

3.2 Statický výpočet dle Eurokódu

Zde je podle výsledků posouzení dle Eurokódu a ČD Sr 5 provedeno posouzení návrhu zesílení těch průřezů hlavního nosníku, jejichž hodnoty η_1 , η_3 , interakce a zatížitelnosti byly nevyhovující.

Opět je uveden pouze vzorový postup výpočtů pro průřez č. 1.

Výpočty ostatních průřezů jsou obsaženy v příloženém DVD.

3.2.1 Průřez č. 1

Zesílení na normálové složky – η_1

Maximální vnitřní síly:

$N_{MAX} =$	288,810 kN	$N_{MIN} =$	-1037,790 kN
$V_{y,MAX} =$	78,190 kN	$V_{y,MIN} =$	-35,130 kN
$V_{z,MAX} =$	277,360 kN	$V_{z,MIN} =$	-1687,420 kN
$M_{y,MAX} =$	9226,320 kNm	$M_{y,MIN} =$	-1466,900 kNm

Změna průřezu – využití průřezu č. 2

Průřezové charakteristiky:

$A =$	0,073180 m ²	A - plocha průřezu
$I_y =$	0,082996 m ⁴	I_y - statický moment setvačnosti
$I_z =$	0,000345 m ⁴	I_z - statický moment setvačnosti
$i_y =$	1065,0 mm	i_y - poloměr setrvačnosti
$i_z =$	68,7 mm	i_z - poloměr setrvačnosti

Vzdálenosti k nejvzdálenějším vláknům průřezu od těžiště:

$Z_H =$	1389,3 mm	Z_H - vzdálenost k horním vláknům
$Z_D =$	1396,7 mm	Z_D - vzdálenost k dolním vláknům

$$W_{el,yH} = I_y / Z_H$$

$$W_{el,yH} = 0,082996 / 1,389$$

$$W_{el,yH} = \underline{0,059739 \text{ m}^3}$$

$$W_{el,yD} = I_y / Z_D$$

$$W_{el,yD} = 0,082996 / 1,397$$

$$W_{el,yD} = \underline{0,059423 \text{ m}^3}$$

$$W_{pl,y} = \underline{0,070471 \text{ m}^3}$$

$W_{el,yH}$ - elastický průřezový modul
k horním vláknům

$W_{el,yD}$ - elastický průřezový modul
k dolním vláknům

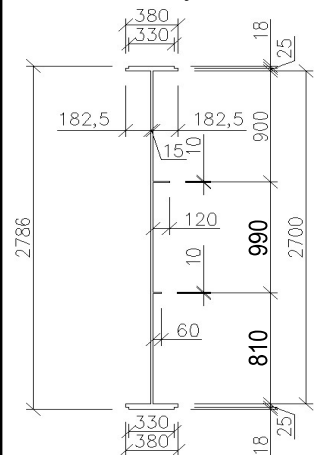
Velikosti vnitřních sil
určil program

SCIA Engineer 16.0

$f_y =$ 230,000 MPa

$f_u =$ 360,000 MPa

Nové rozměry nosníku:



Hodnoty vzdáleností
nejvzdálenějších
vláken průřezu od
těžiště byly určeny
pomocí programu
AutoCAD

Charakteristiky průřezu
určil program
SCIA Engineer 16.0

Účinky boulení stěn vlivem normálových napětí v MSÚ

Napětí v horních vláknech

$$\sigma_1' = M_{ed} / W_{el,yH}$$

$$\sigma_1' = 9,226 / 0,059739$$

$$\sigma_1' = \underline{154,444 \text{ MPa}}$$

Napětí v horních vláknech stojiny

$$\sigma_1 = (\sigma_1' / z_H) \cdot (z_H - t_f)$$

$$\sigma_1 = (154,444 / 1389) \cdot (1389 - 43)$$

$$\sigma_1 = \underline{149,664 \text{ MPa}}$$

Napětí v úrovni horní výztuhy stojiny

$$\sigma_2 = (\sigma_1' / z_H) \cdot (z_H - t_f - z_{V1})$$

$$\sigma_2 = (154,444 / 1389) \cdot (1389 - 43 - 900)$$

$$\sigma_2 = \underline{49,615 \text{ MPa}}$$

Poměr napětí

$$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$$

$$\psi = 49,615 / 149,664$$

$$\psi = \underline{0,332}$$

Součinitel kritického napětí

$$k_\sigma = 8,2 / (1,05 + \psi)$$

$$k_\sigma = 8,2 / (1,05 + 0,332)$$

$$k_\sigma = \underline{5,936}$$

Desková štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = (z_{V1} / t_w) / [28,4 \cdot \epsilon \cdot (k_\sigma)^{1/2}]$$

$$\bar{\lambda}_p = (900 / 15) / [28,4 \cdot 1,011 \cdot (5,936)^{1/2}]$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{0,858}$$

Součinitel boulení – vnitřní tlačené části

$$\rho = 1,0 \rightarrow \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + (0,085 - 0,055 \cdot \psi)^{1/2}$$

$$\text{nebo } 0,858 \leq 0,758 \quad \text{Nevyhovuje}$$

$$\rho = [\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)] / \bar{\lambda}_p^2 \leq 1,0 \rightarrow \bar{\lambda}_p > 0,5 + (0,085 - 0,055 \cdot \psi)^{1/2}$$

$$\rho = \underline{0,917} \quad 0,858 > 0,758 \quad \text{Vyhovuje}$$

Účinná délka tlačené stojiny

$$b_{eff} = \rho \cdot b_c$$

$$b_c = z_{V1}$$

$$b_c = \underline{900,0 \text{ mm}}$$

$$b_{eff} = 0,917 \cdot 900$$

$$b_{eff} = \underline{825,0 \text{ mm}}$$

b_c - tlačená délka stojiny

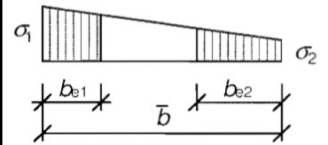
$M_{y,MAX}$

$$M_{ed} = M_{y,MAX}$$

z_{V1} - poloha podélné

výztuhy na stojně

$$z_{V1} = \underline{900,0 \text{ mm}}$$



t_f - tloušťka pásnice

$$t_f = \underline{43,0 \text{ mm}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

$$\epsilon = \underline{1,011}$$

c - délka stojiny

$$c = \underline{2700 \text{ mm}}$$

t_w - tloušťka stojiny

$$t_w = \underline{15 \text{ mm}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

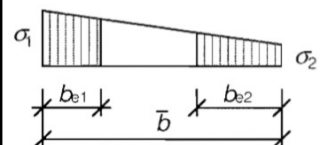
rov. (4.2)

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

rov. (4.1)



$$b_{e1} = [2/(5-\psi)] \cdot b_{eff}$$

$$b_{e1} = [2/(5-0,332)] \cdot 825,0$$

$$b_{e1} = \underline{\underline{353,4 \text{ mm}}}$$

b_{e1} - délka účinné části stojiny
v oblasti pásnice

ČSN EN 1993-1-5
kap. 4.4
tab. 4.1

$$b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$$

$$b_{e2} = 825,0 - 353,4$$

$$b_{e2} = \underline{\underline{471,6 \text{ mm}}}$$

b_{e2} - délka účinné části stojiny
v oblasti neutrální osy

$$A_c = t_w \cdot b_c$$

$$A_c = 0,015 \cdot 0,900$$

$$A_c = \underline{\underline{0,013500 \text{ m}^2}}$$

A_c - plocha plného průřezu tlačené
části stojiny

A_0 - plocha neúčinné
části průřezu

$$A_{c,eff} = \rho \cdot A_c$$

$$A_{c,eff} = 0,917 \cdot 0,013500$$

$$A_{c,eff} = \underline{\underline{0,012375 \text{ m}^2}}$$

$A_{c,eff}$ - účinná plocha průřezu tlačené
části stojiny

$$A_0 = A_c - A_{c,eff}$$

$$A_0 = 0,013500 - 0,012375$$

$$A_0 = \underline{\underline{0,001125 \text{ m}^2}}$$

$$A_{eff} = A - A_0$$

$$A_{eff} = 0,073180 - 0,001125$$

$$A_{eff} = \underline{\underline{0,072055 \text{ m}^2}}$$

A_{eff} - účinná plocha celého průřezu

z_p - vzdálenost těžiště
neúčinného průřezu od
původní těžišťové osy

$$b_0 = A_0 / t_w$$

$$b_0 = 0,001125 / 0,015$$

$$b_0 = \underline{\underline{75,0 \text{ mm}}}$$

b_0 - neúčinná délka stojiny

$$z_p = (b_{e2} + b_0) / 2$$

$$z_p = (471,6 + 75,0) / 2$$

$$z_p = \underline{\underline{509,1 \text{ mm}}}$$

$$\Delta y = (A_0 / A) \cdot z_p$$

$$\Delta y = (0,001125 / 0,073180) \cdot 0,509$$

$$\Delta y = \underline{\underline{7,8 \text{ mm}}}$$

Δy - posunutí těžišťové osy

Statický moment setrvačnosti účinného průřezu

$$I_{y,eff} = I_y - A \cdot \Delta y^2 - A_0 \cdot (z_p + \Delta y)^2$$

$$I_{y,eff} = 0,082996 - 0,073180 \cdot 0,008^2 - 0,001125 \cdot (0,509 + 0,008)^2$$

$$I_{y,eff} = \underline{\underline{0,082691 \text{ m}^4}}$$

$$W_{yH,eff} = I_{y,eff}/(z_H + \Delta y) \quad W_{yH,eff} - \text{průřezový modul k horním}$$

$$W_{yH,eff} = 0,082691/(1,389+0,008) \quad \text{vláknům účinného průřezu}$$

$$W_{yH,eff} = \underline{0,059186} \text{ m}^3$$

$$W_{yD,eff} = I_{y,eff}/(z_D - \Delta y) \quad W_{yD,eff} - \text{průřezový modul k dolním}$$

$$W_{yD,eff} = 0,082691/(1,397-0,008) \quad \text{vláknům účinného průřezu}$$

$$W_{yD,eff} = \underline{0,059539} \text{ m}^3$$

Posouzení

$$N_{rd} = f_y \cdot A_{eff} / \gamma_{m1} \quad \gamma_{m0} = 1,000$$

$$N_{rd} = 230000 \cdot 0,072055 / 1 \quad \gamma_{m1} = 1,000$$

$$N_{rd} = \underline{16572,701} \text{ kN} \quad \gamma_{m2} = 1,250$$

$$M_{rd} = f_y \cdot W_{yH,eff} / \gamma_{m1} \quad M_{rd} = f_y \cdot W_{el,yH} / \gamma_{m1}$$

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,059186 / 1 \quad M_{rd} = 230000 \cdot 0,059739 / 1$$

$$M_{rd} = \underline{13612,805} \text{ kNm} \quad M_{rd} = \underline{13739,962} \text{ kNm}$$

$\gamma_{m0}, \gamma_{m1}, \gamma_{m2}$
- dílčí součinitele
materiálů
 $f_y = 230,000 \text{ MPa}$
 $f_u = 360,000 \text{ MPa}$

ČSN EN 1993-1-5
kap. 4.6
rov. (4.14)

Posouzení prutu pro tlak a jednoosý ohyb

$$\eta_1 = N_{ed} / N_{rd} + M_{ed} / M_{rd} \leq 1,0$$

$$\eta_1 = 1\,037,790 / 16\,572,701 + 9\,226,320 / 13\,612,805 \leq 1,0$$

$$\eta_1 = \underline{0,740} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$N_{ed} = N_{MIN} \text{ (tlak)}$
 $M_{ed} = M_{y,MAX}$

$$\eta_1 = N_{ed} / N_{rd} + M_{ed} / M_{rd} \leq 1,0$$

$$\eta_1 = 288,810 / 16\,572,701 + 9\,226,320 / 13\,612,805 \leq 1,0$$

$$\eta_1 = \underline{0,695} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$N_{ed} = N_{MAX} \text{ (tah)}$
 $M_{ed} = M_{y,MAX}$

Účinky boulení stěn vlivem normálových napětí v MSÚ

Napětí v dolních vláknech průřezu

$$\sigma_1' = -(M_{ed}/W_{el,yD})$$

$$\sigma_1' = -(-1,467/0,059423)$$

$$\sigma_1' = \underline{24,686 \text{ MPa}}$$

Napětí v dolních vláknech stojiny

$$\sigma_1 = (\sigma_1'/Z_D) \cdot (Z_D - t_f)$$

$$\sigma_1 = (24,686/1\,396,7) \cdot (1\,396,7 - 43)$$

$$\sigma_1 = \underline{23,926 \text{ MPa}}$$

Poměr napětí

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$\psi = 9,609/23,926$$

$$\psi = \underline{0,402}$$

Desková štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = (z_{V2}/t_w) / [28,4 \cdot \epsilon \cdot (k_\sigma)^{1/2}]$$

$$\bar{\lambda}_p = (810/15) / [28,4 \cdot 1,011 \cdot (5,649)^{1/2}]$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{0,791}$$

Součinitel boulení – vnitřní tlačené části

$$\rho = 1,0 \quad \rightarrow \quad \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + (0,085 - 0,055 \cdot \psi)^{1/2}$$

$$\text{nebo} \quad 0,791 \leq 0,751 \quad \text{Nevyhovuje}$$

$$\rho = [\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)] / \bar{\lambda}_p^2 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \bar{\lambda}_p > 0,5 + (0,085 - 0,055 \cdot \psi)^{1/2}$$

$$\rho = \underline{0,965} \quad 0,791 > 0,751 \quad \text{Vyhovuje}$$

Účinná délka tlačené stojiny

$$b_{eff} = \rho \cdot b_c$$

$$b_c = z_{V2}$$

$$b_c = \underline{810,0 \text{ mm}}$$

$$b_{eff} = 0,965 \cdot 810$$

$$b_{eff} = \underline{781,5 \text{ mm}}$$

Napětí v úrovni dolní výztuhy stojiny

$$\sigma_2 = (\sigma_1'/Z_D) \cdot (Z_D - t_f - z_{V2})$$

$$\sigma_2 = (24,686/1\,396,7) \cdot (1\,396,7 - 43 - 810)$$

$$\sigma_2 = \underline{9,609 \text{ MPa}}$$

Součinitel kritického napětí

$$k_\sigma = 8,2 / (1,05 + \psi)$$

$$k_\sigma = 8,2 / (1,05 + 0,402)$$

$$k_\sigma = \underline{5,649}$$

b_c - tlačená délka stojiny

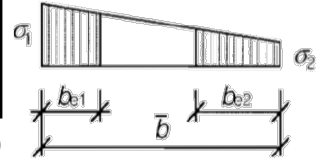
$M_{y,MIN}$

$$M_{ed} = M_{y,MIN}$$

z_V - poloha podélné

výztuhy na stojně

$$z_{V2} = \underline{810,0 \text{ mm}}$$



t_f - tloušťka pásnice

$$t_f = \underline{43,0 \text{ mm}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

$$\epsilon = \underline{1,011}$$

c - délka stojiny

$$c = \underline{2700 \text{ mm}}$$

t_w - tloušťka stojiny

$$t_w = \underline{15 \text{ mm}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

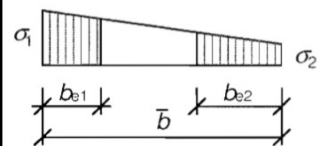
rov. (4.2)

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

rov. (4.1)



$$b_{e1} = [2/(5-\psi)] \cdot b_{eff}$$

$$b_{e1} = [2/(5-0,402)] \cdot 781,5$$

$$b_{e1} = \underline{\underline{339,9 \text{ mm}}}$$

b_{e1} - délka účinné části stojiny
v oblasti pásnice

ČSN EN 1993-1-5
kap. 4.4
tab. 4.1

$$b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$$

$$b_{e2} = 781,5 - 339,9$$

$$b_{e2} = \underline{\underline{441,6 \text{ mm}}}$$

b_{e2} - délka účinné části stojiny
v oblasti neutrální osy

$$A_c = t_w \cdot b_c$$

$$A_c = 0,015 \cdot 0,810$$

$$A_c = \underline{\underline{0,012150 \text{ m}^2}}$$

A_c - plocha plného průřezu tlačené
části stojiny

A_0 - plocha neúčinné
části průřezu

$$A_{c,eff} = \rho \cdot A_c$$

$$A_{c,eff} = 0,965 \cdot 0,012150$$

$$A_{c,eff} = \underline{\underline{0,011723 \text{ m}^2}}$$

$A_{c,eff}$ - účinná plocha průřezu tlačené
části stojiny

$$A_0 = A_c - A_{c,eff}$$

$$A_0 = 0,012150 - 0,011723$$

$$A_0 = \underline{\underline{0,000427 \text{ m}^2}}$$

$$A_{eff} = A - A_0$$

$$A_{eff} = 0,073180 - 0,000427$$

$$A_{eff} = \underline{\underline{0,072753 \text{ m}^2}}$$

A_{eff} - účinná plocha celého průřezu

z_p - vzdálenost těžiště
neúčinného průřezu od
původní těžišťové osy

$$b_0 = A_0 / t_w$$

$$b_0 = 0,000427 / 0,015$$

$$b_0 = \underline{\underline{28,5 \text{ mm}}}$$

b_0 - neúčinná délka stojiny

$$z_p = b_{e2} + b_0 / 2$$

$$z_p = 441,6 + 28,5 / 2$$

$$z_p = \underline{\underline{455,8 \text{ mm}}}$$

$$\Delta y = (A_0 / A) \cdot z_p$$

$$\Delta y = (0,000427 / 0,073180) \cdot 0,456$$

$$\Delta y = \underline{\underline{2,7 \text{ mm}}}$$

Δy - posunutí těžišťové osy

Statický moment setrvačnosti účinného průřezu

$$I_{y,eff} = I_y - A \cdot \Delta y^2 - A_0 \cdot (z_p + \Delta y)^2$$

$$I_{y,eff} = 0,082996 - 0,073180 \cdot 0,003^2 - 0,000427 \cdot (0,456 + 0,003)^2$$

$$I_{y,eff} = \underline{\underline{0,082906 \text{ m}^4}}$$

$$W_{yH,eff} = I_{y,eff} / (z_H - \Delta y)$$

$$W_{yH,eff} = 0,082906 / (1,389 - 0,003)$$

$$W_{yH,eff} = \underline{0,059788} \text{ m}^3$$

$W_{yH,eff}$ - průřezový modul k horním vláknům účinného průřezu

$$W_{yD,eff} = I_{y,eff} / (z_D + \Delta y)$$

$$W_{yD,eff} = 0,082906 / (1,397 + 0,003)$$

$$W_{yD,eff} = \underline{0,059246} \text{ m}^3$$

$W_{yD,eff}$ - průřezový modul k dolním vláknům účinného průřezu

Posouzení

$$N_{rd} = f_y \cdot A_{eff} / \gamma_{m1}$$

$$N_{rd} = 230000 \cdot 0,072753 / 1$$

$$N_{rd} = \underline{16733,089} \text{ kN}$$

$$\gamma_{m0} = 1,000$$

$$\gamma_{m1} = 1,000$$

$$\gamma_{m2} = 1,250$$

$$M_{rd} = f_y \cdot W_{yD,eff} / \gamma_{m1}$$

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,059246 / 1$$

$$M_{rd} = \underline{13626,510} \text{ kNm}$$

$$M_{rd} = f_y \cdot W_{el,yD} / \gamma_{m1}$$

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,059423 / 1$$

$$M_{rd} = \underline{13667,371} \text{ kNm}$$

$\gamma_{m0}, \gamma_{m1}, \gamma_{m2}$
- dílčí součinitele materiálů
 $f_y = 230,000 \text{ MPa}$
 $f_u = 360,000 \text{ MPa}$

ČSN EN 1993-1-5
kap. 4.6
rov. (4.14)

Posouzení prutu pro tlak a jednoosý ohyb

$$\eta_1 = N_{ed} / N_{rd} + M_{ed} / M_{rd} \leq 1,0$$

$$\eta_1 = 1\,037,790 / 16\,733,089 + 1\,466,900 / 13\,626,510 \leq 1,0$$

$$\eta_1 = \underline{0,170} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$N_{ed} = N_{MIN} \text{ (tlak)}$
 $M_{ed} = M_{y,MIN}$

$$\eta_1 = N_{ed} / N_{rd} + M_{ed} / M_{rd} \leq 1,0$$

$$\eta_1 = 288,810 / 16\,733,089 + 1\,466,900 / 13\,626,510 \leq 1,0$$

$$\eta_1 = \underline{0,125} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$N_{ed} = N_{MAX} \text{ (tah)}$
 $M_{ed} = M_{y,MIN}$

Průřez č. 1 – zesílení na smykové složky – η_3

$$\alpha = a/h_w < 3$$

$$\alpha = 3333/2700 < 3$$

$$\alpha = \underline{1,234} < 3 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$k_\tau = 4,1 + \{6,3 + 0,18 \cdot [I_v / (h_w \cdot t^3)]\} / \alpha^2 + 2,2 \cdot [I_v / (h_w \cdot t^3)]^{1/3}$$

$$k_\tau = 4,1 + \{6,3 + 0,18 \cdot [0,000007 / (2,7 \cdot 0,015^3)]\} / 1,234^2 + 2,2 \cdot [0,000007 / (2,7 \cdot 0,015^3)]^{1/3}$$

$$k_\tau = \underline{10,375}$$

Kontrola nutnosti posouzení

$$h_w/t > (31/\eta) \cdot \varepsilon \cdot k_\tau^{1/2}$$

$$270/1,5 > (31/1,2) \cdot 1,011 \cdot 10,375^{1/2}$$

$$180 > 84,108 \quad \rightarrow \quad \text{je nutné posoudit}$$

Součinitel příspěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku

ČSN EN 1993-1-5 tab. 5.1

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$	η	η
$0,83/\eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83/\bar{\lambda}_w$	$0,83/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37/(0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83/\bar{\lambda}_w$

$$\bar{\lambda}_w = h_w / (37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot k_\tau^{1/2})$$

$$\bar{\lambda}_w = 2700 / [37,4 \cdot 15 \cdot 1,011 \cdot 10,375^{1/2}]$$

$$\bar{\lambda}_w = \underline{1,478} \quad \rightarrow \quad \text{Tuhá koncová výztuha}$$

$$\chi_{w1} = 1,37 / (0,7 + 1,478) \quad \rightarrow \quad \chi_{w1} = \underline{0,629}$$

$$\rightarrow \quad \text{Netuhá koncová výztuha}$$

$$\chi_{w2} = 0,83 / 1,478 \quad \rightarrow \quad \chi_{w2} = \underline{0,562}$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,Rd1} = [(\chi_{w1} \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t) / (\gamma_{m1} \cdot 3^{1/2})]$$

$$V_{bw,Rd1} = (0,629 \cdot 230000 \cdot 2,7 \cdot 0,015) / [1,3^{1/2}]$$

$$V_{bw,Rd1} = \underline{3382,773 \text{ kN}}$$

$$V_{bw,Rd2} = [(\chi_{w2} \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t) / (\gamma_{m1} \cdot 3^{1/2})]$$

$$V_{bw,Rd2} = (0,562 \cdot 230000 \cdot 2,7 \cdot 0,015) / [1,3^{1/2}]$$

$$V_{bw,Rd2} = \underline{3022,446 \text{ kN}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 5.1 (2)

α - určeno dle A.3

a - vzdálenost příčníků

$$a = \underline{3333,0 \text{ mm}}$$

h_w - výška stojiny

$$h_w = \underline{2700,0 \text{ mm}}$$

k_τ - součinitel kritického napětí pro panel stojiny

t - tloušťka stojiny

$$t = \underline{15,0 \text{ mm}}$$

I_v - moment setrvačnosti

podélné výztuhy k ose z

$$I_{v1} = \underline{0,000006}$$

$$I_{v2} = \underline{0,000001 \text{ m}^4}$$

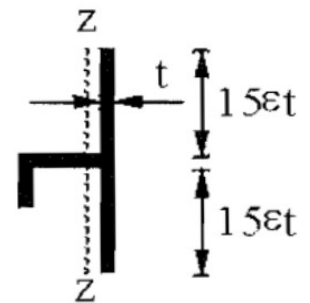
$$I_v = I_{v1} + I_{v2}$$

$$I_v = \underline{0,000007 \text{ m}^4}$$

I_{v1} a I_{v2} byly určeny

programem AutoCAD

Účinná plocha výztuhy:



η - určeno dle NA.2.4

$$\eta = \underline{1,2}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 5.2

rov. (5.2)

f_{yw} - mez kluzu stojiny

$$f_{yw} = f_y$$

Návrhová únosnost

$$V_{b,Rd1} = V_{bw,Rd1} + V_{bf,Rd} \leq [(\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t) / (\gamma_{m1} \cdot 3^{1/2})]$$

$$V_{b,Rd1} = 3382,773 \leq (1,2 \cdot 230000 \cdot 2,7 \cdot 0,015) / [1,3^{1/2}]$$

$$V_{b,Rd1} = \underline{3382,773} \leq \underline{6453,621} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$V_{b,Rd2} = V_{bw,Rd2} + V_{bf,Rd} \leq [(\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t) / (\gamma_{m1} \cdot 3^{1/2})]$$

$$V_{b,Rd2} = 3022,446 \leq (1,2 \cdot 230000 \cdot 2,7 \cdot 0,015) / [1,3^{1/2}]$$

$$V_{b,Rd2} = \underline{3022,446} \leq \underline{6453,621} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Posouzení

$$\eta_3 = V_{ed} / V_{b,Rd} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 277,36 / 3382,773 \leq 1,0$$

$$\eta_3 = \underline{0,082} \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\eta_3 = V_{ed} / V_{b,Rd} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 277,36 / 3022,446 \leq 1,0$$

$$\eta_3 = \underline{0,092} \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\eta_3 = V_{ed} / V_{b,Rd} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 1687,42 / 3382,773 \leq 1,0$$

$$\eta_3 = \underline{0,499} \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\eta_3 = V_{ed} / V_{b,Rd} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 1687,42 / 3022,446 \leq 1,0$$

$$\eta_3 = \underline{0,558} \leq 1,0 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Konečný návrh geometrie

Příspěvek stojiny

zanedbávám

$$V_{bf,Rd} = \underline{\quad\quad\quad} \text{ 0 kN}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 5.2

rov. (5.1)

ČSN EN 1993-1-5

kap. 5.5

rov. (5.10)

$$V_{ed} = V_{z,MAX}$$

$$V_{b,Rd} = V_{b,Rd1}$$

$$V_{ed} = V_{z,MAX}$$

$$V_{b,Rd} = V_{b,Rd2}$$

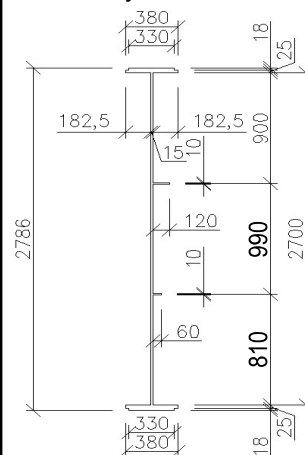
$$V_{ed} = V_{z,MIN}$$

$$V_{b,Rd} = V_{b,Rd1}$$

$$V_{ed} = V_{z,MIN}$$

$$V_{b,Rd} = V_{b,Rd2}$$

Rozměry nosníku:



Kontrola interakce mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

Netuhá kocová výztuha

$$\bar{\eta}_3 = V_{ed}/V_{bw,Rd}$$

$$\bar{\eta}_3 = 1687,42/3\ 382,773$$

$$\bar{\eta}_3 = \underline{0,499}$$

Poloha těžiště zesílené pásnice

$$z_{Tv} = [0,5 \cdot b_{f1} \cdot t_{f1}^2 + b_{f2} \cdot t_{f2} \cdot (t_{f1} + 0,5 \cdot t_{f2})]/A_f$$

$$z_{Tv} = [0,5 \cdot 380 \cdot 25^2 + 330 \cdot 18 \cdot (25 + 0,5 \cdot 18)]/15440$$

$$z_{Tv} = \underline{20,8 \text{ mm}}$$

Návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,Rd} = (W_{fy} \cdot f_{yd})/\gamma_{m0}$$

$$W_{fy} = A_f \cdot (z_{f1} + z_{f2})$$

$$W_{fy} = 0,015440 \cdot (1,367 + 1,374)$$

$$W_{fy} = \underline{0,042329 \text{ m}^3}$$

$$M_{f,Rd} = (0,042329 \cdot 230000)/1$$

$$M_{f,Rd} = \underline{9735,770 \text{ kNm}}$$

Návrhový plastický moment únosnosti celého průřezu

$$M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_{yd})/\gamma_{m0}$$

$$M_{pl,Rd} = (0,070471 \cdot 230000)/1$$

$$M_{pl,Rd} = \underline{16208,330 \text{ kNm}}$$

$$\bar{\eta}_1 = M_{ed}/M_{pl,Rd}$$

$$\bar{\eta}_1 = 9\ 226,320/16\ 208,330$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{0,569}$$

Je nutné posoudit následující podmínku, jelikož $\bar{\eta}_3 > 0,5$

Netuhá kocová výztuha

$$1,0 \geq \bar{\eta}_1 + (1 - M_{f,Rd}/M_{pl,Rd}) \cdot (2 \cdot \bar{\eta}_3 - 1)^2$$

$$1,0 \geq 0,569 + (1 - 9\ 735,770/16\ 208,330) \cdot (2 \cdot 0,499 - 1)^2$$

$$1,0 \geq \underline{0,569} \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 7.1 (1)

$$V_{ed} = \max(|V_{z,MAX}|; |V_{z,MIN}|)$$

b_{f1} - šířka pásnice

$$b_{f1} = \underline{380,0 \text{ mm}}$$

b_{f2} - šířka zesílení

$$b_{f2} = \underline{330,0 \text{ mm}}$$

t_{f1} - šířka pásnice

$$t_{f1} = \underline{25,0 \text{ mm}}$$

t_{f2} - šířka zesílení

$$t_{f2} = \underline{18,0 \text{ mm}}$$

A_f - plocha pásnice

$$A_f = b_{f1} \cdot t_{f1} + b_{f2} \cdot t_{f2}$$

$$A_f = 380 \cdot 25 + 330 \cdot 18$$

$$A_f = \underline{15440,0 \text{ mm}^2}$$

z_{f1} - vzdálenost těžiště horní pásnice od n. osy

$$z_{f1} = \underline{1367,1 \text{ mm}}$$

z_{f2} - vzdálenost těžiště dolní pásnice od n. osy

$$z_{f2} = \underline{1374,5 \text{ mm}}$$

$$W_{pl} = W_{pl,y}$$

$$W_{pl} = \underline{0,070471 \text{ m}^3}$$

$$M_{ed} = \max(|M_{y,MAX}|; |M_{y,MIN}|)$$

$$M_{ed} = \underline{9226,320 \text{ kNm}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 7.1 (1)

ČSN EN 1993-1-5

kap. 7.1

rov. (7.1)

3.2.2 Průřezy č. 5, 6, 10, 11

Průřez č. 5

Zesílení na normálové složky – η_1

Maximální vnitřní síly:

$N_{MAX} =$	1693,400 kN	$N_{MIN} =$	-330,380 kN
$V_{y,MAX} =$	129,730 kN	$V_{y,MIN} =$	-127,700 kN
$V_{z,MAX} =$	2363,530 kN	$V_{z,MIN} =$	-2607,250 kN
$M_{y,MAX} =$	3026,420 kNm	$M_{y,MIN} =$	-16625,600 kNm

Změna průřezu – zesílení horní pásnice plechem tloušťky 10 mm

Průřezové charakteristiky:

$A =$	0,092000 m ²	A - plocha průřezu
$I_y =$	0,120292 m ⁴	I_y - statický moment setvačnosti
$I_z =$	0,000753 m ⁴	I_z - statický moment setvačnosti
$i_y =$	1143,5 mm	i_y - poloměr setrvačnosti
$i_z =$	90,5 mm	i_z - poloměr setrvačnosti

Vzdálenosti k nejvzdálenějším vláknům průřezu od těžiště:

$Z_H =$	1362,6 mm	Z_H - vzdálenost k horním vláknům
$Z_D =$	1457,4 mm	Z_D - vzdálenost k dolním vláknům

$W_{el,yH} = I_y / Z_H$	$W_{el,yH}$ - elastický průřezový modul k horním vláknům
$W_{el,yH} = 0,120292 / 1,363$	
$W_{el,yH} = 0,088279 \text{ m}^3$	
$W_{el,yD} = I_y / Z_D$	$W_{el,yD}$ - elastický průřezový modul k dolním vláknům
$W_{el,yD} = 0,120292 / 1,457$	
$W_{el,yD} = 0,082540 \text{ m}^3$	
$W_{pl,y} = 0,097139 \text{ m}^3$	

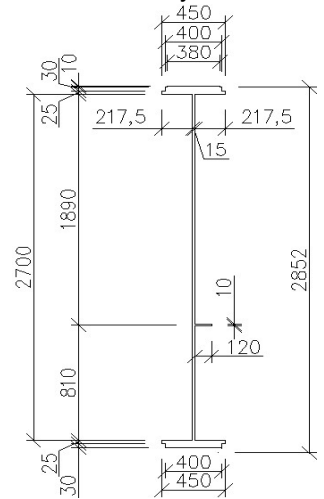
Velikosti vnitřních sil
určil program

SCIA Engineer 16.0

$f_y = 230,000 \text{ MPa}$

$f_u = 360,000 \text{ MPa}$

Nové rozměry nosníku:



Hodnoty vzdáleností
nejvzdálenějších
vláken průřezu od
těžiště byly určeny
pomocí programu
AutoCAD

Charakteristiky průřezu
určil program

SCIA Engineer 16.0

Účinky boulení stěn vlivem normálových napětí v MSÚ

Napětí v horních vláknech průřezu

$$\sigma_1' = M_{ed}/W_{el,yH}$$

$$\sigma_1' = 3,026/0,088279$$

$$\sigma_1' = \underline{\underline{34,282 \text{ MPa}}}$$

Napětí v dolních vláknech průřezu

$$\sigma_2' = -(M_{ed}/W_{el,yD})$$

$$\sigma_2' = -(3,026/0,082540)$$

$$\sigma_2' = \underline{\underline{-36,666 \text{ MPa}}}$$

Napětí v horních vláknech stojiny

$$\sigma_1 = (\sigma_1'/z_H) \cdot (z_H - t_f)$$

$$\sigma_1 = (34,282/1\ 363) \cdot (1\ 363 - 55)$$

$$\sigma_1 = \underline{\underline{32,899 \text{ MPa}}}$$

Napětí v dolních vláknech stojiny

$$\sigma_2 = (\sigma_2'/z_D) \cdot (z_D - t_f)$$

$$\sigma_2 = (-36,666/1\ 457) \cdot (1\ 457 - 55)$$

$$\sigma_2 = \underline{\underline{-35,282 \text{ MPa}}}$$

Poměr napětí

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$\psi = -35,282/32,899$$

$$\psi = \underline{\underline{-1,072}}$$

Součinitel kritického napětí

$$k_\sigma = 5,98 \cdot (1 - \psi)^2$$

$$k_\sigma = 5,98 \cdot (1 - (-1,072))^2$$

$$k_\sigma = \underline{\underline{25,684}}$$

Desková štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = (c/t_w) / [28,4 \cdot \varepsilon \cdot (k_\sigma)^{1/2}]$$

$$\bar{\lambda}_p = (2700/15) / [28,4 \cdot 1,011 \cdot (25,684)^{1/2}]$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{\underline{1,237}}$$

Součinitel boulení – vnitřní tlačené části

$$\rho = 1,0$$

nebo

$$\rho = [\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)] / \bar{\lambda}_p^2 \leq 1,0$$

$$\rho = \underline{\underline{0,739}}$$

$$\rightarrow \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + (0,085 - 0,055 \cdot \psi)^{1/2}$$

$$1,237 \leq 0,879$$

Nevyhovuje

$$\rightarrow \bar{\lambda}_p > 0,5 + (0,085 - 0,055 \cdot \psi)^{1/2}$$

$$1,237 > 0,879$$

Vyhovuje

Účinná délka tlačené stojiny

$$b_{eff} = \rho \cdot b_c$$

$$b_c = z_H - t_f$$

$$b_c = 1\ 362,6 - 55$$

$$b_c = \underline{\underline{1307,6 \text{ mm}}}$$

b_c - tlačená délka stojiny

$$b_{eff} = 0,739 \cdot 1\ 307,6$$

$$b_{eff} = \underline{\underline{966,3 \text{ mm}}}$$

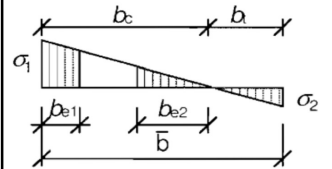
$M_{y,MAX}$

$$M_{ed} = M_{y,MAX}$$

z_{V1} - poloha podélné

výztuhy na stojně

$$z_{V1} = \underline{\underline{\text{není}}}$$



t_f - tloušťka pásnice

$$t_f = \underline{\underline{55,0 \text{ mm}}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

$$\varepsilon = \underline{\underline{1,011}}$$

c - délka stojiny

$$c = \underline{\underline{2700 \text{ mm}}}$$

t_w - tloušťka stojiny

$$t_w = \underline{\underline{15 \text{ mm}}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

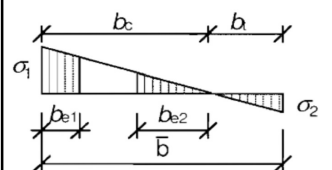
rov. (4.2)

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

rov. (4.1)



$$b_{e1} = 0,4 \cdot b_{eff}$$

$$b_{e1} = 0,4 \cdot 966,3$$

$$b_{e1} = \underline{\underline{386,5 \text{ mm}}}$$

b_{e1} - délka účinné části stojiny
v oblasti pásnice

ČSN EN 1993-1-5
kap. 4.4
tab. 4.1

$$b_{e2} = 0,6 \cdot b_{eff}$$

$$b_{e2} = 0,6 \cdot 966,3$$

$$b_{e2} = \underline{\underline{579,8 \text{ mm}}}$$

b_{e2} - délka účinné části stojiny
v oblasti neutrální osy

$$A_c = t_w \cdot b_c$$

$$A_c = 0,015 \cdot 1,308$$

$$A_c = \underline{\underline{0,019614 \text{ m}^2}}$$

A_c - plocha plného průřezu tlačené
části stojiny

A_0 - plocha neúčinné
části průřezu

$$A_{c,eff} = \rho \cdot A_c$$

$$A_{c,eff} = 0,739 \cdot 0,019614$$

$$A_{c,eff} = \underline{\underline{0,014495 \text{ m}^2}}$$

$A_{c,eff}$ - účinná plocha průřezu tlačené
části stojiny

$$A_0 = A_c - A_{c,eff}$$

$$A_0 = 0,019614 - 0,01450$$

$$A_0 = \underline{\underline{0,005119 \text{ m}^2}}$$

$$A_{eff} = A - A_0$$

$$A_{eff} = 0,092000 - 0,005119$$

$$A_{eff} = \underline{\underline{0,086881 \text{ m}^2}}$$

A_{eff} - účinná plocha celého průřezu

z_p - vzdálenost těžiště
neúčinného průřezu od
původní těžišťové osy

$$b_0 = A_0 / t_w$$

$$b_0 = 0,005119 / 0,015$$

$$b_0 = \underline{\underline{341,3 \text{ mm}}}$$

b_0 - neúčinná délka stojiny

$$z_p = (b_{e2} + b_0) / 2$$

$$z_p = (579,8 + 341,3) / 2$$

$$z_p = \underline{\underline{750,4 \text{ mm}}}$$

$$\Delta y = (A_0 / A) \cdot z_p$$

$$\Delta y = (0,005119 / 0,092000) \cdot 0,750$$

$$\Delta y = \underline{\underline{41,8 \text{ mm}}}$$

Δy - posunutí těžišťové osy

Statický moment setrvačnosti účinného průřezu

$$I_{y,eff} = I_y - A \cdot \Delta y^2 - A_0 \cdot (z_p + \Delta y)^2$$

$$I_{y,eff} = 0,120292 - 0,092000 \cdot 0,042^2 - 0,005119 \cdot (0,750 + 0,042)^2$$

$$I_{y,eff} = \underline{\underline{0,116918 \text{ m}^4}}$$

$$W_{yH,eff} = I_{y,eff} / (z_H + \Delta y) \quad W_{yH,eff} - \text{průřezový modul k horním}$$

$$W_{yH,eff} = 0,116918 / (1,363 + 0,042) \quad \text{vláknům účinného průřezu}$$

$$W_{yH,eff} = \underline{0,083252} \text{ m}^3$$

$$W_{yD,eff} = I_{y,eff} / (z_D - \Delta y) \quad W_{yD,eff} - \text{průřezový modul k dolním}$$

$$W_{yD,eff} = 0,116918 / (1,457 - 0,042) \quad \text{vláknům účinného průřezu}$$

$$W_{yD,eff} = \underline{0,082592} \text{ m}^3$$

Posouzení

$$N_{rd} = f_y \cdot A_{eff} / \gamma_{m1} \quad \gamma_{m0} = 1,000$$

$$N_{rd} = 230000 \cdot 0,086881 / 1 \quad \gamma_{m1} = 1,000$$

$$N_{rd} = \underline{19982,55} \text{ kN} \quad \gamma_{m2} = 1,250$$

$$M_{rd} = f_y \cdot W_{yH,eff} / \gamma_{m1} \quad M_{rd} = f_y \cdot W_{el,yH} / \gamma_{m1}$$

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,083252 / 1 \quad M_{rd} = 230000 \cdot 0,088279 / 1$$

$$M_{rd} = \underline{19148,002} \text{ kNm} \quad M_{rd} = \underline{20304,190} \text{ kNm}$$

Posouzení prutu pro tlak a jednoosý ohyb

$$\eta_1 = N_{ed} / N_{rd} + M_{ed} / M_{rd} \leq 1,0$$

$$\eta_1 = 330,380 / 19\,982,550 + 3\,026,420 / 19\,148,002 \leq 1,0$$

$$\eta_1 = \underline{0,175} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\eta_1 = N_{ed} / N_{rd} + M_{ed} / M_{rd} \leq 1,0$$

$$\eta_1 = 1\,693,400 / 19\,982,550 + 3\,026,420 / 19\,148,002 \leq 1,0$$

$$\eta_1 = \underline{0,243} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$\gamma_{m0}, \gamma_{m1}, \gamma_{m2}$

- dílčí součinitele

materiálů

$f_y = 230,000 \text{ MPa}$

$f_u = 360,000 \text{ MPa}$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.6

rov. (4.14)

$N_{ed} = N_{MIN} \text{ (tlak)}$

$M_{ed} = M_{y,MAX}$

$N_{ed} = N_{MAX} \text{ (tah)}$

$M_{ed} = M_{y,MAX}$

Účinky boulení stěn vlivem normálových napětí v MSÚ

Napětí v dolních vláknech průřezu

$$\sigma_1' = -(M_{ed}/W_{el,yD})$$

$$\sigma_1' = -(-16,626/0,082540)$$

$$\sigma_1' = \underline{201,424 \text{ MPa}}$$

Napětí v dolních vláknech stojiny

$$\sigma_1 = (\sigma_1'/Z_D) \cdot (Z_D - t_f)$$

$$\sigma_1 = (201,424/1\,362,6) \cdot (1\,362,6 - 55)$$

$$\sigma_1 = \underline{193,294 \text{ MPa}}$$

Napětí v úrovni dolní výztuhy stojiny

$$\sigma_2 = (\sigma_1'/Z_D) \cdot (Z_D - t_f - Z_{V2})$$

$$\sigma_2 = (201,424/1\,362,6) \cdot (1\,362,6 - 55 - 810)$$

$$\sigma_2 = \underline{73,560 \text{ MPa}}$$

Poměr napětí

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$\psi = 73,560/193,294$$

$$\psi = \underline{0,381}$$

Součinitel kritického napětí

$$k_\sigma = 8,2/(1,05 + \psi)$$

$$k_\sigma = 8,2/(1,05 + 0,381)$$

$$k_\sigma = \underline{5,732}$$

Desková štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = (Z_{V2}/t_w) / [28,4 \cdot \epsilon \cdot (k_\sigma)^{1/2}]$$

$$\bar{\lambda}_p = (810/15) / [28,4 \cdot 1,011 \cdot (5,732)^{1/2}]$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{0,786}$$

Součinitel boulení – vnitřní tlačené části

$$\rho = 1,0 \quad \rightarrow \quad \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + (0,085 - 0,055 \cdot \psi)^{1/2}$$

$$\text{nebo} \quad 0,786 \leq 0,753 \quad \text{Nevyhovuje}$$

$$\rho = [\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)] / \bar{\lambda}_p^2 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \bar{\lambda}_p > 0,5 + (0,085 - 0,055 \cdot \psi)^{1/2}$$

$$\rho = \underline{0,972} \quad 0,786 > 0,753 \quad \text{Vyhovuje}$$

Účinná délka tlačené stojiny

$$b_{eff} = \rho \cdot b_c$$

$$b_c = Z_{V2}$$

$$b_c = \underline{810,0 \text{ mm}}$$

$$b_{eff} = 0,972 \cdot 810$$

$$b_{eff} = \underline{787,0 \text{ mm}}$$

b_c - tlačená délka stojiny

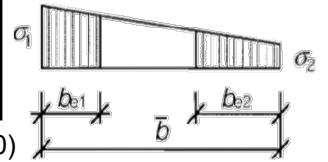
$M_{y,MIN}$

$$M_{ed} = M_{y,MIN}$$

Z_V - poloha podélné

výztuhy na stojně

$$Z_{V2} = \underline{810,0 \text{ mm}}$$



t_f - tloušťka pásnice

$$t_f = \underline{55,0 \text{ mm}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

$$\epsilon = \underline{1,011}$$

c - délka stojiny

$$c = \underline{2700 \text{ mm}}$$

t_w - tloušťka stojiny

$$t_w = \underline{15 \text{ mm}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

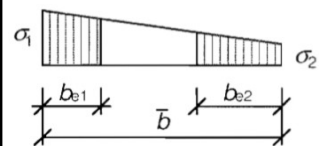
rov. (4.2)

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

rov. (4.1)



$$b_{e1} = [2/(5-\psi)] \cdot b_{eff}$$

$$b_{e1} = [2/(5-0,381)] \cdot 787,0$$

$$b_{e1} = \underline{\underline{340,7 \text{ mm}}}$$

b_{e1} - délka účinné části stojiny
v oblasti pásnice

ČSN EN 1993-1-5
kap. 4.4
tab. 4.1

$$b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$$

$$b_{e2} = 787,0 - 340,7$$

$$b_{e2} = \underline{\underline{446,3 \text{ mm}}}$$

b_{e2} - délka účinné části stojiny
v oblasti neutrální osy

$$A_c = t_w \cdot b_c$$

$$A_c = 0,015 \cdot 0,810$$

$$A_c = \underline{\underline{0,012150 \text{ m}^2}}$$

A_c - plocha plného průřezu tlačené
části stojiny

A_0 - plocha neúčinné
části průřezu

$$A_{c,eff} = \rho \cdot A_c$$

$$A_{c,eff} = 0,972 \cdot 0,012150$$

$$A_{c,eff} = \underline{\underline{0,011805 \text{ m}^2}}$$

$A_{c,eff}$ - účinná plocha průřezu tlačené
části stojiny

$$A_0 = A_c - A_{c,eff}$$

$$A_0 = 0,012150 - 0,011805$$

$$A_0 = \underline{\underline{0,000345 \text{ m}^2}}$$

$$A_{eff} = A - A_0$$

$$A_{eff} = 0,092000 - 0,000345$$

$$A_{eff} = \underline{\underline{0,091655 \text{ m}^2}}$$

A_{eff} - účinná plocha celého průřezu

z_p - vzdálenost těžiště
neúčinného průřezu od
původní těžišťové osy

$$b_0 = A_0 / t_w$$

$$b_0 = 0,000345 / 0,015$$

$$b_0 = \underline{\underline{23,0 \text{ mm}}}$$

b_0 - neúčinná délka stojiny

$$z_p = b_{e2} + b_0 / 2$$

$$z_p = 446,3 + 23,0 / 2$$

$$z_p = \underline{\underline{457,8 \text{ mm}}}$$

$$\Delta y = (A_0 / A) \cdot z_p$$

$$\Delta y = (0,000345 / 0,092000) \cdot 457,8$$

$$\Delta y = \underline{\underline{1,7 \text{ mm}}}$$

Δy - posunutí těžišťové osy

Statický moment setrvačnosti účinného průřezu

$$I_{y,eff} = I_y - A \cdot \Delta y^2 - A_0 \cdot (z_p + \Delta y)^2$$

$$I_{y,eff} = 0,120292 - 0,092000 \cdot 0,002^2 - 0,000345 \cdot (0,458 + 0,002)^2$$

$$I_{y,eff} = \underline{\underline{0,120219 \text{ m}^4}}$$

$$W_{yH,eff} = I_{y,eff}/(z_H - \Delta y) \quad W_{yH,eff} - \text{průřezový modul k horním}$$

$$W_{yH,eff} = 0,120219/(1,363-0,002) \quad \text{vláknům účinného průřezu}$$

$$W_{yH,eff} = \underline{0,088337} \text{ m}^3$$

$$W_{yD,eff} = I_{y,eff}/(z_D + \Delta y) \quad W_{yD,eff} - \text{průřezový modul k dolním}$$

$$W_{yD,eff} = 0,120219/(1,457+0,002) \quad \text{vláknům účinného průřezu}$$

$$W_{yD,eff} = \underline{0,082393} \text{ m}^3$$

Posouzení

$$N_{rd} = f_y \cdot A_{eff} / \gamma_{m1} \quad \gamma_{m0} = 1,000$$

$$N_{rd} = 230000 \cdot 0,091655 / 1 \quad \gamma_{m1} = 1,000$$

$$N_{rd} = \underline{21080,554} \text{ kN} \quad \gamma_{m2} = 1,250$$

$$M_{rd} = f_y \cdot W_{yD,eff} / \gamma_{m1} \quad M_{rd} = f_y \cdot W_{el,yD} / \gamma_{m1}$$

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,082393 / 1 \quad M_{rd} = 230000 \cdot 0,082540 / 1$$

$$M_{rd} = \underline{18950,376} \text{ kNm} \quad M_{rd} = \underline{18984,277} \text{ kNm}$$

Posouzení prutu pro tlak a jednoosý ohyb

$$\eta_1 = N_{ed} / N_{rd} + M_{ed} / M_{rd} \leq 1,0$$

$$\eta_1 = 330,380 / 21\,080,554 + 16\,625,600 / 18\,950,376 \leq 1,0$$

$$\eta_1 = \underline{0,893} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\eta_1 = N_{ed} / N_{rd} + M_{ed} / M_{rd} \leq 1,0$$

$$\eta_1 = 1\,693,400 / 21\,080,554 + 16\,625,600 / 18\,950,376 \leq 1,0$$

$$\eta_1 = \underline{0,958} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$\gamma_{m0}, \gamma_{m1}, \gamma_{m2}$

- dílčí součinitele

materiálů

$f_y = 230,000 \text{ MPa}$

$f_u = 360,000 \text{ MPa}$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.6

rov. (4.14)

$N_{ed} = N_{MIN} \text{ (tlak)}$

$M_{ed} = M_{y,MIN}$

$N_{ed} = N_{MAX} \text{ (tah)}$

$M_{ed} = M_{y,MIN}$

Průřez č. 2 – zesílení na smykové složky – η_3

$$\alpha = a/h_w < 3$$

$$\alpha = 3333/2700 < 3$$

$$\alpha = \underline{1,234} < 3 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$k_\tau = 4,1 + \{6,3 + 0,18 \cdot [I_v / (h_w \cdot t^3)]\} / \alpha^2 + 2,2 \cdot [I_v / (h_w \cdot t^3)]^{1/3}$$

$$k_\tau = 4,1 + \{6,3 + 0,18 \cdot [0,000006 / (2,7 \cdot 0,015^3)]\} / 1,234^2 + 2,2 \cdot [0,000006 / (2,7 \cdot 0,015^3)]^{1/3}$$

$$k_\tau = \underline{10,254}$$

Kontrola nutnosti posouzení

$$h_w/t > (31/\eta) \cdot \varepsilon \cdot k_\tau^{1/2}$$

$$270/1,5 > (31/1,2) \cdot 1,011 \cdot 10,254^{1/2}$$

$$180 > 83,616 \quad \rightarrow \quad \text{je nutné posoudit}$$

Součinitel příspěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku

ČSN EN 1993-1-5 tab. 5.1

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$	η	η
$0,83/\eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83/\bar{\lambda}_w$	$0,83/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37/(0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83/\bar{\lambda}_w$

$$\bar{\lambda}_w = h_w / (37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot k_\tau^{1/2})$$

$$\bar{\lambda}_w = 2700 / [37,4 \cdot 15 \cdot 1,011 \cdot 10,254^{1/2}]$$

$$\bar{\lambda}_w = \underline{1,487} \quad \rightarrow \quad \text{Netuhá koncová výztuha}$$

$$\chi_w = 0,83/1,487 \quad \rightarrow \quad \chi_w = \underline{0,558}$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,Rd} = [(\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t) / (\gamma_{m1} \cdot 3^{1/2})]$$

$$V_{bw,Rd} = (0,558 \cdot 230000 \cdot 2,7 \cdot 0,015) / [1,3^{1/2}]$$

$$V_{bw,Rd} = \underline{3000,934 \text{ kN}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 5.1 (2)

α - určeno dle A.3

a - vzdálenost příčníků

$$a = \underline{3333,0 \text{ mm}}$$

h_w - výška stojiny

$$h_w = \underline{2700,0 \text{ mm}}$$

k_τ - součinitel kritického napětí pro panel stojiny

t - tloušťka stojiny

$$t = \underline{15,0 \text{ mm}}$$

I_v - moment setrvačnosti

podélné výztuhy k ose z

$$I_{v1} = \underline{\text{není}}$$

$$I_{v2} = \underline{0,000006 \text{ m}^4}$$

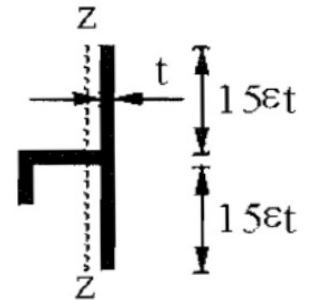
$$I_v = I_{v1} + I_{v2}$$

$$I_v = \underline{0,000006 \text{ m}^4}$$

I_{v1} a I_{v2} byly určeny

programem AutoCAD

Účinná plocha výztuhy:



η - určeno dle NA.2.4

$$\eta = \underline{1,2}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 5.2

rov. (5.2)

f_{yw} - mez kluzu stojiny

$$f_{yw} = f_y$$

Návrhová únosnost

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq [(\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t) / (\gamma_{m1} \cdot 3^{1/2})]$$

$$V_{b,Rd} = 3000,934 \leq (1,2 \cdot 230000 \cdot 2,7 \cdot 0,015) / [1,3^{1/2}]$$

$$V_{b,Rd} = \underline{3000,934} \leq \underline{6453,621} \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení

$$\eta_3 = V_{ed} / V_{b,Rd} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 2363,53 / 3000,934 \leq 1,0$$

$$\eta_3 = \underline{0,788} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\eta_3 = V_{ed} / V_{b,Rd} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 2607,25 / 3000,934 \leq 1,0$$

$$\eta_3 = \underline{0,869} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Konečný návrh geometrie

Příspěvek stojiny

zanedbávám

$$V_{bf,Rd} = \underline{\quad\quad\quad} \text{ 0 kN}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 5.2

rov. (5.1)

ČSN EN 1993-1-5

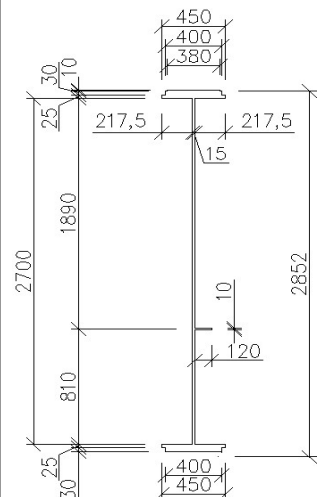
kap. 5.5

rov. (5.10)

$$V_{ed} = V_{z,MAX}$$

$$V_{ed} = V_{z,MIN}$$

Rozměry nosníku:



Kontrola interakce mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

Netuhá kocová výztuha

$$\bar{\eta}_3 = V_{ed}/V_{bw,Rd}$$

$$\bar{\eta}_3 = 2607,25/3\ 000,934$$

$$\bar{\eta}_3 = \underline{0,869}$$

Poloha těžiště zesílené pásnice A_{f1}

$$z_{TV1} = [0,5 \cdot b_{f1} \cdot t_{f1}^2 + b_{f2} \cdot t_{f2} \cdot (t_{f1} + 0,5 \cdot t_{f2}) + b_{f3} \cdot t_{f3} \cdot (t_{f1} + t_{f2} + 0,5 \cdot t_{f3})] / A_{f1}$$

$$z_{TV1} = [0,5 \cdot 450 \cdot 25^2 + 400 \cdot 30 \cdot (25 + 0,5 \cdot 30) + 380 \cdot 10 \cdot (25 + 30 + 0,5 \cdot 10)] / 23250$$

$$z_{TV1} = \underline{31,4 \text{ mm}}$$

Poloha těžiště původní pásnice A_{f2}

$$z_{TV2} = [0,5 \cdot b_{f1} \cdot t_{f1}^2 + b_{f2} \cdot t_{f2} \cdot (t_{f1} + 0,5 \cdot t_{f2})] / A_{f2}$$

$$z_{TV2} = [0,5 \cdot 450 \cdot 25^2 + 400 \cdot 30 \cdot (25 + 0,5 \cdot 30)] / 23250$$

$$z_{TV2} = \underline{26,7 \text{ mm}}$$

Návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,Rd} = (W_{fy} \cdot f_{yd}) / \gamma_{m0} \qquad W_{fy} = A_{f1} \cdot z_{f1} + A_{f2} \cdot z_{f2}$$

$$M_{f,Rd} = (0,069175 \cdot 230000) / 1 \qquad W_{fy} = 0,027050 \cdot 1\ 329 + 0,023250 \cdot 1\ 429$$

$$M_{f,Rd} = \underline{15910,306 \text{ kNm}} \qquad W_{fy} = \underline{0,069175 \text{ m}^3}$$

Návrhový plastický moment únosnosti celého průřezu

$$M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_{yd}) / \gamma_{m0}$$

$$M_{pl,Rd} = (0,097139 \cdot 230000) / 1$$

$$M_{pl,Rd} = \underline{22341,970 \text{ kNm}}$$

$$\bar{\eta}_1 = M_{ed} / M_{pl,Rd}$$

$$\bar{\eta}_1 = 16\ 625,600 / 22\ 341,970$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{0,744}$$

Je nutné posoudit následující podmínku, jelikož $\bar{\eta}_3 > 0,5$

Netuhá kocová výztuha

$$1,0 \geq \bar{\eta}_1 + (1 - M_{f,Rd} / M_{pl,Rd}) \cdot (2 \cdot \bar{\eta}_3 - 1)^2$$

$$1,0 \geq 0,744 + (1 - 15\ 910,306 / 22\ 341,970) \cdot (2 \cdot 0,869 - 1)^2$$

$$1,0 \geq \underline{0,901} \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 7.1 (1)

$$V_{ed} = \max(|V_{z,MAX}|; |V_{z,MIN}|)$$

b_{f1} - šířka pásnice

$$b_{f1} = \underline{450,0 \text{ mm}}$$

b_{f2} - šířka zesílení

$$b_{f2} = \underline{400,0 \text{ mm}}$$

b_{f3} - šířka zesílení

$$b_{f3} = \underline{380,0 \text{ mm}}$$

t_{f1} - tloušťka pásnice

$$t_{f1} = \underline{25,0 \text{ mm}}$$

t_{f2} - tloušťka zesílení

$$t_{f2} = \underline{30,0 \text{ mm}}$$

t_{f3} - tloušťka zesílení

$$t_{f3} = \underline{10,0 \text{ mm}}$$

A_{f1} - plocha horní pásnice

$$A_{f1} = b_{f1} \cdot t_{f1} + b_{f2} \cdot t_{f2} + b_{f3} \cdot t_{f3}$$

$$A_{f1} = \underline{27050,0 \text{ mm}^2}$$

A_{f2} - plocha dolní pásnice

$$A_{f2} = b_{f1} \cdot t_{f1} + b_{f2} \cdot t_{f2}$$

$$A_{f2} = \underline{23250,0 \text{ mm}^2}$$

z_{f1} - vzdálenost těžiště

horní pásnice od n. osy

$$z_{f1} = \underline{1329,0 \text{ mm}}$$

z_{f2} - vzdálenost těžiště

dolní pásnice od n. osy

$$z_{f2} = \underline{1429,1 \text{ mm}}$$

$$W_{pl} = W_{pl,y}$$

$$W_{pl} = \underline{0,097139 \text{ m}^3}$$

$$M_{ed} = \max(|M_{y,MAX}|; |M_{y,MIN}|)$$

$$M_{ed} = \underline{16625,600 \text{ kNm}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 7.1 (1)

ČSN EN 1993-1-5

kap. 7.1 rov (7.1)

Průřez č. 6

Zesílení na normálové složky – η_1

Maximální vnitřní síly:

$N_{MAX} =$	810,430 kN	$N_{MIN} =$	-463,640 kN
$V_{y,MAX} =$	54,300 kN	$V_{y,MIN} =$	-56,740 kN
$V_{z,MAX} =$	134,690 kN	$V_{z,MIN} =$	-2264,770 kN
$M_{y,MAX} =$	3764,050 kNm	$M_{y,MIN} =$	-9523,250 kNm

Změna průřezu – využití průřezu č. 5

Průřezové charakteristiky:

$A =$	0,088200 m ²	A - plocha průřezu
$I_y =$	0,112990 m ⁴	I_y - statický moment setvačnosti
$I_z =$	0,000707 m ⁴	I_z - statický moment setvačnosti
$i_y =$	1131,8 mm	i_y - poloměr setrvačnosti
$i_z =$	89,5 mm	i_z - poloměr setrvačnosti

Vzdálenosti k nejvzdálenějším vláknům průřezu od těžiště:

$Z_H =$	1411,1 mm	Z_H - vzdálenost k horním vláknům
$Z_D =$	1398,9 mm	Z_D - vzdálenost k dolním vláknům

$W_{el,yH} = I_y / Z_H$	$W_{el,yH}$ - elastický průřezový modul k horním vláknům
$W_{el,yH} = 0,112990 / 1,411$	
$W_{el,yH} = \underline{0,080071} \text{ m}^3$	
$W_{el,yD} = I_y / Z_D$	$W_{el,yD}$ - elastický průřezový modul k dolním vláknům
$W_{el,yD} = 0,112990 / 1,399$	
$W_{el,yD} = \underline{0,080772} \text{ m}^3$	
$W_{pl,y} = \underline{0,091870} \text{ m}^3$	

Velikosti vnitřních sil

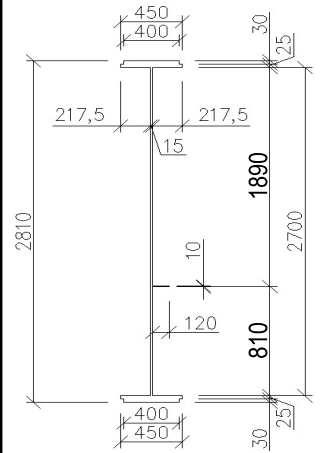
určil program

SCIA Engineer 16.0

$f_y = 230,000 \text{ MPa}$

$f_u = 360,000 \text{ MPa}$

Nové rozměry nosníku:



Hodnoty vzdáleností

nejvzdálenějších vláken průřezu od těžiště byly určeny pomocí programu AutoCAD

Charakteristiky průřezu

určil program

SCIA Engineer 16.0

Účinky boulení stěn vlivem normálových napětí v MSÚ

Napětí v horních vláknech průřezu

$$\sigma_1' = M_{ed}/W_{el,yH}$$

$$\sigma_1' = 3,764/0,080071$$

$$\sigma_1' = \underline{\underline{47,009 \text{ MPa}}}$$

Napětí v dolních vláknech průřezu

$$\sigma_2' = -(M_{ed}/W_{el,yD})$$

$$\sigma_2' = -(3,764/0,080772)$$

$$\sigma_2' = \underline{\underline{-46,601 \text{ MPa}}}$$

Napětí v horních vláknech stojiny

$$\sigma_1 = (\sigma_1'/z_H) \cdot (z_H - t_f)$$

$$\sigma_1 = (47,009/1\,411) \cdot (1\,411 - 55)$$

$$\sigma_1 = \underline{\underline{45,177 \text{ MPa}}}$$

Napětí v dolních vláknech stojiny

$$\sigma_2 = (\sigma_2'/z_D) \cdot (z_D - t_f)$$

$$\sigma_2 = (-46,601/1\,399) \cdot (1\,399 - 55)$$

$$\sigma_2 = \underline{\underline{-44,769 \text{ MPa}}}$$

Poměr napětí

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$\psi = -44,769/45,177$$

$$\psi = \underline{\underline{-0,991}}$$

Součinitel kritického napětí

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29 \cdot \psi + 9,78 \cdot \psi^2$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29 \cdot (-0,991) + 9,79 \cdot (-0,991)^2$$

$$k_\sigma = \underline{\underline{23,647}}$$

Desková štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = (c/t_w) / [28,4 \cdot \varepsilon \cdot (k_\sigma)^{1/2}]$$

$$\bar{\lambda}_p = (2700/15) / [28,4 \cdot 1,011 \cdot (23,647)^{1/2}]$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{\underline{1,289}}$$

Součinitel boulení – vnitřní tlačené části

$$\rho = 1,0 \quad \rightarrow \quad \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + (0,085 - 0,055 \cdot \psi)^{1/2}$$

$$\text{nebo} \quad 1,289 \leq 0,874 \quad \text{Nevyhovuje}$$

$$\rho = [\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)] / \bar{\lambda}_p^2 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \bar{\lambda}_p > 0,5 + (0,085 - 0,055 \cdot \psi)^{1/2}$$

$$\rho = \underline{\underline{0,709}} \quad 1,289 > 0,874 \quad \text{Vyhovuje}$$

Účinná délka tlačené stojiny

$$b_{eff} = \rho \cdot b_c$$

$$b_c = z_H - t_f$$

$$b_c = 1\,411 - 55$$

$$b_c = \underline{\underline{1356,1 \text{ mm}}}$$

$$b_{eff} = 0,709 \cdot 1\,356,1$$

$$b_{eff} = \underline{\underline{961,6 \text{ mm}}}$$

b_c - tlačená délka stojiny

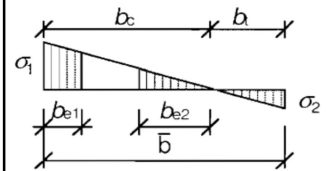
$M_{y,MAX}$

$$M_{ed} = M_{y,MAX}$$

z_{V1} - poloha podélné

výztuhy na stojně

$$z_{V1} = \underline{\underline{\text{není}}}$$



t_f - tloušťka pásnice

$$t_f = \underline{\underline{55,0 \text{ mm}}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

$$\varepsilon = \underline{\underline{1,011}}$$

c - délka stojiny

$$c = \underline{\underline{2700 \text{ mm}}}$$

t_w - tloušťka stojiny

$$t_w = \underline{\underline{15 \text{ mm}}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

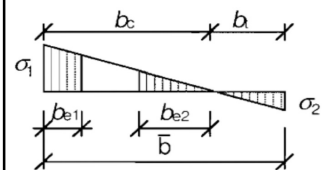
rov. (4.2)

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

rov. (4.1)



$$b_{e1} = 0,4 \cdot b_{eff}$$

$$b_{e1} = 0,4 \cdot 961,6$$

$$b_{e1} = \underline{\quad 384,6 \text{ mm} \quad}$$

b_{e1} - délka účinné části stojiny
v oblasti pásnice

ČSN EN 1993-1-5
kap. 4.4
tab. 4.1

$$b_{e2} = 0,6 \cdot b_{eff}$$

$$b_{e2} = 0,6 \cdot 961,6$$

$$b_{e2} = \underline{\quad 577,0 \text{ mm} \quad}$$

b_{e2} - délka účinné části stojiny
v oblasti neutrální osy

$$A_c = t_w \cdot b_c$$

$$A_c = 0,015 \cdot 1,356$$

$$A_c = \underline{\quad 0,020342 \text{ m}^2 \quad}$$

A_c - plocha plného průřezu tlačené
části stojiny

A_0 - plocha neúčinné
části průřezu

$$A_{c,eff} = \rho \cdot A_c$$

$$A_{c,eff} = 0,709 \cdot 0,020342$$

$$A_{c,eff} = \underline{\quad 0,014424 \text{ m}^2 \quad}$$

$A_{c,eff}$ - účinná plocha průřezu tlačené
části stojiny

$$A_0 = A_c - A_{c,eff}$$

$$A_0 = 0,020342 - 0,014424$$

$$A_0 = \underline{\quad 0,005918 \text{ m}^2 \quad}$$

$$A_{eff} = A - A_0$$

$$A_{eff} = 0,088200 - 0,005918$$

$$A_{eff} = \underline{\quad 0,082282 \text{ m}^2 \quad}$$

A_{eff} - účinná plocha celého průřezu

z_p - vzdálenost těžiště
neúčinného průřezu od
původní těžišťové osy

$$b_0 = A_0 / t_w$$

$$b_0 = 0,005918 / 0,015$$

$$b_0 = \underline{\quad 394,5 \text{ mm} \quad}$$

b_0 - neúčinná délka stojiny

$$z_p = b_{e2} + b_0 / 2$$

$$z_p = 577,0 + 394,5 / 2$$

$$z_p = \underline{\quad 774,2 \text{ mm} \quad}$$

$$\Delta y = (A_0 / A) \cdot z_p$$

$$\Delta y = (0,005918 / 0,088200) \cdot 0,774$$

$$\Delta y = \underline{\quad 51,9 \text{ mm} \quad}$$

Δy - posunutí těžišťové osy

Statický moment setrvačnosti účinného průřezu

$$I_{y,eff} = I_y - A \cdot \Delta y^2 - A_0 \cdot (z_p + \Delta y)^2$$

$$I_{y,eff} = 0,112990 - 0,088200 \cdot 0,052^2 - 0,005918 \cdot (0,774 + 0,052)^2$$

$$I_{y,eff} = \underline{\quad 0,108713 \text{ m}^4 \quad}$$

$$W_{yH,eff} = I_{y,eff} / (z_H + \Delta y) \quad W_{yH,eff} - \text{průřezový modul k horním}$$

$$W_{yH,eff} = 0,108713 / (1,411 + 0,052) \quad \text{vláknům účinného průřezu}$$

$$W_{yH,eff} = \underline{0,074305} \text{ m}^3$$

$$W_{yD,eff} = I_{y,eff} / (z_D - \Delta y) \quad W_{yD,eff} - \text{průřezový modul k dolním}$$

$$W_{yD,eff} = 0,108713 / (1,399 - 0,052) \quad \text{vláknům účinného průřezu}$$

$$W_{yD,eff} = \underline{0,080711} \text{ m}^3$$

Posouzení

$$N_{rd} = f_y \cdot A_{eff} / \gamma_{m1} \quad \gamma_{m0} = 1,000$$

$$N_{rd} = 230000 \cdot 0,082282 / 1 \quad \gamma_{m1} = 1,000$$

$$N_{rd} = \underline{18924,921} \text{ kN} \quad \gamma_{m2} = 1,250$$

$$M_{rd} = f_y \cdot W_{yH,eff} / \gamma_{m1} \quad M_{rd} = f_y \cdot W_{el,yH} / \gamma_{m1}$$

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,074305 / 1 \quad M_{rd} = 230000 \cdot 0,080071 / 1$$

$$M_{rd} = \underline{17090,082} \text{ kNm} \quad M_{rd} = \underline{18416,338} \text{ kNm}$$

Posouzení prutu pro tlak a jednoosý ohyb

$$\eta_1 = N_{ed} / N_{rd} + M_{ed} / M_{rd} \leq 1,0$$

$$\eta_1 = 463,640 / 18\,924,921 + 3\,764,050 / 17\,090,082 \leq 1,0$$

$$\eta_1 = \underline{0,245} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\eta_1 = N_{ed} / N_{rd} + M_{ed} / M_{rd} \leq 1,0$$

$$\eta_1 = 810,430 / 18\,924,921 + 3\,764,050 / 17\,090,082 \leq 1,0$$

$$\eta_1 = \underline{0,263} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$\gamma_{m0}, \gamma_{m1}, \gamma_{m2}$

- dílčí součinitele

materiálů

$f_y = 230,000 \text{ MPa}$

$f_u = 360,000 \text{ MPa}$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.6

rov. (4.14)

$N_{ed} = N_{MIN} \text{ (tlak)}$

$M_{ed} = M_{y,MAX}$

$N_{ed} = N_{MAX} \text{ (tah)}$

$M_{ed} = M_{y,MAX}$

Účinky boulení stěn vlivem normálových napětí v MSÚ

Napětí v dolních vláknech průřezu

$$\sigma_1' = -(M_{ed}/W_{el,yD})$$

$$\sigma_1' = -(-9,523/0,080772)$$

$$\sigma_1' = \underline{117,903 \text{ MPa}}$$

Napětí v dolních vláknech stojiny

$$\sigma_1 = (\sigma_1'/Z_D) \cdot (Z_D - t_f)$$

$$\sigma_1 = (117,903/1\,411,1) \cdot (1\,411,1 - 55)$$

$$\sigma_1 = \underline{113,308 \text{ MPa}}$$

Napětí v úrovni dolní výztuhy stojiny

$$\sigma_2 = (\sigma_1'/Z_D) \cdot (Z_D - t_f - Z_{V2})$$

$$\sigma_2 = (117,903/1\,411,1) \cdot (1\,411,1 - 55 - 810)$$

$$\sigma_2 = \underline{45,630 \text{ MPa}}$$

Poměr napětí

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$\psi = 45,630/113,308$$

$$\psi = \underline{0,403}$$

Součinitel kritického napětí

$$k_\sigma = 8,2/(1,05 + \psi)$$

$$k_\sigma = 8,2/(1,05 + 0,403)$$

$$k_\sigma = \underline{5,645}$$

Desková štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = (Z_{V2}/t_w) / [28,4 \cdot \epsilon \cdot (k_\sigma)^{1/2}]$$

$$\bar{\lambda}_p = (810/15) / [28,4 \cdot 1,011 \cdot (5,645)^{1/2}]$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{0,792}$$

Součinitel boulení – vnitřní tlačené části

$$\rho = 1,0 \quad \rightarrow \quad \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + (0,085 - 0,055 \cdot \psi)^{1/2}$$

$$\text{nebo} \quad 0,792 \leq 0,751 \quad \text{Nevyhovuje}$$

$$\rho = [\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)] / \bar{\lambda}_p^2 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \bar{\lambda}_p > 0,5 + (0,085 - 0,055 \cdot \psi)^{1/2}$$

$$\rho = \underline{0,964} \quad 0,792 > 0,751 \quad \text{Vyhovuje}$$

Účinná délka tlačené stojiny

$$b_{eff} = \rho \cdot b_c$$

$$b_c = Z_{V2}$$

$$b_c = \underline{810,0 \text{ mm}}$$

b_c - tlačená délka stojiny

$$b_{eff} = 0,964 \cdot 810$$

$$b_{eff} = \underline{781,2 \text{ mm}}$$

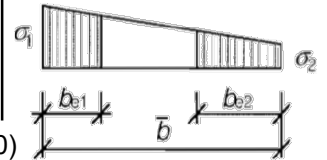
$M_{y,MIN}$

$$M_{ed} = M_{y,MIN}$$

Z_V - poloha podélné

výztuhy na stojině

$$Z_{V2} = \underline{810,0 \text{ mm}}$$



t_f - tloušťka pásnice

$$t_f = \underline{55,0 \text{ mm}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

$$\epsilon = \underline{1,011}$$

c - délka stojiny

$$c = \underline{2700 \text{ mm}}$$

t_w - tloušťka stojiny

$$t_w = \underline{15 \text{ mm}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

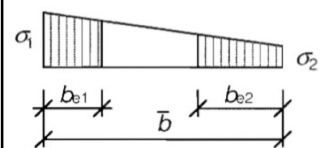
rov. (4.2)

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

rov. (4.1)



$$b_{e1} = [2/(5-\psi)] \cdot b_{eff}$$

$$b_{e1} = [2/(5-0,403)] \cdot 781,2$$

$$b_{e1} = \underline{\underline{339,9 \text{ mm}}}$$

b_{e1} - délka účinné části stojiny
v oblasti pásnice

ČSN EN 1993-1-5
kap. 4.4
tab. 4.1

$$b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$$

$$b_{e2} = 781,2 - 339,9$$

$$b_{e2} = \underline{\underline{441,4 \text{ mm}}}$$

b_{e2} - délka účinné části stojiny
v oblasti neutrální osy

$$A_c = t_w \cdot b_c$$

$$A_c = 0,015 \cdot 0,810$$

$$A_c = \underline{\underline{0,012150 \text{ m}^2}}$$

A_c - plocha plného průřezu tlačené
části stojiny

A_0 - plocha neúčinné
části průřezu

$$A_{c,eff} = \rho \cdot A_c$$

$$A_{c,eff} = 0,964 \cdot 0,012150$$

$$A_{c,eff} = \underline{\underline{0,011718 \text{ m}^2}}$$

$A_{c,eff}$ - účinná plocha průřezu tlačené
části stojiny

$$A_0 = A_c - A_{c,eff}$$

$$A_0 = 0,012150 - 0,011718$$

$$A_0 = \underline{\underline{0,000432 \text{ m}^2}}$$

$$A_{eff} = A - A_0$$

$$A_{eff} = 0,088200 - 0,000432$$

$$A_{eff} = \underline{\underline{0,087768 \text{ m}^2}}$$

A_{eff} - účinná plocha celého průřezu

z_p - vzdálenost těžiště
neúčinného průřezu od
původní těžišťové osy

$$b_0 = A_0 / t_w$$

$$b_0 = 0,000432 / 0,015$$

$$b_0 = \underline{\underline{28,8 \text{ mm}}}$$

b_0 - neúčinná délka stojiny

$$z_p = b_{e2} + b_0 / 2$$

$$z_p = 441,4 + 28,8 / 2$$

$$z_p = \underline{\underline{455,7 \text{ mm}}}$$

$$\Delta y = (A_0 / A) \cdot z_p$$

$$\Delta y = (0,000432 / 0,088200) \cdot 0,456$$

$$\Delta y = \underline{\underline{2,2 \text{ mm}}}$$

Δy - posunutí těžišťové osy

Statický moment setrvačnosti účinného průřezu

$$I_{y,eff} = I_y - A \cdot \Delta y^2 - A_0 \cdot (z_p + \Delta y)^2$$

$$I_{y,eff} = 0,112990 - 0,088200 \cdot 0,002^2 - 0,000432 \cdot (0,456 + 0,002)^2$$

$$I_{y,eff} = \underline{\underline{0,112899 \text{ m}^4}}$$

$$W_{yH,eff} = I_{y,eff} / (z_H - \Delta y) \quad W_{yH,eff} - \text{průřezový modul k horním}$$

$$W_{yH,eff} = 0,112899 / (1,411 - 0,002) \quad \text{vláknům účinného průřezu}$$

$$W_{yH,eff} = \underline{0,080133} \text{ m}^3$$

$$W_{yD,eff} = I_{y,eff} / (z_D + \Delta y) \quad W_{yD,eff} - \text{průřezový modul k dolním}$$

$$W_{yD,eff} = 0,112899 / (1,399 + 0,002) \quad \text{vláknům účinného průřezu}$$

$$W_{yD,eff} = \underline{0,080578} \text{ m}^3$$

Posouzení

$$N_{rd} = f_y \cdot A_{eff} / \gamma_{m1} \quad \gamma_{m0} = 1,000$$

$$N_{rd} = 230000 \cdot 0,087768 / 1 \quad \gamma_{m1} = 1,000$$

$$N_{rd} = \underline{20186,738} \text{ kN} \quad \gamma_{m2} = 1,250$$

$$M_{rd} = f_y \cdot W_{yD,eff} / \gamma_{m1} \quad M_{rd} = f_y \cdot W_{el,yD} / \gamma_{m1}$$

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,080578 / 1 \quad M_{rd} = 230000 \cdot 0,080772 / 1$$

$$M_{rd} = \underline{18533,031} \text{ kNm} \quad M_{rd} = \underline{18577,531} \text{ kNm}$$

Posouzení prutu pro tlak a jednoosý ohyb

$$\eta_1 = N_{ed} / N_{rd} + M_{ed} / M_{rd} \leq 1,0$$

$$\eta_1 = 463,640 / 20186,738 + 9523,250 / 18533,031 \leq 1,0$$

$$\eta_1 = \underline{0,537} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\eta_1 = N_{ed} / N_{rd} + M_{ed} / M_{rd} \leq 1,0$$

$$\eta_1 = 810,430 / 20186,738 + 9523,250 / 18533,031 \leq 1,0$$

$$\eta_1 = \underline{0,554} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$\gamma_{m0}, \gamma_{m1}, \gamma_{m2}$

- dílčí součinitele

materiálů

$f_y = 230,000 \text{ MPa}$

$f_u = 360,000 \text{ MPa}$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.6

rov. (4.14)

$N_{ed} = N_{MIN} \text{ (tlak)}$

$M_{ed} = M_{y,MIN}$

$N_{ed} = N_{MAX} \text{ (tah)}$

$M_{ed} = M_{y,MIN}$

Průřez č. 2 – zesílení na smykové složky – η_3

$$\alpha = a/h_w < 3$$

$$\alpha = 3333/2700 < 3$$

$$\alpha = \underline{1,234} < 3 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$k_\tau = 4,1 + \{6,3 + 0,18 \cdot [I_v / (h_w \cdot t^3)]\} / \alpha^2 + 2,2 \cdot [I_v / (h_w \cdot t^3)]^{1/3}$$

$$k_\tau = 4,1 + \{6,3 + 0,18 \cdot [0,000006 / (2,7 \cdot 0,015^3)]\} / 1,234^2 + 2,2 \cdot [0,000006 / (2,7 \cdot 0,015^3)]^{1/3}$$

$$k_\tau = \underline{10,254}$$

Kontrola nutnosti posouzení

$$h_w/t > (31/\eta) \cdot \varepsilon \cdot k_\tau^{1/2}$$

$$270/1,5 > (31/1,2) \cdot 1,011 \cdot 10,254^{1/2}$$

$$180 > 83,616 \quad \rightarrow \quad \text{je nutné posoudit}$$

Součinitel příspěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku

ČSN EN 1993-1-5 tab. 5.1

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$	η	η
$0,83/\eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83/\bar{\lambda}_w$	$0,83/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37/(0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83/\bar{\lambda}_w$

$$\bar{\lambda}_w = h_w / (37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot k_\tau^{1/2})$$

$$\bar{\lambda}_w = 2700 / [37,4 \cdot 15 \cdot 1,011 \cdot 10,254^{1/2}]$$

$$\bar{\lambda}_w = \underline{1,487} \quad \rightarrow \quad \text{Netuhá koncová výztuha}$$

$$\chi_w = 0,83/1,487 \quad \rightarrow \quad \chi_w = \underline{0,558}$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,Rd} = [(\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t) / (\gamma_{m1} \cdot 3^{1/2})]$$

$$V_{bw,Rd} = (0,558 \cdot 230000 \cdot 2,7 \cdot 0,015) / [1,3^{1/2}]$$

$$V_{bw,Rd} = \underline{3000,934 \text{ kN}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 5.1 (2)

α - určeno dle A.3

a - vzdálenost příčníků

$$a = \underline{3333,0 \text{ mm}}$$

h_w - výška stojiny

$$h_w = \underline{2700,0 \text{ mm}}$$

k_τ - součinitel kritického napětí pro panel stojiny

t - tloušťka stojiny

$$t = \underline{15,0 \text{ mm}}$$

I_v - moment setrvačnosti

podélné výztuhy k ose z

$$I_{v1} = \underline{\text{není}}$$

$$I_{v2} = \underline{0,000006 \text{ m}^4}$$

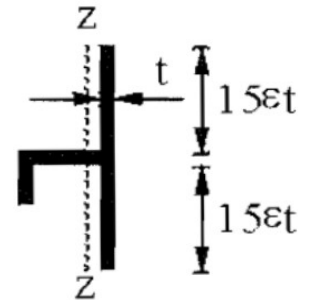
$$I_v = I_{v1} + I_{v2}$$

$$I_v = \underline{0,000006 \text{ m}^4}$$

I_{v1} a I_{v2} byly určeny

programem AutoCAD

Účinná plocha výztuhy:



η - určeno dle NA.2.4

$$\eta = \underline{1,2}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 5.2

rov. (5.2)

f_{yw} - mez kluzu stojiny

$$f_{yw} = f_y$$

Návrhová únosnost

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq [(\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t) / (\gamma_{m1} \cdot 3^{1/2})]$$

$$V_{b,Rd} = 3000,934 \leq (1,2 \cdot 230000 \cdot 2,7 \cdot 0,015) / [1,3^{1/2}]$$

$$V_{b,Rd} = \underline{3000,934} \leq \underline{6453,621} \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení

$$\eta_3 = V_{ed} / V_{b,Rd} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 134,69 / 3000,934 \leq 1,0$$

$$\eta_3 = \underline{0,045} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\eta_3 = V_{ed} / V_{b,Rd} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 2264,77 / 3000,934 \leq 1,0$$

$$\eta_3 = \underline{0,755} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Konečný návrh geometrie

Příspěvek stojiny

zanedbávám

$$V_{bf,Rd} = \underline{\quad\quad\quad} \text{ 0 kN}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 5.2

rov. (5.1)

ČSN EN 1993-1-5

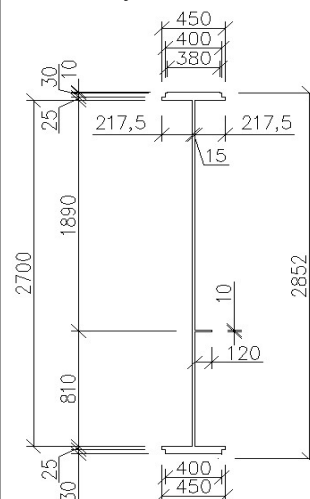
kap. 5.5

rov. (5.10)

$$V_{ed} = V_{z,MAX}$$

$$V_{ed} = V_{z,MIN}$$

Rozměry nosníku:



Kontrola interakce mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

Netuhá kocová výztuha

$$\bar{\eta}_3 = V_{ed}/V_{bw,Rd}$$

$$\bar{\eta}_3 = 2264,77/3\ 000,934$$

$$\bar{\eta}_3 = \underline{0,755}$$

Poloha těžiště zesílené pásnice

$$z_{Tv} = [0,5 \cdot b_{f1} \cdot t_{f1}^2 + b_{f2} \cdot t_{f2} \cdot (t_{f1} + 0,5 \cdot t_{f2})]/A_f$$

$$z_{Tv} = [0,5 \cdot 450 \cdot 25^2 + 400 \cdot 30 \cdot (25 + 0,5 \cdot 30)]/23250$$

$$z_{Tv} = \underline{26,7 \text{ mm}}$$

Návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,Rd} = (W_{fy} \cdot f_{yd})/\gamma_{m0}$$

$$W_{fy} = A_f \cdot (z_{f1} + z_{f2})$$

$$W_{fy} = 0,023250 \cdot (1,383 + 1,371)$$

$$W_{fy} = \underline{0,064016 \text{ m}^3}$$

$$M_{f,Rd} = (0,064016 \cdot 230000)/1$$

$$M_{f,Rd} = \underline{14723,738 \text{ kNm}}$$

Návrhový plastický moment únosnosti celého průřezu

$$M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_{yd})/\gamma_{m0}$$

$$M_{pl,Rd} = (0,091870 \cdot 230000)/1$$

$$M_{pl,Rd} = \underline{21130,100 \text{ kNm}}$$

$$\bar{\eta}_1 = M_{ed}/M_{pl,Rd}$$

$$\bar{\eta}_1 = 9\ 523,250/21\ 130,100$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{0,451}$$

Je nutné posoudit následující podmínku, jelikož $\bar{\eta}_3 > 0,5$

Netuhá kocová výztuha

$$1,0 \geq \bar{\eta}_1 + (1 - M_{f,Rd}/M_{pl,Rd}) \cdot (2 \cdot \bar{\eta}_3 - 1)^2$$

$$1,0 \geq 0,451 + (1 - 14\ 723,738/21\ 130,100) \cdot (2 \cdot 0,755 - 1)^2$$

$$1,0 \geq \underline{0,529} \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 7.1 (1)

$$V_{ed} = \max(|V_{z,MAX}|; |V_{z,MIN}|)$$

b_{f1} - šířka pásnice

$$b_{f1} = \underline{450,0 \text{ mm}}$$

b_{f2} - šířka zesílení

$$b_{f2} = \underline{400,0 \text{ mm}}$$

t_{f1} - šířka pásnice

$$t_{f1} = \underline{25,0 \text{ mm}}$$

t_{f2} - šířka zesílení

$$t_{f2} = \underline{30,0 \text{ mm}}$$

A_f - plocha pásnice

$$A_f = b_{f1} \cdot t_{f1} + b_{f2} \cdot t_{f2}$$

$$A_f = 450 \cdot 25 + 400 \cdot 30$$

$$A_f = \underline{23250,0 \text{ mm}^2}$$

z_{f1} - vzdálenost těžiště horní pásnice od n. osy

$$z_{f1} = \underline{1382,8 \text{ mm}}$$

z_{f2} - vzdálenost těžiště dolní pásnice od n. osy

$$z_{f2} = \underline{1370,6 \text{ mm}}$$

$$W_{pl} = W_{pl,y}$$

$$W_{pl} = \underline{0,091870 \text{ m}^3}$$

$$M_{ed} = \max(|M_{y,MAX}|; |M_{y,MIN}|)$$

$$M_{ed} = \underline{9523,250 \text{ kNm}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 7.1 (1)

ČSN EN 1993-1-5

kap. 7.1

rov. (7.1)

Průřez č. 10

Zesílení na normálové složky – η_1

Maximální vnitřní síly:

$N_{MAX} =$	799,590 kN	$N_{MIN} =$	-680,330 kN
$V_{y,MAX} =$	73,490 kN	$V_{y,MIN} =$	-63,210 kN
$V_{z,MAX} =$	2308,860 kN	$V_{z,MIN} =$	-72,850 kN
$M_{y,MAX} =$	4633,110 kNm	$M_{y,MIN} =$	-9593,540 kNm

Změna průřezu – využití průřezu č. 11

Průřezové charakteristiky:

$A =$	0,093000 m ²	A - plocha průřezu
$I_y =$	0,122500 m ⁴	I_y - statický moment setvačnosti
$I_z =$	0,000771 m ⁴	I_z - statický moment setvačnosti
$i_y =$	1147,7 mm	i_y - poloměr setrvačnosti
$i_z =$	91,1 mm	i_z - poloměr setrvačnosti

Vzdálenosti k nejvzdálenějším vláknům průřezu od těžiště:

$Z_H =$	1416,8 mm	Z_H - vzdálenost k horním vláknům
$Z_D =$	1405,2 mm	Z_D - vzdálenost k dolním vláknům

$W_{el,yH} = I_y / Z_H$	$W_{el,yH}$ - elastický průřezový modul k horním vláknům
$W_{el,yH} = 0,122500 / 1,417$	
$W_{el,yH} = 0,086462 \text{ m}^3$	
$W_{el,yD} = I_y / Z_D$	$W_{el,yD}$ - elastický průřezový modul k dolním vláknům
$W_{el,yD} = 0,122500 / 1,405$	
$W_{el,yD} = 0,087177 \text{ m}^3$	
$W_{pl,y} = 0,058510 \text{ m}^3$	

Velikosti vnitřních sil

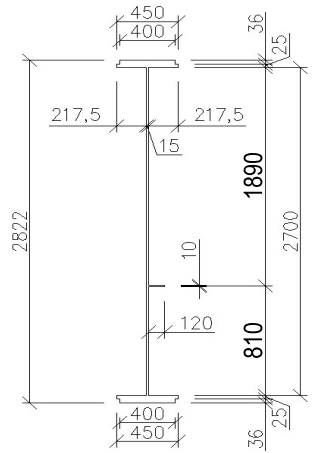
určil program

SCIA Engineer 16.0

$f_y = 230,000 \text{ MPa}$

$f_u = 360,000 \text{ MPa}$

Nové rozměry nosníku:



Hodnoty vzdáleností

nejvzdálenějších vláken průřezu od těžiště byly určeny pomocí programu AutoCAD

Charakteristiky průřezu

určil program

SCIA Engineer 16.0

Účinky boulení stěn vlivem normálových napětí v MSÚ

Napětí v horních vláknech průřezu

$$\sigma_1' = M_{ed}/W_{el,yH}$$

$$\sigma_1' = 4,633/0,086462$$

$$\sigma_1' = \underline{\underline{53,585 \text{ MPa}}}$$

Napětí v dolních vláknech průřezu

$$\sigma_2' = -(M_{ed}/W_{el,yD})$$

$$\sigma_2' = -(4,633/0,087177)$$

$$\sigma_2' = \underline{\underline{-53,146 \text{ MPa}}}$$

Napětí v horních vláknech stojiny

$$\sigma_1 = (\sigma_1'/z_H) \cdot (z_H - t_f)$$

$$\sigma_1 = (53,585/1\,417) \cdot (1\,417 - 55)$$

$$\sigma_1 = \underline{\underline{51,505 \text{ MPa}}}$$

Napětí v dolních vláknech stojiny

$$\sigma_2 = (\sigma_2'/z_D) \cdot (z_D - t_f)$$

$$\sigma_2 = (-53,146/1\,405) \cdot (1\,405 - 55)$$

$$\sigma_2 = \underline{\underline{-51,066 \text{ MPa}}}$$

Poměr napětí

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$\psi = -51,066/51,505$$

$$\psi = \underline{\underline{-0,991}}$$

Součinitel kritického napětí

$$k_{\sigma} = 7,81 - 6,29 \cdot \psi + 9,78 \cdot \psi^2$$

$$k_{\sigma} = 7,81 - 6,29 \cdot (-0,991) + 9,79 \cdot (-0,991)^2$$

$$k_{\sigma} = \underline{\underline{23,660}}$$

Desková štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = (c/t_w) / [28,4 \cdot \varepsilon \cdot (k_{\sigma})^{1/2}]$$

$$\bar{\lambda}_p = (2700/15) / [28,4 \cdot 1,011 \cdot (23,660)^{1/2}]$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{\underline{1,289}}$$

Součinitel boulení – vnitřní tlačené části

$$\rho = 1,0$$

nebo

$$\rho = [\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)] / \bar{\lambda}_p^2 \leq 1,0$$

$$\rho = \underline{\underline{0,709}}$$

$$\rightarrow \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + (0,085 - 0,055 \cdot \psi)^{1/2}$$

$$1,289 \leq 0,874$$

Nevyhovuje

$$\rightarrow \bar{\lambda}_p > 0,5 + (0,085 - 0,055 \cdot \psi)^{1/2}$$

$$1,289 > 0,874$$

Vyhovuje

Účinná délka tlačené stojiny

$$b_{eff} = \rho \cdot b_c$$

$$b_c = z_H - t_f$$

$$b_c = 1\,416,8 - 55$$

$$b_c = \underline{\underline{1361,8 \text{ mm}}}$$

b_c - tlačená délka stojiny

$$b_{eff} = 0,709 \cdot 1\,361,8$$

$$b_{eff} = \underline{\underline{965,9 \text{ mm}}}$$

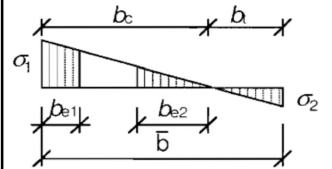
$M_{y,MAX}$

$$M_{ed} = M_{y,MAX}$$

z_{V1} - poloha podélné

výztuhy na stojině

$$z_{V1} = \underline{\underline{\text{není}}}$$



t_f - tloušťka pásnice

$$t_f = \underline{\underline{55,0 \text{ mm}}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

$$\varepsilon = \underline{\underline{1,011}}$$

c - délka stojiny

$$c = \underline{\underline{2700 \text{ mm}}}$$

t_w - tloušťka stojiny

$$t_w = \underline{\underline{15 \text{ mm}}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

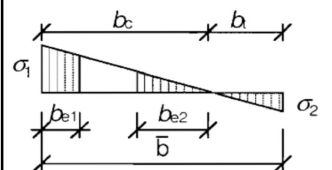
rov. (4.2)

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

rov. (4.1)



$$b_{e1} = 0,4 \cdot b_{eff}$$

$$b_{e1} = 0,4 \cdot 965,9$$

$$b_{e1} = \underline{\underline{386,4 \text{ mm}}}$$

b_{e1} - délka účinné části stojiny
v oblasti pásnice

ČSN EN 1993-1-5
kap. 4.4
tab. 4.1

$$b_{e2} = 0,6 \cdot b_{eff}$$

$$b_{e2} = 0,6 \cdot 965,9$$

$$b_{e2} = \underline{\underline{579,5 \text{ mm}}}$$

b_{e2} - délka účinné části stojiny
v oblasti neutrální osy

$$A_c = t_w \cdot b_c$$

$$A_c = 0,015 \cdot 1,362$$

$$A_c = \underline{\underline{0,020427 \text{ m}^2}}$$

A_c - plocha plného průřezu tlačené
části stojiny

A_0 - plocha neúčinné
části průřezu

$$A_{c,eff} = \rho \cdot A_c$$

$$A_{c,eff} = 0,709 \cdot 0,020427$$

$$A_{c,eff} = \underline{\underline{0,014488 \text{ m}^2}}$$

$A_{c,eff}$ - účinná plocha průřezu tlačené
části stojiny

$$A_0 = A_c - A_{c,eff}$$

$$A_0 = 0,020427 - 0,014488$$

$$A_0 = \underline{\underline{0,005939 \text{ m}^2}}$$

$$A_{eff} = A - A_0$$

$$A_{eff} = 0,093000 - 0,005939$$

$$A_{eff} = \underline{\underline{0,087061 \text{ m}^2}}$$

A_{eff} - účinná plocha celého průřezu

z_p - vzdálenost těžiště
neúčinného průřezu od
původní těžišťové osy

$$b_0 = A_0 / t_w$$

$$b_0 = 0,005939 / 0,015$$

$$b_0 = \underline{\underline{395,9 \text{ mm}}}$$

b_0 - neúčinná délka stojiny

$$z_p = b_{e2} + b_0 / 2$$

$$z_p = 579,5 + 395,9 / 2$$

$$z_p = \underline{\underline{777,5 \text{ mm}}}$$

$$\Delta y = (A_0 / A) \cdot z_p$$

$$\Delta y = (0,005939 / 0,093000) \cdot 0,777$$

$$\Delta y = \underline{\underline{49,6 \text{ mm}}}$$

Δy - posunutí těžišťové osy

Statický moment setrvačnosti účinného průřezu

$$I_{y,eff} = I_y - A \cdot \Delta y^2 - A_0 \cdot (z_p + \Delta y)^2$$

$$I_{y,eff} = 0,122500 - 0,093000 \cdot 0,050^2 - 0,005939 \cdot (0,777 + 0,050)^2$$

$$I_{y,eff} = \underline{\underline{0,118208 \text{ m}^4}}$$

$$W_{yH,eff} = I_{y,eff} / (z_H + \Delta y) \quad W_{yH,eff} - \text{průřezový modul k horním}$$

$$W_{yH,eff} = 0,118208 / (1,417 + 0,050) \quad \text{vláknům účinného průřezu}$$

$$W_{yH,eff} = \underline{0,080608} \text{ m}^3$$

$$W_{yD,eff} = I_{y,eff} / (z_D - \Delta y) \quad W_{yD,eff} - \text{průřezový modul k dolním}$$

$$W_{yD,eff} = 0,118208 / (1,405 - 0,050) \quad \text{vláknům účinného průřezu}$$

$$W_{yD,eff} = \underline{0,087203} \text{ m}^3$$

Posouzení

$$N_{rd} = f_y \cdot A_{eff} / \gamma_{m1} \quad \gamma_{m0} = 1,000$$

$$N_{rd} = 230000 \cdot 0,087061 / 1 \quad \gamma_{m1} = 1,000$$

$$N_{rd} = \underline{20024,115} \text{ kN} \quad \gamma_{m2} = 1,250$$

$$M_{rd} = f_y \cdot W_{yH,eff} / \gamma_{m1} \quad M_{rd} = f_y \cdot W_{el,yH} / \gamma_{m1}$$

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,080608 / 1 \quad M_{rd} = 230000 \cdot 0,086462 / 1$$

$$M_{rd} = \underline{18539,806} \text{ kNm} \quad M_{rd} = \underline{19886,265} \text{ kNm}$$

Posouzení prutu pro tlak a jednoosý ohyb

$$\eta_1 = N_{ed} / N_{rd} + M_{ed} / M_{rd} \leq 1,0$$

$$\eta_1 = 680,330 / 20\,024,115 + 4\,633,110 / 18\,539,806 \leq 1,0$$

$$\eta_1 = \underline{0,284} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\eta_1 = N_{ed} / N_{rd} + M_{ed} / M_{rd} \leq 1,0$$

$$\eta_1 = 799,590 / 20\,024,115 + 4\,633,110 / 18\,539,806 \leq 1,0$$

$$\eta_1 = \underline{0,290} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$\gamma_{m0}, \gamma_{m1}, \gamma_{m2}$

- dílčí součinitele

materiálů

$f_y = 230,000 \text{ MPa}$

$f_u = 360,000 \text{ MPa}$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.6

rov. (4.14)

$N_{ed} = N_{MIN} \text{ (tlak)}$

$M_{ed} = M_{y,MAX}$

$N_{ed} = N_{MAX} \text{ (tah)}$

$M_{ed} = M_{y,MAX}$

Účinky boulení stěn vlivem normálových napětí v MSÚ

Napětí v dolních vláknech průřezu

$$\sigma_1' = -(M_{ed}/W_{el,yD})$$

$$\sigma_1' = -(-9,594/0,087177)$$

$$\sigma_1' = \underline{110,047 \text{ MPa}}$$

Napětí v dolních vláknech stojiny

$$\sigma_1 = (\sigma_1'/z_D) \cdot (z_D - t_f)$$

$$\sigma_1 = (110,047/1\,416,8) \cdot (1\,416,8 - 55)$$

$$\sigma_1 = \underline{105,775 \text{ MPa}}$$

Napětí v úrovni dolní výztuhy stojiny

$$\sigma_2 = (\sigma_1'/z_D) \cdot (z_D - t_f - z_{V2})$$

$$\sigma_2 = (110,047/1\,416,8) \cdot (1\,416,8 - 55 - 810)$$

$$\sigma_2 = \underline{42,860 \text{ MPa}}$$

Poměr napětí

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$\psi = 42,860/105,775$$

$$\psi = \underline{0,405}$$

Součinitel kritického napětí

$$k_\sigma = 8,2/(1,05 + \psi)$$

$$k_\sigma = 8,2/(1,05 + 0,405)$$

$$k_\sigma = \underline{5,635}$$

Desková štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = (z_{V2}/t_w) / [28,4 \cdot \epsilon \cdot (k_\sigma)^{1/2}]$$

$$\bar{\lambda}_p = (810/15) / [28,4 \cdot 1,011 \cdot (5,635)^{1/2}]$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{0,792}$$

Součinitel boulení – vnitřní tlačené části

$$\rho = 1,0 \quad \rightarrow \quad \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + (0,085 - 0,055 \cdot \psi)^{1/2}$$

$$\text{nebo} \quad 0,792 \leq 0,750 \quad \text{Nevyhovuje}$$

$$\rho = [\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)] / \bar{\lambda}_p^2 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \bar{\lambda}_p > 0,5 + (0,085 - 0,055 \cdot \psi)^{1/2}$$

$$\rho = \underline{0,964} \quad 0,792 > 0,750 \quad \text{Vyhovuje}$$

Účinná délka tlačené stojiny

$$b_{eff} = \rho \cdot b_c$$

$$b_c = z_{V2}$$

$$b_c = \underline{810,0 \text{ mm}}$$

b_c - tlačená délka stojiny

$$b_{eff} = 0,964 \cdot 810$$

$$b_{eff} = \underline{780,6 \text{ mm}}$$

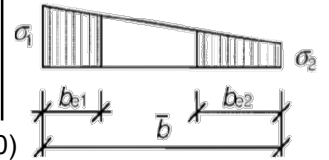
$M_{y,MIN}$

$$M_{ed} = M_{y,MIN}$$

z_V - poloha podélné

výztuhy na stojně

$$z_{V2} = \underline{810,0 \text{ mm}}$$



t_f - tloušťka pásnice

$$t_f = \underline{55,0 \text{ mm}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

$$\epsilon = \underline{1,011}$$

c - délka stojiny

$$c = \underline{2700 \text{ mm}}$$

t_w - tloušťka stojiny

$$t_w = \underline{15 \text{ mm}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

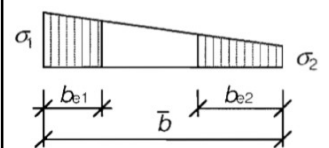
rov. (4.2)

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

rov. (4.1)



$$b_{e1} = [2/(5-\psi)] \cdot b_{eff}$$

$$b_{e1} = [2/(5-0,405)] \cdot 780,6$$

$$b_{e1} = \underline{\underline{339,8 \text{ mm}}}$$

b_{e1} - délka účinné části stojiny
v oblasti pásnice

ČSN EN 1993-1-5
kap. 4.4
tab. 4.1

$$b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$$

$$b_{e2} = 780,6 - 339,8$$

$$b_{e2} = \underline{\underline{440,8 \text{ mm}}}$$

b_{e2} - délka účinné části stojiny
v oblasti neutrální osy

$$A_c = t_w \cdot b_c$$

$$A_c = 0,015 \cdot 0,810$$

$$A_c = \underline{\underline{0,012150 \text{ m}^2}}$$

A_c - plocha plného průřezu tlačené
části stojiny

A_0 - plocha neúčinné
části průřezu

$$A_{c,eff} = \rho \cdot A_c$$

$$A_{c,eff} = 0,964 \cdot 0,012150$$

$$A_{c,eff} = \underline{\underline{0,011709 \text{ m}^2}}$$

$A_{c,eff}$ - účinná plocha průřezu tlačené
části stojiny

$$A_0 = A_c - A_{c,eff}$$

$$A_0 = 0,012150 - 0,01171$$

$$A_0 = \underline{\underline{0,000441 \text{ m}^2}}$$

$$A_{eff} = A - A_0$$

$$A_{eff} = 0,093000 - 0,000441$$

$$A_{eff} = \underline{\underline{0,092559 \text{ m}^2}}$$

A_{eff} - účinná plocha celého průřezu

z_p - vzdálenost těžiště
neúčinného průřezu od
původní těžišťové osy

$$b_0 = A_0 / t_w$$

$$b_0 = 0,000441 / 0,015$$

$$b_0 = \underline{\underline{29,4 \text{ mm}}}$$

b_0 - neúčinná délka stojiny

$$z_p = b_{e2} + b_0 / 2$$

$$z_p = 440,8 + 29,4 / 2$$

$$z_p = \underline{\underline{455,5 \text{ mm}}}$$

$$\Delta y = (A_0 / A) \cdot z_p$$

$$\Delta y = (0,000441 / 0,093000) \cdot 0,456$$

$$\Delta y = \underline{\underline{2,2 \text{ mm}}}$$

Δy - posunutí těžišťové osy

Statický moment setrvačnosti účinného průřezu

$$I_{y,eff} = I_y - A \cdot \Delta y^2 - A_0 \cdot (z_p + \Delta y)^2$$

$$I_{y,eff} = 0,122500 - 0,093000 \cdot 0,002^2 - 0,000441 \cdot (0,456 + 0,002)^2$$

$$I_{y,eff} = \underline{\underline{0,122407 \text{ m}^4}}$$

$$W_{yH,eff} = I_{y,eff} / (z_H - \Delta y) \quad W_{yH,eff} - \text{průřezový modul k horním}$$

$$W_{yH,eff} = 0,122407 / (1,417 - 0,002) \quad \text{vláknům účinného průřezu}$$

$$W_{yH,eff} = \underline{0,086528} \text{ m}^3$$

$$W_{yD,eff} = I_{y,eff} / (z_D + \Delta y) \quad W_{yD,eff} - \text{průřezový modul k dolním}$$

$$W_{yD,eff} = 0,122407 / (1,405 + 0,002) \quad \text{vláknům účinného průřezu}$$

$$W_{yD,eff} = \underline{0,086977} \text{ m}^3$$

Posouzení

$$N_{rd} = f_y \cdot A_{eff} / \gamma_{m1} \quad \gamma_{m0} = 1,000$$

$$N_{rd} = 230000 \cdot 0,092559 / 1 \quad \gamma_{m1} = 1,000$$

$$N_{rd} = \underline{21288,532} \text{ kN} \quad \gamma_{m2} = 1,250$$

$$M_{rd} = f_y \cdot W_{yD,eff} / \gamma_{m1} \quad M_{rd} = f_y \cdot W_{el,yD} / \gamma_{m1}$$

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,086977 / 1 \quad M_{rd} = 230000 \cdot 0,087177 / 1$$

$$M_{rd} = \underline{20004,652} \text{ kNm} \quad M_{rd} = \underline{20050,612} \text{ kNm}$$

Posouzení prutu pro tlak a jednoosý ohyb

$$\eta_1 = N_{ed} / N_{rd} + M_{ed} / M_{rd} \leq 1,0$$

$$\eta_1 = 680,330 / 21288,532 + 9593,540 / 20004,652 \leq 1,0$$

$$\eta_1 = \underline{0,512} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\eta_1 = N_{ed} / N_{rd} + M_{ed} / M_{rd} \leq 1,0$$

$$\eta_1 = 799,590 / 21288,532 + 9593,540 / 20004,652 \leq 1,0$$

$$\eta_1 = \underline{0,517} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$\gamma_{m0}, \gamma_{m1}, \gamma_{m2}$

- dílčí součinitele

materiálů

$f_y = 230,000 \text{ MPa}$

$f_u = 360,000 \text{ MPa}$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.6

rov. (4.14)

$N_{ed} = N_{MIN} \text{ (tlak)}$

$M_{ed} = M_{y,MIN}$

$N_{ed} = N_{MAX} \text{ (tah)}$

$M_{ed} = M_{y,MIN}$

Průřez č. 2 – zesílení na smykové složky – η_3

$$\alpha = a/h_w < 3$$

$$\alpha = 3333/2700 < 3$$

$$\alpha = \underline{1,234} < 3 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$k_\tau = 4,1 + \{6,3 + 0,18 \cdot [I_v / (h_w \cdot t^3)]\} / \alpha^2 + 2,2 \cdot [I_v / (h_w \cdot t^3)]^{1/3}$$

$$k_\tau = 4,1 + \{6,3 + 0,18 \cdot [0,000006 / (2,7 \cdot 0,015^3)]\} / 1,234^2 + 2,2 \cdot [0,000006 / (2,7 \cdot 0,015^3)]^{1/3}$$

$$k_\tau = \underline{10,254}$$

Kontrola nutnosti posouzení

$$h_w/t > (31/\eta) \cdot \varepsilon \cdot k_\tau^{1/2}$$

$$270/1,5 > (31/1,2) \cdot 1,011 \cdot 10,254^{1/2}$$

$$180 > 83,616 \quad \rightarrow \quad \text{je nutné posoudit}$$

Součinitel příspěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku

ČSN EN 1993-1-5 tab. 5.1

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$	η	η
$0,83/\eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83/\bar{\lambda}_w$	$0,83/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37/(0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83/\bar{\lambda}_w$

$$\bar{\lambda}_w = h_w / (37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot k_\tau^{1/2})$$

$$\bar{\lambda}_w = 2700 / [37,4 \cdot 15 \cdot 1,011 \cdot 10,254^{1/2}]$$

$$\bar{\lambda}_w = \underline{1,487} \quad \rightarrow \quad \text{Netuhá koncová výztuha}$$

$$\chi_w = 0,83/1,487 \quad \rightarrow \quad \chi_w = \underline{0,558}$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,Rd} = [(\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t) / (\gamma_{m1} \cdot 3^{1/2})]$$

$$V_{bw,Rd} = (0,558 \cdot 230000 \cdot 2,7 \cdot 0,015) / [1,3^{1/2}]$$

$$V_{bw,Rd} = \underline{3000,934 \text{ kN}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 5.1 (2)

α - určeno dle A.3

a - vzdálenost příčníků

$$a = \underline{3333,0 \text{ mm}}$$

h_w - výška stojiny

$$h_w = \underline{2700,0 \text{ mm}}$$

k_τ - součinitel kritického napětí pro panel stojiny

t - tloušťka stojiny

$$t = \underline{15,0 \text{ mm}}$$

I_v - moment setrvačnosti

podélné výztuhy k ose z

$$I_{v1} = \underline{\text{není}}$$

$$I_{v2} = \underline{0,000006 \text{ m}^4}$$

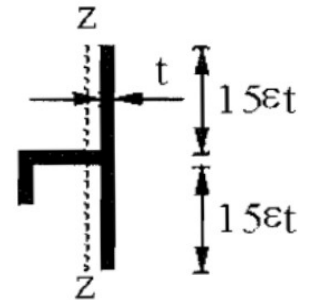
$$I_v = I_{v1} + I_{v2}$$

$$I_v = \underline{0,000006 \text{ m}^4}$$

I_{v1} a I_{v2} byly určeny

programem AutoCAD

Účinná plocha výztuhy:



η - určeno dle NA.2.4

$$\eta = \underline{1,2}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 5.2

rov. (5.2)

f_{yw} - mez kluzu stojiny

$$f_{yw} = f_y$$

Návrhová únosnost

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq [(\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t) / (\gamma_{m1} \cdot 3^{1/2})]$$

$$V_{b,Rd} = 3000,934 \leq (1,2 \cdot 230000 \cdot 2,7 \cdot 0,015) / [1,3^{1/2}]$$

$$V_{b,Rd} = \underline{3000,934} \leq \underline{6453,621} \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení

$$\eta_3 = V_{ed} / V_{b,Rd} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 2308,86 / 3000,934 \leq 1,0$$

$$\eta_3 = \underline{0,769} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\eta_3 = V_{ed} / V_{b,Rd} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 72,85 / 3000,934 \leq 1,0$$

$$\eta_3 = \underline{0,024} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Konečný návrh geometrie

Příspěvek stojiny

zanedbávám

$$V_{bf,Rd} = \underline{0} \text{ kN}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 5.2

rov. (5.1)

ČSN EN 1993-1-5

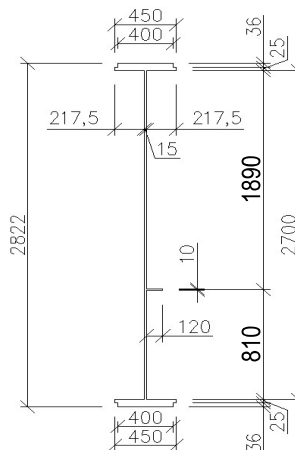
kap. 5.5

rov. (5.10)

$$V_{ed} = V_{z,MAX}$$

$$V_{ed} = V_{z,MIN}$$

Rozměry nosníku:



Kontrola interakce mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

Netuhá kocová výztuha

$$\bar{\eta}_3 = V_{ed}/V_{bw,Rd}$$

$$\bar{\eta}_3 = 2308,86/3\ 000,934$$

$$\bar{\eta}_3 = \underline{0,769}$$

Poloha těžiště zesílené pásnice

$$z_{Tv} = [0,5 \cdot b_{f1} \cdot t_{f1}^2 + b_{f2} \cdot t_{f2} \cdot (t_{f1} + 0,5 \cdot t_{f2})]/A_f$$

$$z_{Tv} = [0,5 \cdot 450 \cdot 25^2 + 400 \cdot 36 \cdot (25 + 0,5 \cdot 36)]/25650$$

$$z_{Tv} = \underline{29,6 \text{ mm}}$$

Návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,Rd} = (W_{fy} \cdot f_{yd})/\gamma_{m0}$$

$$W_{fy} = A_f \cdot (z_{f1} + z_{f2})$$

$$W_{fy} = 0,025650 \cdot (1,385 + 1,374)$$

$$W_{fy} = \underline{0,070775 \text{ m}^3}$$

$$M_{f,Rd} = (0,070775 \cdot 230000)/1$$

$$M_{f,Rd} = \underline{16278,175 \text{ kNm}}$$

Návrhový plastický moment únosnosti celého průřezu

$$M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_{yd})/\gamma_{m0}$$

$$M_{pl,Rd} = (0,058510 \cdot 230000)/1$$

$$M_{pl,Rd} = \underline{13457,300 \text{ kNm}}$$

$$\bar{\eta}_1 = M_{ed}/M_{pl,Rd}$$

$$\bar{\eta}_1 = 9\ 593,540/13\ 457,300$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{0,713}$$

Je nutné posoudit následující podmínku, jelikož $\bar{\eta}_3 > 0,5$

Netuhá kocová výztuha

$$1,0 \geq \bar{\eta}_1 + (1 - M_{f,Rd}/M_{pl,Rd}) \cdot (2 \cdot \bar{\eta}_3 - 1)^2$$

$$1,0 \geq 0,713 + (1 - 16\ 278,175/13\ 457,300) \cdot (2 \cdot 0,769 - 1)^2$$

$$1,0 \geq \underline{0,652} \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 7.1 (1)

$$V_{ed} = \max(|V_{z,MAX}|; |V_{z,MIN}|)$$

b_{f1} - šířka pásnice

$$b_{f1} = \underline{450,0 \text{ mm}}$$

b_{f2} - šířka zesílení

$$b_{f2} = \underline{400,0 \text{ mm}}$$

t_{f1} - šířka pásnice

$$t_{f1} = \underline{25,0 \text{ mm}}$$

t_{f2} - šířka zesílení

$$t_{f2} = \underline{36,0 \text{ mm}}$$

A_f - plocha pásnice

$$A_f = b_{f1} \cdot t_{f1} + b_{f2} \cdot t_{f2}$$

$$A_f = 450 \cdot 25 + 400 \cdot 36$$

$$A_f = \underline{25650,0 \text{ mm}^2}$$

z_{f1} - vzdálenost těžiště

horní pásnice od n. osy

$$z_{f1} = \underline{1385,4 \text{ mm}}$$

z_{f2} - vzdálenost těžiště

dolní pásnice od n. osy

$$z_{f2} = \underline{1373,8 \text{ mm}}$$

$$W_{pl} = W_{pl,y}$$

$$W_{pl} = \underline{0,058510 \text{ m}^3}$$

$$M_{ed} = \max(|M_{y,MAX}|; |M_{y,MIN}|)$$

$$M_{ed} = \underline{9593,540 \text{ kNm}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 7.1 (1)

ČSN EN 1993-1-5

kap. 7.1

rov. (7.1)

Průřez č. 11

Zesílení na normálové složky – η_1

Maximální vnitřní síly:

$N_{MAX} =$	2038,850 kN	$N_{MIN} =$	-760,530 kN
$V_{y,MAX} =$	144,910 kN	$V_{y,MIN} =$	-144,110 kN
$V_{z,MAX} =$	2659,800 kN	$V_{z,MIN} =$	-65,720 kN
$M_{y,MAX} =$	3254,350 kNm	$M_{y,MIN} =$	-19184,050 kNm

Změna průřezu – zesílení obou pásnic plechem tloušťky 10 mm

Průřezové charakteristiky:

$A =$	0,100650 m ²	A - plocha průřezu
$I_y =$	0,137088 m ⁴	I_y - statický moment setvačnosti
$I_z =$	0,000870 m ⁴	I_z - statický moment setvačnosti
$i_y =$	1167,1 mm	i_y - poloměr setrvačnosti
$i_z =$	93,0 mm	i_z - poloměr setrvačnosti

Vzdálenosti k nejvzdálenějším vláknům průřezu od těžiště:

$Z_H =$	1424,4 mm	Z_H - vzdálenost k horním vláknům
$Z_D =$	1407,6 mm	Z_D - vzdálenost k dolním vláknům

$W_{el,yH} = I_y / Z_H$	$W_{el,yH}$ - elastický průřezový modul k horním vláknům
$W_{el,yH} = 0,137088 / 1,424$	
$W_{el,yH} = 0,096246 \text{ m}^3$	
$W_{el,yD} = I_y / Z_D$	$W_{el,yD}$ - elastický průřezový modul k dolním vláknům
$W_{el,yD} = 0,137088 / 1,408$	
$W_{el,yD} = 0,097388 \text{ m}^3$	
$W_{pl,y} = 0,103240 \text{ m}^3$	

Velikosti vnitřních sil

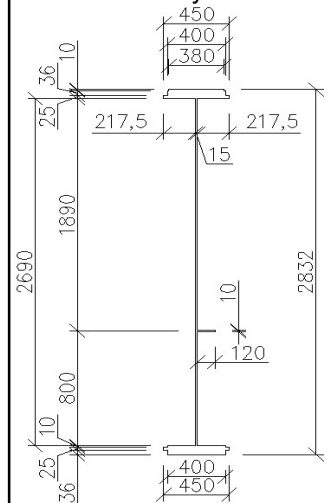
určil program

SCIA Engineer 16.0

$f_y = 230,000 \text{ MPa}$

$f_u = 360,000 \text{ MPa}$

Nové rozměry nosníku:



Hodnoty vzdáleností

nejvzdálenějších vláken průřezu od těžiště byly určeny pomocí programu AutoCAD

Charakteristiky průřezu

určil program

SCIA Engineer 16.0

Účinky boulení stěn vlivem normálových napětí v MSÚ

Napětí v horních vláknech průřezu

$$\sigma_1' = M_{ed}/W_{el,yH}$$

$$\sigma_1' = 3,254/0,096246$$

$$\sigma_1' = \underline{\underline{33,813 \text{ MPa}}}$$

Napětí v dolních vláknech průřezu

$$\sigma_2' = -(M_{ed}/W_{el,yD})$$

$$\sigma_2' = -(3,254/0,097388)$$

$$\sigma_2' = \underline{\underline{-33,416 \text{ MPa}}}$$

Napětí v horních vláknech stojiny

$$\sigma_1 = (\sigma_1'/z_H) \cdot (z_H - t_f)$$

$$\sigma_1 = (33,813/1\,424) \cdot (1\,424 - 55)$$

$$\sigma_1 = \underline{\underline{32,507 \text{ MPa}}}$$

Napětí v dolních vláknech stojiny

$$\sigma_2 = (\sigma_2'/z_D) \cdot (z_D - t_f)$$

$$\sigma_2 = (-33,416/1\,408) \cdot (1\,408 - 55)$$

$$\sigma_2 = \underline{\underline{-32,111 \text{ MPa}}}$$

Poměr napětí

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$\psi = -32,111/32,507$$

$$\psi = \underline{\underline{-0,988}}$$

Součinitel kritického napětí

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29 \cdot \psi + 9,78 \cdot \psi^2$$

$$k_\sigma = 7,81 - 6,29 \cdot (-0,988) + 9,79 \cdot (-0,988)^2$$

$$k_\sigma = \underline{\underline{23,566}}$$

Desková štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = (c/t_w) / [28,4 \cdot \varepsilon \cdot (k_\sigma)^{1/2}]$$

$$\bar{\lambda}_p = (2700/15) / [28,4 \cdot 1,011 \cdot (23,566)^{1/2}]$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{\underline{1,292}}$$

Součinitel boulení – vnitřní tlačené části

$$\rho = 1,0 \quad \rightarrow \quad \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + (0,085 - 0,055 \cdot \psi)^{1/2}$$

$$\text{nebo} \quad 1,292 \leq 0,873 \quad \text{Nevyhovuje}$$

$$\rho = [\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)] / \bar{\lambda}_p^2 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \bar{\lambda}_p > 0,5 + (0,085 - 0,055 \cdot \psi)^{1/2}$$

$$\rho = \underline{\underline{0,708}} \quad 1,292 > 0,873 \quad \text{Vyhovuje}$$

Účinná délka tlačené stojiny

$$b_{eff} = \rho \cdot b_c$$

$$b_c = z_H - t_f$$

$$b_c = 1\,424 - 55$$

$$b_c = \underline{\underline{1369,4 \text{ mm}}}$$

$$b_{eff} = 0,708 \cdot 1\,369,4$$

$$b_{eff} = \underline{\underline{969,3 \text{ mm}}}$$

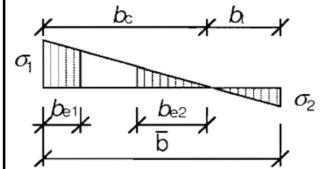
b_c - tlačená délka stojiny

$M_{y,MAX}$

$$M_{ed} = M_{y,MAX}$$

z_{V1} - poloha podélné výztuhy na stojně

$$z_{V1} = \underline{\underline{\text{není}}}$$



t_f - tloušťka pásnice

$$t_f = \underline{\underline{55,0 \text{ mm}}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

$$\varepsilon = \underline{\underline{1,011}}$$

c - délka stojiny

$$c = \underline{\underline{2700 \text{ mm}}}$$

t_w - tloušťka stojiny

$$t_w = \underline{\underline{15 \text{ mm}}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

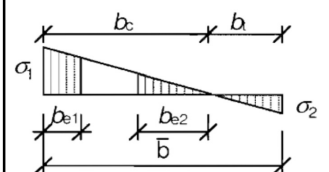
rov. (4.2)

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

rov. (4.1)



$$b_{e1} = 0,4 \cdot b_{\text{eff}}$$

$$b_{e1} = 0,4 \cdot 969,3$$

$$b_{e1} = \underline{\underline{387,7 \text{ mm}}}$$

b_{e1} - délka účinné části stojiny
v oblasti pásnice

ČSN EN 1993-1-5
kap. 4.4
tab. 4.1

$$b_{e2} = 0,6 \cdot b_{\text{eff}}$$

$$b_{e2} = 0,6 \cdot 969,3$$

$$b_{e2} = \underline{\underline{581,6 \text{ mm}}}$$

b_{e2} - délka účinné části stojiny
v oblasti neutrální osy

$$A_c = t_w \cdot b_c$$

$$A_c = 0,015 \cdot 1,369$$

$$A_c = \underline{\underline{0,020540 \text{ m}^2}}$$

A_c - plocha plného průřezu tlačené
části stojiny

A_0 - plocha neúčinné
části průřezu

$$A_{c,\text{eff}} = \rho \cdot A_c$$

$$A_{c,\text{eff}} = 0,708 \cdot 0,020540$$

$$A_{c,\text{eff}} = \underline{\underline{0,014540 \text{ m}^2}}$$

$A_{c,\text{eff}}$ - účinná plocha průřezu tlačené
části stojiny

$$A_0 = A_c - A_{c,\text{eff}}$$

$$A_0 = 0,020540 - 0,014540$$

$$A_0 = \underline{\underline{0,006000 \text{ m}^2}}$$

$$A_{\text{eff}} = A - A_0$$

$$A_{\text{eff}} = 0,100650 - 0,006000$$

$$A_{\text{eff}} = \underline{\underline{0,094650 \text{ m}^2}}$$

A_{eff} - účinná plocha celého průřezu

z_p - vzdálenost těžiště
neúčinného průřezu od
původní těžišťové osy

$$b_0 = A_0 / t_w$$

$$b_0 = 0,006000 / 0,015$$

$$b_0 = \underline{\underline{400,0 \text{ mm}}}$$

b_0 - neúčinná délka stojiny

$$z_p = b_{e2} + b_0 / 2$$

$$z_p = 581,6 + 400,0 / 2$$

$$z_p = \underline{\underline{781,6 \text{ mm}}}$$

$$\Delta y = (A_0 / A) \cdot z_p$$

$$\Delta y = (0,006000 / 0,100650) \cdot 0,782$$

$$\Delta y = \underline{\underline{46,6 \text{ mm}}}$$

Δy - posunutí těžišťové osy

Statický moment setrvačnosti účinného průřezu

$$I_{y,\text{eff}} = I_y - A \cdot \Delta y^2 - A_0 \cdot (z_p + \Delta y)^2$$

$$I_{y,\text{eff}} = 0,137088 - 0,100650 \cdot 0,047^2 - 0,006000 \cdot (0,782 + 0,047)^2$$

$$I_{y,\text{eff}} = \underline{\underline{0,132754 \text{ m}^4}}$$

$$W_{yH,eff} = I_{y,eff} / (z_H + \Delta y) \quad W_{yH,eff} - \text{průřezový modul k horním}$$

$$W_{yH,eff} = 0,132754 / (1,424 + 0,047) \quad \text{vláknům účinného průřezu}$$

$$W_{yH,eff} = \underline{0,090250} \text{ m}^3$$

$$W_{yD,eff} = I_{y,eff} / (z_D - \Delta y) \quad W_{yD,eff} - \text{průřezový modul k dolním}$$

$$W_{yD,eff} = 0,132754 / (1,408 - 0,047) \quad \text{vláknům účinného průřezu}$$

$$W_{yD,eff} = \underline{0,097538} \text{ m}^3$$

Posouzení

$$N_{rd} = f_y \cdot A_{eff} / \gamma_{m1} \quad \gamma_{m0} = 1,000$$

$$N_{rd} = 230000 \cdot 0,094650 / 1 \quad \gamma_{m1} = 1,000$$

$$N_{rd} = \underline{21769,424} \text{ kN} \quad \gamma_{m2} = 1,250$$

$$M_{rd} = f_y \cdot W_{yH,eff} / \gamma_{m1} \quad M_{rd} = f_y \cdot W_{el,yH} / \gamma_{m1}$$

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,090250 / 1 \quad M_{rd} = 230000 \cdot 0,096246 / 1$$

$$M_{rd} = \underline{20757,587} \text{ kNm} \quad M_{rd} = \underline{22136,541} \text{ kNm}$$

Posouzení prutu pro tlak a jednoosý ohyb

$$\eta_1 = N_{ed} / N_{rd} + M_{ed} / M_{rd} \leq 1,0$$

$$\eta_1 = 760,530 / 21769,424 + 3254,350 / 20757,587 \leq 1,0$$

$$\eta_1 = \underline{0,192} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\eta_1 = N_{ed} / N_{rd} + M_{ed} / M_{rd} \leq 1,0$$

$$\eta_1 = 2038,850 / 21769,424 + 3254,350 / 20757,587 \leq 1,0$$

$$\eta_1 = \underline{0,250} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$\gamma_{m0}, \gamma_{m1}, \gamma_{m2}$

- dílčí součinitele

materiálů

$f_y = 230,000 \text{ MPa}$

$f_u = 360,000 \text{ MPa}$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.6

rov. (4.14)

$N_{ed} = N_{MIN} \text{ (tlak)}$

$M_{ed} = M_{y,MAX}$

$N_{ed} = N_{MAX} \text{ (tah)}$

$M_{ed} = M_{y,MAX}$

Účinky boulení stěn vlivem normálových napětí v MSÚ

Napětí v dolních vláknech průřezu

$$\sigma_1' = -(M_{ed}/W_{el,yD})$$

$$\sigma_1' = -(-19,184/0,097388)$$

$$\sigma_1' = \underline{\underline{196,986 \text{ MPa}}}$$

Napětí v dolních vláknech stojiny

$$\sigma_1 = (\sigma_1'/Z_D) \cdot (Z_D - t_f)$$

$$\sigma_1 = (196,986/1\,424,4) \cdot (1\,424,4 - 55)$$

$$\sigma_1 = \underline{\underline{189,379 \text{ MPa}}}$$

Napětí v úrovni dolní výztuhy stojiny

$$\sigma_2 = (\sigma_1'/Z_D) \cdot (Z_D - t_f - Z_{V2})$$

$$\sigma_2 = (196,986/1\,424,4) \cdot (1\,424,4 - 55 - 810)$$

$$\sigma_2 = \underline{\underline{77,358 \text{ MPa}}}$$

Poměr napětí

$$\psi = \sigma_2/\sigma_1$$

$$\psi = 77,358/189,379$$

$$\psi = \underline{\underline{0,408}}$$

Součinitel kritického napětí

$$k_{\sigma} = 8,2/(1,05 + \psi)$$

$$k_{\sigma} = 8,2/(1,05 + 0,408)$$

$$k_{\sigma} = \underline{\underline{5,622}}$$

Desková štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = (Z_{V2}/t_w) / [28,4 \cdot \epsilon \cdot (k_{\sigma})^{1/2}]$$

$$\bar{\lambda}_p = (810/15) / [28,4 \cdot 1,011 \cdot (5,622)^{1/2}]$$

$$\bar{\lambda}_p = \underline{\underline{0,793}}$$

Součinitel boulení – vnitřní tlačené části

$$\rho = 1,0 \quad \rightarrow \quad \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + (0,085 - 0,055 \cdot \psi)^{1/2}$$

$$\text{nebo} \quad 0,793 \leq 0,750 \quad \text{Nevyhovuje}$$

$$\rho = [\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)] / \bar{\lambda}_p^2 \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \bar{\lambda}_p > 0,5 + (0,085 - 0,055 \cdot \psi)^{1/2}$$

$$\rho = \underline{\underline{0,963}} \quad 0,793 > 0,750 \quad \text{Vyhovuje}$$

Účinná délka tlačené stojiny

$$b_{eff} = \rho \cdot b_c$$

$$b_c = Z_{V2}$$

$$b_c = \underline{\underline{810,0 \text{ mm}}}$$

$$b_{eff} = 0,963 \cdot 810$$

$$b_{eff} = \underline{\underline{779,8 \text{ mm}}}$$

b_c - tlačená délka stojiny

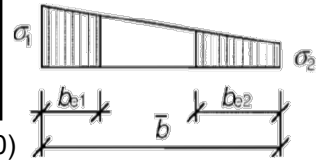
$M_{y,MIN}$

$$M_{ed} = M_{y,MIN}$$

Z_V - poloha podélné

výztuhy na stojině

$$Z_{V2} = \underline{\underline{810,0 \text{ mm}}}$$



t_f - tloušťka pásnice

$$t_f = \underline{\underline{55,0 \text{ mm}}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

$$\epsilon = \underline{\underline{1,011}}$$

c - délka stojiny

$$c = \underline{\underline{2700 \text{ mm}}}$$

t_w - tloušťka stojiny

$$t_w = \underline{\underline{15 \text{ mm}}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

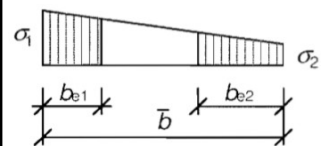
rov. (4.2)

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

rov. (4.1)



$$b_{e1} = [2/(5-\psi)] \cdot b_{eff}$$

$$b_{e1} = [2/(5-0,408)] \cdot 779,8$$

$$b_{e1} = \underline{\underline{339,6 \text{ mm}}}$$

b_{e1} - délka účinné části stojiny
v oblasti pásnice

ČSN EN 1993-1-5
kap. 4.4
tab. 4.1

$$b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$$

$$b_{e2} = 779,8 - 339,6$$

$$b_{e2} = \underline{\underline{440,1 \text{ mm}}}$$

b_{e2} - délka účinné části stojiny
v oblasti neutrální osy

$$A_c = t_w \cdot b_c$$

$$A_c = 0,015 \cdot 0,810$$

$$A_c = \underline{\underline{0,012150 \text{ m}^2}}$$

A_c - plocha plného průřezu tlačené
části stojiny

A_0 - plocha neúčinné
části průřezu

$$A_{c,eff} = \rho \cdot A_c$$

$$A_{c,eff} = 0,963 \cdot 0,012150$$

$$A_{c,eff} = \underline{\underline{0,011696 \text{ m}^2}}$$

$A_{c,eff}$ - účinná plocha průřezu tlačené
části stojiny

$$A_0 = A_c - A_{c,eff}$$

$$A_0 = 0,012150 - 0,01170$$

$$A_0 = \underline{\underline{0,000454 \text{ m}^2}}$$

$$A_{eff} = A - A_0$$

$$A_{eff} = 0,100650 - 0,000454$$

$$A_{eff} = \underline{\underline{0,100196 \text{ m}^2}}$$

A_{eff} - účinná plocha celého průřezu

z_p - vzdálenost těžiště
neúčinného průřezu od
původní těžišťové osy

$$b_0 = A_0 / t_w$$

$$b_0 = 0,000454 / 0,015$$

$$b_0 = \underline{\underline{30,2 \text{ mm}}}$$

b_0 - neúčinná délka stojiny

$$z_p = b_{e2} + b_0 / 2$$

$$z_p = 440,1 + 30,2 / 2$$

$$z_p = \underline{\underline{455,2 \text{ mm}}}$$

$$\Delta y = (A_0 / A) \cdot z_p$$

$$\Delta y = (0,000454 / 0,100650) \cdot 0,455$$

$$\Delta y = \underline{\underline{2,1 \text{ mm}}}$$

Δy - posunutí těžišťové osy

Statický moment setrvačnosti účinného průřezu

$$I_{y,eff} = I_y - A \cdot \Delta y^2 - A_0 \cdot (z_p + \Delta y)^2$$

$$I_{y,eff} = 0,137088 - 0,100650 \cdot 0,002^2 - 0,000454 \cdot (0,455 + 0,002)^2$$

$$I_{y,eff} = \underline{\underline{0,136993 \text{ m}^4}}$$

$$W_{yH,eff} = I_{y,eff} / (z_H - \Delta y) \quad W_{yH,eff} - \text{průřezový modul k horním}$$

$$W_{yH,eff} = 0,136993 / (1,424 - 0,002) \quad \text{vláknům účinného průřezu}$$

$$W_{yH,eff} = \underline{0,096318 \text{ m}^3}$$

$$W_{yD,eff} = I_{y,eff} / (z_D + \Delta y) \quad W_{yD,eff} - \text{průřezový modul k dolním}$$

$$W_{yD,eff} = 0,136993 / (1,408 + 0,002) \quad \text{vláknům účinného průřezu}$$

$$W_{yD,eff} = \underline{0,097179 \text{ m}^3}$$

Posouzení

$$N_{rd} = f_y \cdot A_{eff} / \gamma_{m1} \quad \gamma_{m0} = 1,000$$

$$N_{rd} = 230000 \cdot 0,100196 / 1 \quad \gamma_{m1} = 1,000$$

$$N_{rd} = \underline{23045,14 \text{ kN}} \quad \gamma_{m2} = 1,250$$

$$M_{rd} = f_y \cdot W_{yD,eff} / \gamma_{m1} \quad M_{rd} = f_y \cdot W_{el,yD} / \gamma_{m1}$$

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,097179 / 1 \quad M_{rd} = 230000 \cdot 0,097388 / 1$$

$$M_{rd} = \underline{22351,092 \text{ kNm}} \quad M_{rd} = \underline{22399,249 \text{ kNm}}$$

Posouzení prutu pro tlak a jednoosý ohyb

$$\eta_1 = N_{ed} / N_{rd} + M_{ed} / M_{rd} \leq 1,0$$

$$\eta_1 = 760,530 / 23045,140 + 19184,050 / 22351,092 \leq 1,0$$

$$\eta_1 = \underline{0,891} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\eta_1 = N_{ed} / N_{rd} + M_{ed} / M_{rd} \leq 1,0$$

$$\eta_1 = 2038,850 / 23045,140 + 19184,050 / 22351,092 \leq 1,0$$

$$\eta_1 = \underline{0,947} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$\gamma_{m0}, \gamma_{m1}, \gamma_{m2}$
- dílčí součinitele
materiálů
 $f_y = 230,000 \text{ MPa}$
 $f_u = 360,000 \text{ MPa}$

ČSN EN 1993-1-5
kap. 4.6
rov. (4.14)

$N_{ed} = N_{MIN} \text{ (tlak)}$
 $M_{ed} = M_{y,MIN}$

$N_{ed} = N_{MAX} \text{ (tah)}$
 $M_{ed} = M_{y,MIN}$

Průřez č. 2 – zesílení na smykové složky – η_3

$$\alpha = a/h_w < 3$$

$$\alpha = 3333/2700 < 3$$

$$\alpha = \underline{1,234} < 3 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$k_\tau = 4,1 + \{6,3 + 0,18 \cdot [I_v / (h_w \cdot t^3)]\} / \alpha^2 + 2,2 \cdot [I_v / (h_w \cdot t^3)]^{1/3}$$

$$k_\tau = 4,1 + \{6,3 + 0,18 \cdot [0,000006 / (2,7 \cdot 0,015^3)]\} / 1,234^2 + 2,2 \cdot [0,000006 / (2,7 \cdot 0,015^3)]^{1/3}$$

$$k_\tau = \underline{10,254}$$

Kontrola nutnosti posouzení

$$h_w/t > (31/\eta) \cdot \varepsilon \cdot k_\tau^{1/2}$$

$$270/1,5 > (31/1,2) \cdot 1,011 \cdot 10,254^{1/2}$$

$$180 > 83,616 \quad \rightarrow \quad \text{je nutné posoudit}$$

Součinitel příspěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku

ČSN EN 1993-1-5 tab. 5.1

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$	η	η
$0,83/\eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83/\bar{\lambda}_w$	$0,83/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37/(0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83/\bar{\lambda}_w$

$$\bar{\lambda}_w = h_w / (37,4 \cdot t \cdot \varepsilon \cdot k_\tau^{1/2})$$

$$\bar{\lambda}_w = 2700 / [37,4 \cdot 15 \cdot 1,011 \cdot 10,254^{1/2}]$$

$$\bar{\lambda}_w = \underline{1,487} \quad \rightarrow \quad \text{Netuhá koncová výztuha}$$

$$\chi_w = 0,83/1,487 \quad \rightarrow \quad \chi_w = \underline{0,558}$$

Příspěvek stojiny

$$V_{bw,Rd} = [(\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t) / (\gamma_{m1} \cdot 3^{1/2})]$$

$$V_{bw,Rd} = (0,558 \cdot 230000 \cdot 2,7 \cdot 0,015) / [1,3^{1/2}]$$

$$V_{bw,Rd} = \underline{3000,934 \text{ kN}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 5.1 (2)

α - určeno dle A.3

a - vzdálenost příčníků

$$a = \underline{3333,0 \text{ mm}}$$

h_w - výška stojiny

$$h_w = \underline{2700,0 \text{ mm}}$$

k_τ - součinitel kritického napětí pro panel stojiny

t - tloušťka stojiny

$$t = \underline{15,0 \text{ mm}}$$

I_v - moment setrvačnosti

podélné výztuhy k ose z

$$I_{v1} = \underline{\text{není}}$$

$$I_{v2} = \underline{0,000006 \text{ m}^4}$$

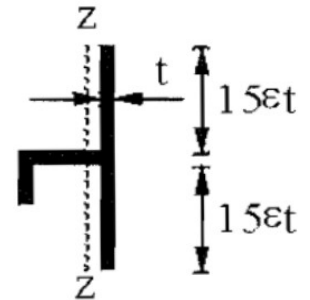
$$I_v = I_{v1} + I_{v2}$$

$$I_v = \underline{0,000006 \text{ m}^4}$$

I_{v1} a I_{v2} byly určeny

programem AutoCAD

Účinná plocha výztuhy:



η - určeno dle NA.2.4

$$\eta = \underline{1,2}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 5.2

rov. (5.2)

f_{yw} - mez kluzu stojiny

$$f_{yw} = f_y$$

Návrhová únosnost

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq [(\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t) / (\gamma_{m1} \cdot 3^{1/2})]$$

$$V_{b,Rd} = 3000,934 \leq (1,2 \cdot 230000 \cdot 2,7 \cdot 0,015) / [1,3^{1/2}]$$

$$V_{b,Rd} = \underline{3000,934} \leq \underline{6453,621} \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení

$$\eta_3 = V_{ed} / V_{b,Rd} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 2659,8 / 3000,934 \leq 1,0$$

$$\eta_3 = \underline{0,886} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\eta_3 = V_{ed} / V_{b,Rd} \leq 1,0$$

$$\eta_3 = 65,72 / 3000,934 \leq 1,0$$

$$\eta_3 = \underline{0,022} \leq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Konečný návrh geometrie

Příspěvek stojiny

zanedbávám

$$V_{bf,Rd} = \underline{\quad\quad\quad} \text{ 0 kN}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 5.2

rov. (5.1)

ČSN EN 1993-1-5

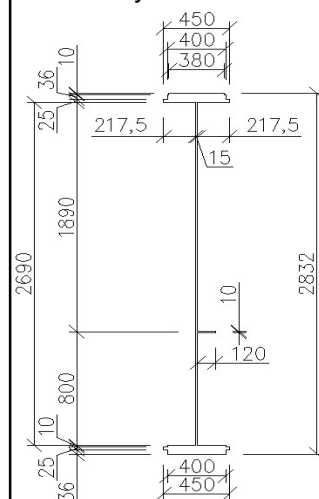
kap. 5.5

rov. (5.10)

$$V_{ed} = V_{z,MAX}$$

$$V_{ed} = V_{z,MIN}$$

Rozměry nosníku:



Kontrola interakce mezi smykovou silou, ohybovým momentem a osovou silou

Netuhá kocová výztuha

$$\bar{\eta}_3 = V_{ed}/V_{bw,Rd}$$

$$\bar{\eta}_3 = 2659,8/3\ 000,934$$

$$\bar{\eta}_3 = \underline{0,886}$$

Poloha těžiště zesílené pásnice A_{f1}

$$z_{TV1} = [0,5 \cdot b_{f1} \cdot t_{f1}^2 + b_{f2} \cdot t_{f2} \cdot (t_{f1} + 0,5 \cdot t_{f2}) + b_{f3} \cdot t_{f3} \cdot (t_{f1} + t_{f2} + 0,5 \cdot t_{f3})] / A_{f1}$$

$$z_{TV1} = [0,5 \cdot 450 \cdot 25^2 + 400 \cdot 36 \cdot (25 + 0,5 \cdot 36) + 380 \cdot 10 \cdot (25 + 36 + 0,5 \cdot 10)] / 29650$$

$$z_{TV1} = \underline{34,3 \text{ mm}}$$

Poloha těžiště zesílené pásnice A_{f2}

$$z_{TV2} = [0,5 \cdot b_{f1} \cdot t_{f1}^2 + b_{f2} \cdot t_{f2} \cdot (t_{f1} + 0,5 \cdot t_{f2}) + b_{f3} \cdot t_{f3} \cdot (t_{f1} + t_{f2} + 0,5 \cdot t_{f3})] / A_{f2}$$

$$z_{TV2} = [0,5 \cdot 450 \cdot 25^2 + 400 \cdot 36 \cdot (25 + 0,5 \cdot 36) + 400 \cdot 10 \cdot (25 + 36 + 0,5 \cdot 10)] / 29650$$

$$z_{TV2} = \underline{34,5 \text{ mm}}$$

Návrhový plastický moment únosnosti pásnic

$$M_{f,Rd} = (W_{fy} \cdot f_{yd}) / \gamma_{m0} \qquad W_{fy} = A_{f1} \cdot z_{f1} + A_{f2} \cdot z_{f2}$$

$$M_{f,Rd} = (0,081522 \cdot 230000) / 1 \qquad W_{fy} = 0,029450 \cdot 1,388 + 0,029650 \cdot 1,371$$

$$M_{f,Rd} = \underline{18750,124 \text{ kNm}} \qquad W_{fy} = \underline{0,081522 \text{ m}^3}$$

Návrhový plastický moment únosnosti celého průřezu

$$M_{pl,Rd} = (W_{pl} \cdot f_{yd}) / \gamma_{m0}$$

$$M_{pl,Rd} = (0,103240 \cdot 230000) / 1$$

$$M_{pl,Rd} = \underline{23745,200 \text{ kNm}}$$

$$\bar{\eta}_1 = M_{ed} / M_{pl,Rd}$$

$$\bar{\eta}_1 = 19\ 184,050 / 23\ 745,200$$

$$\bar{\eta}_1 = \underline{0,808}$$

Je nutné posoudit následující podmínku, jelikož $\bar{\eta}_3 > 0,5$

Netuhá kocová výztuha

$$1,0 \geq \bar{\eta}_1 + (1 - M_{f,Rd} / M_{pl,Rd}) \cdot (2 \cdot \bar{\eta}_3 - 1)^2$$

$$1,0 \geq 0,808 + (1 - 18\ 750,124 / 23\ 745,200) \cdot (2 \cdot 0,886 - 1)^2$$

$$1,0 \geq \underline{0,933} \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 7.1 (1)

$$V_{ed} = \max(|V_{z,MAX}|; |V_{z,MIN}|)$$

b_{f1} - šířka pásnice

$$b_{f1} = \underline{450,0 \text{ mm}}$$

b_{f2} - šířka zesílení

$$b_{f2} = \underline{400,0 \text{ mm}}$$

b_{f3} - šířka zesílení

$$b_{f3} = \underline{380,0 \text{ mm}}$$

t_{f1} - tloušťka pásnice

$$t_{f1} = \underline{25,0 \text{ mm}}$$

t_{f2} - tloušťka zesílení

$$t_{f2} = \underline{36,0 \text{ mm}}$$

t_{f3} - tloušťka zesílení

$$t_{f3} = \underline{10,0 \text{ mm}}$$

A_{f1} - plocha horní pásnice

$$A_{f1} = b_{f1} \cdot t_{f1} + b_{f2} \cdot t_{f2} + b_{f3} \cdot t_{f3}$$

$$A_{f1} = \underline{29450,0 \text{ mm}^2}$$

A_{f2} - plocha dolní pásnice

$$A_{f2} = b_{f1} \cdot t_{f1} + b_{f2} \cdot t_{f2} + b_{f3} \cdot t_{f3}$$

$$A_{f2} = \underline{29650,0 \text{ mm}^2}$$

z_{f1} - vzdálenost těžiště

horní pásnice od n. osy

$$z_{f1} = \underline{1387,7 \text{ mm}}$$

z_{f2} - vzdálenost těžiště

dolní pásnice od n. osy

$$z_{f2} = \underline{1371,2 \text{ mm}}$$

$$W_{pl} = W_{pl,y}$$

$$W_{pl} = \underline{0,103240 \text{ m}^3}$$

$$M_{ed} = \max(|M_{y,MAX}|; |M_{y,MIN}|)$$

$$M_{ed} = \underline{19184,050 \text{ kNm}}$$

ČSN EN 1993-1-5

kap. 7.1 (1)

ČSN EN 1993-1-5

kap. 7.1 rov (7.1)