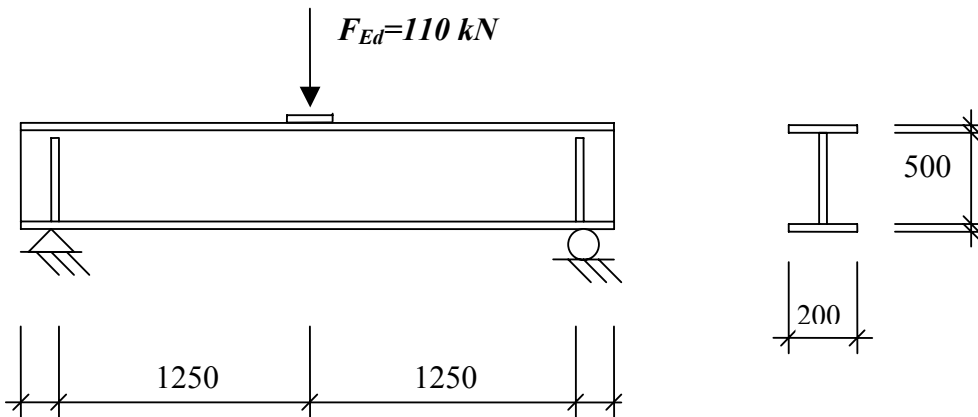


Affaire n°	Page	1 sur 6	Rév	B
Nom Affaire	Projet de Valorisation CECA : Utilisation de l'Inox			
Sujet	Exemple 8 – Résistance aux charges transversales concentrées			
Client CECA	Rédigé par	AO	Date	Juin 2002
	Vérifié par	AT	Date	Oct. 2002
	Révisé par	MEB	Date	Avril 2006

EXEMPLE DE CALCUL N°8 – RÉSISTANCE AUX CHARGES TRANSVERSALES CONCENTRÉES

Dans le cadre de travaux de réhabilitation, une poutre existante, conçue initialement pour résister à une charge uniformément répartie, est maintenant soumise à une charge transversale concentrée. Vérifier si la poutre est capable de résister à ce nouveau chargement appliqué par l'intermédiaire d'une plaque de 12 mm d'épaisseur. La poutre, à section en I, est simplement appuyée. La portée entre appuis est définie sur la figure ci-dessous. La semelle supérieure est maintenue au déversement.



Le matériau est un acier inoxydable de nuance 1.4462, laminé à chaud.

$$f_y = 460 \text{ MPa}$$

$$E = 200\,000 \text{ MPa}$$

Semelles : $12 \times 200 \text{ mm}^2$

Âme: $4 \times 500 \text{ mm}^2$

Raidisseurs: $12 \times 98 \text{ mm}^2$

Épaisseur de gorge de soudure : 4 mm

Analyse structurale

Valeurs maximales de l'effort tranchant et du moment fléchissant :

$$V_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{2} = \frac{110}{2} = 55 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}L}{4} = \frac{110 \times 2,5}{4} = 68,75 \text{ kN.m}$$


Coefficients partiels

$$\gamma_{M0} = 1,1$$

$$\gamma_{M1} = 1,1$$

Tableau 3.1
§ 3.2.4

Tableau 2.1

 Department of Civil and Mining Engineering Division of Steel Structures, University campus, SE-971 87 Luleå, Sweden Tel: +46 920 91 000 Fax: +46 920 91 913 FEUILLE DE CALCUL	Affaire n°	Page	2 sur 6	Rév	B
	Nom Affaire Projet de Valorisation CECA : Utilisation de l'Inox				
	Sujet Exemple 8 – Résistance aux charges transversales concentrées				
	Client	Rédigé par	AO	Date	Juin 2002
CECA	Véifié par	AT	Date	Oct. 2002	
	Révisé par	MEB	Date	Avril 2006	

Classification de la section transversale

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{460}} = 0,698$$

Âme fléchée

$$\frac{c}{t\varepsilon} = \frac{500 - 2 \times \sqrt{2} \times 4}{4 \times 0,698} = 175 > 74,8, \text{ par conséquent l'âme est de Classe 4}$$

Semelle comprimée

$$\frac{c}{t\varepsilon} = \frac{200 - 4 - 2 \times \sqrt{2} \times 4}{2 \times 12 \times 0,698} = 11,0 \leq 11,0, \text{ la semelle comprimée est donc de Classe 3}$$

Par conséquent, la section transversale est de Classe 4.

Résistance à la charge transversale concentrée

Il convient que la charge de calcul ne dépasse pas la résistance de calcul, c'est-à-dire :

$$F_{Rd} = f_{yw} L_{eff} t / \gamma_{M1}$$

La longueur de résistance efficace L_{eff} est donnée par :

$$L_{eff} = \chi_F l_y$$

où le coefficient de réduction est :

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} \leq 1,0$$

avec un élancement réduit défini par :

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}}$$

La longueur chargée efficace est donnée par :

$$l_y = s_s + 2t_f (1 + \sqrt{m_1 + m_2})$$

où :

s_s est la longueur d'appui rigide et m_1 et m_2 sont des paramètres adimensionnels.

$$m_1 = \frac{f_{yf} b_f}{f_{yw} t_w}$$

$$m_2 = 0,02 \left(\frac{h_w}{t_f} \right)^2 \quad \text{pour } \bar{\lambda}_F > 0,5$$

$$m_2 = 0 \quad \text{pour } \bar{\lambda}_F \leq 0,5$$

Pour se placer en sécurité, s_s est pris égal à deux fois l'épaisseur de la plaque transmettant l'effort transversal, c'est-à-dire 24 mm.

§ 4.3

Tableau 4.2

Tableau 4.2

Tableau 4.2

§ 5.4.4

Éq. 5.24

Éq. 5.32


Éq. 5.33

Éq. 5.27


Éq. 5.25

Éq. 5.26a

Éq. 5.26b

 <p>Department of Civil and Mining Engineering Division of Steel Structures, University campus, SE-971 87 Luleå, Sweden Tel: +46 920 91 000 Fax: +46 920 91 913</p> <p>FEUILLE DE CALCUL</p>	Affaire n°	Page	3 sur 6	Rév B
	Nom Affaire Projet de Valorisation CECA : Utilisation de l'Inox			
	Sujet Exemple 8 – Résistance aux charges transversales concentrées			
	Client	Rédigé par	AO	Date
CECA	Vérfié par	AT	Date	Oct. 2002
	Révisé par	MEB	Date	Avril 2006

$m_1 = \frac{460 \times 200}{460 \times 4} = 50$	Éq. 5.25
$m_2 = 0,02 \times \left[\frac{500}{12} \right]^2 = 34,72, \text{ en supposant que } \bar{\lambda}_F > 0,5$	Éq. 5.26a
$l_y = 24 + 2 \times 12 \times \left[1 + \sqrt{50 + 34,72} \right] = 268,90 \text{ mm}$	Éq. 5.27
<p>La charge critique est obtenue par :</p> $F_{cr} = 0,9 k_F E \frac{I_w^3}{h_w}$	Éq. 5.34
<p>où le coefficient de flambement dépend du type de chargement (ici type a).</p>	Figure 5.4
$k_f = 6 + 2 \left[\frac{h_w}{a} \right]^2$ $= 6 + 2 \times \left[\frac{500}{2500} \right]^2 = 6,08$	
$F_{cr} = 0,9 \times 6,08 \times 200000 \times \frac{4^3}{500} = 140,08 \text{ kN}$	
$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{268,90 \times 4 \times 460}{140,08 \times 10^3}} = 1,88 > 0,5, \text{ l'hypothèse est vérifiée.}$	Éq. 5.33
$\chi_F = \frac{0,5}{1,88} = 0,266 \leq 1,0, \text{ OK}$	Éq. 5.32
$L_{eff} = 0,266 \times 268,90 = 71,53 \text{ mm}$	
$F_{Ed} = 110 \leq 460 \times 71,53 \times 4 / (1,1 \times 10^3) = 119,65 \text{ kN}$	
<p>La résistance est donc supérieure à la charge.</p>	
<p>Interaction entre la charge concentrée et le moment fléchissant</p> <p>L'interaction entre la charge concentrée et le moment fléchissant est vérifiée conformément à la prEN 1993-1-5:2004.</p>	
$0,8 \times \eta_1 + \eta_2 \leq 1,4$	prEN 1993-1-5, Éq. 7.2
<p>où :</p> $\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} e_N}{f_y W_{eff} / \gamma_{M0}} \leq 1,0$	prEN 1993-1-5, Éq. 4.14

 Department of Civil and Mining Engineering Division of Steel Structures, University campus, SE-971 87 Luleå, Sweden Tel: +46 920 91 000 Fax: +46 920 91 913 FEUILLE DE CALCUL	Affaire n°	Page	4 sur 6	Rév B
	Nom Affaire Projet de Valorisation CECA : Utilisation de l'Inox			
	Sujet Exemple 8 – Résistance aux charges transversales concentrées			
	Client	Rédigé par	AO	Date
CECA	Vérfié par	AT	Date	Oct. 2002
	Révisé par	MEB	Date	Avril 2006

$$\eta_2 = \frac{F_{Ed}}{f_{yw} L_{eff} t / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

prEN 1993-1-5, Éq. 6.14

Calcul des propriétés de la section efficace.

Les semelles sont de Classe 3 et donc pleinement efficaces.

L'âme doit être réduite par le coefficient de réduction ρ , pour une âme soudée.

$$\rho = \frac{0,772}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,125}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1$$

Éq. 4.1a

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} \quad \text{où : } b = d = 500 - 2 \times 4 \times \sqrt{2} = 488,68 \text{ mm}$$

Éq. 4.2

En supposant une distribution linéaire de contraintes sur la hauteur de l'âme et des valeurs opposées dans les fibres extrêmes,

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = -1$$

$$\Rightarrow k_\sigma = 23,9$$

Tableau 4.3

$$\bar{\lambda}_p = \frac{488,68/4}{28,4 \times 0,698 \times \sqrt{23,9}} = 1,26$$

$$\rho = \frac{0,772}{1,26} - \frac{0,125}{1,26^2} = 0,534 \leq 1$$

$$b_{eff} = \rho b_e = \rho \bar{b} / (1 - \psi) = 0,534 \times 488,68 / (1 - (-1)) = 130,48$$

Tableau 4.3

$$b_{e1} = 0,4b_{eff} = 0,4 \times 130,48 = 52,19 \text{ mm}$$

Tableau 4.3


$$b_{e2} = 0,6b_{eff} = 0,6 \times 130,48 = 78,29 \text{ mm}$$

Calcul du module de section efficace en flexion.

e_i est compté positif vers le bas, à partir du centre de gravité de la semelle supérieure.

$$A_{eff} = \sum_i A_i = b_f t_f \times 2 + b_{e1} t_w + b_{e2} t_w + (h_w / 2) t_w = 6321,92 \text{ mm}^2$$

$$e_{eff} = \frac{1}{A_{eff}} \sum_i A_i e_i = \frac{1}{A_{eff}} [b_f t_f (0) + b_f t_f (h_w + t_f)] + [b_{e1} t_w (0,5(b_{e1} + t_f)) + b_{e2} t_w (0,5(h_w + t_f) - b_{e2} / 2) + (h_w / 2) t_w (0,75h_w + 0,5t_f)] = 266,44 \text{ mm}$$

 Department of Civil and Mining Engineering Division of Steel Structures, University campus, SE-971 87 Luleå, Sweden Tel: +46 920 91 000 Fax: +46 920 91 913 FEUILLE DE CALCUL	Affaire n°	Page	5 sur 6	Rév	B
	Nom Affaire Projet de Valorisation CECA : Utilisation de l'Inox				
	Sujet Exemple 8 – Résistance aux charges transversales concentrées				
	Client	Rédigé par	AO	Date	Juin 2002
CECA	Véifié par	AT	Date	Oct. 2002	
	Révisé par	MEB	Date	Avril 2006	

$$I_{\text{eff}} = \sum_i I_i + \sum_i A_i (e_{\text{eff}} - e_i)^2 = 2 \times \frac{b_f t_f^3}{12} + \frac{t_w b_{e1}^3}{12} + \frac{t_w b_{e2}^3}{12} + \frac{t_w (h_w / 2)^3}{12} + b_f t_f (e_{\text{eff}} - 0)^2 + b_f t_f [e_{\text{eff}} - (h_w + t_f)]^2 + b_{e1} t_w [e_{\text{eff}} - 0,5(b_{e1} + t_f)]^2 + b_{e2} t_w [e_{\text{eff}} - 0,5(h_w + t_f + b_{e2})]^2 + (h_w / 2) t_w [e_{\text{eff}} - (0,75 h_w + 0,5 t_f)]^2$$

$$= 3,459 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$W_{\text{eff}} = \frac{I_{\text{eff}}}{e_{\text{eff}} + 0,5 t_f} = 1,270 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\eta_1 = \frac{68,75 \times 10^6}{460 \times 1,270 \times 10^6 / 1,1} = 0,129$$

$$\eta_2 = \frac{110}{119,63} = 0,920$$

$$0,8 \times \eta_1 + \eta_2 = 0,8 \times 0,129 + 0,920 = 1,023 < 1,4$$

La résistance de la poutre pour l'interaction entre la charge concentrée et le moment fléchissant est donc satisfaisante.

Résistance au cisaillement

§ 5.4.3

Pour des âmes non raidies, la vérification de la résistance au voilement par cisaillement est

requis lorsque $h_w / t_w \geq \frac{52}{\eta} \varepsilon$.

$$h_w / t_w = \frac{500}{4} = 125 \geq \frac{52}{1,2} \times 0,698 = 30,2$$

La résistance au voilement par cisaillement doit donc être vérifiée. Elle est obtenue par :

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t_w}{\sqrt{3} \gamma_{M1}}$$

Éq. 5.12a

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w f_{yw} h_w t_w}{\gamma_{M1} \sqrt{3}}$$

Éq. 5.12b

$$\chi_w = \eta = 1,2 \quad \text{pour } \bar{\lambda}_w \leq 0,60 / \eta = 0,5$$

Éq. 5.13a


$$\chi_w = 0,11 + \frac{0,64}{\bar{\lambda}_w} - \frac{0,05}{\bar{\lambda}_w^2} \quad \text{pour } \bar{\lambda}_w > 0,50$$

Éq. 5.13b

$$\bar{\lambda}_w = \left(\frac{h_w}{86,4 t_w \varepsilon} \right) = \left(\frac{500}{86,4 \times 4 \times 0,698} \right) = 2,072 > 0,5$$

Éq. 5.14

$$\chi_w = 0,11 + \frac{0,64}{2,072} - \frac{0,05}{2,072^2} = 0,407$$

 Department of Civil and Mining Engineering Division of Steel Structures, University campus, SE-971 87 Luleå, Sweden Tel: +46 920 91 000 Fax: +46 920 91 913 FEUILLE DE CALCUL	Affaire n°	Page	6 sur 6	Rév	B
	Nom Affaire Projet de Valorisation CECA : Utilisation de l'Inox				
	Sujet Exemple 8 – Résistance aux charges transversales concentrées				
	Client	Rédigé par	AO	Date	Juin 2002
CECA	Vérfié par	AT	Date	Oct. 2002	
	Révisé par	MEB	Date	Avril 2006	

On peut prendre en compte la contribution due aux semelles si celles-ci ne sont pas entièrement mobilisées pour équilibrer le moment fléchissant. Cependant, cette contribution est faible et ici, on se place en sécurité en la négligeant, c'est-à-dire que :

$$V_{bf,Rd} = 0.$$

La résistance au voilement par cisaillement peut être calculée par :

$$V_{bw,Rd} = \frac{0,407 \times 460 \times 500 \times 4}{1,1 \times \sqrt{3}} = 196,53 \text{ kN} > V_{Ed} = 55 \text{ kN}$$

La résistance de la poutre au cisaillement est donc satisfaisante.

Interaction cisaillement et flexion

Si $\bar{\eta}_3$ est supérieur à 0,5, il convient de minorer la résistance au moment fléchissant et à l'effort axial pour prendre en compte l'influence de l'effort tranchant.

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} \leq 1,0$$

$$= \frac{55}{196,53} = 0,280 \leq 0,5, \text{ donc l'interaction n'a pas à être considérée.}$$

Éq. 5.23

Remarque finale

La résistance de la poutre excède la charge imposée. A noter que les raidisseurs verticaux au droit des supports n'ont pas été vérifiés. Il conviendrait de le faire conformément à la procédure explicitée dans l'Exemple de calcul n° 7.