

3.3 Statický výpočet dle ČD Sr 5

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 zatžitelnosti byly nevyhovující.

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

Výpočty ostatních průřezů jsou obsaženy v příloženém DVD.

3.3.1 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

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

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

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

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

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

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

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

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

Velikosti vnitřních sil

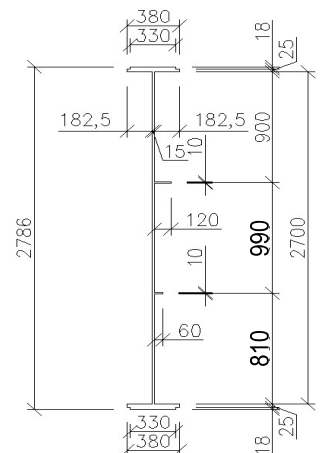
určil program

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

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

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

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

Součinitel boulení – vnitřní tlačené části

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

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

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

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

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

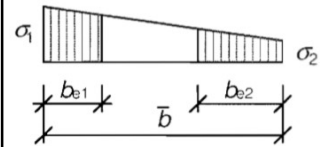
M_{y,MAX}

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

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

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

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

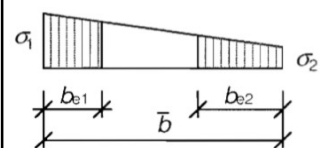
rov. (4.2)

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

rov. (4.1)



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

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

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

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

ČSN EN 1993-1-5
kap. 4.4
tab. 4.1

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

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

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

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

$$A_c = t_w \cdot b_c$$

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

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

A_c - plocha plného průřezu tlačené
části stojiny

A_0 - plocha neúčinné
části průřezu

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

A_{eff} - účinná plocha celého průřezu

z_p - vzdálenost těžiště
neúčinného průřezu od
původní těžišťové osy

$$b_0 = A_0 / t_w$$

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

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

b_0 - neúčinná délka stojiny

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

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

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

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

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

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

Δy - posunutí těžišťové osy

Statický moment setrvačnosti účinného průřezu

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

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

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

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

$$W_{yH,eff} = 0,082691/(1,389+0,008)$$

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

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

vláknům účinného průřezu

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

$$W_{yD,eff} = 0,082691/(1,397-0,008)$$

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

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

vláknům účinného průřezu

Posouzení zatížitelnosti

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

$$N_{rd} = 230000 \cdot 0,072055 / 1,2$$

$$N_{rd} = \underline{13810,585 \text{ kN}}$$

$$\gamma_{m0} = 1,100$$

$$\gamma_{m1} = 1,200$$

$$\gamma_{m2} = 1,300$$

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

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,059186 / 1,2$$

$$M_{rd} = \underline{11344,004 \text{ kNm}}$$

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

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,059739 / 1,2$$

$$M_{rd} = \underline{11449,968 \text{ kNm}}$$

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

- dílčí součinitele

materiálů

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

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

Vnitřní účinky od UIC 71

$$N_{UIC,MAX} = 226,020 \text{ kN}$$

$$N_{UIC,MIN} = -803,130 \text{ kN}$$

$$M_{y,UIC,MAX} = 6785,570 \text{ kNm}$$

$$M_{y,UIC,MIN} = -1710,080 \text{ kNm}$$

Vnitřní účinky od ostatního zatížení

$$N_{MAX,b} = 126,730 \text{ kN}$$

$$N_{MIN,b} = -116,290 \text{ kN}$$

$$M_{y,MAX,b} = 1187,000 \text{ kNm}$$

$$M_{y,MIN,b} = -8,890 \text{ kNm}$$

Osová síly

$$Z_{LM71} = (N_{rd} - N_{MAX,b}) / N_{UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (13\,810,585 - 126,73) / 226,02$$

$$Z_{LM71} = 60,543 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

$$Z_{LM71} = (N_{rd} - N_{MIN,b}) / N_{UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (13\,810,585 - 116,29) / 803,13$$

$$Z_{LM71} = 17,051 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

SŽDC ČD SR 5

kap. 4.7.6

rov. (4.4)

Momenty

$$Z_{LM71} = (M_{rd} - M_{y,MAX,b}) / M_{y,UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (11\,344,004 - 1187) / 6785,57$$

$$Z_{LM71} = 1,497 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

$$Z_{LM71} = (M_{rd} - M_{y,MIN,b}) / M_{y,UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (11\,344,004 - 8,89) / 1710,08$$

$$Z_{LM71} = 6,628 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

SŽDC ČD SR 5

kap. 4.7.6

rov. (4.4)

Účinky boulení stěn vlivem normálových napětí v MSÚ

Napětí v dolních vláknech průřezu

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

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

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

Napětí v dolních vláknech stojiny

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

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

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

Poměr napětí

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

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

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

Desková štíhlost

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

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

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

Součinitel boulení – vnitřní tlačené části

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

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

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

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

Účinná délka tlačené stojiny

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

$$b_c = z_{V2}$$

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

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

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

Napětí v úrovni dolní výztuhy stojiny

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

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

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

Součinitel kritického napětí

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

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

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

b_c - tlačená délka stojiny

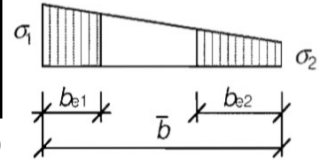
$M_{y,MIN}$

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

z_V - poloha podélné

výztuhy na stojně

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



t_f - tloušťka pásnice

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

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

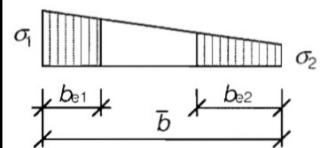
rov. (4.2)

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

rov. (4.1)



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

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

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

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 zatížitelnosti

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

$$N_{rd} = 230000 \cdot 0,072753 / 1,2$$

$$N_{rd} = \underline{13944,241 \text{ kN}}$$

$$\gamma_{m0} = 1,100$$

$$\gamma_{m1} = 1,200$$

$$\gamma_{m2} = 1,300$$

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

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,059246 / 1,2$$

$$M_{rd} = \underline{11355,425 \text{ kNm}}$$

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

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,059423 / 1,2$$

$$M_{rd} = \underline{11389,476 \text{ kNm}}$$

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

- dílčí součinitele

materiálů

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

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

Vnitřní účinky od UIC 71

$$N_{UIC,MAX} = 226,020 \text{ kN}$$

$$N_{UIC,MIN} = -803,130 \text{ kN}$$

$$M_{y,UIC,MAX} = 6785,570 \text{ kNm}$$

$$M_{y,UIC,MIN} = -1710,080 \text{ kNm}$$

Vnitřní účinky od ostatního zatížení

$$N_{MAX,b} = 126,730 \text{ kN}$$

$$N_{MIN,b} = -116,290 \text{ kN}$$

$$M_{y,MAX,b} = 1187,000 \text{ kNm}$$

$$M_{y,MIN,b} = -8,890 \text{ kNm}$$

Osově síly

$$Z_{LM71} = (N_{rd} - N_{MAX,b}) / N_{UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (13\,944,241 - 126,73) / 226,02$$

$$Z_{LM71} = 61,134 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

$$Z_{LM71} = (N_{rd} - N_{MIN,b}) / N_{UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (13\,944,241 - 116,29) / 803,13$$

$$Z_{LM71} = 17,218 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

SŽDC ČD SR 5

kap. 4.7.6

rov. (4.4)

Momenty

$$Z_{LM71} = (M_{rd} - M_{y,MAX,b}) / M_{y,UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (11\,355,425 - 1187) / 6785,57$$

$$Z_{LM71} = 1,499 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

$$Z_{LM71} = (M_{rd} - M_{y,MIN,b}) / M_{y,UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (11\,355,425 - 8,89) / 1710,08$$

$$Z_{LM71} = 6,635 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

SŽDC ČD SR 5

kap. 4.7.6

rov. (4.4)

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

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

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

$$V_{bw,Rd1} = \underline{2818,978 \text{ kN}}$$

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

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

$$V_{bw,Rd2} = \underline{2518,705 \text{ kN}}$$

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

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

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

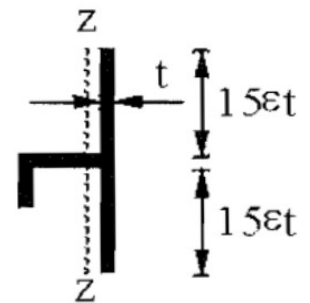
$$I_v = I_{v1} + I_{v2}$$

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

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

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

$$V_{b,Rd1} = 2818,978 \leq (1,2 \cdot 230000 \cdot 2,7 \cdot 0,015) / [1,2 \cdot 3^{1/2}]$$

$$V_{b,Rd1} = \underline{2818,978} \leq \underline{5378,018} \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

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

$$V_{b,Rd2} = 2518,705 \leq (1,2 \cdot 230000 \cdot 2,7 \cdot 0,015) / [1,2 \cdot 3^{1/2}]$$

$$V_{b,Rd2} = \underline{2518,705} \leq \underline{5378,018} \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení zatížitelnosti

Vnitřní účinky od UIC 71

$$V_{z,UIC,MAX} = 279,610 \text{ kN} \quad V_{z,UIC,MIN} = -1246,200 \text{ kN}$$

Vnitřní účinky od ostatního zatížení

$$V_{z,MAX,b} = 3,900 \text{ kN} \quad V_{z,MIN,b} = -206,170 \text{ kN}$$

Smykové síly

$$Z_{LM71} = (V_{b,Rd1} - V_{z,MAX,b}) / V_{z,UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (2818,978 - 3,9) / 279,61$$

$$Z_{LM71} = 10,068 \geq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$Z_{LM71} = (V_{b,Rd1} - V_{z,MIN,b}) / V_{z,UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (2818,978 - 206,17) / 1246,2$$

$$Z_{LM71} = 2,097 \geq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$Z_{LM71} = (V_{b,Rd2} - V_{z,MAX,b}) / V_{z,UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (2518,705 - 3,9) / 279,61$$

$$Z_{LM71} = 8,994 \geq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$Z_{LM71} = (V_{b,Rd2} - V_{z,MIN,b}) / V_{z,UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (2518,705 - 206,17) / 1246,2$$

$$Z_{LM71} = 1,856 \geq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Konečný návrh geometrie

Příspěvek stojiny

zanedbávám

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

ČSN EN 1993-1-5

kap. 5.2

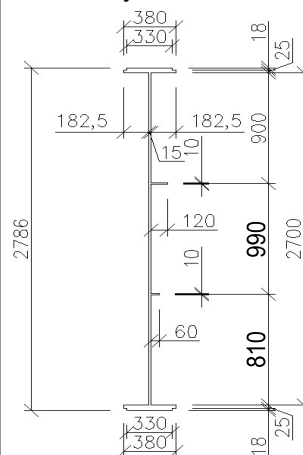
rov. (5.1)

SŽDC ČD SR 5

kap. 4.7.6

rov. (4.4)

Rozměry nosníku:



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
$W_{el,yD} = 0,120292/1,457$	
$W_{el,yD} = 0,082540 \text{ m}^3$	

Velikosti vnitřních sil

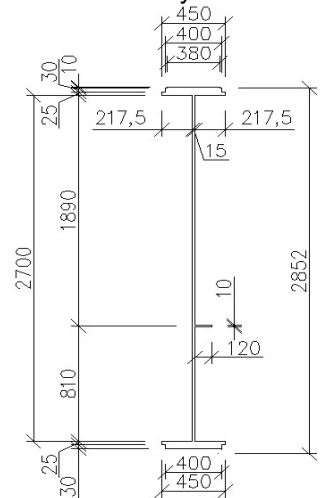
určil program

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

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

$$\text{nebo} \quad 1,237 \leq 0,879 \quad \text{Nevyhovuje}$$

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

$$\rho = \underline{\underline{0,739}} \quad 1,237 > 0,879 \quad \text{Vyhovuje}$$

Účinná délka tlačené stojiny

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

$$b_c = z_H - t_f$$

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

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

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

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

b_c - tlačená délka stojiny

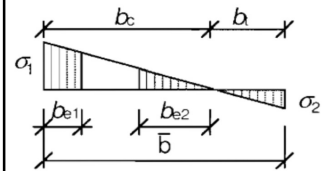
$M_{y,MAX}$

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

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

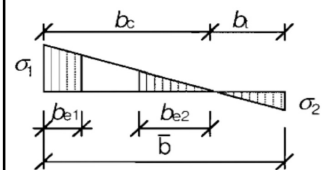
rov. (4.2)

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

rov. (4.1)



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

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

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

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

ČSN EN 1993-1-5
kap. 4.4
tab. 4.1

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

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

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

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

$$A_c = t_w \cdot b_c$$

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

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

A_c - plocha plného průřezu tlačené
části stojiny

A_0 - plocha neúčinné
části průřezu

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

A_{eff} - účinná plocha celého průřezu

z_p - vzdálenost těžiště
neúčinného průřezu od
původní těžišťové osy

$$b_0 = A_0 / t_w$$

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

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

b_0 - neúčinná délka stojiny

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

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

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

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

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

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

Δy - posunutí těžišťové osy

Statický moment setrvačnosti účinného průřezu

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

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

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

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

$$W_{yH,eff} = 0,116918/(1,363+0,042)$$

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

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

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

$$W_{yD,eff} = 0,116918/(1,457-0,042)$$

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

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

Posouzení zatížitelnosti

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

$$N_{rd} = 230000 \cdot 0,086881 / 1,2$$

$$N_{rd} = \underline{16652,125} \text{ kN}$$

$$\gamma_{m0} = 1,100$$

$$\gamma_{m1} = 1,200$$

$$\gamma_{m2} = 1,300$$

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

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,083252 / 1,2$$

$$M_{rd} = \underline{15956,669} \text{ kNm}$$

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

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,088279 / 1,2$$

$$M_{rd} = \underline{16920,158} \text{ kNm}$$

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

- dílčí součinitele

materiálů

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

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

Vnitřní účinky od UIC 71

$$N_{UIC,MAX} = 1272,600 \text{ kN}$$

$$N_{UIC,MIN} = -263,660 \text{ kN}$$

$$M_{y,UIC,MAX} = 2960,610 \text{ kNm}$$

$$M_{y,UIC,MIN} = -11715,200 \text{ kNm}$$

Vnitřní účinky od ostatního zatížení

$$N_{MAX,b} = 185,160 \text{ kN}$$

$$N_{MIN,b} = -314,010 \text{ kN}$$

$$M_{y,MAX,b} = -536,810 \text{ kNm}$$

$$M_{y,MIN,b} = -2793,690 \text{ kNm}$$

Osová síly

$$Z_{LM71} = (N_{rd} - N_{MAX,b}) / N_{UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (16652,125 - 185,16) / 1272,6$$

$$Z_{LM71} = 12,940 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

$$Z_{LM71} = (N_{rd} - N_{MIN,b}) / N_{UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (16652,125 - 314,01) / 263,66$$

$$Z_{LM71} = 61,967 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

SŽDC ČD SR 5

kap. 4.7.6

rov. (4.4)

Momenty

$$Z_{LM71} = (M_{rd} - M_{y,MAX,b}) / M_{y,UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (15956,669 - 536,81) / 2960,61$$

$$Z_{LM71} = 5,208 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

$$Z_{LM71} = (M_{rd} - M_{y,MIN,b}) / M_{y,UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (15956,669 - 2793,69) / 11715,2$$

$$Z_{LM71} = 1,124 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

SŽDC ČD SR 5

kap. 4.7.6

rov. (4.4)

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

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

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

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

Poměr napětí

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

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

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

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

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

$$b_c = z_{V2}$$

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

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

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

Napětí v úrovni dolní výztuhy stojiny

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

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

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

Součinitel kritického napětí

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

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

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

b_c - tlačená délka stojiny

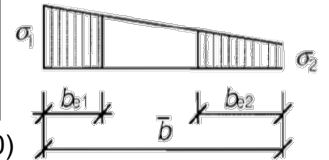
$M_{y,MIN}$

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

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

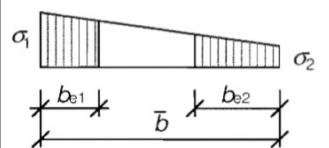
rov. (4.2)

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

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

$$A_0 = 0,012150 - 0,01180$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\Delta y = (0,000345 / 0,092000) \cdot 0,458$$

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

Δy - posunutí těžišťové osy

Statický moment setrvačnosti účinného průřezu

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

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

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

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

$$W_{yH,eff} = 0,120219/(1,363-0,002)$$

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

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

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

$$W_{yD,eff} = 0,120219/(1,457+0,002)$$

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

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

Posouzení zatížitelnosti

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

$$N_{rd} = 230000 \cdot 0,091655 / 1,2$$

$$N_{rd} = \underline{17567,129 \text{ kN}}$$

$$\gamma_{m0} = 1,100$$

$$\gamma_{m1} = 1,200$$

$$\gamma_{m2} = 1,300$$

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

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

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,082393 / 1,2$$

$$M_{rd} = \underline{15791,980 \text{ kNm}}$$

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

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,082540 / 1,2$$

$$M_{rd} = \underline{15820,231 \text{ kNm}}$$

Vnitřní účinky od UIC 71

$$N_{UIC,MAX} = 1272,600 \text{ kN}$$

$$N_{UIC,MIN} = -263,660 \text{ kN}$$

$$M_{y,UIC,MAX} = 2960,610 \text{ kNm}$$

$$M_{y,UIC,MIN} = -11715,200 \text{ kNm}$$

Vnitřní účinky od ostatního zatížení

$$N_{MAX,b} = 185,160 \text{ kN}$$

$$N_{MIN,b} = -314,010 \text{ kN}$$

$$M_{y,MAX,b} = -536,810 \text{ kNm}$$

$$M_{y,MIN,b} = -2793,690 \text{ kNm}$$

Osová síly

$$Z_{LM71} = (N_{rd} - N_{MAX,b}) / N_{UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (17567,129 - 185,16) / 1272,6$$

$$Z_{LM71} = 13,659 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

$$Z_{LM71} = (N_{rd} - N_{MIN,b}) / N_{UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (17567,129 - 314,01) / 263,66$$

$$Z_{LM71} = 65,437 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

SŽDC ČD SR 5
kap. 4.7.6
rov. (4.4)

Momenty

$$Z_{LM71} = (M_{rd} - M_{y,MAX,b}) / M_{y,UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (15791,980 - 536,81) / 2960,61$$

$$Z_{LM71} = 5,153 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

$$Z_{LM71} = (M_{rd} - M_{y,MIN,b}) / M_{y,UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (15791,980 - 2793,69) / 11715,2$$

$$Z_{LM71} = 1,110 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

SŽDC ČD SR 5
kap. 4.7.6
rov. (4.4)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Příspěvek stojiny

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

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

$$V_{bw,Rd} = \underline{2500,778 \text{ kN}}$$

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

$$I_{v1} = \underline{\text{není}}$$

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

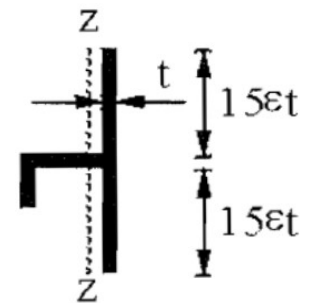
$$I_v = I_{v1} + I_{v2}$$

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

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

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

$$V_{b,Rd} = 2500,778 \leq (1,2 \cdot 230000 \cdot 2,7 \cdot 0,015) / [1,2 \cdot 3^{1/2}]$$

$$V_{b,Rd} = \underline{2500,778} \leq \underline{5378,018} \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení zatížitelnosti

Vnitřní účinky od UIC 71

$$V_{z,UIC,MAX} = 1688,170 \text{ kN}$$

$$V_{z,UIC,MIN} = -1884,510 \text{ kN}$$

Vnitřní účinky od ostatního zatížení

$$V_{z,MAX,b} = 365,740 \text{ kN}$$

$$V_{z,MIN,b} = -371,460 \text{ kN}$$

Smykové síly

$$Z_{LM71} = (V_{b,Rd} - V_{z,MAX,b}) / V_{z,UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (V_{b,Rd} - V_{z,MIN,b}) / V_{z,UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (2500,778 - 365,74) / 1688,17$$

$$Z_{LM71} = (2500,778 - 371,46) / 1884,51$$

$$Z_{LM71} = 1,265 \geq 1,0$$

$$Z_{LM71} = 1,130 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

→ **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

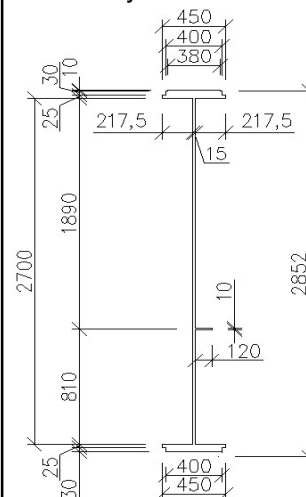
rov. (5.1)

SŽDC ČD SR 5

kap. 4.7.6

rov. (4.4)

Rozměry nosíku:



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

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

$$W_{el,yH} = 0,112990 / 1,411$$

$$W_{el,yH} = \underline{0,080071 \text{ m}^3}$$

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

$$W_{el,yD} = 0,112990 / 1,399$$

$$W_{el,yD} = \underline{0,080772 \text{ m}^3}$$

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

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

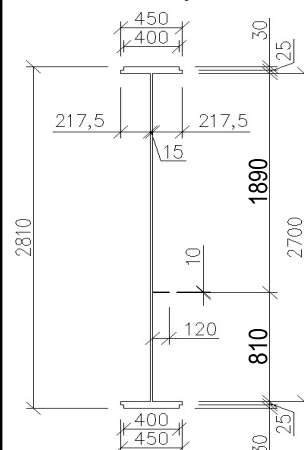
Velikosti vnitřních sil
určil program

SCIA Engineer 16.0

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

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

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_c - tlačená délka stojiny

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

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

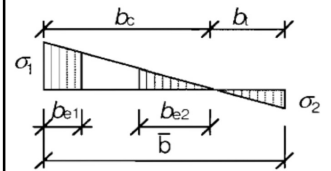
$M_{y,MAX}$

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

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

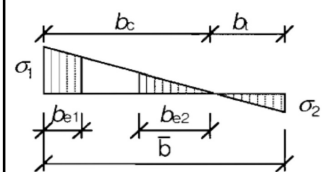
rov. (4.2)

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

rov. (4.1)



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

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

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

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

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

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

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

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

$$W_{yH,eff} = 0,108713/(1,411 + 0,052)$$

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

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

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

$$W_{yD,eff} = 0,108713/(1,399 - 0,052)$$

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

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

Posouzení zatížitelnosti

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

$$N_{rd} = 230000 \cdot 0,082282 / 1,2$$

$$N_{rd} = \underline{15770,768 \text{ kN}}$$

$$\gamma_{m0} = 1,100$$

$$\gamma_{m1} = 1,200$$

$$\gamma_{m2} = 1,300$$

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

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

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,074305 / 1,2$$

$$M_{rd} = \underline{14241,735 \text{ kNm}}$$

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

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,080071 / 1,2$$

$$M_{rd} = \underline{15346,949 \text{ kNm}}$$

Vnitřní účinky od UIC 71

$$N_{UIC,MAX} = 619,360 \text{ kN}$$

$$N_{UIC,MIN} = -390,370 \text{ kN}$$

$$M_{y,UIC,MAX} = 3278,990 \text{ kNm}$$

$$M_{y,UIC,MIN} = -6844,520 \text{ kNm}$$

Vnitřní účinky od ostatního zatížení

$$N_{MAX,b} = 76,620 \text{ kN}$$

$$N_{MIN,b} = -345,080 \text{ kN}$$

$$M_{y,MAX,b} = -135,910 \text{ kNm}$$

$$M_{y,MIN,b} = -1438,750 \text{ kNm}$$

Osová síly

$$Z_{LM71} = (N_{rd} - N_{MAX,b}) / N_{UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (15770,768 - 76,62) / 619,36$$

$$Z_{LM71} = 25,339 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

$$Z_{LM71} = (N_{rd} - N_{MIN,b}) / N_{UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (15770,768 - 345,08) / 390,37$$

$$Z_{LM71} = 39,516 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

SŽDC ČD SR 5
kap. 4.7.6
rov. (4.4)

Momenty

$$Z_{LM71} = (M_{rd} - M_{y,MAX,b}) / M_{y,UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (14241,735 - 135,91) / 3278,99$$

$$Z_{LM71} = 4,302 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

$$Z_{LM71} = (M_{rd} - M_{y,MIN,b}) / M_{y,UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (14241,735 - 1438,75) / 6844,52$$

$$Z_{LM71} = 1,871 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

SŽDC ČD SR 5
kap. 4.7.6
rov. (4.4)

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

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

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

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

Poměr napětí

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

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

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

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

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

$$b_c = z_{V2}$$

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

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

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

Napětí v úrovni dolní výztuhy stojiny

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

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

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

Součinitel kritického napětí

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

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

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

b_c - tlačená délka stojiny

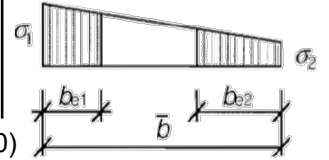
$M_{y,MIN}$

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

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

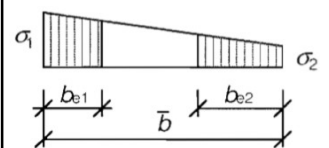
rov. (4.2)

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

rov. (4.1)



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

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

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

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

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

$$A_0 = 0,012150 - 0,01172$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$W_{yH,eff} = 0,112899 / (1,411 - 0,002)$$

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

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

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

$$W_{yD,eff} = 0,112899 / (1,399 + 0,002)$$

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

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

Posouzení zatížitelnosti

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

$$N_{rd} = 230000 \cdot 0,087768 / 1,2$$

$$N_{rd} = \underline{16822,281 \text{ kN}}$$

$$\gamma_{m0} = 1,100$$

$$\gamma_{m1} = 1,200$$

$$\gamma_{m2} = 1,300$$

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

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

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,080578 / 1,2$$

$$M_{rd} = \underline{15444,193 \text{ kNm}}$$

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

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,080772 / 1,2$$

$$M_{rd} = \underline{15481,276 \text{ kNm}}$$

Vnitřní účinky od UIC 71

$$N_{UIC,MAX} = 619,360 \text{ kN}$$

$$N_{UIC,MIN} = -390,370 \text{ kN}$$

$$M_{y,UIC,MAX} = 3278,990 \text{ kNm}$$

$$M_{y,UIC,MIN} = -6844,520 \text{ kNm}$$

Vnitřní účinky od ostatního zatížení

$$N_{MAX,b} = 76,620 \text{ kN}$$

$$N_{MIN,b} = -345,080 \text{ kN}$$

$$M_{y,MAX,b} = -135,910 \text{ kNm}$$

$$M_{y,MIN,b} = -1438,750 \text{ kNm}$$

Osová síly

$$Z_{LM71} = (N_{rd} - N_{MAX,b}) / N_{UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (16822,281 - 76,62) / 619,36$$

$$Z_{LM71} = 27,037 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

$$Z_{LM71} = (N_{rd} - N_{MIN,b}) / N_{UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (16822,281 - 345,08) / 390,37$$

$$Z_{LM71} = 42,209 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

SŽDC ČD SR 5
kap. 4.7.6
rov. (4.4)

Momenty

$$Z_{LM71} = (M_{rd} - M_{y,MAX,b}) / M_{y,UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (15444,193 - 135,91) / 3278,99$$

$$Z_{LM71} = 4,669 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

$$Z_{LM71} = (M_{rd} - M_{y,MIN,b}) / M_{y,UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (15444,193 - 1438,75) / 6844,52$$

$$Z_{LM71} = 2,046 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

SŽDC ČD SR 5
kap. 4.7.6
rov. (4.4)

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

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

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

$$V_{bw,Rd} = \underline{2500,778 \text{ kN}}$$

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

$$I_{v1} = \underline{\text{není}}$$

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

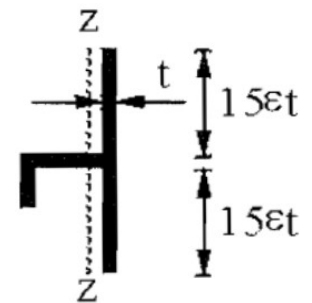
$$I_v = I_{v1} + I_{v2}$$

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

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

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

$$V_{b,Rd} = 2500,778 \leq (1,2 \cdot 230000 \cdot 2,7 \cdot 0,015) / [1,2 \cdot 3^{1/2}]$$

$$V_{b,Rd} = 2500,778 \leq 5378,018 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení zatížitelnosti

Vnitřní účinky od UIC 71

$$V_{z,UIC,MAX} = 250,300 \text{ kN}$$

$$V_{z,UIC,MIN} = -1643,650 \text{ kN}$$

Vnitřní účinky od ostatního zatížení

$$V_{z,MAX,b} = -164,340 \text{ kN}$$

$$V_{z,MIN,b} = -315,090 \text{ kN}$$

Smykové síly

$$Z_{LM71} = (V_{b,Rd} - V_{z,MAX,b}) / V_{z,UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (V_{b,Rd} - V_{z,MIN,b}) / V_{z,UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (2500,778 - 164,34) / 250,3$$

$$Z_{LM71} = (2500,778 - 315,09) / 1643,65$$

$$Z_{LM71} = 9,335 \geq 1,0$$

$$Z_{LM71} = 1,330 \geq 1,0$$

→ Vyhovuje

→ Vyhovuje

Konečný návrh geometrie

Příspěvek stojiny

zanedbávám

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

ČSN EN 1993-1-5

kap. 5.2

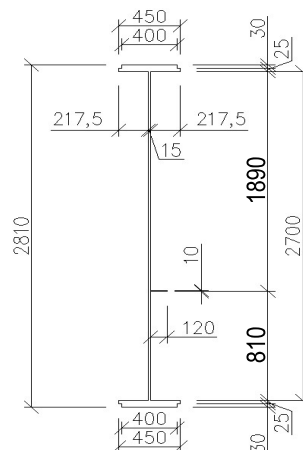
rov. (5.1)

SŽDC ČD SR 5

kap. 4.7.6

rov. (4.4)

Rozměry nosníku:



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

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

$$W_{el,yH} = 0,122500 / 1,417$$

$$W_{el,yH} = \underline{0,086462 \text{ m}^3}$$

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

$$W_{el,yD} = 0,122500 / 1,405$$

$$W_{el,yD} = \underline{0,087177 \text{ m}^3}$$

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

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

Velikosti vnitřních sil

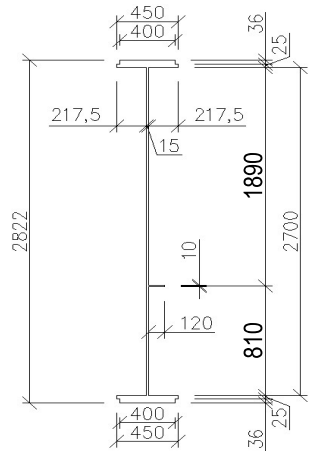
určil program

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 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

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

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

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

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

Účinná délka tlačené stojiny

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

$$b_c = z_H - t_f$$

$$b_c = 1\,416,8 - 55$$

$$b_c = \underline{\underline{1361,8 \text{ mm}}}$$

$$b_{eff} = 0,709 \cdot 1\,361,8$$

$$b_{eff} = \underline{\underline{965,9 \text{ mm}}}$$

b_c - tlačená délka stojiny

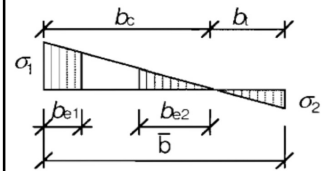
$M_{y,MAX}$

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

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

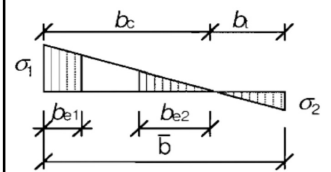
rov. (4.2)

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

rov. (4.1)



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

$$b_{e1} = 0,4 \cdot 965,9$$

$$b_{e1} = \underline{\underline{386,4 \text{ mm}}}$$

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

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

$$I_{y,eff} = 0,122500 - 0,093000 \cdot 0,050^2 - 0,005939 \cdot (0,777 + 0,050)^2$$

$$I_{y,eff} = \underline{\underline{0,118208 \text{ m}^4}}$$

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

$$W_{yH,eff} = 0,118208/(1,417+0,050)$$

$$W_{yH,eff} = \underline{0,080608} \text{ m}^3$$

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

vláknům účinného průřezu

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

$$W_{yD,eff} = 0,118208/(1,405-0,050)$$

$$W_{yD,eff} = \underline{0,087203} \text{ m}^3$$

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

vláknům účinného průřezu

Posouzení zatížitelnosti

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

$$N_{rd} = 230000 \cdot 0,087061 / 1,2$$

$$N_{rd} = \underline{16686,762} \text{ kN}$$

$$\gamma_{m0} = 1,100$$

$$\gamma_{m1} = 1,200$$

$$\gamma_{m2} = 1,300$$

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

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,080608 / 1,2$$

$$M_{rd} = \underline{15449,839} \text{ kNm}$$

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

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,086462 / 1,2$$

$$M_{rd} = \underline{16571,888} \text{ kNm}$$

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

- dílčí součinitele

materiálů

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

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

Vnitřní účinky od UIC 71

$$N_{UIC,MAX} = 635,600 \text{ kN}$$

$$M_{y,UIC,MAX} = 4120,500 \text{ kNm}$$

$$N_{UIC,MIN} = -487,690 \text{ kN}$$

$$M_{y,UIC,MIN} = -7096,480 \text{ kNm}$$

Vnitřní účinky od ostatního zatížení

$$N_{MAX,b} = 41,300 \text{ kN}$$

$$M_{y,MAX,b} = -52,860 \text{ kNm}$$

$$N_{MIN,b} = -680,330 \text{ kN}$$

$$M_{y,MIN,b} = -1170,110 \text{ kNm}$$

Osově síly

$$Z_{LM71} = (N_{rd} - N_{MAX,b}) / N_{UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (16686,762 - 41,3) / 635,6$$

$$Z_{LM71} = 26,189 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

$$Z_{LM71} = (N_{rd} - N_{MIN,b}) / N_{UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (16686,762 - 680,33) / 487,69$$

$$Z_{LM71} = 32,821 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

SŽDC ČD SR 5

kap. 4.7.6

rov. (4.4)

Momenty

$$Z_{LM71} = (M_{rd} - M_{y,MAX,b}) / M_{y,UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (15449,839 - 52,86) / 4120,5$$

$$Z_{LM71} = 3,737 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

$$Z_{LM71} = (M_{rd} - M_{y,MIN,b}) / M_{y,UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (15449,839 - 1170,11) / 7096,48$$

$$Z_{LM71} = 2,012 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

SŽDC ČD SR 5

kap. 4.7.6

rov. (4.4)

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

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

$$\sigma_1 = (110,047/1\,416,8) \cdot (1\,416,8 - 55)$$

$$\sigma_1 = \underline{105,775 \text{ MPa}}$$

Poměr napětí

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

$$\psi = 42,860/105,775$$

$$\psi = \underline{0,405}$$

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

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

$$b_c = z_{V2}$$

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

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

$$b_{eff} = \underline{780,6 \text{ mm}}$$

Napětí v úrovni dolní výztuhy stojiny

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

$$\sigma_2 = (110,047/1\,416,8) \cdot (1\,416,8 - 55 - 810)$$

$$\sigma_2 = \underline{42,860 \text{ MPa}}$$

Součinitel kritického napětí

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

$$k_\sigma = 8,2 / (1,05 + 0,405)$$

$$k_\sigma = \underline{5,635}$$

b_c - tlačená délka stojiny

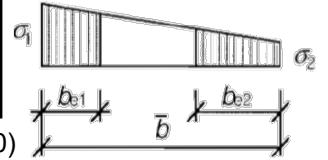
$M_{y,MIN}$

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

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

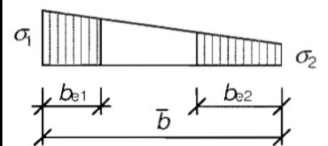
rov. (4.2)

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

rov. (4.1)



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

$$b_{e1} = [2/(5-0,405)] \cdot 780,6$$

$$b_{e1} = \underline{\underline{339,8 \text{ mm}}}$$

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

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

$$I_{y,eff} = 0,122500 - 0,093000 \cdot 0,002^2 - 0,000441 \cdot (0,456 + 0,002)^2$$

$$I_{y,eff} = \underline{\underline{0,122407 \text{ m}^4}}$$

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

$$W_{yH,eff} = 0,122407/(1,417-0,002)$$

$$W_{yH,eff} = \underline{0,086528 \text{ m}^3}$$

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

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

$$W_{yD,eff} = 0,122407/(1,405+0,002)$$

$$W_{yD,eff} = \underline{0,086977 \text{ m}^3}$$

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

Posouzení zatížitelnosti

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

$$N_{rd} = 230000 \cdot 0,092559 / 1,2$$

$$N_{rd} = \underline{17740,443 \text{ kN}}$$

$$\gamma_{m0} = 1,100$$

$$\gamma_{m1} = 1,200$$

$$\gamma_{m2} = 1,300$$

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

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

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,086977 / 1,2$$

$$M_{rd} = \underline{16670,544 \text{ kNm}}$$

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

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,087177 / 1,2$$

$$M_{rd} = \underline{16708,844 \text{ kNm}}$$

Vnitřní účinky od UIC 71

$$N_{UIC,MAX} = 635,600 \text{ kN}$$

$$N_{UIC,MIN} = -487,690 \text{ kN}$$

$$M_{y,UIC,MAX} = 4120,500 \text{ kNm}$$

$$M_{y,UIC,MIN} = -7096,480 \text{ kNm}$$

Vnitřní účinky od ostatního zatížení

$$N_{MAX,b} = 41,300 \text{ kN}$$

$$N_{MIN,b} = -680,330 \text{ kN}$$

$$M_{y,MAX,b} = -52,860 \text{ kNm}$$

$$M_{y,MIN,b} = -1170,110 \text{ kNm}$$

Osově síly

$$Z_{LM71} = (N_{rd} - N_{MAX,b}) / N_{UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (17740,443 - 41,3) / 635,6$$

$$Z_{LM71} = 27,846 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

$$Z_{LM71} = (N_{rd} - N_{MIN,b}) / N_{UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (17740,443 - 680,33) / 487,69$$

$$Z_{LM71} = 34,981 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

SŽDC ČD SR 5
kap. 4.7.6
rov. (4.4)

Momenty

$$Z_{LM71} = (M_{rd} - M_{y,MAX,b}) / M_{y,UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (16670,544 - 52,86) / 4120,5$$

$$Z_{LM71} = 4,033 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

$$Z_{LM71} = (M_{rd} - M_{y,MIN,b}) / M_{y,UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (16670,544 - 1170,11) / 7096,48$$

$$Z_{LM71} = 2,184 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

SŽDC ČD SR 5
kap. 4.7.6
rov. (4.4)

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

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

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

$$V_{bw,Rd} = \underline{2500,778 \text{ kN}}$$

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

$$I_{v1} = \underline{\text{není}}$$

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

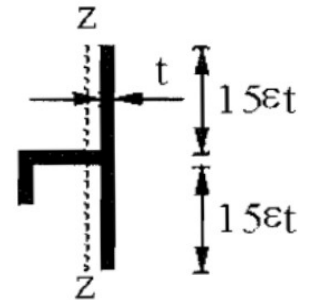
$$I_v = I_{v1} + I_{v2}$$

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

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

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

$$V_{b,Rd} = 2500,778 \leq (1,2 \cdot 230000 \cdot 2,7 \cdot 0,015) / [1,2 \cdot 3^{1/2}]$$

$$V_{b,Rd} = \underline{2500,778} \leq \underline{5378,018} \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení zatížitelnosti

Vnitřní účinky od UIC 71

$$V_{z,UIC,MAX} = 1677,660 \text{ kN} \quad V_{z,UIC,MIN} = -208,180 \text{ kN}$$

Vnitřní účinky od ostatního zatížení

$$V_{z,MAX,b} = 318,310 \text{ kN} \quad V_{z,MIN,b} = 157,830 \text{ kN}$$

Smykové síly

$$Z_{LM71} = (V_{b,Rd} - V_{z,MAX,b}) / V_{z,UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (2500,778 - 318,31) / 1677,66$$

$$Z_{LM71} = \underline{1,301} \geq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

$$Z_{LM71} = (V_{b,Rd} - V_{z,MIN,b}) / V_{z,UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (2500,778 - 157,83) / 208,18$$

$$Z_{LM71} = \underline{11,254} \geq 1,0 \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Konečný návrh geometrie

Příspěvek stojiny

zanedbávám

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

ČSN EN 1993-1-5

kap. 5.2

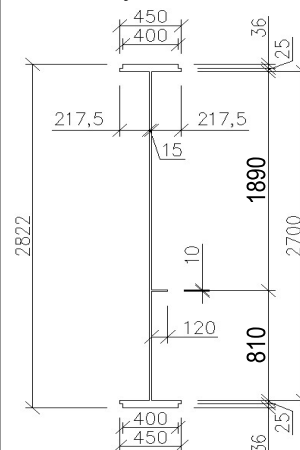
rov. (5.1)

SŽDC ČD SR 5

kap. 4.7.6

rov. (4.4)

Rozměry nosíku:



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 dolní pásnice 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
$W_{el,yD} = 0,137088 / 1,408$	
$W_{el,yD} = 0,097388 \text{ m}^3$	

Velikosti vnitřních sil

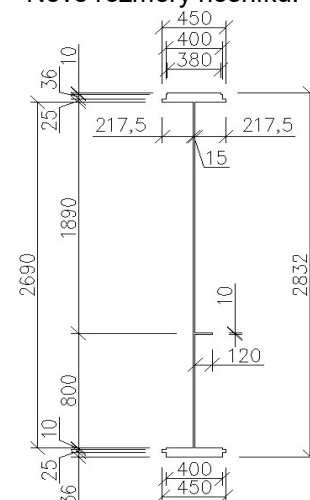
určil program

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

$$\rho = 1,0$$

nebo

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

$$\rho = \underline{\underline{0,708}}$$

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

$$1,292 \leq 0,873$$

Nevyhovuje

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

$$1,292 > 0,873$$

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_c - tlačená délka stojiny

$$b_{eff} = 0,708 \cdot 1\,369,4$$

$$b_{eff} = \underline{\underline{969,3 \text{ mm}}}$$

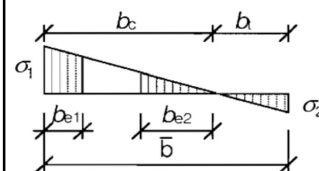
$M_{y,MAX}$

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

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

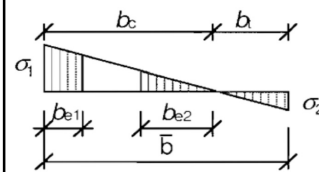
rov. (4.2)

ČSN EN 1993-1-5

kap. 4.4

tab. 4.1

rov. (4.1)



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

$$b_{e1} = 0,4 \cdot 969,3$$

$$b_{e1} = \underline{\underline{387,7 \text{ mm}}}$$

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

ČSN EN 1993-1-5
kap. 4.4
tab. 4.1

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

$$b_{e2} = 0,6 \cdot 969,3$$

$$b_{e2} = \underline{\underline{581,6 \text{ mm}}}$$

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

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

$$A_{c,eff} = 0,708 \cdot 0,020540$$

$$A_{c,eff} = \underline{\underline{0,014540 \text{ m}^2}}$$

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

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

$$A_0 = 0,020540 - 0,014540$$

$$A_0 = \underline{\underline{0,006000 \text{ m}^2}}$$

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

$$A_{eff} = 0,100650 - 0,006000$$

$$A_{eff} = \underline{\underline{0,094650 \text{ m}^2}}$$

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

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

$$I_{y,eff} = 0,137088 - 0,100650 \cdot 0,047^2 - 0,006000 \cdot (0,782 + 0,047)^2$$

$$I_{y,eff} = \underline{\underline{0,132754 \text{ m}^4}}$$

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

$$W_{yH,eff} = 0,132754 / (1,424 + 0,047)$$

$$W_{yH,eff} = \underline{0,090250 \text{ m}^3}$$

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

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

$$W_{yD,eff} = 0,132754 / (1,408 - 0,047)$$

$$W_{yD,eff} = \underline{0,097538 \text{ m}^3}$$

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

Posouzení zatížitelnosti

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

$$N_{rd} = 230000 \cdot 0,094650 / 1,2$$

$$N_{rd} = \underline{18141,186 \text{ kN}}$$

$$\gamma_{m0} = 1,100$$

$$\gamma_{m1} = 1,200$$

$$\gamma_{m2} = 1,300$$

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

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

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,090250 / 1,2$$

$$M_{rd} = \underline{17297,989 \text{ kNm}}$$

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

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,096246 / 1,2$$

$$M_{rd} = \underline{18447,118 \text{ kNm}}$$

Vnitřní účinky od UIC 71

$$N_{UIC,MAX} = 1530,650 \text{ kN}$$

$$N_{UIC,MIN} = -289,660 \text{ kN}$$

$$M_{y,UIC,MAX} = 3156,440 \text{ kNm}$$

$$M_{y,UIC,MIN} = -13526,110 \text{ kNm}$$

Vnitřní účinky od ostatního zatížení

$$N_{MAX,b} = 221,620 \text{ kN}$$

$$N_{MIN,b} = -760,530 \text{ kN}$$

$$M_{y,MAX,b} = -344,870 \text{ kNm}$$

$$M_{y,MIN,b} = -3205,700 \text{ kNm}$$

Osová síly

$$Z_{LM71} = (N_{rd} - N_{MAX,b}) / N_{UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (18141,186 - 221,62) / 1530,65$$

$$Z_{LM71} = 11,707 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

$$Z_{LM71} = (N_{rd} - N_{MIN,b}) / N_{UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (18141,186 - 760,53) / 289,66$$

$$Z_{LM71} = 60,004 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

SŽDC ČD SR 5
kap. 4.7.6
rov. (4.4)

Momenty

$$Z_{LM71} = (M_{rd} - M_{y,MAX,b}) / M_{y,UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (17297,989 - 344,87) / 3156,44$$

$$Z_{LM71} = 5,371 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

$$Z_{LM71} = (M_{rd} - M_{y,MIN,b}) / M_{y,UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (17297,989 - 3205,7) / 13526,11$$

$$Z_{LM71} = 1,042 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

SŽDC ČD SR 5
kap. 4.7.6
rov. (4.4)

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_c - tlačená délka stojiny

$$b_{eff} = 0,963 \cdot 810$$

$$b_{eff} = \underline{\underline{779,8 \text{ mm}}}$$

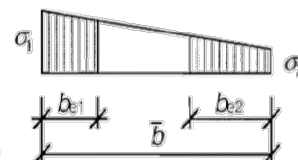
$M_{y,MIN}$

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

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

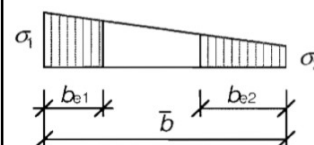
rov. (4.2)

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

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

$$I_{y,eff} = 0,137088 - 0,100650 \cdot 0,002^2 - 0,000454 \cdot (0,455 + 0,002)^2$$

$$I_{y,eff} = \underline{\underline{0,136993 \text{ m}^4}}$$

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

$$W_{yH,eff} = 0,136993 / (1,424 - 0,002)$$

$$W_{yH,eff} = \underline{0,096318 \text{ m}^3}$$

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

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

$$W_{yD,eff} = 0,136993 / (1,408 + 0,002)$$

$$W_{yD,eff} = \underline{0,097179 \text{ m}^3}$$

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

Posouzení zatížitelnosti

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

$$N_{rd} = 230000 \cdot 0,100196 / 1,2$$

$$N_{rd} = \underline{19204,283 \text{ kN}}$$

$$\gamma_{m0} = 1,100$$

$$\gamma_{m1} = 1,200$$

$$\gamma_{m2} = 1,300$$

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

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

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,097179 / 1,2$$

$$M_{rd} = \underline{18625,910 \text{ kNm}}$$

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

$$M_{rd} = 230000 \cdot 0,097388 / 1,2$$

$$M_{rd} = \underline{18666,041 \text{ kNm}}$$

Vnitřní účinky od UIC 71

$$N_{UIC,MAX} = 1530,650 \text{ kN}$$

$$N_{UIC,MIN} = -289,660 \text{ kN}$$

$$M_{y,UIC,MAX} = 3156,440 \text{ kNm}$$

$$M_{y,UIC,MIN} = -13526,110 \text{ kNm}$$

Vnitřní účinky od ostatního zatížení

$$N_{MAX,b} = 221,620 \text{ kN}$$

$$N_{MIN,b} = -760,530 \text{ kN}$$

$$M_{y,MAX,b} = -344,870 \text{ kNm}$$

$$M_{y,MIN,b} = -3205,700 \text{ kNm}$$

Osová síly

$$Z_{LM71} = (N_{rd} - N_{MAX,b}) / N_{UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (19204,283 - 221,62) / 1530,65$$

$$Z_{LM71} = 12,402 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

$$Z_{LM71} = (N_{rd} - N_{MIN,b}) / N_{UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (19204,283 - 760,53) / 289,66$$

$$Z_{LM71} = 63,674 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

SŽDC ČD SR 5
kap. 4.7.6
rov. (4.4)

Momenty

$$Z_{LM71} = (M_{rd} - M_{y,MAX,b}) / M_{y,UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (18625,910 - 344,87) / 3156,44$$

$$Z_{LM71} = 5,792 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

$$Z_{LM71} = (M_{rd} - M_{y,MIN,b}) / M_{y,UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (18625,910 - 3205,7) / 13526,11$$

$$Z_{LM71} = 1,140 \geq 1,0$$

→ **Vyhovuje**

SŽDC ČD SR 5
kap. 4.7.6
rov. (4.4)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Příspěvek stojiny

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

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

$$V_{bw,Rd} = \underline{2500,778 \text{ kN}}$$

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

$$I_{v1} = \underline{\text{není}}$$

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

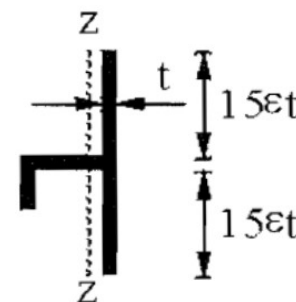
$$I_v = I_{v1} + I_{v2}$$

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

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

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

$$V_{b,Rd} = 2500,778 \leq (1,2 \cdot 230000 \cdot 2,7 \cdot 0,015) / [1,2 \cdot 3^{1/2}]$$

$$V_{b,Rd} = \underline{2500,778} \leq \underline{5378,018} \quad \rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení zatížitelnosti

Vnitřní účinky od UIC 71

$$V_{z,UIC,MAX} = 1912,420 \text{ kN} \quad V_{z,UIC,MIN} = -208,180 \text{ kN}$$

Vnitřní účinky od ostatního zatížení

$$V_{z,MAX,b} = 392,760 \text{ kN} \quad V_{z,MIN,b} = 163,620 \text{ kN}$$

Smykové síly

$$Z_{LM71} = (V_{b,Rd} - V_{z,MAX,b}) / V_{z,UIC,MAX}$$

$$Z_{LM71} = (2500,778 - 392,76) / 1912,42$$

$$Z_{LM71} = \underline{1,102} \geq 1,0$$

\rightarrow **Vyhovuje**

$$Z_{LM71} = (V_{b,Rd} - V_{z,MIN,b}) / V_{z,UIC,MIN}$$

$$Z_{LM71} = (2500,778 - 163,62) / 208,18$$

$$Z_{LM71} = \underline{11,227} \geq 1,0$$

\rightarrow **Vyhovuje**

Konečný návrh geometrie

Příspěvek stojiny

zanedbávám

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

ČSN EN 1993-1-5

kap. 5.2

rov. (5.1)

SŽDC ČD SR 5

kap. 4.7.6

rov. (4.4)

Rozměry nosíku:

