

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^e JAAR

duur : 90 minuten

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

: Het tentamen bestaat uit 4 bladzijden inclusief dit voorblad.

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

: Na afloop kunt u de uitwerking vinden op <http://homepage.tudelft.nl/p3r3s/2TM6.html>

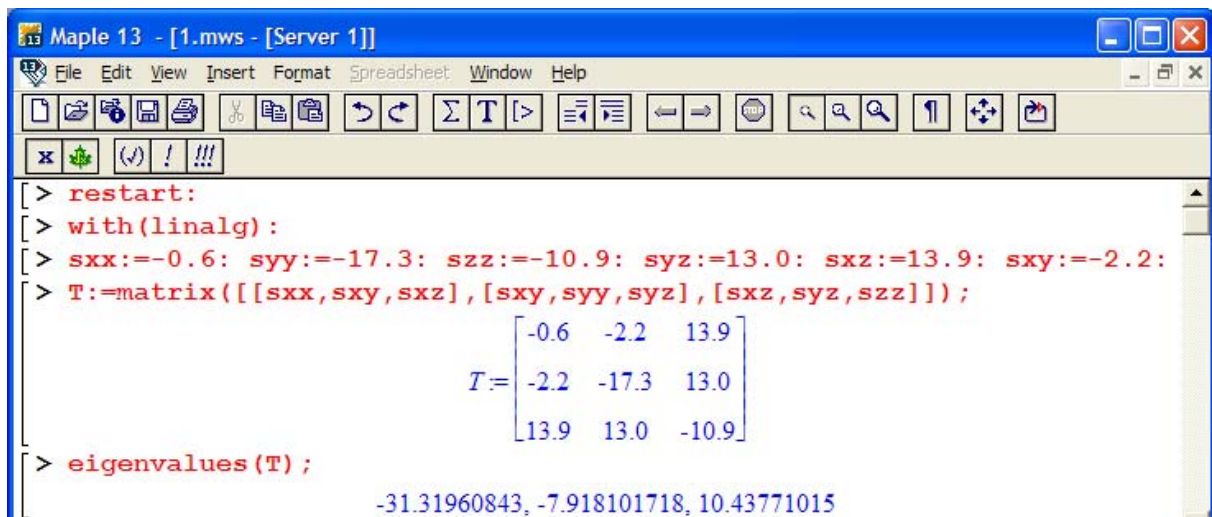
**POST
HBO**

Vraagstuk 1 (30 minuten 3 punten)

Een gewapend betonnen funderingsksp wordt gemodelleerd met een eindige-elementenprogramma. Het model bestaat uit volume-elementen (solids). Eigen gewicht en een veranderlijke belasting worden aangebracht (inclusief veiligheidsfactoren). De spanning in een maatgevend punt is

$$\begin{bmatrix} -0,6 \\ -17,3 \\ -10,9 \\ 13,0 \\ 13,9 \\ -2,2 \end{bmatrix} \text{ N/mm}^2.$$

- Teken een elementair blokje met de spanningen op de zichtbare vlakjes. Teken ook het bijbehorende assenstelsel.
- De één-assige druksterkte van het beton is 50 N/mm². De één-assige treksterkte van het beton is 4 N/mm² (inclusief veiligheidsfactoren). De volgende berekening is gemaakt in Maple:



```

Maple 13 - [1.mws - [Server 1]]
File Edit View Insert Format Spreadsheet Window Help
[Icons]
[Icons]
> restart:
> with(linalg):
> sxx:=-0.6: sy:=-17.3: szz:=-10.9: syz:=13.0: sxz:=13.9: sxy:=-2.2:
> T:=matrix([ [sxx,sxy,sxz], [sxy,syy,syz], [sxz,syz,szz] ]);
               -0.6  -2.2  13.9
              T =  -2.2 -17.3  13.0
                   13.9  13.0 -10.9
> eigenvalues(T);
-31.31960843, -7.918101718, 10.43771015
  
```

Leidt de spanning in het maatgevende punt tot scheuren? Verklaar uw antwoord.

- De volgende wapeningspercentages worden toegepast $\omega_x = 1,8\%$, $\omega_y = 0,0\%$, $\omega_z = 3,0\%$. De vloeispanning van de wapening is 435 N/mm² (inclusief veiligheidsfactor). De volgende berekening is gemaakt in Maple.

10 januari 2012

```
> fy:=435: wx:=0.018: wy:=0.000: wz:=0.030:
> T:=matrix([ [sxx-wx*fy, sxy, sxz], [sxy, syy-wy*fy, syz], [sxz, syz, szz-wz*fy] ]);
T:=
[ -8.430  -2.2   13.9 ]
[ -2.2   -17.3  13.0 ]
[ 13.9   13.0 -23.950 ]
> eigenvalues(T);
-39.22151005, -11.75000195, 1.291512007
```

Is er voldoende wapening aangebracht? Verklaar uw antwoord.

Leidt deze spanning tot bezwijken van het beton? Verklaar uw antwoord.

d Is de bovenstaande berekening uitgevoerd volgens de Eurocode? Verklaar uw antwoord.

Vraagstuk 2 (30 minuten 3 punten)

- a** De getallen van een spanningstensor veranderen als het assenstelsel verandert. Hoe kunnen we toch beoordelen of de spanning in een punt te groot is?
- b** Schets een grafiek met de vloeicontouren van Von Mises, Rankine en Tresca voor twee-assige spanningstoestanden.
- c** Voor gewapend beton bestaat geen grensspanningshypothese. Waarom is dit?
Kies A, B, C of D.
- A Wetenschappers hebben geen tijd gehad om een grensspanningshypothese te ontwikkelen.
 - B Gewapend beton is te ingewikkeld om te beschrijven met een grensspanningshypothese.
 - C Een grensspanningshypothese zou niet gebruikt worden. Immers, ontwerpers willen niet weten of een constructie bezwijkt, ze willen weten hoeveel wapening nodig is.
 - D Gewapend beton bestaat uit twee materialen. Voor beton en staal bestaan wel goede grensspanningshypothesen.
- d** Veel materialen kunnen niet goed tegen schuifspanning. Waaruit blijkt dit? Kies A, B, C of D.
- A Schuifspanning wordt begrensd in de hypothesen van Tresca en Mohr-Coulomb. Deze hypothesen blijken redelijk nauwkeurig voor veel materialen.
 - B Schuifspanningen treden niet zoveel op en er wordt daarom weinig rekening mee gehouden bij het ontwerpen. Als er dan toch schuifspanning optreedt dan is dit extra gevaarlijk.
 - C De energie die door schuifspanning wordt opgenomen is veel groter dan de energie die door normaalspanning wordt opgenomen.
 - D Beton kan juist heel goed tegen schuifspanning. Namelijk, een scheur gaat om de korrels heen en de korrels haken in elkaar (haakweerstand). Hierdoor kan een aanzienlijke schuifspanning worden overgebracht. Dit heeft prof. J.C. Walraven aangetoond in 1980.

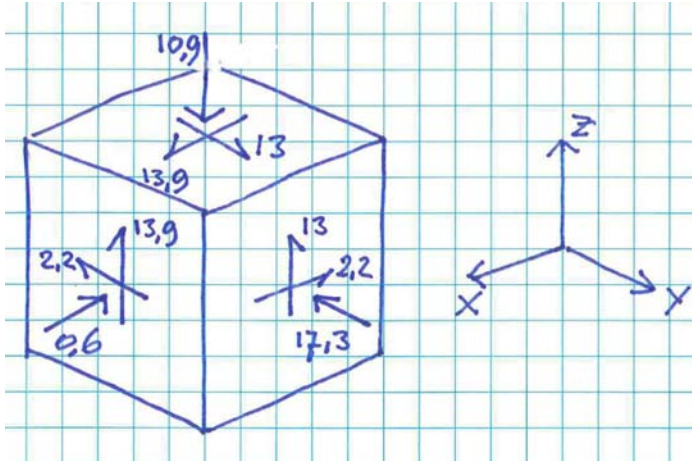
- e Beschouw een materiaalpunt van een constructiedeel met een assenstelsel. In dit assenstelsel treedt een schuifspanning op van $1,32 \text{ N/mm}^2$ en geen normaalspanningen. Wat zijn de hoofdspansingen in dit materiaalpunt? Kies uit A, B, C of D.
- A $\sigma_1 = 0 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_2 = 0 \text{ N/mm}^2$
 B $\sigma_1 = 1,32 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_2 = -1,32 \text{ N/mm}^2$
 C $\sigma_1 = 1,32 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_2 = 1,32 \text{ N/mm}^2$
 D $\sigma_1 = 0 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_2 = 2,64 \text{ N/mm}^2$
- f Een materiaal bezwijkt als de hoofdrekken te groot worden. Hoe heet deze uitspraak? Kies A, B, C of D.
- A Regel van Turkstra
 B Methode van Riks
 C Hypothese van Saint Venant
 D Wet van Hoogenboom

Vraagstuk 3 (30 minuten 4 punten)

- a Als een tweede-orde berekening van een raamwerk wordt uitgevoerd met een computer, is het belangrijk om met gereduceerde buigstijfheid EI te rekenen voor de gedrukte elementen. Wat is de fysische oorzaak van deze reductie?
- b Bij veel eindige-elementenprogramma's kunnen we de iteratiemethode instellen, bijvoorbeeld Newton-Raphson of secantstijfheid of initiële stijfheid. Op welk aspect van een berekening heeft dit een invloed, bijvoorbeeld convergeren, nauwkeurigheid, rekentijd?
- c Het eindige-elementenprogramma ANSYS berekent vervormingen en spanningen. Het berekent geen momenten of dwarskrachten (bijvoorbeeld in platen). Geef een voorbeeld waarbij dit heel onhandig is. Verklaar waardoor dit komt. Loopt ANSYS achter of is het zijn tijd vooruit?
- d Bij het berekenen van constructiegedrag in een aardbeving wordt gebruik gemaakt van transiënte analyse. In het constructiemodel zijn plastische scharnieren aangebracht die onbegrensd kunnen vloeien. In werkelijkheid zal een plastisch scharnier breken bij een bepaalde plastische vloeï. Waarom wordt het breken niet gemodelleerd?

Antwoorden

1a



1b Ja. De spanning leidt tot scheuren omdat de grootste hoofdspanning (10,4 N/mm²) groter is dan de treksterkte (4 N/mm²).

1c Nee. Er is niet voldoende wapening aangebracht omdat er trekspanning in het beton optreedt (1,29 N/mm²). De wapening moet alle trekspanning kunnen dragen omdat het beton gescheurd is als de wapening (bijna) vloeit.

Ja. Het beton bezwijkt op druk omdat niet voldaan is aan het Mohr-Coulomb criterium.

$$\frac{1,29}{4} + \frac{-39,2}{-50} = 1,1 \not\leq 1$$

1d Nee. De Eurocode geeft geen aanwijzingen voor drie-assige spanningstoestanden.

2a Door te kijken naar de hoofdspanningen. Deze veranderen niet met het assenstelsel.

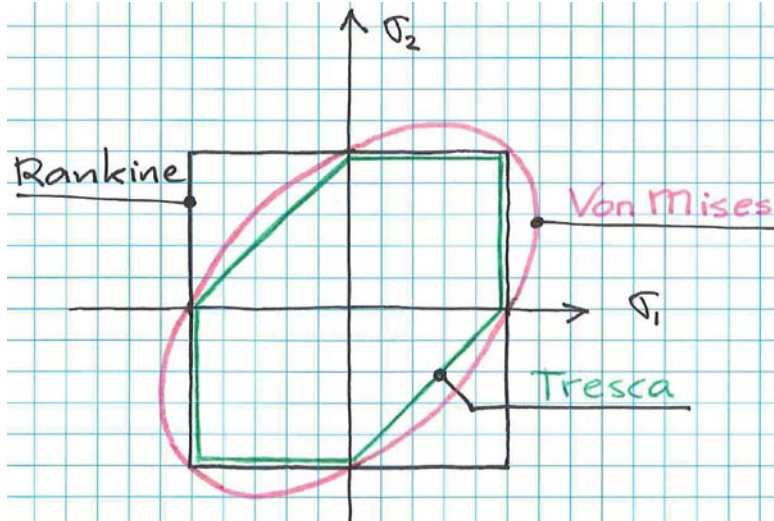
We kunnen ook kijken naar de invarianten van de spanningstensor: I_1, I_2, I_3

We kunnen ook kijken naar de invarianten van de deviatortensor: σ_0, J_2, J_3

We kunnen ook kijken naar de cilindercoördinaten in de spanningsruimte: ξ, r, θ

We kunnen ook naar de Von Mises-spanning kijken

2b



2c B (D en C zijn ook waar maar geen antwoorden op de vraag.)

2d A

2e B

2f C

3a Gereduceerde stijfheid brengt de invloed van imperfecties in rekening (krimpspanningen, vormafwijkingen, maatafwijkingen, etc.). Dit kan een grote invloed hebben op de tweede-orde verplaatsingen bij gebruiksbelasting. Het heeft ook een heel grote invloed op de kniklast.

3b De iteratiemethode heeft vooral invloed op de rekentijd. Het kan ook invloed hebben op het al dan niet convergeren.

3c Bijvoorbeeld, het dimensioneren van wapening in beton is gebaseerd op momenten en dwarskrachten. Dit komt doordat ANSYS is ontwikkeld door wetenschappers die niet goed weten wat gebruikelijk is in de praktijk. Het kan zijn dat in de toekomst de wapening wordt ontworpen door de software. Dan hebben we geen momenten en dwarskrachten meer nodig en kijken we alleen nog naar unity-checks. 15% van de cursisten vindt dat ANSYS achter loopt en 40% vindt dat ANSYS zijn tijd vooruit is.

3d Het doel van deze transiënte analyse is het bepalen van de benodigde ductiliteit. Als een plastisch scharnier zou breken weten we niet wat de benodigde ductiliteit is.