Research Fund for Coal & Steel

MACS+

# Gedrag bij brand van staal-beton vloersystemen

*Overzicht van werkelijke branden*

## Inhoud van de presentatie

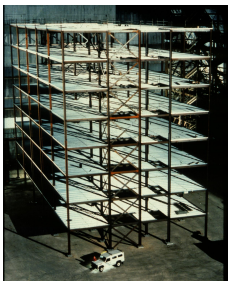
- **Cardington brandproeven**
  - Liggertest met branders
  - Raamwerktest met branders
  - Hoektest met houtkribben
  - Demonstratietestens met werkelijke kantoor-inventaris
- **Bewijs uit brandincidenten in echte gebouwen**
  - Brandincident





## Cardington brandproeven

- **Gebouw van 8 verdiepingen met een staalskelet**



Ligger-ligger verbinding

Kolom-ligger verbinding





## Cardington brandproeven

- **Belangrijkste gegevens van het gebouw**
  - Lengte: 45 m in 5 overspannningen van 9 m
  - Breedte: 21 m in 3 overspannningen van 6 m, 9 m en 6 m
  - Verdiepingshoogte: 4,2 m
  - Staalprofielen: UB voor liggers en UC voor kolommen
  - Staalplaat-betonvloer: lichtbeton met een totale dikte van 130 mm en een trapeziumvormige staalplaat
  - Wapeningsnet: 142 mm² (Ø6-200)
  - Staalverbindingen: lip- voor ligger-liggerverbindingen en flexibele kopplaat- voor ligger-kolomverbindingen
  - Aangebrachte belasting: zandzakken (belasting afhankelijk van de test)





## Cardington brandproeven

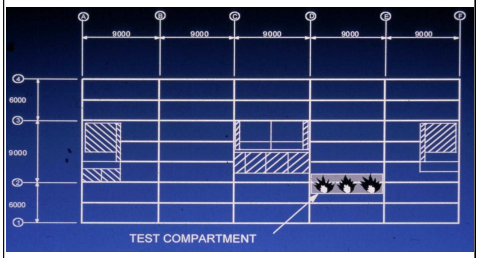
- **Video vanFrantisek Wald**
  - Te lang, moet ingekort en toegezonden worden





## Cardington brandproeven

- **Opgesloten liggertest: overspanning = 9,0 m**

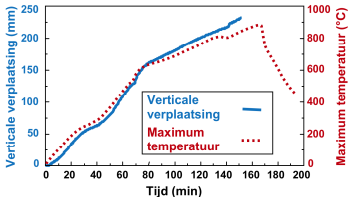


Cardington brandproeven

Bewijs uit brandincidenten

## Cardington brandproeven

- Opgesloten liggertest: experimentele resultaten




- Waarneming
  - Maximale opwarming ≈ 900 °C
  - Doorbuiging van de ligger: < 250 mm

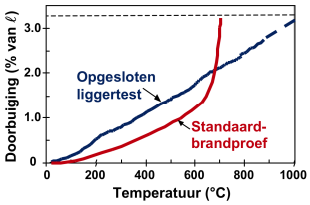


Cardington brandproeven

Bewijs uit brandincidenten

## Cardington brandproeven

- Vergelijking met standaardbrandproef




- Conclusie
  - Geen teken van bezwijken van het gehele staal-beton vloersysteem
  - Bezwijken bij θ ≈ 650 °C wanneer vrij opgelegd

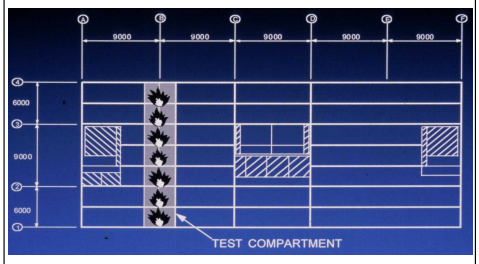


Cardington brandproeven

Bewijs uit brandincidenten

## Cardington brandproeven

- Vlak raamwerk liggertest



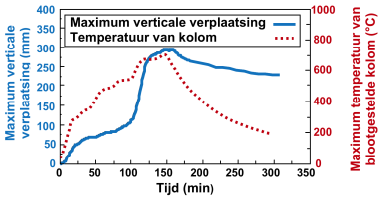



Cardington brandproeven

Bewijs uit brandincidenten

## Cardington brandproeven

- Vlak raamwerk liggertest: experimentele resultaten




- Waarneming
  - Maximale opwarming ≈ 750 °C
  - Doorbuiging van de ligger ≈ 300 mm



Cardington brandproeven

Bewijs uit brandincidenten

## Cardington brandproeven

- Vervormde situatie van het opgewarmde deel van de vloer

- Conclusie
  - In elkaar gedrukte, onbeschermde deel van de kolom
  - Geen verder bezwijken ondanks locaal bezwijken bovenstuk

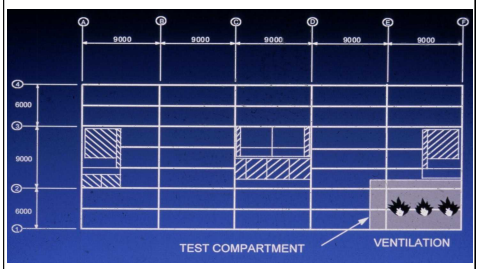


Cardington brandproeven

Bewijs uit brandincidenten

## Cardington brandproeven

- Hoekcompartimenttest



Cardington brandproeven

Bewijs uit brandincidenten

## Cardington brandproeven

- **Hoekcompartimenttest:** testopzet

Vuurbelasting met houten kribben = 45 kg/m²

Gaten in de wanden van het compartiment (blokken verwijderd)



Cardington brandproeven

Bewijs uit brandincidenten

## Cardington brandproeven

- **Hoekcompartimenttest:** experimentele resultaten

Vervormde vloer na de test

Brand gedurende de test

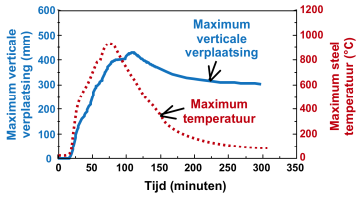


Cardington brandproeven

Bewijs uit brandincidenten

## Cardington brandproeven

- **Hoekcompartimenttest:** experimentele resultaten




- **Waarneming**
  - Maximale opwarming van het staal ≈ 1014 °C
  - Maximale doorbuiging van de vloer ≈ 428 mm



Cardington brandproeven

Bewijs uit brandincidenten

## Cardington brandproeven

- **Hoekcompartimenttest:** constructie ná de test

Vervormde toestand van het verhitte deel van de staal-betonvloer

Vervormde toestand van de stalen elementen rondom de beschermde stalen kolom

- **Conclusie**
  - Geen teken van bezwijken van het gehele staal-beton vloersysteem én beperkte doorbuiging van de vloer ondanks forse opwarming van het staal

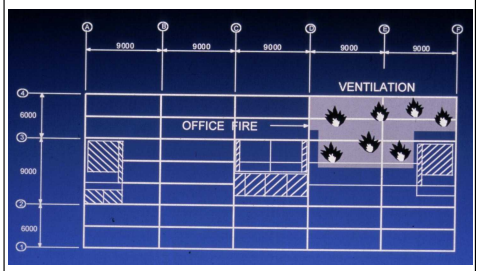


Cardington brandproeven

Bewijs uit brandincidenten

## Cardington brandproeven

- **Demonstratietest** (een gebied van > 130 m²)






Cardington brandproeven

Bewijs uit brandincidenten

## Cardington brandproeven

- **Demonstratietest:** testopzet

Openingen met normale glaspuien

Vuurbelasting met werkelijke kantoor-inventaris

## Cardington brandproeven

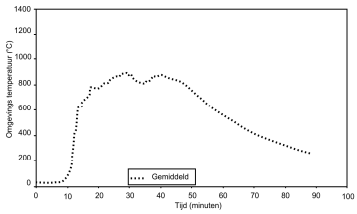
- Demonstratietest: experimentele resultaten

Vroege stadium van de brand

Volledig ontwikkelde brand

## Cardington brandproeven

- Demonstratietest: experimentele resultaten



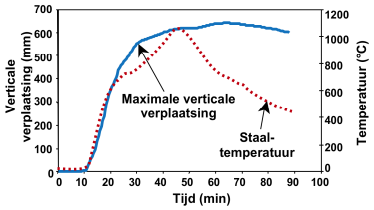

- Waarneming
  - Maximale gastemperatuur ≈ 1200 °C
  - Maximale opwarming van staal ≈ 1150 °C





## Cardington brandproeven

- Demonstratietest: experimentele resultaten




- Waarneming
  - Grote doorbuiging van de vloer ≈ 640 mm
  - Geen bezwijken van de vloer





## Cardington brandproeven

- Demonstratietest: constructie ná de test

Vervormde toestand van het verhitte deel van de staal-betonvloer

Vervormde toestand van de stalen elementen rondom de beschermde stalen kolom

- Conclusie
  - Geen teken van bezwijken van het gehele staal-beton vloersysteem ondanks forse opwarming van het staal en doorbuiging van de vloer





## Cardington brandproeven

- Andere brandproeven
  - Tweede hoektest
  - Groot compartimenttest
  - Nieuwe hoektest



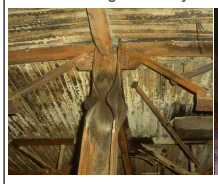


## Cardington brandproeven

- Algemene opmerkingen
  - Een groot aantal brandproeven uitgevoerd in dit gebouw met een staalskelet zonder bezwijken van de constructie
  - Veel betere prestatie bij brand waargenomen in vergelijking met standaardbrandproeven op afzonderlijke stalen elementen
  - Excellent gedrag van de staalplaat-betonvloer zelfs bij opwarming van de stalen liggers tot boven 1000 °C
  - Duidelijke verhoging van de brandwerendheid van de staalplaat-betonvloer dankzij de geactiveerde membraanwerking bij grote doorbuiging
  - Goed, robuust gedrag het staal-beton vloersysteem na het ontstaan van grote betonscheuren concrete

Cardington brandproeven

**Bewijs uit brandincidenten**

## Brandincidenten en andere brandproeven

- **Broadgate brand**
  - Kantoorgebouw van 14 verdiepingen met een staal-beton vloersysteem
  - Brandtemperatuur meer dan 1000 °C
  - Grote doorbuiging van de vloer (meer dan 600 mm), maar geen bezwijken