

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 5 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 tandoplegging 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 45 N/mm². De treksterkte is 4 N/mm². De spanningen in een maatgevend punt zijn

$$\begin{aligned}\sigma_{xx} &= -52,4 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma_{yy} &= 10,7 \\ \sigma_{zz} &= 2,3 \\ \sigma_{yz} &= -2,4 \\ \sigma_{zx} &= -4,2 \\ \sigma_{xy} &= 8,8\end{aligned}$$

De hoofdspanningen in dit punt zijn -53,9, 1,71, 12,8. De wapeningspercentages in dit punt zijn $\omega_x = 0,82\%$, $\omega_y = 3,05\%$, $\omega_z = 1,11\%$. De vloeispanning van het wapeningsstaal is $f_y = 550 \text{ N/mm}^2$

- a** Teken een elementair blokje met de spanningen op de zichtbare vlakjes. Teken tevens het bijbehorende assenstelsel.
- b** Op welke manier kunnen de hoofdspanningen worden berekend?

De wapening neemt maximaal het volgende deel van de spanning op.

$$\begin{aligned}\sigma_{xzs} &= f_y \omega_x / 100 = 4,50 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma_{yys} &= f_y \omega_y / 100 = 16,8 \\ \sigma_{zys} &= f_y \omega_z / 100 = 6,11 \\ \sigma_{yzs} &= 0 \\ \sigma_{xzs} &= 0 \\ \sigma_{xys} &= 0\end{aligned}$$

In dit geval moet het beton het resterende deel van de spanning opnemen.

15 september 2009

$$\sigma_{xxb} = -52,4 - 4,50 = -56,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{yyb} = 10,7 - 16,8 = -6,10$$

$$\sigma_{zzb} = 2,3 - 6,11 = -3,81$$

$$\sigma_{yzb} = -2,4 - 0 = -2,4$$

$$\sigma_{zxb} = -4,2 - 0 = -4,2$$

$$\sigma_{xyb} = 8,8 - 0 = 8,8$$

De betonhoofdspanningen in het punt zijn -58,6, -7,19, -0,98.

- c** Is de hoeveelheid wapening in het punt voldoende? Is de betonsterkte voldoende? Veiligheidsfactoren hoeven niet in rekening te worden gebracht.
- d** Stel dat uit de bovenstaande berekening volgt dat de betonspanningen te hoog zijn. Kan dit worden opgelost door meer wapening aan te brengen? Kan dit worden opgelost door minder spanning in de wapening aan te nemen? Verklaar uw antwoorden.

Vraagstuk 2 (30 minuten 3 punten)

- a** Waarvoor wordt de Cirkel van Mohr gebruikt? Kies A, B, C of D.

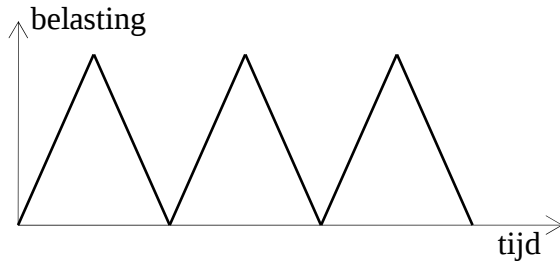
A Om spanningen om te rekenen als het assenstelsel verandert.
B Om de spanningen op zijvlakken van een betonnen wand te berekenen.
C Om alle drie de hoofdspanningen te bepalen.
D Om te toetsen of een materiaal zal bezwijken.

- b** Het Mohr-Coulomb criterium is gebaseerd op welk idee? Kies A, B, C of D.

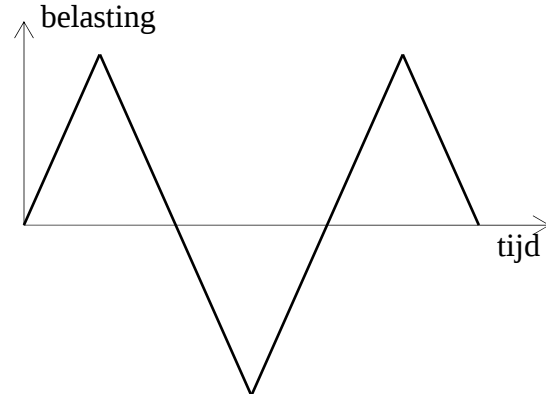
A Grond bestaat uit vele korreltjes die in elkaar grijpen.
B Bezwijken treedt op bij het overschrijden van een toelaatbare vormveranderingsenergie.
C Plastische vloeit treedt niet op in grond en ongewapend beton.
D Bezwijken op afschuiving hangt af van de drukspanning.

- c** Een rekenmodel met “kinematic hardening” is nodig bij?
Kies A, B, C of D. (zie figuren 1 en 2.)

A Plastische vloeit.
B Plastische vloeit met versteviging.
C Plastische vloeit met versteviging en herhaalde belasting.
D Plastische vloeit met versteviging en omkeerbelasting.



Figuur 1: Herhaalde belasting



Figuur 2: Omkeerbelasting

- d** Het Mohr-Coulomb criterium is ongeschikt voor drie-assige trek. Waarom is dit? Kies A, B, C of D.
- A In grond kan trek niet. In beton is trek niet toegestaan.
 - B Dit hangt mede af van de waarde van de cohesie c die met experimenten kan worden bepaald.
 - C Het voorspelt dat de drie-assige treksterkte groter is dan de een-assige treksterkte, wat niet overeenkomt met experimenten op grond en ongewapend beton.
 - D Omdat de breukenergie dan negatief wordt wat fysisch onmogelijk is.
- e** Bij een eindige-elementenberekening kan de plastische vervorming worden bepaald met “associated flow”. Wat betekent dit? Kies A, B, C of D.
- A De plastische rekken worden berekend als een vector loodrecht op het vloeiooppervlak. Voor de meeste materialen is dit een heel goede benadering van de werkelijke vervorming.
 - B Het materiaal vloeit als ergens de maximale schuifspanning wordt overschreden. Dit is een goede benadering voor metalen.
 - C De vloeicontour wordt groter of kleiner als de vloeisterkte wordt overschreden. Dit is alleen nodig als versteviging of “softening” in rekening wordt gebracht.
 - D De maximaal mogelijke plastische vloeï is onbegrensd. Dit is praktisch maar onterecht en overschrijden van de maximale vloeï moet met de hand gecontroleerd worden.

15 september 2009

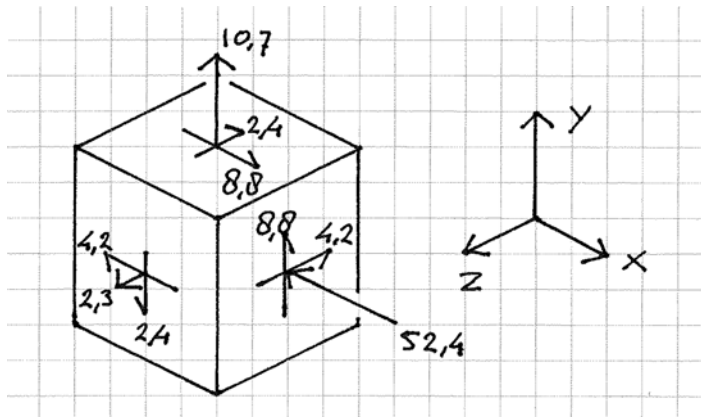
- f Met het Tsai-Hill criterium kan bezwijken van hout worden getoetst. Kan de TGB (NEN 6760) hiervoor niet gebruikt worden? Kies A, B, C of D.
- A Het maakt niet uit of de TGB of Tsai-Hill wordt gebruikt omdat ze vrijwel hetzelfde resultaat geven.
 - B De TGB regels moeten worden gebruikt in plaats van Tsai-Hill omdat ze zijn voorgeschreven in het bouwbesluit.
 - C Voor sommige spanningstoestanden zijn geen TGB regels. Het Tsai-Hill criterium is geldig voor alle spanningstoestanden.
 - D Het Tsai-Hill-criterium is beschikbaar in veel eindige-elementenprogramma's terwijl de TGB-regels dat niet zijn.

Vraagstuk 3 (30 minuten 4 punten)

- a In 1960 werden de eerste computerprogramma's voor constructieberekeningen gemaakt. Deze programma's voerden uitsluitend lineaire raamwerkberekeningen uit. Bij een lineaire berekening worden eerst de vervormingen, snedekrachten en momenten ten gevolge van de belastinggevallen berekend. Daarna worden de vervormingen enz. ten gevolge van de belastingcombinaties samengesteld. Moderne programma's, daarentegen, kunnen ook niet-lineaire berekeningen maken. Bij een niet-lineaire berekening moeten de vervormingen enz. van iedere belastingcombinatie afzonderlijk worden berekend. Hoe heet de methode waarbij belastinggevallen achteraf worden samengesteld?
- b Moderne software kan een groot aantal soorten berekeningen uitvoeren op een constructiemodel. Bijvoorbeeld een lineair-elastische berekening, een dynamische berekening en een probabilistische berekening. De computer voert al het werk uit. Echter, voordat de softwaregebruiker een bepaalde soort berekening gaat uitvoeren moet deze tenminste één keer een soortgelijke berekening met de hand hebben uitgevoerd. Waarom is dit belangrijk?
- c Veel raamwerkprogramma's nemen aan dat de vloeicontour van staalprofielen ruitvormig is. In werkelijkheid hangt de vloeicontour af van de vorm van de doorsnede. Waarom wordt toch een ruitvormige vloeicontour aangenomen? Kies A, B, C of D.
- A De ruitvorm hoort bij IPE- en HE-profielen wat de meest gebruikte profielen zijn.
 - B Bij andere vloeicontouren kan geen unity check worden uitgevoerd.
 - C De virtuele arbeid van de ruitvorm kan eenvoudig met de hand worden berekend.
 - D De ruitvorm is eenvoudig te programmeren en altijd aan de veilige kant.
- d Bij het ontwerpen van een gebouw voor aardbevingsbelasting wordt berekend welke plastische vervorming optreedt in de ligger-kolomverbindingen. Waar is dit voor nodig? Welke soort berekening wordt hiervoor gebruikt?

Uitwerking vraagstuk 1

a



- b De hoofdspanningen zijn de eigenwaarden van de spanningstensor. Ze kunnen worden berekend met een wiskundeprogramma zoals Maple.
- c De hoeveelheid wapening is voldoende. Immers alle betonhoofdspanningen zijn gedrukt en een eventuele krimpseur zal dicht gedrukt worden. (Trek in een krimpseur kan niet.) Voor toetsen van de betonspanning gebruiken we het criterium van Mohr-Coulomb

$$\frac{\sigma_{1b}}{\sigma_t} + \frac{\sigma_{3b}}{\sigma_d} \leq 1. \text{ Substitutie geeft } \frac{-0,98}{4} + \frac{-58,6}{-45} = 1,06. \text{ Voldoet net niet.}$$

- d **Ja**, meer wapening kan de betonspanningen reduceren. Bijvoorbeeld als we in vraagstuk 1 vergroten $\omega_y = 3,24\%$. Dan worden de betonhoofdspanningen -58,7, -7,81, -1,34. De Mohr-Coulomb toets wordt dan $\frac{-1,34}{4} + \frac{-58,7}{-45} = 0,97$. Voldoet wel. De extra wapening wordt opsluitwapening genoemd.

Ja, minder wapeningsspanning kan betonspanningen reduceren. Bijvoorbeeld als we in vraagstuk 1 σ_{xys} verkleinen tot druk $\sigma_{xys} = -4,50 \text{ N/mm}^2$. Dan worden de betonhoofdspanningen -50,0, -7,12, -0,72. De Mohr-Coulomb toets wordt dan $\frac{-0,72}{4} + \frac{-50,0}{-45} = 0,93$. Voldoet wel. De x-wapening wordt nu gebruikt als drukwapening.

Uitwerking vraagstuk 2

- a** A
- b** D
- c** D
- d** C
- e** A
- f** C of D

Uitwerking vraagstuk 3

- a** Superpositie
- b** Iemand die een soortgelijke berekening met de hand heeft uitgevoerd weet welke invoer nodig is, welke vooronderstellingen worden gemaakt en hoe de resultaten moeten worden beoordeeld.
- c** D
- d** Plastische vervorming is nodig om de energie van de aardbeving te absorberen. De verbindingen moeten zodanig worden ontworpen dat de optredende plastische vervorming kan worden opgenomen. (De aanwezige ductiliteit moet groter zijn dan de benodigde ductiliteit.) Hiervoor wordt een fysisch niet-lineaire dynamische (transient) berekening gemaakt.