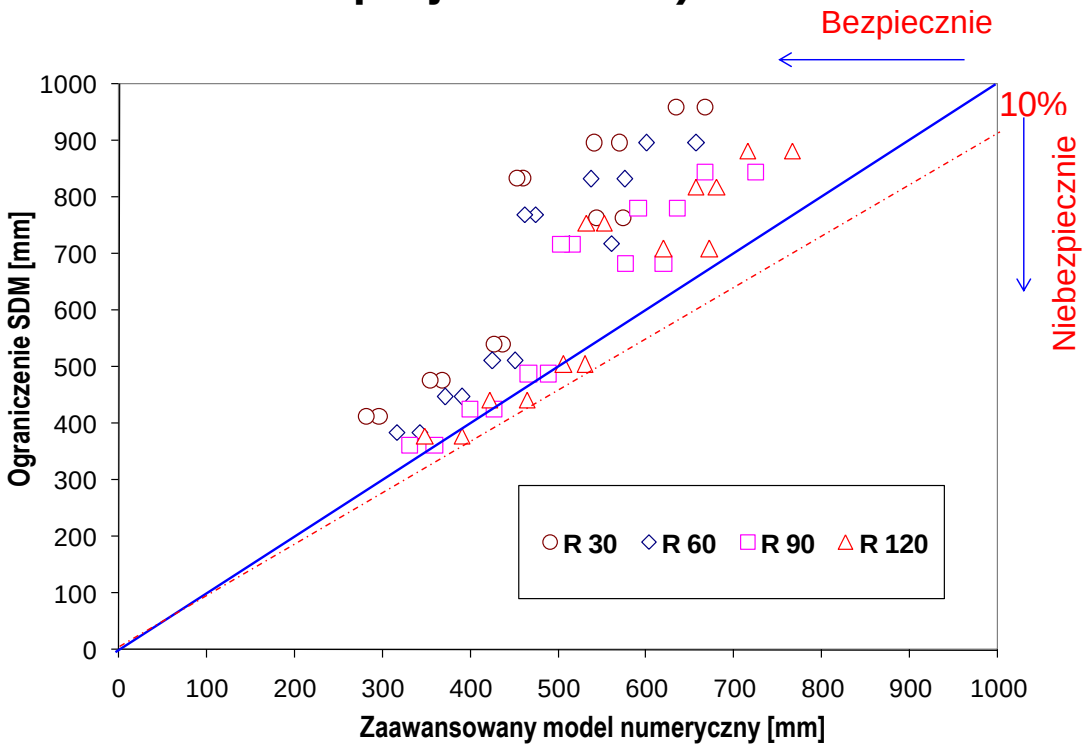
Walidacja modelu numerycznego

Efekt warunków brzegowych

Wyniki analizy parametrycznej

Wnioski

- **Porównanie ugięcia obliczonego MES z maksymalnym dopuszczalnym ugięciem obliczonym według SDM (uproszczona metoda projektowania)**



Bez mechanicznego połączenia stropu ze słupami w zaawansowanych obliczeniach

Wyniki analizy parametrycznej (3/4)

Cele

Właściwości analizy parametrycznej

Analiza Metodą Elementów Skończonych

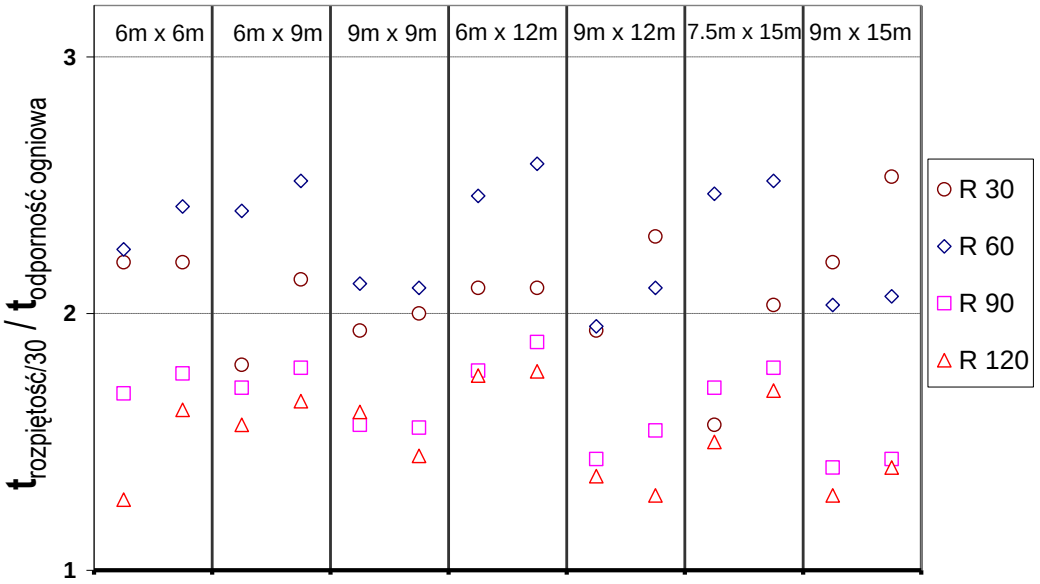
Walidacja modelu numerycznego

Efekt warunków brzegowych

Wyniki analizy parametrycznej

Wnioski

- **Porównanie czasu, gdy ugięcie obliczone MES osiąga rozpiętość/30 przy odporności ogniowej obliczonej według SDM (uproszczona metoda projektowania)**



- **Wniosek**
  - **Kryterium rozpiętość/30 nie jest osiągane w obliczeniach MES dla wszystkich okresów odporności ogniowej wyznaczonych przy pomocy SDM**

Wyniki analizy parametrycznej (4/4)

Cele

Właściwości analizy parametrycznej

Analiza Metodą Elementów Skończonych

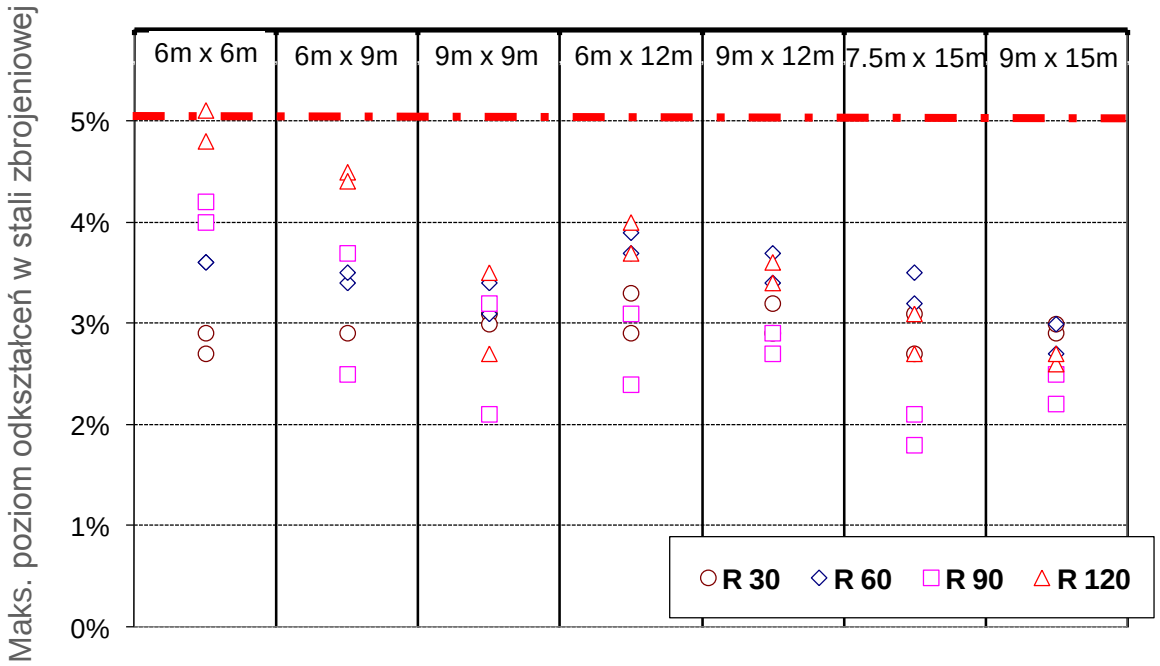
Walidacja modelu numerycznego

Efekt warunków brzegowych

Wyniki analizy parametrycznej

Wnioski

- **Wydłużalność prętów zbrojeniowych**



- **Wniosek**
  - **Wydłużalność stali zbrojeniowej < 5 % = Minimum dopuszczalnej wydłużalności zgodnie z EC4-1-2.**

Wnioski

Cele

Właściwości analizy parametrycznej

Analiza Metodą Elementów Skończonych

Walidacja modelu numerycznego

Efekt warunków brzegowych

Wyniki analizy parametrycznej

Wnioski

- **SDM (uproszczona metoda projektowania) jest po bezpiecznej stronie w porównaniu z wynikami obliczeń metodami zaawansowanymi.**
- **Wydłużenie stalowej siatki zbrojeniowej pozostaje generalnie poniżej 5 %.**
- **Mechaniczne powiązania stropu ze słupami mogą zredukować ugięcie stropu zespolonego w warunkach pożarowych, ale nie są one konieczne jako detal konstrukcyjny.**
- **SDM jest w stanie przewidzieć, w bezpieczny sposób, konstrukcyjne zachowanie stropu zespolonego stalowo-betonowego poddanego oddziaływaniu pożaru standardowego.**