



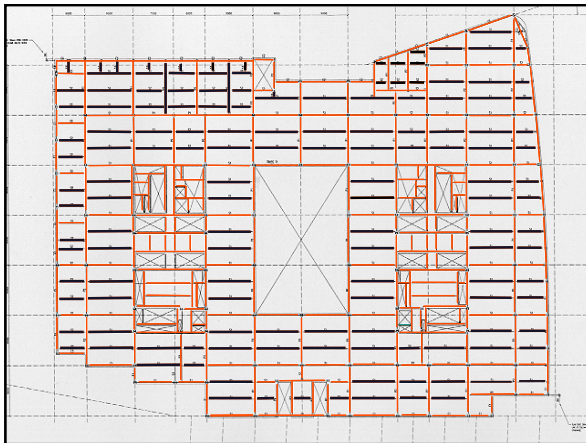
**MAICS+**

Gedrag bij brand van staal-beton vloersystemen  
Eenvoudige ontwerpmethod

**Doel of van de ontwerpmethod**



Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethod



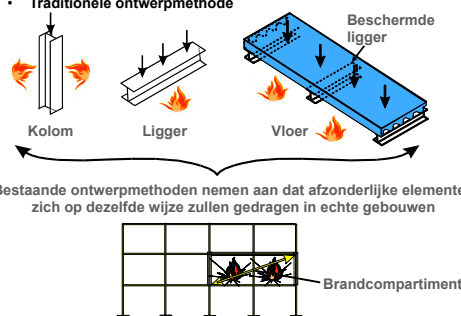
**Inhoud van de presentatie**

- Mechanisch gedrag van staalplaat-betonvloeren bij brand
- Eenvoudige ontwerpmethod van gewapend betonplaten bij 20 °C
  - Vloerplaatmodel
  - Bezwijkvormen
- Eenvoudige ontwerpmethod van staalplaat-betonvloeren bij brand
  - Uitbreiding tot gedrag bij brand
  - Membraanwerking bij hoge temperaturen
  - Bijdrage van onbeschermd liggers
  - Ontwerp van beschermd liggers

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethod

**Mechanisch gedrag van staalplaat-betonvloeren**

- Traditionele ontwerpmethod



Mechanisch gedrag van staalplaat-betonvloeren

Eenvoudige ontwerpmethod bij 20 °C

Eenvoudige ontwerpmethod bij brand

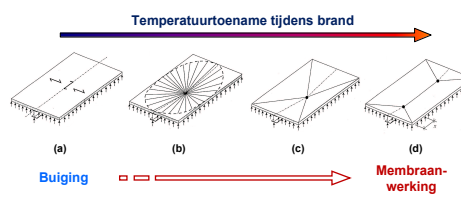
Bestaande ontwerpmethod nemen aan dat afzonderlijke elementen zich op dezelfde wijze zullen gedragen in echte gebouwen

Brandcompartment

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethod

**Mechanisch gedrag van staalplaat-betonvloeren**

- Werkelijk gedrag van een staalplaat-betonvloer met wapeningsnet in de betonplaat



Mechanisch gedrag van staalplaat-betonvloeren

Eenvoudige ontwerpmethod bij 20 °C

Eenvoudige ontwerpmethod bij brand

Temperatuurtoename tijdens brand

Buiging

Membraanwerking

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethod

**Eenvoudige ontwerpmethode van gewapend betonplaten bij 20 °C**

Mechanisch gedrag van staalplaat-betonvloeren

Eenvoudige ontwerpmethode bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethode bij brand

- Methode ontwikkeld door Professor Colin Bailey Universiteit van Manchester voorheen bij Building Research Establishment (BRE)

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethode 7

**Ontwerp op membraanwerking tijdens brand**

Vloei-lijnen patroon

Onbeschermde liggers

Beschermd liggers

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethode 8

**Eenvoudige ontwerpmethode van gewapend betonplaten bij 20 °C**

Mechanisch gedrag van staalplaat-betonvloeren

Eenvoudige ontwerpmethode bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethode bij brand

- Vloerplaatmodel met 4 zijden verticaal opgelegd (Plastische vloeilijnen) – horizontaal vrij- erg conservatieve aanname

Vloei-lijnen

Vrij opgelegd op 4 zijden

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethode 9

**Eenvoudige ontwerpmethode van gewapend betonplaten bij 20 °C**

Mechanisch gedrag van staalplaat-betonvloeren

Eenvoudige ontwerpmethode bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethode bij brand

- Vloerplaatmodel – Membraanwerking versterkt de draagkracht van de vloeilijnen

Trekgebied

Vloei-lijnen

Druk over vloeilijn

Trek over vloeilijn

Vrij opgelegd op 4 zijden

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethode 10

**Eenvoudige ontwerpmethode van gewapend betonplaten bij 20 °C**

Mechanisch gedrag van staalplaat-betonvloeren

Eenvoudige ontwerpmethode bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethode bij brand

- Membrankrachten langs vloeilijnen (1)

$L$

$k b K T_0$

$nL$

$C$

$E$

$A$

$D$

$S$

$T_2$

$T_1$

$B$

$F$

$\phi$

$b K T_0$

Element 1

Element 2

$l$

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethode 11

**Eenvoudige ontwerpmethode van gewapend betonplaten bij 20 °C**

Mechanisch gedrag van staalplaat-betonvloeren

Eenvoudige ontwerpmethode bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethode bij brand

- Membrankrachten langs vloeilijnen (2)

$k, b$  parameters die de grootte van de membrankrachten definiëren,

$N$  factor afgeleid van de vloeilijentheorie,

$K$  verhouding tussen de wapening in de korte overspanning de wapening in de langeoverspanning,

$K T_0$  weerstand van het wpaningsnet per breedte-eenheid,

$T_1, T_2, C, S$  resulterende membrankrachten langs de vloeilijnen.

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethode 12

**Eenvoudige ontwerpmethode van gewapend betonplaten bij 20 °C**

- Bijdrage van de membraankrachten (1) – Element 1

Mechanisch gedrag van staalplaat-betenvloeren

Eenvoudige ontwerpmethode bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethode bij brand

Aanzicht in het vlak van de resulterende membraankrachten

Zij-aanzicht van de resulterende membraankrachten bij een verplaatsing w

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethode 13

**Eenvoudige ontwerpmethode van gewapend betonplaten bij 20 °C**

- Bijdrage van de membraankrachten (2) – Element 2

Mechanisch gedrag van staalplaat-betenvloeren

Eenvoudige ontwerpmethode bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethode bij brand

Aanzicht in het vlak van de resulterende membraankrachten

Zij-aanzicht van de resulterende membraankrachten bij een verplaatsing w

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethode 14

**Eenvoudige ontwerpmethode van gewapend betonplaten bij 20 °C**

- Bijdrage van de membraankrachten (3) – Enhancement factor for each element

Mechanisch gedrag van staalplaat-betenvloeren

Eenvoudige ontwerpmethode bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethode bij brand

$$e_{i, i=1,2} = \begin{cases} e_m & \text{: enhancement due to membrane forces on element } i \\ + \\ e_b & \text{: Enhancement due to the effect of in-plane forces on the bending capacity.} \end{cases}$$

– Overall enhancement

$$e = e_1 - \frac{e_1 - e_2}{1 + 2\mu a^2}$$

where:

- $\mu$  is the coefficient of orthotropy of the reinforcement
- $a$  is the aspect ratio of the slab =  $L/l$

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethode 15

**Eenvoudige ontwerpmethode van gewapend betonplaten bij 20 °C**

- Bijdrage van de membraankrachten (4)

Mechanisch gedrag van staalplaat-betenvloeren

Eenvoudige ontwerpmethode bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethode bij brand

Draagkracht

Verplaatsing (w)

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethode 16

**Eenvoudige ontwerpmethode van gewapend betonplaten bij 20 °C**

- Bezwijkvormen (bezuiken op trek van de wapening)

Mechanisch gedrag van staalplaat-betenvloeren

Eenvoudige ontwerpmethode bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethode bij brand

Vloeilijnenpatroon

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethode 17

**Eenvoudige ontwerpmethode van gewapend betonplaten bij 20 °C**

- Bezwijkvormen (bezuiken van het beton op druk) – Meer waarschijnlijk in geval van een zwaar wapeningsnet

Mechanisch gedrag van staalplaat-betenvloeren

Eenvoudige ontwerpmethode bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethode bij brand

Vloeilijnenpatroon

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethode 18

**Eenvoudige ontwerpmethodede van gewapend betonplaten bij 20 °C**

- **Beziijkvormen** (experimenteel bewijs)

Mechanisch gedrag van staalplaat-betonvloeren

Eenvoudige ontwerpmethodede bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethodede bij brand

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethodede 19

**Eenvoudige ontwerpmethodede bij brand**

- **Vloerplaatmodel bij brand (1)**
  - Op basis van hetzelfde model als bij kamertemperatuur
  - In rekening brengen van temperatuureffecten op materiaaleigenschappen

Mechanisch gedrag van staalplaat-betonvloeren

Eenvoudige ontwerpmethodede bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethodede bij brand

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethodede 20

**Eenvoudige ontwerpmethodede bij brand**

Vrije uitbuiging van een betonplaat

Mechanisch gedrag van staalplaat-betonvloeren

Eenvoudige ontwerpmethodede bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethodede bij brand

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethodede 21

**Eenvoudige ontwerpmethodede bij brand**

- **Vloerplaatmodel bij brand (2)**
  - In rekening brengen van de thermisch uitbuiging van de plaat door de for temperatuurgradiënt over de hoogte:

$$w_{\theta} = \frac{\alpha(T_2 - T_1)\ell^2}{19.2 h}$$

met:

- h effectieve hoogte van de plaat
- ℓ korte overspanning van de plaat
- α thermische uitzettingscoëfficiënt van beton

voor lichtbeton wordt de waarde uit EN 1994-1-2 genomen:  
 $\alpha_{LB} = 0,8 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$   
 voor normaal beton wordt een conservatieve waarde genomen:  
 $\alpha_{NB} = 1,2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1} < 1,8 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$  (EN 1994-1-2 waarde)

T<sub>2</sub> temperatuur onderzijde plaat (aan brand blootgestelde zijde)  
 T<sub>1</sub> temperatuur bovenzijde plaat (niet aan brand blootgestelde zijde)

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethodede 22

**Eenvoudige ontwerpmethodede bij brand**

- **Vloerplaatmodel bij brand (3)**
  - mechanische gemiddelde rek aanhouden gelijk aan de helft van de vloeigrens bij 20 °C
  - Doorbuiging van de plaat op basis van een parabolische uitbuigingsvorm van de plaat bij een dwarsbelasting:

$$w_{\epsilon} = \sqrt{\left(\frac{0.5f_{sy}}{E_s}\right) \frac{3L^2}{8}} \leq \frac{\ell}{30}$$

met:

- E<sub>s</sub> elasticiteitsmodulus wapening bij 20°C
- f<sub>sy</sub> vloeigrens wapening bij 20°C
- L lange overspanning van de plaat

Mechanisch gedrag van staalplaat-betonvloeren

Eenvoudige ontwerpmethodede bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethodede bij brand

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethodede 23

**Eenvoudige ontwerpmethodede bij brand**

- **Vloerplaatmodel bij brand (4)**
  - Hieruit volgt de maximum doorbuiging van de vloerplaat:

$$w = \frac{\alpha(T_2 - T_1)\ell^2}{19.2 h} + \sqrt{\left(\frac{0.5f_{sy}}{E_s}\right) \frac{3L^2}{8}}$$

– De maximum doorbuiging van de vloerplaat is echter gelimiteerd tot:

$$w < \frac{\alpha(T_2 - T_1)\ell^2}{19.2h} + l/30$$

$$w \leq \frac{L + \ell}{30}$$

Mechanisch gedrag van staalplaat-betonvloeren

Eenvoudige ontwerpmethodede bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethodede bij brand

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethodede 24

**Eenvoudige ontwerpmethodede bij brand**

Mechanisch gedrag van staalplaat-betenvloeren

Eenvoudige ontwerpmethodede bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethodede bij brand

- **Conservatief model voor de vloerplaat bij brand:**
  - aanname dat wapening boven de steunpunten gebroken is
  - verticale verplaatsingen door thermische kromming onderschat in vergelijking met de theoretische waarden
  - thermische kromming berekend op basis van de korte overspanning van de plaat
  - verwaarlozing additionele verticale verplaatsingen veroorzaakt door verhinderde thermische uitzetting wanneer de plaat is in de nakritische fase
  - verwaarlozing bijdrage staalplaat
  - verwaarlozing toename van de taaiheid van het wapeningsnet bij toename van de temperatuur

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethodede 25

**Eenvoudige ontwerpmethodede bij brand**

Mechanisch gedrag van staalplaat-betenvloeren

Eenvoudige ontwerpmethodede bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethodede bij brand

- **Draagkracht in het vloerplaatmodel verhoogd met onbeschermdede stalen liggers (1)**
  - Zeilwerking van onbeschermdede liggers verwaarloosd
  - Buigweerstand van onbeschermdede liggers in rekening gebracht met de volgende aannamen:
    - Vrij opgelegd aan beide einden
    - Opwarming van de staaldoorsnede berekend volgens EN 1994-1-2 4.3.4.2, met inbegrip van het schaduweffect
    - Thermische en mechanische eigenschappen van staal en beton gegeven in EN 1994-1-2

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethodede 26

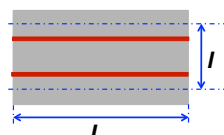
**Eenvoudige ontwerpmethodede bij brand**

Mechanisch gedrag van staalplaat-betenvloeren

Eenvoudige ontwerpmethodede bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethodede bij brand

- **Draagkracht in het vloerplaatmodel verhoogd met onbeschermdede stalen liggers (2)**
  - Verhoging van de draagkracht van onbeschermdede liggers:

$$\frac{8M_{fi,Rd}}{L^2} \frac{1+n_{ub}}{\ell}$$


met:

- $n_{ub}$  het aantal onbeschermdede liggers
- $M_{fi,Rd}$  momentweerstand van elke onbeschermdede staal-betonligger

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethodede 27

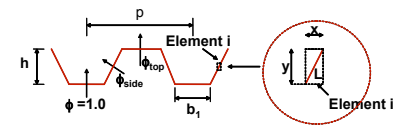
**Eenvoudige ontwerpmethodede bij brand**

Mechanisch gedrag van staalplaat-betenvloeren

Eenvoudige ontwerpmethodede bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethodede bij brand

- **Temperatuurberekening staalplaat-betenvloer**
  - Op basis van geavanceerde berekeningsmodellen
    - 2D eindige differentiemethodede
    - Thermische materiaaleigenschappen van Eurocode 4 deel 1-2 voor staal en beton
    - Schaduweffect in rekening gebracht voor staalplaat-betenvloer



Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethodede 28

**Eenvoudige ontwerpmethodede bij brand**

Mechanisch gedrag van staalplaat-betenvloeren

Eenvoudige ontwerpmethodede bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethodede bij brand

- **Draagkracht van beschermdede stalen liggers op de omtrek**
  - Totale plastische mechanisme van de plaat gebaseerd op weerstand van de ligger
  - Belastinggraad bij brand
    - Additionele belasting op beschermdede liggers
  - Kritieke staaltemperatuur eenvoudige rekenmethodede (EN 1994-1-2)

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethodede 29

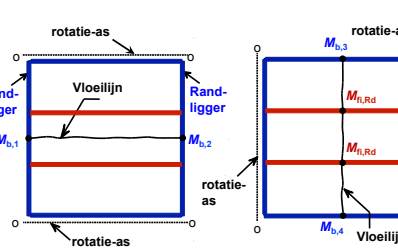
**Eenvoudige ontwerpmethodede bij brand**

Mechanisch gedrag van staalplaat-betenvloeren

Eenvoudige ontwerpmethodede bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethodede bij brand

- **Draagkracht van beschermdede liggers op de omtrek op basis van globaal plastische mechanisme**



Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethodede 30

**Validatie met testdata**

7 Cardingtontesten op grote schaal

1 BRE test op grote schaal (koud maar simulatie bij brand)

10 koude testen uitgevoerd in de periode 1960/1970

15 testen op kleine schaal verricht op Universiteit Sheffield in 2004

44 koude en brandtesten op kleine schaal uitgevoerd door de Universiteit Manchester

FRACOF en COSSFIRE standaardbrand testen

test op grote schaal uitgevoerd door de Universiteit Ulster 2010


Mechanisch gedrag van staalplaat-betonvloeren

Eenvoudige ontwerpmethode bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethode bij brand

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethode 31

**Gedrag bij kleine-schaalproeven en ontwerp van betonnen vloerplaten**




22 koude testen en 22 identieke warme testen (zowel warmgewalst als koudgevormde wapeningsnetten)

Mechanisch gedrag van staalplaat-betonvloeren

Eenvoudige ontwerpmethode bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethode bij brand

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethode 32

**Resultaten bij toepassen van de eenvoudige ontwerpmethode**



40 tot 55% van de liggers kunnen onbeschermd blijven door de bescherming op de plaats aan te brengen waar deze écht nodig is

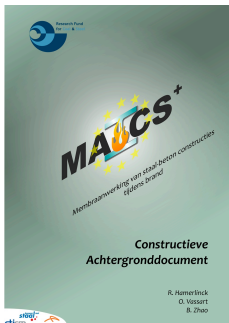

Mechanisch gedrag van staalplaat-betonvloeren

Eenvoudige ontwerpmethode bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethode bij brand

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethode 33

**Beschikbare documenten**

Constructieve Achtergronddocument

Ontwerp Handleiding

Mechanisch gedrag van staalplaat-betonvloeren

Eenvoudige ontwerpmethode bij 20°C

Eenvoudige ontwerpmethode bij brand

Achtergrond van de eenvoudige ontwerpmethode 34