

**POST HBO-OPLEIDINGEN**

**Betonconstructeur BV  
Staalconstructeur BmS**

**Master of structural engineering**

**Toegepaste mechanica**

**Materiaalmodellen en  
niet-lineaire mechanica**

**docent : dr. ir. P.C.J. Hoogenboom**

**TENTAMEN 2<sup>e</sup> JAAR**  
**duur : 90 minuten**

**OPMERKINGEN** : *Vermeld op alle bladen van uw werk uw naam.*

: *Het tentamen bestaat uit 3 bladzijden inclusief dit voorblad.*

: *Al het studiemateriaal en aantekeningen mogen tijdens het tentamen worden geraadpleegd.*

**POST  
HBO**

### Vraagstuk 1 ( 30 minuten 3 punten )

Een gewapend betonnen console wordt gemodelleerd met een eindige-elementenprogramma. Het model is driedimensionaal. De berekening voor de uiterste grenstoestand is fysisch en geometrisch lineair. De één-assige druksterkte van het beton is 65 N/mm<sup>2</sup>. De treksterkte is 4 N/mm<sup>2</sup>. De vloeispanning van de wapening is 304 N/mm<sup>2</sup>. De spanning in een maatgevend punt is

$$\begin{bmatrix} -54,3 & 8,12 & -12,3 \\ 8,12 & -33,7 & 4,71 \\ -12,3 & 4,71 & 0 \end{bmatrix} \text{ N/mm}^2$$

De eigenwaarden zijn -60,0 , -30,9 , 2,89

- Teken een elementair blokje met de spanningen op de zichtbare vlakjes. Teken tevens het bijbehorende assenstelsel.
- Is wapening nodig in het maatgevende punt? Verklaar uw antwoord. Zal het beton in het maatgevende punt op druk bezwijken? Verklaar uw antwoord. U hoeft geen veiligheidsfactoren in rekening te brengen.
- Iemand stelt de volgende wapeningspercentages voor  $\omega_x = \omega_y = 0 \%$ ,  $\omega_z = 1,00 \%$ . Als de wapening vloeit wordt de betonspanning

$$\begin{bmatrix} -54,3 & 8,12 & -12,3 \\ 8,12 & -33,7 & 4,71 \\ -12,3 & 4,71 & 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,01 \times 304 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -54,3 & 8,12 & -12,3 \\ 8,12 & -33,7 & 4,71 \\ -12,3 & 4,71 & -3,04 \end{bmatrix} \text{ N/mm}^2.$$

De eigenwaarden van de rechter tensor zijn -60,2 , -30,9 , 0,00. Is de wapening voldoende voor de uiterste grenstoestand? U hoeft geen veiligheidsfactoren in rekening te brengen.

- Bij de vorige vraag heerst in de wapening een trekspanning terwijl in het beton een drukspanning heerst in dezelfde richting. In welke situatie is dit mogelijk?

## **Vraagstuk 2** ( 30 minuten 3 punten )

- a** Grensspanningshypothesen kunnen worden afgebeeld als een ruimtelijke vorm in de hoofdspanningsruimte. Welk van de volgende vormen horen bij welk van de volgende namen?
- |                  |                |
|------------------|----------------|
| cylinder         | Von Mises      |
| kubus            | Drucker-Prager |
| bol              | Tresca         |
| zeshoekig prisma | Rankine        |
| kegel            | Beltrani       |
- b** Deze ruimtelijke vormen kunnen soms groter worden, krimpen of opschuiven. Hoe wordt dit genoemd?
- c** Er bestaan ook heel ingewikkelde grensspanningshypothesen. Bijvoorbeeld prof. K. Maekawa heeft een materiaalmodel ontwikkeld voor gewapend beton belast door aardbevingen. Er zijn maar een paar specialisten in de wereld die dit materiaalmodel begrijpen. Hoe wordt vastgesteld of zo een materiaalmodel voldoet?

## **Vraagstuk 3** (30 minuten 4 punten)

- a** In een statisch niet-lineaire berekening wordt de belasting opgevoerd in belastingstappen of incrementen. Daarnaast vinden ook iteraties plaats. Waar zijn deze iteraties voor nodig? Hoeveel iteraties zijn ongeveer nodig per belastingstap? Wat wordt bedoeld met “divergeren” van de iteraties? Waardoor kan divergentie ontstaan?
- b** Bij het ontwerpen van gebouwen voor aardbevingen worden dynamische berekeningen gemaakt (transient analyses). Hierbij spelen de ligger-kolomverbindingen een belangrijke rol. Waarom is de momentcapaciteit van deze verbindingen belangrijk? Waarom is de ductiliteit van deze verbindingen belangrijk?
- c** Tweede-orde-effecten in verplaatsingen en momenten kunnen worden berekend met een computer (GNL) en met de hand. Wat zijn de voor- en nadelen van de computerberekening?
- d** Bij de berekening van ongeschoorde raamwerken is knik zelden maatgevend. Hoe komt dit? Noem een uitzondering waarbij knik wel maatgevend is.