Research Fund for Coal & Steel

MACS+

Gedrag bij brand van staal-beton vloersystemen

Numerieke parameterstudie van de eenvoudige ontwerpmethode

Inhoud van de presentatie

- Doelen van de parameterstudie
- Eigenschappen parameterstudie
- Eindige Elementen Analyse
- Validatie van het numerieke model
- Effect van continuïteit bij de grens van het plaatveld
- Resultaten parameterstudie
- Conclusie

Doelen parameterstudie

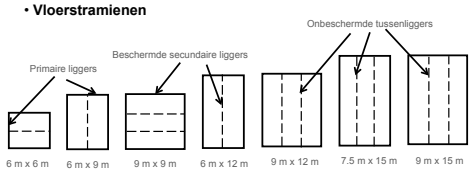
Doelen
Eigenschappen parameterstudie
Eindige elementen analyse
Validatie van het numerieke model
Effect van de randcondities
Resultaten parameterstudie
Conclusie

- **Achtergrond**
  - FRACOF (Test 1) - COSSFIRE (Test 2) standaardbrand proeven op grote schaal
    - Excellente prestatie van staal-beton vloersystemen bij brand (optreden van trek-membraanwerking)
    - Maximale $\theta_{staal} \approx 1000$ °C, brandduur > 120 min
    - Franse constructiedetails
    - Doorbuiging ≈ 450 mm
  - FICEB (Test 3) natuurlijke brandproef op grote schaal met liggers met ronde gaten
- **Doel**
  - Verificatie van de eenvoudige ontwerpmethode voor het volledige toepassingsgebied (met behulp van geavanceerde berekeningsmodellen)
    - Doorbuigingslimiet voor de vloer
    - Rek van het wapeningsstaal

Eigenschappen parameterstudie (1/3)

Doelen
Eigenschappen parameterstudie
Eindige elementen analyse
Validatie van het numerieke model
Effect van de randcondities
Resultaten parameterstudie
Conclusie

- **Vloerstramienen**



- **Belastingniveau**

  Volgens EN 1990 belastingcombinatie in buitengewone situatie (brand) voor kantoorgebouwen:

  G (eigen gewicht) + 0,5 Q (veranderlijke belasting)

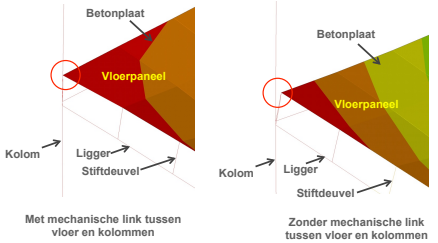
  G= eigen gewicht + 1,25 kN/m²

  Q= 2,5 & 5 kN/m²

Eigenschappen parameterstudie (2/3)

Doelen
Eigenschappen parameterstudie
Eindige elementen analyse
Validatie van het numerieke model
Effect van de randcondities
Resultaten parameterstudie
Conclusie

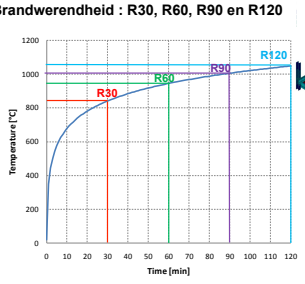
- **Randconditie tussen vloer en stalen kolommen**



Eigenschappen parameterstudie (3/3)

Doelen
Eigenschappen parameterstudie
Eindige elementen analyse
Validatie van het numerieke model
Effect van de randcondities
Resultaten parameterstudie
Conclusie

- **Brandwerendheid : R30, R60, R90 en R120**

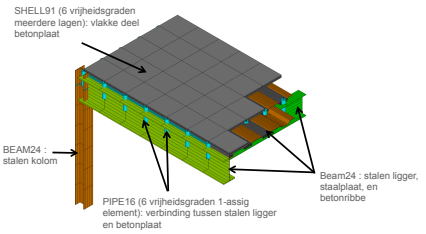


Opwarming van de randliggers (max. 550 °C)

Doelen
Eigenschappen parameterstudie
Eindige elementen analyse
Validatie van het numerieke model
Effect van de randcondities
Resultaten parameterstudie
Conclusie

Eindige elementenmodel

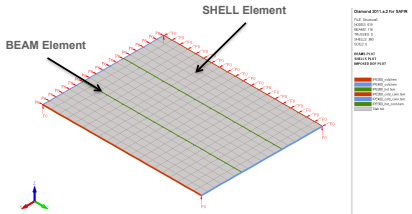
- **Hybride model gebaseerd op verschillende typen eindige elementen met computerprogramma ANSYS**



Doelen
Eigenschappen parameterstudie
Eindige elementen analyse
Validatie van het numerieke model
Effect van de randcondities
Resultaten parameterstudie
Conclusie

Eindige elementenmodel

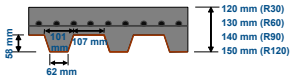
- **Hybride model gebaseerd op verschillende typen eindige elementen met computerprogramma SAFIR**



Doelen
Eigenschappen parameterstudie
Eindige elementen analyse
Validatie van het numerieke model
Effect van de randcondities
Resultaten parameterstudie
Conclusie

Eigenschappen vloerplaat

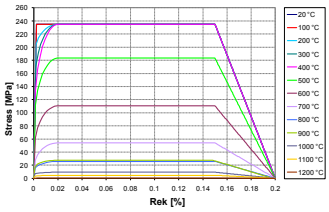
- **Liggers staalsoort S235**
- **COFRAPLUS60 trapeziumvormige staalplaat (0,75 mm thick)**
- **Normaalgewicht beton C30/37**
- **Wapeningsnet staalsoort S500 (FeB)**
- **Gemiddelde positie wapeningsnet (van bovenzijde) = 45 mm**



Doelen
Eigenschappen parameterstudie
Eindige elementen analyse
Validatie van het numerieke model
Effect van de randcondities
Resultaten parameterstudie
Conclusie

Thermo-mechanische eigenschappen (1/2)

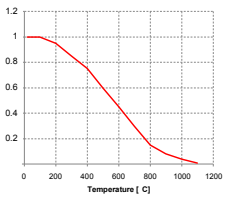
- **Thermo-mechanische eigenschappen staal:**
  - **Thermische eigenschappen uit EC4-1.2**
  - **Soortelijk gewicht onafhankelijk van temperatuur (ρ_s = 7850 kg/m^3)**
  - **Spanning-rek relaties:**



Doelen
Eigenschappen parameterstudie
Eindige elementen analyse
Validatie van het numerieke model
Effect van de randcondities
Resultaten parameterstudie
Conclusie

Thermo-mechanische eigenschappen (2/2)

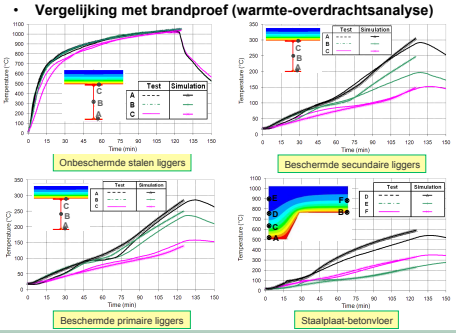
- **Thermo-mechanische eigenschappen beton:**
  - **Thermische eigenschappen uit EC4-1.2**
  - **Soortelijk gewicht als functie van temperatuur volgens EC4-1.2**
  - **Drucker-Prager vloeicriterium**
  - **Reductiefactoren voor druk volgens EC4-1.2:**



Doelen
Eigenschappen parameterstudie
Eindige elementen analyse
Validatie van het numerieke model
Effect van de randcondities
Resultaten parameterstudie
Conclusie

Validatie van het numerieke model ANSYS met Test 1 (1/2)

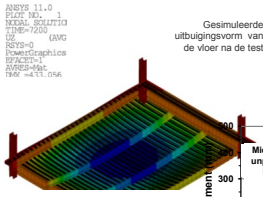
- **Vergelijking met brandproef (warmte-overdrachtsanalyse)**



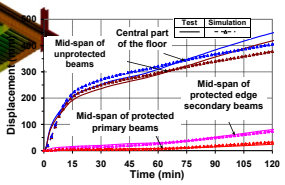
Doelen
Eigenschappen parameterstudie
Eindige elementen analyse
Validatie van het numerieke model
Effect van de randcondities
Resultaten parameterstudie
Conclusie

Validatie van het numerieke model ANSYS met Test 1 (2/2)

- **Vergelijking met brandproef (doorbuiging)**



Gesimuleerde uitbuigingsvorm van de vloer na de test

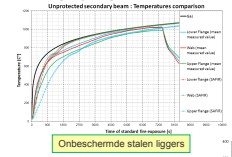


Vergelijking van de doorbuiging (vloer en liggers)

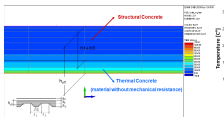
Doelen
Eigenschappen parameterstudie
Eindige elementen analyse
Validatie van het numerieke model
Effect van de randcondities
Resultaten parameterstudie
Conclusie

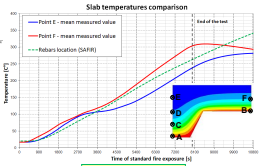
Validatie van het numerieke model SAFIR met Test 1 (1/2)

- **Vergelijking met brandproef (warmte-overdrachtsanalyse)**



Onbeschermde stalen liggers



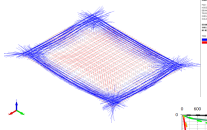


Staalplaat-betonvloer

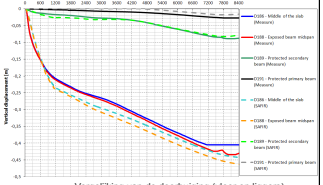
Doelen
Eigenschappen parameterstudie
Eindige elementen analyse
Validatie van het numerieke model
Effect van de randcondities
Resultaten parameterstudie
Conclusie

Validatie van het numerieke model SAFIR met Test 1 (2/2)

- **Vergelijking met brandproef (doorbuiging)**



Gesimuleerde spanningen in de vloer aan het eind van de test

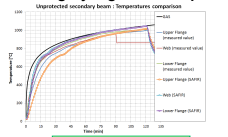


Vergelijking van de doorbuiging (vloer en liggers)

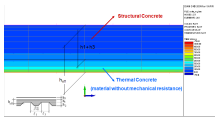
Doelen
Eigenschappen parameterstudie
Eindige elementen analyse
Validatie van het numerieke model
Effect van de randcondities
Resultaten parameterstudie
Conclusie

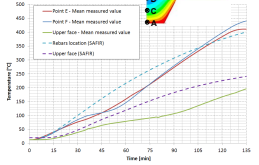
Validatie van het numerieke model SAFIR met Test 2 (1/2)

- **Vergelijking met brandproef (warmte-overdrachtsanalyse)**



Onbeschermde stalen liggers



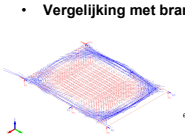


Staalplaat-betonvloer

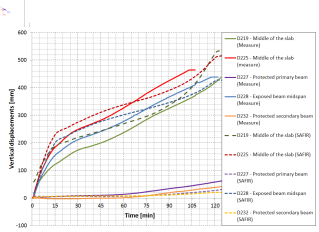
Doelen
Eigenschappen parameterstudie
Eindige elementen analyse
Validatie van het numerieke model
Effect van de randcondities
Resultaten parameterstudie
Conclusie

Validatie van het numerieke model SAFIR met Test 2 (2/2)

- **Vergelijking met brandproef (doorbuiging)**



Gesimuleerde spanningen in de vloer aan het eind van de test

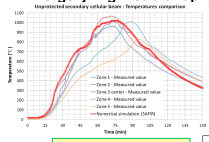


Vergelijking van de doorbuiging (vloer en liggers)

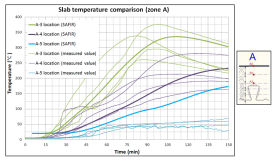
Doelen
Eigenschappen parameterstudie
Eindige elementen analyse
Validatie van het numerieke model
Effect van de randcondities
Resultaten parameterstudie
Conclusie

Validatie van het numerieke model SAFIR met Test 3 (1/3)

- **Vergelijking met brandproef (warmte-overdrachtsanalyse)**



Onbeschermde stalen liggers

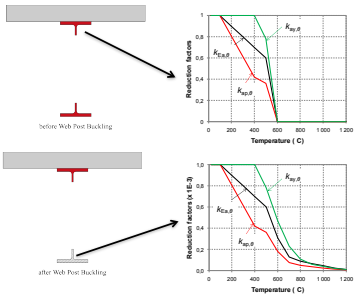


Staalplaat-betonvloer

Doelen
Eigenschappen parameterstudie
Eindige elementen analyse
Validatie van het numerieke model
Effect van de randcondities
Resultaten parameterstudie
Conclusie

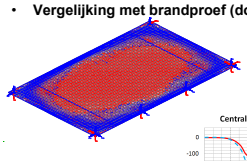
Validatie van het numerieke model SAFIR met Test 3 (2/3)

- **Hybride model om plooien van het lijf in rekening te brengen met het BEAM element**

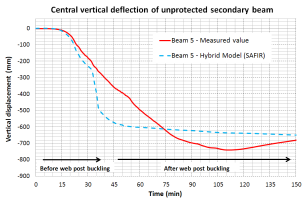


Validatie van het numerieke model SAFIR met Test 3 (3/3)

- **Vergelijking met brandproef (doorbuiging)**

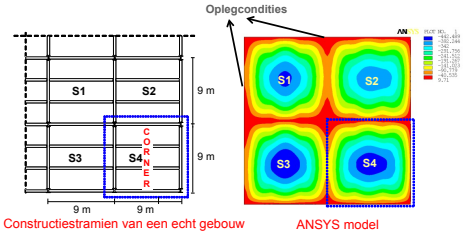


Gesimuleerde spanningen in de vloer aan het eind van de test



Vergelijking van de doorbuiging

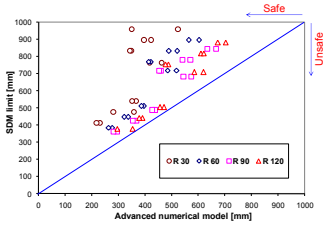
Effect van de randcondities



- **Conclusie**
  - Grotere voorspelde doorbuiging in het hoekveld met 2 doorgaande randen dan in andere 3 velden met 3 of 4 doorgaande randen

Resultaten parameterstudie (1/4)

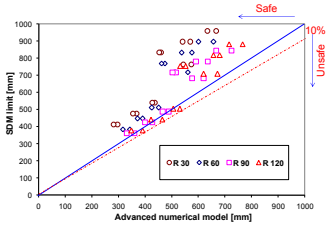
- **Vergelijking tussen de doorbuiging van de EEM met de maximum toegestane doorbuiging SDM (Eenvoudige Ontwerpmethode)**



Met mechanische link tussen vloer en kolommen in geavanceerde berekeningen

Resultaten parameterstudie (2/4)

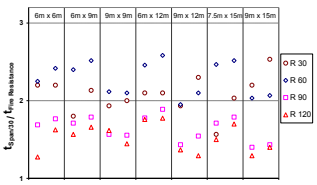
- **Vergelijking tussen de doorbuiging van de EEM met de maximum toegestane doorbuiging SDM (Eenvoudige Ontwerpmethode)**



Zonder mechanische link tussen vloer en kolommen in geavanceerde berekeningen

Resultaten parameterstudie (3/4)

- **Vergelijking tussen de tijd waarbij de doorbuiging van de EEM L/30 bereikt met de brandwerendheid volgens de SDM (Eenvoudige Ontwerpmethode)**

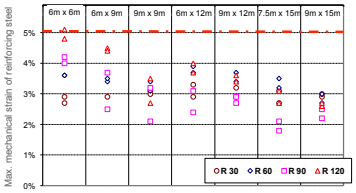


- **Conclusie**
  - L/30 criterium wordt niet bereikt in EEM gedurende de gehele brandwerendheidsperiode voorspeld met de SDM

Doelen
Eigenschappen parameterstudie
Eindige elementen analyse
Validatie van het numerieke model
Effect van de randcondities
Resultaten parameterstudie
Conclusie

Resultaten parameterstudie (4/4)

- **Rekapaciteit van wapeningstaven**



- **Conclusie**
  - **Rek van wapeningstaal < 5 % = minimale toegestane rekcapaciteit volgens EC4-1.2.**

Doelen
Eigenschappen parameterstudie
Eindige elementen analyse
Validatie van het numerieke model
Effect van de randcondities
Resultaten parameterstudie
Conclusie

Conclusie

- **De eenvoudige ontwerpmethode is aan de veilige kant in vergelijking met resultaten van geavanceerde berekeningen.**
- **De rek van het wapeningsnet blijft in het algemeen lager dan 5 %.**
- **Mechanische verbindingen tussen vloerplaat en kolommen kunnen de doorbuiging van een staal-beton vloersysteem reduceren tijdens brand, maar zijn niet nodig als voorwaarde voor de constructieve detaillering.**
- **De eenvoudige ontwerpmethode is in staat het constructieve gedrag van een staal-beton vloersysteem blootgesteld aan een standaardbrand op een veilige wijze te voorspellen.**