

Validatie spreadsheet **Controle krachtsinleiding staal**

Inhoudsopgave

1	Algemeen	2
2	Doel spreadsheets	2
3	Handleiding	2
3.1	Invoer/uitvoer	2
3.2	Specifieke aandachtspunten	2
3.3	Randvoorwaarden	2
4	Controle spreadsheets	3
1	Algemeen	2
2	Doel spreadsheets	2
3	Handleiding	2
3.1	Invoer/uitvoer	2
3.2	Specifieke aandachtspunten	2
3.3	Randvoorwaarden	2
4	Controle spreadsheets	3
Bijlage A	Voorbeeld lay-out spreadsheets + toelichtingen.	
Bijlage B	Spreadsheet en handberekening krachtsinleiding staalprofiel	
Bijlage C	Spreadsheet en handberekening krachtsinleiding staalprofiel bij eindoplegging	

1 Algemeen

In dit rapport worden de spreadsheets ST Krachtsinleiding en ST Krachtsinleiding eindoplegging gevalideerd. De spreadsheets controleren de spanningen in het staal t.b.v. de krachtsinleiding van een geconcentreerde last, eventueel t.p.v. een eindoplegging.

In hoofdstuk 2 wordt het doel van de spreadsheets omschreven. In hoofdstuk 3 wordt vervolgens een globale handleiding voor de spreadsheets gegeven. Vervolgens worden in hoofdstuk 4 een aantal spreadsheet berekeningen gecontroleerd d.m.v. een handberekening.

2 Doel spreadsheets

Het doel van de spreadsheets is om, op eenvoudige manier snel een berekening voor de krachtsinleiding van een geconcentreerde last in een stalen ligger. De spreadsheets bepalen zowel het vloeien van het lijf als het lokaal en globaal plooien. De beide spreadsheets zijn gebaseerd op de NEN 6770, en controleren de krachtsinleiding in het profiel. Eventueel kunnen de benodigde schotjes worden bepaald.

Enige kennis van de staalnorm NEN 6770 en constructief inzicht zijn wel een vereiste voor toepassing van de spreadsheets.

3 Handleiding

3.1 Invoer/uitvoer

In bijlage A zijn de globale toelichtingen/handleidingen weergegeven voor de spreadsheets. Deze toelichtingen zijn ook als tabblad terug te vinden bij het openen van de spreadsheets. De naamgeving van de verschillende variabelen is conform de NEN 6770, indien men bekend is met deze norm is de invoer van de spreadsheets duidelijk en overzichtelijk.

3.2 Specifieke aandachtspunten

- Voor de spreadsheets dient zelf te worden bepaald of er gerekend dient te worden met de normale krachtsinleiding of die voor een eindoplegging.
- De in te voeren afstand x voor de spreadsheet bij een eindoplegging dient zelf beperkt te worden tot maximaal de halve profielhoogte.

3.3 Randvoorwaarden

- De spreadsheets zijn enkel geschikt voor symmetrische I profielen, voor UNP-profielen geven de spreadsheets echter betrouwbare waarden.

4 Controle spreadsheets

In de bijlage B en C zijn de spreadsheets voor twee verschillende berekeningen vergeleken met een handberekening. Er zijn twee verschillende situaties getoetst. De volgende twee situaties zijn gecontroleerd:

- Berekening krachtsinleiding staalprofiel (zie bijlage B)
- Berekening krachtsinleiding staalprofiel bij eindoplegging (zie bijlage C)

In elke bijlage is allereerst een uitdraai van de spreadsheet toegevoegd, vervolgens is de handberekening terug te vinden. De waarden berekend in de handberekening zijn te controleren in de spreadsheet. Hiermee zijn alle berekende waarden in de spreadsheet na te rekenen middels een eigen handberekening.

De kleine verschillen zijn te verklaren door afrondingen.

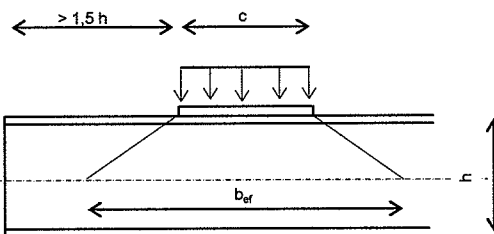
Bijlage A Voorbeeld lay-out spreadsheets + toelichtingen.

Projectnaam:	-	Onderdeel:	-
Projectnummer:	-		
Constructeur:	Kies naam...	Datum:	7-9-2007
		Versie:	1.13
Controle krachtsinleiding conform NEN 6770 hoofdstuk 14			

Te controleren profiel ...kiezen S S....

Eigenschappen

$E_s =$	210000	N/mm ²	elasticiteitsmodulus
$f_{y;fd} =$	S....	N/mm ²	rekenwaarde vloeigrens van de liggerflens
$f_{y;wd} =$	S....	N/mm ²	rekenwaarde vloeigrens van het liggerlijf
$t_f =$	0	mm	dikte van de flens
$t_w =$	0	mm	dikte van het lijf
$b_f =$	0	mm	breedte van de flens
$h =$	0	mm	hoogte profiel
$M_{y;pl} =$	#WAARDE!	kNm	capaciteit



Krachtinleidend oppervlak

$c =$	0	mm	oplegvlak
-------	---	----	-----------

Optredende krachten

$M_d =$	0	kNm
$F_d =$	0	kN

Vloeiën van het lijf

$\sigma_{y;fd} =$	#WAARDE!	N/mm ²	rekenwaarde langsspanning in de flens tgv belasting
$d_1 =$	#DEEL/0!	mm	
$F_{u;1;d} =$	#DEEL/0!	kN	

$$F_{u;1;d} = (c + d_1) * t_w * f_{y;d}$$

Lokaal plooiën van het lijf

factor	#DEEL/0!	(c/(h-2t_f) mag niet groter zijn dan 0,2)
$F_{u;2;d} =$	#WAARDE!	kN

$$F_{u;2;d} = 0,5 * t_w^2 * \sqrt{E * f_{y;d}} * \left\{ \sqrt{\frac{t_f}{t_w}} + 3 \left(\frac{t_w}{t_f} \right) \left(\frac{c}{h - 2t_f} \right) \right\}$$

Globaal plooiën van het lijf

instabiliteitskromme		c
$b_{ef} =$	0	mm
$\alpha_k =$	0,49	
$\lambda_0 =$	0,2	
$l_{z;buc} =$	0	mm
$\lambda_z =$	#DEEL/0!	($l_{z;buc}/i_z$)
$\lambda_e =$	#WAARDE!	
$\lambda_{rel} =$	#DEEL/0!	
$\omega_{buc} =$	#DEEL/0!	
$F_{u;3;d} =$	#DEEL/0!	kN

$$F_{u;3;d} = \omega_{buc} t_w b_{ef} f_{y;d}$$

Controle krachtsinleiding

$F_{u;1;d} =$	#DEEL/0!	kN			
$F_{u;2;d} =$	#WAARDE!	kN			
$F_{u;3;d} =$	#DEEL/0!	kN			
$F_{y;d} =$	#DEEL/0!	kN			
$F_{s;d} <$	$F_{u;d}$				voorwaarde 1
0	#DEEL/0!	#DEEL/0!			#DEEL/0!
$F_{s;d} / 1,5 * F_{u;2;d} +$	$M_{y;d} / 1,5 * M_{y;u;d}$		<	1	voorwaarde 2
#WAARDE!	#WAARDE!		#WAARDE!	1	#WAARDE!

Schotjes

aantal =	0	(1-zijdig over breedte flens)
$t_{min} =$	0	mm minimale dikte schotje(s)
$t_{toegepast} =$	0	mm toegepaste dikte schotje(s) #WAARDE!

Uitleg behorende bij spreadsheet

Controle krachtsinleiding conform NEN 6770 hoofdstuk 14

Algemeen

Allereerst moet via de knop 'Eigenschappen' de invoer worden opgegeven (o.a. de profielkeuze en staalkwaliteit kunnen hier gekozen worden). Deze spreadsheet controleert de krachtsinleiding conform NEN 6770 hoofdstuk 14, d.w.z. dat de spreadsheet geschikt is voor I-profielen. Deze spreadsheet is echter niet geschikt voor krachtsinleiding bij eindopleggingen. Voor het krachtsinleidend oppervlak c dient de lengte van het krachtsinleidend oppervlak te worden opgegeven.

Nadat de gegevens zijn ingevoerd dient op OK te worden geklikt, er wordt nu berekend of de doorsnede accoord is, indien schotjes nodig zijn, zal dit eventueel nog ingevoerd dienen te worden via de knop 'Eigenschappen'.

In het invoerscherm kan ook een waarde worden ingegeven voor de verhouding tussen de kniklengte en de systeemplengte. Indien het profiel aan beiden zijden is ingeklemd geldt de waarde 0.5. Hiermee kan de waarde voor globaal plooien worden verhoogd.

De spreadsheet geldt **niet** voor alle profielen die in het pull-down menu zijn terug te vinden. Hij geldt voor de volgende profielen: HE-B; HE-A; HE-M; UNP; INP; IPE. Voor de ronde buizen en rechthoekige buizen is deze spreadsheet niet geschikt. Eventueel zou de profielen-bibliotheek aangevuld kunnen worden. De spreadsheet is geldig voor staalklasse S235, S275 en S355.

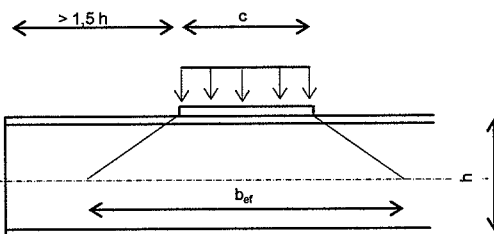
Doordat alle eigenschappen berekend worden met behulp van de profielafmetingen, kunnen zich marginale verschillen voordoen tussen de profielen uit het profielboekje en de berekende waarden. Dit heeft geen gevolgen voor de toetsing.

Bijlage B Spreadsheet en handberekening krachtsinleiding staalprofiel

Te controleren profiel HEB200 S 235

Eigenschappen

$E_s =$	210000	N/mm ²	elasticiteitsmodulus
$f_{y;fd} =$	235	N/mm ²	rekenwaarde vloeigrens van de liggerflens
$f_{y;wd} =$	235	N/mm ²	rekenwaarde vloeigrens van het liggerlijf
$t_f =$	15	mm	dikte van de flens
$t_w =$	9	mm	dikte van het lijf
$b_f =$	200	mm	breedte van de flens
$h =$	200	mm	hoogte profiel
$M_{y;pl} =$	150,9	kNm	capaciteit



Krachtenleidend oppervlak

$c =$	27	mm	oplegvlak
-------	----	----	-----------

Optredende krachten

$M_d =$	100	kNm
$F_d =$	250	kN

Vloeiën van het lijf

$\sigma_{y;fd} =$	155,7	N/mm ²	rekenwaarde langsspanning in de flens tgv belasting
$d_1 =$	106	mm	
$F_{u;1;d} =$	281	kN	

$$F_{u;1;d} = (c + d_1) * t_w * f_{y;d}$$

Lokaal plooiën van het lijf

factor	0,16	($c/(h-2t_f)$ mag niet groter zijn dan 0,2)
$F_{u;2;d} =$	449	kN

$$F_{u;2;d} = 0,5 * t_w^2 * \sqrt{E * f_{y;d}} * \left\{ \sqrt{\frac{t_f}{t_w}} + 3 \left(\frac{t_w}{t_f} \right) \left(\frac{c}{h - 2t_f} \right) \right\}$$

Globaal plooiën van het lijf

instabiliteitskromme		c
$b_{ef} =$	202	mm
$\alpha_k =$	0,49	
$\lambda_0 =$	0,2	
$l_{z;buc} =$	200	mm
$\lambda_z =$	76,6	($l_{z;buc}/i_z$)
$\lambda_e =$	93,9	
$\lambda_{rel} =$	0,8	
$\omega_{buc} =$	0,65	
$F_{u;3;d} =$	278	kN

$$F_{u;3;d} = \omega_{buc} t_w b_{ef} f_{y;d}$$

Controle krachtsinleiding

$F_{u;1;d} =$	281	kN			
$F_{u;2;d} =$	449	kN			
$F_{u;3;d} =$	278	kN			
$F_{u;d} =$	278	kN			
$F_{s;d} <$	$F_{u;d}$				voorwaarde 1
250	278				accord
$F_{s;d} / 1,5 * F_{u;2;d} +$	$M_{y;d} / 1,5 * M_{y;u;d}$				voorwaarde 2
0,37	0,44				accord

Schotjes

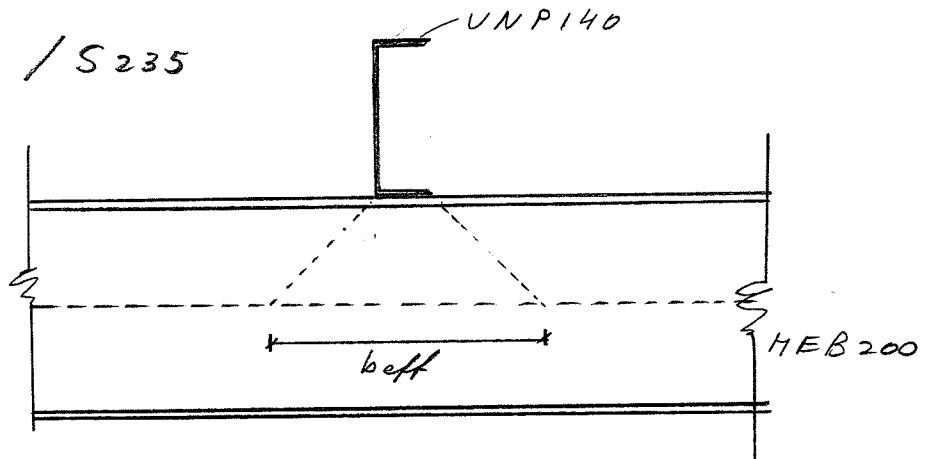
aantal =	0	(1-zijdig over breedte flens)	
$t_{min} =$	0	mm	minimale dikte schotje(s)
$t_{toegepast} =$	0	mm	toegepaste dikte schotje(s)

geen schotjes nodig

KRACHTS INLEIDING

A Uitgangspunten:

HEB 200 / S235



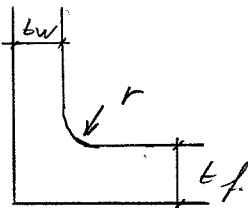
Op HE 200 B komt een UNP 140

Optredende krachten: $M_d = 100 \text{ kNm}$

$F_L = 250 \text{ kN}$

B Berekening:

$$c = t_w + r + b_f = 7.0 + 10.0 + 10.0 = 27.0 \text{ mm}$$



* vloeiën van het lijf

$$d_1 = 2 t_f \sqrt{\frac{b_f}{b_w}} \sqrt{\frac{f_y f_d}{f_y w d}} \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_{P;d}}{f_y f_d} \right)^2}$$

$$= 2 \times 15 \times \sqrt{\frac{200}{9}} \sqrt{\frac{235}{235}} \sqrt{1 - \left(\frac{100 \cdot 10^6}{642.5 \cdot 10^3 \cdot 235} \right)^2} =$$

105.96 mm

$$F_{u;1;d} = (c + d_1) t_w f_y f_d = (27 + 106) \times 9 \times 235 \times 10 = 281 \text{ kN}$$

get:	M. Sijke
datum:	1-5-2002
ordernr:	E351
bladnr:	1

* lokale plooiën van het lijf

$$\frac{c}{h-2t_f} = \frac{27}{200-2 \cdot 15} = 0,16 < 0,2$$

$$F_{u;2;d} = 0,5 A_w^2 \sqrt{E \cdot f_{y;d}} \left\{ \sqrt{\frac{A_k}{A_w}} + 3 \left(\frac{A_w}{A_k} \right) \left(\frac{c}{h-2t_f} \right) \right\} =$$

$$0,5 \times 9^2 \sqrt{2,1 \cdot 10^5 \times 235} \left\{ \sqrt{\frac{15^2}{9}} + 3 \left(\frac{9}{15} \right) \times 0,16 \right\} \cdot 10^{-3} =$$

$$448,6 \text{ kN}$$

* globale plooiën van het lijf

$$b_{\text{eff}} = \sqrt{h^2 + c^2} = \sqrt{200^2 + 27^2} = 201,8 \text{ mm}$$

$$l_{bu} = 200 \text{ mm}$$

knikkromme C

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \times 201,8 \times 9^3}{9 \times 200}} = 2,6097 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = \frac{l_z}{i_z} = \frac{l_{bu}}{i_z} = \frac{200}{2,61} = 76,64$$

$$\lambda_e = 93,91$$

$$\Rightarrow \lambda_{z; \text{rel}} = \frac{76,64}{93,91} = 0,8161 \Rightarrow \omega_{z; bu} = 0,650$$

$$\Rightarrow F_{u;3;d} = 0,650 \times 235 \times 9 \times 201,8 \times 10^{-3} = 277,58 \text{ kN}$$

kleinste waarde van $F_{u;d}$, $F_{u;d}$ en $F_{u;3;d} = 277,58 \text{ kN}$

get:	H. Sinke
datum:	1-5-2002
ordernr:	E351
bladnr:	2

$$\Rightarrow \frac{F_{sd}}{F_{ud}} = \frac{250}{277.58} < 1 \Rightarrow \sigma_{te}^-$$

$$\Rightarrow \frac{F_{sd}}{1.5 F_{uzd}} + \frac{M_{y;sd}}{1.5 M_{yud}} =$$

$$\frac{250 \times 10^3}{1.5 \times 448.6 \times 10^3} + \frac{100 \times 10^6}{1.5 \times 235 \times 642.5 \times 10^3} = 0.37 + 0.44 =$$

$$0.81 < 1 \Rightarrow \sigma_{te}^-$$

geen plaatsbeton nodig

get:	M. Smit
datum:	1-5-2002
ordernr:	E351
bladnr:	3

Bijlage C Spreadsheet en handberekening krachtsinleiding staalprofiel bij eindoplegging

Te controleren profiel HEB200 S 235

Eigenschappen

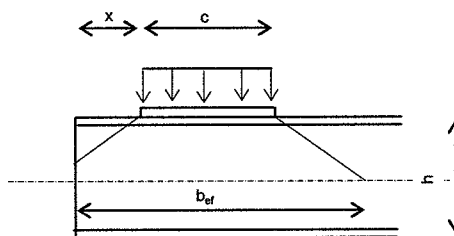
$E_s =$	210000	N/mm ²	elasticiteitsmodulus
$f_{y,f;d} =$	235	N/mm ²	rekenwaarde vloeigrens van de liggerflens
$f_{y,w;d} =$	235	N/mm ²	rekenwaarde vloeigrens van het liggerlijf
$t_f =$	15	mm	dikte van de flens
$t_w =$	9	mm	dikte van het lijf
$b_f =$	200	mm	breedte van de flens
$h =$	200	mm	hoogte profiel
$M_{y,pl} =$	150,9	kNm	capaciteit

Krachtenleidend oppervlak

$c =$	100	mm	oplegvlak
-------	-----	----	-----------

Optredende krachten (t.p.v. oplegging)

$M_d =$	100	kNm
$F_d =$	250	kN



Vloeien van het lijf

$\sigma_{y,f;d}$	155,7	N/mm ²	rekenwaarde langsspanning in de flens tgv belasting
$d_1 =$	53	mm	
$F_{u;1;d} =$	324	kN	

$$F_{u;1;d} = (c + d_1) * t_w * f_{y;d}$$

Lokaal plooiën van het lijf

factor	0,20	($c/(h-2t_f)$ mag niet groter zijn dan 0,2)
$F_{u;2;d} =$	117	kN

$$F_{u;2;d} = 0,125 * t_w^2 * \sqrt{E * f_{y;d}} * \left\{ \sqrt{\frac{t_f}{t_w}} + 3 \left(\frac{t_w}{t_f} \right) \left(\frac{c}{h - 2t_f} \right) \right\}$$

Globaal plooiën van het lijf

instabiliteitskromme		c	
$x =$	100	mm	niet groter dan $1/2 h$
$b_{ef} =$	262	mm	
$\alpha_k =$	0,49		
$\lambda_0 =$	0,2		
$l_{z,buc} =$	200	mm	
$\lambda_z =$	76,6	($l_{z,buc}/i_z$)	
$\lambda_e =$	93,9		
$\lambda_{rel} =$	0,8		
$\omega_{buc} =$	0,65		
$F_{u;3;d} =$	361	kN	

$$F_{u;3;d} = \omega_{buc} * t_w * b_{ef} * f_{y;d}$$

Controle krachtsinleiding

$F_{u;1;d} =$	324	kN
$F_{u;2;d} =$	117	kN
$F_{u;3;d} =$	361	kN
$F_{u;d} =$	117	kN

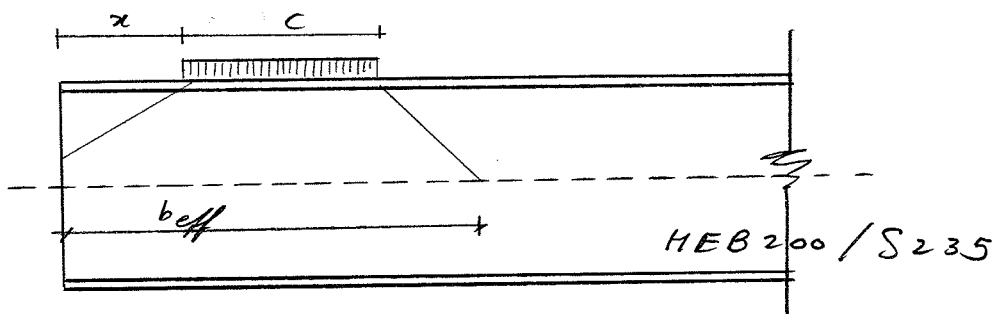
$F_{s;d} < F_{u;d}$				voorwaarde 1
250 > 117				niet accoord, schotjes plaatsen
$F_{s;d} / 1,5 * F_{u;2;d} < M_{y;d} / 1,5 * M_{y;u;d}$				voorwaarde 2
1,42 > 0,44				niet accoord, schotjes plaatsen

Schotjes

aantal =	2	(1-zijdig over breedte flens)	
$t_{min} =$	3	mm	minimale dikte schotje(s)
$t_{toegepast} =$	10	mm	toegepaste dikte schotje(s)
			accoord

Werkbeispiel bij eindopleggingen

A. Uitgangspunten:



$$c = 100 \text{ mm}$$

$$x = 100 \text{ mm}$$

$$M_d = 100 \text{ kNm}$$

$$F_d = 250 \text{ kN}$$

B. Berekening

* vloeiën lijf

$$d_i = t_f \sqrt{\frac{b_f}{t_w}} \sqrt{\frac{f_y \cdot f_{td}}{f_y \cdot w \cdot d}} \sqrt{1 - \left(\frac{v_f \cdot d}{f_y \cdot f_{td}}\right)^2}$$

$$= 15 \sqrt{\frac{200}{9}} \sqrt{\frac{235}{235}} \sqrt{1 - \left(\frac{100 \cdot 10^{-6}}{642,5 \cdot 10^3 \cdot 235}\right)^2} = 52,98 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow F_{u,d} = (c + d_i) b_w f_{yd}$$

$$= (100 + 52,98) \times 9 \times 235 \times 10^{-3} = 323,55 \text{ kN}$$

* lokaal plooiën van lijf

$$\frac{c}{h - 2t_f} = \frac{100}{200 - 2 \cdot 15} = 0,588 > 0,2 \Rightarrow \text{aanhouden: } 0,2$$

$$F_{u2,d} = 0,125 t_w^2 \sqrt{E f_{yd}} \left\{ \sqrt{\frac{t_f}{t_w}} + 3 \left(\frac{t_w}{t_f}\right) \left(\frac{c}{h - 2t_f}\right) \right\}$$

$$= 0,125 \times 9^2 \sqrt{21 \cdot 10^5 \times 235} \left\{ \sqrt{\frac{15}{9}} + 3 \left(\frac{9}{15}\right) 0,2 \right\} \times 10^{-3} =$$

$$117,43 \text{ kN}$$

get:	M. Senke
datum:	1-5-2002
ordernr:	E351
bladnr:	1

* globaal plooiën van het liif

$$b_{ef} = \frac{1}{2} \sqrt{h^2 + c^2} + r + \frac{c}{2}$$

$$= \frac{1}{2} \sqrt{200^2 + 100^2} + 100 + \frac{100}{2} = 261,00 \text{ mm} > \sqrt{200^2 + 100^2} =$$

$$223,61 \Rightarrow b_{ef} = 223,61 \text{ mm}$$

$$l_{y,buc} = 200 \text{ mm}$$

$$i_2 = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{t_2 \times 223,61 \times 9^3}{223,61 \times 9}} = 2,60 \text{ mm}$$

$$\lambda_2 = \frac{l_{buc}}{i_y} = \frac{200}{2,60} = 76,90 \Rightarrow \lambda_{zul} = 0,020$$

$$\lambda_e = 93,91$$

krumme c: $\omega_{buc} = 0,648$

$$\Rightarrow N_{u3d} = \omega_{buc} \times 235 \times 223,61 \times 9 \times 10^{-3} = 306,54 \text{ kN}$$

Kleinste waarde van N_{u1d} , N_{u2d} en $N_{u3d} = 117,43 \text{ kN}$

$$\Rightarrow \frac{F_{sd}}{F_{ud}} = \frac{250}{117,4} = 2,13 > 1 \Rightarrow \text{niet akkoord}$$

$$\Rightarrow \frac{F_{sd}}{1,5 F_{ud}} + \frac{M_{sd}}{1,5 M_{ud}} = \frac{250 \cdot 10^3}{1,5 \times 117,43 \cdot 10^3} + \frac{100 \times 10^6}{1,5 \times 235 \times 642,5 \cdot 10^3} =$$

$$1,86 > 1 \Rightarrow \text{niet akkoord} \Rightarrow \text{rikhofjes toevoegen}$$

* dikte rikhofjes

Door HEB 200 kan maximaal 117 kN worden opgenomen.

Het overige door de rikhofjes op laten nemen

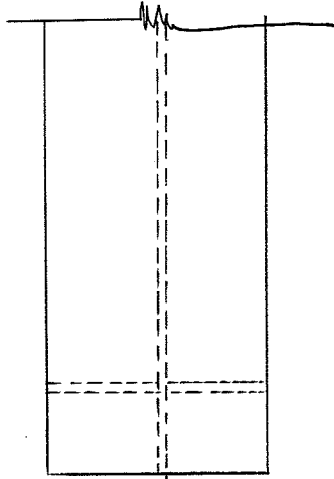
\Rightarrow minimale dikte rikhofjes:

get:	M. Sinke
datum:	1-5-2002
ordernr:	E351
bladnr:	2

$$\frac{(F_{sd} \cdot 10^3 - F_{ud} \cdot 10^3)}{f_{yd} \cdot (b_f - t_w)} = \frac{(250 \cdot 10^3 - 117.43 \cdot 10^3)}{235 \cdot (200 - 9)} =$$

2.95 mm \rightarrow 3.0 mm

Om praktische redenen schotje van 10 mm toevoegen.



get:	M. Sinke
datum:	1-5-2002
ordernr:	E351
bladnr:	3