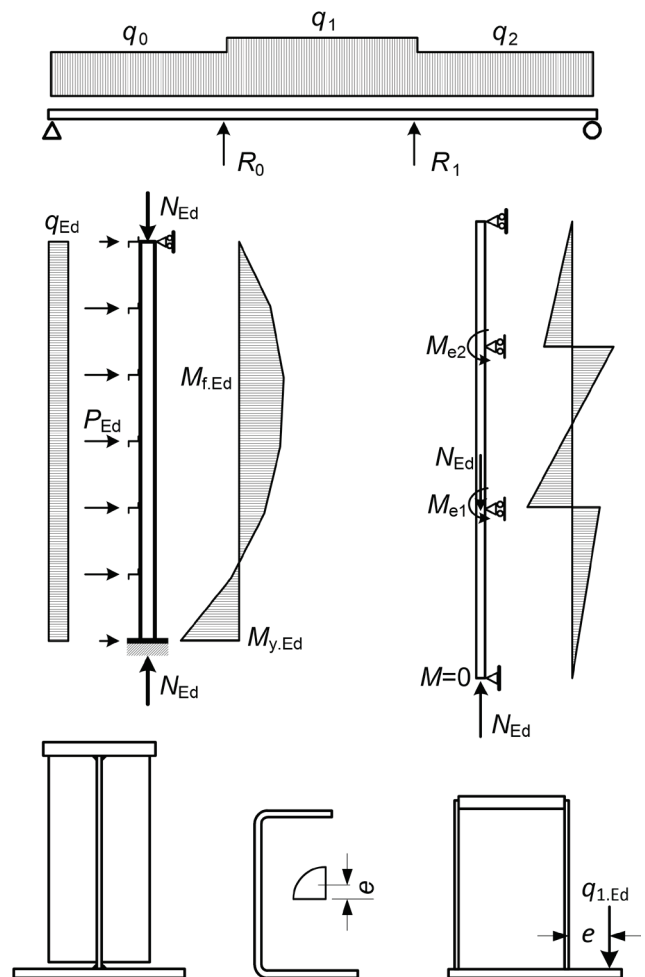




Beräkningsexempel Stålbyggnad

Torsten Höglund och
Bo-Gert "Lurvas" Lundgren



Stålbyggnadsinstitutet är ett fristående industriforskningsinstitut som finansieras av dess cirka 140 medlemsföretag, och genom projektbidrag från svenska och internationella forskningsfonder. Stålbyggnadsinstitutet bedriver forskning och utveckling samt informerar och vidareutbildar kring användandet av stål i byggnadskonstruktioner.

Denna skrift är framtagen utifrån allmänna förutsättningar och utan hänsyn till de särskilda förhållanden, som kan föreligga i ett enskilt fall. Utgivare och författare påtar sig inte något ansvar för eventuella skador som, direkt eller indirekt, kan uppstå till följd av tillämpning av rapporten.



ISBN 91 7127 075 2
© Stålbyggnadsinstitutet, Stockholm

Stålbyggnadsinstitutet
Box 1721
111 87 Stockholm

Författare: Torsten Höglund och Bo-Gert "Lurvas" Lundgren
Omslag: Hanna Lagerqvist
Tryck: Ågrenshuset

Publikation 200

Förord

Föreliggande beräkningsexempel är baserade på samlade erfarenheter från uppförda byggnader. Beräkningsexemplen svarar på vanligt förekommande frågeställningar om hur eurokoder och andra standarder ska tillämpas. Syftet med beräkningsexemplen är att belysa och vägleda konstruktörer, stålbyggare och andra intresserade i dessa vanligt förekommande situationer. På så sätt kan mycket erfarenhet tillgodogöras och rena felaktigheter undvikas.

Beräkningssamlingen består av 31 fristående exempel samt en del vägledning kring tankesätt och antaganden som är nödvändiga. Exemplen är utarbetade i Mathcad 15, vilket är ett vanligt förekommande program i branschen med ett programmeringsspråk som är förhållandevis intuitivt.

Beräkningssamlingen är utarbetad av professor emeritus Torsten Höglund, KTH. Exemplen är utvalda och granskade av Bo-Gert "Lurvas" Lundgren, Stålbyggnadsteknik.

Beräkningsexempel Stålbyggnad

Nr.	Typ av exempel	Sida
1	Ostagad fasadpelare, ledad, vindtryck	1
2	Ostagad fasadpelare, ledad, vindsug	11
3	Ostagad fasadpelare, inspänd fot	19
4	Ostagad fasadpelare, konsol	27
5	Fasadpelare, ledad, vindtryck, stagad tryckt fläns	41
6	Fasadpelare, ledad, vindsug, stagad dragen fläns	51
7	Fasadpelare, konsol, fördelad last	59
8	Fasadpelare, inspänd, koncentrerade laster	74
9	Fasadpelare med skärmtak	82
10	Kontinuerlig pelare, koncentrerade moment, knäckning i styva riktningen	94
11	Kontinuerlig pelare, koncentrerade moment, knäckning i veka riktningen	104
12	Kontinuerlig pelare, koncentrerade moment, RHS	110
13	I-tvärsnitt	117
14	I-tvärsnitt profilerat liv	124
15	Hattbalk	130
16	Förstärkt hattbalk	142
17	T-tvärsnitt neutrala lagret i livet	151
18	T-tvärsnitt neutrala lagret i flänsen	156
19	T-tvärsnitt, konsol	159
20	Kontinuerlig I-balk, stagad överfläns	164
21	Fyrkantrör, tvärsnittsstorheter	176
22	Kantbalk, kallformat U-tvärsnitt	177
23	Kantbalk, kontinuerlig, kallformat U-tvärsnitt	184
24	Ostagad kontinuerlig, osymmetrisk I-balk	194
25	Kantbalk vid gjutning mm	205
26	RHS, excentrisk last	215
27	Brobalk vid gjutning	221
28	Gavelbalk vid skivverkan	233
29	Bjälklagsbalk med lastberäkning	243
30	Hattbalk vid band	251
31	Stagning med sandwichpaneler	256

Vissa operatörer och beteckningar som används i exemplen förklaras nedan.

$$x := 50.6 \cdot mm$$

Tilldela värde

$$x + y = 53.1 \cdot mm$$

Beräkningsresultat

$$y \equiv 2.5 \cdot mm$$

Global tilldelning (kan tilldelas efter att en variabel används, t.ex. i $x + y$ strax ovanför)

$$a = b$$

Boolskt lika med

$$0.5$$

Decimal punkt måste användas

$$c := (1 \ 3 \ 2)$$

Radvektor

$$\overrightarrow{(c \cdot d)}$$

Vektorisera dvs utföra räkneoperationen term för term

$$\text{Exempel: } d := (2 \ 4 \ 3) \quad a := \overrightarrow{(c \cdot d)} \quad \text{ger} \quad a = (2 \ 12 \ 6)$$

$$g := \begin{pmatrix} 1 & 8 & 2 \\ 3 & 4 & 7 \\ 5 & 6 & 9 \end{pmatrix}$$

Matris

$$c^T$$

Transponat, dvs rader och kolumner byter plats

$$\text{Exempel: } c^T = \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \\ 2 \end{pmatrix} \quad g^T = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 8 & 4 & 6 \\ 2 & 7 & 9 \end{pmatrix}$$

$$A_{ef}$$

Beteckning (ef är inte ett index utan en del av variabelbeteckningen)

$$A_i \ A_1$$

Index i och 1

$$\text{Exempel: } g_{1,2} = 7$$

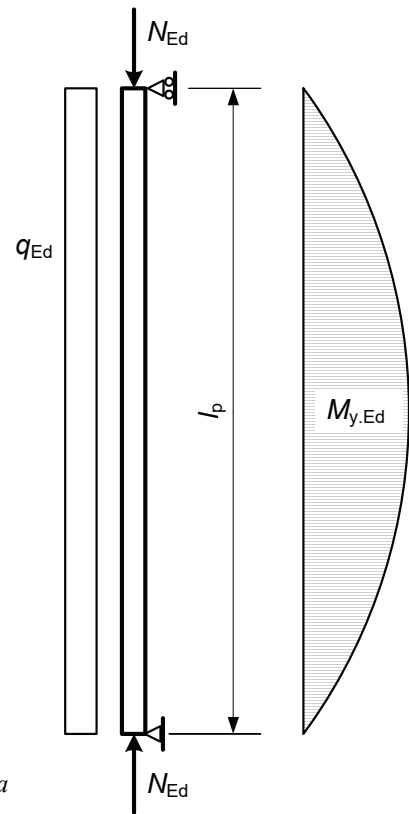
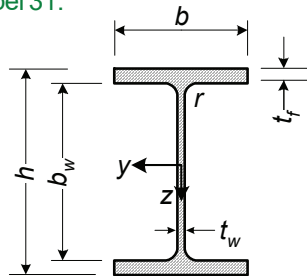
Böjd och tryckt ostagad pelare med leder i båda ändar

Jämnt fördelad last

Pelaren är belastad med jämnt fördelad last från sandwichelement som inte antas sidostaga eller vridförhindra pelaren. Det finns också möjlighet att utnyttja stagning från sandwichelementen. Se [European Recommendations on the Stabilization of Steel Structures by Sandwich Panels. ECCS publication No 135, 2014](#). Se även [SBI Publikation Stabilisering av pelare med sandwichpaneler - Riktlinjer för praktisk dimensionering. För beräkning med båda metoderna, se exempel 31.](#)

Böjvridknäckning := "J"

"J" eftersom böjvridknäckning mellan upplagen ska kontrolleras.



Dimensioner och materialegenskaper

Balk := "HEB300"

Tvärsnittshöjd:	$h := 300 \cdot \text{mm}$
Flänsbredd:	$b := 300 \cdot \text{mm}$
Livtjocklek:	$t_w := 11 \cdot \text{mm}$
Flänstjocklek:	$t_f := 19 \cdot \text{mm}$
Innerradie:	$r := 27 \cdot \text{mm}$
Pelarlängd:	$l_p := 7200 \cdot \text{mm}$
Pelaravstånd:	$c_p := 6000 \cdot \text{mm}$

Stål: **S355**

$$f_y := \begin{pmatrix} 355 & \text{if } t_f \leq 16 \cdot \text{mm} \\ 345 & \text{otherwise} \end{pmatrix} \cdot \text{MPa} = 345 \cdot \text{MPa}$$

$$f_u := \begin{pmatrix} 450 & \text{if } t_f \leq 16 \cdot \text{mm} \\ 450 & \text{otherwise} \end{pmatrix} \cdot \text{MPa} = 450 \cdot \text{MPa}$$

Elasticitets och skjuvmodul $E := 210000 \cdot \text{MPa}$ $G := 81000 \cdot \text{MPa}$

Partialkoefficienter: $\gamma_{M1} \equiv 1.0$ $\gamma_{M0} \equiv 1.0$ $\gamma_{M2} := \min\left(0.9 \cdot \frac{f_u}{f_y}, 1.1\right) = 1.1$

Liv höjd: $b_w := h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 208 \cdot \text{mm}$

Moment och krafter

Normalkraft (tryck) $N_{Ed} := 2000 \cdot \text{kN}$ (t ex taklast)

Fördelad last, tryck $q_{Ed} := 1.2 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$ (t ex av vindtryck och inre sug)

Maximalt moment $M_{y,Ed} := \frac{q_{Ed} \cdot c_p \cdot l_p^2}{8} = 46.7 \cdot \text{kNm}$

Moment i veka riktingen $M_{z,Ed} := 0 \cdot \text{kNm}$

S.I. enheter: $\text{kN} \equiv 1000 \cdot \text{newton}$ $\text{kNm} \equiv \text{kN} \cdot \text{m}$ $\text{MPa} \equiv 1000000 \cdot \text{Pa}$

Referenser [1] SS-EN 1993-1-1 [2] SS-EN 1999-1-1 [3] SS-EN 1993-1-3

Tvärsnittsklass

Normalkraft

[1] Tabell 5.2

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \cdot \text{MPa}}{f_y}}$$

fläns

$$\beta_f := \frac{b - t_w - 2 \cdot r}{2 \cdot t_f} \quad \beta_f = 6.184$$

$$\beta_{1f} := 9 \cdot \varepsilon \quad \beta_{1f} = 7.428$$

$$\beta_{2f} := 10 \cdot \varepsilon \quad \beta_{2f} = 8.253$$

$$\beta_{3f} := 14 \cdot \varepsilon \quad \beta_{3f} = 11.55$$

liv

$$\beta_w := \frac{b_w}{t_w} \quad \beta_w = 18.9$$

$$\beta_{1w} := 33 \cdot \varepsilon \quad \beta_{1w} = 27.2$$

$$\beta_{2w} := 38 \cdot \varepsilon \quad \beta_{2w} = 31.4$$

$$\beta_{3w} := 42 \cdot \varepsilon \quad \beta_{3w} = 34.7$$

$$klass_f := \text{if}(\beta_f > \beta_{1f}, \text{if}(\beta_f > \beta_{2f}, \text{if}(\beta_f > \beta_{3f}, 4, 3), 2), 1)$$

$$klass_w := \text{if}(\beta_w > \beta_{1w}, \text{if}(\beta_w > \beta_{2w}, \text{if}(\beta_w > \beta_{3w}, 4, 3), 2), 1)$$

$$klass_c := \text{if}(klass_f < klass_w, klass_w, klass_f)$$

$$klass_f = 1 \quad (\text{fläns})$$

$$klass_w = 1 \quad (\text{liv})$$

$$klass_c = 1 \quad (\text{tryckkraft})$$

[3] 6.1.4.1

För interpolering vid klass 3 fläns

$$\lambda \lambda_{e0} = \frac{\lambda_e}{\lambda_{e0}} = \frac{\beta_f}{\beta_{3f}} \quad \lambda_c \lambda_{e0} := \frac{\beta_f}{\beta_{3f}}$$

$$\lambda_c \lambda_{e0} = 0.535$$

Böjning kring y-axeln

$$\beta_{1w} := 72 \cdot \varepsilon \quad \beta_{2w} := 83 \cdot \varepsilon$$

$$\beta_{1w} = 59.42 \quad \beta_{2w} = 68.5$$

$$klass_w := \text{if}(\beta_w > \beta_{1w}, \text{if}(\beta_w > \beta_{2w}, \text{if}(\beta_w > \beta_{3w}, 4, 3), 2), 1)$$

$$klass_y := \text{if}(klass_f < klass_w, klass_w, klass_f)$$

$$\beta_{3w} := 124 \cdot \varepsilon$$

$$\beta_{3w} = 102.3$$

$$klass_w = 1 \quad (\text{liv})$$

$$klass_y = 1 \quad (\text{y-axeln})$$

[3] 6.1.4.1

För klass 3 fläns

$$\lambda \lambda_{e0} = \frac{\lambda_e}{\lambda_{e0}} = \frac{\beta_f}{\beta_{3f}} \quad \lambda_y \lambda_{e0} := \frac{\beta_f}{\beta_{3f}}$$

$$\lambda_y \lambda_{e0} = 0.535$$

Böjning kring z-axeln

$$\beta_{1f} := 9 \cdot \varepsilon \quad \beta_{2f} := 10 \cdot \varepsilon$$

$$\beta_{1f} = 7.428 \quad \beta_{2f} = 8.253$$

$$klass_z := \text{if}(\beta_f > \beta_{1f}, \text{if}(\beta_f > \beta_{2f}, \text{if}(\beta_f > \beta_{3f}, 4, 3), 2), 1)$$

$$\beta_{3f} := 21 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{1.7}$$

$$\beta_{3f} = 22.6$$

$$klass_z = 1 \quad (\text{z-axeln})$$

[3] 6.1.4.1

För klass 3 fläns

$$\lambda \lambda_{e0} = \frac{\lambda_e}{\lambda_{e0}} = \frac{\beta_f}{\beta_{3f}} \quad \lambda_z \lambda_{e0} := \frac{\beta_f}{\beta_{3f}}$$

$$\lambda_z \lambda_{e0} = 0.274$$

Bärförmåga, böjning kring y-axeln

Böjmotstånd för bruttotvärsnittet W_{ej} :

$$I_y := \frac{1}{12} \cdot [b \cdot h^3 - (b - t_w) \cdot (h - 2 \cdot t_f)^3]$$

$$I_y := I_y + 2 \cdot r^2 \cdot \left[\frac{r^2}{6} + 2 \cdot \left(\frac{h}{2} - t_f - \frac{r}{2} \right)^2 - \frac{\pi \cdot r^2}{8} \cdot \left(1 - \frac{64}{9 \cdot \pi^2} \right) \right]$$

$$I_y := I_y - 2 \cdot r^2 \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \left[\frac{h}{2} - t_f - r \cdot \left(1 - \frac{4}{3 \cdot \pi} \right) \right]^2$$

$$I_y = 2.517 \times 10^8 \cdot \text{mm}^4$$

$$W_{el,y} := \frac{I_y \cdot 2}{r} \quad h_t := h - t_f$$

$$W_{el,y} = 1.678 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$$

$$W_{pl,y} := b \cdot t_f \cdot h_t + \frac{t_w \cdot (h - 2 \cdot t_f)^2}{4} + 2 \cdot r^2 \cdot (h - 2 \cdot t_f - r) - \pi \cdot r^2 \cdot \left[h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r \cdot \left(1 - \frac{4}{3 \cdot \pi} \right) \right] \cdot \frac{1}{2}$$

Area

$$A := b \cdot h - (b - t_w) \cdot (h - 2 \cdot t_f) + r^2 \cdot (4 - \pi)$$

$$A = 14908 \cdot \text{mm}^2$$

Tvärsnittsklass 1 och 2

$$M_{pl,y,Rd} := W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 645 \cdot kNm$$

$$N_{pl,Rd} := A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 5143 \cdot kN$$

$$[1] 6.2.9.1 \quad n := \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = 0.389 \quad a := \frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} = 0.235$$

$$M_{N,y,Rd} := M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0.2 \cdot a} = 413 \cdot kNm$$

Tvärsnittsklass 3

[3] 6.1.4.1 Formfaktor α för klass 3 fläns

$$\alpha_y := 1 + \left(1 - \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}\right) \cdot 4 \cdot (1 - \lambda_y \lambda_{e0})$$

$$W_{pl,y} = 1.869 \times 10^6 \cdot mm^3$$

$$\alpha_y = 1.190$$

$$\alpha_y := \text{if} \left(\alpha_y > \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}}, \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}}, \alpha_y \right)$$

$$\alpha_y = 1.114$$

Bärförmåga för böjning kring y-axeln

$$M_{y,Rd} := \frac{f_y \cdot \alpha_y \cdot W_{el,y}}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{y,Rd} = 644.7 \cdot kNm$$

Bärförmåga, böjning kring z-axeln

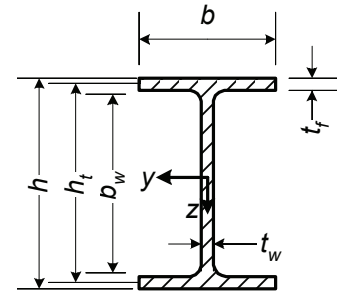
Elastiskt och plastiskt böjmotstånd för bruttotvärsnittet

$$I_z := \frac{1}{12} \cdot (2 \cdot t_f \cdot b^3 + b_w \cdot t_w^3)$$

$$I_z := I_z + 2 \cdot r^2 \cdot \left[\frac{r^2}{6} + 2 \cdot \left(\frac{t_w}{2} + \frac{r}{2} \right)^2 - \pi \cdot \frac{r^2}{8} \cdot \left(1 - \frac{64}{9 \cdot \pi^2} \right) \right]$$

$$I_z := I_z - 2 \cdot r^2 \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \left[\frac{t_w}{2} + r \cdot \left(1 - \frac{4}{3 \cdot \pi} \right) \right]^2$$

$$W_{el,z} := \frac{I_z \cdot 2}{b}$$



$$I_z = 8.562 \times 10^7 \cdot mm^4$$

$$W_{el,z} = 5.708 \times 10^5 \cdot mm^3$$

$$W_{pl,z} := t_f \cdot \frac{b^2}{2} + \frac{t_w^2 \cdot (h - 2 \cdot t_f)}{4} + 2 \cdot r^2 \cdot (t_w + r) - \pi \cdot r^2 \cdot \left[t_w + 2 \cdot r \cdot \left(1 - \frac{4}{3 \cdot \pi} \right) \right] \cdot \frac{1}{2} = 8.701 \times 10^5 \cdot mm^3$$

Tvärsnittsklass 1 och 2

$$M_{pl,z,Rd} := W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 300 \cdot kNm$$

$$[1] 6.2.9.1 \quad M_{N,z,Rd} := \begin{cases} M_{pl,z,Rd} & \text{if } n \leq a \\ \left[M_{pl,z,Rd} \cdot \left[1 - \left(\frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right] \right] & \text{otherwise} \end{cases} = 288 \cdot kNm$$

Tvärsnittsklass 3

[3] 6.1.4.1 Formfaktor α för klass 3 tvärsnitt

$$\alpha_z := 1 + \left(1 - \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}\right) \cdot 4 \cdot (1 - \lambda_z \lambda_{e0})$$

$$\lambda_z \lambda_{e0} = 0.274$$

$$\alpha_z = 1.999$$

$$\alpha_z := \text{if} \left(\alpha_z > \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}}, \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}}, \alpha_z \right)$$

$$\alpha_z = 1.524$$

Bärförmåga för böjning kring z-axeln

$$M_{z,Rd} := \frac{f_y \cdot \alpha_z \cdot W_{el,z}}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{z,Rd} = 300.2 \cdot kNm$$

Normalkraftsbärförmåga, knäckning kring y-axeln

Tvårsnittsarea för bruttotvårsnittet A_{gr}

$$A_{gr} := b \cdot h - (b - t_w) \cdot (h - 2 \cdot t_f) + r^2 \cdot (4 - \pi)$$

$$A_{gr} = 14908 \cdot \text{mm}^2$$

Tröghetsmoment för bruttotvårsnittet

$$I_y = 2.517 \times 10^8 \cdot \text{mm}^4$$

Knäckningslängd

$$l_{cr,y} := l_p$$

$$l_{cr,y} = 7200 \cdot \text{mm}$$

Knäckningslast

$$N_{cr,y} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{l_{cr,y}^2}$$

$$N_{cr,y} = 1.006 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

Tvårsnittsklassen är 3 varför $A_{eff} := A_{gr}$

[1] 6.3.1.3

Slankhetsparameter

$$\lambda_y := \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr,y}}}$$

$$\lambda_y = 0.715$$

Kurva b

$$\alpha := 0.34$$

$$\phi := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2 \right]$$

$$\phi = 0.843$$

$$\chi_y := \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_y^2}}$$

$$\chi_y := \text{if}(\lambda_y < 0.2, 1, \chi_y)$$

$$\chi_y = 0.775$$

Normalkraftsbärförmåga

$$N_{y,Rd} := \chi_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \cdot A_{eff}$$

$$N_{y,Rd} = 3.987 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Karakteristisk bärförmåga utan hänsyn till knäckning

$$N_{Rk} := f_y \cdot A_{eff}$$

$$N_{Rk} = 5.143 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Normalkraftsbärförmåga, knäckning kring z-axeln

Knäckningslängd

$$l_{cr,z} := l_p$$

$$l_{cr,z} = 7200 \cdot \text{mm}$$

$$l_{cr,z} := \text{if}(\text{Böjvidknäckning} \neq \text{"J"}, 1 \cdot \text{mm}, l_{cr,z})$$

$$N_{cr,z} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{cr,z}^2}$$

$$N_{cr,z} = 3.423 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Knäckningslast

[1] 6.3.1.3

Slankhetsparameter

$$\lambda_z := \sqrt{\frac{A_{gr} \cdot f_y}{N_{cr,z}}}$$

$$\lambda_z = 1.226$$

Kurva c

$$\alpha := 0.49$$

$$[1] 6.3.1.2(1) \quad \phi := 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2 \right]$$

$$\phi = 1.503$$

$$\chi_z := \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_z^2}}$$

$$\chi_z := \text{if}(\lambda_z < 0.2, 1, \chi_z)$$

$$\chi_z = 0.422$$

[1] 6.3.1.1(3)

Normalkraftsbärförmåga

$$N_{z,Rd} := \chi_z \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \cdot A_{gr}$$

$$N_{z,Rd} = 2.169 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Karakteristisk bärförmåga utan hänsyn till knäckning

$$N_{Rk} := f_y \cdot A_{gr}$$

$$N_{Rk} = 5.143 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

Vippning mellan upplag

[2] Annex G
Figure G.2

Välvningskonstant:

$$I_w := \frac{(h - t_f)^2 \cdot I_z}{4}$$

$$I_w = 1.690 \times 10^{12} \cdot \text{mm}^6$$

Vridningskonstant:
utan hålkäl

$$I_t := \frac{1}{3} \cdot (2 \cdot b \cdot t_f^3 + h \cdot t_w^3) = 1.505 \times 10^6 \cdot \text{mm}^4$$