



Zasady projektowania systemów stropów zespolonych z niezabezpieczonymi ogniocronnie drugorzędowymi belkami stalowymi

14 czerwca 2011 r.

Zachowanie stropów stalowych i zespolonych w warunkach pożarowych

*Numeryczne sprawdzenie uproszczonej
metody projektowania*

- **Cele analizy parametrycznej**
- **Właściwości analizy parametrycznej**
 - Rozmiary siatki stropu
 - Poziomy obciążenia
 - Połączenie stropu ze słupami stalowymi
 - Odporność ogniowa: R30, R60, R90 i R120
- **Analiza Metodą Elementów Skończonych**
 - Model numeryczny stropu
 - Właściwości termo-mechaniczne materiałów użyte w MES
- **Walidacja modelu numerycznego**
 - Analiza termiczna
 - Analiza konstrukcyjna
- **Efekt ciągłości na brzegu stropu**
- **Wyniki analizy parametrycznej**
 - Ugięcie stropu
 - Wydłużalność prętów zbrojeniowych
- **Wnioski**

Cele

Analiza
właściwości
parametrycznych

Analiza Metodą
Elementów
Skończonych

Walidacja modelu
numerycznego

Efekt warunków
brzegowych

Wyniki analizy
parametrycznej

Wnioski

- **Podstawy**
 - standardowe badanie odporności ogniowej w pełnej skali w ramach projektu FRACOF
 - Doskonałe zachowanie systemów stropów zespolonych w warunkach pożarowych (występowanie rozciągającego oddziaływania membranowego)
 - Maks. θ stali ≈ 1000 °C, oddziaływanie ognia > 120 min
 - Szczegóły konstrukcyjne
 - Ugięcie ≈ 450 mm
- **Cel**
 - Weryfikacja uproszczonej metody projektowania w całej dziedzinie zastosowania (z użyciem zaawansowanych modeli obliczeniowych)
 - Ograniczenie ugięcia stropu
 - Wydłużenie stali zbrojeniowej

Cele

Analiza
właściwości
parametrycznych

Analiza Metodą
Elementów
Skończonych

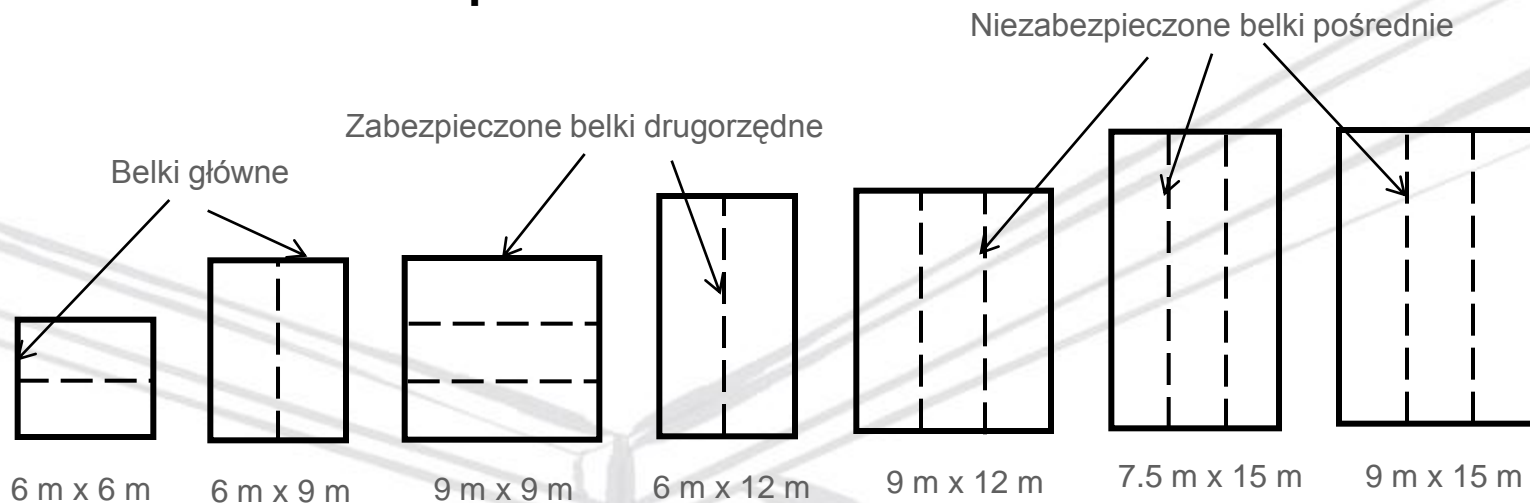
Walidacja modelu
numerycznego

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 & 5 kN/m²

Cele

- Połączenie stropu ze słupami stalowymi

Analiza
właściwości
parametrycznych

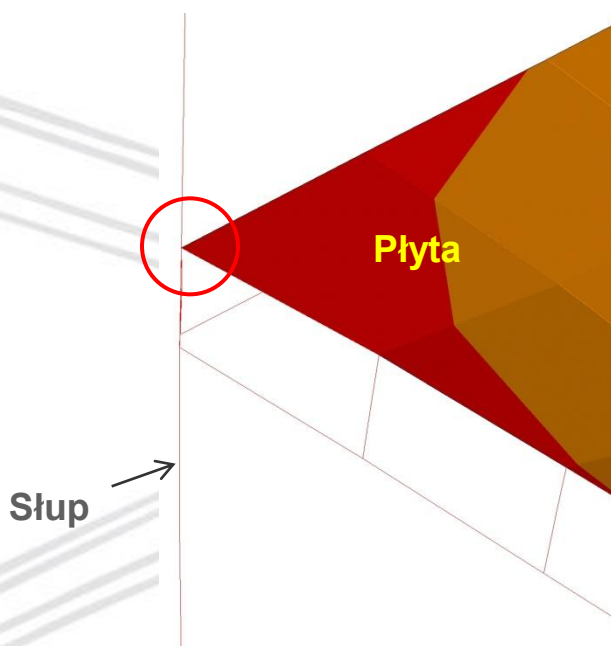
Analiza Metodą
Elementów
Skończonych

Walidacja modelu
numerycznego

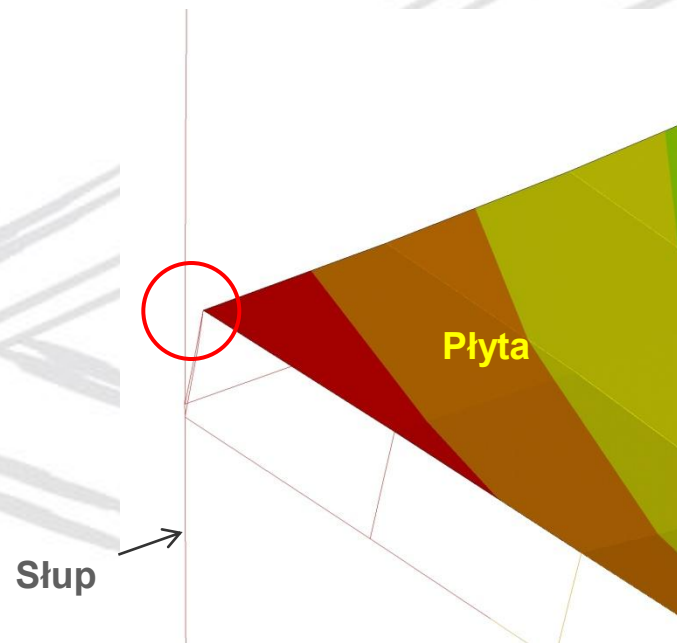
Efekt warunków
brzegowych

Wyniki analizy
parametrycznej

Wnioski



Przy mechanicznym
połączeniu stropu ze słupami



Bez mechanicznego
połączenia stropu ze słupami

Cele

• **Odporność ogniowa: R30, R60, R90 and R120**

Analiza
właściwości
parametrycznych

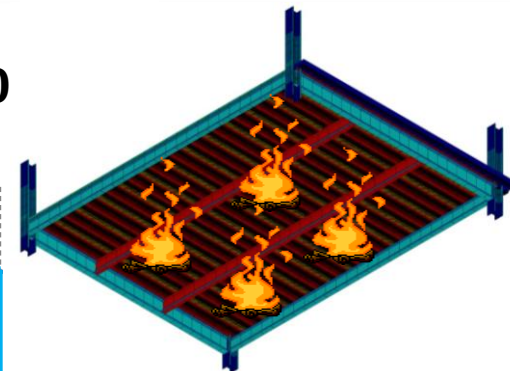
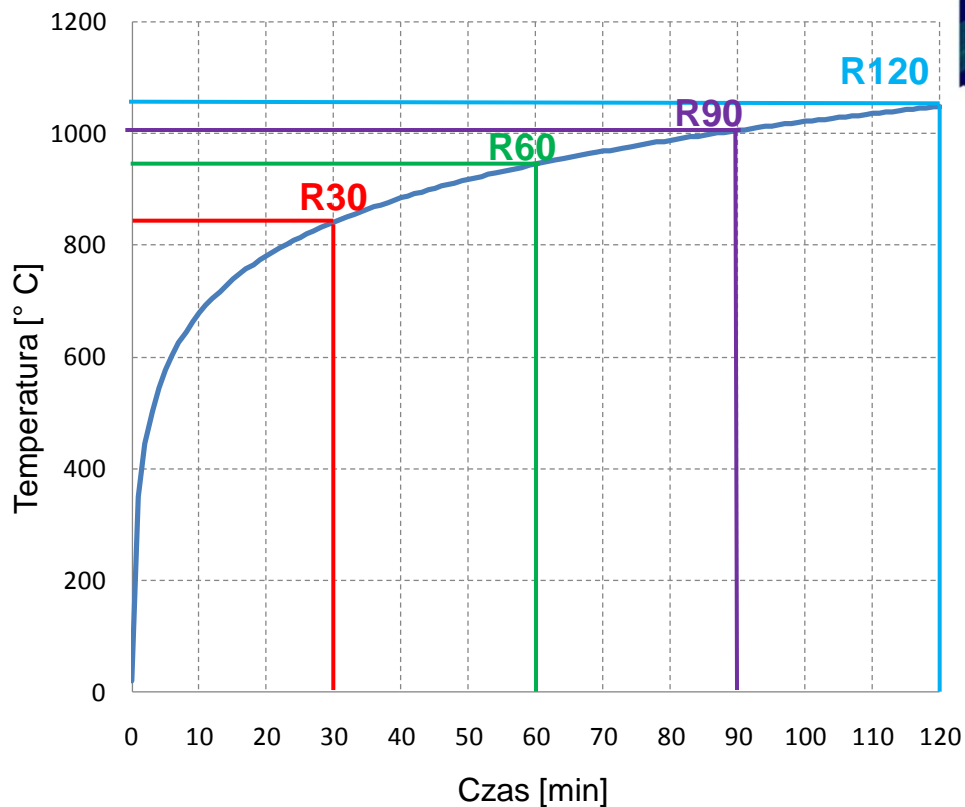
Analiza Metodą
Elementów
Skończonych

Walidacja modelu
numerycznego

Efekt warunków
brzegowych

Wyniki analizy
parametrycznej

Wnioski



Nagrzewanie belek obwodowych
(maks. 550 °C)

Cele

Analiza

właściwości

parametrycznych

Analiza Metodą

Elementów

Skończonych

Walidacja modelu

numerycznego

Efekt warunków

brzegowych

Wyniki analizy

parametrycznej

Wnioski

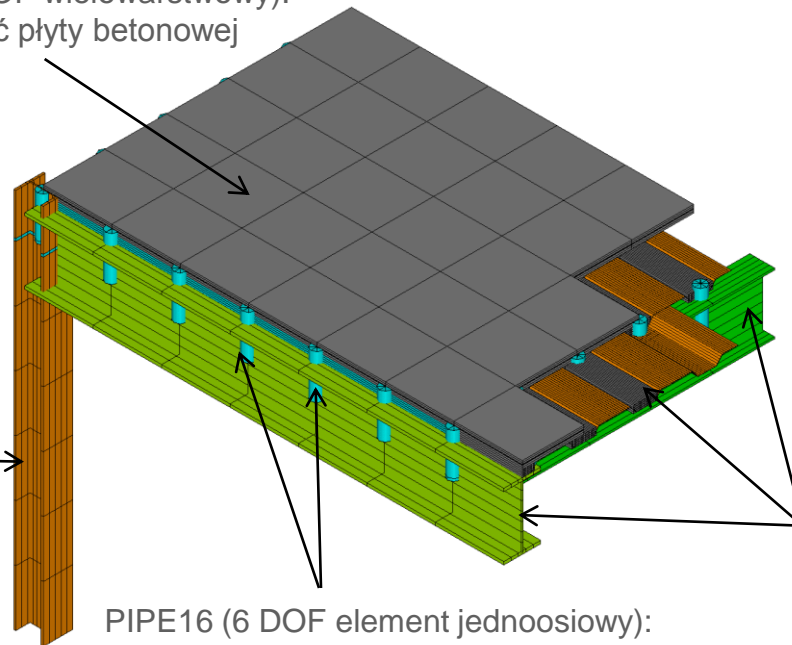
- Model hybrydowy oparty na kilku typach elementów skończonych oprogramowania ANSYS**

SHELL91 (6 DOF wielowarstwowy):
 masywna część płyty betonowej

BEAM24 :
 słup stalowy

PIPE16 (6 DOF element jednoosiowy):
 połączenie pomiędzy belką stalową i
 płytą betonową

Beam24: belka stalowa,
 stalowy szalunek i
 betonowe żebro



Cele

Analiza

właściwości

parametrycznych

Analiza Metodą

Elementów

Skończonych

Walidacja modelu

numerycznego

Efekt warunków

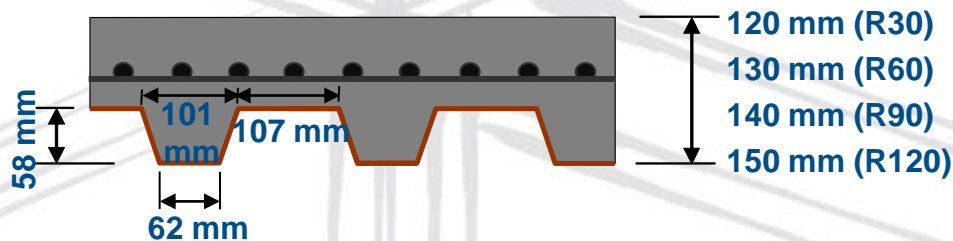
brzegowych

Wyniki analizy

parametrycznej

Wnioski

- **Belki S235**
- **Stalowe trapezowe deskowanie COFRAPLUS60 (0.75 mm grubości)**
- **Beton zwykły C30/37**
- **Siatka zbrojeniowa S500**
- **Położenie siatki, średnio (od górnej powierzchni) = 45 mm**



Cele

Analiza

właściwości
parametrycznych

Analiza Metodą
Elementów
Skończonych

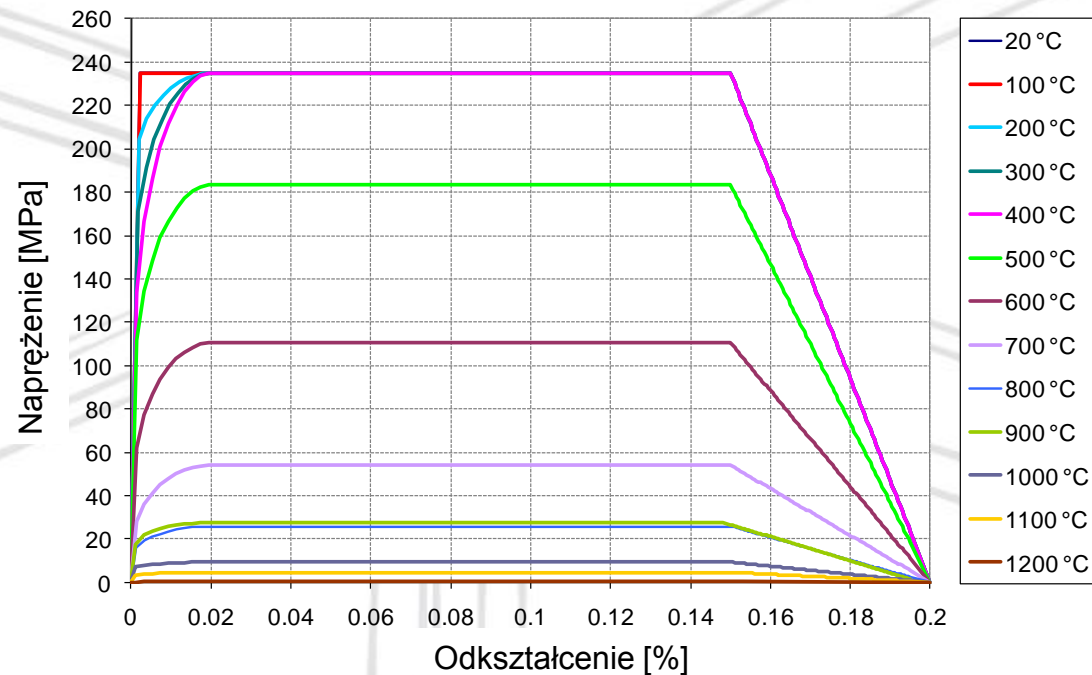
Walidacja modelu
numerycznego

Efekt warunków
brzegowych

Wyniki analizy
parametrycznej

Wnioski

- **Właściwości termomechaniczne stali:**
 - Właściwości termiczne według EC4-1.2
 - Gęstość niezależna od temperatury ($\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$)
 - Zależność naprężenie-odkształcenie:



Cele

Analiza

właściwości
parametrycznych

Analiza Metodą
Elementów
Skończonych

Walidacja modelu
numerycznego

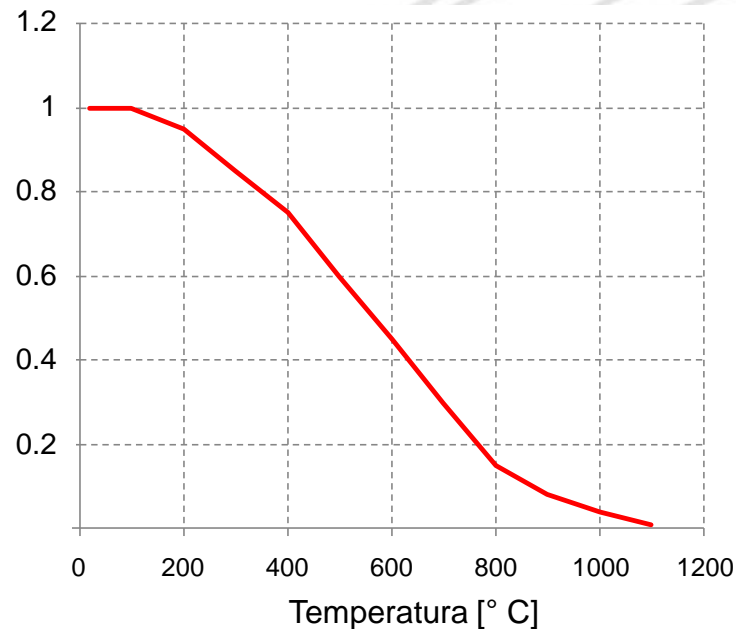
Efekt warunków
brzegowych

Wyniki analizy
parametrycznej

Wnioski

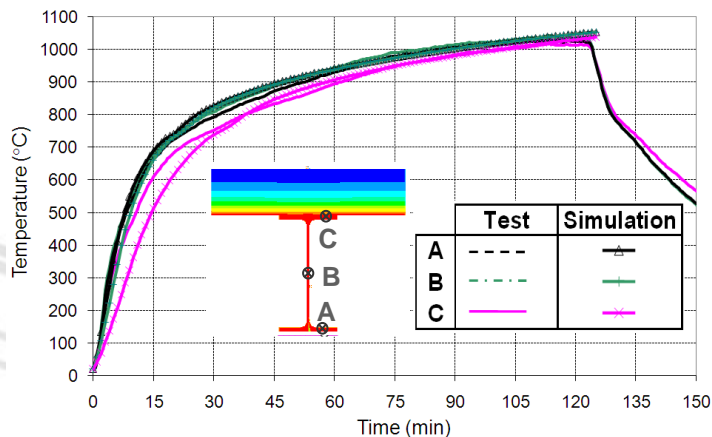
- **Właściwości termomechaniczne betonu:**

- 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:

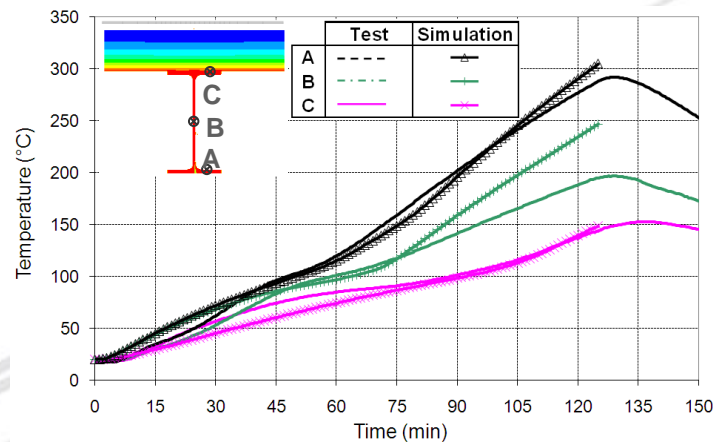


Cele
Analiza
właściwości
parametrycznych
Analiza Metodą
Elementów
Skończonych

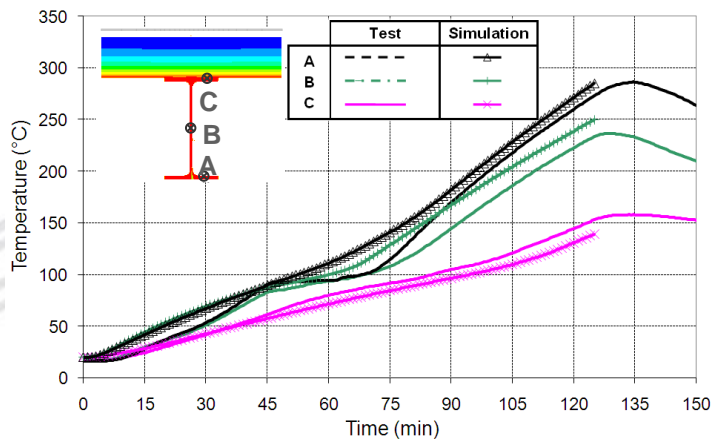
• Porównanie z badaniem ogniowym (analiza przepływu ciepła)



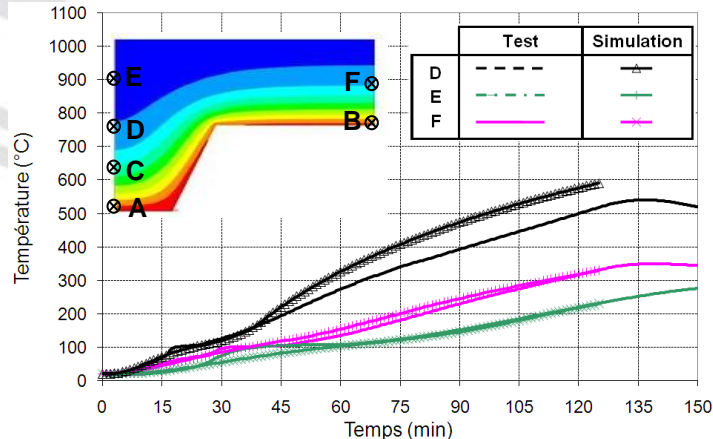
Niezabezpieczone belki stalowe



Zabezpieczone belki drugorzędne



Zabezpieczone belki główne



Płyta zespolona

Walidacja modelu
numerycznego
Efekt warunków
brzegowych
Wyniki analizy
parametrycznej
Wnioski

Cele

Analiza

właściwości

parametrycznych

Analiza Metodą

Elementów

Skończonych

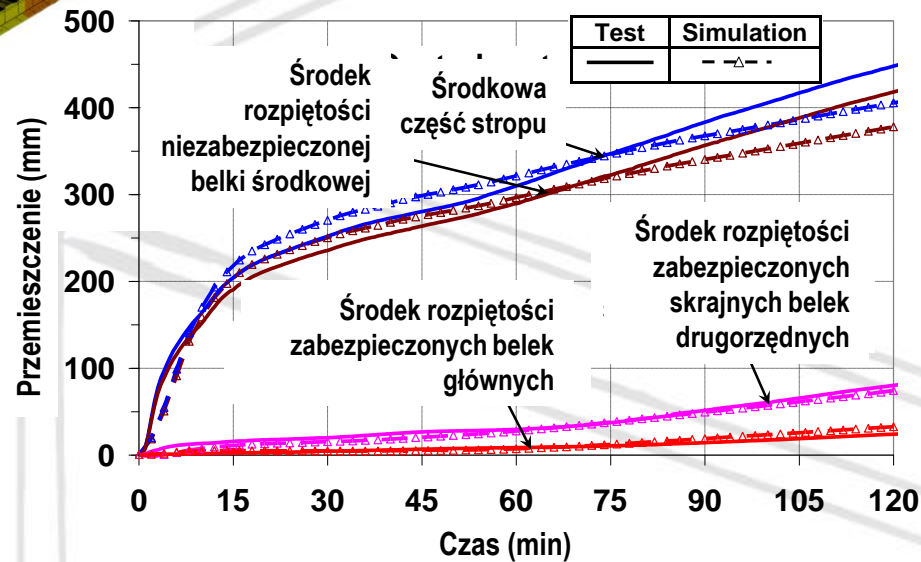
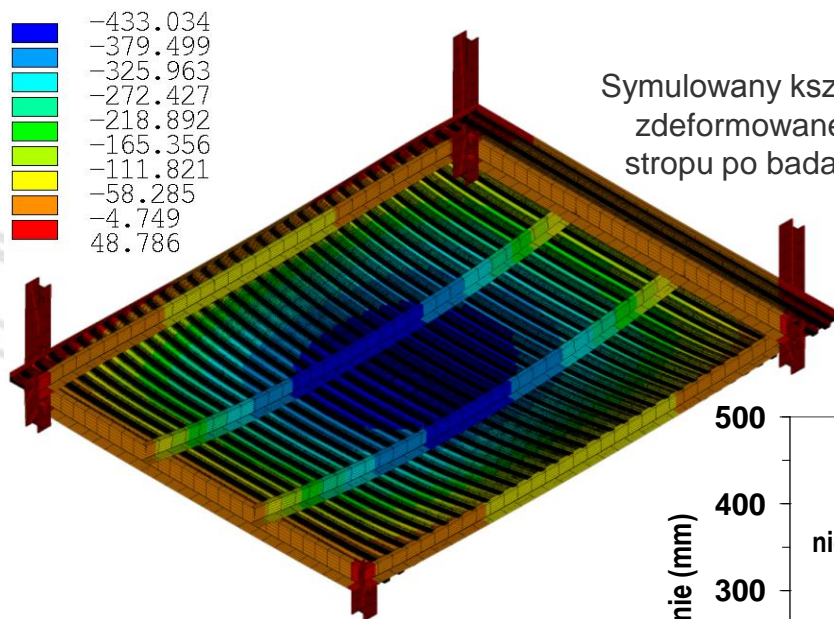
Walidacja modelu
numerycznego

Efekt warunków
brzegowych

Wyniki analizy
parametrycznej

Wnioski

• Porównanie z badaniem ogniowym (ugięcie)



Porównanie ugięcia (płyta i belki)

Cele

Analiza
właściwości
parametrycznych

Analiza Metodą
Elementów
Skończonych

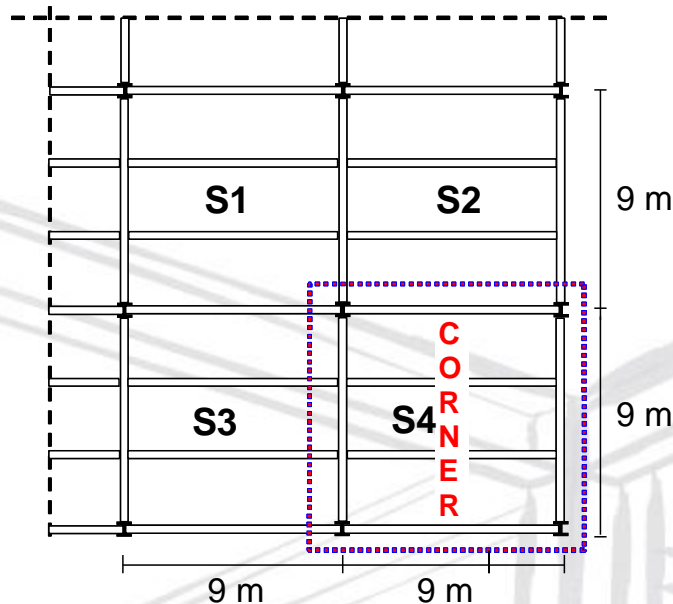
Walidacja modelu
numerycznego

Efekt warunków
brzegowych

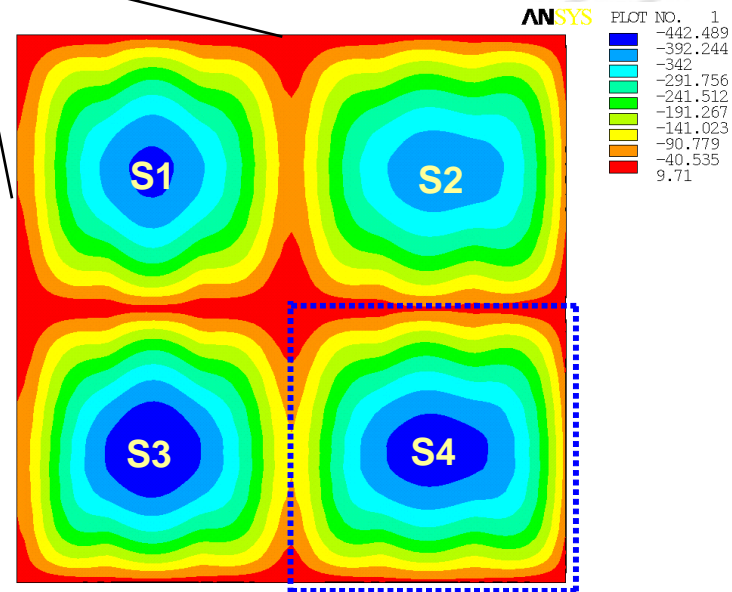
Wyniki analizy
parametrycznej

Wnioski

Warunki zamocowania



Siatka konstrukcyjna
rzeczywistego budynku



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.

Cele

Analiza
właściwości
parametrycznych

Analiza Metodą
Elementów
Skończonych

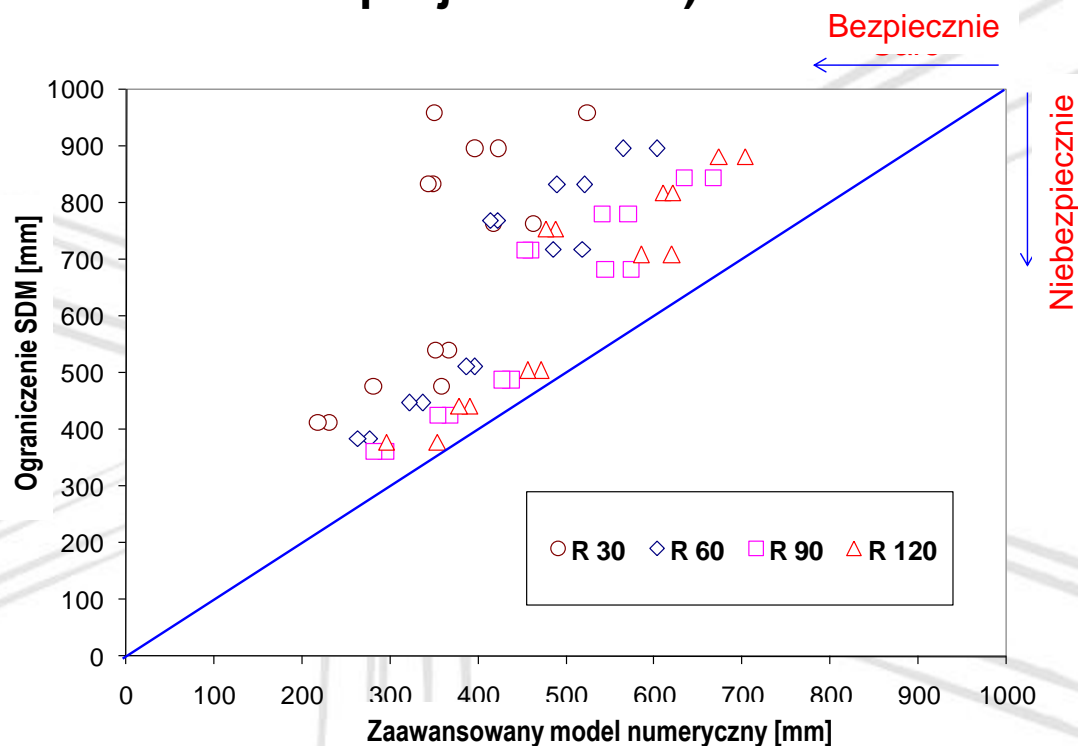
Walidacja modelu
numerycznego

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

Cele

Analiza
właściwości
parametrycznych

Analiza Metodą
Elementów
Skończonych

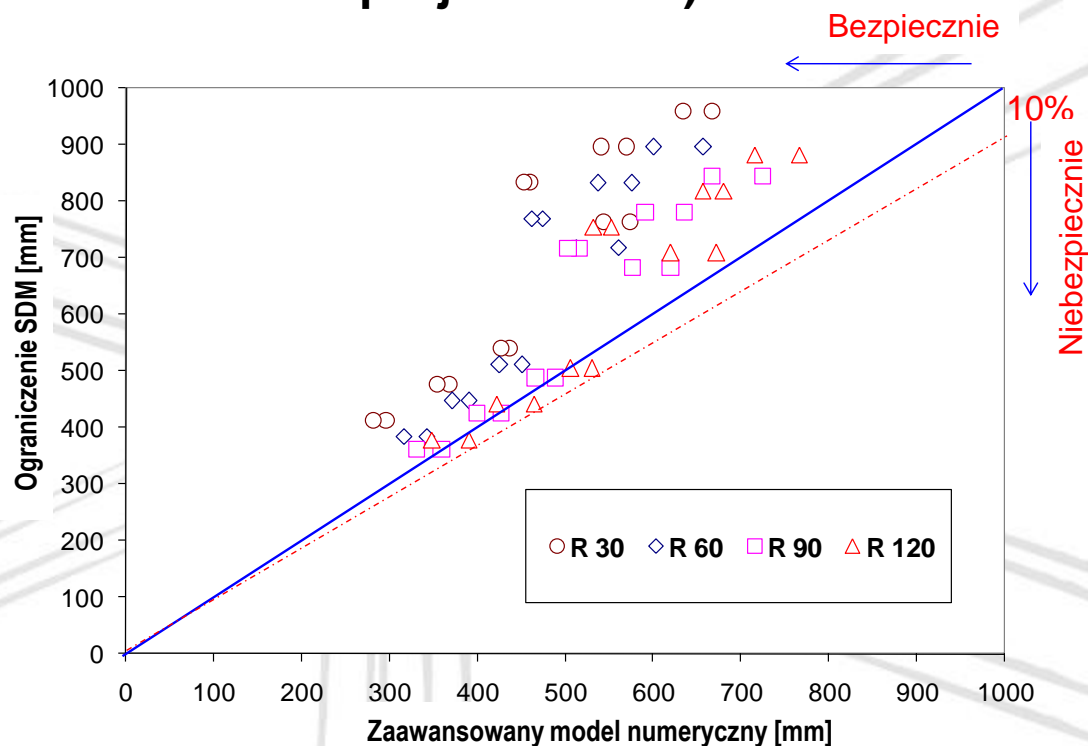
Walidacja modelu
numerycznego

Efekt warunków
brzegowych

Wyniki analizy
parametrycznej

Wnioski

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

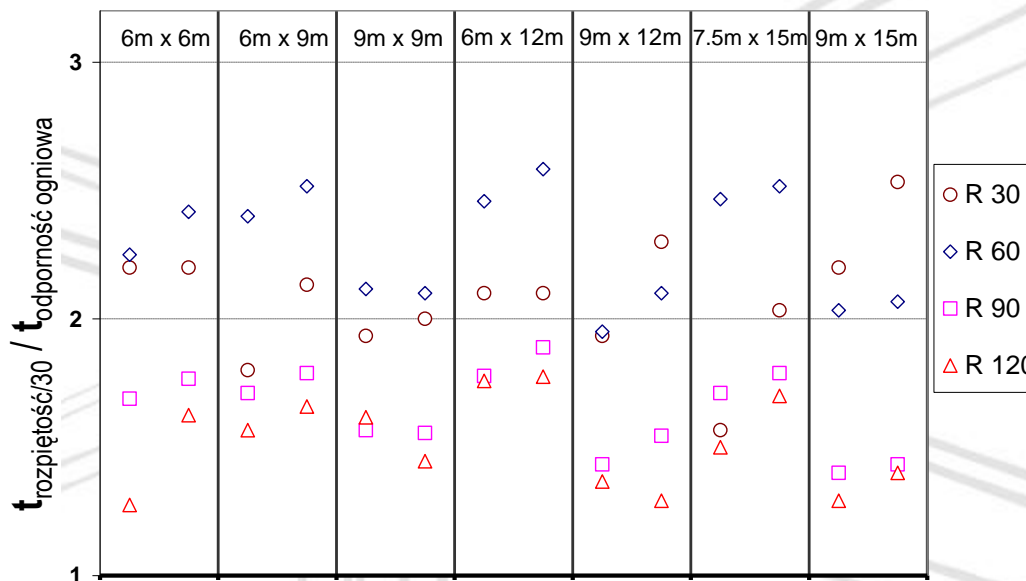


Bez mechanicznego połączenia stropu ze słupami w zaawansowanych obliczeniach

Cele
Analiza
właściwości
parametrycznych

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

Analiza Metodą
Elementów
Skończonych
Walidacja modelu
numerycznego
Efekt warunków
brzegowych



Wyniki analizy
parametrycznej

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

Wnioski

Cele

- **Wydłużalność prętów zbrojeniowych**

Analiza

właściwości

parametrycznych

Analiza Metodą

Elementów

Skończonych

Walidacja modelu

numerycznego

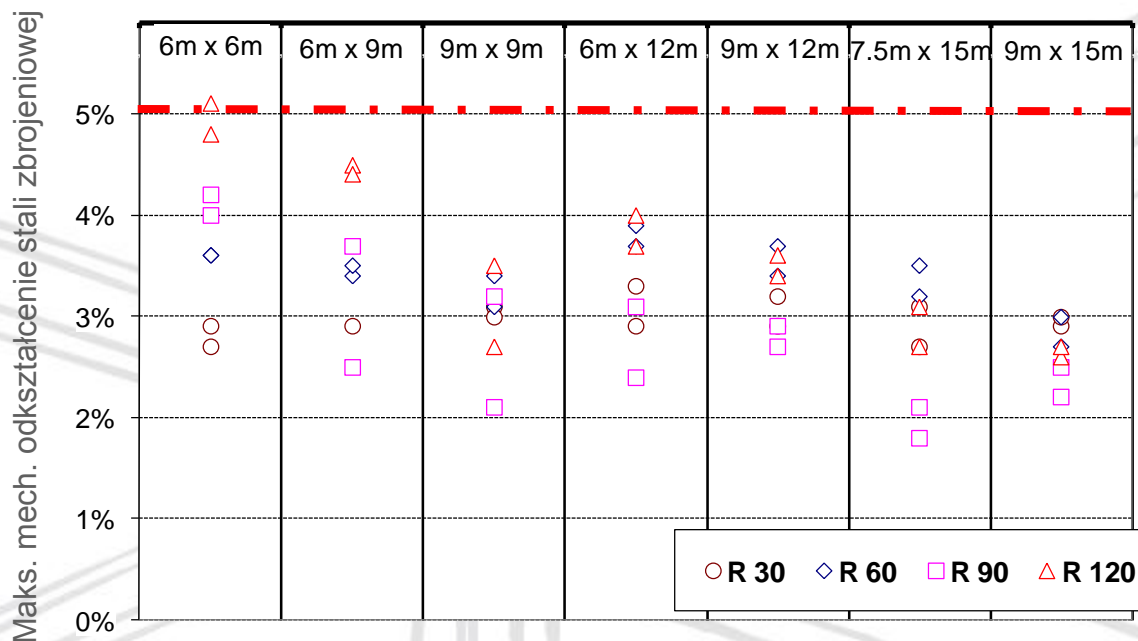
Efekt warunków

brzegowych

Wyniki analizy

parametrycznej

Wnioski



- **Wniosek**

– **Wydłużalność stali zbrojeniowej < 5 % = Minimum dopuszczalnej wydłużalności zgodnie z EC4-1.2.**

Cele

Analiza

właściwości

parametrycznych

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.**