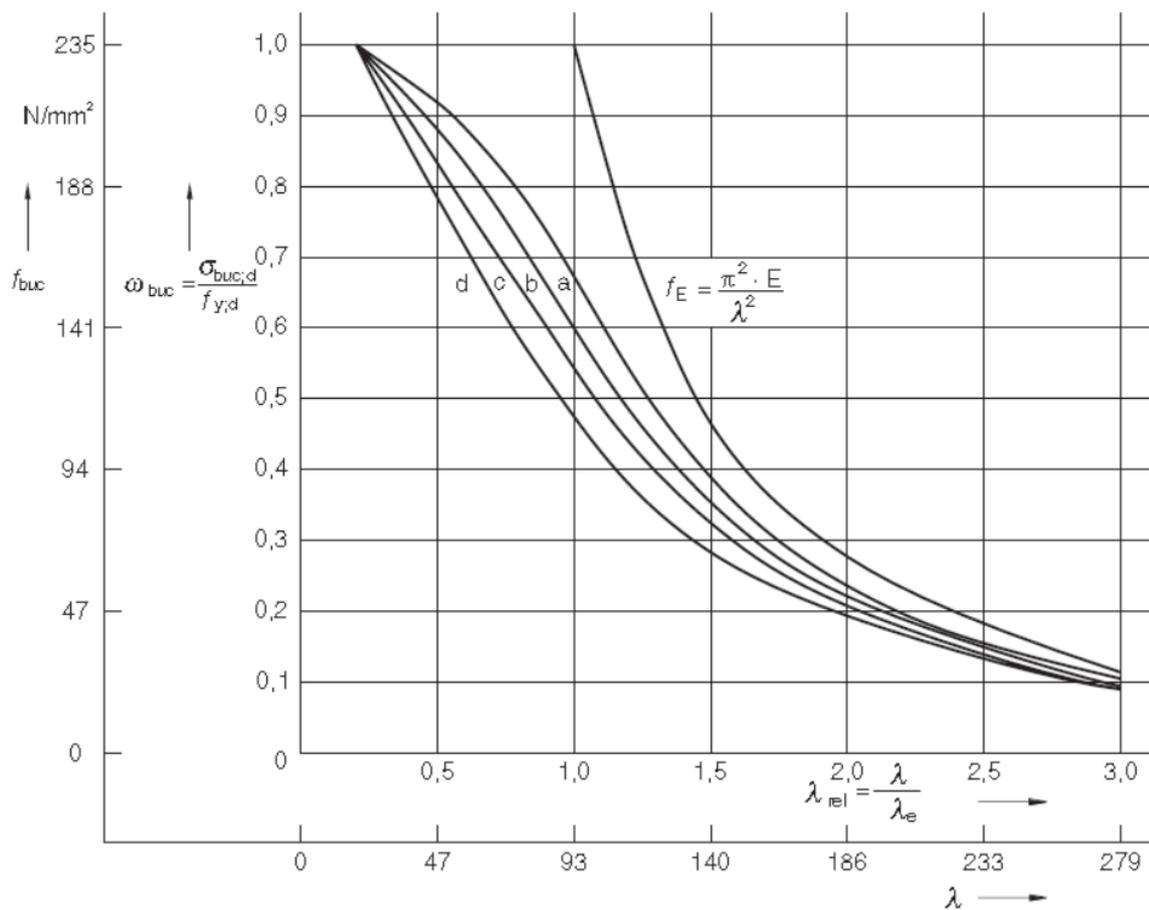


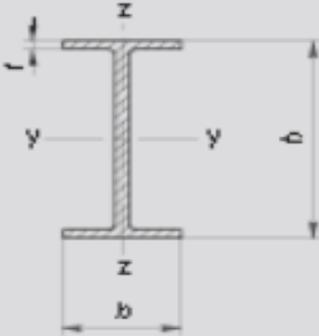
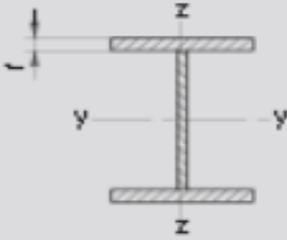
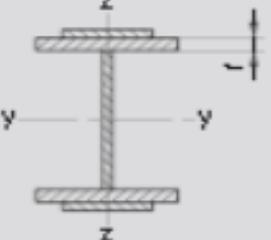
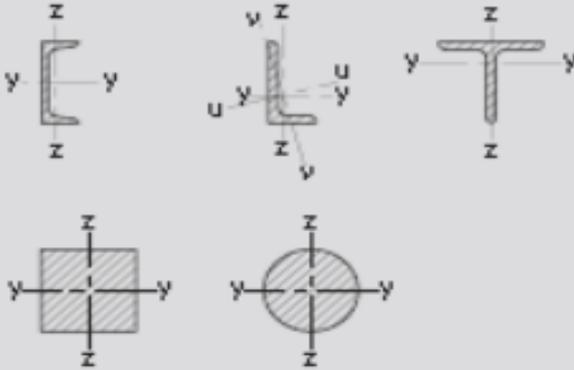
## Stappenplan knik

- Bepaal de waarden voor  $A$ ,  $L_{buc}$ ,  $i_y$ ,  $i_z$ ,  $\lambda_e$  (afhankelijk van materiaalsoort) en  $f_{y,d}$  (=rekgrens)
- Kniklengte
- Instabiliteit tabel 1.1
- Slankheid  $\lambda_y = L_{buc}/i_y$
- Rel slankheid  $\lambda_{rel} = \lambda/\lambda_e$
- Knikfactor  $\omega_{buc}$  tabel
- Max toelaatbare normaalkracht
- $N_{c,s,d} = A * f_{y,d} * \omega$  ( $F = A * \sigma * \text{correctiefactor}$ )

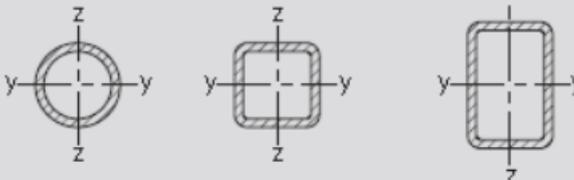
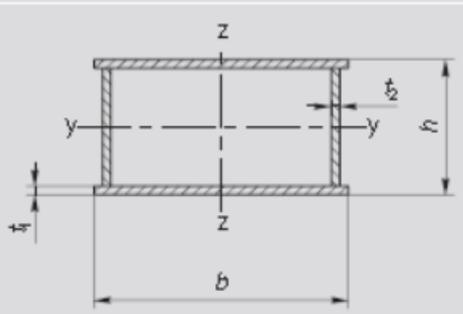


Grafiek 1

TABEL 1.1 KEUZETABEL KNIEKROMMEN

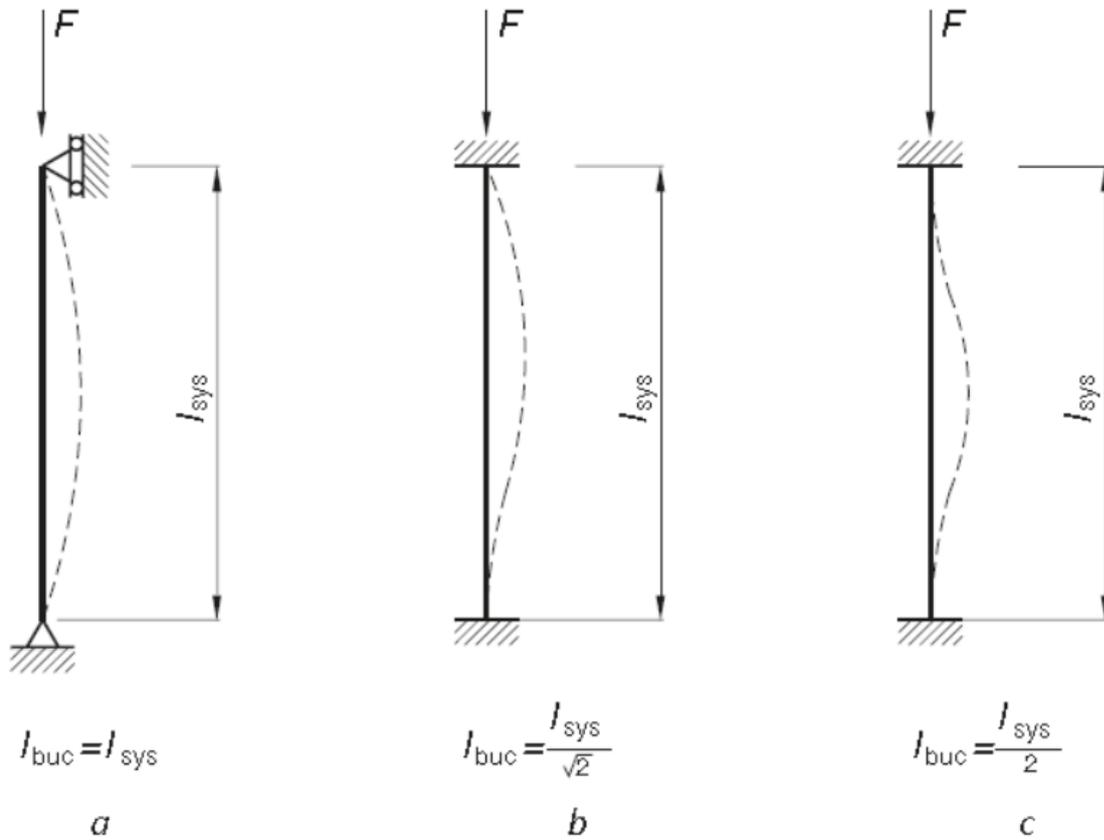
doorsnede vorm		knik loodrecht op as	knik-kromme
gewalste I-profielen			
	$\frac{b}{t} > 1,2$ en $t \leq 40$	IPE 80 - IPE 600 HE 400 A - HE 1000 A HE 400 B - HE 1000 B HE 340 M - HE 1000 M	y-y z-z a b
	$\frac{b}{t} > 1,2$ en $t \leq 80$	HE 100 A - HE 360 A HE 100 B - HE 360 B HE 100 M - HE 360 M	y-y z-z b c
	$\frac{b}{t} > 1,2$ en $40 < t \leq 80$		y-y z-z b c
	$t > 80$		y-y z-z d d
gebaste I-profielen			
	$t \leq 40$		y-y z-z b c
	$t > 40$		y-y z-z c d
UNT-, L-, T-profielen			
			y-y z-z u-u v-v c c c c

**TABEL 1.1 KEUZETABEL KNIKKROMMEN (VERVOLG)**

doorsnedeform		knik loodrecht op as	knikkromme
buisprofielen			
	warmgewalst	y - y z - z	a a
	koudgevoerd	y - y z - z	c c
gelastekokerprofielen			
	algemeen	y - y z - z	b b
	zware lassen en $b/t_1 < 30$ $h/t_2 < 30$	y - y z - z	c c

**TABEL 1.3 k-WAARDEN VOOR ANDERE KNIKKROMMEN EN RELatieve SLANKHEDEN 1,0, 1,3 EN 1,6**

knikkromme	k voor S235 (Fe 360)		
	$\lambda_{rel} = 1,0$	$\lambda_{rel} = 1,3$	$\lambda_{rel} = 1,6$
a	0,0722	0,0606	0,0564
b	0,0808	0,0669	0,0611
c	0,0893	0,0735	0,0663
d	0,1031	0,0843	0,0747



Figuur 1.12

Bij de situaties b en c spreken we van inklemming. De stang buigt door en bij de knooppunten is er dan theoretisch gezien geen rotatie. Er van uitgaande dat er geen blijvende vervorming is, nemen we voor  $\lambda_e$  een elastische waarde.

TABEL 1.2 WAARDEN VAN $\lambda_e$			
staalsoort	S235	S275	S355
$\lambda_e$	93,9	86,8	76,4

$\lambda_e$  is een tabelwaarde die je ook kunt berekenen.

$$\lambda_e = \pi \sqrt{\frac{E}{f_{y,d}}}$$

en de Elasticiteitsmodulus (E) van staal is 210.000 N/mm<sup>2</sup>

Voor staal S235 geldt dat  $f_{y,d} = 235$

Het praktisch benodigde traagheidsmoment:  $I = 0,81 \cdot Fknik \cdot l^2$  waarbij I is de lengte in meter, Fknik de kracht in Newton en I het traagheidsmoment in mm<sup>4</sup> De factor 0,81 geldt voor staal S235 met de veiligheidsfactoren.

Dus kies een profiel waarvan de theoretische tabelwaarde van het traagheidsmoment I groter is dan het praktisch benodigde traagheidsmoment dat je berekend hebt.

De kniktabel: De tabel is een hulpmiddel te gebruiken bij het stappenplan voor knik.

Tabel Knik belasting.			Berekening												
			$I=0,81 \cdot F_k \cdot l_k^2$				Euler			Knik		vloeigrens			
stang	Kracht	Lengte	$I_{\text{prak}}$	$I_{yy}$	A	$i_y$	$\lambda$	Fknik	Fknik	Fknik	spanning	$\omega$	$\lambda_e$	$\lambda_{rel}$	
	Fk in N	Lk in m	mm <sup>4</sup>	mm <sup>4</sup>	mm <sup>2</sup>	mm		N	70%	60%	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>			
1															
2															
3															

Werkwijze:

De kracht  $F_k$  is bekend d.m.v. een Cremona-diagram of Ritter (Vrij Lichaam Schema).

De fysieke lengte van de stang is bekend.

Hiermee bereken je het praktisch benodigde traagheidsmoment:  $I = 0,81 \cdot F_{knik} \cdot l^2$

Kies een profiel die voldoet: Bepaal het theoretisch traagheidsmoment  $I_{yy}$ , de oppervlakte A van de doorsnede en de traagheidsstraal  $i_y$

De traagheidsstraal kun je ook berekenen:  $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$

Bereken de slankheid  $\lambda$  met de formule:

$$\lambda_y = \frac{L_{buc}}{i_y} \text{ en bereken de relatieve slankheid } \lambda_{rel} = \frac{\lambda_y}{\lambda_e}$$

Met behulp van de waarde van  $\lambda_{rel}$  en de knikkromme uit tabel 1.1 kun je  $\omega_{buc}$  bepalen via grafiek 1

Dit is de correctiefactor voor het bereken van de knikkracht  $F_{knik} = \sigma_{knik} \cdot A \cdot \omega$  of  $N_{c,s,d} = A \cdot f_{y,d} \cdot \omega$

## Voorbeeld 1

Een kolom bestaat uit een HE 160A balk. De balk is aan beide zijden vast ingeklemd.

Lengte van de balk 5 meter.

De balk is gemaakt van constructiestaal S 235 →  $f_{y,d} = 235 \text{ N/mm}^2$  Zonder extra beveiliging !! Bij optredende afschuiving extra 60 % veiligheid.

Bepaal de max drukkracht  $F_d$  op de balk.

Volgens tabel geldt:

-  $A = 3877 \text{ mm}^2$

-  $i_y = 65,7 \text{ mm}$

-  $i_z = 39,8 \text{ mm}$

- Kniklengte  $L_{buc} = L/\sqrt{2} = 3535 \text{ mm}$  figuur 1.12
- Instabiliteit tabel 1.1 HE 160A  
Dus knik om de y-as → instabiliteitskromme b  
Dus knik om de z-as → instabiliteitskromme c
- Slankheid  $\lambda_y = L_{y,buc}/i_y = 3535/65,7 = 53,81$
- Slankheid  $\lambda_z = L_{z,buc}/i_z = 3535/39,8 = 88,81$

S235 →  $\lambda_e = 93,9$  Tabel 1.2

$\lambda_y \text{ relatief} = \lambda_y/\lambda_e = 53,81/93,91 = 0,57$

$\lambda_z \text{ relatief} = \lambda_z/\lambda_e = 88,81/93,91 = 0,95$

- Knik factor  $\lambda_y \text{ rel.} = 0,57$  en instabiliteitskromme b → knikfactor  $W_{y,buc} = 0,85$   
 $\lambda_z \text{ rel.} = 0,95$  en instabiliteitskromme c → knikfactor  $W_{z,buc} = 0,57$

De maximale drukkracht →  $N_{c,s,d} = A \cdot f_{y,d} \cdot \eta$  ( $F = A \cdot \sigma \cdot \text{correctiefactor}$ )

$F_d = 3877 \text{ mm}^2 \cdot 235 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,85 \rightarrow F_d = 774 \text{ kN}$  of

$F_d = 3877 \text{ mm}^2 \cdot 235 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,57 \rightarrow F_d = 519 \text{ kN}$ .

De maximale knikkracht volgens Euler: (bij deze waarde breekt het profiel)

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{buc}^2} \rightarrow F_e = 2774 \text{ kN in y-y en } F_e = 1021 \text{ kN in z-z}$$

Controle:

Het praktisch benodigde traagheidsmoment:  $I = 0,81 \cdot F_{knik} \cdot l^2$  waarbij  $l$  is de lengte in meter,  $F_{knik}$  de kracht in Newton en  $I$  het traagheidsmoment in  $\text{mm}^4$  De factor 0,81 geldt voor staal S235 met de veiligheidsfactoren.

Het traagheidsmoment, tabelwaarde  $I_y = 1673 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$  daar uit volgt  $F_{max} = 826 \text{ kN}$  in de y-y richting.

## Voorbeeld 2

Een ontwerp berekening: Een kolom bestaande uit een IPE profiel wordt belast met een drukkracht van 400 kN. De kolom heeft een lengte van 6,3 m en is aan beide uiteinde scharnierend bevestigd. Het materiaal is S235.

Oplossing:

Bereken het praktisch benodigde traagheidsmoment:  $I = 0,81 \cdot F_{knik} \cdot l^2$

Kies een IPE balk, bijvoorbeeld IPE 180

Noteer de gegevens:

$I =$

$i_y =$

$A =$

$I_{buc} =$

$\lambda_y =$

$\lambda_{rel} =$

$\omega =$

$F_{knik} =$

Controle:  $F_{knik} = 382$  kN. Dit is riskant. Neem een groter profiel.

Nu dezelfde berekening om de z-z as.

### Voorbeeld 3

Koker, niet genormaliseerd, warmgewalst.

afmetingen: 100x100x4 gemaakt van S235 ( $\rightarrow \lambda_e = 93,91$ ) uit een vakwerk  $\rightarrow$  beide kanten scharnierend  $L_{buc} = 7200$  mm

$$F_{y,d} = 235 \text{ N/mm}^2$$

De normaalkracht is  $N_{c,s,d} = 30000$  N

Gevraagd: Is deze toelaatbaar?

Oplossing:

$$I = 1/12 \times 100 \times 100^3 - 1/12 \times 92 \times 92^3 = 236,34 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$A = 100 \times 100 - 92 \times 92 = 1536 \text{ mm}^2$$

De traagheidsstraal kun je ook berekenen:  $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$

$$i_z = i_y = 39,2 \text{ mm}$$

- Kniklengte = 7200 mm
- Instabiliteit tabel 1.1 instabiliteitskromme = a
- Slankheid  $\lambda_{y,z} = L_{buc}/i = 7200/39,2 = 184,14$
- Rel. slankheid  $\lambda_{rel} = \lambda/\lambda_e = 184,14/93,9 = 1,96$

$\lambda_{rel} = 1,96$  en instabiliteitskromme a

- Knikfactor  $W_{buc} = 0,23$
- Druk normaalkracht  $N_{c,s,d} = A \times f_{y,d} \times W_{buc}$   
 $= 15,3 \times 10^2 \text{ mm}^2 \times 235 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,23 = 82696,5 \text{ N} \rightarrow$  dus toelaatbaar

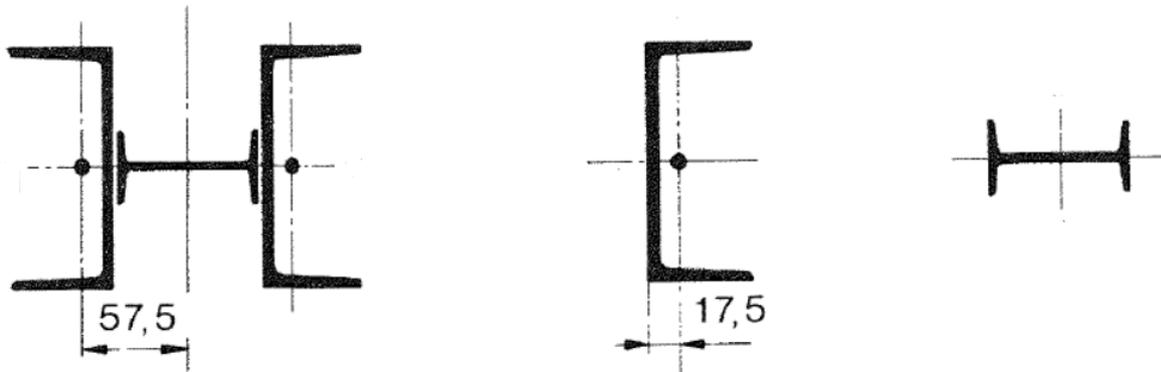






## Voorbeeld samengesteld kolom

Samengestelde opdracht: Een kolom bestaat uit twee UNP 140 profielen en een INP 80 profiel.  
Materiaal S235 en de kniklengte is 5 m.



Bereken de toelaatbare knikkracht in de y-y richting.

UNP 140:  $I_y = 606 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$  en  $I_z = 62,3 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$   $A = 2037 \text{ mm}^2$ ,  $i_y = 54,5 \text{ mm}$  en  $i_z = 17,5 \text{ mm}$

INP 80:  $I_y = 77,8 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$  en  $I_z = 6,29 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$   $A = 758 \text{ mm}^2$ ,  $i_y = 32 \text{ mm}$  en  $i_z = 9,1 \text{ mm}$

$I_{yy}$  totaal  $I_1 + I_2 + I_3 \rightarrow$  De som van de eigen traagheidsmomenten. Verschuiving telt niet mee !

$$I_{yy} \text{ totaal} = 1216,29 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$A \text{ totaal} = 4832 \text{ mm}^2$$

$$i_y = i = \sqrt{\frac{I}{A}} \rightarrow i_y = 50,17 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = L_{buc}/i_y \rightarrow 99,66$$

$$\lambda_{rel} \rightarrow \lambda_{rel} = \lambda/\lambda_e = 1,06 \text{ en voor de I balk geldt knikken om knikkromme d dus } \rightarrow \omega = 0,47$$

$$F_k = 235 \text{ N/mm}^2 \cdot 4832 \text{ mm}^2 \cdot 0,47 \rightarrow F_k = 533,7 \text{ kN.}$$

$$\text{Via } I = 0,81 \cdot F_{knik} \cdot l^2 \rightarrow F_{knik} = 600 \text{ kN.}$$

**Dus de toelaatbare knikkracht is 533,7 kN.**

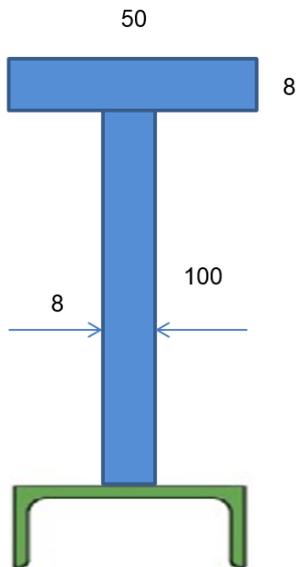
## Oefenopdracht 5

Bereken nu de toelaatbare knikkracht over de z-z as.

## Oefenopdracht 6

Zie kolom.

Kolom gemaakt van S235 en heeft een lengte van 5 m



Bereken de toelaatbare knikkraft in de y-y richting.  
De kolom is aan beide zijde ingeklemd.  
Houd bij het traagheidsmoment rekening met de verschuivingen.

## Oefenopdracht 7

Herhaal opdracht 6

