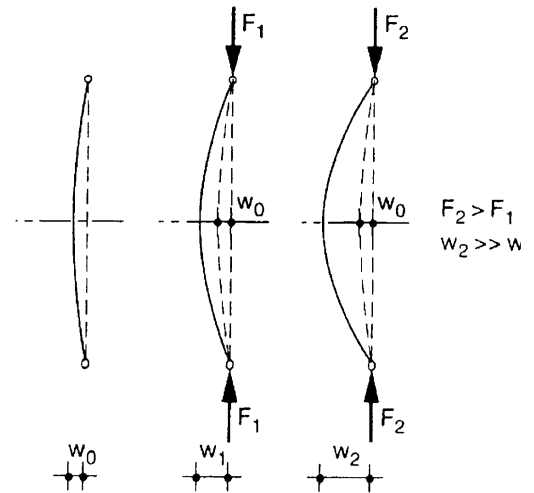


# WEEK 1 - H.4 OP DRUK BELASTE STAVEN

Toetsing van de stabiliteit:

- knik
- torsie
- combinatie van knik en torsie



Staven in constructies vertonen imperfecties:

- de staven zijn nooit zuiver recht;
- in de doorsnede zijn restspanningen aanwezig;
- de vorm van de doorsnede vertoont afwijkingen ten opzichte van de gewenste vorm;
- de belasting grijpt veelal niet precies aan op die plaatsen waar dat theoretisch is bedoeld.

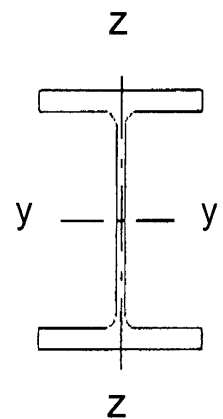
## KNIK en de NEN 6770

2 toetsingsregels; om de sterke as = y-as  
om de zwakke as = z-as

$$\frac{N_{c;s;d}}{\omega_{y;buc} N_{c;u;d}} \leq 1$$

en:

$$\frac{N_{c;s;d}}{\omega_{z;buc} N_{c;u;d}} \leq 1$$



methode om de y-as (om de z-as alle "y" vervangen door "z")

$N_{c,s,d}$  = drukkracht t.g.v. belasting (rekenwaarde)

$N_{c,u,d}$  = grootste drukkracht die opgenomen kan worden (uiterste grenstoestand - rekenwaarde)

$$N_{c,u,d} = A \cdot f_y \text{ [kN]}$$

$\omega_{y;buc}$  = knikfactor, afhankelijk van relatieve slankheid  $\lambda_{y,rel}$

## Relatieve slankheid

Voor de relatieve slankheid geldt:

$$\lambda_{y;rel} = \sqrt{\frac{N_{pl;d}}{F_{y;E}}} = \frac{\lambda_y}{\lambda_e}$$

met:

$$F_{y;E} = \frac{\pi^2 E_d I_y}{l_{y;buc}^2}$$

$$\longrightarrow \lambda_y = \frac{l_{y;buc}}{i_y}$$

$$\longrightarrow \lambda_e = \pi \sqrt{\frac{E_d}{f_{y;d}}}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

$$E_d = 210\,000 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{y,d} = 235 \text{ N/mm}^2 \quad \text{- staal S235}$$

$$= 275 \text{ N/mm}^2 \quad \text{- staal S275}$$

$$= 355 \text{ N/mm}^2 \quad \text{- staal S355}$$

enz.

waarin:

$F_{y;E}$  is de Euler-knikkracht met betrekking tot de y-as;

$\lambda_y$  is de slankheid van een staaf met betrekking tot knik om de y-as;

$\lambda_e$  is de slankheid van een staaf waarbij de knikspanning volgens Euler juist gelijk is aan  $f_{y;d}$ ;

$l_{y;buc}$  is de kniklengte van een staaf met betrekking tot de y-as volgens 12.1.1.3;

$i_y$  is de oppervlaktemomentarm met betrekking tot de y-as;

$I_y$  is het axiaal kwadratisch oppervlaktemoment om de y-as;

$A$  is de oppervlakte van de doorsnede.

bepaling knikfactor  $\omega_{y,buc}$

aflezen uit de **TABEL** of berekenen met **FORMULE**

**- TABEL**

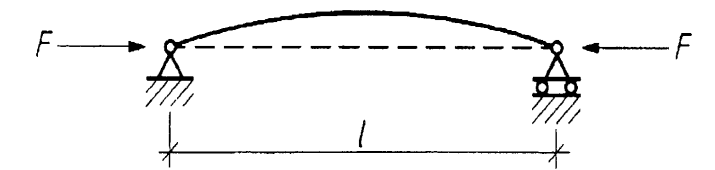
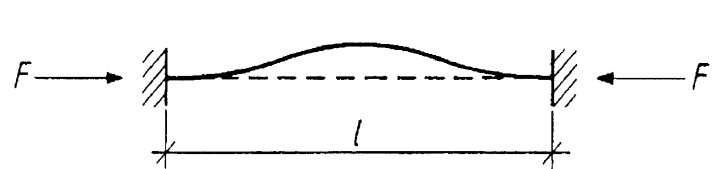
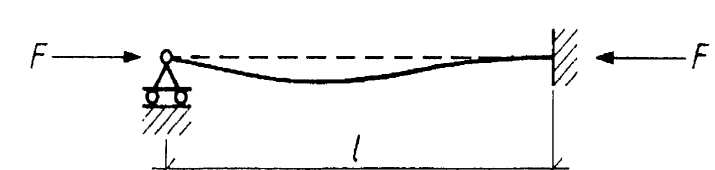
| $\lambda_{rel}^{*})$                    | Waarden van $\omega_{buc}$ |      |      |      |
|---|----------------------------|------|------|------|
| instabiliteitskrommen $\longrightarrow$ | a                          | b    | c    | d    |
| 0,2                                     | 1,00                       | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 0,3                                     | 0,98                       | 0,96 | 0,95 | 0,92 |
| 0,4                                     | 0,95                       | 0,93 | 0,90 | 0,85 |
| 0,5                                     | 0,92                       | 0,88 | 0,84 | 0,78 |
| 0,6                                     | 0,89                       | 0,84 | 0,79 | 0,71 |
| 2,5                                     | 0,15                       | 0,14 | 0,13 | 0,12 |
| 2,6                                     | 0,14                       | 0,13 | 0,12 | 0,11 |
| 2,7                                     | 0,13                       | 0,12 | 0,12 | 0,11 |
| 2,8                                     | 0,12                       | 0,11 | 0,11 | 0,10 |
| 2,9                                     | 0,11                       | 0,11 | 0,10 | 0,09 |
| 3,0                                     | 0,10                       | 0,10 | 0,10 | 0,09 |

\*) Voor tussenliggende waarden moet lineair zijn geïnterpoleerd

**- FORMULE**

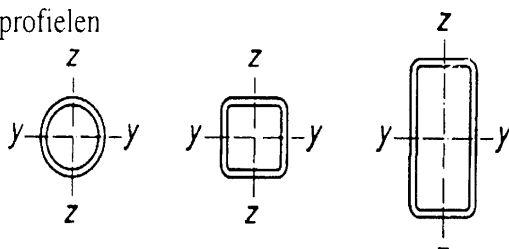
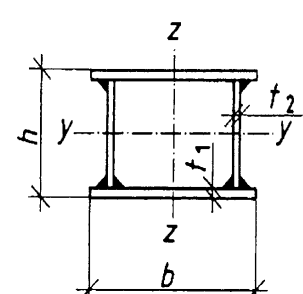
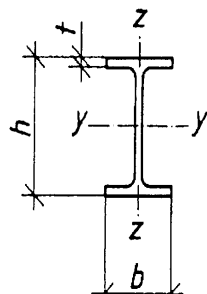
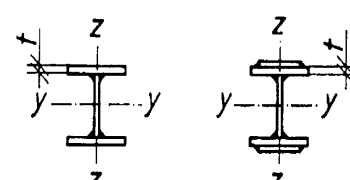
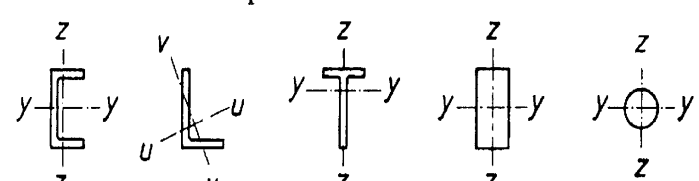
$$\omega_{buc} = \frac{\sigma_{buc:d}}{f_{y:d}} = \frac{1 + \alpha_k (\lambda_{rel} - \lambda_o) + \lambda_{rel}^2}{2 \lambda_{rel}^2} - \frac{1}{2 \lambda_{rel}^2} \sqrt{\{1 + \alpha_k (\lambda_{rel} - \lambda_o) + \lambda_{rel}^2\}^2 - 4 \lambda_{rel}^2}$$

bepaling  $l_{y,buc}$

|   |  |                                     |
|---|--|-------------------------------------|
| a |  | $l_{ef} = l_{sys}$                  |
| b |  | $l_{ef} = \frac{l_{sys}}{2}$        |
| c |  | $l_{ef} = \frac{l_{sys}}{\sqrt{2}}$ |



Tabel 23 – Keuzetabel voor de instabiliteitskrommen

| doorsnedeform  |   | instabiliteit om de as | instabiliteitskromme |
|--|---|------------------------|----------------------|
| buisprofielen<br>                               | warmgewalst   | elke as                | a                    |
|  | koudgevormd met $f_{y;d}^{*1)}$                                   | elke as                | b                    |
|  | koudgevormd met $f_{y;m;d}^{*1)}$                                 | elke as                | c                    |
| gelaste kokerprofielen<br>                      | algemeen (behalve in het hierna gegeven geval)                    | elke as                | b                    |
|  | zware lassen en<br>$b/t_1 < 30$<br>$h/t_2 < 30$                   | y-y<br>z-z             | c<br>c               |
| gewalste I-profielen<br>                       | $h/b > 1,2; t \leq 40$ mm   | y-y<br>z-z             | a<br>b               |
|  | $h/b > 1,2; 40 < t \leq 80$ mm en<br>$h/b \leq 1,2; t \leq 80$ mm | y-y<br>z-z             | b<br>c               |
|  | $t > 80$ mm   | y-y<br>z-z             | d<br>d               |
| gelaste I-profielen<br>                       | $t \leq 40$ mm  | y-y<br>z-z             | b<br>c               |
|  | $t > 40$ mm   | y-y<br>z-z             | c<br>d               |
| U-, L-, T-profielen en massieve profielen<br> |   | elke as                | c                    |

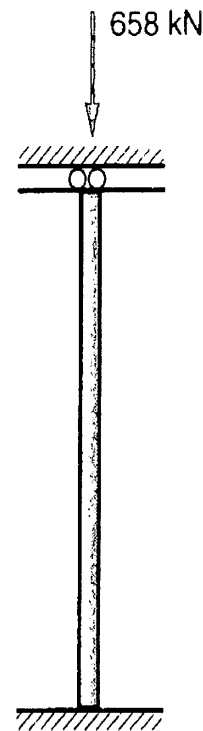
Overige doorsnedevormen moeten zo goed mogelijk worden ingepast

\*1) Koudgevormde profielen moeten op stabiliteit zijn ontworpen op basis van de volgende twee instabiliteitskrommen

## Voorbeeld 1

Toets deze constructie op knik volgens NEN 6770

$$l_{\text{buc}} = l_{\text{k}} = 3500 \text{ mm}$$



CHS 139,7 × 8 HF, S275  
A = 3310 mm<sup>2</sup> i = 46,6 mm

$$\frac{d}{t} = \frac{139,7}{8} = 17,5$$

$$\alpha_y = \sqrt{\frac{f_{\text{rel}}}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,92$$

$$\frac{d}{t} = 17,5 < 50 \alpha_y^2 = 42,7$$

dus doorsnedeklasse 1

### **Uitwerking**

Het buisprofiel is een CHS 139,7 × 8 HF (warmgewalst) met een staalkwaliteit S275. De rekenwaarde van de drukkracht in het profiel is 658 kN. Het stalen buisprofiel is een klasse 1 profiel. We mogen dus een knikcontrole uitvoeren volgens de NEN 6770.

Toesing:

$$\frac{N_{c,d}}{\omega_{\text{buc}} N_{c,u,d}} \leq 1$$

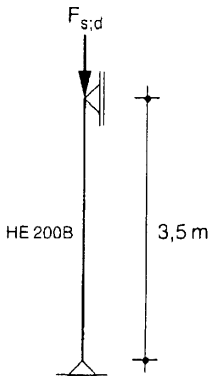
$$\rightarrow N_{c,u,d} = A \cdot f_{y,d} = \frac{3310 \times 275}{1000} = 910,3 \text{ kN}$$

$$\rightarrow \lambda_{\text{rel}} = \frac{\lambda}{\lambda_e} = \frac{\frac{l_k}{i}}{\pi \sqrt{\frac{E}{f_y}}} = \frac{\frac{3500}{46,6}}{\pi \sqrt{\frac{2,1 \times 10^5}{275}}} = \frac{75,1}{86,8} = 0,87 \quad \rightarrow \omega_{\text{buc}} = 0,75$$

$$\rightarrow \frac{N_{c,d}}{\omega_{\text{buc}} N_{c,u,d}} = \frac{658}{0,75 \times 910,3} = 0,96 \leq 1 \quad (\text{voldoet})$$

## Voorbeeld 2

### Voorbeeld 2.13



2.68. Gedrukte kolom.

■ *Gegeven.* Een kolom met  $\ell_{z;buc} = 3,5$  m, belast door een drukkracht  $F_{s;d} = 1200$  kN (afb. 2.68). Het kolomprofiel is een HE 200B in de staalsoort S235.

■ *Gevraagd.* Toets de knikstabiliteit om de zwakke as.

■ *Uitwerking.* Volgens NEN 6770, tabel 8, behoort de doorsnede van een HE 200B tot doorsnedeklasse 1, zodat de toetsingsregels van NEN 6770 van toepassing zijn. Voor de rekenwaarde van de druknormaalkracht geldt:

$$N_{c;u;d} = N_{pl;d} = A f_{y;d} = 7808 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 1835 \text{ kN}$$

De relatieve slankheid  $\lambda_{z;rel}$  volgt uit:

$$F_{z;E} = \frac{\pi^2 E_d I_z}{\ell_{z;buc}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 2003 \cdot 10^4}{3500^2} \cdot 10^{-3} = 3389 \text{ kN}$$

$$\lambda_{z;rel} = \sqrt{\frac{N_{pl;d}}{F_{z;E}}} = \sqrt{\frac{1835}{3389}} = 0,74$$

Als alternatief kan de relatieve slankheid  $\lambda_{z;rel}$  ook als volgt worden berekend:

$$\lambda_z = \frac{\ell_{z;buc}}{i_z} = \frac{3500}{50,7} = 69,0; \quad \lambda_e = \pi \sqrt{\frac{E_d}{f_{y;d}}} = \pi \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{235}} = 93,9$$

$$\lambda_{z;rel} = \frac{\lambda_z}{\lambda_e} = \frac{69,0}{93,9} = 0,74$$

De knikfactor  $\omega_{z;buc}$  kan nu worden berekend. Volgens keuzetabel 23 in NEN 6770 is knikkromme c van toepassing voor instabiliteit om de z-as, aangezien het profiel voldoet aan de eis  $h/b \leq 1,2$ . Uit tabel 24 van NEN 6770, met  $\lambda_{rel} = 0,74$  en kromme c, volgt dat  $\omega_{z;buc} = 0,70$ . De toetsingsregel volgens NEN 6770, art. 12.1.1.1, geeft:

$$\frac{N_{c;s;d}}{\omega_{z;buc} N_{c;u;d}} = \frac{1200}{0,70 \cdot 1835} = 0,93 \leq 1 \text{ (voldoet)}$$