

POST HBO-OPLEIDINGEN

**Betonconstructeur BV
Staalconstructeur BmS**

Professional master of structural engineering

Toegepaste mechanica

**Materiaalmodellen en
niet-lineaire mechanica**

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

TENTAMEN 2^e 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.

*: Na afloop kunt u de uitwerking vinden op
www.mechanics.citg.tudelft.nl/~pierre/2TM6.html*

**POST
HBO**

Vraagstuk 1 (30 minuten 3 punten)

Een gewapend betonnen console wordt gemodelleerd met een eindige-elementenprogramma. Het model is driedimensionaal. De berekening is fysisch en geometrisch lineair. Het beton verbrijzelt bij een één-assige drukspanning van 40 N/mm². De treksterkte is 5 N/mm². De spanningen in een maatgevend punt zijn

$$\begin{aligned}\sigma_{xx} &= -30,1 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma_{yy} &= -23,4 \\ \sigma_{zz} &= 0,0 \\ \sigma_{yz} &= -28,1 \\ \sigma_{zx} &= 4,0 \\ \sigma_{xy} &= 0,0\end{aligned}$$

De eigenwaarden van de spanningstensor in dit punt zijn -42,5, -29,9, 19,0

- Teken een elementair blokje met de spanningen op de zichtbare vlakjes. Teken tevens het bijbehorende assenstelsel.
- Bestaat het gevaar dat het beton in het maatgevende punt bezwijkt? Verklaar uw antwoord. Is wapening nodig in het maatgevende punt? Verklaar uw antwoord.
- Bereken de Von Mises spanning in het punt. Hoe kunnen we de Von Mises spanning in dit geval interpreteren?

Vraagstuk 2 (30 minuten 3 punten)

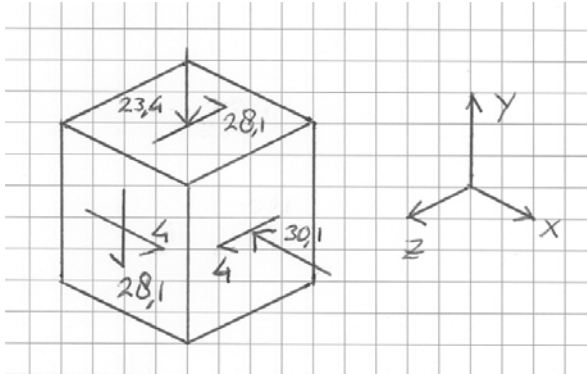
- Welke grensspanningshypothesen gebruiken we voor de volgende materialen? Aluminium, hout, grond, ongewapend beton.
- Welke grensspanningshypothese is gebaseerd op uiterste rekken? Waarom wordt deze hypothese nooit toegepast?
- Hoe zijn de volgende begrippen aan elkaar gerelateerd? Grensspanning, unity check, dimensioneerregel.

Vraagstuk 3 (30 minuten 4 punten)

- a** Er wordt vaak onderscheid gemaakt tussen twee soorten programma's voor constructieberekeningen. 1) raamwerkprogramma's en 2) eindige-elementenprogramma's. Geef aan voor elk van de volgende kenmerken bij welk programma het behoort.
- 1) Korte handleiding met weinig informatie over hoe het programma werkt,
 - 2) eenheden aangeven bij invoeren model,
 - 3) keuze uit meer dan 100 elementtypen,
 - 4) ontwikkeld door wetenschappers,
 - 5) kan ook elektromagnetische straling berekenen,
 - 6) booglengtesturing,
 - 7) uitbreidbaar met zelfgeprogrammeerd materiaalgedrag,
 - 8) automatische generatie van belastingcombinaties,
 - 9) wanden, vloeren en ronde oppervlakken met hetzelfde elementtype gemodelleerd,
 - 10) toetsing van de rekenresultaten aan normen.
- b** In de constructiepraktijk wordt het gedrag van een constructiemodel veelal lineair berekend. Welke problemen zorgen ervoor dat niet-lineaire berekeningen weinig worden gemaakt? Niettemin, worden in de praktijk sommige typen niet-lineaire berekeningen regelmatig gemaakt. Welke berekeningen zijn dit?
- c** Met een eindige-elementenmodel zijn vele typen berekening mogelijk. Eén daarvan is transient analysis. Het Engelse woord "transient" betekent volgens het woordenboek "voorbijgaand" of "kortdurend". Welke soort berekening wordt hier bedoeld? Geef een toepassingsvoorbeeld. Verklaar de naam "transient analysis".
- d** Een computerprogramma kan het tweede-orde-effect van een raamwerk berekenen met de secantstijfheid of met de tangentstijfheid. Wat is het verschil tussen de secantstijfheid en de tangentstijfheid? Waar zijn de iteraties in deze methoden voor nodig? Welk van deze methoden is nauwkeuriger?

Uitwerking vraagstuk 1

a



- b De hoofdspanningen zijn de eigenwaarden. Het criterium van Mohr-Coulomb is $\frac{\sigma_1}{\sigma_t} + \frac{\sigma_3}{\sigma_d} \leq 1$.

Substitutie geeft $\frac{19}{5} + \frac{-42.5}{-40} = 4.86$. Het beton zal derhalve in het maatgevende punt verbrijzelen. Wapening is nodig om de grootste trekspanning (19,0 N/mm²) op te nemen.

- c Von Mises spanning

$$\begin{aligned}\sigma_{VM} &= \sqrt{\frac{1}{2} \left((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right)} \\ &= \sqrt{\frac{1}{2} \left((-42.5 + 29.9)^2 + (-29.9 - 19.0)^2 + (19.0 + 42.5)^2 \right)} \\ &= 56.3 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

We kunnen de Von Mises spanning niet gebruiken voor gewapend beton.

Uitwerking vraagstuk 2

- a
- | | |
|------------------|---------------------------------------|
| aluminium | Von Mises |
| hout | Tsai-Hill |
| grond | Mohr-Coulomb |
| ongewapend beton | Mohr-Coulomb gecombineerd met Rankine |
- b De Saint Venant. Omdat er geen materiaal is waarvan de experimentele resultaten overeenkomen met de voorspellingen van deze hypothese.
- c Elk van deze begrippen wordt afgeleid uit grensspanningshypothese: Als een materiaal één sterkte parameter heeft dan kan een grensspanning worden gedefinieerd (bijvoorbeeld Von Mises). Als een materiaal meerdere sterkte parameters heeft kan de bezwijkhypothese worden geschreven als een unity check (bijvoorbeeld Mohr-Coulomb). Ook kan een bezwijk-

hypothese worden herschreven als een formule voor een benodigde constructieafmeting (bijvoorbeeld het wapeningspercentage).

Uitwerking vraagstuk 3

a

raamwerkprogramma's	eindige-elementenprogramma's
korte handleiding	meer dan 100 elementtypen
eenheden aangeven	door wetenschappers
belastingcombinaties	ook elektromagnetische straling
wanden, vloeren, rond met hetzelfde element	booglengtesturing
toetsing aan normen	zelfgeprogrammeerd materiaalgedrag

b Problemen:

- 1) veel data invoeren die moeilijk te vinden is of geschat moet worden,
- 2) veel geprobeer om convergentieproblemen op te lossen,
- 3) lange rekentijd,
- 4) kennis en ervaring ontbreekt.

Niettemin:

- 1) tweede-orde-effect in raamwerken,
- 2) benodigde ductiliteit voor aardbevingen,
- 3) kruipvervorming van gewapend betonnen vloeren
- 4)

c Dit is een dynamische berekening waarbij het gedrag in tijdstapjes wordt berekend, bijvoorbeeld een constructie belast door een aardbeving, Door de heel kleine tijdstappen duurt een transient analysis vaak lang. Daarom kunnen we op deze manier slechts een korte periode berekenen. Vandaar de naam.

d De secantstijfheid gaat door de oorsprong van de last-verplaatsingsgrafiek. De tangentstijfheid raakt aan de last-verplaatsingsgrafiek. De iteraties zijn nodig om een steeds betere oplossing te berekenen. De methoden geven hetzelfde resultaat indien voldoende iteraties worden uitgevoerd.