

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



DIPLOMOVÁ PRÁCE

AUTOSALON ŠKODA

Bc. Pavel Linhart

2017

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michal Jandera, Ph.D.

Obsah

1	Přehled zatížení	4
1.1	Svislé zatížení – stropní konstrukce 1	4
1.1.1	Stálé (montážní)	4
1.1.2	Proměnné (montážní).....	4
1.1.3	Stálé (provozní).....	4
1.1.4	Proměnné (provozní).....	5
1.2	Svislé zatížení – stropní konstrukce 2	5
1.2.1	Stálé (montážní)	5
1.2.2	Proměnné (montážní).....	5
1.2.3	Stálé (provozní).....	5
1.2.4	Proměnné (provozní).....	6
1.3	Svislé zatížení – obvodový plášť.....	6
1.4	Svislé zatížení – střešní konstrukce	6
1.4.1	Stálé	6
1.4.2	Proměnné	7
1.4.2.1	Zatížení užitné	7
1.4.2.2	Zatížení sněhem.....	7
1.5	Vodorovné zatížení – vítr	9
1.5.1	Podélný vítr.....	10
1.5.1.1	Stěna.....	10
1.5.1.2	Střecha.....	11
1.5.1.3	Vnitřní tlaky	12
1.5.2	Příčný vítr.....	13
1.5.2.1	Stěna.....	13
1.5.2.2	Střecha.....	14
1.5.2.3	Vnitřní tlaky	16
1.6	Imperfekce pro analýzu výztužného systému.....	17
1.7	Kombinace zatížení	18
2	Stropní konstrukce	20
2.1	Návrh trapézového plechu 1.....	20
2.2	Návrh stropnice 1.....	21
2.2.1	Montážní stádium.....	21
2.2.2	Provozní stádium.....	23
2.3	Návrh průvlastku 1.....	27
2.3.1	Montážní stádium.....	27

2.3.2	Klopení průvlaku v montážním stadiu	29
2.3.3	Provozní stádium	31
2.4	Návrh průvlaku 2	34
2.4.1	Montážní stádium	34
2.4.2	Klopení průvlaku v montážním stadiu	37
2.4.3	Provozní stádium	38
2.5	Návrh trapézového plechu 2	43
2.6	Návrh stropnice 2	44
2.6.1	Montážní stádium	44
2.6.2	Provozní stádium	46
2.7	Návrh průvlaku 3	50
2.7.1	Montážní stádium	50
2.7.2	Klopení průvlaku v montážním stadiu	52
2.7.3	Provozní stádium	54
3	Obvodový plášť	58
4	Střešní a rámová konstrukce	60
4.1	Návrh trapézového plechu	60
4.2	Návrh vaznice	61
4.2.1	Vaznice po 6 m	61
4.2.2	Vaznice po 7 m	62
4.3	Návrh rámu (vazba číslo 2)	63
4.3.1	Příčle	63
4.3.2	Sloup E2	66
4.3.3	Sloup A2	70
4.3.4	Sloup B2	73
4.4	Momentový přípoj	79
4.4.1	Momentový přípoj na vazbě číslo 2	79
4.4.1.1	V rohu rámu	79
4.4.1.2	Uprostřed příčle	87
4.4.2	Momentový přípoj na vazbě číslo 11	92
4.4.2.1	V rohu rámu	92
4.4.2.2	Uprostřed příčle	100
5	Trubková ztužidla	107
6	Přípoje ocelových konstrukcí	114
6.1	Přípoj patky	114
6.1.1	Patka sloupu E2	114

6.1.2	Patka sloupu B2	115
6.1.3	Patka sloupu E11	116
6.1.4	Patka sloupu A11.....	118
6.2	Přípoj sloupu C11 s příčlím rámu	119
6.3	Přípoje patrových konstrukcí	120
6.3.1	Přípoj stropnice na sloup.....	120
6.3.2	Přípoj průvlaku na sloup.....	122
6.4	Přípoje stěnových ztužidel	123
6.4.1	Přípoj ztužidla na sloup E2.....	123
6.4.2	Přípoj ztužidla na sloup E11.....	125
6.5	Přípoje střešních ztužidel	127
6.5.1	Přípoje ztužidel ve vazbě číslo 2	127
6.5.1.1	V rohu	127
6.5.1.2	Uprostřed příčle.....	134
6.5.2	Přípoje ztužidel ve vazbě číslo 11	139
6.5.2.1	V rohu	139
6.5.2.2	Uprostřed příčle.....	145

1 Přehled zatížení

V této kapitole jsou stanovena zatížení působící na konstrukci. Jedná se o zatížení stálá a proměnná působící na sloupy, stropní a střešní konstrukci. Z proměnných zatížení jde o zatížení užité, zatížení sněhem na střechu a zatížení větrem na střechu a stěny budovy. Zatížení byla stanovena na základě [1], [2] a [3] nebo na základě podkladů od výrobců.

1.1 Svislé zatížení – stropní konstrukce 1

1.1.1 Stálé (montážní)

	g_k [kN/m ²]	γ_G [-]	g_d [kN/m ²]
ŽB deska; $h_d = 60 + 0,35 \cdot h_p = 60 + 0,35 \cdot 50 = 77,5$ mm $\gamma = 26$ kN/m ³ $g_0 = 26 \cdot 77,5 \cdot 10^{-3}$	2,015	1,35	2,72
TR plech (odhad)	0,1	1,35	0,135

Tab. 1 – Svislé stálé zatížení stropní konstrukce (montážní)

1.1.2 Proměnné (montážní)

	q_k [kN/m ²]	γ_Q [-]	q_d [kN/m ²]
Montážní rovnoměrné	0,75	1,5	1,125
Montážní zvětšené	1,5	1,5	2,25

Tab. 2 – Svislé proměnné zatížení stropní konstrukce (montážní)

1.1.3 Stálé (provozní)

	g_k [kN/m ²]	γ_G [-]	g_d [kN/m ²]
Skladba podlahy: ŽB deska; $h_d = 60 + 0,35 \cdot h_p = 60 + 0,35 \cdot 50 = 77,5$ mm $\gamma = 25$ kN/m ³ $g_0 = 25 \cdot 77,5 \cdot 10^{-3}$	1,9375	1,35	2,6156
RIGIFLOOR 4000; tl. 50 mm; $\gamma = 15$ kg/m ³ $g_0 = 15 \cdot 10^{-2} \cdot 50 \cdot 10^{-3}$	0,0075	1,35	0,0101
DEKSEPAR; tl. 0,2 mm $g_0 = 0,185$ kg/m ²	0,0019	1,35	0,0026
Roznášecí betonová mazanina; tl. 50 mm $\gamma = 25$ kN/m ³ $g_0 = 25 \cdot 50 \cdot 10^{-3}$	1,25	1,35	1,6875
DEKSEPAR; tl. 0,2 mm $g_0 = 0,185$ kg/m ²	0,0019	1,35	0,0026
Tlumící podložka (pěnový polyethylen), tl. 5 mm $\gamma = 30$ kg/m ³ $g_0 = 30 \cdot 10^{-2} \cdot 5 \cdot 10^{-3}$	0,0015	1,35	0,002
Nášlapná vrstva, tl. 10 mm $g_0 = 9$ kg/m ²	0,09	1,35	0,1215
Podhled	0,15	1,35	0,2025
TR plech 50/250/0,88	0,09	1,35	0,122

Vliv rybníkového efektu (stropnice)	0,494	1,35	0,667
celkem	4,024		5,432

Tab. 3 – Svislé stálé zatížení stropní konstrukce (provozní)

1.1.4 Proměnné (provozní)

Pro zjednodušení uvažováno nejvyšší užité zatížení v celém objektu.

	q_k [kN/m ²]	γ_Q [-]	q_d [kN/m ²]
Užitné (kanceláře – kategorie B)	2,5	1,5	3,75
Přemístitelné příčky s vlastní tíhou do 2 kN/m	0,8	1,5	1,2
celkem	3,3		4,95

Tab. 4 – Svislé proměnné zatížení stropní konstrukce (provozní)

1.2 Svislé zatížení – stropní konstrukce 2

1.2.1 Stálé (montážní)

	g_k [kN/m ²]	γ_G [-]	g_d [kN/m ²]
ŽB deska; $h_d = 60 + 0,35 \cdot h_p = 60 + 0,35 \cdot 60 = 81$ mm $\gamma = 26$ kN/m ³ $g_0 = 26 \cdot 81 \cdot 10^{-3}$	2,106	1,35	2,84
TR plech (odhad)	0,1	1,35	0,135

Tab. 5 – Svislé stálé zatížení stropní konstrukce 2 (montážní)

1.2.2 Proměnné (montážní)

	q_k [kN/m ²]	γ_Q [-]	q_d [kN/m ²]
Montážní rovnoměrné	0,75	1,5	1,125
Montážní zvětšené	1,5	1,5	2,25

Tab. 6 – Svislé proměnné zatížení stropní konstrukce 2 (montážní)

1.2.3 Stálé (provozní)

	g_k [kN/m ²]	γ_G [-]	g_d [kN/m ²]
Skladba podlahy: ŽB deska; $h_d = 60 + 0,35 \cdot h_p = 60 + 0,35 \cdot 60 = 81$ mm $\gamma = 25$ kN/m ³ $g_0 = 25 \cdot 81 \cdot 10^{-3}$	2,025	1,35	2,7338
RIGIFLOOR 4000; tl. 50 mm; $\gamma = 15$ kg/m ³ $g_0 = 15 \cdot 10^{-2} \cdot 50 \cdot 10^{-3}$	0,0075	1,35	0,0101
DEKSEPAR; tl. 0,2 mm $g_0 = 0,185$ kg/m ²	0,0019	1,35	0,0026
Roznášecí betonová mazanina; tl. 50 mm $\gamma = 25$ kN/m ³ $g_0 = 25 \cdot 50 \cdot 10^{-3}$	1,25	1,35	1,6875
DEKSEPAR; tl. 0,2 mm $g_0 = 0,185$ kg/m ²	0,0019	1,35	0,0026

Tlumící podložka (pěnový polyethylen), tl. 5 mm $\gamma = 30 \text{ kg/m}^3$ $g_0 = 30 \cdot 10^{-2} \cdot 5 \cdot 10^{-3}$	0,0015	1,35	0,002
Nášlapná vrstva, tl. 10 mm $g_0 = 9 \text{ kg/m}^2$	0,09	1,35	0,1215
Podhled	0,15	1,35	0,2025
TR plech 60/235/0,88	0,09	1,35	0,122
Vliv rybníkového efektu (stropnice)	0,442	1,35	0,5967
Vliv rybníkového efektu (průvlak)	0,624	1,35	0,842
celkem (bez ryb. efektu z průvlaku)	4,06		5,481
celkem (s ryb. efektem z průvlaku)	4,684		6,323

Tab. 7 – Svislé stálé zatížení stropní konstrukce 2 (provozní)

1.2.4 Proměnné (provozní)

Pro zjednodušení uvažováno nejvyšší užité zatížení v celém objektu.

	q_k [kN/m ²]	γ_Q [-]	q_d [kN/m ²]
Užitné (kanceláře – kategorie B)	2,5	1,5	3,75
Přemístitelné přičky s vlastní tíhou do 2 kN/m	0,8	1,5	1,2
celkem	3,3		4,95

Tab. 8 – Svislé proměnné zatížení stropní konstrukce 2 (provozní)

1.3 Svislé zatížení – obvodový plášť

	g_k [kN/m ²]	γ_G [-]	g_d [kN/m ²]
Kazety SATCASS 600/160, tl. 0,88 mm $g_0 = 0,115 \text{ kN/m}^2$	0,115	1,35	0,1553
Kazety SATCASS 600/160, tl. 0,7 mm $g_0 = 0,092 \text{ kN/m}^2$	0,092	1,35	0,1553
Tepelná izolace: ISOVER UNI, $\gamma = 40 \text{ kg/m}^3$, tl. 200 mm $g_0 = 40 \cdot 10^{-2} \cdot 200 \cdot 10^{-3}$	0,08	1,35	0,108
Vnější trapézový plech T16/150; tl. 0,6 mm $g_0 = 0,051 \text{ kN/m}^2$	0,051	1,35	0,0689
Celkem (SATCASS 600/160, tl. 0,88 mm)	0,246		0,332
Celkem (SATCASS 600/160, tl. 0,7 mm)	0,223		0,301

Tab. 9 – Svislé stálé zatížení obvodového pláště

1.4 Svislé zatížení – střešní konstrukce

1.4.1 Stálé

	g_k [kN/m ²]	γ_G [-]	g_d [kN/m ²]
Hydroizolace DEKPLAN 76, tl. 1,8 mm $g_0 = 1,85 \text{ kg/m}^2$	0,0185	1,35	0,025
Tepelná izolace – ISOVER S, tl. 100 mm, $\gamma = 175 \text{ kg/m}^3$			

$g_0 = 175 \cdot 10^{-2} \cdot 100 \cdot 10^{-3}$	0,175	1,35	0,2363
Tepelná izolace – ISOVER T, tl. 160 mm, $\gamma = 160 \text{ kg/m}^3$ $g_0 = 160 \cdot 10^{-2} \cdot 160 \cdot 10^{-3}$	0,256	1,35	0,3456
Parozábrana – DEKSEPAR, tl. 0,2 mm $g_0 = 0,85 \text{ kg/m}^2$	0,0085	1,35	0,0115
Vnitřní trapézový plech TR 50/250/0,75 mm	0,08	1,35	0,108
Přídavné zatížení (osvětlení, větrání)	0,3	1,35	0,405
celkem	0,838		1,131

Tab. 10 – Svislé stálé zatížení střešní konstrukce

1.4.2 Proměnné

1.4.2.1 Zatížení užité

	q_k [kN/m ²]	γ_Q [-]	q_d [kN/m ²]
Užitné (nepochozí střecha)	0,75	1,5	1,125

Tab. 11 – Svislé proměnné zatížení střešní konstrukce

1.4.2.2 Zatížení sněhem

Zatížení od sněhu: s

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k$$

μ_i ... tvarový součinitel zatížení sněhem

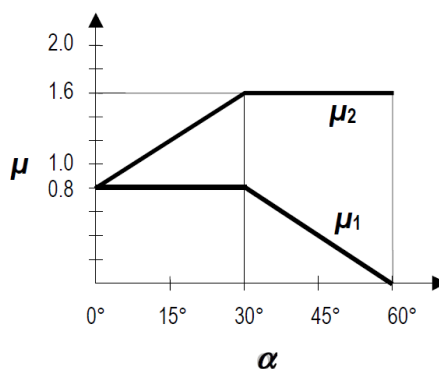
C_e ... součinitel expozice, $C_e = 1$ (typ krajiny: normální)

C_t ... tepelný součinitel, $C_t = 1$

s_k ... charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi

město Kolín → sněhová oblast I → $s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$

tvarový součinitel: μ_i

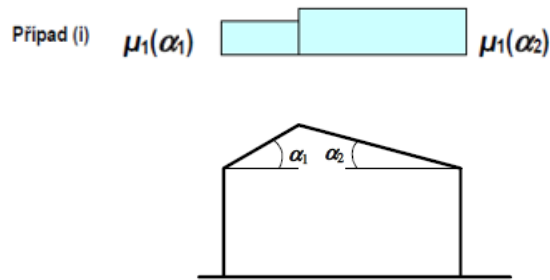


Obr. 1 – Tvarový součinitel dle sklonu střechy, převzato z normy ČSN EN 1991-1-3, str. 17

Sklon střechy α je 3°.

$$\mu_1 = 0,8$$

Zátěžové situace sněhem



Obr. 2 – zatěžovací stavy střechy zatížené sněhem, převzato z normy ČSN EN 1991-1-3, str. 18

Vliv překážky na střeše (atika)

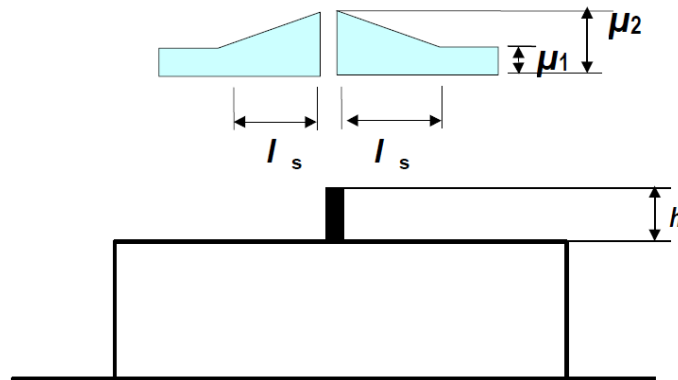
$$\mu_1 = 0,8$$

$$\mu_2 = \gamma * h/s_k = 2 * 0,95/0,7 = 2,71 \rightarrow \mu_2 = 2$$

$$\text{omezení } 0,8 \leq \mu_2 \leq 2,0$$

γ ... objemová tíha sněhu, $\gamma = 2 \text{ kN/m}^2$

h ... výška atiky, $h = 0,95 \text{ m}$



Obr. 3 – Zatížení sněhem v blízkosti překážky, převzato z normy ČSN EN 1991-1-3, str. 22

$$l_s = 2h = 2 * 0,95 = 1,9 \text{ m} \rightarrow l_s = 5 \text{ m}$$

$$\text{omezení } 5 \text{ m} \leq l_s \leq 15 \text{ m}$$

	μ_1 [-]	μ_2 [-]	q_k [kN/m ²]	γ_d [-]	q_d [kN/m ²]
Sníh konstantní	0,8	/	0,56	1,5	0,84
Návěje u atiky	/	2	1,4	1,5	2,1

Tab. 12 – Zatížení sněhem na střešní konstrukci

1.5 Vodorovné zatížení – vítr

základní rychlost větru: v_b

$$v_b = C_{dir} * C_{season} * v_{b,0}$$

C_{dir} ... součinitel směru větru, $C_{dir} = 1,0$ (pro ČR)

C_{season} ... součinitel ročního období, $C_{season} = 1,0$ (pro ČR)

$v_{b,0}$... výchozí základní rychlost větru

město Kolín → větrná oblast II → $v_{b,0} = 25$ m/s

$$v_b = 1,0 * 1,0 * 25 = 25 \text{ m/s}$$

základní dynamický tlak větru: q_b

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2$$

ρ měrná hmotnost vzduchu, $\rho = 1,25$ kg/m³

$$q_b = \frac{1}{2} * 1,25 * 25^2 = 390,625 \text{ Pa}$$

maximální dynamický tlak ve výšce z: $q_p(z)$

$$q_p(z) = C_e(z) * q_b$$

$C_e(z)$ součinitel expozice pro součinitel orografie $C_o(z) = 1,0$ a součinitel turbulence $k_t = 1,0$;
kategorie terénu III → $C_e(z) = 1,5$ (pro výšku $h = 8,25$ m)

$$q_p(z) = 1,5 * 390,625 = 585,9 \text{ Pa}$$

tlak větru na povrchy: w_e

$$w_e = q_p(z_e) * C_{pe}$$

$q_p(z)$ maximální dynamický tlak

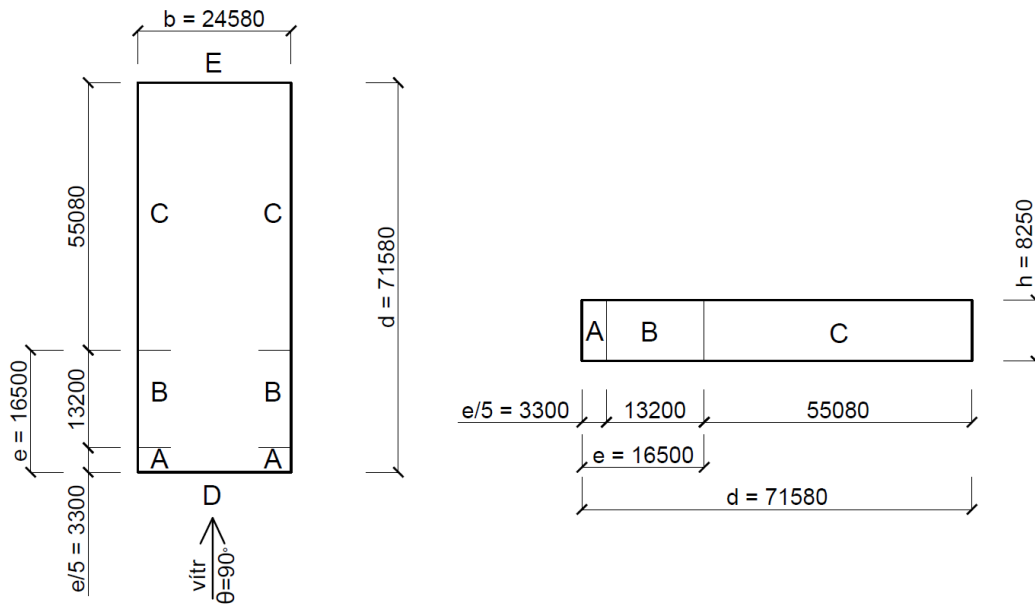
z_e referenční výška

C_{pe} součinitel vnějšího tlaku

1.5.1 Podélný vítr

1.5.1.1 Stěna

$$e = \min\{b; 2 * h\} = \min\{24,58; 2 * 8,25\} = 16,5 \text{ m}$$



Obr. 4 – Schéma větrných oblastí na stěnách budovy (vítr podélný)

oblast	A	B	C	D	E
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
< 0,25	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3

Tab. 13 – Součinitelé vnějšího tlaku pro stěnu (vítr podélný)

Tlak větru na stěnu

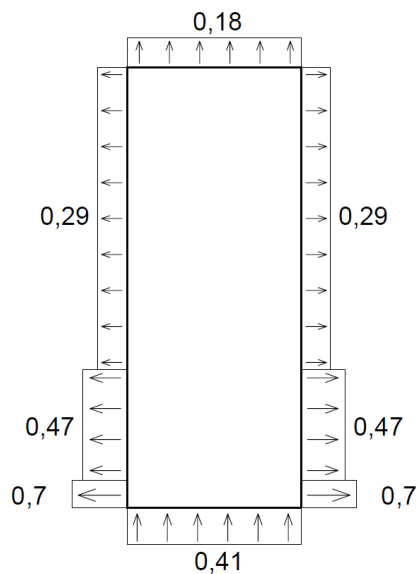
$$w_{e,A} = 585,9 * (-1,2) = -703,1 \text{ N/m}^2 = -0,7 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,B} = 585,9 * (-0,8) = -469 \text{ N/m}^2 = -0,47 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,C} = 585,9 * (-0,5) = -293 \text{ N/m}^2 = -0,29 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,D} = 585,9 * 0,7 = 410 \text{ N/m}^2 = 0,41 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,E} = 585,9 * (-0,3) = -176 \text{ N/m}^2 = -0,18 \text{ kN/m}^2$$

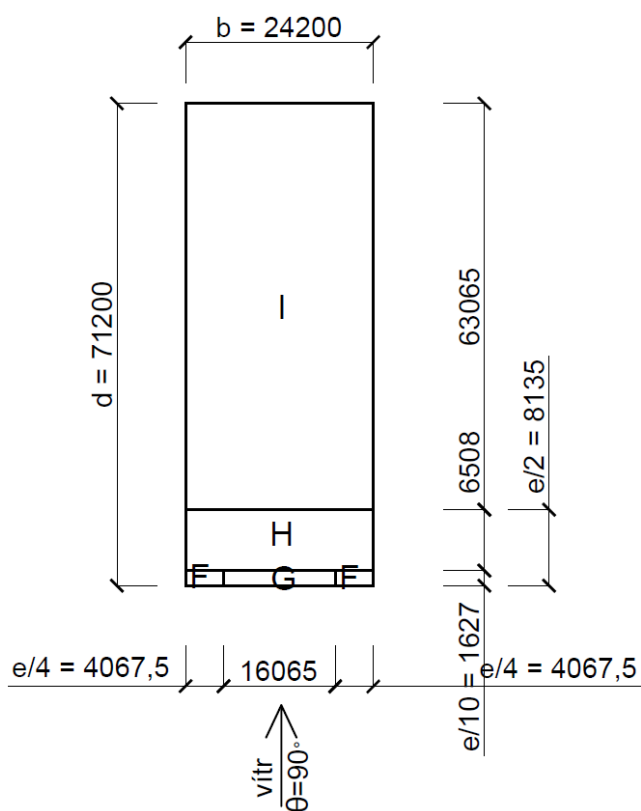


Obr. 5 – Schéma zatížení větrem na stěnách budovy (vítr podélný)

1.5.1.2 Střecha

typ střechy: střecha plochá ($\alpha = 3^\circ$)

$$e = \min\{b; 2 * h\} = \min\{24,2; 2 * 8,135\} = 16,27 \text{ m}$$



Obr. 6 – Schéma větrných oblastí na střeše budovy (vítr podélný)

Součinitel vnějšího tlaku

Střecha s atikou:

Výška atiky: $h_p = 0,95$ m

Výška stěny bez atiky: $h = 7,5$ m

$$h_p/h = 0,95/7,5 = 0,13$$

oblast	F	G	H	I
h_p/h	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
0,10	-1,2	-0,8	-0,7	+0,2
				-0,2
	$C_{pe,6,6}$	$C_{pe,6,8}$	$C_{pe,6,8}$	$C_{pe,6,8}$
	-1,43			
	$C_{pe,1}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,1}$
	-1,8			

Tab. 14 – Součinitelé vnějšího tlaku pro střechu (vítr podélný)

$$F_{6,3} = -1,8 + (6,6 - 1) * \frac{-1,2 + 1,8}{10 - 1} = -1,43$$

Tlak větru na střechu

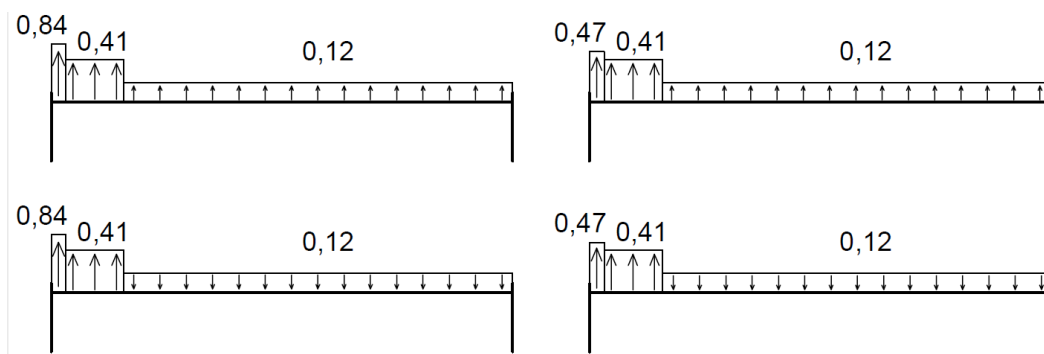
$$w_{e,F} = 585,9 * (-1,43) = -838 \text{ N/m}^2 = -0,84 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,G} = 585,9 * (-0,8) = -469 \text{ N/m}^2 = -0,47 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,H} = 585,9 * (-0,7) = -410 \text{ N/m}^2 = -0,41 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,I+} = 585,9 * 0,2 = 117 \text{ N/m}^2 = 0,12 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,H} = 585,9 * (-0,2) = -117 \text{ N/m}^2 = -0,12 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 7 – Schéma zatížení větrem na střechu budovy (vítr podélný)

1.5.1.3 Vnitřní tlaky

l) Vítr fouká zezdola

Uvažováno, že budou otevřeny pouze garážová vrata. Rozměr vrat 3,5 x 4,2 m.

$$\mu = \frac{\text{plocha všech otvorů, kde je } C_{pe} \text{ záporné nebo } 0,0}{\text{plocha všech otvorů}} = \frac{4 * 3,5 * 4,2}{4 * 3,5 * 4,2} = 1$$

$$\rightarrow C_{pi} = -0,3 \dots \text{ pro } h/d \leq 0,25$$

$$w_{pi} = q_p(z_i) * C_{pi} = 585,9 * (-0,3) = -175,8 \text{ N/m}^2 = -0,18 \text{ kN/m}^2$$

II) Vítr fouká seshora

Uvažováno, že budou otevřeny pouze garážová vrata. Rozměr vrat 3,5 x 4,2 m.

$$\mu = \frac{\text{plocha všech otvorů, kde je } C_{pe} \text{ záporné nebo } 0,0}{\text{plocha všech otvorů}} = \frac{3 * 3,5 * 4,2}{4 * 3,5 * 4,2} = 0,75$$

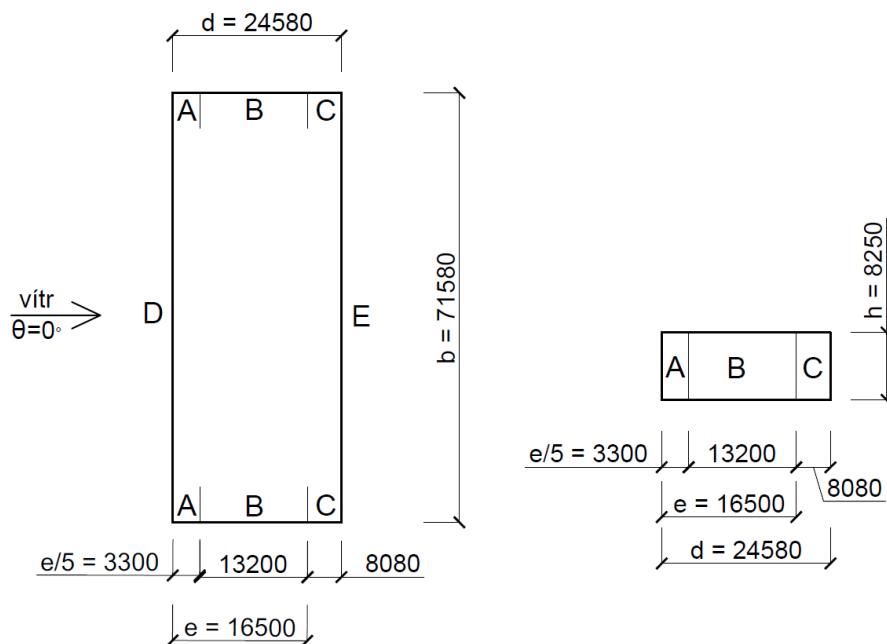
$$\rightarrow C_{pi} = -0,13 \dots \text{ pro } h/d \leq 0,25$$

$$w_{pi} = q_p(z_i) * C_{pi} = 585,9 * (-0,13) = -76,2 \text{ N/m}^2 = -0,08 \text{ kN/m}^2$$

1.5.2 Příčný vítr

1.5.2.1 Stěna

$$e = \min\{b; 2 * h\} = \min\{71,58; 2 * 8,25\} = 16,5 \text{ m}$$



Obr. 8 – Schéma větrných oblastí na střeše budovy (vítr příčný)

oblast	A	B	C	D	E
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
1	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,5
0,34	-1,2	-0,8	-0,5	0,71	-0,32
< 0,25	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3

Tab. 15 – Součinitelé vnějšího tlaku pro stěnu (vítr příčný)

$$D_{0,35} = 0,7 + (0,34 - 0,25) * \frac{0,8 - 0,7}{1 - 0,25} = 0,71$$

$$E_{0,35} = -0,3 + (0,34 - 0,25) * \frac{-0,5 + 0,3}{1 - 0,25} = -0,32$$

Tlak větru na stěnu

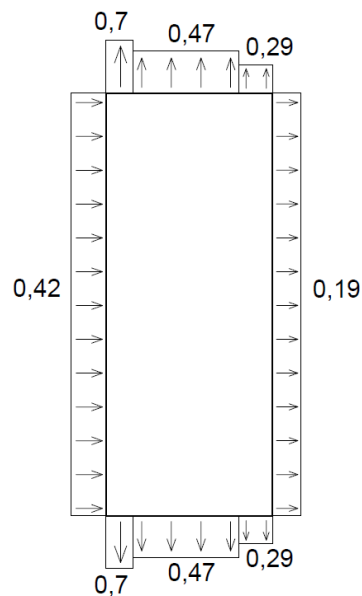
$$w_{e,A} = 585,9 * (-1,2) = -703,1 \text{ N/m}^2 = -0,7 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,B} = 585,9 * (-0,8) = -469 \text{ N/m}^2 = -0,47 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,C} = 585,9 * (-0,5) = -293 \text{ N/m}^2 = -0,29 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,D} = 585,9 * 0,71 = 416 \text{ N/m}^2 = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,E} = 585,9 * (-0,32) = -187 \text{ N/m}^2 = -0,19 \text{ kN/m}^2$$

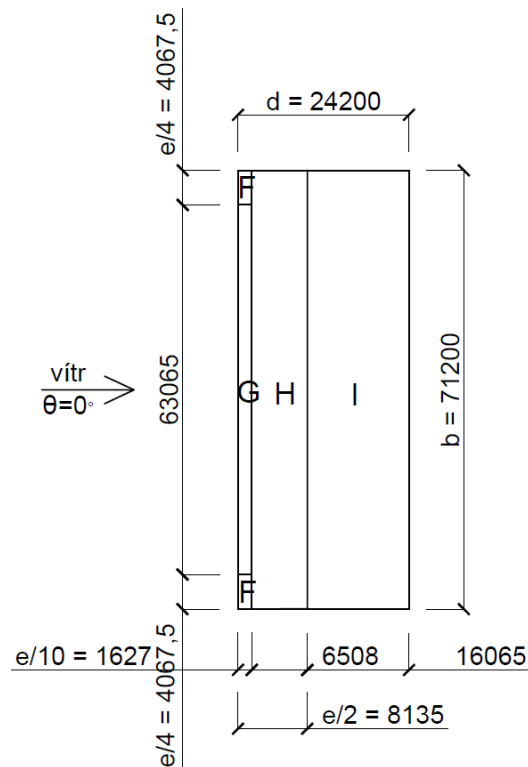


Obr. 9 – Schéma zatížení větrem na stěnách budovy (vítr příčný)

1.5.2.2 Střecha

typ střechy: střecha plochá ($\alpha = 3^\circ$)

$$e = \min\{b; 2 * h\} = \min\{71,2; 2 * 8,135\} = 16,27 \text{ m}$$



Obr. 10 – Schéma větrných oblastí na střeše budovy (vítr příčný)

Součinitel vnějšího tlaku

Střecha s atikou:

Výška atiky: $h_p = 0,95$ m

Výška stěny bez atiky: $h = 7,3$ m

$h_p/h = 0,95/7,3 = 0,13$

oblast	F	G	H	I
h_p/h	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,10}$
0,10	-1,2	-0,8	-0,7	+0,2
				-0,2
	$C_{pe,6,6}$	$C_{pe,6,6}$	$C_{pe,6,6}$	$C_{pe,6,6}$
	-1,43			
	$C_{pe,1}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,1}$
	-1,8			

Tab. 16 – Součinitelé vnějšího tlaku pro střechu (vítr příčný)

$$F_{6,6} = -1,8 + (6,6 - 1) * \frac{-1,2 + 1,8}{10 - 1} = -1,43$$

Tlak větru na střechu

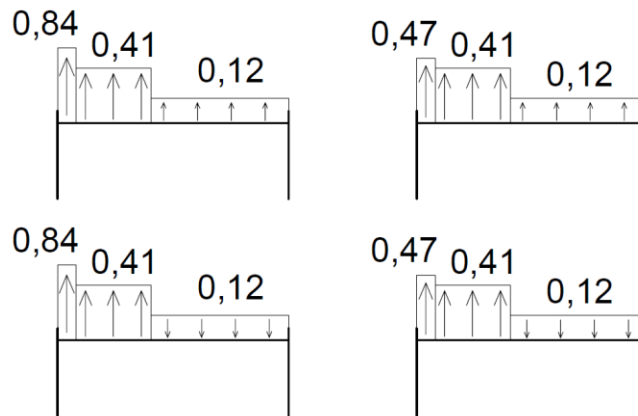
$$w_{e,F} = 585,9 * (-1,43) = -838 \text{ N/m}^2 = -0,84 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,G} = 585,9 * (-0,8) = -468 \text{ N/m}^2 = -0,47 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,H} = 585,9 * (-0,7) = -410 \text{ N/m}^2 = -0,41 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,I+} = 585,9 * 0,2 = 117 \text{ N/m}^2 = 0,12 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,H} = 585,9 * (-0,2) = -117 \text{ N/m}^2 = -0,12 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 11 – Schéma zatížení větrem na střeše budovy (vítr příčný)

1.5.2.3 Vnitřní tlaky

I) Vítr fouká zleva

Uvažováno, že budou otevřeny pouze garážová vrata. Rozměr vrat 3,5 x 4,2 m.

$$\mu = \frac{\text{plocha všech otvorů, kde je } C_{pe} \text{ záporné nebo } 0,0}{\text{plocha všech otvorů}} = \frac{2 * 3,5 * 4,2}{4 * 3,5 * 4,2} = 0,5$$

h/d	C _{pi}
> 1	0,12
0,34	0,155
< 0,25	0,16

Tab. 17 – Součinitelé vnitřního tlaku (vítr příčný – zleva)

$$C_{pi} = 0,16 + (0,34 - 0,25) * \frac{0,12 - 0,16}{1 - 0,25} = 0,155$$

$$w_{pi} = q_p(z_i) * C_{pi} = 585,9 * 0,155 = 90,8 \text{ N/m}^2 = 0,09 \text{ kN/m}^2$$

II) Vítr fouká zprava

Uvažováno, že budou otevřeny pouze garážová vrata. Rozměr vrat 3,5 x 4,2 m.

$$\mu = \frac{\text{plocha všech otvorů, kde je } C_{pe} \text{ záporné nebo } 0,0}{\text{plocha všech otvorů}} = \frac{3 * 3,5 * 4,2}{4 * 3,5 * 4,2} = 0,75$$

h/d	C _{pi}
> 1	-0,23

0,34	-0,146
< 0,25	-0,135

Tab. 18 – Součinitelé vnitřního tlaku (vítr příčný – zprava)

$$C_{pi} = -0,135 + (0,34 - 0,25) * \frac{-0,23 + 0,135}{1 - 0,25} = -0,146$$

$$w_{pi} = q_p(z_i) * C_{pi} = 585,9 * (-0,146) = -85,5 \text{ N/m}^2 = -0,09 \text{ kN/m}^2$$

1.6 Imperfekce pro analýzu výztužného systému

Počáteční prohnutí: e_0

$$e_0 = \frac{\alpha_m * L}{500} = \frac{0,791 * 24,036}{500} = 0,038 \text{ m}$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{4}\right)} = 0,791$$

m ... počet výztužných vazeb, $m = 12/3 = 4$

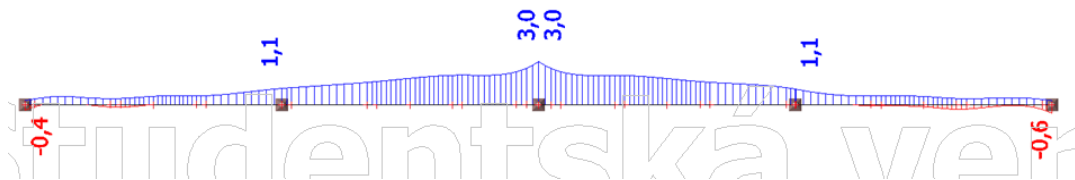
L ... délka výztužného systému, $L = 24,036 \text{ m}$

Ekvivalentní stabilizující zatížení: q_d

$$q_d = \sum N_{Ed} / 3 * 8 * \frac{e_0 + \delta_d}{L^2} = 444 / 3 * 8 * \frac{0,038 + 0,0036}{24,036^2} = 0,085 \text{ kN/m}$$

δ_d ... průhyb výztužného systému v rovině z kombinace KZ4 vítr zprava +

$$\delta_d = 3,4 \text{ mm} = 0,0034 \text{ m}$$



Obr. 12 – průhyb výztužného systému v rovině z kombinace KZ4 vítr zprava +

N_{Ed} ... maximální tlaková síla na výztužném systému z kombinace KZ4N vítr zprava +

$$\sum N_{Ed} = 444 \text{ kN}$$

Síly od ekvivalentního stabilizujícího zatížení: N_{Ed}

$$N_{Ed,1,k} = q_d * b_1 = 0,085 * 1,5 = 0,128 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,2,k} = q_d * b_2 = 0,085 * 3 = 0,255 \text{ kN}$$

Zatížení vyvolané pohybem příčných střešních ztužidel je tak nízké, že nebude mít téměř žádný účinek na návrh nosných konstrukcí (konstrukce budou mít zajištěnou rezervu v únosnosti), proto bude v práci zanedbáno.

1.7 Kombinace zatížení

Obecně:

$$F_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_P * P_k + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

nepříznivé stálé zatížení: $\gamma_{G,sup} = 1,35$

příznivé stálé zatížení: $\gamma_{G,inf} = 1,0$

Kombinace zatížení (KZ)

KZ (1): nepříznivé stálé zatížení, dominantní zatížení sních, působí vítr (příčný)

$$F_d = 1,35 * \sum G_{k,j} + 1,5 * Q_{k,1} + 1,5 * 0,6 * Q_{k,v} + 1,5 * 0,7 * Q_{k,u}$$

- a) Vítr působí zprava
 - i) Vnější tlak větru s vlivem vnitřního tlaku, označení: KZ1N, vítr zprava +
 - ii) Vnější tlak větru bez vlivu vnitřního tlaku, označení: KZ1N, vítr zprava -
- b) Vítr působí zleva
 - i) Vnější tlak větru s vlivem vnitřního tlaku, označení: KZ1N, vítr zleva +
 - ii) Vnější tlak větru bez vlivu vnitřního tlaku, označení: KZ1N, vítr zleva -

KZ (2): nepříznivé stálé zatížení, dominantní zatížení sních, působí vítr (podélný)

$$F_d = 1,35 * \sum G_{k,j} + 1,5 * Q_{k,1} + 1,5 * 0,6 * Q_{k,v} + 1,5 * 0,7 * Q_{k,u}$$

- a) Vítr působí zezdola
 - i) Vnější tlak větru s vlivem vnitřního tlaku, označení: KZ2N, vítr zezdola +
 - ii) Vnější tlak větru bez vlivu vnitřního tlaku, označení: KZ2N, vítr zezdola -
- b) Vítr působí seshora
 - i) Vnější tlak větru s vlivem vnitřního tlaku, označení: KZ2N, vítr seshora +
 - ii) Vnější tlak větru bez vlivu vnitřního tlaku, označení: KZ2N, vítr seshora -

KZ (3): nepříznivé stálé zatížení, dominantní zatížení vítr (podélný)

$$F_d = 1,35 * \sum G_{k,j} + 1,5 * Q_{k,1} + 1,5 * 0,7 * Q_{k,u} + 1,5 * 0,5 * Q_{k,s}$$

- a) Vítr působí zezdola
 - i) Vnější tlak větru s vlivem vnitřního tlaku, označení: KZ3N, vítr zezdola +
 - ii) Vnější tlak větru bez vlivu vnitřního tlaku, označení: KZ3N, vítr zezdola -
- b) Vítr působí seshora
 - i) Vnější tlak větru s vlivem vnitřního tlaku, označení: KZ3N, vítr seshora +
 - ii) Vnější tlak větru bez vlivu vnitřního tlaku, označení: KZ3N, vítr seshora -

KZ (4): nepříznivé stálé zatížení, dominantní zatížení vítr (příčný)

$$F_d = 1,35 * \sum G_{k,j} + 1,5 * Q_{k,1} + 1,5 * 0,7 * Q_{k,u} + 1,5 * 0,5 * Q_{k,s}$$

- a) Vítr působí zprava
 - i) Vnější tlak větru s vlivem vnitřního tlaku, označení: KZ4N, vítr zprava +
 - ii) Vnější tlak větru bez vlivu vnitřního tlaku, označení: KZ4N, vítr zprava -
- b) Vítr působí zleva
 - i) Vnější tlak větru s vlivem vnitřního tlaku, označení: KZ4N, vítr zleva +
 - ii) Vnější tlak větru bez vlivu vnitřního tlaku, označení: KZ4N, vítr zleva -

KZ (5): příznivé stálé zatížení, dominantní zatížení vítr (podélný)

$$F_d = 1,0 * \sum G_{k,j} + 1,5 * Q_{k,1}$$

- a) Vítr působí zezdola
 - i) Vnější tlak větru s vlivem vnitřního tlaku, označení: KZ5N, vítr zezdola +
 - ii) Vnější tlak větru bez vlivu vnitřního tlaku, označení: KZ5N, vítr zezdola -
- b) Vítr působí seshora
 - i) Vnější tlak větru s vlivem vnitřního tlaku, označení: KZ5N, vítr seshora +
 - ii) Vnější tlak větru bez vlivu vnitřního tlaku, označení: KZ5N, vítr seshora -

KZ (6): příznivé stálé zatížení, dominantní zatížení vítr (příčný)

$$F_d = 1,0 * \sum G_{k,j} + 1,5 * Q_{k,1}$$

- a) Vítr působí zprava
 - i) Vnější tlak větru s vlivem vnitřního tlaku, označení: KZ6N, vítr zprava +
 - ii) Vnější tlak větru bez vlivu vnitřního tlaku, označení: KZ6N, vítr zprava -
- b) Vítr působí zleva
 - i) Vnější tlak větru s vlivem vnitřního tlaku, označení: KZ6N, vítr zleva +
 - ii) Vnější tlak větru bez vlivu vnitřního tlaku, označení: KZ6N, vítr zleva -

KZ (7): nepříznivé stálé zatížení, dominantní zatížení sních (bez větru)

$$F_d = 1,35 * \sum G_{k,j} + 1,5 * Q_{k,1}$$

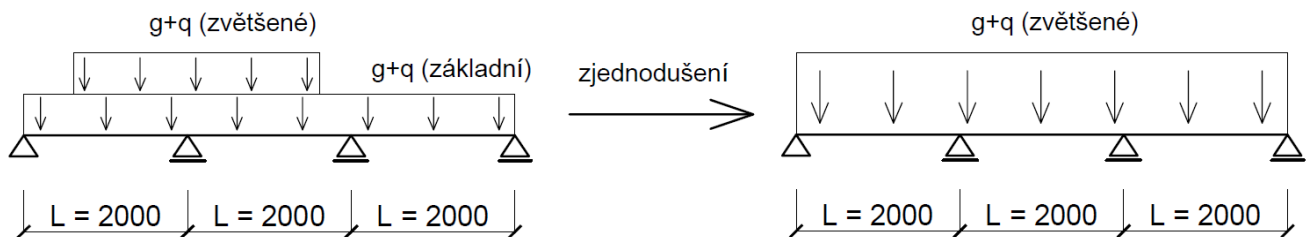
Označení: KZ7N

2 Stropní konstrukce

V této kapitole jsou navrhovány a posuzovány stropní konstrukce (trapézové plechy, stropnice a průvlaky). Stropní nosníky byly posuzovány na MSÚ a MSP. V MSÚ se stanovovala ohybová a smyková únosnost stropního nosníku v montážním a provozním stádiu a dále návrh spřažení. Průvlaky v montážním stádiu byly ověřeny na klopení nosníku. V MSP se počítal průhyb za působení proměnného zatížení. Návrh a posouzení stropních prvků byl proveden dle [4], [7] a [8].

2.1 Návrh trapézového plechu 1

Statické schéma: spojitý nosník o třech polích



Obr. 13 – Zatěžovací schéma trapézového plechu

$$(g + q(\text{zvětšené}))_k = 2,015 + 0,1 + 1,5 = 3,615 \text{ kN/m}^2$$

$$(g + q(\text{zvětšené}))_d = 2,72 + 0,135 + 2,25 = 5,105 \text{ kN/m}^2$$

Návrh TR 50/250/0,88 mm: $m = 0,09 \text{ kN/m}^2$

$$m_d = 0,09 \cdot 1,35 = 0,122 \text{ kN/m}^2$$

Materiál: ocel S320GD, $f_{yd} = 320 \text{ MPa}$

MSÚ

Maximální zatížení pro rozpětí 2 m spojitého nosníku o třech polích

$$(g + q)_{max} = 5,58 \text{ kN/m}^2 > (g + q)_d = 5,105 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

MSP

Maximální zatížení pro rozpětí 2 m spojitého nosníku o třech polích

$$(g + q)_{max} = 6,72 \text{ kN/m}^2 > (g + q)_k = 3,615 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

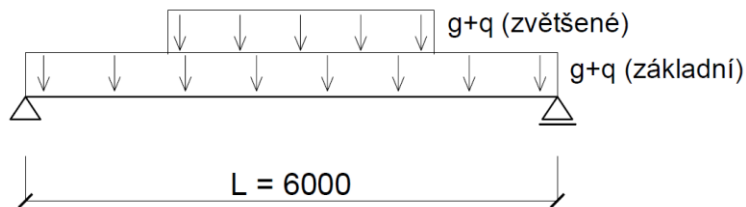
Navržený trapézový plech TR 50/250/0,88 mm vyhovuje

2.2 Návrh stropnice 1

Stropnice je nepodepřená během montáže.

2.2.1 Montážní stádium

Statické schéma: prostý nosník



Obr. 14 – Zatěžovací schéma stropnice (montážní stádium)

Zatěžovací šířka: $b = 2 \text{ m}$

Materiál: ocel S355, $f_{yd} = 355 \text{ MPa}$

Odhad hmotnosti nosníku: $g_0 = 0,4 \text{ kN/m}$

$$(g + q(\text{zvětšené}))_k = (2,015 + 0,09 + 1,5) * 2 + 0,4 = 7,61 \text{ kN/m}$$

$$(g + q(\text{základní}))_k = (2,015 + 0,09 + 0,75) * 2 + 0,4 = 6,11 \text{ kN/m}$$

$$(g + q(\text{zvětšené}))_d = (2,72 + 0,122 + 2,25) * 2 + 0,4 * 1,35 = 10,72 \text{ kN/m}$$

$$(g + q(\text{základní}))_d = (2,72 + 0,122 + 1,125) * 2 + 0,4 * 1,35 = 8,47 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} * (g + q(\text{zvětšené}))_d * l + \frac{1}{2} * \frac{L}{2} * (g + q(\text{základní}))_d = \frac{1}{2} * 10,72 * 3 + \frac{1}{2} * \frac{6}{2} * 8,47 \\ = 28,79 \text{ kN}$$

Reakce $R = 28,79 \text{ kN}$

$$M_{Ed} = -\frac{1}{8} * (g + q(\text{zvětšené}))_d * l^2 - \frac{L}{4} * \frac{3L}{8} * (g + q(\text{základní}))_d + R * \frac{L}{2} \\ = -\frac{1}{8} * 10,72 * 3^2 - \frac{6}{4} * \frac{3 * 6}{8} * 8,47 + 28,79 * \frac{6}{2} = 45,72 \text{ kNm}$$

Potřebný průřezový modul: W_{min}

$$W_{min} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{45,72}{355 * 10^3} * 10^9 = 128\,789 \text{ mm}^3$$

Návrh nosníku IPE 180: $W_{pl,y} = 166\,400 \text{ mm}^3$

$m = 0,19 \text{ kN/m}$

$I_y = 13\,170\,000 \text{ mm}^4$

$$A = 2395 \text{ mm}^2$$

$$A_{vz} = 1125 \text{ mm}^2$$

Spojité zatížení včetně vlastní tíhy nosníku

$$(g + q(\text{zvětšené}))_k = (2,015 + 0,09 + 1,5) * 2 + 0,19 = 7,4 \text{ kN/m}$$

$$(g + q(\text{základní}))_k = (2,015 + 0,09 + 0,75) * 2 + 0,19 = 5,9 \text{ kN/m}$$

$$(g + q(\text{zvětšené}))_d = (2,72 + 0,122 + 2,25) * 2 + 0,19 * 1,35 = 10,44 \text{ kN/m}$$

$$(g + q(\text{základní}))_d = (2,72 + 0,122 + 1,125) * 2 + 0,19 * 1,35 = 8,19 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} * (g + q(\text{zvětšené}))_d * l + \frac{1}{2} * \frac{L}{2} * (g + q(\text{základní}))_d = \frac{1}{2} * 10,44 * 3 + \frac{1}{2} * \frac{6}{2} * 8,19 \\ = 27,95 \text{ kN}$$

Reakce $R_{Ed} = 27,95 \text{ kN}$

$$M_{Ed} = -\frac{1}{8} * (g + q(\text{zvětšené}))_d * l^2 - \frac{L}{4} * \frac{3L}{8} * (g + q(\text{základní}))_d + R_{Ed} * \frac{L}{2} \\ = -\frac{1}{8} * 10,44 * 3^2 - \frac{6}{4} * \frac{3 * 6}{8} * 8,19 + 27,95 * \frac{6}{2} = 44,46 \text{ kNm}$$

MSÚ

Plastická momentová únosnost: $M_{pl,Rd}$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,Rd} * f_{yd}}{\gamma_M} = \frac{166\,400 * 10^{-9} * 355 * 10^3}{1,0} = 59,07 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 59,07 \text{ kNm} > M_{Ed} = 44,46 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Plastická smyková únosnost: $V_{pl,Rd}$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} * f_{yd}}{\sqrt{3} * \gamma_M} = \frac{1125 * 10^{-6} * 355 * 10^3}{\sqrt{3} * 1,0} = 230,58 \text{ kNm}$$

$$V_{pl,Rd} = 230,58 \text{ kN} > V_{Ed} = 27,95 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

MSP

Spojité zatížení (stálé, charakteristické)

$$g_k = (2,015 + 0,09) * 2 + 0,19 = 4,4 \text{ kN/m}$$

$$\delta = \frac{5}{384} * \frac{g_k * L^4}{E * I_y} = \frac{5}{384} * \frac{4,4 * 6^4}{210 * 10^6 * 13170000 * 10^{-12}} * 10^3 = 26,8 \text{ mm}$$

$$\delta = 26,8 \text{ mm} > \frac{t_{deska}}{10} = \frac{77,5}{10} = 7,75 \text{ mm} \rightarrow \text{rybníkový efekt}$$

Přidaná tloušťka betonové desky: δ_0

$$\delta_0 = 0,7 * \delta = 0,7 * 26,8 * 10^{-3} = 0,019 \text{ m}$$

Zatížení z přidané tloušťky betonové desky: Δq

$$\Delta q_k = \delta_0 * b * \gamma_{bet} = 0,019 * 2 * 26 = 0,988 \text{ kN/m}$$

$$\Delta q_d = \Delta q_k * \gamma_G = 0,988 * 1,35 = 1,334 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly

$$M'_{Ed} = M_{Ed} + \frac{1}{8} * \Delta q_d * L^2 = 44,46 + \frac{1}{8} * 1,334 * 6^2 = 50,46 \text{ kNm}$$

$$V'_{Ed} = V_{Ed} + \frac{1}{2} * \Delta q_d * L = 27,95 + \frac{1}{2} * 1,334 * 6 = 31,95 \text{ kN}$$

MSÚ

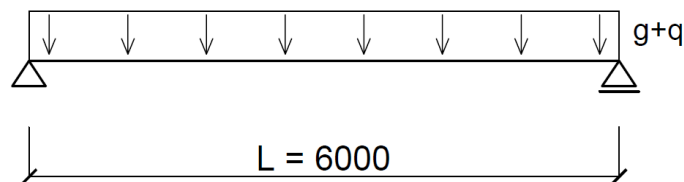
$$M_{pl,Rd} = 59,07 \text{ kNm} > M'_{Ed} = 50,46 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$V_{pl,Rd} = 230,58 \text{ kN} > V'_{Ed} = 31,95 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Profil IPE 180 v montážním stádiu vyhoví

2.2.2 Provozní stádium

Statické schéma: prostý nosník



Obr. 15 – Zatěžovací schéma stropnice (provozní stádium)

Spojité zatížení

$$(g + q)_k = (4,024 + 3,3) * 2 + 0,19 = 14,84 \text{ kN/m}$$

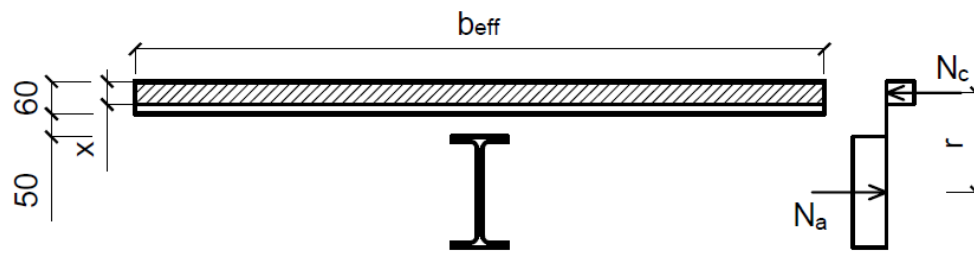
$$(g + q)_d = (5,432 + 4,95) * 2 + 0,19 * 1,35 = 21,02 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * (g + q)_d * L^2 = \frac{1}{8} * 21,02 * 6^2 = 94,59 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} * (g + q)_d * L = \frac{1}{2} * 21,02 * 6 = 63,06 \text{ kN}$$

MSÚ



Obr. 16 – Schéma spolupůsobícího ocelobetonového nosníku

$$b_{eff} = 2 * b_{e1} = \frac{L}{4} = \frac{6}{4} = 1,5 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 1,5 \text{ m} < B = 2 \text{ m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Materiál: beton C25/30 $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$

$$f_{cd} = 0,85 * f_{ck} / \gamma_c = 0,85 * 25 / 1,5 = 14,17 \text{ MPa}$$

$$N_a = N_c$$

$$A_a * f_{yd} = x * b_{eff} * f_{cd}$$

$$x = \frac{A_a * f_{yd}}{b_{eff} * f_{cd}} = \frac{2395 * 355}{1500 * 14,17} = 40 \text{ mm} < 60 \text{ mm (n. o. prochází deskou)}$$

Rameno sil: r

$$r = \frac{180}{2} + 50 + 60 - \frac{x}{2} = \frac{180}{2} + 50 + 60 - \frac{40}{2} = 180 \text{ mm} = 0,18 \text{ m}$$

Momentová únosnost: $M_{pl,Rd}$

$$M_{pl,Rd} = r * N_a = r * A_a * f_{yd} = 0,18 * 2395 * 10^{-6} * 355 * 10^3 = 153,04 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 153,04 \text{ kNm} > M_{Ed} = 94,59 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smyková únosnost: $V_{pl,Rd}$

$$V_{pl,Rd} = 230,58 \text{ kNm} > V_{Ed} = 63,06 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

SPŘAŽENÍ

Spřahovací trn: $d = 22 \text{ mm}$

$$h_{sc} = 100 \text{ mm}$$

$$f_{yd} = 235 \text{ MPa}$$

$$f_u = 390 \text{ MPa}$$

Únosnost jednoho trnu: P_{Rd}

$$P_{Rd,1} = 0,8 * f_u * \frac{\pi * d^2}{4} * \frac{1}{\gamma_v} = 0,8 * 390 * 10^3 * \frac{\pi * 0,022^2}{4} * \frac{1}{1,25} = 94,88 \text{ kN}$$

$$P_{Rd,2} = 0,29 * \alpha * d^2 * \sqrt{f_{ck} * E_{cm}} * \frac{1}{\gamma_v} = 0,29 * 1 * 0,022^2 * \sqrt{25 * 30,5 * 10^9} * \frac{1}{1,25} = 98,05 \text{ kN}$$

$$\alpha = 1 \rightarrow h_{sc} = 100 \text{ mm} > 4 * d = 4 * 22 = 88 \text{ mm}$$

$$E_{cm} = 30,5 \text{ GPa (beton C25/30)}$$

$$P_{Rd} = \min\{P_{Rd,1}; P_{Rd,2}\} = \min\{94,88; 98,05\} = 94,88 \text{ kN}$$

Redukční součinitel: k_t

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} * \frac{b_0}{h_p} * \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1\right) = \frac{0,7}{\sqrt{1}} * \frac{84,5}{50} * \left(\frac{100}{50} - 1\right) = 1,18 \rightarrow k_t = 0,75$$

pro trny $d > 20 \text{ mm}$ se součinitel k_t uvažuje 0,75

$$P_{Rd} = 0,75 * 94,88 = 71,16 \text{ kN}$$

Síla potřebná na sprážení jedné poloviny nosníku: F_{cf}

$$F_{cf} = N_a = 2395 * 10^{-6} * 355 * 10^3 = 850,225 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů: n_f

$$n_f = \frac{F_{cf}}{P_{Rd}} = \frac{850,225}{71,16} = 11,9 \rightarrow 12 \text{ trnů}$$

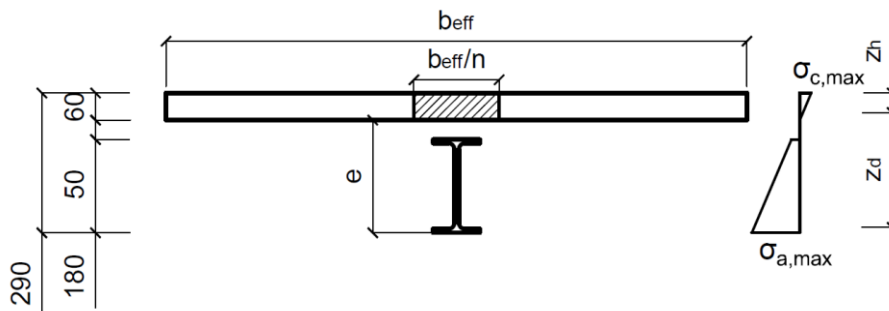
Počet žebér na polovině nosníku: n_z

$$n_z = \frac{3000}{250} = 12$$

$$n_f = 12 \leq n_z = 12 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Návrh 12 trnů 22/100 mm na sprážení jedné poloviny nosníku

MSP



Obr. 17 – Schéma ideálního průřezu

Vnitřní síly (charakteristické hodnoty: montážní + provozní zatížení)

$$M_0 = \frac{1}{8} \left((2,015 + 0,09) * 2 + 0,19 + 0,988 \right) * 6^2 = 24,25 \text{ kNm}$$

$$M_p = \frac{1}{8} * (0,0075 + 2 * 0,0019 + 1,25 + 0,0015 + 0,09 + 0,15 + 3,3) * 2 * 6^2 = 43,23 \text{ kNm}$$

Modul pružnosti betonu s vlivem dotvarování: E'_{cm}

$$E'_{cm} = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{30,5}{2} = 15,25 \text{ GPa}$$

Pracovní součinitel: n

$$n = \frac{E_a}{E'_{cm}} = \frac{210}{15,25} = 13,77$$

Plocha ideálního průřezu: A_i

$$A_i = 2395 + \frac{60 * 1500}{13,77} = 8931 \text{ mm}^2$$

Těžiště ideálního průřezu: e

$$e = \frac{2395 * \frac{180}{2} + \frac{60 * 1500}{13,77} * (180 + 50 + \frac{60}{2})}{8931} = 214,4 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti ideálního průřezu: I_i

$$I_i = 13,17 * 10^6 + 2395 * (214,4 - 90)^2 + \frac{1}{12} * \left(\frac{1500 * 60^3}{12} + 1500 * 60 * \left(214,4 - 180 - 50 - \frac{60}{2} \right)^2 \right) = 65\,784\,860 \text{ mm}^4$$

Největší napětí v ocelovém profilu: $\sigma_{a,max}$

$$\sigma_{a,max} = \sigma_0 + \sigma_p = \frac{M_0}{W_{pl,y}} + \frac{M_p}{I_i} * z_d = \left(\frac{24,25}{166400 * 10^{-9}} + \frac{43,23}{65784860 * 10^{-12}} * 0,2144 \right) * 10^{-3} \\ = 286,62 \text{ MPa} < f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

Největší napětí v betonové desce: $\sigma_{c,max}$

$$\sigma_{c,max} = \frac{M_p}{n * I_i} * z_h = \frac{43,23}{13,77 * 65784860 * 10^{-12}} * (0,29 - 0,2144) * 10^{-3} = 3,61 \text{ MPa} < f_{cd} \\ = 14,17 \text{ MPa}$$

Průhyb od proměnného zatížení: δ_2

$$\delta_2 = \frac{5}{384} * \frac{q_k * L^4}{E * I_i} = \frac{5}{384} * \frac{3,3 * 6^4}{210 * 10^6 * 65784860 * 10^{-12}} * 10^3 = 4,04 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 4,04 \text{ mm} < \frac{L}{250} = \frac{6000}{250} = 24 \text{ mm}$$

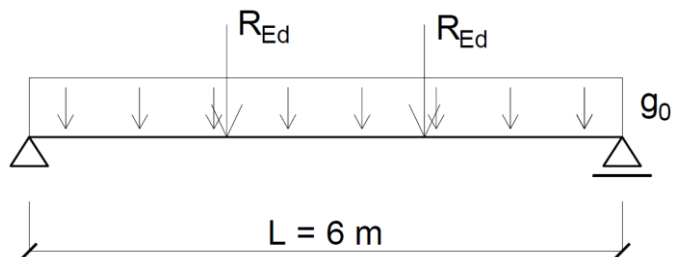
Profil IPE 180 v provozním stádiu vyhoví

2.3 Návrh průvlaku 1

Průvlak je nepodepřený během montáže.

2.3.1 Montážní stádium

Statické schéma: prostý nosník



Obr. 18 – Zatěžovací schéma průvlaku 1 (montážní stádium)

Zatížení

Vlastní tíha průvlaku: $g_0 = 0,3 \text{ kN/m}$

Reakce ze stropnic: R_{Ed}

$$R_{Ed} = 31,85 \text{ kN}$$

Vnitřní síly

$$V_{Ed} = \frac{L}{2} * g_{0,d} + R_{Ed} = \frac{6}{2} * 0,3 * 1,35 + 31,85 = 33,07 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = V_{Ed} * \frac{L}{2} - \frac{1}{8} * g_{0,d} * L^2 - R_{Ed} * \frac{L}{6} = 33,07 * \frac{6}{2} - \frac{1}{8} * 0,3 * 1,35 * 6^2 - 31,85 * \frac{6}{6} = 65,54 \text{ kNm}$$

Potřebný průřezový modul: W_{min}

$$W_{min} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{65,54}{355 * 10^3} * 10^9 = 184\,620 \text{ mm}^3$$

Návrh nosníku IPE 200: $W_{pl,y} = 220\,600 \text{ mm}^3$

$$m = 0,22 \text{ kN/m}$$

$$I_y = 19\,430\,000 \text{ mm}^4$$

$$A = 2848 \text{ mm}^2$$

$$A_{vz} = 1400 \text{ mm}^2$$

Vnitřní síly

$$V_{Ed} = \frac{L}{2} * g_{0,d} + R_{Ed} = \frac{6}{2} * 0,22 * 1,35 + 31,85 = 32,74 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = V_{Ed} * \frac{L}{2} - \frac{1}{8} * g_{0,d} * L^2 - R_{Ed} * \frac{L}{6} = 32,74 * \frac{6}{2} - \frac{1}{8} * 0,22 * 1,35 * 6^2 - 31,85 * \frac{6}{6} \\ = 65,03 \text{ kNm}$$

MSÚ

Plastická momentová únosnost: $M_{pl,Rd}$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,Rd} * f_{yd}}{\gamma_M} = \frac{220\,600 * 10^{-9} * 355 * 10^3}{1,0} = 78,31 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 78,31 \text{ kNm} > M_{Ed} = 65,03 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Plastická smyková únosnost: $V_{pl,Rd}$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} * f_{yd}}{\sqrt{3} * \gamma_M} = \frac{1400 * 10^{-6} * 355 * 10^3}{\sqrt{3} * 1,0} = 286,94 \text{ kNm}$$

$$V_{pl,Rd} = 286,94 \text{ kN} > V_{Ed} = 32,74 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

MSP

Zatížení (stálé, charakteristické)

$$R_{Ed} = ((2,015 + 0,09) * 2 + 0,19 + 0,988) * 3 = 16,2 \text{ kN}$$

$$g_0 = 0,22 \text{ kN/m}$$

$$\delta = \frac{5}{384} * \frac{g_k * L^4}{E * I_y} + \frac{23}{648} * \frac{R_{Ed} * L^3}{E * I_y} \\ = \left(\frac{5}{384} * \frac{0,22 * 6^4}{210 * 10^6 * 19430000 * 10^{-12}} + \frac{23}{648} * \frac{16,2 * 6^3}{210 * 10^6 * 19430000 * 10^{-12}} \right) \\ * 10^3 = 31,3 \text{ mm}$$

$$\delta = 31,3 \text{ mm} > \frac{t_{deska}}{10} = \frac{77,5}{10} = 7,75 \text{ mm} \rightarrow \text{rybníkový efekt}$$

Přidaná tloušťka betonové desky: δ_0

$$\delta_0 = 0,7 * \delta = 0,7 * 31,3 * 10^{-3} = 0,022 \text{ m}$$

Zatížení z přidané tloušťky betonové desky: Δq

$$\Delta q_k = \delta_0 * b * \gamma_{bet} = 0,022 * 2 * 26 = 1,144 \text{ kN/m}$$

$$\Delta q_d = \Delta q_k * \gamma_G = 1,144 * 1,35 = 1,544 \text{ kN/m}$$

Zatížení po započítání rybníkového efektu

$$R'_{Ed} = R_{Ed} + \frac{L}{2} * \Delta q_d = 31,85 + \frac{6}{2} * 1,544 = 36,48 \text{ kN}$$

Vnitřní síly

$$V_{Ed} = \frac{L}{2} * g_{0,d} + R'_{Ed} = \frac{6}{2} * 0,22 * 1,35 + 36,48 = 37,37 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = V_{Ed} * \frac{L}{2} - \frac{1}{8} * g_{0,d} * L^2 - R_{Ed} * \frac{L}{6} = 37,37 * \frac{6}{2} - \frac{1}{8} * 0,22 * 1,35 * 6^2 - 36,48 * \frac{6}{6} \\ = 74,29 \text{ kNm}$$

MSÚ

$$M_{pl,Rd} = 78,31 \text{ kNm} > M'_{Ed} = 74,29 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$V_{pl,Rd} = 286,94 \text{ kN} > V'_{Ed} = 36,48 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Profil IPE 200 v montážním stádiu vyhoví

2.3.2 Klopení průvlaku v montážním stádiu

Kritický moment

$$M_{cr} = 117,08 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost: $\bar{\lambda}_{LT}$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{220600 * 10^{-9} * 355 * 10^3}{117,08}} = 0,818$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * [1 + \alpha_{LT} * (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,818 - 0,4) + 0,75 * 0,818^2] \\ = 0,822$$

$$h/b \leq 2 \rightarrow \text{křivka } a \rightarrow \alpha_{LT} = 0,34$$

$$\beta = 0,75 \text{ (doporučení dle normy)}$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \text{ (doporučení dle normy)}$$

Součinitel klopení: χ_{LT}

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,822 + \sqrt{0,822^2 - 0,75 * 0,818^2}} = 0,807$$

$$\chi_{LT} \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,807^2} = 1,536 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * W_{pl,y} * f_{yd} = 0,807 * 220600 * 10^{-9} * 355 * 10^3 = 63,2 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 63,2 \text{ kNm} \leq M_{Ed} = 74,29 \text{ kNm} \rightarrow \text{nevyhovuje, návrh většího profilu IPE 220}$$

Návrh nosníku IPE 220: $W_{pl,y} = 285\,400 \text{ mm}^3$

$$m = 0,26 \text{ kN/m}$$

$$I_y = 27\,720\,000 \text{ mm}^4$$

$$A = 3337 \text{ mm}^2$$

$$A_{vz} = 1588 \text{ mm}^2$$

Kritický moment

$$M_{cr} = 176,05 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost: $\bar{\lambda}_{LT}$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{285400 * 10^{-9} * 355 * 10^3}{176,05}} = 0,759$$

$$\begin{aligned} \phi_{LT} &= 0,5 * [1 + \alpha_{LT} * (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,759 - 0,4) + 0,75 * 0,759^2] \\ &= 0,777 \end{aligned}$$

$$h/b \leq 2 \rightarrow \text{křivka } a \rightarrow \alpha_{LT} = 0,34$$

$$\beta = 0,75 \text{ (doporučení dle normy)}$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \text{ (doporučení dle normy)}$$

Součinitel klopení: χ_{LT}

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,777 + \sqrt{0,777^2 - 0,75 * 0,759^2}} = 0,839$$

$$\chi_{LT} \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,752^2} = 1,768 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

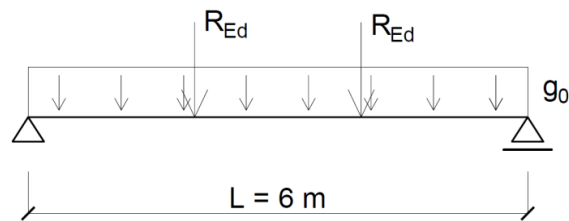
$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * W_{pl,y} * f_{yd} = 0,839 * 285400 * 10^{-9} * 355 * 10^3 = 85 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 85 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 74,29 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Nosník IPE 220 v montážním stádiu neklopí

2.3.3 Provozní stádium

Statické schéma: prostý nosník



Obr. 19 – Zatěžovací schéma průvlaku 1 (provozní stádium)

Zatížení

$$R_{Ed} = 63,06 + 1,544 \cdot 3 = 67,69 \text{ kN}$$

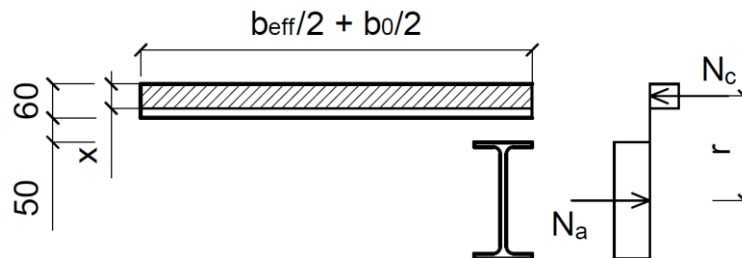
$$g_{0,d} = 0,26 \cdot 1,35 = 0,351 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly

$$V_{Ed} = \frac{L}{2} \cdot g_{0,d} + R_{Ed} = \frac{6}{2} \cdot 0,351 + 67,69 = 68,74 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot \frac{L}{2} - \frac{1}{8} \cdot g_{0,d} \cdot L^2 - R_{Ed} \cdot \frac{L}{6} = 68,74 \cdot \frac{6}{2} - \frac{1}{8} \cdot 0,351 \cdot 6^2 - 67,69 \cdot \frac{6}{6} = 136,95 \text{ kNm}$$

MSÚ



Obr. 20 – Schéma spolupůsobícího ocelobetonového nosníku

$$b_{eff} = 2 \cdot b_{e1} = \frac{L}{4} = \frac{6}{4} = 1,5 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 1,5 \text{ m} < \frac{L_{stropnice}}{2} = \frac{6}{2} = 3 \text{ m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$b_{eff}/2 + b_0/2 = 1,5/2 + 0,11/2 = 0,805 \text{ m}$$

Materiál: beton C25/30 $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$

$$f_{cd} = 0,85 \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0,85 \cdot 25 / 1,5 = 14,17 \text{ MPa}$$

$$N_a = N_c$$

$$A_a \cdot f_{yd} = x \cdot b_{eff} \cdot f_{cd}$$

$$x = \frac{A_a * f_{yd}}{(b_{eff}/2 + b_0/2) * f_{cd}} = \frac{3337 * 355}{805 * 14,17} = 103,85 \text{ mm} < 60 \text{ mm (n. o. neprochází deskou)}$$

$$N_{a2} = N_c + N_{a1}$$

$$A_a * f_{yd} = h_c * (b_{eff}/2 + b_0/2) * f_{cd} + 2 * x * b_0 * f_{yd}$$

$$x = \frac{A_a * f_{yd} - h_c * (b_{eff}/2 + b_0/2) * f_{cd}}{2 * b_0 * f_{yd}} = \frac{3337 * 355 - 60 * 805 * 14,17}{2 * 110 * 355} = 6,4$$

$$x = 6,4 \text{ mm} < t_f = 9,2 \text{ mm (n. o. prochází pásnicí nosníku)}$$

Rameno sil: r_a, r_c

$$r_a = \frac{h_a}{2} - \frac{x}{2} = \frac{220}{2} - \frac{6,4}{2} = 106,8 \text{ mm}$$

$$r_c = \frac{h_a}{2} + 50 + \frac{h_c}{2} = \frac{220}{2} + 50 + \frac{60}{2} = 190 \text{ mm}$$

Momentová únosnost: $M_{pl,Rd}$

$$\begin{aligned} M_{pl,Rd} &= r_a * N_{a1} + r_c * N_c = r_a * 2 * x * b_0 * f_{yd} + r_c * h_c * (b_{eff}/2 + b_0/2) * f_{cd} \\ &= 0,1068 * 2 * 0,0064 * 0,11 * 355 * 10^3 + 0,19 * 0,06 * 0,805 * 14,17 * 10^3 \\ &= 183,42 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{pl,Rd} = 183,42 \text{ kNm} > M_{Ed} = 136,95 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smyková únosnost: $V_{pl,Rd}$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} * f_{yd}}{\sqrt{3} * \gamma_M} = \frac{1588 * 10^{-6} * 355 * 10^3}{\sqrt{3} * 1,0} = 325,48 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 325,48 \text{ kN} > V_{Ed} = 68,74 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

SPŘAŽENÍ

$$P_{Rd} = 0,75 * 94,88 = 71,16 \text{ kN}$$

Síla potřebná na spřažení jedné poloviny nosníku: F_{cf}

$$F_{cf} = N_{a2} - N_{a1} = 3337 * 10^{-6} * 355 * 10^3 - 0,0064 * 0,11 * 355 * 10^3 = 934,72 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů: n_f

$$n_f = \frac{F_{cf}}{P_{Rd}} = \frac{934,72}{71,16} = 13,13 \rightarrow 14 \text{ trnů}$$

Vzdálenost trnů: d

$$d = \frac{L/2}{n_f} = \frac{6000/2}{14} = 214 \text{ mm}$$

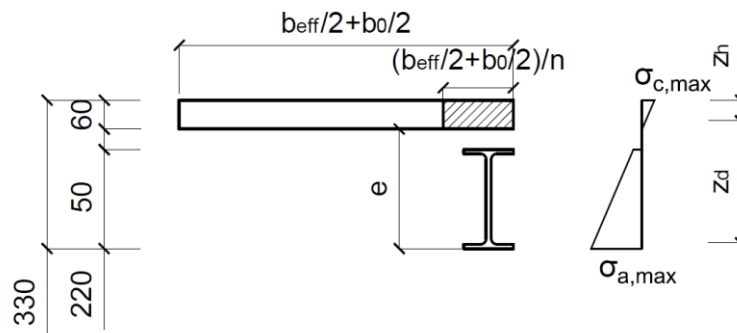
Minimální vzdálenost trnů: d_{min}

$$d_{min} = 5 * d = 5 * 22 = 110 \text{ mm}$$

$$d = 214 \text{ mm} > d_{min} = 110 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Návrh 14 trnů po 214 mm na sprážení jedné poloviny nosníku

MSP



Obr. 21 – Schéma ideálního průřezu

Vnitřní síly (charakteristické hodnoty: montážní + provozní zatížení)

$$R_0 = ((2,015 + 0,09) * 2 + 0,19 + 0,988 + 1,144) * 3 = 19,6 \text{ kN}$$

$$V_0 = \frac{L}{2} * g_0 + R_0 = \frac{6}{2} * 0,26 + 19,6 = 20,38 \text{ kN}$$

$$M_0 = \frac{L}{2} * V_0 - \frac{1}{8} * g_0 * L^2 - R_0 * \frac{L}{6} = \frac{6}{2} * 20,38 - \frac{1}{8} * 0,26 * 6^2 - 19,6 * \frac{6}{6} = 40,37 \text{ kNm}$$

$$R_P = ((0,0075 + 2 * 0,0019 + 1,25 + 0,0015 + 0,09 + 0,15 + 3,3) * 2) * 3 = 28,82 \text{ kN}$$

$$V_P = R_P = 28,82 \text{ kN}$$

$$M_P = V_P * \frac{L}{2} - R_P * \frac{L}{6} = 28,82 * \frac{6}{2} - 28,82 * \frac{6}{6} = 57,64 \text{ kNm}$$

Modul pružnosti betonu s vlivem dotvarování: E'_{cm}

$$E'_{cm} = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{30,5}{2} = 15,25 \text{ GPa}$$

Pracovní součinitel: n

$$n = \frac{E_a}{E'_{cm}} = \frac{210}{15,25} = 13,77$$

Plocha ideálního průřezu: A_i

$$A_i = 3337 + \frac{60 * 805}{13,77} = 6845 \text{ mm}^2$$

Těžiště ideálního průřezu: e

$$e = \frac{3337 * \frac{220}{2} + \frac{60 * 805}{13,77} * (220 + 50 + \frac{60}{2})}{6845} = 197,1 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti ideálního průřezu: I_i

$$I_i = 27,72 * 10^6 + 3337 * (197,1 - 110)^2 + \frac{1}{13,77} * \left(\frac{805 * 60^3}{12} + 805 * 60 * \left(197,1 - 220 - 50 - \frac{60}{2} \right)^2 \right) = 91\,228\,312 \text{ mm}^4$$

Největší napětí v ocelovém profilu: $\sigma_{a,max}$

$$\sigma_{a,max} = \sigma_0 + \sigma_P = \frac{M_0}{W_{pl,y}} + \frac{M_P}{I_i} * z_d = \left(\frac{40,37}{285400 * 10^{-9}} + \frac{57,64}{91228312 * 10^{-12}} * 0,1971 \right) * 10^{-3} = 265,98 \text{ MPa} < f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

Největší napětí v betonové desce: $\sigma_{c,max}$

$$\sigma_{c,max} = \frac{M_P}{n * I_i} * z_h = \frac{57,64}{13,77 * 91228312 * 10^{-12}} * (0,33 - 0,1971) * 10^{-3} = 6,1 \text{ MPa} < f_{cd} = 14,17 \text{ MPa}$$

Průhyb od proměnného zatížení: δ_2

$$F_k = q_k * b * \frac{L}{2} = 3,3 * 2 * \frac{6}{2} = 19,8 \text{ kN}$$

$$\delta_2 = \frac{23}{648} * \frac{F_k * L^3}{E * I_i} = \frac{23}{648} * \frac{19,8 * 6^3}{210 * 10^6 * 91228312 * 10^{-12}} * 10^3 = 7,92 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 7,92 \text{ mm} < \frac{L}{400} = \frac{6000}{400} = 15 \text{ mm}$$

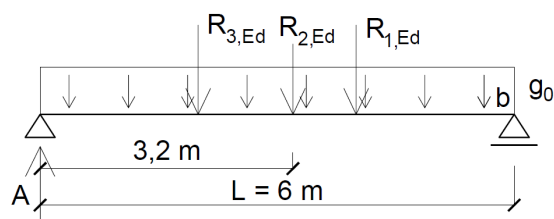
Profil IPE 220 v provozním stádiu vyhoví

2.4 Návrh průvlaku 2

Průvlak je nepodepřený během montáže.

2.4.1 Montážní stádium

Statické schéma: prostý nosník



Obr. 22 – Zatěžovací schéma průvlaku 2 (montážní stádium)

Zatížení

Vlastní tíha průvlaku: $g_0 = 0,31 \text{ kN/m}$

Reakce ze stropnic: R_{Ed}

$$R_{1,Ed} = 31,85 \text{ kN}$$

$$R_{2,Ed} = 31,85 * \frac{0,6}{2} = 9,56 \text{ kN}$$

$$R_{3,Ed} = 31,85 + 31,85 * \frac{1,6}{2} = 57,33 \text{ kN}$$

Reakce průvlaku

Bod otáčení b

$$6 * A - g_{0,d} * \frac{L^2}{2} - R_{3,Ed} * \frac{2L}{3} - R_{2,Ed} * 2,8 - R_{1,Ed} * \frac{L}{3} = 0$$

$$A = \frac{g_{0,d} * \frac{L^2}{2} + R_{3,Ed} * \frac{2L}{3} + R_{2,Ed} * 2,8 + R_{1,Ed} * \frac{L}{3}}{6}$$
$$= \frac{0,31 * 1,35 * \frac{6^2}{2} + 57,33 * \frac{2 * 6}{3} + 9,56 * 2,8 + 31,85 * \frac{6}{3}}{6} = 54,55 \text{ kN}$$

Vnitřní síly

$$V_{Ed} = A = 54,55 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = A * 2 - g_{0,d} * \frac{2^2}{2} = 54,55 * 2 - 0,31 * 1,35 * \frac{2^2}{2} = 108,26 \text{ kNm}$$

Potřebný průřezový modul: W_{min}

$$W_{min} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{108,26}{355 * 10^3} * 10^9 = 304 957 \text{ mm}^3$$

Návrh nosníku IPE 240: $W_{pl,y} = 366 600 \text{ mm}^3$

$$m = 0,36 \text{ kN/m}$$

$$I_y = 38 920 000 \text{ mm}^4$$

$$A = 3912 \text{ mm}^2$$

$$A_{vz} = 1914 \text{ mm}^2$$

MSÚ

Plastická momentová únosnost: $M_{pl,Rd}$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,Rd} * f_{yd}}{\gamma_M} = \frac{366600 * 10^{-9} * 355 * 10^3}{1,0} = 130,14 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 130,14 \text{ kNm} > M_{Ed} = 108,26 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Plastická smyková únosnost: $V_{pl,Rd}$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} * f_{yd}}{\sqrt{3} * \gamma_M} = \frac{1914 * 10^{-6} * 355 * 10^3}{\sqrt{3} * 1,0} = 392,29 \text{ kNm}$$

$$V_{pl,Rd} = 392,29 \text{ kN} > V_{Ed} = 54,55 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

MSP

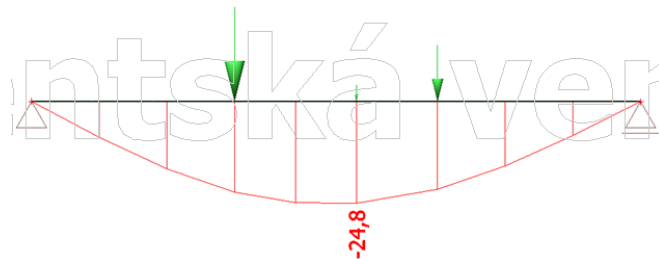
Zatížení (stálé, charakteristické)

$$R_{1,Ed} = ((2,015 + 0,09) * 2 + 0,19 + 0,988) * 3 = 16,2 \text{ kN}$$

$$R_{2,Ed} = 16,2 * \frac{0,6}{2} = 4,86 \text{ kN}$$

$$R_{3,Ed} = 16,2 + 16,2 * \frac{1,6}{2} = 29,16 \text{ kN}$$

$$g_0 = 0,31 \text{ kN/m}$$



Obr. 23 – Průhyb průvlaku 2 v montážním stádiu

$$\delta = 24,8 \text{ mm} > \frac{t_{deska}}{10} = \frac{77,5}{10} = 7,75 \text{ mm} \rightarrow \text{rybníkový efekt}$$

Přidaná tloušťka betonové desky: δ_0

$$\delta_0 = 0,7 * \delta = 0,7 * 24,8 * 10^{-3} = 0,017 \text{ m}$$

Zatížení z přidané tloušťky betonové desky: Δq

$$\Delta q_{1,k} = \delta_0 * b * \gamma_{bet} = 0,017 * 2 * 26 = 0,884 \text{ kN/m}$$

$$\Delta q_{2,k} = \delta_0 * b * \gamma_{bet} = 0,017 * 0,6 * 26 = 0,265 \text{ kN/m}$$

$$\Delta q_{3,k} = \delta_0 * b * \gamma_{bet} = 0,017 * (1,6 + 2) * 26 = 1,591 \text{ kN/m}$$

$$\Delta q_{1,d} = \Delta q_{1,k} * \gamma_G = 0,884 * 1,35 = 1,193 \text{ kN/m}$$

$$\Delta q_{2,d} = \Delta q_{2,k} * \gamma_G = 0,265 * 1,35 = 0,358 \text{ kN/m}$$

$$\Delta q_{3,d} = \Delta q_{3,k} * \gamma_G = 1,591 * 1,35 = 2,148 \text{ kN/m}$$

Zatížení po započítání rybníkového efektu

$$R'_{1,Ed} = R_{1,Ed} + \frac{L}{2} * \Delta q_{1,d} = 31,85 + \frac{6}{2} * 1,193 = 35,43 \text{ kN}$$

$$R'_{2,Ed} = R_{2,Ed} + \frac{L}{2} * \Delta q_d = 9,56 + \frac{6}{2} * 0,358 = 10,63 \text{ kN}$$

$$R'_{3,Ed} = R_{3,Ed} + \frac{L}{2} * \Delta q_d = 57,33 + \frac{6}{2} * 2,148 = 63,77 \text{ kN}$$

Reakce průvlaku

Bod otáčení b

$$6 * A - g_{0,d} * \frac{L^2}{2} - R'_{1,Ed} * \frac{2L}{3} - R'_{2,Ed} * 2,8 - R'_{1,Ed} * \frac{L}{3} = 0$$

$$A = \frac{g_{0,d} * \frac{L^2}{2} + R'_{3,Ed} * \frac{2L}{3} + R'_{2,Ed} * 2,8 + R'_{1,Ed} * \frac{L}{3}}{6}$$

$$= \frac{0,31 * 1,35 * \frac{6^2}{2} + 63,77 * \frac{2 * 6}{3} + 10,63 * 2,8 + 35,43 * \frac{6}{3}}{6} = 60,54 \text{ kN}$$

Vnitřní síly

$$V'_{Ed} = A = 60,54 \text{ kN}$$

$$M'_{Ed} = A * 2 - g_{0,d} * \frac{2^2}{2} = 60,54 * 2 - 0,31 * 1,35 * \frac{2^2}{2} = 120,24 \text{ kNm}$$

MSÚ

$$M_{pl,Rd} = 130,14 \text{ kNm} > M'_{Ed} = 120,24 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$V_{pl,Rd} = 392,29 \text{ kN} > V'_{Ed} = 60,54 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Profil IPE 240 v montážním stádiu vyhoví

2.4.2 Klopení průvlaku v montážním stádiu

Kritický moment

$$M_{cr} = 491,46 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost: $\bar{\lambda}_{LT}$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{366600 * 10^{-9} * 355 * 10^3}{491,46}} = 0,515$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * [1 + \alpha_{LT} * (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,515 - 0,4) + 0,75 * 0,515^2] = 0,619$$

$$h/b \leq 2 \rightarrow \text{křivka } a \rightarrow \alpha_{LT} = 0,34$$

$$\beta = 0,75 \text{ (doporučení dle normy)}$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \text{ (doporučení dle normy)}$$

Součinitel klopení: χ_{LT}

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,619 + \sqrt{0,619^2 - 0,75 * 0,515^2}} = 0,954$$

$$\chi_{LT} \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,515^2} = 3,77 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

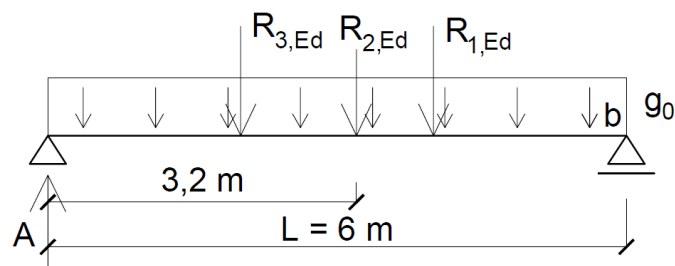
$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * W_{pl,y} * f_{yd} = 0,954 * 366600 * 10^{-9} * 355 * 10^3 = 124,16 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 124,16 \text{ kNm} \geq M'_{Ed} = 120,24 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Profil IPE 240 v montážním stádiu neklopí

2.4.3 Provozní stádium

Statické schéma: prostý nosník



Obr. 24 – Zatěžovací schéma průvlaku 2 (provozní stádium)

Zatížení

$$R_{1,Ed} = 63,06 + 1,193 * 3 = 66,64 \text{ kN}$$

$$R_{2,Ed} = 63,06 * \frac{0,6}{2} + 0,358 * 3 = 19,99 \text{ kN}$$

$$R_{3,Ed} = 63,06 + 63,06 * \frac{1,6}{2} + 2,148 * 3 = 119,95 \text{ kN}$$

$$g_{0,d} = 0,31 * 1,35 = 0,419 \text{ kN/m}$$

Reakce průvlaku

Bod otáčení b

$$6 * A - g_{0,d} * \frac{L^2}{2} - R_{1,Ed} * \frac{2L}{3} - R_{2,Ed} * 2,8 - R_{1,Ed} * \frac{L}{3} = 0$$

$$A = \frac{g_{0,d} * \frac{L^2}{2} + R_{1,Ed} * \frac{2L}{3} + R_{2,Ed} * 2,8 + R_{1,Ed} * \frac{L}{3}}{6}$$

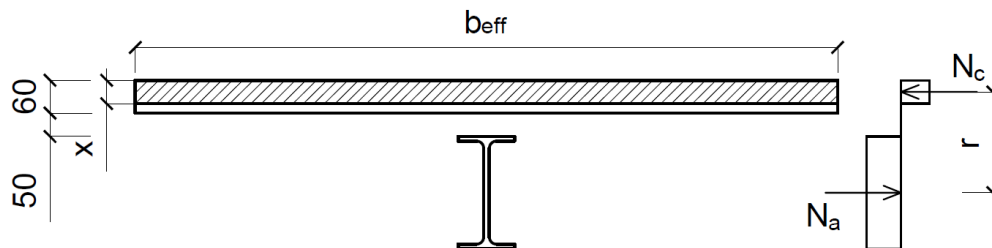
$$= \frac{0,419 * \frac{6^2}{2} + 119,95 * \frac{2 * 6}{3} + 19,99 * 2,8 + 66,64 * \frac{6}{3}}{6} = 112,77 \text{ kN}$$

Vnitřní síly

$$V_{Ed} = A = 112,77 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = A * 2 - g_{0,d} * \frac{2^2}{2} = 112,77 * 2 - 0,419 * \frac{2^2}{2} = 224,7 \text{ kNm}$$

MSÚ



Obr. 25 – Schéma spolupůsobícího ocelobetonového nosníku

$$b_{eff} = 2 * b_{e1} = \frac{L}{4} = \frac{6}{4} = 1,5 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 1,5 \text{ m} < \frac{L_{stropnice}}{2} + \frac{L_{stropnice}}{2} = \frac{6}{2} + \frac{6}{2} = 6 \text{ m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Materiál: beton C25/30 $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$

$$f_{cd} = 0,85 * f_{ck} / \gamma_c = 0,85 * 25 / 1,5 = 14,17 \text{ MPa}$$

$$N_a = N_c$$

$$A_a * f_{yd} = x * b_{eff} * f_{cd}$$

$$x = \frac{A_a * f_{yd}}{b_{eff} * f_{cd}} = \frac{3912 * 355}{1500 * 14,17} = 65,3 \text{ mm} < 60 \text{ mm (n. o. neprochází deskou)}$$

$$N_{a2} = N_c + N_{a1}$$

$$A_a * f_{yd} = h_c * b_{eff} * f_{cd} + 2 * x * b_0 * f_{yd}$$

$$x = \frac{A_a * f_{yd} - h_c * b_{eff} * f_{cd}}{2 * b_0 * f_{yd}} = \frac{3912 * 355 - 60 * 1500 * 14,17}{2 * 120 * 355} = 1,33$$

$$x = 1,33 \text{ mm} < t_f = 9,8 \text{ mm (n. o. prochází pásnicí nosníku)}$$

Rameno sil: r_a, r_c

$$r_a = \frac{h_a}{2} - \frac{x}{2} = \frac{240}{2} - \frac{1,33}{2} = 119,34 \text{ mm}$$

$$r_c = \frac{h_a}{2} + 50 + \frac{h_c}{2} = \frac{240}{2} + 50 + \frac{60}{2} = 200 \text{ mm}$$

Momentová únosnost: $M_{pl,Rd}$

$$\begin{aligned} M_{pl,Rd} &= r_a * N_{a1} + r_c * N_c = r_a * 2 * x * b_0 * f_{yd} + r_c * h_c * (b_{eff}/2 + b_0/2) * f_{cd} \\ &= 0,11934 * 2 * 0,00133 * 0,12 * 355 * 10^3 + 0,2 * 0,06 * 1,5 * 14,17 * 10^3 \\ &= 268,58 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{pl,Rd} = 268,58 \text{ kNm} > M_{Ed} = 224,7 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smyková únosnost: $V_{pl,Rd}$

$$V_{pl,Rd} = 392,29 \text{ kNm} > V_{Ed} = 112,77 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

SPŘAŽENÍ

$$P_{Rd} = 0,75 * 94,88 = 71,16 \text{ kN}$$

Síla potřebná na spřažení jedné poloviny nosníku: F_{cf}

$$F_{cf} = N_{a2} - N_{a1} = 3912 * 10^{-6} * 355 * 10^3 - 0,00133 * 0,12 * 355 * 10^3 = 1332 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů: n_f

$$n_f = \frac{F_{cf}}{P_{Rd}} = \frac{1332}{71,16} = 18,7 \rightarrow 19 \text{ trnů}$$

Vzdálenost trnů: d

$$d = \frac{L/2}{n_f} = \frac{6000/2}{19} = 157 \text{ mm}$$

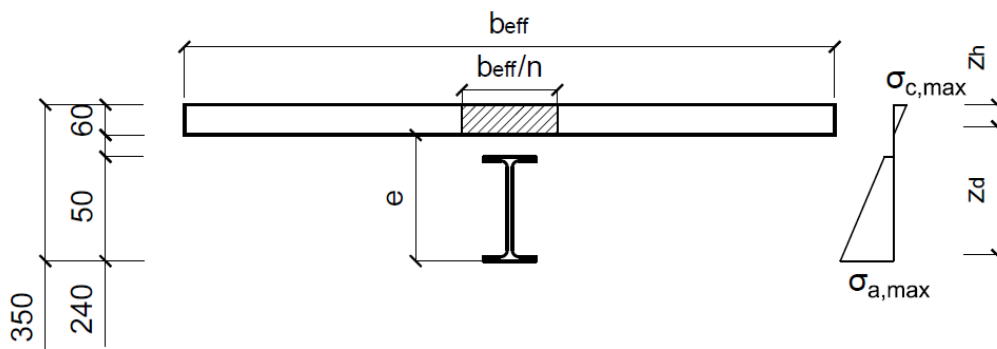
Minimální vzdálenost trnů: d_{min}

$$d_{min} = 5 * d = 5 * 22 = 110 \text{ mm}$$

$$d = 157 \text{ mm} > d_{min} = 110 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Návrh 19 trnů po 157 mm na spřažení jedné poloviny nosníku

MSP



Obr. 26 – Schéma ideálního průřezu

Vnitřní síly (charakteristické hodnoty: montážní + provozní zatížení)

$$R_{0,1} = ((2,015 + 0,09) * 2 + 0,19 + 0,988 + 0,884) * 3 = 18,82 \text{ kN}$$

$$R_{0,2} = ((2,015 + 0,09) * 0,6 + 0,19 + 0,988 + 0,265) * 3 = 8,12 \text{ kN}$$

$$R_{0,3} = ((2,015 + 0,09) * (2 + 1,6) + 0,19 + 0,988 + 1,591) * 3 = 31,04 \text{ kN}$$

Reakce průvlaku

Bod otáčení b

$$6 * A - g_{0,k} * \frac{L^2}{2} - R_{0,1} * \frac{2L}{3} - R_{0,2} * 2,8 - R_{0,1} * \frac{L}{3} = 0$$

$$A = \frac{g_{0,k} * \frac{L^2}{2} + R_{0,3} * \frac{2L}{3} + R_{0,2} * 2,8 + R_{0,1} * \frac{L}{3}}{6}$$

$$= \frac{0,31 * \frac{6^2}{2} + 31,04 * \frac{2 * 6}{3} + 8,12 * 2,8 + 18,82 * \frac{6}{3}}{6} = 31,69 \text{ kN}$$

$$M_0 = A * 2 - g_{0,k} * \frac{2^2}{2} = 31,69 * 2 - 0,31 * \frac{2^2}{2} = 62,76 \text{ kNm}$$

$$R_{P,1} = ((0,0075 + 2 * 0,0019 + 1,25 + 0,0015 + 0,09 + 0,15 + 3,3) * 2) * 3 = 28,82 \text{ kN}$$

$$R_{P,2} = ((0,0075 + 2 * 0,0019 + 1,25 + 0,0015 + 0,09 + 0,15 + 3,3) * 0,6) * 3 = 8,65 \text{ kN}$$

$$R_{P,3} = ((0,0075 + 2 * 0,0019 + 1,25 + 0,0015 + 0,09 + 0,15 + 3,3) * (2 + 1,6)) * 3 = 51,87 \text{ kN}$$

$$A = \frac{R_{P,3} * \frac{2L}{3} + R_{P,2} * 2,8 + R_{P,1} * \frac{L}{3}}{6} = \frac{51,87 * \frac{2 * 6}{3} + 8,65 * 2,8 + 28,82 * \frac{6}{3}}{6} = 48,22 \text{ kN}$$

$$M_P = A * 2 = 48,22 * 2 = 96,44 \text{ kNm}$$

Modul pružnosti betonu s vlivem dotvarování: E'_{cm}

$$E'_{cm} = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{30,5}{2} = 15,25 \text{ GPa}$$

Pracovní součinitel: n

$$n = \frac{E_a}{E'_{cm}} = \frac{210}{15,25} = 13,77$$

Plocha ideálního průřezu: A_i

$$A_i = 3912 + \frac{60 * 1500}{13,77} = 10448 \text{ mm}^2$$

Těžiště ideálního průřezu: e

$$e = \frac{3912 * \frac{240}{2} + \frac{60 * 1500}{13,77} * (240 + 50 + \frac{60}{2})}{10448} = 245,11 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti ideálního průřezu: I_i

$$I_i = 38,92 * 10^6 + 3912 * (245,11 - 120)^2 + \frac{1}{13,77} * \left(\frac{1500 * 60^3}{12} + 1500 * 60 * \left(245,11 - 240 - 50 - \frac{60}{2} \right)^2 \right) = 138\,770\,354 \text{ mm}^4$$

Největší napětí v ocelovém profilu: $\sigma_{a,max}$

$$\sigma_{a,max} = \sigma_0 + \sigma_p = \frac{M_0}{W_{pl,y}} + \frac{M_p}{I_i} * z_d = \left(\frac{62,76}{366600 * 10^{-9}} + \frac{96,44}{138770354 * 10^{-12}} * 0,24511 \right) * 10^{-3} \\ = 341,54 \text{ MPa} < f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

Největší napětí v betonové desce: $\sigma_{c,max}$

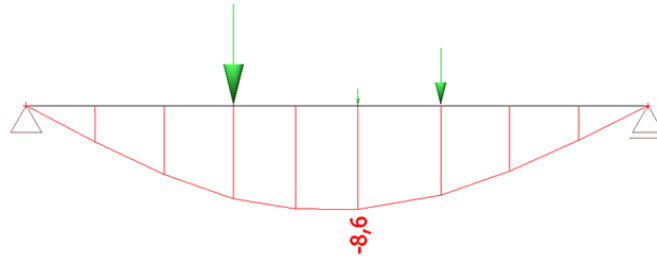
$$\sigma_{c,max} = \frac{M_p}{n * I_i} * z_h = \frac{96,44}{13,77 * 138770354 * 10^{-12}} * (0,35 - 0,24511) * 10^{-3} = 5,29 \text{ MPa} < f_{cd} \\ = 14,17 \text{ MPa}$$

Průhyb od proměnného zatížení: δ_2

$$F_{1,k} = q_k * b * \frac{L}{2} = 3,3 * 2 * \frac{6}{2} = 19,8 \text{ kN}$$

$$F_{2,k} = q_k * b * \frac{L}{2} = 3,3 * 0,6 * \frac{6}{2} = 5,94 \text{ kN}$$

$$F_{3,k} = q_k * b * \frac{L}{2} = 3,3 * (2 + 1,6) * \frac{6}{2} = 35,64 \text{ kN}$$



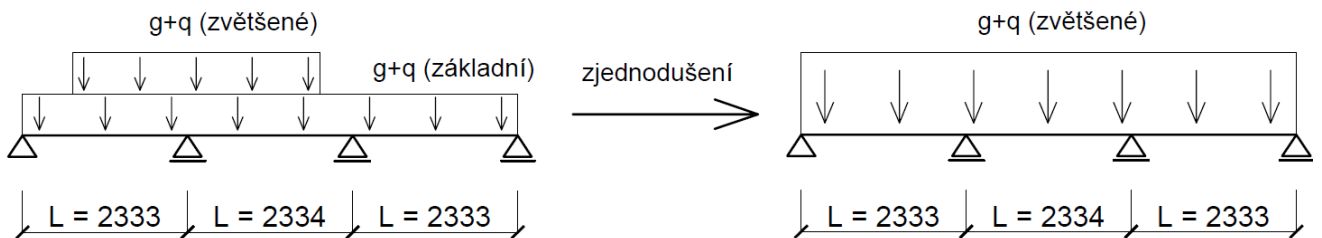
Obr. 27 – Průhyb ocelobetonového nosníku (provozní stádium)

$$\delta_2 = 8,6 \text{ mm} < \frac{L}{400} = \frac{6000}{400} = 15 \text{ mm}$$

Profil IPE 240 v provozním stádiu vyhoví

2.5 Návrh trapézového plechu 2

Statické schéma: spojitý nosník o třech polích



Obr. 28 – Zatěžovací schéma trapézového plechu 2

$$(g + q(\text{zvětšené}))_k = 2,106 + 0,1 + 1,5 = 3,706 \text{ kN/m}^2$$

$$(g + q(\text{zvětšené}))_d = 2,84 + 0,135 + 2,25 = 5,225 \text{ kN/m}^2$$

Návrh TR 60/235/0,88 mm: $m = 0,09 \text{ kN/m}^2$

$$m_d = 0,09 \cdot 1,35 = 0,122 \text{ kN/m}^2$$

Materiál: ocel S320GD, $f_{yd} = 320 \text{ MPa}$

Lineární interpolace únosností:

Rozpětí [m]	MSÚ [kN/m ²]	MSP [kN/m ²]
2,25	5,53	7,5
2,334	5,244	6,818
2,5	4,68	5,47

Tab. 19 – Lineární interpolace únosnosti trapézového plechu

$$q_{max,MSÚ} = 5,53 + (2,334 - 2,25) \cdot \frac{4,68 - 5,53}{2,5 - 2,25} = 5,244 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{max,MSP} = 7,5 + (2,334 - 2,25) \cdot \frac{5,47 - 7,5}{2,5 - 2,25} = 6,818 \text{ kN/m}^2$$

MSÚ

Maximální zatížení pro rozpětí 2 m spojitého nosníku o třech polích

$$(g + q)_{max} = 5,244 \text{ kN/m}^2 > (g + q)_d = 5,225 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

MSP

Maximální zatížení pro rozpětí 2 m spojitého nosníku o třech polích

$$(g + q)_{max} = 6,818 \text{ kN/m}^2 > (g + q)_k = 3,706 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

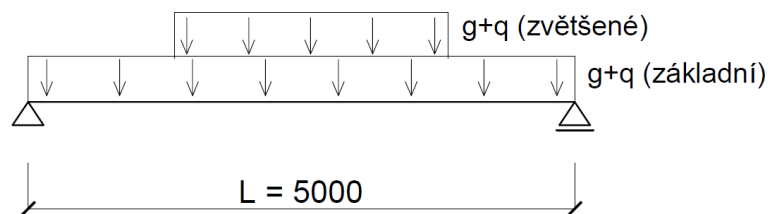
Navržený trapézový plech TR 60/235/0,88 mm vyhovuje

2.6 Návrh stropnice 2

Stropnice je nepodepřená během montáže.

2.6.1 Montážní stádium

Statické schéma: prostý nosník



Obr. 29 – Zatěžovací schéma stropnice 2 (montážní stádium)

Zatěžovací šířka: $b = 2,334 \text{ m}$

Materiál: ocel S355, $f_{yd} = 355 \text{ MPa}$

Odhad hmotnosti nosníku: $g_0 = 0,4 \text{ kN/m}$

$$(g + q(\text{zvětšené}))_k = (2,106 + 0,09 + 1,5) * 2,334 + 0,4 = 9,03 \text{ kN/m}$$

$$(g + q(\text{základní}))_k = (2,106 + 0,09 + 0,75) * 2,334 + 0,4 = 7,28 \text{ kN/m}$$

$$(g + q(\text{zvětšené}))_d = (2,84 + 0,122 + 2,25) * 2,334 + 0,4 * 1,35 = 12,7 \text{ kN/m}$$

$$(g + q(\text{základní}))_d = (2,84 + 0,122 + 1,125) * 2,334 + 0,4 * 1,35 = 10,08 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly

$$\begin{aligned} V_{Ed} &= \frac{1}{2} * (g + q(\text{zvětšené}))_d * l + \frac{1}{2} * (L - l) * (g + q(\text{základní}))_d \\ &= \frac{1}{2} * 12,7 * 3 + \frac{1}{2} * (5 - 3) * 10,08 = 29,13 \text{ kN} \end{aligned}$$

Reakce $R_{Ed} = 29,13 \text{ kN}$

$$M_{Ed} = -\frac{1}{8} * (g + q(\text{zvětšené}))_d * l^2 - \frac{L}{4} * \frac{3L}{8} (g + q(\text{základní}))_d + R_{Ed} * \frac{L}{2}$$

$$= -\frac{1}{8} * 12,7 * 3^2 - \frac{5}{5} * \frac{4 * 5}{10} * 10,08 + 29,13 * \frac{5}{2} = 38,38 \text{ kNm}$$

Potřebný průřezový modul: W_{min}

$$W_{min} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{38,38}{355 * 10^3} * 10^9 = 108 113 \text{ mm}^3$$

Návrh nosníku IPE 160: $W_{pl,y} = 123 900 \text{ mm}^3$

$$m = 0,16 \text{ kN/m}$$

$$I_y = 8 693 000 \text{ mm}^4$$

$$A = 2009 \text{ mm}^2$$

$$A_{vz} = 966 \text{ mm}^2$$

Spojité zatížení včetně vlastní tíhy nosníku

$$(g + q(\text{zvětšené}))_k = (2,106 + 0,09 + 1,5) * 2,334 + 0,16 = 8,79 \text{ kN/m}$$

$$(g + q(\text{základní}))_k = (2,106 + 0,09 + 0,75) * 2,334 + 0,16 = 7,04 \text{ kN/m}$$

$$(g + q(\text{zvětšené}))_d = (2,84 + 0,122 + 2,25) * 2,334 + 0,16 * 1,35 = 12,38 \text{ kN/m}$$

$$(g + q(\text{základní}))_d = (2,84 + 0,122 + 1,125) * 2,334 + 0,16 * 1,35 = 9,76 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} * (g + q(\text{zvětšené}))_d * l + \frac{1}{2} * (L - l) * (g + q(\text{základní}))_d$$

$$= \frac{1}{2} * 12,38 * 3 + \frac{1}{2} * (5 - 3) * 9,76 = 28,33 \text{ kN}$$

Reakce $R_{Ed} = 28,33 \text{ kN}$

$$M_{Ed} = -\frac{1}{8} * (g + q(\text{zvětšené}))_d * l^2 - \frac{L}{4} * \frac{3L}{8} (g + q(\text{základní}))_d + R_{Ed} * \frac{L}{2}$$

$$= -\frac{1}{8} * 12,38 * 3^2 - \frac{5}{5} * \frac{4 * 5}{10} * 9,76 + 28,33 * \frac{5}{2} = 37,38 \text{ kNm}$$

MSÚ

Plastická momentová únosnost: $M_{pl,Rd}$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,Rd} * f_{yd}}{\gamma_M} = \frac{123 900 * 10^{-9} * 355 * 10^3}{1,0} = 43,98 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 43,98 \text{ kNm} > M_{Ed} = 37,38 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Plastická smyková únosnost: $V_{pl,Rd}$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} * f_{yd}}{\sqrt{3} * \gamma_M} = \frac{966 * 10^{-6} * 355 * 10^3}{\sqrt{3} * 1,0} = 197,99 \text{ kNm}$$

$$V_{pl,Rd} = 197,99 \text{ kN} > V_{Ed} = 28,33 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

MSP

Spojitě zatížení (stálé, charakteristické)

$$g_k = (2,106 + 0,09) * 2,334 + 0,16 = 5,29 \text{ kN/m}$$

$$\delta = \frac{5}{384} * \frac{g_k * L^4}{E * I_y} = \frac{5}{384} * \frac{5,29 * 5^4}{210 * 10^6 * 8693000 * 10^{-12}} * 10^3 = 23,6 \text{ mm}$$

$$\delta = 23,6 \text{ mm} > \frac{t_{deska}}{10} = \frac{81}{10} = 8,1 \text{ mm} \rightarrow \text{rybníkový efekt}$$

Přidaná tloušťka betonové desky: δ_0

$$\delta_0 = 0,7 * \delta = 0,7 * 23,6 * 10^{-3} = 0,017 \text{ m}$$

Zatížení z přidané tloušťky betonové desky: Δq

$$\Delta q_k = \delta_0 * b * \gamma_{bet} = 0,017 * 2,334 * 26 = 1,032 \text{ kN/m}$$

$$\Delta q_d = \Delta q_k * \gamma_G = 1,032 * 1,35 = 1,393 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly

$$M'_{Ed} = M_{Ed} + \frac{1}{8} * \Delta q_d * L^2 = 37,38 + \frac{1}{8} * 1,393 * 5^2 = 41,73 \text{ kNm}$$

$$V'_{Ed} = V_{Ed} + \frac{1}{2} * \Delta q_d * L = 28,33 + \frac{1}{2} * 1,393 * 5 = 31,81 \text{ kN}$$

MSÚ

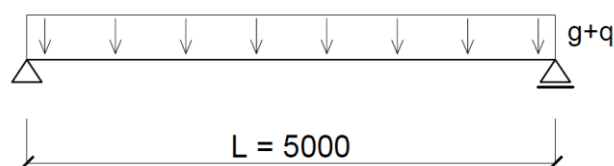
$$M_{pl,Rd} = 43,98 \text{ kNm} > M'_{Ed} = 41,73 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$V_{pl,Rd} = 197,99 \text{ kN} > V'_{Ed} = 31,81 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Profil IPE 160 v montážním stádiu vyhoví

2.6.2 Provozní stádium

Statické schéma: prostý nosník



Obr. 30 – Zatěžovací schéma stropnice 2 (provozní stádium)

Spojité zatížení

$$(g + q)_k = (4,06 + 3,3) * 2,334 + 0,16 = 17,34 \text{ kN/m}$$

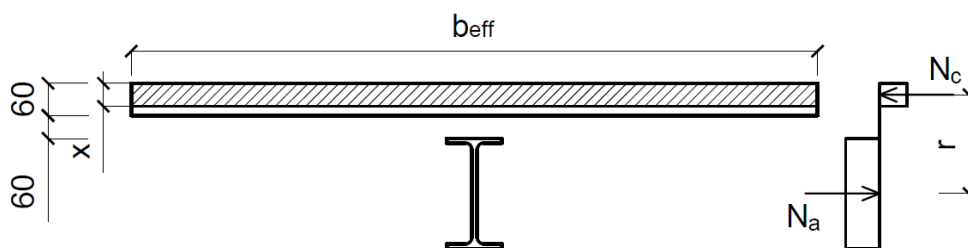
$$(g + q)_d = (5,481 + 4,95) * 2,334 + 0,16 * 1,35 = 24,56 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * (g + q)_d * L^2 = \frac{1}{8} * 24,56 * 5^2 = 76,75 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} * (g + q)_d * L = \frac{1}{2} * 24,56 * 5 = 61,4 \text{ kN}$$

MSÚ



Obr. 31 – Schéma spolupůsobícího ocelobetonového nosníku

$$b_{eff} = 2 * b_{e1} = \frac{L}{4} = \frac{5}{4} = 1,25 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 1,25 \text{ m} < B = 2,334 \text{ m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\text{Materiál: beton C25/30} \quad f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 0,85 * f_{ck} / \gamma_c = 0,85 * 25 / 1,5 = 14,17 \text{ MPa}$$

$$N_a = N_c$$

$$A_a * f_{yd} = x * b_{eff} * f_{cd}$$

$$x = \frac{A_a * f_{yd}}{b_{eff} * f_{cd}} = \frac{2009 * 355}{1250 * 14,17} = 40,3 \text{ mm} < 60 \text{ mm (n. o. prochází deskou)}$$

Rameno sil: r

$$r = \frac{160}{2} + 60 + 60 - \frac{x}{2} = \frac{160}{2} + 60 + 60 - \frac{40,3}{2} = 179,9 \text{ mm} = 0,1799 \text{ m}$$

Momentová únosnost: $M_{pl,Rd}$

$$M_{pl,Rd} = r * N_a = r * A_a * f_{yd} = 0,1799 * 2009 * 10^{-6} * 355 * 10^3 = 128,3 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 128,3 \text{ kNm} > M_{Ed} = 76,75 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smyková únosnost: $V_{pl,Rd}$

$$V_{pl,Rd} = 197,99 \text{ kNm} > V_{Ed} = 61,4 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

SPŘAŽENÍ

$$P_{Rd} = 0,75 * 94,88 = 71,16 \text{ kN}$$

Síla potřebná na spřažení jedné poloviny nosníku: F_{cf}

$$F_{cf} = N_a = 2009 * 10^{-6} * 355 * 10^3 = 713,2 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů: n_f

$$n_f = \frac{F_{cf}}{P_{Rd}} = \frac{713,2}{71,16} = 10 \text{ trnů}$$

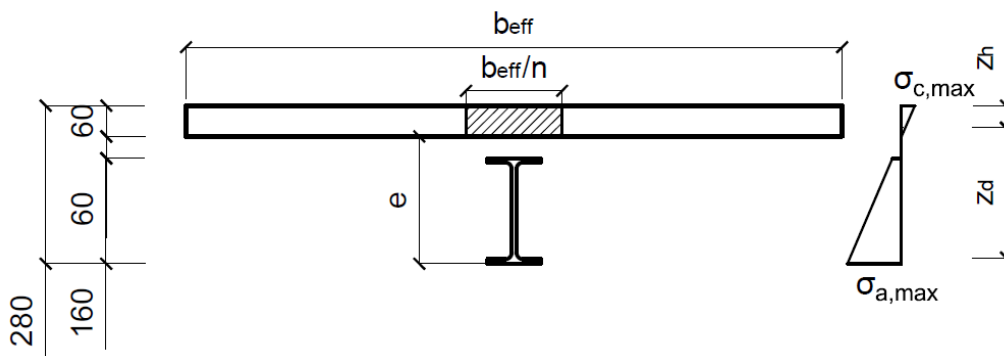
Počet žeber na polovině nosníku: n_z

$$n_z = \frac{2500}{235} = 10,6 \rightarrow 10 \text{ trnů}$$

$$n_f = 10 \leq n_z = 10 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Návrh 10 trnů 22/100 mm na spřažení jedné poloviny nosníku

MSP



Obr. 32 – Schéma ideálního průřezu

Vnitřní síly (charakteristické hodnoty: montážní + provozní zatížení)

$$M_0 = \frac{1}{8} ((2,106 + 0,09 + 0,442) * 2,334 + 0,16) * 5^2 = 19,74 \text{ kNm}$$

$$M_p = \frac{1}{8} * (0,0075 + 2 * 0,0019 + 1,25 + 0,0015 + 0,09 + 0,15 + 3,3) * 2,334 * 5^2 = 35,03 \text{ kNm}$$

Modul pružnosti betonu s vlivem dotvarování: E'_{cm}

$$E'_{cm} = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{30,5}{2} = 15,25 \text{ GPa}$$

Pracovní součinitel: n

$$n = \frac{E_a}{E'_{cm}} = \frac{210}{15,25} = 13,77$$

Plocha ideálního průřezu: A_i

$$A_i = 2009 + \frac{60 * 1250}{13,77} = 7456 \text{ mm}^2$$

Těžiště ideálního průřezu: e

$$e = \frac{2009 * \frac{160}{2} + \frac{60 * 1250}{13,77} * (160 + 60 + \frac{60}{2})}{7456} = 204,2 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti ideálního průřezu: I_i

$$I_i = 8,693 * 10^6 + 2009 * (204,2 - 80)^2 + \frac{1}{13,77} * \left(\frac{1250 * 60^3}{12} + 1250 * 60 * \left(204,2 - 160 - 60 - \frac{60}{2} \right)^2 \right) = 52\,742\,152 \text{ mm}^4$$

Největší napětí v ocelovém profilu: $\sigma_{a,max}$

$$\sigma_{a,max} = \sigma_0 + \sigma_p = \frac{M_0}{W_{pl,y}} + \frac{M_p}{I_i} * z_d = \left(\frac{19,74}{123900 * 10^{-9}} + \frac{35,03}{52742152 * 10^{-12}} * 0,2042 \right) * 10^{-3} \\ = 294,95 \text{ MPa} < f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

Největší napětí v betonové desce: $\sigma_{c,max}$

$$\sigma_{c,max} = \frac{M_p}{n * I_i} * z_h = \frac{35,03}{13,77 * 52742152 * 10^{-12}} * (0,28 - 0,2042) * 10^{-3} = 3,66 \text{ MPa} < f_{cd} \\ = 14,17 \text{ MPa}$$

Průhyb od proměnného zatížení: δ_2

$$\delta_2 = \frac{5}{384} * \frac{q_k * L^4}{E * I_i} = \frac{5}{384} * \frac{3,3 * 5^4}{210 * 10^6 * 52742152 * 10^{-12}} * 10^3 = 2,42 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 2,42 \text{ mm} < \frac{L}{250} = \frac{5000}{250} = 20 \text{ mm}$$

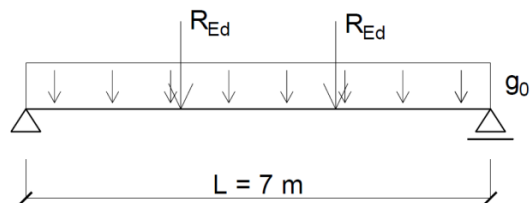
Profil IPE 160 v provozním stádiu vyhoví

2.7 Návrh průvlaku 3

Průvlak je nepodepřený během montáže.

2.7.1 Montážní stádium

Statické schéma: prostý nosník



Obr. 33 – Zatěžovací schéma průvlaku 3 (montážní stádium)

Zatížení

Vlastní tíha průvlaku: $g_0 = 0,3\text{ kN/m}$

Reakce ze stropnic: R_{Ed}

$$R_{Ed} = 31,81\text{ kN}$$

Vnitřní síly

$$V_{Ed} = \frac{L}{2} * g_{0,d} + R_{Ed} = \frac{7}{2} * 0,3 * 1,35 + 31,81 = 33,23\text{ kN}$$

$$M_{Ed} = V_{Ed} * \frac{L}{2} - \frac{1}{8} * g_{0,d} * L^2 - R_{Ed} * \frac{L}{6} = 33,23 * \frac{7}{2} - \frac{1}{8} * 0,3 * 1,35 * 7^2 - 31,81 * \frac{7}{6} \\ = 76,71\text{ kNm}$$

Potřebný průřezový modul: W_{min}

$$W_{min} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{76,71}{355 * 10^3} * 10^9 = 216\,085\text{ mm}^3$$

Návrh nosníku IPE 220: $W_{pl,y} = 285\,400\text{ mm}^3$

$$m = 0,26\text{ kN/m}$$

$$I_y = 27\,720\,000\text{ mm}^4$$

$$A = 3337\text{ mm}^2$$

$$A_{vz} = 1588\text{ mm}^2$$

Vnitřní síly

$$V_{Ed} = \frac{L}{2} * g_{0,d} + R_{Ed} = \frac{7}{2} * 0,26 * 1,35 + 31,81 = 33,04\text{ kN}$$

$$M_{Ed} = V_{Ed} * \frac{L}{2} - \frac{1}{8} * g_{0,d} * L^2 - R_{Ed} * \frac{L}{6} = 33,04 * \frac{7}{2} - \frac{1}{8} * 0,26 * 1,35 * 7^2 - 31,81 * \frac{7}{6} \\ = 76,38 \text{ kNm}$$

MSÚ

Plastická momentová únosnost: $M_{pl,Rd}$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,Rd} * f_{yd}}{\gamma_M} = \frac{285\,400 * 10^{-9} * 355 * 10^3}{1,0} = 101,32 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 101,32 \text{ kNm} > M_{Ed} = 76,38 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Plastická smyková únosnost: $V_{pl,Rd}$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} * f_{yd}}{\sqrt{3} * \gamma_M} = \frac{1588 * 10^{-6} * 355 * 10^3}{\sqrt{3} * 1,0} = 325,48 \text{ kNm}$$

$$V_{pl,Rd} = 325,48 \text{ kN} > V_{Ed} = 33,04 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

MSP

Zatížení (stálé, charakteristické)

$$R_{Ed} = ((2,106 + 0,09 + 0,442) * 2,334 + 0,16) * 2,5 = 15,79 \text{ kN}$$

$$g_0 = 0,26 \text{ kN/m}$$

$$\delta = \frac{5}{384} * \frac{g_k * L^4}{E * I_y} + \frac{23}{648} * \frac{R_{Ed} * L^3}{E * I_y} \\ = \left(\frac{5}{384} * \frac{0,26 * 7^4}{210 * 10^6 * 27720000 * 10^{-12}} + \frac{23}{648} * \frac{15,79 * 7^3}{210 * 10^6 * 27720000 * 10^{-12}} \right) \\ * 10^3 = 34,4 \text{ mm}$$

$$\delta = 34,4 \text{ mm} > \frac{t_{deska}}{10} = \frac{81}{10} = 8,1 \text{ mm} \rightarrow \text{rybníkový efekt}$$

Přidaná tloušťka betonové desky: δ_0

$$\delta_0 = 0,7 * \delta = 0,7 * 34,4 * 10^{-3} = 0,024 \text{ m}$$

Zatížení z přidané tloušťky betonové desky: Δq

$$\Delta q_k = \delta_0 * b * \gamma_{bet} = 0,024 * 2,334 * 26 = 1,396 \text{ kN/m}$$

$$\Delta q_d = \Delta q_k * \gamma_G = 1,396 * 1,35 = 1,885 \text{ kN/m}$$

Zatížení po započítání rybníkového efektu

$$R'_{Ed} = R_{Ed} + \frac{L}{2} * \Delta q_d = 31,81 + \frac{5}{2} * 1,885 = 36,52 \text{ kN}$$

Vnitřní síly

$$V'_{Ed} = \frac{L}{2} * g_{0,d} + R'_{Ed} = \frac{7}{2} * 0,26 * 1,35 + 36,52 = 37,75 \text{ kN}$$

$$M'_{Ed} = V_{Ed} * \frac{L}{2} - \frac{1}{8} * g_{0,d} * L^2 - R'_{Ed} * \frac{L}{6} = 37,75 * \frac{7}{2} - \frac{1}{8} * 0,26 * 1,35 * 7^2 - 36,52 * \frac{7}{6} \\ = 87,37 \text{ kNm}$$

MSÚ

$$M_{pl,Rd} = 101,32 \text{ kNm} > M'_{Ed} = 87,37 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$V_{pl,Rd} = 325,48 \text{ kN} > V'_{Ed} = 37,75 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Profil IPE 220 v montážním stádiu vyhoví

2.7.2 Klopení průvlaku v montážním stádiu

Kritický moment

$$M_{cr} = 135,94 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost: $\bar{\lambda}_{LT}$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{285400 * 10^{-9} * 355 * 10^3}{135,94}} = 0,863$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * [1 + \alpha_{LT} * (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,863 - 0,4) + 0,75 * 0,863^2] \\ = 0,858$$

$$h/b \leq 2 \rightarrow \text{křivka } a \rightarrow \alpha_{LT} = 0,34$$

$$\beta = 0,75 \text{ (doporučení dle normy)}$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \text{ (doporučení dle normy)}$$

Součinitel klopení: χ_{LT}

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,858 + \sqrt{0,858^2 - 0,75 * 0,863^2}} = 0,782$$

$$\chi_{LT} \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,863^2} = 1,343 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * W_{pl,y} * f_{yd} = 0,782 * 285400 * 10^{-9} * 355 * 10^3 = 79,23 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 79,23 \text{ kNm} < M_{Ed} = 87,29 \text{ kNm} \rightarrow \text{nevyhovuje} \rightarrow \text{návrh profilu IPE 240}$$

$$\text{Návrh nosníku IPE 240: } W_{pl,y} = 366\,600 \text{ mm}^3$$

$$m = 0,31 \text{ kN/m}$$

$$I_y = 38\,920\,000 \text{ mm}^4$$

$$A = 3912 \text{ mm}^2$$

$$A_{vz} = 1914 \text{ mm}^2$$

Kritický moment

$$M_{cr} = 201,88 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost: $\bar{\lambda}_{LT}$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{366600 * 10^{-9} * 355 * 10^3}{201,88}} = 0,803$$

$$\begin{aligned} \phi_{LT} &= 0,5 * [1 + \alpha_{LT} * (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,803 - 0,4) + 0,75 * 0,803^2] \\ &= 0,81 \end{aligned}$$

$$h/b \leq 2 \rightarrow \text{křivka } a \rightarrow \alpha_{LT} = 0,34$$

$$\beta = 0,75 \text{ (doporučení dle normy)}$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \text{ (doporučení dle normy)}$$

Součinitel klopení: χ_{LT}

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,81 + \sqrt{0,81^2 - 0,75 * 0,803^2}} = 0,816$$

$$\chi_{LT} \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,803^2} = 1,55 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

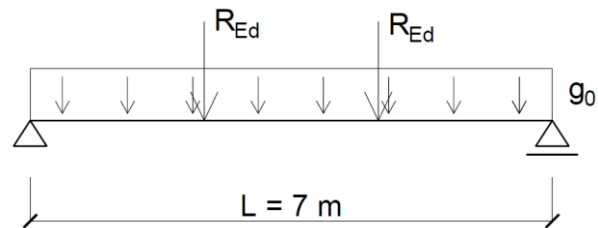
$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * W_{pl,y} * f_{yd} = 0,816 * 366600 * 10^{-9} * 355 * 10^3 = 106,2 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 106,2 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 87,29 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Nosník IPE 240 v montážním stádiu neklopí

2.7.3 Provozní stádium

Statické schéma: prostý nosník



Obr. 34 – Zatěžovací schéma průvlaku 3 (provozní stádium)

Zatížení

$$R_{Ed} = 61,4 + 1,885 * 2,5 = 66,11 \text{ kN}$$

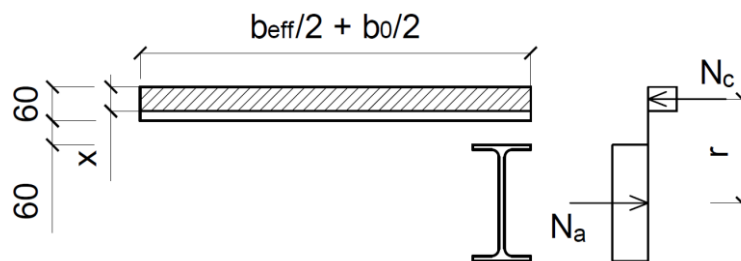
$$g_{0,d} = 0,31 * 1,35 = 0,419 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly

$$V_{Ed} = \frac{L}{2} * g_{0,d} + R_{Ed} = \frac{7}{2} * 0,419 + 66,11 = 67,58 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = V_{Ed} * \frac{L}{2} - \frac{1}{8} * g_{0,d} * L^2 - R_{Ed} * \frac{L}{6} = 67,58 * \frac{7}{2} - \frac{1}{8} * 0,419 * 7^2 - 66,11 * \frac{7}{6} = 156,84 \text{ kNm}$$

MSÚ



Obr. 35 – Schéma spolupůsobícího ocelobetonového nosníku

$$b_{eff} = 2 * b_{e1} = \frac{L}{4} = \frac{7}{4} = 1,75 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 1,75 \text{ m} < \frac{L_{stropnice}}{2} = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$b_{eff}/2 + b_0/2 = 1,75/2 + 0,12/2 = 0,935 \text{ m}$$

Materiál: beton C25/30 $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$

$$f_{cd} = 0,85 * f_{ck} / \gamma_c = 0,85 * 25 / 1,5 = 14,17 \text{ MPa}$$

$$N_a = N_c$$

$$A_a * f_{yd} = x * b_{eff} * f_{cd}$$

$$x = \frac{A_a * f_{yd}}{(b_{eff}/2 + b_0/2) * f_{cd}} = \frac{3912 * 355}{935 * 14,17} = 104,8 \text{ mm} < 60 \text{ mm (n. o. neprochází deskou)}$$

$$N_{a2} = N_c + N_{a1}$$

$$A_a * f_{yd} = h_c * (b_{eff}/2 + b_0/2) * f_{cd} + 2 * x * b_0 * f_{yd}$$

$$x = \frac{A_a * f_{yd} - h_c * (b_{eff}/2 + b_0/2) * f_{cd}}{2 * b_0 * f_{yd}} = \frac{3912 * 355 - 60 * 935 * 14,17}{2 * 120 * 355} = 6,97$$

$$x = 6,97 \text{ mm} < t_f = 9,8 \text{ mm (n. o. prochází pásnicí nosníku)}$$

Rameno sil: r_a, r_c

$$r_a = \frac{h_a}{2} - \frac{x}{2} = \frac{240}{2} - \frac{6,97}{2} = 116,52 \text{ mm}$$

$$r_c = \frac{h_a}{2} + 60 + \frac{h_c}{2} = \frac{240}{2} + 60 + \frac{60}{2} = 210 \text{ mm}$$

Momentová únosnost: $M_{pl,Rd}$

$$\begin{aligned} M_{pl,Rd} &= r_a * N_{a1} + r_c * N_c = r_a * 2 * x * b_0 * f_{yd} + r_c * h_c * (b_{eff}/2 + b_0/2) * f_{cd} \\ &= 0,11652 * 2 * 0,00697 * 0,12 * 355 * 10^3 + 0,2 * 0,06 * 0,935 * 14,17 * 10^3 \\ &= 228,18 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{pl,Rd} = 228,18 \text{ kNm} > M_{Ed} = 156,84 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smyková únosnost: $V_{pl,Rd}$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} * f_{yd}}{\sqrt{3} * \gamma_M} = \frac{1914 * 10^{-6} * 355 * 10^3}{\sqrt{3} * 1,0} = 392,29 \text{ kNm}$$

$$V_{pl,Rd} = 392,29 \text{ kNm} > V_{Ed} = 67,58 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

SPŘAŽENÍ

$$P_{Rd} = 0,75 * 94,88 = 71,16 \text{ kN}$$

Síla potřebná na spřažení jedné poloviny nosníku: F_{cf}

$$F_{cf} = N_{a2} - N_{a1} = 3912 * 10^{-6} * 355 * 10^3 - 0,00697 * 0,12 * 355 * 10^3 = 1092 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů: n_f

$$n_f = \frac{F_{cf}}{P_{Rd}} = \frac{1092}{71,16} = 15,3 \rightarrow 16 \text{ trnů}$$

Vzdálenost trnů: d

$$d = \frac{L/2}{n_f} = \frac{7000/2}{16} = 218 \text{ mm}$$

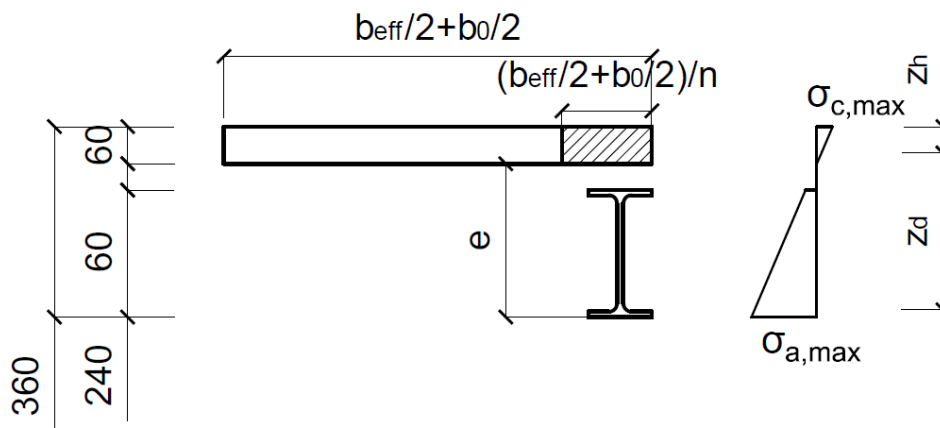
Minimální vzdálenost trnů: d_{min}

$$d_{min} = 5 * d = 5 * 22 = 110 \text{ mm}$$

$$d = 218 \text{ mm} > d_{min} = 110 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Návrh 16 trnů po 218 mm na spřažení jedné poloviny nosníku

MSP



Obr. 36 – Schéma ideálního průřezu

Vnitřní síly (charakteristické hodnoty: montážní + provozní zatížení)

$$R_0 = ((2,106 + 0,09 + 0,442 + 0,624) * 2,334 + 0,16) * 2,5 = 19,43 \text{ kN}$$

$$V_0 = \frac{L}{2} * 0,31 + R_0 = \frac{7}{2} * 0,31 + 19,43 = 20,52 \text{ kN}$$

$$M_0 = \frac{L}{2} * V_0 - \frac{1}{8} * 0,22 * L^2 - R_0 * \frac{L}{6} = \frac{7}{2} * 20,52 - \frac{1}{8} * 0,21 * 7^2 - 19,43 * \frac{7}{6} = 47,87 \text{ kNm}$$

$$R_p = ((0,0075 + 2 * 0,0019 + 1,25 + 0,0015 + 0,09 + 0,15 + 3,3) * 2,334) * 2,5 = 28,02 \text{ kN}$$

$$V_p = R_p = 28,02 \text{ kN}$$

$$M_p = V_p * \frac{L}{2} - R_p * \frac{L}{6} = 28,02 * \frac{7}{2} - 28,02 * \frac{7}{6} = 65,38 \text{ kNm}$$

Modul pružnosti betonu s vlivem dotvarování: E'_{cm}

$$E'_{cm} = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{30,5}{2} = 15,25 \text{ GPa}$$

Pracovní součinitel: n

$$n = \frac{E_a}{E'_{cm}} = \frac{210}{15,25} = 13,77$$

Plocha ideálního průřezu: A_i

$$A_i = 3912 + \frac{60 * 935}{13,77} = 7986 \text{ mm}^2$$

Těžiště ideálního průřezu: e

$$e = \frac{3912 * \frac{240}{2} + \frac{60 * 935}{13,77} * (240 + 60 + \frac{60}{2})}{7986} = 227,1 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti ideálního průřezu: I_i

$$I_i = 38,92 * 10^6 + 3912 * (227,1 - 120)^2 + \frac{1}{13,77} * \left(\frac{935 * 60^3}{12} + 935 * 60 * \left(227,1 - 240 - 60 - \frac{60}{2} \right)^2 \right) = 128\,152\,433 \text{ mm}^4$$

Největší napětí v ocelovém profilu: $\sigma_{a,max}$

$$\sigma_{a,max} = \sigma_0 + \sigma_P = \frac{M_0}{W_{pl,y}} + \frac{M_P}{I_i} * z_d = \left(\frac{47,87}{366600 * 10^{-9}} + \frac{65,38}{128152433 * 10^{-12}} * 0,2271 \right) * 10^{-3} \\ = 246,44 \text{ MPa} < f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

Největší napětí v betonové desce: $\sigma_{c,max}$

$$\sigma_{c,max} = \frac{M_P}{n * I_i} * z_h = \frac{65,38}{13,77 * 128152433 * 10^{-12}} * (0,36 - 0,2271) * 10^{-3} = 4,92 \text{ MPa} < f_{cd} \\ = 14,17 \text{ MPa}$$

Průhyb od proměnného zatížení: δ_2

$$F_k = q_k * b * \frac{L}{2} = 3,3 * 2,334 * \frac{5}{2} = 19,26 \text{ kN}$$

$$\delta_2 = \frac{23}{648} * \frac{F_k * L^3}{E * I_i} = \frac{23}{648} * \frac{19,26 * 7^3}{210 * 10^6 * 128152433 * 10^{-12}} * 10^3 = 8,71 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 8,71 \text{ mm} < \frac{L}{400} = \frac{7000}{400} = 17,5 \text{ mm}$$

3 Obvodový plášť

Návrh a posouzení tenkostěnných kazet obvodového pláště bylo stanoveno na základě statických tabulek od výrobce.

Návrh: kazety SATJAM 600/160/0,88 mm pro prostý nosník o rozponu 7 m

kazety SATJAM 600/160/0,7 mm pro prostý nosník o rozponu 6 m

Statické schéma: prostý nosník (rozpon 6 m/7 m)

Zatížení

	tlak	sání	Vnitřní tlaky		Výsledný tlak	Výsledné sání	γ_Q	Výsledný tlak	Výsledné sání
jednotky	kPa	kPa	kPa		kPa	kPa	-	kPa	kPa
Vítr podélný	0,41	-0,7	-0,18	-0,08	0,59	-0,52	1,5	0,885	-0,78
					0,49	-0,62	1,5	0,735	-0,93
Vítr příčný	0,42	-0,7	-0,09	+0,09	0,51	-0,61	1,5	0,765	-0,915
					0,33	-0,79	1,5	0,495	-1,185

Tab. 20 – Vnější tlaky větru s/bez vlivu vnitřního tlaku větru

MSÚ

Maximální zatížení pro rozpon 6 m

$$q_{max} = 1,17 \text{ kN/m}^2 \text{ (tlak)} > q_d = 0,885 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$q_{max} = 1,51 \text{ kN/m}^2 \text{ (sání)} > q_d = 1,185 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Maximální zatížení pro rozpon 7 m

$$q_{max} = 1,43 \text{ kN/m}^2 \text{ (tlak)} > q_d = 0,885 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$q_{max} = 1,38 \text{ kN/m}^2 \text{ (sání)} > q_d = 1,185 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

MSP

Maximální zatížení pro rozpon 6 m

$$q_{max} = 0,75 \text{ kN/m}^2 \text{ (tlak)} > q_k = 0,59 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$q_{max} = 1,01 \text{ kN/m}^2 \text{ (sání)} > q_k = 0,79 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Maximální zatížení pro rozpon 7 m

$$q_{max} = 0,7 \text{ kN/m}^2 \text{ (tlak)} > q_k = 0,59 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$q_{max} = 0,92 \text{ kN/m}^2 \text{ (sání)} > q_k = 0,79 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Návrh kazet SATCASS 600/160, tl. 0,7 mm pro rozpon 6 m vyhovuje

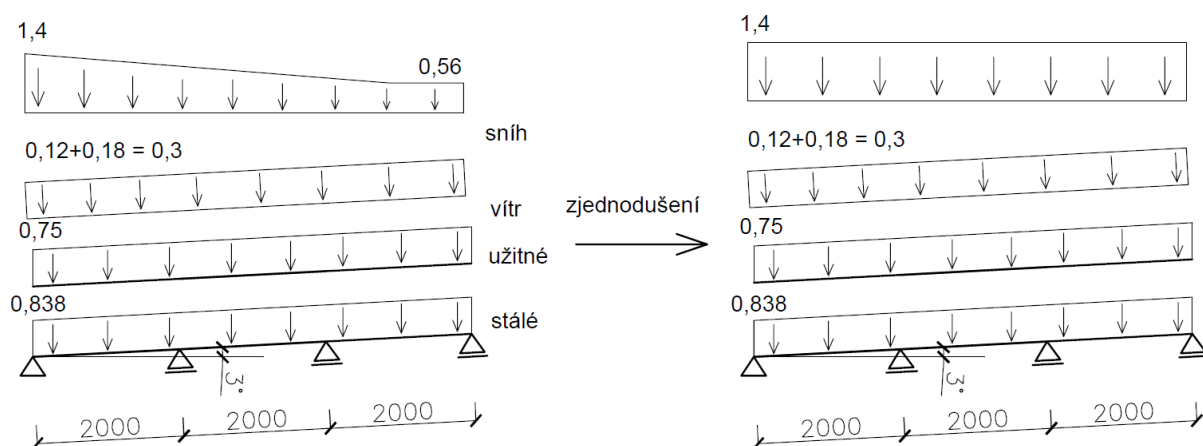
Návrh kazet SATCASS 600/160, tl. 0,88 mm pro rozpon 7 m vyhovuje

4 Střešní a rámová konstrukce

V této kapitole byl navrhován a posuzován střešní trapézový plech, tenkostěnné vaznice Z, rámové příčle a rámové stojky. Trapézový plech byl stanoven dle statických tabulek od výrobce. Tenkostěnné vaznice byly navrženy dle statických tabulek z [7]. Rámová konstrukce byla posuzována na interakci ohybového momentu a tlakové síly dle [4]. Přípoj rámu přenášející ohybový moment posuzován dle [5].

4.1 Návrh trapézového plechu

Statické schéma: spojitý nosník o třech polích



Obr. 37 – Zatěžovací schéma trapézového plechu

Materiál: ocel S320GD, $f_{yd} = 320 \text{ MPa}$

Kombinace zatížení: KZ (2)

$$(g + q)_k = 0,838 * \cos 3 + 0,75 * \cos 3 * 0 + 0,3 * 0,6 + 1,4 * (\cos 3)^2 = 2,41 \text{ kN/m}^2$$

$$(g + q)_d = 0,838 * \cos 3 * 1,35 + 0,75 * \cos 3 * 0 * 1,5 + 0,3 * 0,6 * 1,5 + 1,4 * (\cos 3)^2 * 1,5 = 3,49 \text{ kN/m}^2$$

Návrh TR 50/250/0,75 mm: $m = 0,08 \text{ kN/m}^2$

Materiál: ocel S320GD, $f_{yd} = 320 \text{ MPa}$

MSÚ

Maximální zatížení pro rozpětí 2 m spojitého nosníku o třech polích

$$(g + q)_{max} = 4,21 \text{ kN/m}^2 \geq (g + q)_d = 3,49 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

MSP

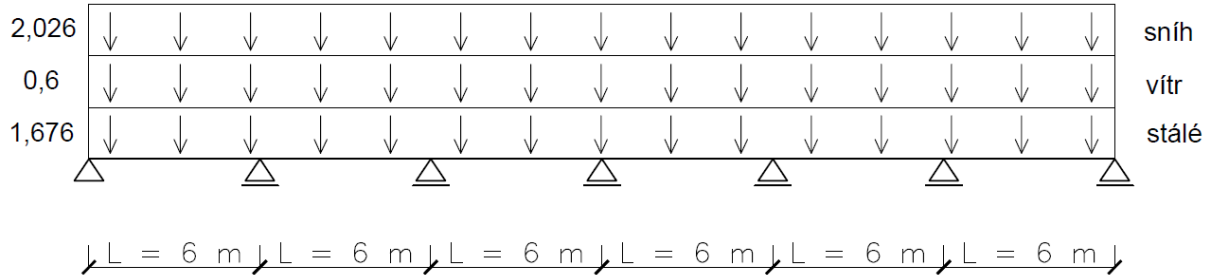
Maximální zatížení pro rozpětí 2 m spojitého nosníku o třech polích

$$(g + q)_{max} = 5,4 \text{ kN/m}^2 \geq (g + q)_k = 2,41 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

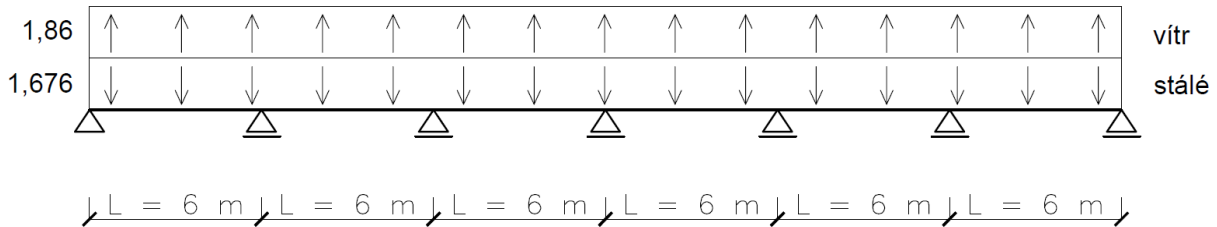
4.2 Návrh vaznice

4.2.1 Vaznice po 6 m

Statické schéma: spojitý nosník o šesti polích, délka pole $L = 6\text{ m}$



Obr. 38 – Zatěžovací schéma vaznic o rozponu 6m (maximální tlak)



Obr. 39 – Zatěžovací schéma vaznic o rozponu 6m (maximální sání)

Zatížení

Kombinace zatížení: KZ1N, vítr zprava + (pro maximální tlak)

Kombinace zatížení: KZ5N, vítr zdola + (pro maximální sání)

$$(g + q)_{tlak,k} = 1,676 + 0,6 * 0,6 + 2,026 = 4,062 \text{ kN/m}$$

$$(g + q)_{tlak,d} = 1,676 * 1,35 + 0,6 * 0,6 * 1,5 + 2,026 * 1,5 = 5,84 \text{ kN/m}$$

$$(g + q)_{sání,k} = 1,676 - 1,86 = -0,184 \text{ kN/m}$$

$$(g + q)_{sání,d} = 1,676 * 1,0 - 1,86 * 1,5 = -1,114 \text{ kN/m}$$

Návrh vaznice Z 300, tl. 2 mm s profilovanou stojinou

MSÚ

$$q_{max} = 6,32 \text{ kN/m (tlak)} > (g + q)_{tlak,d} = 5,84 \text{ kN/m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$q_{max} = -5,51 \text{ kN/m (sání)} > (g + q)_{sání,d} = -1,114 \text{ kN/m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

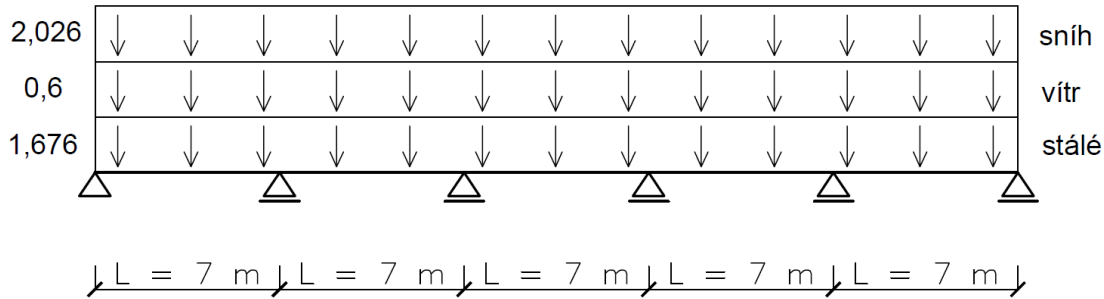
MSP

$$q_{max} = 8,85 \text{ kN/m} > (g + q)_{tlak,k} = 4,062 \text{ kN/m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

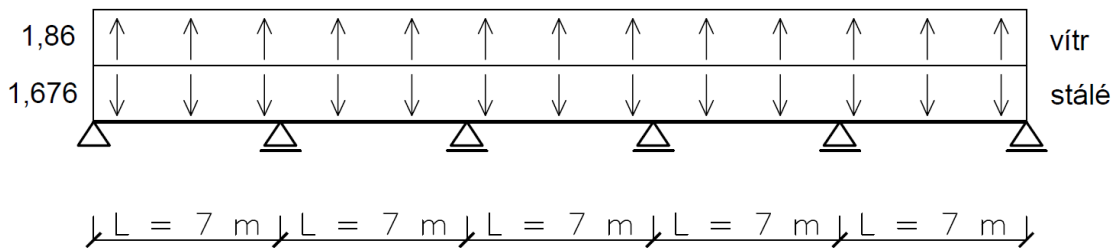
Navržený profil Z300, tl. 2 mm s profilovanou stojinou vyhovuje

4.2.2 Vaznice po 7 m

Statické schéma: spojitý nosník o šesti polích, délka pole $L = 7\text{ m}$



Obr. 40 – Zatěžovací schéma vaznic o rozponu 7m (maximální tlak)



Obr. 41 – Zatěžovací schéma vaznic o rozponu 7m (maximální sání)

Zatížení

Kombinace zatížení: KZ1N, vítr zprava (pro maximální tlak)

Kombinace zatížení: KZ5N, vítr seshora (pro maximální sání)

$$(g + q)_{tlak,k} = 1,676 + 0,6 * 0,6 + 2,026 = 4,062 \text{ kN/m}$$

$$(g + q)_{tlak,d} = 1,676 * 1,35 + 0,6 * 0,6 * 1,5 + 2,026 * 1,5 = 5,84 \text{ kN/m}$$

$$(g + q)_{sání,k} = 1,676 - 1,86 = -0,184 \text{ kN/m}$$

$$(g + q)_{sání,d} = 1,676 * 1,0 - 1,86 * 1,5 = -1,114 \text{ kN/m}$$

Návrh vaznice Z 300, tl. 2,5 mm s profilovanou stojinou

MSÚ

$$q_{max} = 5,93 \text{ kN/m (tlak)} > (g + q)_{tlak,d} = 5,84 \text{ kN/m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$q_{max} = -5,42 \text{ kN/m (sání)} > (g + q)_{sání,d} = -1,114 \text{ kN/m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

MSP

$$q_{max} = 7,3 \text{ kN/m} > (g + q)_{tlak,k} = 4,062 \text{ kN/m} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

4.3 Návrh rámu (vazba číslo 2)

4.3.1 Příčle

Návrh vazníku IPE 500:

$$W_{pl,y} = 2\,194\,000 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 335\,900 \text{ mm}^3$$

$$A = 11\,550 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 48,2 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 21,42 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$f_{yd} = 235 \text{ MPa}$$

Vnitřní síly

$$N_{Ed}^- = 84,59 \text{ kN (tlak)}$$

$$M_{y,Ed} = 361,77 \text{ kNm}$$

Kombinace zatížení: KZ1N, vítr zprava +

Vzpěrná délka příčle: L_{cr}

$$L_{cr,y} = 18 \text{ m (vzdálenost ke kyvné stojce)}$$

$$L_{cr,z} = 3 \text{ m (vzdálenost vaznic)}$$

Kritická síla: N_{cr}

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 * E * I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 48,2 * 10^7 * 10^{-12}}{18^2} = 3083,34 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 21,42 * 10^6 * 10^{-12}}{3^2} = 4932,83 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost: $\bar{\lambda}$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{11550 * 10^{-6} * 235 * 10^3}{3083,34}} = 0,938$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{11550 * 10^{-6} * 235 * 10^3}{4932,83}} = 0,742$$

Součinitel vzpěru: χ

$$\phi_y = 0,5 * [1 + \alpha * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 * [1 + 0,21 * (0,938 - 0,2) + 0,938^2] = 1,017$$

$$\varnothing_z = 0,5 * [1 + \alpha * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,742 - 0,2) + 0,742^2] = 0,867$$

$$\chi_y = \frac{1}{\varnothing_y + \sqrt{\varnothing_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,017 + \sqrt{1,017^2 - 0,938^2}} = 0,709$$

$$\chi_z = \frac{1}{\varnothing_z + \sqrt{\varnothing_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,867 + \sqrt{0,867^2 - 0,742^2}} = 0,76$$

Kritický moment

$$M_{cr} = 1046,6 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost: $\bar{\lambda}_{LT}$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2194000 * 10^{-9} * 235 * 10^3}{1072,7}} = 0,693$$

$$\varnothing_{LT} = 0,5 * [1 + \alpha_{LT} * (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 * [1 + 0,49 * (0,693 - 0,4) + 0,75 * 0,693^2] = 0,752$$

$$h/b > 2 \rightarrow \text{křivka } c \rightarrow \alpha_{LT} = 0,49$$

$$\beta = 0,75 \text{ (doporučení dle normy)}$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \text{ (doporučení dle normy)}$$

Součinitel klopení: χ_{LT}

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\varnothing_{LT} + \sqrt{\varnothing_{LT}^2 - \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,752 + \sqrt{0,752^2 - 0,75 * 0,693^2}} = 0,83$$

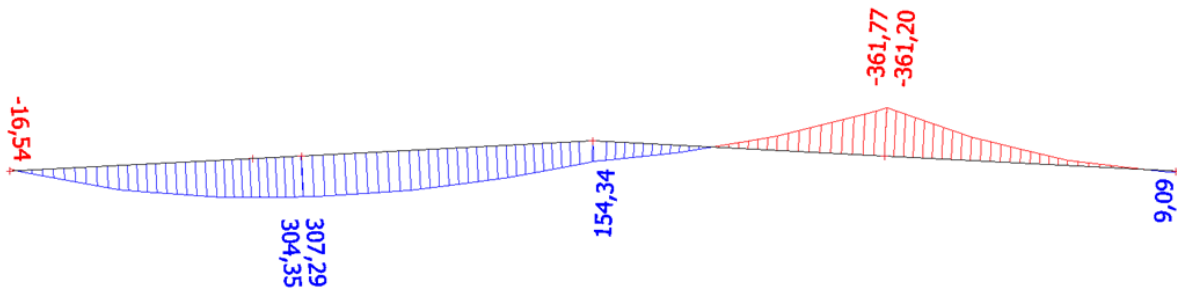
$$\chi_{LT} \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,693^2} = 2,08 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Interakční součinitelé

$$k_{yy} = \min \left\{ C_{my} * \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} \right); C_{my} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} \right) \right\}$$

$$= \min \left\{ 0,779 * \left(1 + (0,938 - 0,2) * \frac{84,59}{0,709 * 11550 * 10^{-6} * 235 * 10^3} \right); 0,779 * \left(1 + 0,8 * \frac{84,59}{0,709 * 11550 * 10^{-6} * 235 * 10^3} \right) \right\} = \min\{0,804; 0,806\} = 0,804$$



Obr. 42 – Tvar ohybového momentu přičle M_y z kombinace zatížení KZ1N, vítr zprava +



Obr. 43 – Tvar ohybového momentu M_y na vzdálenost podepření v rovině nosníku

$$M_h = -361,77 \text{ kNm}$$

$$\psi * M_h = \psi * (-361,77) = -16,54 \text{ kNm} \rightarrow \psi = \frac{-16,54}{-361,77} = 0,046$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{307,29}{-361,77} = -0,849$$

$$\rightarrow C_{m_y} = 0,1 - 0,8 * \alpha_s = 0,1 - 0,8 * (-0,849) = 0,779 \geq 0,4 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$k_{zy} = \max \left\{ 1 - \frac{0,1 * \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}}; 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} \right\}$$

$$= \max \left\{ 1 - \frac{0,1 * 0,742}{0,646 - 0,25} * \frac{84,59}{0,76 * 11550 * 10^{-6} * 235 * 10^3}; 1 - \frac{0,1}{0,646 - 0,25} * \frac{84,59}{0,76 * 11550 * 10^{-6} * 235 * 10^3} \right\} = \max\{0,992; 0,99\} = 0,992$$



Obr. 44 – Tvar ohybového momentu M_y na vzdálenost podepření z roviny nosníku

$$M = -361,77 \text{ kNm}$$

$$\psi * M = \psi * (-361,77) = -42,02 \text{ kNm} \rightarrow \psi = \frac{-42,02}{-361,77} = 0,116$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 * \psi = 0,6 + 0,4 * 0,116 = 0,646 \geq 0,4 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Podmínky spolehlivosti

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_{pl,y} * f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{84,59}{0,709 * 11550 * 10^{-6} * 235 * 10^3} + 0,804 * \frac{361,77}{0,83 * 2194000 * 10^{-9} * 235 * 10^3} \leq 1$$

$$0,724 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_{pl,y} * f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{84,59}{0,76 * 11550 * 10^{-6} * 235 * 10^3} + 0,992 * \frac{361,77}{0,83 * 2194000 * 10^{-9} * 235 * 10^3} \leq 1$$

$$0,88 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{A * f_{yd}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y} * f_{yd}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} * f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{84,59}{11550 * 10^{-6} * 235 * 10^3} + \frac{361,77}{2194000 * 10^{-9} * 235 * 10^3} \leq 1$$

$$0,733 \leq 1$$

4.3.2 Sloup E2

Návrh vazníku HEB 140: $W_{pl,y} = 245\,400 \text{ mm}^3$

$$W_{pl,z} = 119\,800 \text{ mm}^3$$

$$A = 4\,296 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 15,09 * 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 5,497 * 10^6 \text{ mm}^4$$

Vnitřní síly

$$N_{Ed}^- = 75,15 \text{ kN (tlak)}$$

$$M_{y,Ed} = 36,04 \text{ kNm}$$

Kombinace zatížení: KZ4N, vítr zleva -

Vzpěrná délka příčle: L_{cr}

$$L_{cr,y} = 7 \text{ m (výška sloupu)}$$

$$L_{cr,z} = 3,595 \text{ m (cca polovina sloupu – držení ztužidlem)}$$

Kritická síla: N_{cr}

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 * E * I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 15,09 * 10^6 * 10^{-12}}{7^2} = 638,28 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 5,497 * 10^6 * 10^{-12}}{3,595^2} = 881,55 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost: $\bar{\lambda}$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{4296 * 10^{-6} * 235 * 10^3}{638,28}} = 1,258$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{4296 * 10^{-6} * 235 * 10^3}{881,55}} = 1,07$$

Součinitel vzpěru: χ

$$\emptyset_y = 0,5 * [1 + \alpha * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 * [1 + 0,34 * (1,258 - 0,2) + 1,258^2] = 1,471$$

$$\emptyset_z = 0,5 * [1 + \alpha * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 * [1 + 0,49 * (1,07 - 0,2) + 1,07^2] = 1,286$$

$$\chi_y = \frac{1}{\emptyset_y + \sqrt{\emptyset_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,471 + \sqrt{1,471^2 - 1,258^2}} = 0,448$$

$$\chi_z = \frac{1}{\emptyset_z + \sqrt{\emptyset_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,286 + \sqrt{1,286^2 - 1,07^2}} = 0,5$$

Kritický moment

$$M_{cr} = 198,41 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost: $\bar{\lambda}_{LT}$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{245400 * 10^{-9} * 235 * 10^3}{198,41}} = 0,539$$

$$\emptyset_{LT} = 0,5 * [1 + \alpha_{LT} * (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,539 - 0,4) + 0,75 * 0,539^2] = 0,633$$

$$h/b \leq 2 \rightarrow \text{křivka } b \rightarrow \alpha_{LT} = 0,34$$

$$\beta = 0,75 \text{ (doporučení dle normy)}$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \text{ (doporučení dle normy)}$$

Součinitel klopení: χ_{LT}

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,633 + \sqrt{0,633^2 - 0,75 * 0,539^2}} = 0,944$$

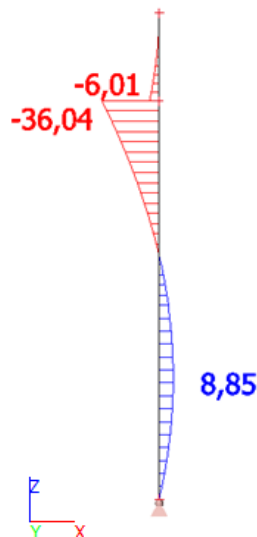
$\chi_{LT} \leq 1 \rightarrow$ vyhovuje

$$\chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,547^2} = 3,34 \rightarrow$$
 vyhovuje

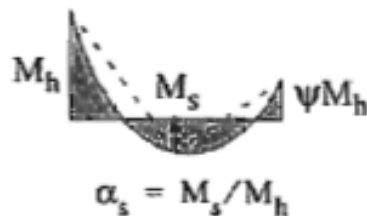
Interakční součinitelé

$$k_{yy} = \min \left\{ C_{my} * \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} \right); C_{my} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} \right) \right\}$$

$$= \min \left\{ 0,4 * \left(1 + (1,258 - 0,2) * \frac{75,15}{0,448 * 4296 * 10^{-6} * 235 * 10^3} \right); 0,4 * \left(1 + 0,8 * \frac{75,15}{0,448 * 4296 * 10^{-6} * 235 * 10^3} \right) \right\} = \min\{0,47; 0,453\} = 0,453$$



Obr. 45 – Tvar ohybového momentu sloupu M_y z kombinace zatížení KZ4N, vítr zleva -



Obr. 46 – Tvar ohybového momentu M_y na vzdálenost podepření v rovině sloupu

$$M_h = -36,04 \text{ kNm}$$

$$\psi * M_h = \psi * (-36,04) = 0 \text{ kNm} \rightarrow \psi = \frac{0}{-36,04} = 0$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{8,85}{-36,04} = -0,246$$

$$\rightarrow C_{my} = 0,1 - 0,8 * \alpha_s = 0,1 - 0,8 * (-0,246) = 0,297 < 0,4 \rightarrow C_{my} = 0,4$$

$$k_{zy} = \max \left\{ 1 - \frac{0,1 * \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}}; 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} \right\}$$

$$= \max \left\{ 1 - \frac{0,1 * 1,07}{0,535 - 0,25} * \frac{75,15}{0,5 * 4296 * 10^{-6} * 235 * 10^3}; 1 - \frac{0,1}{0,535 - 0,25} * \frac{75,15}{0,5 * 4296 * 10^{-6} * 235 * 10^3} \right\} = \max\{0,944; 0,948\} = 0,948$$



Obr. 47 – Tvar ohybového momentu M_y na vzdálenost podepření z roviny sloupu

$$M = -36,04 \text{ kNm}$$

$$\psi * M = \psi * (-36,04) = 5,86 \text{ kNm} \rightarrow \psi = \frac{5,86}{-36,04} = -0,163$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 * \psi = 0,6 + 0,4 * (-0,163) = 0,535 \geq 0,4 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Podmínky spolehlivosti

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_{pl,y} * f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{75,15}{0,448 * 4296 * 10^{-6} * 235 * 10^3} + 0,453 * \frac{36,04}{0,944 * 245400 * 10^{-9} * 235 * 10^3} \leq 1$$

$$0,466 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_{pl,y} * f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{75,15}{0,5 * 4296 * 10^{-6} * 235 * 10^3} + 0,948 * \frac{36,04}{0,944 * 245400 * 10^{-9} * 235 * 10^3} \leq 1$$

$$0,776 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{A * f_{yd}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y} * f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{75,15}{4296 * 10^{-6} * 235 * 10^3} + \frac{36,04}{245400 * 10^{-9} * 235 * 10^3} \leq 1$$

$$0,699 \leq 1$$

4.3.3 Sloup A2

Návrh sloupu HEB 120: $W_{pl,y} = 165\,200\text{ mm}^3$

$$W_{pl,z} = 80\,970\text{ mm}^3$$

$$A = 3\,401\text{ mm}^2$$

$$I_y = 8,644 \cdot 10^6\text{ mm}^4$$

$$I_z = 3,175 \cdot 10^6\text{ mm}^4$$

Vnitřní síly

$$N_{Ed}^- = 188,92\text{ kN (tlak)}$$

$$M_{y,Ed} = 11,89\text{ kNm}$$

Kombinace zatížení: KZ3N, vítr zdola -

Vzpěrná délka příčle: L_{cr}

$$L_{cr,y} = 1,894\text{ m (držení nosníkem)}$$

$$L_{cr,z} = 3,405\text{ m (cca polovina sloupu – držení stropem)}$$

Kritická síla: N_{cr}

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 * E * I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 8,644 * 10^6 * 10^{-12}}{1,894^2} = 4994,29\text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 3,175 * 10^6 * 10^{-12}}{3,405^2} = 567,68\text{ kN}$$

Poměrná štíhlost: $\bar{\lambda}$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{3401 * 10^{-6} * 235 * 10^3}{4994,29}} = 0,4$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3401 * 10^{-6} * 235 * 10^3}{567,68}} = 1,187$$

Součinitel vzpěru: χ

$$\phi_y = 0,5 * [1 + \alpha * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,4 - 0,2) + 0,4^2] = 0,614$$

$$\phi_z = 0,5 * [1 + \alpha * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 * [1 + 0,49 * (1,187 - 0,2) + 1,187^2] = 1,446$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,614 + \sqrt{0,614^2 - 0,4^2}} = 0,926$$

$$\chi_z = \frac{1}{\varnothing_z + \sqrt{\varnothing_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,446 + \sqrt{1,446^2 - 1,187^2}} = 0,44$$

Kritický moment

$$M_{cr} = 224,38 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost: $\bar{\lambda}_{LT}$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{165200 * 10^{-9} * 235 * 10^3}{224,38}} = 0,416$$

$$\varnothing_{LT} = 0,5 * [1 + \alpha_{LT} * (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,416 - 0,4) + 0,75 * 0,416^2] = 0,568$$

$$h/b \leq 2 \rightarrow \text{křivka } b \rightarrow \alpha_{LT} = 0,34$$

$$\beta = 0,75 \text{ (doporučení dle normy)}$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \text{ (doporučení dle normy)}$$

Součinitel klopení: χ_{LT}

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\varnothing_{LT} + \sqrt{\varnothing_{LT}^2 - \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,568 + \sqrt{0,568^2 - 0,75 * 0,416^2}} = 0,994$$

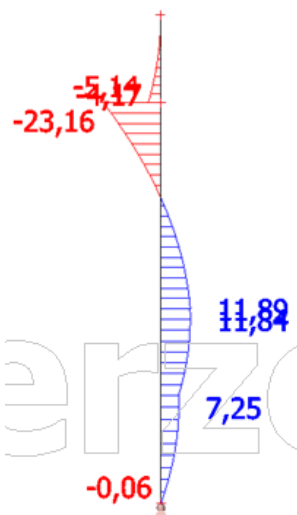
$$\chi_{LT} \leq 1 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,416^2} = 5,78 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Interakční součinitelé

$$k_{yy} = \min \left\{ C_{my} * \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} \right); C_{my} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} \right) \right\}$$

$$= \min \left\{ 0,6 * \left(1 + (0,4 - 0,2) * \frac{188,92}{0,926 * 3401 * 10^{-6} * 235 * 10^3} \right); 0,6 * \left(1 + 0,8 * \frac{188,92}{0,926 * 3401 * 10^{-6} * 235 * 10^3} \right) \right\} = \min\{0,631; 0,723\} = 0,631$$



Obr. 48 – Tvar ohybového momentu sloupu M_y z kombinace zatížení KZ3N, vítr zdola -



Obr. 49 – Tvar ohybového momentu M_y na vzdálenost podepření v rovině sloupu

$$M_h = 7,25 \text{ kNm}$$

$$\psi * M_h = \psi * 7,25 = 0 \text{ kNm} \rightarrow \psi = \frac{0}{7,25} = 0$$

$$\rightarrow C_{my} = 0,6 + 0,4 * \psi = 0,6 + 0,4 * 0 = 0,6 \geq 0,4 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$k_{zy} = \max \left\{ 1 - \frac{0,1 * \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}}; 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} \right\}$$

$$= \max \left\{ 1 - \frac{0,1 * 1,187}{0,6 - 0,25} * \frac{188,92}{0,44 * 3401 * 10^{-6} * 235 * 10^3}; 1 - \frac{0,1}{0,6 - 0,25} * \frac{188,92}{0,44 * 3401 * 10^{-6} * 235 * 10^3} \right\} = \max\{0,818; 0,847\} = 0,847$$



Obr. 50 – Tvar ohybového momentu M_y na vzdálenost podepření z roviny sloupu

$$M_h = 11,89 \text{ kNm}$$

$$\psi * M_h = \psi * 11,89 = 0 \text{ kNm} \rightarrow \psi = \frac{0}{11,89} = 0$$

$$\rightarrow C_{my} = 0,6 + 0,4 * \psi = 0,6 + 0,4 * 0 = 0,6 \geq 0,4 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Podmínky spolehlivosti

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_{pl,y} * f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{188,92}{0,926 * 3401 * 10^{-6} * 235 * 10^3} + 0,631 * \frac{11,89}{0,994 * 165200 * 10^{-9} * 235 * 10^3} \leq 1$$

$$0,45 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_{pl,y} * f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{188,92}{0,44 * 3401 * 10^{-6} * 235 * 10^3} + 0,847 * \frac{11,89}{0,993 * 165200 * 10^{-9} * 235 * 10^3} \leq 1$$

$$0,798 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{A * f_{yd}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y} * f_{yd}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} * f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{188,92}{3401 * 10^{-6} * 235 * 10^3} + \frac{11,89}{165200 * 10^{-9} * 235 * 10^3} \leq 1$$

$$0,543 \leq 1$$

4.3.4 Sloup B2

Návrh sloupu HEB 140: $W_{pl,y} = 245\,400 \text{ mm}^3$

$$W_{pl,z} = 119\,800 \text{ mm}^3$$

$$A = 4\,296 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 15,09 * 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 5,497 * 10^6 \text{ mm}^4$$

Vnitřní síly

$$N_{Ed}^- = 374,16 \text{ kN (tlak)}$$

$$M_{y,Ed} = 16,38 \text{ kNm}$$

Kombinace zatížení: KZ4N, vítr zprava +

Vzpěrná délka příčle: L_{cr}

$$L_{cr,y} = 1,894 \text{ m (držení nosníkem)}$$

$$L_{cr,z} = 3,405 \text{ m (cca polovina sloupu – držení stropem)}$$

Kritická síla: N_{cr}

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 * E * I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 15,09 * 10^6 * 10^{-12}}{1,894^2} = 8718,63 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^6 * 5,497 * 10^6 * 10^{-12}}{3,405^2} = 982,67 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost: $\bar{\lambda}$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{4296 * 10^{-6} * 235 * 10^3}{8718,63}} = 0,34$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{4296 * 10^{-6} * 235 * 10^3}{982,67}} = 1,014$$

Součinitel vzpěru: χ

$$\phi_y = 0,5 * [1 + \alpha * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,34 - 0,2) + 0,34^2] = 0,582$$

$$\phi_z = 0,5 * [1 + \alpha * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 * [1 + 0,49 * (1,014 - 0,2) + 1,014^2] = 1,213$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,582 + \sqrt{0,582^2 - 0,34^2}} = 0,949$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,213 + \sqrt{1,213^2 - 1,014^2}} = 0,532$$

Kritický moment

$$M_{cr} = 163,63 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost: $\bar{\lambda}_{LT}$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{245400 * 10^{-9} * 235 * 10^3}{163,63}} = 0,594$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * [1 + \alpha_{LT} * (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,594 - 0,4) + 0,75 * 0,594^2] = 0,665$$

$$h/b \leq 2 \rightarrow \text{křivka } b \rightarrow \alpha_{LT} = 0,34$$

$$\beta = 0,75 \text{ (doporučení dle normy)}$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \text{ (doporučení dle normy)}$$

Součinitel klopení: χ_{LT}

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,665 + \sqrt{0,665^2 - 0,75 * 0,594^2}} = 0,92$$

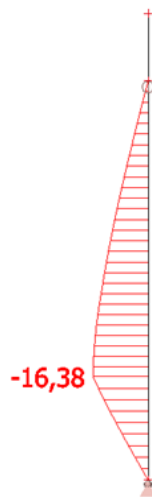
$\chi_{LT} \leq 1 \rightarrow$ vyhovuje

$$\chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,594^2} = 2,834 \rightarrow$$
 vyhovuje

Interakční součinitelé

$$k_{yy} = \min \left\{ C_{my} * \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} \right); C_{my} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} \right) \right\}$$

$$= \min \left\{ 0,6 * \left(1 + (0,34 - 0,2) * \frac{374,16}{0,949 * 4296 * 10^{-6} * 235 * 10^3} \right); 0,6 * \left(1 + 0,8 * \frac{374,16}{0,949 * 4296 * 10^{-6} * 235 * 10^3} \right) \right\} = \min\{0,633; 0,787\} = 0,633$$



Obr. 51 – Tvar ohybového momentu sloupu M_y z kombinace zatížení KZ4N, vítr zprava +



Obr. 52 – Tvar ohybového momentu M_y na vzdálenost podepření v rovině sloupu

$$M_h = -16,38 \text{ kNm}$$

$$\psi * M_h = \psi * (-16,38) = 0 \text{ kNm} \rightarrow \psi = \frac{0}{-16,38} = 0$$

$$\rightarrow C_{my} = 0,6 + 0,4 * \psi = 0,6 + 0,4 * 0 = 0,6 \geq 0,4 \rightarrow$$
 vyhovuje

$$k_{zy} = \max \left\{ 1 - \frac{0,1 * \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}}; 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} \right\}$$

$$= \max \left\{ 1 - \frac{0,1 * 1,014}{0,985 - 0,25} * \frac{374,16}{0,532 * 4296 * 10^{-6} * 235 * 10^3}; 1 - \frac{0,1}{0,985 - 0,25} * \frac{374,16}{0,532 * 4296 * 10^{-6} * 235 * 10^3} \right\} = \max\{0,904; 0,905\} = 0,905$$



Obr. 53 – Tvar ohybového momentu M_y na vzdálenost podepření z roviny sloupu

$$M_h = -13,97 \text{ kNm}$$

$$\psi * M_h = \psi * (-13,97) = 0 \text{ kNm} \rightarrow \psi = \frac{0}{-13,97} = 0$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{-13,97}{-16,38} = 0,853$$

$$C_{mLT} = 0,9 + 0,1 * \alpha_h = 0,9 + 0,1 * 0,853 = 0,985$$

Podmínky spolehlivosti

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_{pl,y} * f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{374,16}{0,949 * 4296 * 10^{-6} * 235 * 10^3} + 0,633 * \frac{16,38}{0,92 * 245400 * 10^{-9} * 235 * 10^3} \leq 1$$

$$0,586 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_{pl,y} * f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{374,16}{0,532 * 4296 * 10^{-6} * 235 * 10^3} + 0,905 * \frac{16,38}{0,92 * 245400 * 10^{-9} * 235 * 10^3} \leq 1$$

$$0,976 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{A * f_{yd}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y} * f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{374,16}{4296 * 10^{-6} * 235 * 10^3} + \frac{16,38}{245400 * 10^{-9} * 235 * 10^3} \leq 1$$

$$0,655 \leq 1$$

prvek	profil	N _{Ed}	M _{y,Ed}	M _{z,Ed}	L _{cr,y}	L _{cr,z}	λ _y	λ _z	χ _y	χ _z	M _{cr}	λ _{LT}	χ _{LT}	C _{my}	C _{mLT}	C _{mz}	k _{yy}	k _{zy}	k _{yz}	k _{zz}	1.p.s.	2.p.s.	3.p.s.	
		[kN]	[kNm]	[kNm]	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kNm]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
vazník 1	IPE200	65,11	27,06	0	6	3	0,773	1,429	1	1	84,74	0,78	0,827	0,68	0,4	/	0,717	0,935	/	/	0,55	0,69	0,62	
sloup E1	HEB100	24,96	4,03	4,62	3,595	3,595	0,921	1,51	0,647	0,311	143,7	0,41	0,995	0,4	0,4	0,4	0,418	0,913	0,284	0,47	0,24	0,46	0,59	
sloup D1	HEB140	48,56	37,96	0	7,308	3,405	1,313	1,014	0,421	0,532	235,9	0,49	0,962	0,95	0,6	/	1,037	0,974	/	/	0,82	0,76	0,71	
sloup C1	HEB140	56,75	40,34	0	7,624	3,405	1,37	1,014	0,395	0,532	217,5	0,51	0,954	0,95	0,6	/	1,058	0,97	/	/	0,92	0,82	0,76	
sloup B1	HEB160	133,84	47,5	0	3,405	3,405	0,535	0,896	0,868	0,603	237,1	0,59	0,921	0,95	0,6	/	0,988	0,955	/	/	0,73	0,77	0,68	
sloup A1	HEB120	198,05	3,2	3,44	3,405	3,405	0,719	1,187	0,773	0,440	240,4	0,4	0,999	0,4	0,4	0,4	0,467	0,625	0,429	0,72	0,44	0,74	0,51	
vazník 3	IPE240	29,15	63,5	0	6	3	0,641	1,186	1	1	185,9	0,68	0,879	0,73	0,4	/	0,736	0,979	/	/	0,65	0,85	0,77	
sloup E3	HEB120	172,99	7,45	0	3,405	3,405	0,719	1,187	0,773	0,440	237,3	0,4	0,998	0,4	0,4	/	0,458	0,672	/	/	0,37	0,62	0,41	
sloup D3	HEB140	311,71	9,78	0	3,405	3,405	0,612	1,014	0,831	0,532	235,9	0,49	0,962	0,6	0,6	/	0,692	0,834	/	/	0,49	0,73	0,48	
sloup C3	HEB140	306,53	9,12	0	3,405	3,405	0,612	1,014	0,831	0,532	224,3	0,51	0,957	0,6	0,6	/	0,69	0,837	/	/	0,48	0,71	0,46	
sloup B3	HEB140	368,03	11,48	0	3,405	3,405	0,612	1,014	0,831	0,532	235,9	0,49	0,962	0,6	0,6	/	0,708	0,804	/	/	0,59	0,85	0,56	
sloup A3	HEB120	204,82	9,82	0	3,405	3,405	0,719	1,187	0,773	0,440	235,3	0,41	0,998	0,97	0,97	/	1,133	0,919	/	/	0,62	0,82	0,51	
vazník 4	IPE240	8,71	55,8	0	6	3	0,641	1,186	0,874	0,486	176,3	0,7	0,87	0,81	0,4	/	0,811	0,987	/	/	0,61	0,75	0,66	
sloup E4	HEB120	243,33	3,89	0	3,405	3,405	0,719	1,187	0,773	0,440	216,7	0,42	0,991	0,6	0,6	/	0,723	0,802	/	/	0,47	0,77	0,40	
sloup D4	HEB140	VZPĚŘ																						
sloup C4	HEB160	VZPĚŘ																						
sloup B4	HEB120	VZPĚŘ																						
sloup A4	HEB120	175,07	4,54	0	3,405	3,405	0,719	1,187	0,773	0,440	208,3	0,43	0,988	0,6	0,6	/	0,688	0,858	/	/	0,36	0,6	0,34	
vazník 8	IPE400	13,44	254	0	12	3	0,772	0,809	1	1	728,4	0,65	0,856	0,85	0,5	/	0,849	0,998	/	/	0,83	0,97	0,83	
sloup E8	HEB120	235,78	3,28	0	3,405	3,405	0,719	1,187	0,773	0,440	199,3	0,44	0,984	0,5	0,5	/	0,597	0,73	/	/	0,43	0,73	0,38	
sloup D8	HEB120	VZPĚŘ																						
sloup C8	HEB160	VZPĚŘ																						
sloup A8	HEB140	92,83	43,74	0	7	3,595	1,258	1,07	0,448	0,500	206,9	0,53	0,949	0,4	0,48	/	0,466	0,921	/	/	0,58	0,92	0,85	
vazník 9	IPE400	10,89	224,5	0	12	3	0,772	0,809	1	1	728	0,65	0,856	0,85	0,5	/	0,85	0,998	/	/	0,73	0,86	0,74	
sloup E9	HEB120	214,6	3,13	0	3,405	3,405	0,719	1,187	0,773	0,440	227,2	0,41	0,995	0,54	0,54	/	0,634	0,787	/	/	0,4	0,67	0,35	
sloup D9	HEB120	VZPĚŘ																						
sloup C9	HEB160	VZPĚŘ																						
sloup A9	HEB140	85,27	42,5	0	7	3,405	1,258	1,014	0,448	0,532	205,7	0,53	0,948	0,4	0,48	/	0,465	0,929	/	/	0,55	0,88	0,82	

vazník 11	IPE450	3,71	353,9	0	12	3	0,692	0,776	0,852	0,739	891,5	0,67	0,844	0,59	0,6		0,592	1			0,55	0,92	0,89
sloup E11	HEB140	75,01	31,21	0	7	3,595	1,258	1,07	0,448	0,500	214	0,52	0,952	0,46	0,44		0,526	0,922			0,46	0,67	0,62
sloup C11	HEB180	VZPĚŘ																					
sloup A10	HEB140	81,17	37,63	0	7	3,595	1,258	1,07	0,448	0,500	191,1	0,55	0,939	0,49	0,43		0,556	0,911			0,57	0,79	0,73
vazník 12	IPE200	24,62	26,42	0	6	3	0,773	1,429	0,81	0,370	84,09	0,79	0,825	0,77	0,4		0,787	0,934			0,53	0,68	0,55
sloup E12	HEB100	110,53	2,73	2,52	3,405	3,405	0,873	1,43	0,679	0,338	131,3	0,43	0,988	0,4	0,4	0,4	0,472	0,644	0,448	0,75	0,41	0,76	0,50
sloup D12	HEB160	103	36,81	0	7,309	3,405	1,148	0,896	0,507	0,603	388,4	0,46	0,975	0,95	0,6		1,071	0,966			0,65	0,57	0,52
sloup C12	HEB140	55,31	39,97	0	7,624	3,405	1,37	1,014	0,395	0,532	217,5	0,51	0,954	0,95	0,6		1,055	0,971			0,91	0,81	0,75
sloup B12	HEB140	47,19	31,13	0	7,309	3,405	1,313	1,014	0,421	0,532	243,1	0,49	0,965	0,95	0,6		1,034	0,975			0,69	0,63	0,59
sloup A12	HEB100	33,51	6,94	2,16	3,595	3,595	0,921	1,51	0,647	0,311	91,86	0,52	0,953	0,4	0,4	0,4	0,424	0,883	0,299	0,5	0,26	0,53	0,52

Tab. 21 – Přehled mezivýsledků prvků namáhaných na kombinaci M+N

prvek	profil	N_{Ed}	$L_{cr,y}$	$L_{cr,z}$	λ_y	λ_z	χ_y	χ_z	χ	$N_{b,Rd}$	$N_{ed}/N_{b,Rd}$
		[kN]	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[-]
sloup D4	HEB 140	336,44	3,405	3,405	0,612	1,014	0,831	0,532	0,532	537,18	0,626305
sloup C4	HEB 160	280,46	3,405	3,405	0,535	0,896	0,868	0,603	0,603	768,20	0,365089
sloup B4	HEB 120	312,43	3,405	3,405	0,719	1,187	0,773	0,440	0,440	351,81	0,888053
sloup D8	HEB 120	203,36	3,405	3,405	0,719	1,187	0,773	0,440	0,440	351,81	0,578032
sloup C8	HEB 160	245,55	7,624	7,624	1,198	2,005	0,479	0,195	0,195	249,00	0,98616
sloup D9	HEB 120	188,09	3,405	3,405	0,719	1,187	0,773	0,440	0,440	351,81	0,534628
sloup C9	HEB 160	216,59	7,624	7,624	1,198	2,005	0,479	0,195	0,195	249,00	0,869853
sloup C11	HEB 180	304,46	7,624	7,624	1,059	1,776	0,560	0,240	0,240	367,63	0,82816

Tab. 22 – Přehled mezivýsledků prvků namáhaných na N

4.4 Momentový přípoj

Únosnost řady šroubů v tahu (v rámovém rohu)

$$F_{t,Rd(row\ i)} = \min\{F_{t,wc,Rd}; F_{t,fc,Rd}; F_{t,ep,Rd}; F_{t,wb,Rd}\} \rightarrow \min\{F_{t,wc,Rd}; F_{t,fc,Rd}; F_{t,wb,Rd}\}$$

$F_{t,wc,Rd}$... stěna sloupu v tahu

$F_{t,fc,Rd}$... pásnice sloupu v ohybu

$F_{t,ep,Rd}$... čelní deska v ohybu

Protože je tloušťka čelní desky větší než tloušťka pásnice sloupu, tak tato hodnota nebude nikdy rozhodující a v práci nebude počítána (jedná se pouze o rámový roh).

$F_{t,wb,Rd}$... stěna příčle v tahu

Únosnost řady šroubů v tahu (v montážním přípoji příčle)

$$F_{t,Rd(row\ i)} = \min\{F_{t,ep,Rd}; F_{t,wb,Rd}\}$$

$F_{t,ep,Rd}$... čelní deska v ohybu

$F_{t,wb,Rd}$... stěna příčle v tahu

Efektivní délky šroubů

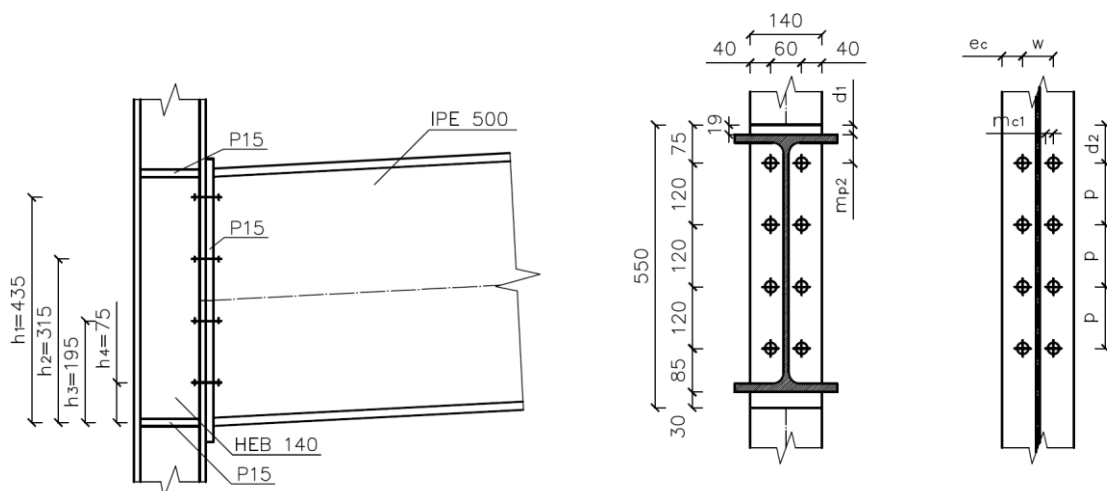
$$l_{eff,1} = \min\{l_{eff,nc}; l_{eff,cp}\}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$$

4.4.1 Momentový přípoj na vazbě číslo 2

4.4.1.1 V rohu rámu

Schéma přípoje:



Obr. 54 – Schéma rámového rohu ve vazbě č. 2

Rozměry:

$$w = 60 \text{ mm}$$

$$e_c = 40 \text{ mm}$$

$$p = 120 \text{ mm}$$

$$d_1 = 19 \text{ mm}$$

$$d_2 = 75 \text{ mm}$$

$$r_c = 12 \text{ mm}$$

$$t_{wc} = 7 \text{ mm}$$

$$t_{wb} = 10,2 \text{ mm}$$

$$t_{fb} = 16 \text{ mm}$$

$$t_{fc} = 12 \text{ mm}$$

$$t_p = 15 \text{ mm}$$

Materiál: ocel S235

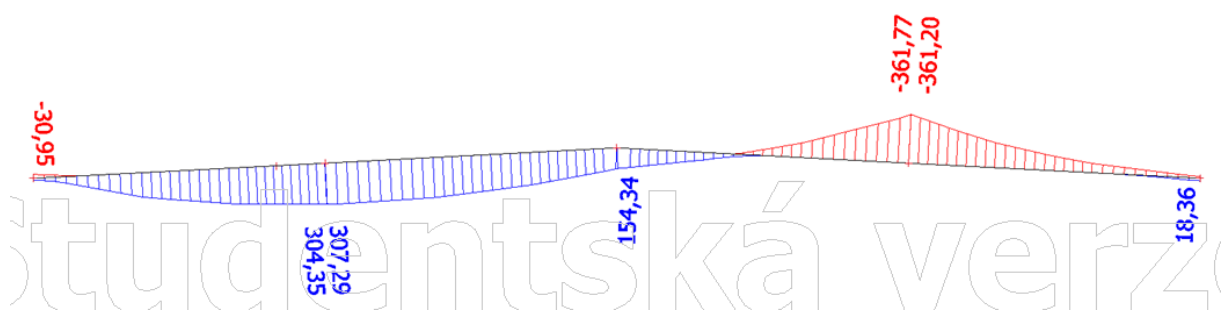
$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

Šrouby: M20 8.8

únosnost šroubu v tahu $F_{t,Rd} = 141,1 \text{ kN}$

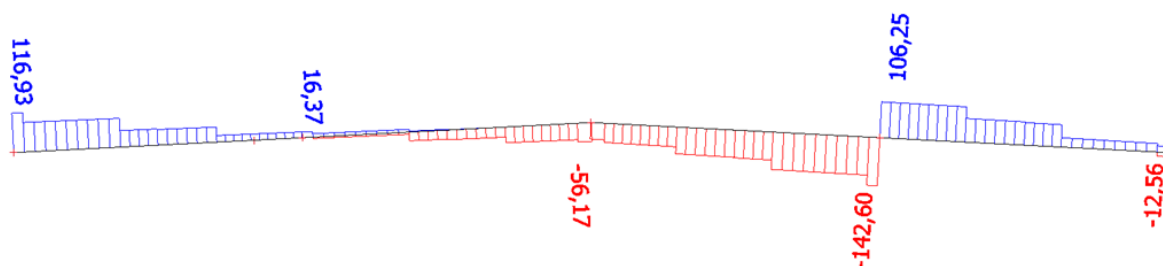
Vnitřní síly:

$$M_{Ed} = 30,95 \text{ kNm}$$



Obr. 55 – Obálka ohybového momentu M_y na příčli č. 2

$$V_{Ed} = 116,93 \text{ kN}$$



Obr. 56 – Obálka posouvající síly Vz na příčli č. 2

Svary:

a) Svar čelní desky a tažené pásnice příčle

$$a_{tf,1} \geq \frac{t_{fb}}{2} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} * \frac{\beta_w * \gamma_{M2}}{f_u * \sqrt{2}} = \frac{16}{2} * \frac{235}{1,0} * \frac{0,8 * 1,25}{\frac{360}{\sqrt{2}}} = 7,38 \text{ mm}$$

$$a_{tf,1} = 8 \text{ mm}$$

$$\beta_w = 0,8 \text{ (pro S235)}$$

b) Svar čelní desky a tlačené pásnice příčle

$$a_{tf,2} \geq \frac{t_{fb}}{2} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} * \frac{\beta_w * \gamma_{M2}}{f_u * \sqrt{2}} = \frac{16}{2} * \frac{235}{1,0} * \frac{0,8 * 1,25}{\frac{360}{\sqrt{2}}} = 7,38 \text{ mm}$$

$$a_{tf,2} = 8 \text{ mm}$$

c) Svar čelní desky a stojiny příčle

$$a_w \geq \frac{t_{wb}}{2} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} * \frac{\beta_w * \gamma_{M2}}{f_u * \sqrt{2}} = \frac{10,2}{2} * \frac{235}{1,0} * \frac{0,8 * 1,25}{\frac{360}{\sqrt{2}}} = 4,7 \text{ mm}$$

$$a_w = 5 \text{ mm}$$

Rozměry pro efektivní šířku pásnice:

$$m_{c1} = \frac{w - 0,8 * 2 * r_c - t_{wc}}{2} = \frac{60 - 0,8 * 2 * 12 - 7}{2} = 16,9 \text{ mm}$$

$$m_{p1} = \frac{w - t_{wb} - 2 * 0,8 * \sqrt{2} * a_w}{2} = \frac{60 - 10,2 - 2 * 0,8 * \sqrt{2} * 5}{2} = 19,2 \text{ mm}$$

$$m_{p2} = d_2 - d_1 - \frac{t_{fb}}{\cos \theta} - 0,8 * \sqrt{2} * a_{tf} = 75 - 19 - \frac{16}{\cos 3} - 0,8 * \sqrt{2} * 8 = 30,9 \text{ mm}$$

Únosnost 1. řady šroubů

a) Vyztužená pásnice v tahu

Efektivní šířka: $l_{eff,c}$

$$\begin{aligned} l_{eff,c} &= \min\{2 \pi m_{c1}; \alpha m_{c1}; \pi m_{c1} + p; 0,5 p + \alpha m_{c1} - (2 m_{c1} + 0,625 e_c)\} \\ &= \min\{2 * \pi * 16,9; 6,86 * 16,9; \pi * 16,9 + 120; 0,5 * 120 + 6,86 * 16,9 \\ &\quad - (2 * 16,9 + 0,625 * 40)\} = \min\{106,2; 115,9; 173,1; 117,1\} = 106,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\lambda_{1,c} = \frac{m_{c1}}{m_{c1} + e_c} = \frac{16,9}{16,9 + 40} = 0,3$$

$$\lambda_{2,c} = \frac{m_{p2}}{m_{c1} + e_c} = \frac{30,9}{16,9 + 40} = 0,54$$

$$\alpha = 6,86$$

$$l_{eff,c} = l_{eff,1,c} = 106,2 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2,c} = l_{eff,cp} = 115,9 \text{ mm}$$

Způsob porušení 1

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m_{c1}} = \frac{4 * 0,898}{16,9 * 10^{-3}} = 212,5 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_{pl,1,Rd} &= 0,25 * l_{eff,1,c} * t_{fc}^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 106,2 * 10^{-3} * (12 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0} \\ &= 0,898 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Způsob porušení 2

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m_{c1} + n} = \frac{2 * 0,981 + 21,1 * 10^{-3} * 2 * 141,1}{(16,9 + 21,1) * 10^{-3}} = 208,3 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_{pl,2,Rd} &= 0,25 * l_{eff,2,c} * t_{fc}^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 115,9 * 10^{-3} * (12 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0} \\ &= 0,981 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$n = \min\{e_c; 1,25 m_{c1}\} = \min\{40; 1,25 * 16,9\} = \min\{40; 21,1\} = 21,1 \text{ mm}$$

Způsob porušení 3

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 * 141,1 = 282,2 \text{ kN}$$

$$F_{T,fc,Rd} = \min\{F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}\} = \min\{212,5; 208,3; 282,2\} = 208,3 \text{ kN}$$

b) Stěna sloupu v tahu

$$F_{T,wc,Rd} = \frac{\omega_1 * l_{eff,c} * t_{wc} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,839 * 106,2 * 10^{-3} * 7 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{1,0} = 146,6 \text{ kN}$$

ω_1 ... převodní součinitel zohledňující vliv smyku

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 * \left(\frac{l_{eff,c} * t_{wc}}{A_{vz}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 * \left(\frac{106,2 * 7}{1308}\right)^2}} = 0,839$$

A_{vz} ... smyková plocha sloupu, $A_{vz} = 1308 \text{ mm}^2$

c) Stěna příčle v tahu

Efektivní šířka pro čelní desku v ohybu: $l_{eff,b}$

$$l_{eff,b} = \min\{2 \pi m_{p1}; \alpha_b * m_{p1}; \pi m_{p1} + p; 0,5 p + \alpha_b m_{p1} - (2 m_{p1} + 0,625 e_p)\} \\ = \min\{2 * \pi * 19,2; 6,76 * 19,2; \pi * 19,2 + 120; 0,5 * 120 + 6,76 * 19,2 - (2 * 19,2 + 0,625 * 40)\} = \min\{120,6; 129,8; 180,3; 126,4\} = 120,6 \text{ mm}$$

$$\lambda_{1,b} = \frac{m_{p1}}{m_{p1} + e_p} = \frac{19,2}{19,2 + 40} = 0,32$$

$$\lambda_{2,b} = \frac{m_{p2}}{m_{p1} + e_p} = \frac{30,9}{19,2 + 40} = 0,52$$

$$\rightarrow \alpha_b = 6,76$$

$$F_{T,wb,Rd} = \frac{l_{eff,b} * t_{wb} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{120,6 * 10^{-3} * 10,2 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{1,0} = 289,1 \text{ kN}$$

Výsledná únosnost 1. řady šroubů:

$$F_{T,Rd(row 1)} = \min\{F_{T,wc,Rd}; F_{t,fc,Rd}; F_{t,wb,Rd}\} = \min\{146,6; 208,3; 289,1\} = 146,6 \text{ kN}$$

Únosnost 2. a 3. řady šroubů

a) Vytužená pásnice v tahu

Efektivní šířka: $l_{eff,c}$

$$l_{eff,c} = \min\{2 \pi m_{c1}; 4 m_{c1} + 1,25 e_c; 2 p; p\} \\ = \min\{2 * \pi * 16,9; 4 * 16,9 + 1,25 * 40; 2 * 120; 120\} \\ = \min\{106,2; 117,6; 240; 120\} = 106,2 \text{ mm}$$

$$l_{eff,c} = l_{eff,1,c} = 106,2 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2,c} = l_{eff,cp} = 117,6 \text{ mm}$$

Způsob porušení 1

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m_{c1}} = \frac{4 * 0,898}{16,9 * 10^{-3}} = 212,5 \text{ kN}$$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 * l_{eff,1,c} * t_{fc}^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 106,2 * 10^{-3} * (12 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0} \\ = 0,898 \text{ kNm}$$

Způsob porušení 2

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m_{c1} + n} = \frac{2 * 0,995 + 21,1 * 10^{-3} * 2 * 141,1}{(16,9 + 21,1) * 10^{-3}} = 209,1 \text{ kN}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 * l_{eff,2,c} * t_{fc}^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 117,6 * 10^{-3} * (12 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0} \\ = 0,995 \text{ kNm}$$

$$n = \min\{e_c; 1,25 m_{c1}\} = \min\{40; 1,25 * 16,9\} = \min\{40; 21,1\} = 21,1 \text{ mm}$$

Způsob porušení 3

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 * 141,1 = 282,2 \text{ kN}$$

$$F_{T,fc,Rd} = \min\{F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}\} = \min\{212,5; 209,1; 282,2\} = 209,1 \text{ kN}$$

b) Stěna sloupu v tahu

$$F_{T,wc,Rd} = \frac{\omega_1 * l_{eff,c} * t_{wc} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,839 * 106,2 * 10^{-3} * 7 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{1,0} = 146,6 \text{ kN}$$

ω_1 ... převodní součinitel zohledňující vliv smyku

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 * \left(\frac{l_{eff,c} * t_{wc}}{A_{vz}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 * \left(\frac{106,2 * 7}{1308}\right)^2}} = 0,839$$

A_{vz} ... smyková plocha sloupu, $A_{vz} = 1308 \text{ mm}^2$

c) Stěna příčle v tahu

Efektivní šířka pro čelní desku v ohybu: $l_{eff,b}$

$$l_{eff,b} = \min\{2 \pi m_{p1}; 4 m_{p1} + 1,25 e_p; 2 p; p\} \\ = \min\{2 * \pi * 19,2; 4 * 19,2 + 1,25 * 40; 2 * 120; 120\} \\ = \min\{120,6; 126,8; 240; 120\} = 120 \text{ mm}$$

$$F_{T,wb,Rd} = \frac{l_{eff,b} * t_{wb} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{120 * 10^{-3} * 10,2 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{1,0} = 287,6 \text{ kN}$$

Výsledná únosnost 2. a 3. řady šroubů:

$$F_{T,Rd(row\ 2,3)} = \min\{F_{T,wc,Rd}; F_{t,fc,Rd}; F_{t,wb,Rd}\} = \min\{146,6; 209,1; 287,6\} = 146,6\text{ kN}$$

Únosnost 4. řady šroubů

Čtvrtá řada šroubů bude uvažována pro přenos pouze smykových sil a při výpočtu momentové únosnosti nebude uvažována.

Únosnosti jednoho šroubu ve stříhu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 245 * 10^{-6} * 800 * 10^3}{1,25} = 94,08\text{ kN}$$

$$\alpha_v = 0,6 \text{ (pro šrouby 8.8)}$$

$$A_s = 245\text{ mm}^2 \text{ (plocha jádra šroubu M20)}$$

Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 1 * 360 * 10^3 * 20 * 10^{-3} * 12 * 10^{-3}}{1,25} = 172,8\text{ kN}$$

d ... průměr šroubu, $d = 20\text{ mm}$

t ... tloušťka tenčího prvku, tj. pásnice sloupu: $t = 12\text{ mm}$

$$\alpha_b = \min\left\{\frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right\} = \min\left\{\frac{115}{3 * 22}; \frac{800}{360}; 1\right\} = \min\{1,74; 2,22; 1\} = 1$$

$$k_1 = \min\left\{2,5; 2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7\right\} = \min\left\{2,5; 2,8 * \frac{40}{22} - 1,7\right\} = \min\{2,5; 3,39\} = 2,5$$

Únosnost šroubů

$$V_{Rd} = 2 * \min\{F_{v,Rd}; F_{b,Rd}\} = 2 * \min\{94,08; 172,8\} = 188,16\text{ kN}$$

$$V_{Rd} \geq V_{Ed} \rightarrow 188,16\text{ kN} \geq 116,93\text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Únosnost pásnice příčle v tlaku

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{w_{pl,y} * f_y}{(h - t_f) * \gamma_{M0}} = \frac{2194000 * 10^{-9} * 235 * 10^3}{(500 - 16) * 10^{-3} * 1,0} = 1065,3\text{ kN}$$

$$F_{c,fb,Rd} \geq \sum F_{T,Rd} \text{ (row } i) \rightarrow 1065,3\text{ kN} \geq 3 * 146,6 = 439,8\text{ kN}$$

\rightarrow *vyhovuje, není nutné redukovat spodní řadu šroubů započítanou do momentové únosnosti*

Únosnost stěny sloupu ve smyku

$$\frac{d}{t_w} \leq 69 * \varepsilon \rightarrow \frac{92}{7} \leq 69 * 1 \rightarrow 13,14 \leq 69 \rightarrow \text{vyhovuje, třída průřezu 1}$$

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 * f_y * A_v^{HEB}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} + V_{wp,add,Rd} = \frac{0,9 * 235 * 10^3 * 1308 * 10^{-6}}{\sqrt{3} * 1,0} + 9,76 = 159,72 + 9,76 = 169,5 \text{ kN}$$

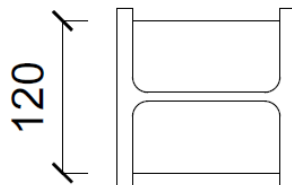
$V_{wp,add,Rd}$... příspěvek příčných výztuh a pásnic sloupu

$$V_{wp,Rd} = \min \left\{ \frac{4 * M_{pl,fc,Rd}}{d_s}; \frac{2 * M_{pl,fc,Rd} + 2 * M_{pl,st,Rd}}{d_s} \right\} = \min \left\{ \frac{4 * 1,184}{0,485}; \frac{2 * 1,184 + 2 * 1,586}{0,485} \right\} = \min\{9,76; 11,42\} = 9,76 \text{ kN}$$

$$M_{pl,fc,Rd} = \frac{1}{4} * b * t_f^2 * f_{yd} = \frac{1}{4} * 140 * 10^{-3} * (12 * 10^{-3})^2 * 235 * 10^3 = 1,184 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,st,Rd} = \frac{1}{4} * b_{st} * t_{st}^2 * f_{yd} = \frac{1}{4} * 120 * 10^{-3} * (15 * 10^{-3})^2 * 235 * 10^3 = 1,586 \text{ kNm}$$

d_s ... vzdálenost výztuh, $d_s = 485 \text{ mm} = 0,485 \text{ m}$



Obr. 57 – Schéma výztuh sloupu navařených v úrovních pásnic příčle

$$V_{wp,Rd} \geq \sum F_{T,Rd}(\text{row } i) \rightarrow 169,5 \text{ kN} < 439,8 \text{ kN} \rightarrow \text{nevyhovuje: bude redukována únosnost šroubů}$$

Rozdělení sil a výpočet momentové únosnosti:

$$F_{T,Rd}(\text{row } i) \leq 1,9 * F_{t,Rd} \rightarrow 146,6 \leq 1,9 * 141,1 \rightarrow 146,6 \text{ kN} \leq 269,1 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Podmínka splněna pro všechny řady šroubů (stejná únosnost).

řada	Únosnost řady	Redukovaná únosnost	Síla pro M_{Rd}	Rameno h_i (od osy šroubu k těžišti tlačené pásnice)
1	146,6 kN	146,6 kN	146,6 kN	$h_1 = 435 \text{ mm}$
2	146,6 kN	0 kN	0 kN	$h_2 = 315 \text{ mm}$
3	146,6 kN	0 kN	0 kN	$h_3 = 195 \text{ mm}$
celkem	$\sum F_{T,Rd} = 439,8 \text{ kN}$	$\sum F'_{T,Rd} = 146,6 \text{ kN}$	$\sum F_{c,fb,Rd} = 1065,3 \text{ kN}$	

Tab. 23 – Rozdělení sil v jednotlivých řadách šroubů pro momentovou únosnost přípoje

Únosnost stěny sloupu ve smyku

$$V_{wp,Rd} = 169,5 \text{ kN}$$

$$V_{wp,Rd} \geq \sum F'_{T,Rd}(\text{row } i) \rightarrow 169,5 \text{ kN} > 146,6 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

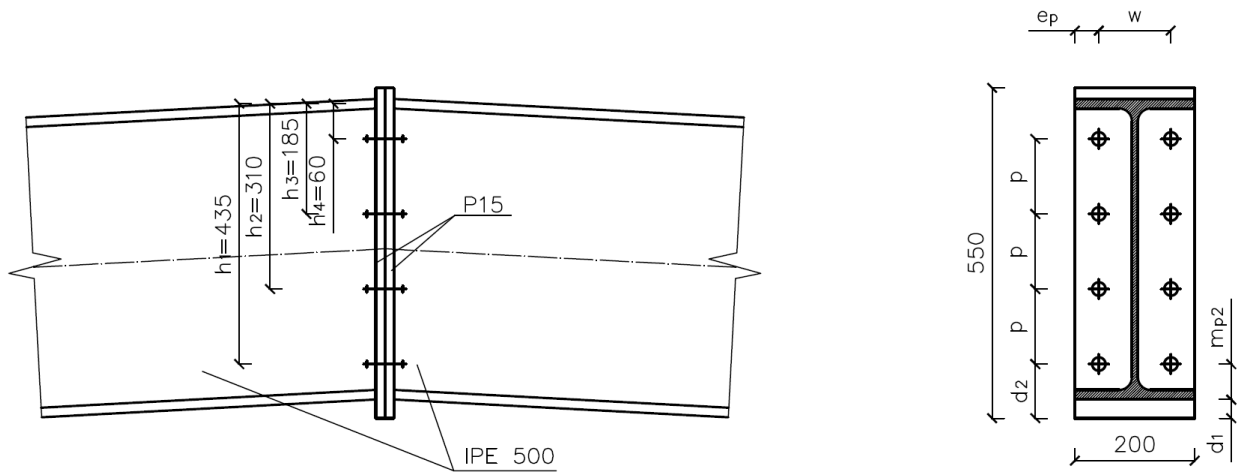
Momentová únosnost

$$M_{Rd} = \sum F_{T,Rd}(\text{row } i) * h_i = 146,6 * 0,435 + 0 * 0,315 + 0 * 0,195 = 63,77 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed} \rightarrow 63,77 \text{ kNm} \geq 30,95 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

4.4.1.2 Uprostřed příčle

Schéma přípoje:



Obr. 57 – Schéma montážního přípoje příčle ve vazbě č. 2

Rozměry:

$$w = 120 \text{ mm}$$

$$e_p = 40 \text{ mm}$$

$$p = 125 \text{ mm}$$

$$d_1 = 31 \text{ mm}$$

$$d_2 = 90 \text{ mm}$$

$$t_{wb} = 10,2 \text{ mm}$$

$$t_{fb} = 16 \text{ mm}$$

$$t_p = 20 \text{ mm}$$

Materiál: ocel S235

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

Šrouby: M20 8.8

únosnost šroubu v tahu $F_{t,Rd} = 141,1 \text{ kN}$

Vnitřní síly

$$M_{Ed} = 154,34 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 56,17 \text{ kN}$$

Svary:

a) Svar čelní desky a tažené pásnice příčle

$$a_{tf,1} \geq \frac{t_{fb}}{2} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} * \frac{\beta_w * \gamma_{M2}}{f_u * \sqrt{2}} = \frac{16}{2} * \frac{235}{1,0} * \frac{0,8 * 1,25}{\frac{360}{\sqrt{2}}} = 7,38 \text{ mm}$$

$$a_{tf,1} = 8 \text{ mm}$$

$$\beta_w = 0,8 \text{ (pro S235)}$$

b) Svar čelní desky a tlačené pásnice příčle

$$a_{tf,2} \geq \frac{t_{fb}}{2} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} * \frac{\beta_w * \gamma_{M2}}{f_u * \sqrt{2}} = \frac{16}{2} * \frac{235}{1,0} * \frac{0,8 * 1,25}{\frac{360}{\sqrt{2}}} = 7,38 \text{ mm}$$

$$a_{tf,2} = 8 \text{ mm}$$

c) Svar čelní desky a stojiny příčle

$$a_w \geq \frac{t_{wb}}{2} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} * \frac{\beta_w * \gamma_{M2}}{f_u * \sqrt{2}} = \frac{10,2}{2} * \frac{235}{1,0} * \frac{0,8 * 1,25}{\frac{360}{\sqrt{2}}} = 4,7 \text{ mm}$$

$$a_w = 5 \text{ mm}$$

Rozměry pro efektivní šířku pásnice:

$$m_{p1} = \frac{w - t_{wb} - 2 * 0,8 * \sqrt{2} * a_w}{2} = \frac{120 - 10,2 - 2 * 0,8 * \sqrt{2} * 5}{2} = 49,2 \text{ mm}$$

$$m_{p2} = d_2 - d_1 - \frac{t_{fb}}{\cos \theta} - 0,8 * \sqrt{2} * a_{tf} = 90 - 31 - \frac{16}{\cos 3} - 0,8 * \sqrt{2} * 8 = 33,9 \text{ mm}$$

Únosnost 1. řady šroubů

a) Čelní deska v ohybu

Efektivní šířka: $l_{eff,b}$

$$l_{eff,b} = \min\{2 \pi m_{p1}; \alpha_b * m_{p1}; \pi m_{p1} + p; 0,5 p + \alpha_b m_{p1} - (2 m_{p1} + 0,625 e_p)\}$$
$$= \min\{2 * \pi * 49,2; 5,8 * 49,2; \pi * 49,2 + 125; 0,5 * 125 + 5,8 * 49,2 - (2 * 49,2 + 0,625 * 40)\} = \min\{309,1; 285,4; 279,6; 224,5\} = 224,5 \text{ mm}$$

$$\lambda_{1,b} = \frac{m_{p1}}{m_{p1} + e_p} = \frac{49,2}{49,2 + 40} = 0,55$$

$$\lambda_{2,b} = \frac{m_{p2}}{m_{p1} + e_p} = \frac{33,9}{49,2 + 40} = 0,38$$

$$\rightarrow \alpha_b = 5,8$$

$$l_{eff,b} = l_{eff,1,b} = l_{eff,2,b} = 224,5 \text{ mm}$$

Způsob porušení 1

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m_{p1}} = \frac{4 * 5,276}{49,2 * 10^{-3}} = 428,9 \text{ kN}$$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 * l_{eff,1,b} * t_p^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 224,5 * 10^{-3} * (20 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0}$$
$$= 5,276 \text{ kNm}$$

Způsob porušení 2

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m_{p1} + n} = \frac{2 * 5,276 + 40 * 10^{-3} * 2 * 141,1}{(49,2 + 40) * 10^{-3}} = 244,8 \text{ kN}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 * l_{eff,2,b} * t_p^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 224,5 * 10^{-3} * (20 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0}$$
$$= 5,276 \text{ kNm}$$

$$n = \min\{e_p; 1,25 m_{p1}\} = \min\{40; 1,25 * 49,2\} = \min\{40; 61,5\} = 40 \text{ mm}$$

Způsob porušení 3

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 * 141,1 = 282,2 \text{ kN}$$

$$F_{T,ep,Rd} = \min\{F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}\} = \min\{428,9; 244,8; 282,2\} = 244,8 \text{ kN}$$

b) Stěna příčle v tahu

Efektivní šířka pro čelní desku v ohybu: $l_{eff,b}$

$$F_{T,wb,Rd} = \frac{l_{eff,b} * t_{wb} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{224,5 * 10^{-3} * 10,2 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{1,0} = 538,1 \text{ kN}$$

Výsledná únosnost 1. řady šroubů:

$$F_{T,Rd(row 1)} = \min\{F_{t,ep,Rd}; F_{t,wb,Rd}\} = \min\{244,8; 538,1\} = 244,8 \text{ kN}$$

Únosnost 2. a 3. řady šroubů

a) Čelní deska v ohybu

Efektivní šířka pro čelní desku v ohybu: $l_{eff,b}$

$$\begin{aligned} l_{eff,b} &= \min\{2 \pi m_{p1}; 4 m_{p1} + 1,25 e_p; 2 p; p\} \\ &= \min\{2 * \pi * 49,2; 4 * 49,2 + 1,25 * 40; 2 * 125; 125\} \\ &= \min\{309,1; 196,8; 250; 125\} = 125 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$l_{eff,b} = l_{eff,1,b} = l_{eff,2,b}$$

Způsob porušení 1

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m_{p1}} = \frac{4 * 2,938}{49,2 * 10^{-3}} = 238,9 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_{pl,1,Rd} &= 0,25 * l_{eff,1,b} * t_p^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 125 * 10^{-3} * (20 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0} \\ &= 2,938 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Způsob porušení 2

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m_{p1} + n} = \frac{2 * 2,938 + 40 * 10^{-3} * 2 * 141,1}{(49,2 + 40) * 10^{-3}} = 192,4 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_{pl,2,Rd} &= 0,25 * l_{eff,2,b} * t_p^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 125 * 10^{-3} * (20 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0} \\ &= 2,938 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$n = \min\{e_p; 1,25 m_{p1}\} = \min\{40; 1,25 * 49,2\} = \min\{40; 61,5\} = 40 \text{ mm}$$

Způsob porušení 3

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 * 141,1 = 282,2 \text{ kN}$$

$$F_{T,ep,Rd} = \min\{F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}\} = \min\{238,9; 192,4; 282,2\} = 192,4 \text{ kN}$$

b) Stěna příčle v tahu

$$F_{T,wb,Rd} = \frac{l_{eff,b} * t_{wb} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{125 * 10^{-3} * 10,2 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{1,0} = 299,6 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd(row 2)} = \min\{F_{T,ep,Rd}; F_{t,wb,Rd}\} = \min\{192,4; 299,6\} = 192,4 \text{ kN}$$

Únosnost 4. řady šroubů

Čtvrtá řada šroubů bude uvažována pro přenos pouze smykových sil a při výpočtu momentové únosnosti nebude uvažována.

Únosnosti jednoho šroubu ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 245 * 10^{-6} * 800 * 10^3}{1,25} = 94,08 \text{ kN}$$

$$\alpha_v = 0,6 \text{ (pro šrouby 8.8)}$$

$$A_s = 245 \text{ mm}^2 \text{ (plocha jádra šroubu M20)}$$

Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 1 * 360 * 10^3 * 20 * 10^{-3} * 15 * 10^{-3}}{1,25} = 216 \text{ kN}$$

d ... průměr šroubu, d = 20 mm

t ... tloušťka čelní desky, t = 15 mm

$$\alpha_b = \min\left\{\frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right\} = \min\left\{\frac{90}{3 * 22}; \frac{800}{360}; 1\right\} = \min\{1,36; 2,22; 1\} = 1$$

$$k_1 = \min\left\{2,5; 2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7\right\} = \min\left\{2,5; 2,8 * \frac{40}{22} - 1,7\right\} = \min\{2,5; 3,39\} = 2,5$$

Únosnost šroubů:

$$V_{Rd} = 2 * \min\{F_{v,Rd}; F_{b,Rd}\} = 2 * \min\{94,08; 216\} = 188,16 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} \geq V_{Ed} \rightarrow 188,16 \text{ kN} \geq 56,17 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Únosnost pásnice příčle v tlaku:

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{w_{pl,y} * f_y}{(h - t_f) * \gamma_{M0}} = \frac{2194000 * 10^{-9} * 235 * 10^3}{(500 - 16) * 10^{-3} * 1,0} = 1065,3 \text{ kN}$$

$$F_{c,fb,Rd} \geq \sum F_{T,Rd} \text{ (row } i) \rightarrow 1065,3 \text{ kN} \geq 244,8 + 2 * 192,4 = 629,6 \text{ kN}$$

\rightarrow *vyhovuje, není nutné redukovat spodní řadu šroubů započítanou do momentové únosnosti*

$$p = 110 \text{ mm}$$

$$d_1 = 23 \text{ mm}$$

$$d_2 = 70 \text{ mm}$$

$$r_c = 12 \text{ mm}$$

$$t_{wc} = 7 \text{ mm}$$

$$t_{wb} = 9,4 \text{ mm}$$

$$t_{fb} = 14,6 \text{ mm}$$

$$t_{fc} = 12 \text{ mm}$$

$$t_p = 15 \text{ mm}$$

Materiál: ocel S235

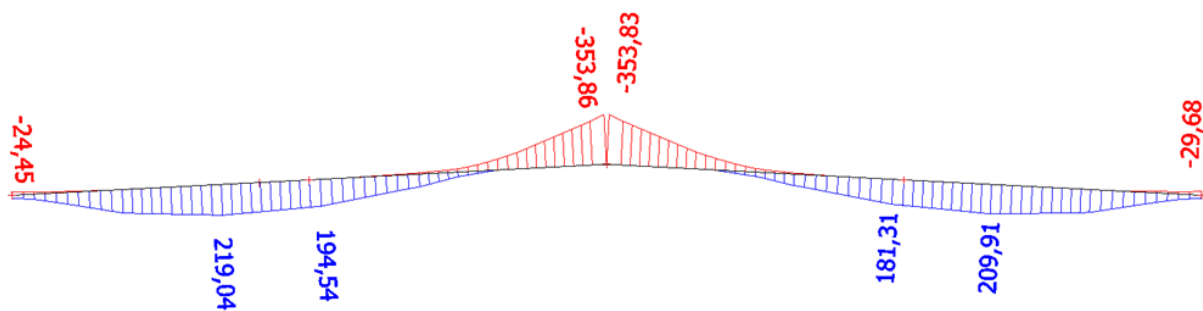
$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

Šrouby: M20 8.8

únosnost šroubu v tahu $F_{t,Rd} = 141,1 \text{ kN}$

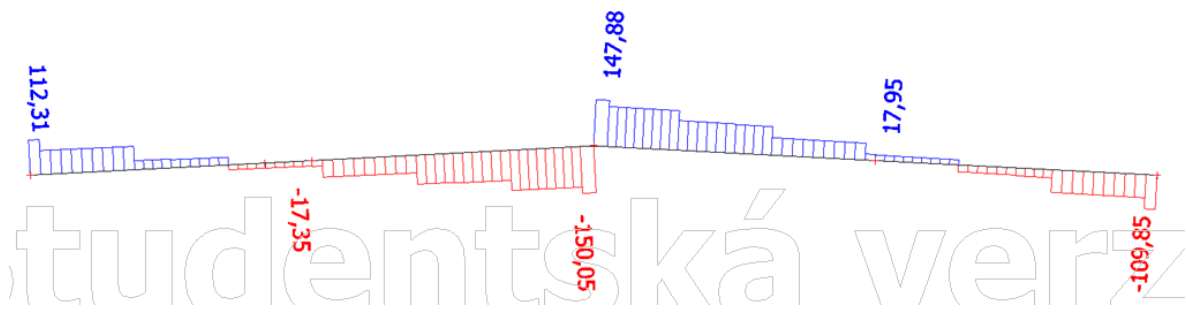
Vnitřní síly

$$M_{Ed} = 29,68 \text{ kNm}$$



Obr. 59 – Obálka ohybového momentu M_y na příčli č. 11

$$V_{Ed} = 109,85 \text{ kN}$$



Obr. 60 – Obálka posouvající síly Vz na příčli č. 11

Svary

a) Svar čelní desky a tažené pásnice příčle

$$a_{tf,1} \geq \frac{t_{fb}}{2} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} * \frac{\beta_w * \gamma_{M2}}{f_u * \sqrt{2}} = \frac{14,6}{2} * \frac{235}{1,0} * \frac{0,8 * 1,25}{\frac{360}{\sqrt{2}}} = 6,74 \text{ mm}$$

$$a_{tf,1} = 7 \text{ mm}$$

$$\beta_w = 0,8 \text{ (pro S235)}$$

d) Svar čelní desky a tlačené pásnice příčle

$$a_{tf,2} \geq \frac{t_{fb}}{2} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} * \frac{\beta_w * \gamma_{M2}}{f_u * \sqrt{2}} = \frac{14,6}{2} * \frac{235}{1,0} * \frac{0,8 * 1,25}{\frac{360}{\sqrt{2}}} = 6,74 \text{ mm}$$

$$a_{tf,2} = 7 \text{ mm}$$

e) Svar čelní desky a stojiny příčle

$$a_w \geq \frac{t_{wb}}{2} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} * \frac{\beta_w * \gamma_{M2}}{f_u * \sqrt{2}} = \frac{9,4}{2} * \frac{235}{1,0} * \frac{0,8 * 1,25}{\frac{360}{\sqrt{2}}} = 4,3 \text{ mm}$$

$$a_w = 5 \text{ mm}$$

Rozměry pro efektivní šířku pásnice

$$m_{c1} = \frac{w - 0,8 * 2 * r_c - t_{wc}}{2} = \frac{60 - 0,8 * 2 * 12 - 7}{2} = 16,9 \text{ mm}$$

$$m_{p1} = \frac{w - t_{wb} - 2 * 0,8 * \sqrt{2} * a_w}{2} = \frac{60 - 9,4 - 2 * 0,8 * \sqrt{2} * 5}{2} = 19,6 \text{ mm}$$

$$m_{p2} = d_2 - d_1 - \frac{t_{fb}}{\cos \theta} - 0,8 * \sqrt{2} * a_{tf} = 70 - 23 - \frac{14,6}{\cos 3} - 0,8 * \sqrt{2} * 7 = 24,5 \text{ mm}$$

Únosnost 1. řady šroubů

a) Vyztužená pásnice v tahu

Efektivní šířka: $l_{eff,c}$

$$l_{eff,c} = \min\{2 \pi m_{c1}; \alpha m_{c1}; \pi m_{c1} + p; 0,5 p + \alpha m_{c1} - (2 m_{c1} + 0,625 e_c)\}$$
$$= \min\{2 * \pi * 16,9; 7,33 * 16,9; \pi * 16,9 + 110; 0,5 * 110 + 7,33 * 16,9 - (2 * 16,9 + 0,625 * 40)\} = \min\{106,2; 123,9; 163,1; 120,1\} = 106,2 \text{ mm}$$

$$\lambda_{1,c} = \frac{m_{c1}}{m_{c1} + e_c} = \frac{16,9}{16,9 + 40} = 0,3$$

$$\lambda_{2,c} = \frac{m_{p2}}{m_{c1} + e_c} = \frac{24,5}{16,9 + 40} = 0,43$$

$$\alpha = 7,33$$

$$l_{eff,c} = l_{eff,1,c} = 106,2 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2,c} = l_{eff,cp} = 120,1 \text{ mm}$$

Způsob porušení 1

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m_{c1}} = \frac{4 * 0,898}{16,9 * 10^{-3}} = 212,5 \text{ kN}$$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 * l_{eff,1,c} * t_{fc}^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 106,2 * 10^{-3} * (12 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0}$$
$$= 0,898 \text{ kNm}$$

Způsob porušení 2

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m_{c1} + n} = \frac{2 * 1,016 + 21,1 * 10^{-3} * 2 * 141,1}{(16,9 + 21,1) * 10^{-3}} = 210,2 \text{ kN}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 * l_{eff,2,c} * t_{fc}^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 120,1 * 10^{-3} * (12 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0}$$
$$= 1,016 \text{ kNm}$$

$$n = \min\{e_c; 1,25 m_{c1}\} = \min\{40; 1,25 * 16,9\} = \min\{40; 21,1\} = 21,1 \text{ mm}$$

Způsob porušení 3

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 * 141,1 = 282,2 \text{ kN}$$

$$F_{T,fc,Rd} = \min\{F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}\} = \min\{212,5; 210,2; 282,2\} = 210,2 \text{ kN}$$

b) Stěna sloupu v tahu

$$F_{T,wc,Rd} = \frac{\omega_1 * l_{eff,c} * t_{wc} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,839 * 106,2 * 10^{-3} * 7 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{1,0} = 146,6 \text{ kN}$$

ω_1 ... převodní součinitel zohledňující vliv smyku

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 * \left(\frac{l_{eff,c} * t_{wc}}{A_{vz}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 * \left(\frac{106,2 * 7}{1308}\right)^2}} = 0,839$$

A_{vz} ... smyková plocha sloupu, $A_{vz} = 1308 \text{ mm}^2$

c) Stěna příčle v tahu

Efektivní šířka pro čelní desku v ohybu: $l_{eff,b}$

$$l_{eff,b} = \min\{2 \pi m_{p1}; \alpha_b * m_{p1}; \pi m_{p1} + p; 0,5 p + \alpha_b m_{p1} - (2 m_{p1} + 0,625 e_p)\}$$

$$= \min\{2 * \pi * 19,6; 7 * 19,6; \pi * 19,6 + 110; 0,5 * 110 + 7 * 19,6 - (2 * 19,6 + 0,625 * 40)\} = \min\{123,2; 137,2; 171,6; 128\} = 123,2 \text{ mm}$$

$$\lambda_{1,b} = \frac{m_{p1}}{m_{p1} + e_p} = \frac{19,6}{19,6 + 40} = 0,33$$

$$\lambda_{2,b} = \frac{m_{p2}}{m_{p1} + e_p} = \frac{24,5}{19,6 + 40} = 0,41$$

$$\rightarrow \alpha_b = 7$$

$$F_{T,wb,Rd} = \frac{l_{eff,b} * t_{wb} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{123,2 * 10^{-3} * 9,4 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{1,0} = 272,1 \text{ kN}$$

Výsledná únosnost 1. řady šroubů:

$$F_{T,Rd(row 1)} = \min\{F_{T,wc,Rd}; F_{t,fc,Rd}; F_{t,wb,Rd}\} = \min\{146,6; 210,2; 272,1\} = 146,6 \text{ kN}$$

Únosnost 2. a 3. řady šroubů

a) Vyztužená pásnice v tahu

Efektivní šířka: $l_{eff,c}$

$$l_{eff,c} = \min\{2 \pi m_{c1}; 4 m_{c1} + 1,25 e_c; 2 p; p\}$$

$$= \min\{2 * \pi * 16,9; 4 * 16,9 + 1,25 * 40; 2 * 110; 110\}$$

$$= \min\{106,2; 117,6; 220; 110\} = 106,2 \text{ mm}$$

$$l_{eff,c} = l_{eff,1,c} = 106,2 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2,c} = l_{eff,cp} = 110 \text{ mm}$$

Způsob porušení 1

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m_{c1}} = \frac{4 * 0,898}{16,9 * 10^{-3}} = 212,5 \text{ kN}$$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 * l_{eff,1,c} * t_{fc}^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 106,2 * 10^{-3} * (12 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0}$$

$$= 0,898 \text{ kNm}$$

Způsob porušení 2

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m_{c1} + n} = \frac{2 * 0,931 + 21,1 * 10^{-3} * 2 * 141,1}{(16,9 + 21,1) * 10^{-3}} = 205,7 \text{ kN}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 * l_{eff,2,c} * t_{fc}^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 110 * 10^{-3} * (12 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0}$$

$$= 0,931 \text{ kNm}$$

$$n = \min\{e_c; 1,25 m_{c1}\} = \min\{40; 1,25 * 16,9\} = \min\{40; 21,1\} = 21,1 \text{ mm}$$

Způsob porušení 3

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 * 141,1 = 282,2 \text{ kN}$$

$$F_{T,fc,Rd} = \min\{F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}\} = \min\{212,5; 205,7; 282,2\} = 205,7 \text{ kN}$$

b) Stěna sloupu v tahu

$$F_{T,wc,Rd} = \frac{\omega_1 * l_{eff,c} * t_{wc} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,839 * 110 * 10^{-3} * 7 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{1,0} = 151,8 \text{ kN}$$

ω_1 ... převodní součinitel zohledňující vliv smyku

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 * \left(\frac{l_{eff,c} * t_{wc}}{A_{vz}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 * \left(\frac{106,2 * 7}{1308}\right)^2}} = 0,839$$

A_{vz} ... smyková plocha sloupu, $A_{vz} = 1308 \text{ mm}^2$

c) Stěna příčle v tahu

Efektivní šířka pro čelní desku v ohybu: $l_{eff,b}$

$$l_{eff,b} = \min\{2 \pi m_{p1}; 4 m_{p1} + 1,25 e_p; 2 p; p\}$$

$$= \min\{2 * \pi * 19,6; 4 * 19,6 + 1,25 * 40; 2 * 110; 110\}$$

$$= \min\{123,2; 128,4; 220; 110\} = 110 \text{ mm}$$

$$F_{T,wb,Rd} = \frac{l_{eff,b} * t_{wb} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{110 * 10^{-3} * 9,4 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{1,0} = 243 \text{ kN}$$

Výsledná únosnost 2. a 3. řady šroubů:

$$F_{T,Rd(row 2,3)} = \min\{F_{T,wc,Rd}; F_{T,fc,Rd}; F_{T,wb,Rd}\} = \min\{151,8; 205,7; 243\} = 151,8 \text{ kN}$$

Únosnost 4. řady šroubů

Čtvrtá řada šroubů bude uvažována pro přenos pouze smykových sil a při výpočtu momentové únosnosti nebude uvažována.

Únosnosti jednoho šroubu ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 245 * 10^{-6} * 800 * 10^3}{1,25} = 94,08 \text{ kN}$$

$$\alpha_v = 0,6 \text{ (pro šrouby 8.8)}$$

$$A_s = 245 \text{ mm}^2 \text{ (plocha jádra šroubu M20)}$$

Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 1 * 360 * 10^3 * 20 * 10^{-3} * 12 * 10^{-3}}{1,25} = 172,8 \text{ kN}$$

$$d \dots \text{průměr šroubu, } d = 20 \text{ mm}$$

$$t \dots \text{tloušťka tenčího prvku, tj. pásnice sloupu: } t = 12 \text{ mm}$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{90}{3 * 22}; \frac{800}{360}; 1 \right\} = \min \{1,36; 2,22; 1\} = 1$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \right\} = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{40}{22} - 1,7 \right\} = \min \{2,5; 3,39\} = 2,5$$

Únosnost šroubů

$$V_{Rd} = 2 * \min \{F_{v,Rd}; F_{b,Rd}\} = 2 * \min \{94,08; 172,8\} = 188,16 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} \geq V_{Ed} \rightarrow 188,16 \text{ kN} \geq 109,85 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Únosnost pásnice příčle v tlaku

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{w_{pl,y} * f_y}{(h - t_f) * \gamma_{M0}} = \frac{1702000 * 10^{-9} * 235 * 10^3}{(450 - 14,6) * 10^{-3} * 1,0} = 918,6 \text{ kN}$$

$$F_{c,fb,Rd} \geq \sum F_{T,Rd} \text{ (row i)} \rightarrow 918,6 \text{ kN} \geq 146,6 + 2 * 151,8 = 450,2 \text{ kN}$$

\rightarrow *vyhovuje, není nutné redukovat spodní řadu šroubů započítanou do momentové únosnosti*

Únosnost stěny sloupu ve smyku

$$\frac{d}{t_w} \leq 69 * \varepsilon \rightarrow \frac{92}{7} \leq 69 * 1 \rightarrow 13,14 \leq 69 \rightarrow \text{vyhovuje, třída průřezu 1}$$

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 * f_y * A_v^{HEB}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} + V_{wp,add,Rd} = \frac{0,9 * 235 * 10^3 * 1308 * 10^{-6}}{\sqrt{3} * 1,0} + 10,89 = 159,72 + 10,89 = 170,6 \text{ kN}$$

$V_{wp,add,Rd}$... *příspěvek příčných výztuh a pásnic sloupu*

$$V_{wp,add,Rd} = \min \left\{ \frac{4 * M_{pl,fc,Rd}}{d_s}; \frac{2 * M_{pl,fc,Rd} + 2 * M_{pl,st,Rd}}{d_s} \right\}$$

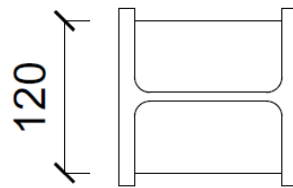
$$= \min \left\{ \frac{4 * 1,184}{0,435}; \frac{2 * 1,184 + 2 * 1,586}{0,435} \right\} = \min\{10,89; 12,74\} = 10,89 \text{ kN}$$

$$M_{pl,fc,Rd} = \frac{1}{4} * b * t_f^2 * f_{yd} = \frac{1}{4} * 140 * 10^{-3} * (12 * 10^{-3})^2 * 235 * 10^3 = 1,184 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,st,Rd} = \frac{1}{4} * b_{st} * t_{st}^2 * f_{yd} = \frac{1}{4} * 120 * 10^{-3} * (15 * 10^{-3})^2 * 235 * 10^3$$

$$= 1,586 \text{ kNm}$$

d_s ... vzdálenost výztuh, $d_s = 435 \text{ mm} = 0,435 \text{ m}$



Obr. 61 – Schéma výztuh sloupu navařených v úrovních pásnic příčle

$$V_{wp,Rd} \geq \sum F_{T,Rd}(\text{row } i) \rightarrow 170,6 \text{ kN} < 450,2 \text{ kN}$$

→ nevyhovuje, bude redukována únosnost šroubů

Rozdělení sil a výpočet momentové únosnosti:

$$F_{T,Rd}(\text{row } i) \leq 1,9 * F_{t,Rd} \rightarrow 151,8 \leq 1,9 * 141,1 \rightarrow 151,8 \text{ kN} \leq 269,1 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Podmínka splněna pro druhou a třetí řadu šroubů a bude splněna i pro všechny ostatní neboť mají menší únosnost.

řada	Únosnost řady	Redukovaná únosnost	Síla pro M_{Rd}	Rameno h_i (od osy šroubu k těžišti tlačené pásnice)
1	146,6 kN	146,6 kN	146,6 kN	$h_1 = 395 \text{ mm}$
2	151,8 kN	0 kN	0 kN	$h_2 = 285 \text{ mm}$
3	151,8 kN	0 kN	0 kN	$h_3 = 175 \text{ mm}$
celkem	$\sum F_{T,Rd} = 450,2 \text{ kN}$	$\sum F'_{T,Rd} = 146,6 \text{ kN}$	$\sum F_{c,fb,Rd} = 918,6 \text{ kN}$	

Tab. 25 – Rozdělení sil v jednotlivých řadách šroubů pro momentovou únosnost přípoje

Únosnost stěny sloupu ve smyku

$$V_{wp,Rd} = 170,6 \text{ kN}$$

$$V_{wp,Rd} \geq \sum F'_{T,Rd}(\text{row } i) \rightarrow 170,6 \text{ kN} > 146,6 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

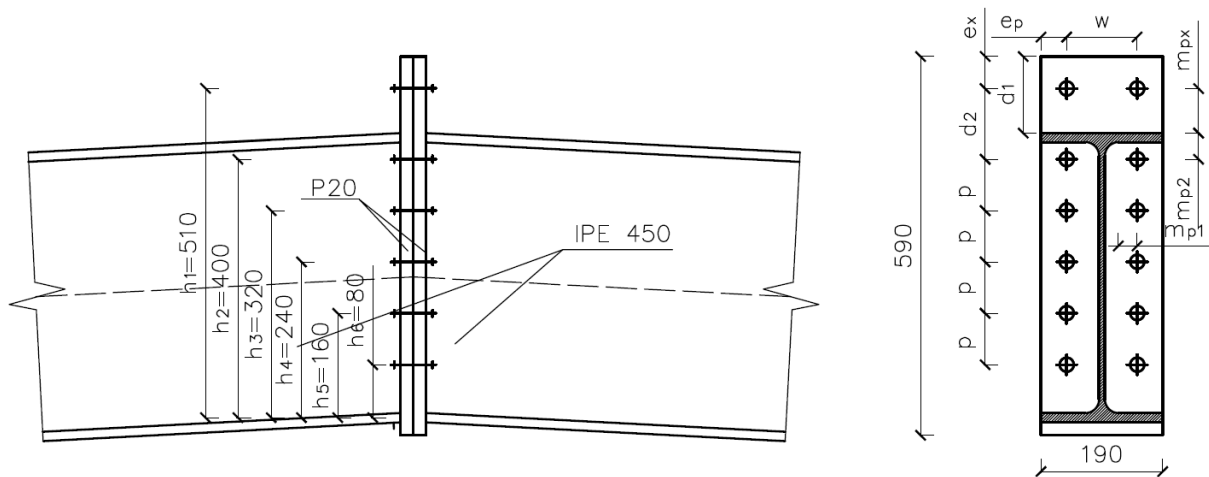
Momentová únosnost

$$M_{Rd} = \sum F_{T,Rd}(\text{row } i) * h_i = 146,6 * 0,395 + 0 * 0,285 + 0 * 0,175 = 57,91 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed} \rightarrow 57,91 \text{ kNm} \geq 29,68 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

4.4.2.2 Uprostřed příčle

Schéma přípoje:



Obr. 62 – Schéma montážního přípoje příčle ve vazbě č. 11

Rozměry:

$$w = 110 \text{ mm}$$

$$e_p = 40 \text{ mm}$$

$$e_x = 50 \text{ mm}$$

$$p = 70 \text{ mm}$$

$$d_1 = 120 \text{ mm}$$

$$d_2 = 110 \text{ mm}$$

$$t_{wb} = 9,4 \text{ mm}$$

$$t_{fb} = 14,6 \text{ mm}$$

$$t_p = 22 \text{ mm}$$

Materiál: ocel S235

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

Šrouby: M24 8.8

únosnost šroubu v tahu $F_{t,Rd} = 203,3 \text{ kN}$

Vnitřní síly:

$$M_{Ed} = 353,86 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 147,88 \text{ kN}$$

Svary:

a) Svar čelní desky a tažené pásnice příčle

$$a_{tf,1} \geq \frac{t_{fb}}{2} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} * \frac{\beta_w * \gamma_{M2}}{f_u * \sqrt{2}} = \frac{14,6}{2} * \frac{235}{1,0} * \frac{0,8 * 1,25}{\frac{360}{\sqrt{2}}} = 6,7 \text{ mm}$$

$$a_{tf,1} = 7 \text{ mm}$$

$$\beta_w = 0,8 \text{ (pro S235)}$$

b) Svar čelní desky a tlačené pásnice příčle

$$a_{tf,2} \geq \frac{t_{fb}}{2} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} * \frac{\beta_w * \gamma_{M2}}{f_u * \sqrt{2}} = \frac{14,6}{2} * \frac{235}{1,0} * \frac{0,8 * 1,25}{\frac{360}{\sqrt{2}}} = 6,7 \text{ mm}$$

$$a_{tf,2} = 7 \text{ mm}$$

c) Svar čelní desky a stojiny příčle

$$a_w \geq \frac{t_{wb}}{2} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} * \frac{\beta_w * \gamma_{M2}}{f_u * \sqrt{2}} = \frac{9,4}{2} * \frac{235}{1,0} * \frac{0,8 * 1,25}{\frac{360}{\sqrt{2}}} = 4,3 \text{ mm}$$

$$a_w = 5 \text{ mm}$$

Rozměry pro efektivní šířku pásnice:

$$m_{x,p} = d_1 - e_x - 0,8 * \sqrt{2} * a_{tf} = 120 - 50 - 0,8 * \sqrt{2} * 7 = 62,1 \text{ mm}$$

$$m_{p1} = \frac{w - t_{wb} - 2 * 0,8 * \sqrt{2} * a_w}{2} = \frac{110 - 9,4 - 2 * 0,8 * \sqrt{2} * 5}{2} = 44,6 \text{ mm}$$

$$m_{p2} = d_2 - (d_1 - e_x) - \frac{t_{fb}}{\cos \theta} - 0,8 * \sqrt{2} * a_{tf} = 110 - (120 - 50) - \frac{14,6}{\cos 3} - 0,8 * \sqrt{2} * 7 = 17,5 \text{ mm}$$

Únosnost 1. řady šroubů

a) Čelní deska v ohybu

Efektivní šířka: $l_{eff,b}$

$$\begin{aligned} l_{eff,b} &= \min\{2 \pi m_x; \pi m_x + w; \pi m_x + 2 e_p; 4 m_x + 1,25 e_x; e_p + 2 m_x + 0,625 e_x; 0,5 b_p; 0,5 w \\ &\quad + 2 m_x + 0,625 e_x\} \\ &= \min\{2 * \pi * 62,1; \pi * 62,1 + 110; \pi * 62,1 + 2 * 40; 4 * 62,1 + 1,25 * 50; 40 + 2 \\ &\quad * 62,1 + 0,625 * 50; 0,5 * 190; 0,5 * 110 + 2 * 62,1 + 0,625 * 50\} \\ &= \min\{390,2; 305,1; 275,1; 310,9; 195,5; 95; 210,5\} = 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$l_{eff,b} = l_{eff,1,b} = l_{eff,2,b} = 95 \text{ mm}$$

Způsob porušení 1

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m_{p1}} = \frac{4 * 2,701}{44,6 * 10^{-3}} = 242,2 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_{pl,1,Rd} &= 0,25 * l_{eff,1,b} * t_p^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 95 * 10^{-3} * (22 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0} \\ &= 2,701 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Způsob porušení 2

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m_{p1} + n} = \frac{2 * 2,701 + 40 * 10^{-3} * 2 * 203,3}{(44,6 + 40) * 10^{-3}} = 256,1 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_{pl,2,Rd} &= 0,25 * l_{eff,2,b} * t_p^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 95 * 10^{-3} * (22 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0} \\ &= 2,701 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$n = \min\{e_p; 1,25 m_{p1}\} = \min\{40; 1,25 * 44,6\} = \min\{40; 55,8\} = 40 \text{ mm}$$

Způsob porušení 3

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 * 203,3 = 406,6 \text{ kN}$$

$$F_{T,ep,Rd} = \min\{F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}\} = \min\{242,2; 256,1; 406,6\} = 242,2 \text{ kN}$$

Výsledná únosnost 1. řady šroubů

$$F_{T,Rd(\text{row } 1)} = F_{T,ep,Rd} = 242,2 \text{ kN}$$

Únosnost 2. řady šroubů

a) Čelní deska v ohybu

Efektivní šířka pro čelní desku v ohybu: $l_{eff,b}$

$$l_{eff,b} = \min\{2 \pi m_{p1}; \alpha_b m_{p1}; \pi m_{p1} + p; 0,5 p + \alpha_b m_{p1} - (2 m_{p1} + 0,625 e_p)\}$$

$$= \min\{2 * \pi * 44,6; 6,71 * 44,6; \pi * 44,6 + 80; 0,5 * 80 + 6,71 * 44,6 - (2 * 44,6 + 0,625 * 40)\} = \min\{280,2; 299,3; 220,1; 225,1\} = 220,1 \text{ mm}$$

$$\lambda_{1,b} = \frac{m_{p1}}{m_{p1} + e_p} = \frac{44,6}{44,6 + 40} = 0,53$$

$$\lambda_{2,b} = \frac{m_{p2}}{m_{p1} + e_p} = \frac{17,5}{44,6 + 40} = 0,21$$

$$\rightarrow \alpha_b = 6,71$$

$$l_{eff,b} = l_{eff,1,b} = 220,1 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2,b} = l_{eff,nc} = 225,1 \text{ mm}$$

Způsob porušení 1

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m_{p1}} = \frac{4 * 6,259}{44,6 * 10^{-3}} = 561,3 \text{ kN}$$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 * l_{eff,b} * t_p^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 220,1 * 10^{-3} * (22 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0}$$

$$= 6,259 \text{ kNm}$$

Způsob porušení 2

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m_{p1} + n} = \frac{2 * 6,401 + 40 * 10^{-3} * 2 * 203,3}{(44,6 + 40) * 10^{-3}} = 343,6 \text{ kN}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 * l_{eff,b} * t_p^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 225,1 * 10^{-3} * (22 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0}$$

$$= 6,401 \text{ kNm}$$

$$n = \min\{e_p; 1,25 m_{p1}\} = \min\{40; 1,25 * 44,6\} = \min\{40; 55,8\} = 40 \text{ mm}$$

Způsob porušení 3

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 * 203,3 = 406,6 \text{ kN}$$

$$F_{T,ep,Rd} = \min\{F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}\} = \min\{561,3; 343,6; 406,6\} = 343,6 \text{ kN}$$

b) Stěna příčle v tahu

$$F_{T,wb,Rd} = \frac{l_{eff,b} * t_{wb} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{220,1 * 10^{-3} * 9,4 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{1,0} = 486,2 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd}(\text{row 2}) = \min\{F_{T,ep,Rd}; F_{t,wb,Rd}\} = \min\{343,6; 486,2\} = 343,6 \text{ kN}$$

Únosnost 3. – 5. řada šroubů

a) Čelní deska v ohybu

Efektivní šířka: $l_{eff,b}$

$$\begin{aligned} l_{eff,b} &= \min\{2 \pi m_{p1}; 4 m_{p1} + 1,25 e_p; 2 p; p\} \\ &= \min\{2 * \pi * 44,6; 4 * 44,6 + 1,25 * 40; 2 * 80; 80\} \\ &= \min\{280,2; 228,4; 160; 80\} = 80 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$l_{eff,b} = l_{eff,1,b} = l_{eff,2,b} = 80 \text{ mm}$$

Způsob porušení 1

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m_{p1}} = \frac{4 * 2,275}{44,6 * 10^{-3}} = 204 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_{pl,1,Rd} &= 0,25 * l_{eff,1,b} * t_p^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 80 * 10^{-3} * (22 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0} \\ &= 2,275 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Způsob porušení 2

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m_{c1} + n} = \frac{2 * 2,275 + 40 * 10^{-3} * 2 * 203,3}{(44,6 + 40) * 10^{-3}} = 246 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_{pl,2,Rd} &= 0,25 * l_{eff,2,b} * t_p^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 80 * 10^{-3} * (22 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0} \\ &= 2,275 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$n = \min\{e_c; 1,25 m_{c1}\} = \min\{40; 1,25 * 44,6\} = \min\{40; 55,8\} = 40 \text{ mm}$$

Způsob porušení 3

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 * 203,3 = 406,6 \text{ kN}$$

$$F_{T,ep,Rd} = \min\{F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}\} = \min\{204; 246; 406,6\} = 204 \text{ kN}$$

b) Stěna příčle v tahu

$$F_{T,wb,Rd} = \frac{l_{eff,b} * t_{wb} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{80 * 10^{-3} * 9,4 * 10^{-3} * 235 * 10^3}{1,0} = 176,7 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd(row 3)} = \min\{F_{T,ep,Rd}; F_{t,wb,Rd}\} = \min\{204; 176,7\} = 176,7 \text{ kN}$$

Únosnost 6. řady šroubů

Šestá řada šroubů bude uvažována pro přenos pouze smykových sil a při výpočtu momentové únosnosti nebude uvažována.

Únosnosti jednoho šroubu ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 353 * 10^{-6} * 800 * 10^3}{1,25} = 135,6 \text{ kN}$$

$$\alpha_v = 0,6 \text{ (pro šrouby 8.8)}$$

$$A_s = 353 \text{ mm}^2 \text{ (plocha jádra šroubu M24)}$$

Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 1 * 360 * 10^3 * 24 * 10^{-3} * 22 * 10^{-3}}{1,25} = 380,2 \text{ kN}$$

$$d \dots \text{průměr šroubu, } d = 24 \text{ mm}$$

$$t \dots \text{tloušťka čelní desky, } t = 22 \text{ mm}$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{110}{3 * 26}; \frac{800}{360}; 1 \right\} = \min \{1,41; 2,22; 1\} = 1$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \right\} = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{40}{26} - 1,7 \right\} = \min \{2,5; 2,6\} = 2,5$$

Únosnost šroubů

$$V_{Rd} = 2 * \min \{F_{v,Rd}; F_{b,Rd}\} = 2 * \min \{135,6; 380,2\} = 271,2 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} \geq V_{Ed} \rightarrow 271,2 \text{ kN} \geq 147,88 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Únosnost pásnice příčle v tlaku

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{w_{pl,y} * f_y}{(h - t_f) * \gamma_{M0}} = \frac{1702000 * 10^{-9} * 235 * 10^3}{(450 - 14,6) * 10^{-3} * 1,0} = 918,6 \text{ kN}$$

$$F_{c,fb,Rd} \geq \sum F_{T,Rd} \text{ (row } i) \rightarrow 918,6 \text{ kN} \geq 242,2 + 343,6 + 3 * 176,7 = 1115,9 \text{ kN}$$

\rightarrow *nevyhovuje, je nutné redukovat spodní řady šroubů započítané do momentové únosnosti*

Rozdělení sil a výpočet momentové únosnosti:

$$F_{T,Rd} \text{ (row } i) \leq 1,9 * F_{t,Rd} \rightarrow 343,6 \leq 1,9 * 203,3 \rightarrow 343,6 \text{ kN} \leq 386,3 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Podmínka splněna pro 2. řadu šroubů a bude splněna i pro všechny ostatní, protože mají menší únosnost

řada	Únosnost řady	Síla pro M_{Rd}	Rameno h_i (od osy šroubu k těžišti tlačené pásnice)
1	242,2 kN	242,2 kN	$h_1 = 510$ mm
2	343,6 kN	343,6 kN	$h_2 = 400$ mm
3	176,7 kN	176,7 kN	$h_3 = 320$ mm
4	176,7 kN	156,1 kN	$h_4 = 240$ mm
5	176,7 kN	0 kN	$h_5 = 160$ mm
celkem	$\sum F_{T,Rd} = 1115,9$ kN	$\sum F_{c,fb,Rd} = 918,6$ kN	

Tab. 26 – Rozdělení sil v jednotlivých řadách šroubů pro momentovou únosnost přípoje

$$M_{Rd} = \sum F_{T,Rd} (row\ i) * h_i = 242,2 * 0,51 + 343,6 * 0,4 + 176,7 * 0,32 + 156,1 * 0,24 + 0 * 0,16 = 354,97 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed} \rightarrow 354,97 \text{ kNm} \geq 353,86 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

5 Trubková ztužidla

V této kapitole jsou stanoveny prvky diagonálního ztužení haly. Jedná se o ztužidla střešní i stěnová. Prvky jsou navrženy a posuzovány na vzpěrný tlak a tah dle [4] a [8].

Tahová únosnost

$$N_{t,Rd} = A * f_{yd}$$

$$\frac{N_{Ed}^+}{N_{t,Rd}} < 1$$

Tlaková únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd}$$

Kritická síla

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L_{cr}^2}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A * f_{yd}}{N_{cr}}}$$

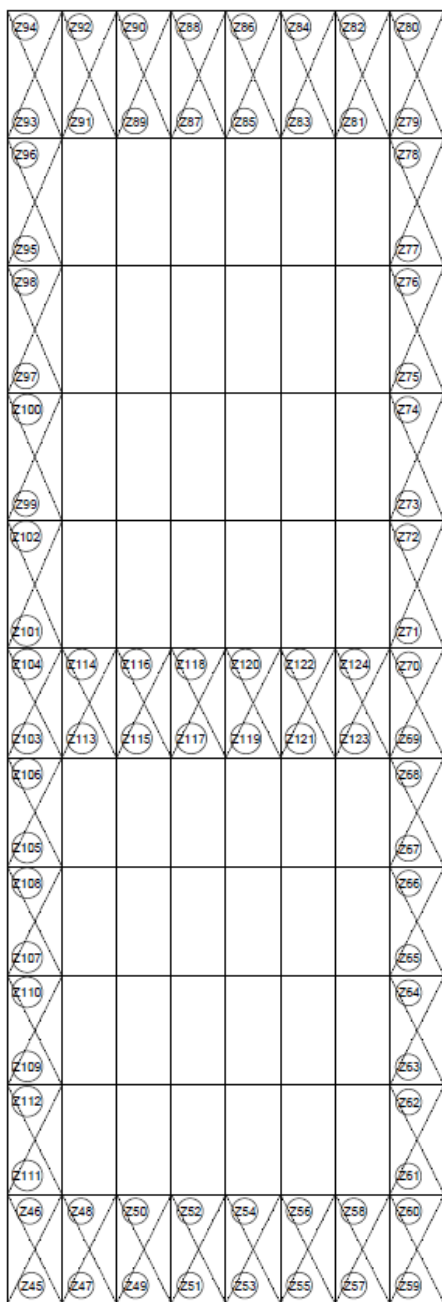
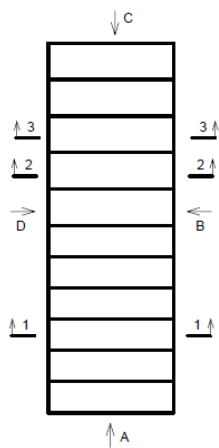
$$\phi = 0,5 * [1 + \beta * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\beta = 0,49 \text{ (křivka } c \text{ – duté, za studena tvarované profily)}$$

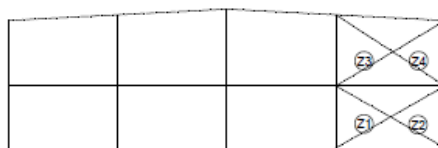
Součinitel vzpěru

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\frac{N_{Ed}^-}{N_{b,Rd}} < 1$$



pohled A



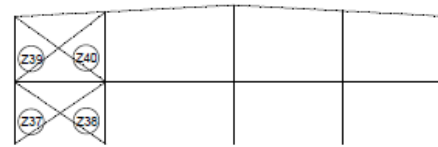
pohled C



řez 1-1



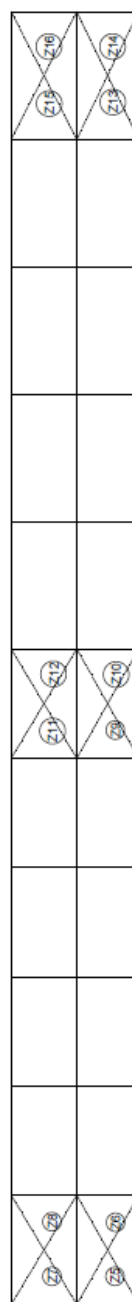
řez 2-2



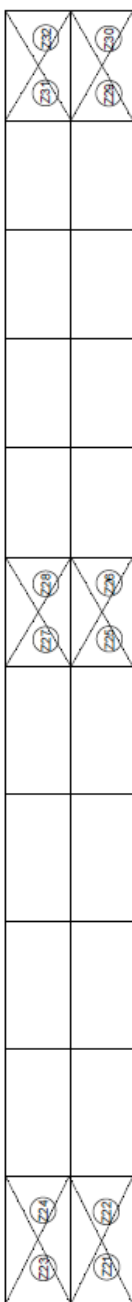
řez 3-3



pohled B



pohled D



Obr. 63 – Přehled označení střešních a stěnových tužidel

prvek	N_{Ed}^+	N_{Ed}^-	profil	L	L_{cr}	f_{yd}	A	I	i	λ	N_{cr}	$\bar{\lambda}$	\emptyset	χ	$N_{b,Rd}$	$N_{t,Rd}$	$N_{Ed}/N_{b,Rd}$	$N_{Ed}/N_{t,Rd}$
	[kN]	[kN]		[mm]	[mm]	[MPa]	[mm ²]	[mm ⁴]	[mm]	[-]	[kN]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
ztuž. 1	30,34	40,84	TR 114/4,0	6899	6899	235	1382	2090000	34,8	198	91,01	1,889	2,698	0,216	70,23	324,77	0,581527	0,09342
ztuž. 2	27,66	50,24	TR 114/4,0	6899	6899	235	1382	2090000	34,8	198	91,01	1,889	2,698	0,216	70,23	324,77	0,715376	0,085168
ztuž. 3	28,96	21,95	TR 89/3,6	6995	6995	235	966	882000	30,2	232	37,36	2,465	4,093	0,136	30,84	227,01	0,711704	0,127571
ztuž. 4	28,98	35,52	TR 102/3,6	7158	7158	235	1113	1350000	34,8	206	54,61	2,189	3,382	0,168	43,88	261,56	0,809432	0,110799
ztuž. 5	11,25	28,18	TR 102/3,6	6899	6899	235	1113	1350000	34,8	198	58,79	2,109	3,192	0,179	46,80	261,56	0,602123	0,043012
ztuž. 6	9,72	24,59	TR 89/3,6	6899	6899	235	966	882000	30,2	228	38,41	2,431	4,002	0,139	31,61	227,01	0,777825	0,042817
ztuž. 7	10,74	10,04	TR 89/3,6	6995	6995	235	966	882000	30,2	232	37,36	2,465	4,093	0,136	30,84	227,01	0,325536	0,047311
ztuž. 8	19,89	8,78	TR 89/3,6	6995	6995	235	966	882000	30,2	232	37,36	2,465	4,093	0,136	30,84	227,01	0,284682	0,087617
ztuž. 9	9,58	12,9	TR 89/3,6	6899	6899	235	966	882000	30,2	228	38,41	2,431	4,002	0,139	31,61	227,01	0,40805	0,042201
ztuž. 10	7,45	18,1	TR 89/3,6	6899	6899	235	966	882000	30,2	228	38,41	2,431	4,002	0,139	31,61	227,01	0,572535	0,032818
ztuž. 11	13,57	12,19	TR 89/3,6	6995	6995	235	966	882000	30,2	232	37,36	2,465	4,093	0,136	30,84	227,01	0,395247	0,059777
ztuž. 12	7,07	17,91	TR 89/3,6	6995	6995	235	966	882000	30,2	232	37,36	2,465	4,093	0,136	30,84	227,01	0,580712	0,031144
ztuž. 13	11,58	16,08	TR 102/3,6	7784	7784	235	1113	1350000	34,8	224	46,18	2,380	3,866	0,145	37,84	261,56	0,424983	0,044274
ztuž. 14	12,39	17,7	TR 102/3,6	7784	7784	235	1113	1350000	34,8	224	46,18	2,380	3,866	0,145	37,84	261,56	0,467798	0,047371
ztuž. 15	10,56	12,59	TR 102/3,6	7869	7869	235	1113	1350000	34,8	226	45,19	2,406	3,935	0,142	37,11	261,56	0,339251	0,040374
ztuž. 16	8,38	16,8	TR 102/3,6	7869	7869	235	1113	1350000	34,8	226	45,19	2,406	3,935	0,142	37,11	261,56	0,452694	0,032039
ztuž. 17	37,7	44,35	TR 102/3,6	6899	6899	235	1113	1350000	34,8	198	58,79	2,109	3,192	0,179	46,80	261,56	0,947628	0,144138
ztuž. 18	41,79	46,44	TR 102/3,6	6899	6899	235	1113	1350000	34,8	198	58,79	2,109	3,192	0,179	46,80	261,56	0,992285	0,159775
ztuž. 19	30,49	35,26	TR 102/3,6	7158	7158	235	1113	1350000	34,8	206	54,61	2,189	3,382	0,168	43,88	261,56	0,803508	0,116572
ztuž. 20	36,03	38,86	TR 102/3,6	6995	6995	235	1113	1350000	34,8	201	57,18	2,139	3,262	0,175	45,69	261,56	0,850563	0,137753
ztuž. 21	12,63	18,05	TR 102/3,6	7784	7784	235	1113	1350000	34,8	224	46,18	2,380	3,866	0,145	37,84	261,56	0,477048	0,048288
ztuž. 22	11,62	16,42	TR 102/3,6	7784	7784	235	1113	1350000	34,8	224	46,18	2,380	3,866	0,145	37,84	261,56	0,433969	0,044427
ztuž. 23	8,91	16,36	TR 102/3,6	7869	7869	235	1113	1350000	34,8	226	45,19	2,406	3,935	0,142	37,11	261,56	0,440838	0,034065
ztuž. 24	10,37	13,11	TR 102/3,6	7869	7869	235	1113	1350000	34,8	226	45,19	2,406	3,935	0,142	37,11	261,56	0,353263	0,039647
ztuž. 25	7,39	17,47	TR 89/3,6	6899	6899	235	966	882000	30,2	228	38,41	2,431	4,002	0,139	31,61	227,01	0,552607	0,032554
ztuž. 26	9,48	12,86	TR 89/3,6	6899	6899	235	966	882000	30,2	228	38,41	2,431	4,002	0,139	31,61	227,01	0,406785	0,04176

ztuž. 27	6,48	17,82	TR 89/3,6	6995	6995	235	966	882000	30,2	232	37,36	2,465	4,093	0,136	30,84	227,01	0,577794	0,028545
ztuž. 28	14,86	13,45	TR 89/3,6	6995	6995	235	966	882000	30,2	232	37,36	2,465	4,093	0,136	30,84	227,01	0,436101	0,06546
ztuž. 29	11,71	17,74	TR 89/3,6	6899	6899	235	966	882000	30,2	228	38,41	2,431	4,002	0,139	31,61	227,01	0,561148	0,051584
ztuž. 30	12,96	19,19	TR 89/3,6	6899	6899	235	966	882000	30,2	228	38,41	2,431	4,002	0,139	31,61	227,01	0,607014	0,05709
ztuž. 31	15,08	11,22	TR 89/3,6	6995	6995	235	966	882000	30,2	232	37,36	2,465	4,093	0,136	30,84	227,01	0,363796	0,066429
ztuž. 32	10,06	13,01	TR 89/5,6	6995	6995	235	966	882000	30,2	232	37,36	2,465	4,093	0,136	30,84	227,01	0,421835	0,044315
ztuž. 33	60,58	83,15	TR 127/4,0	6899	6899	235	1546	2930000	43,5	159	127,59	1,687	2,288	0,261	94,77	363,31	0,877381	0,166745
ztuž. 34	54,74	83,18	TR 127/4,0	6899	6899	235	1546	2930000	43,5	159	127,59	1,687	2,288	0,261	94,77	363,31	0,877697	0,15067
ztuž. 35	51,85	57,02	TR 114/4,0	6995	6995	235	1382	2090000	38,9	180	88,53	1,915	2,754	0,211	68,60	324,77	0,831164	0,159651
ztuž. 36	49,06	56,38	TR 114/4,0	7158	7158	235	1382	2090000	38,9	184	84,54	1,960	2,852	0,203	65,96	324,77	0,854738	0,151061
ztuž. 37	59,36	75,5	TR 114/4,0	6049	6049	235	1382	2090000	38,9	156	118,39	1,656	2,228	0,269	87,32	324,77	0,86464	0,182776
ztuž. 38	56,06	76,67	TR 114/4,0	6049	6049	235	1382	2090000	38,9	156	118,39	1,656	2,228	0,269	87,32	324,77	0,878039	0,172614
ztuž. 39	54,64	66,77	TR 114/4,0	6314	6314	235	1382	2090000	38,9	162	108,66	1,729	2,369	0,251	81,42	324,77	0,820054	0,168242
ztuž. 40	56,37	61,65	TR 114/4,0	6158	6158	235	1382	2090000	38,9	158	114,23	1,686	2,286	0,261	84,82	324,77	0,726795	0,173569
ztuž. 41	36,86	56,04	TR 114/4,0	6049	6049	235	1382	2090000	38,9	156	118,39	1,656	2,228	0,269	87,32	324,77	0,641781	0,113496
ztuž. 42	33,29	59,26	TR 114/4,0	6049	6049	235	1382	2090000	38,9	156	118,39	1,656	2,228	0,269	87,32	324,77	0,678657	0,102503
ztuž. 43	33,66	43,03	TR 114/4,0	6314	6314	235	1382	2090000	38,9	162	108,66	1,729	2,369	0,251	81,42	324,77	0,528485	0,103643
ztuž. 44	34,65	39,24	TR 114/4,0	6158	6158	235	1382	2090000	38,9	158	114,23	1,686	2,286	0,261	84,82	324,77	0,462602	0,106691
ztuž. 45	0	29,36	TR 102/3,6	6710	6710	235	1113	1350000	34,8	193	62,15	2,052	3,058	0,188	49,11	261,56	0,597825	0
ztuž. 46	29,75	0	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	30,2	222	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0	0,131051
ztuž. 47	3,2	19,98	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	30,2	222	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,601452	0,014096
ztuž. 48	21,74	15,22	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	30,2	222	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,458163	0,095767
ztuž. 49	7,78	12,74	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	30,2	222	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,383509	0,034272
ztuž. 50	16,34	1,25	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	30,2	222	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,037628	0,071979
ztuž. 51	2,88	13,77	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	30,2	222	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,414514	0,012687
ztuž. 52	16,39	8,79	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	30,2	222	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,264603	0,072199
ztuž. 53	18,62	7,39	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	30,2	222	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,222459	0,082023
ztuž. 54	1,15	15,75	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	30,2	222	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,474118	0,005066

ztuž. 55	17,09	0	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	30,2	222	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0	0,075283
ztuž. 56	5,27	14,3	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	30,2	222	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,430469	0,023215
ztuž. 57	26,66	13,77	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	30,2	222	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,414514	0,11744
ztuž. 58	2,73	22,8	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	30,2	222	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,686342	0,012026
ztuž. 59	34,38	0	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0	0,151447
ztuž. 60	0	34,83	TR 102/3,6	6710	6710	235	1113	1350000	34,8	193	62,15	2,052	3,058	0,188	49,11	261,56	0,709204	0
ztuž. 61	0,38	32,06	TR 102/3,6	6710	6710	235	1113	1350000	34,8	193	62,15	2,052	3,058	0,188	49,11	261,56	0,652802	0,001453
ztuž. 62	33,63	0	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0	0,148143
ztuž. 63	21,64	3,71	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,111681	0,095326
ztuž. 64	15,56	16,22	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,488266	0,068543
ztuž. 65	29,09	16,76	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,504522	0,128144
ztuž. 66	20,97	16,08	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,484052	0,092375
ztuž. 67	11,32	6,79	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,204397	0,049866
ztuž. 68	12,39	0	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0	0,054579
ztuž. 69	7,79	4,86	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,146299	0,034316
ztuž. 70	6,45	1,64	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,049368	0,028413
ztuž. 71	36,47	32,41	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,824168	0,139435
ztuž. 72	40,73	31,75	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,807385	0,155723
ztuž. 73	5,95	2,18	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,055436	0,022749
ztuž. 74	3,92	2,42	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,061539	0,014987
ztuž. 75	21,98	14,96	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,380424	0,084036
ztuž. 76	19,72	14,36	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,365167	0,075395
ztuž. 77	6,68	6,46	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,164274	0,02554
ztuž. 78	14,47	5,59	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,142151	0,055323
ztuž. 79	4,1	6,43	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,163511	0,015675
ztuž. 80	10,46	4,86	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,123587	0,039992
ztuž. 81	6,14	12,33	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,313545	0,023475
ztuž. 82	21,22	14,07	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,357792	0,081113

ztuž. 83	9,01	8,29	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,21081	0,034448
ztuž. 84	12,6	4,93	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,125367	0,048173
ztuž. 85	5,94	10,52	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,267518	0,02271
ztuž. 86	18,38	7,68	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,195298	0,070272
ztuž. 87	15,48	8,13	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,206741	0,059184
ztuž. 88	7,9	10,81	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,274892	0,030204
ztuž. 89	11,66	5,16	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,131216	0,04458
ztuž. 90	12,06	10,38	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,263958	0,046109
ztuž. 91	19,25	14,26	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,362624	0,073598
ztuž. 92	6,29	13,44	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,341772	0,024048
ztuž. 93	12,3	4,92	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,125113	0,047026
ztuž. 94	7,47	9,19	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,233697	0,02856
ztuž. 95	11,88	5,2	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,132233	0,045421
ztuž. 96	5,29	4,32	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,109855	0,020225
ztuž. 97	22,82	15,38	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,391105	0,087247
ztuž. 98	22,81	18,02	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,458238	0,087209
ztuž. 99	6,07	1,99	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,050605	0,023207
ztuž. 100	6,77	2,8	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,071202	0,025884
ztuž. 101	43,12	36,2	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,920546	0,16486
ztuž. 102	41,15	36,37	TR 102/3,6	7617	7617	235	1113	1350000	34,8	219	48,23	2,329	3,733	0,150	39,32	261,56	0,924869	0,157328
ztuž. 103	7,82	2,13	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,064119	0,034448
ztuž. 104	7,28	5,3	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,159544	0,032069
ztuž. 105	9,05	1,18	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,035521	0,039866
ztuž. 106	10,27	4,52	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,136064	0,04524
ztuž. 107	30,75	26,16	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,787487	0,135457
ztuž. 108	35,2	24,17	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,727583	0,155059
ztuž. 109	20,91	18,83	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,566834	0,09211
ztuž. 110	25,99	12,55	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,377789	0,114488

ztuž. 111	27,74	0	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0	0,122197
ztuž. 112	0	26,33	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,792605	0
ztuž. 113	10,55	1,77	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,053282	0,046474
ztuž. 114	13,7	18,1	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,544859	0,06035
ztuž. 115	12,32	1,97	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,059302	0,054271
ztuž. 116	3,03	11,85	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,356717	0,013347
ztuž. 117	6,79	2,2	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,066226	0,029911
ztuž. 118	5,75	8,94	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,269118	0,025329
ztuž. 119	3,62	9,38	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,282363	0,015946
ztuž. 120	9,13	2,22	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,066828	0,040218
ztuž. 121	2,05	13,05	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,39284	0,00903
ztuž. 122	14,51	1,69	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,050874	0,063918
ztuž. 123	13,26	18,57	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,559007	0,058412
ztuž. 124	12,11	1,13	TR 89/3,6	6710	6710	235	966	882000	29,6	227	40,60	2,365	3,826	0,146	33,22	227,01	0,034016	0,053346

Tab. 27 – Přehled mezivýsledků trubkových ztužidel

6 Přípoje ocelových konstrukcí

V této kapitole jsou řešeny přípoje ocelových konstrukcí vyjma přípojů rámové konstrukce, které jsou řešeny již v kapitole 4. Přípoje jsou navrženy a posuzovány v souladu s [5], [7] a [8].

6.1 Přípoj patky

6.1.1 Patka sloupu E2

Reakce v podpoře

$$R_z = 132,66 \text{ kN (obálka)}$$

$$R_z = 100,96 \text{ kN (kombinace KZ3N vítr zdola)}$$

$$R_x = 13,32 \text{ kN (kombinace KZ3N vítr zdola)}$$

$$R_y = -12,58 \text{ kN (kombinace KZ3N vítr zdola)}$$

Betonová patka o rozměrech 900x900x600 mm, beton C16/20.

$$tloušťka\ podlití \leq 0,1 b = 0,1 * 300 = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{tloušťka podlití} = 30 \text{ mm}$$

b ... šířka patního plechu

Patní plech P20, rozměry 300x300 mm.

Započitatelné rozměry betonové desky

$$a_1 = \min\{3 a_0; a_0 + h; a_c\} = \min\{3 * 300; 300 + 600; 900\} = \min\{900; 900; 900\} = 900 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min\{3 b_0; b_0 + h; b_c\} = \min\{3 * 300; 300 + 600; 900\} = \min\{900; 900; 900\} = 900 \text{ mm}$$

Součinitel koncentrace napětí

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 * b_1}{a_0 * b_0}} = \sqrt{\frac{900 * 900}{300 * 300}} = 3$$

Návrhová pevnost betonu

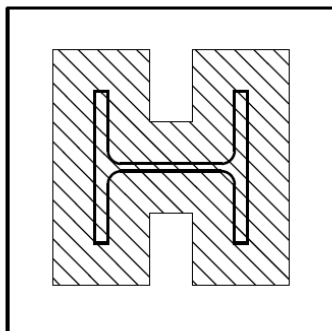
$$f_{jd} = \frac{\beta_j * k_j * f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} * \frac{3 * 16}{1,5} = 21,33 \text{ MPa}$$

Účinná šířka patní desky

$$c = t_p * \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 f_{jd}}} = 20 * \sqrt{\frac{235}{3 * 21,33}} = 38,3 \text{ mm}$$

Aktivní plocha patního plechu

$$A_{eff} = 41\,675 \text{ mm}^2 \text{ (určeno graficky)}$$



Obr. 64 – Efektivní plocha patky sloupu E2

Únosnost patky

$$N_{Rd} = A_{eff} * f_{jd} = 41675 * 10^{-6} * 21,33 * 10^3 = 888,9 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} \geq R_z \rightarrow 888,9 \text{ kN} \geq 132,66 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smykové síly se přenesou kotvou, není nutné navrhovat smykovou zarážku.

6.1.2 Patka sloupu B2

Reakce v podpoře

$$R_z = 443,39 \text{ kN (obálka)}$$

$$R_z = -179,68 \text{ kN (kombinace KZ6N vítr zprava)}$$

$$R_x = 6,12 \text{ kN (kombinace KZ6N vítr zprava)}$$

$$R_y = 0,33 \text{ kN (kombinace KZ6N vítr zprava)}$$

Betonová patka o rozměrech 600x600x400 mm, beton C16/20.

$$\text{tloušťka podlití} \leq 0,1 b = 0,1 * 300 = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{tloušťka podlití} = 30 \text{ mm}$$

b ... šířka patního plechu

Patní plech P20, rozměry 300x300 mm.

Započitatelné rozměry betonové desky

$$a_1 = \min\{3 a_0; a_0 + h; a_c\} = \min\{3 * 300; 300 + 400; 600\} = \min\{900; 700; 600\} = 600 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min\{3 b_0; b_0 + h; b_c\} = \min\{3 * 300; 300 + 400; 600\} = \min\{900; 700; 600\} = 600 \text{ mm}$$

Součinitel koncentrace napětí

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 * b_1}{a_0 * b_0}} = \sqrt{\frac{600 * 600}{300 * 300}} = 2$$

Návrhová pevnost betonu

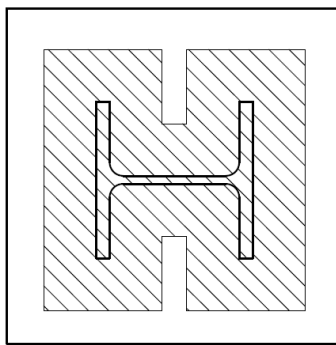
$$f_{jd} = \frac{\beta_j * k_j * f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} * \frac{2 * 16}{1,5} = 14,22 \text{ MPa}$$

Účinná šířka patní desky

$$c = t_p * \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 f_{jd}}} = 20 * \sqrt{\frac{235}{3 * 14,22}} = 46,9 \text{ mm}$$

Aktivní plocha patního plechu

$$A_{eff} = 51\,710 \text{ mm}^2 \text{ (určeno graficky)}$$



Obr. 65 – Efektivní plocha patky sloupu B2

Únosnost patky

$$N_{Rd} = A_{eff} * f_{jd} = 51710 * 10^{-6} * 14,22 * 10^3 = 735,3 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} \geq R_z \rightarrow 735,3 \text{ kN} \geq 443,39 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smykové síly se přenesou kotvou, není nutné navrhovat smykovou zarážku.

6.1.3 Patka sloupu E11

Reakce v podpoře

$$R_z = 130,7 \text{ kN (obálka)}$$

$$R_z = 104,65 \text{ kN (kombinace KZ3N vítr shora)}$$

$$R_x = 14,23 \text{ kN (kombinace KZ3N vítr shora)}$$

$$R_y = 13,58 \text{ kN (kombinace KZ3N vítr shora)}$$

Betonová patka o rozměrech 900x900x600 mm, beton C16/20.

$$\text{tloušťka podlití} \leq 0,1 b = 0,1 * 300 = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{tloušťka podlití} = 30 \text{ mm}$$

b ... šířka patního plechu

Patní plech P20, rozměry 300x300 mm.

Započitatelné rozměry betonové desky

$$a_1 = \min\{3 a_0; a_0 + h; a_c\} = \min\{3 * 300; 300 + 600; 900\} = \min\{900; 900; 900\} = 900 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min\{3 b_0; b_0 + h; b_c\} = \min\{3 * 300; 300 + 600; 900\} = \min\{900; 900; 900\} = 900 \text{ mm}$$

Součinitel koncentrace napětí

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 * b_1}{a_0 * b_0}} = \sqrt{\frac{900 * 900}{300 * 300}} = 3$$

Návrhová pevnost betonu

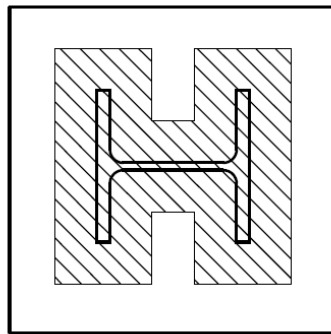
$$f_{jd} = \frac{\beta_j * k_j * f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} * \frac{3 * 16}{1,5} = 21,33 \text{ MPa}$$

Účinná šířka patní desky

$$c = t_p * \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 f_{jd}}} = 20 * \sqrt{\frac{235}{3 * 21,33}} = 38,3 \text{ mm}$$

Aktivní plocha patního plechu

$$A_{eff} = 41\,675 \text{ mm}^2 \text{ (určeno graficky)}$$



Obr. 66 – Efektivní plocha patky sloupu E11

Únosnost patky

$$N_{Rd} = A_{eff} * f_{jd} = 41675 * 10^{-6} * 21,33 * 10^3 = 888,9 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} \geq R_z \rightarrow 888,9 \text{ kN} \geq 130,7 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smykové síly se přenesou kotvou, není nutné navrhovat smykovou zarážku.

6.1.4 Patka sloupu A11

Reakce v podpoře

$$R_z = -129,02 \text{ kN (obálka)}$$

$$R_z = -103,32 \text{ kN (kombinace KZ3N vítr shora)}$$

$$R_x = -13,65 \text{ kN (kombinace KZ3N vítr shora)}$$

$$R_y = 13,23 \text{ kN (kombinace KZ3N vítr shora)}$$

Betonová patka o rozměrech 900x900x600 mm, beton C16/20.

tloušťka podlití $\leq 0,1 b = 0,1 * 300 = 30 \text{ mm} \rightarrow$ *tloušťka podlití* = 30 mm

b ... šířka patního plechu

Patní plech P20, rozměry 300x300 mm.

Započitatelné rozměry betonové desky

$$a_1 = \min\{3 a_0; a_0 + h; a_c\} = \min\{3 * 300; 300 + 600; 900\} = \min\{900; 900; 900\} = 900 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min\{3 b_0; b_0 + h; b_c\} = \min\{3 * 300; 300 + 600; 900\} = \min\{900; 900; 900\} = 900 \text{ mm}$$

Součinitel koncentrace napětí

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 * b_1}{a_0 * b_0}} = \sqrt{\frac{900 * 900}{300 * 300}} = 3$$

Návrhová pevnost betonu

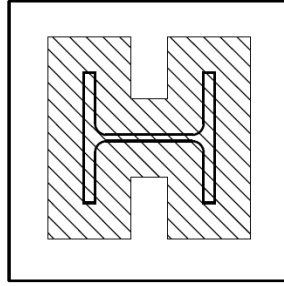
$$f_{jd} = \frac{\beta_j * k_j * f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} * \frac{3 * 16}{1,5} = 21,33 \text{ MPa}$$

Účinná šířka patní desky

$$c = t_p * \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 f_{jd}}} = 20 * \sqrt{\frac{235}{3 * 21,33}} = 38,3 \text{ mm}$$

Aktivní plocha patního plechu

$$A_{eff} = 41\,675 \text{ mm}^2 \text{ (určeno graficky)}$$



Obr. 67 – Efektivní plocha patky sloupu A11

Únosnost patky

$$N_{Rd} = A_{eff} * f_{jd} = 41675 * 10^{-6} * 21,33 * 10^3 = 888,9 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} \geq R_z \rightarrow 888,9 \text{ kN} \geq 129,02 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smykové síly se přenesou kotvou, není nutné navrhovat smykovou zarážku.

6.2 Přípoj sloupu C11 s příčlím rámu

Vnitřní síly v hlavě sloupu

$$N_{Ed} = 299,29 \text{ kN (obálka)}$$

Návrh šroubů

Úhel sklonu šroubů od vodorovné osy: $\alpha = 87^\circ$

$$\text{síla působící kolmo na šrouby: } V_{Ed} = 299,29 * \cos 87^\circ = 15,66 \text{ kN}$$

Šrouby M16 8.8

Únosnosti jednoho šroubu ve stříhu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 157 * 10^{-6} * 800 * 10^3}{1,25} = 60,29 \text{ kN}$$

$$\alpha_v = 0,6 \text{ (pro šrouby 8.8)}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2 \text{ (plocha jádra šroubu M16)}$$

Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 1 * 360 * 10^3 * 16 * 10^{-3} * 10 * 10^{-3}}{1,25} = 115,2 \text{ kN}$$

d ... průměr šroubu, $d = 16 \text{ mm}$

t ... tloušťka čelní desky, $t = 10 \text{ mm}$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{120}{3 * 18}; \frac{800}{360}; 1 \right\} = \min\{2,22; 2,22; 1\} = 1$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \right\} = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{40}{18} - 1,7 \right\} = \min\{2,5; 4,52\} = 2,5$$

Únosnost šroubů jednoho šroubu

$$V_{Rd} = \min\{F_{v,Rd}; F_{b,Rd}\} = \min\{60,29; 115,2\} = 60,29 \text{ kN}$$

Počet šroubů: n

$$n = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{15,66}{60,29} = 0,26 \rightarrow n = 2$$

Navrženo 2x M16 8.8

Návrh svarů

konstrukční svar: $a_w = 4 \text{ mm}$

6.3 Přípoje patrových konstrukcí

6.3.1 Přípoj stropnice na sloup

Vnitřní síly

$$V_{Ed} = 2 * \frac{63,06^1}{2} = 63,06 \text{ kN}$$

Návrh šroubů

Šrouby M16 8.8

Únosnosti jednoho šroubu ve stříhu

$$F_{v,Rd} = \frac{n * \alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{2 * 0,6 * 157 * 10^{-6} * 800 * 10^3}{1,25} = 120,58 \text{ kN}$$

$$\alpha_v = 0,6 \text{ (pro šrouby 8.8)}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2 \text{ (plocha jádra šroubu M16)}$$

Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,74 * 360 * 10^3 * 16 * 10^{-3} * 7 * 10^{-3}}{1,25} = 59,67 \text{ kN}$$

d ... průměr šroubu, $d = 16 \text{ mm}$

¹ Smyková síla je převzata z kapitoly 2.2 Návrh stropnice 1, hodnota je brána z provozního zatížení (podkapitola 2.2.2).

t ... tloušťka tenčího spojovaného prvku, tj. stojina sloupu, $t = 7 \text{ mm}$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{40}{3 * 18}; \frac{800}{360}; 1 \right\} = \min \{0,74; 2,22; 1\} = 0,74$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \right\} = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{45}{18} - 1,7 \right\} = \min \{2,5; 5,3\} = 2,5$$

Únosnost šroubů jednoho šroubu

$$V_{Rd} = \min \{F_{v,Rd}; F_{b,Rd}\} = \min \{120,58; 59,67\} = 59,67 \text{ kN}$$

Počet šroubů: n

$$n = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{63,06}{59,67} = 1,06 \rightarrow n = 4$$

Navrženo 4x M16 8.8

Návrh svaru

Geometrie svaru

výška svaru: $a = 4 \text{ mm}$

délka svaru: $L_{we} = 140 \text{ mm}$

Únosnost svaru:

$$F_{w,Rd} = 2 * a * L_{we} * f_{vw,d} = 2 * 4 * 10^{-3} * 140 * 10^{-3} * 207,8 * 10^3 = 232,74 \text{ kN}$$

návrhová pevnost svaru ... $f_{vw,d}$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} * 0,8 * 1,25} = 207,8 \text{ MPa}$$

$$F_{w,Rd} \geq V_{Ed} \rightarrow 232,74 \text{ kN} \geq 63,06 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smyková únosnost oslabeného průřezu stropnice

$$A_{vz} = t_w * L_{we} = 5,3 * 140 = 742 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} * f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{742 * 10^{-6} * 355 * 10^3}{\sqrt{3}} = 152,08 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} \geq V_{Ed} \rightarrow 152,08 \text{ kN} \geq \frac{63,06}{2} = 31,53 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.3.2 Přípoj průvlaku na sloup

Vnitřní síly

$$V_{Ed} = 112,77^2 \text{ kN}$$

Návrh šroubů

Šrouby M16 8.8

Únosnosti jednoho šroubu ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 157 * 10^{-6} * 800 * 10^3}{1,25} = 60,29 \text{ kN}$$

$$\alpha_v = 0,6 \text{ (pro šrouby 8.8)}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2 \text{ (plocha jádra šroubu M16)}$$

Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,74 * 360 * 10^3 * 16 * 10^{-3} * 10 * 10^{-3}}{1,25} = 85,25 \text{ kN}$$

d ... průměr šroubu, d = 16 mm

t ... tloušťka tenčího spojovaného prvku, tj. čelní deska, t = 10 mm

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{40}{3 * 18}; \frac{800}{360}; 1 \right\} = \min \{0,74; 2,22; 1\} = 0,74$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \right\} = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{30}{18} - 1,7 \right\} = \min \{2,5; 2,97\} = 2,5$$

Únosnost šroubů jednoho šroubu

$$V_{Rd} = \min \{F_{v,Rd}; F_{b,Rd}\} = \min \{60,29; 85,25\} = 60,29 \text{ kN}$$

Počet šroubů: n

$$n = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{112,77}{60,29} = 1,87 \rightarrow n = 4$$

Navrženo 4x M16 8.8

Návrh svaru

Geometrie svaru

výška svaru: a = 4 mm

² Smyková síla je převzata z kapitoly 2.4 Návrh průvlak 2, hodnota je brána z provozního zatížení (podkapitola 2.4.3).

délka svaru: $L_{we} = 140 \text{ mm}$

Únosnost svaru:

$$F_{w,Rd} = 2 * a * L_{we} * f_{vw,d} = 2 * 4 * 10^{-3} * 140 * 10^{-3} * 207,8 * 10^3 = 232,74 \text{ kN}$$

návrhová pevnost svaru ... $f_{vw,d}$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} * 0,8 * 1,25} = 207,8 \text{ MPa}$$

$$F_{w,Rd} \geq V_{Ed} \rightarrow 232,74 \text{ kN} \geq 112,77 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Smyková únosnost oslabeného průřezu stropnice

$$A_{vz} = t_w * L_{we} = 6,2 * 140 = 868 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} * f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{868 * 10^{-6} * 355 * 10^3}{\sqrt{3}} = 177,9 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} \geq V_{Ed} \rightarrow 177,9 \text{ kN} \geq 112,77 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.4 Přípoje stěnových ztužidel

6.4.1 Přípoj ztužidla na sloup E2

Vnitřní síly ve ztužidle

$$N_{Ed} = 17,74 \text{ kN (obálka)}$$

Úhel sklonu diagonály od vodorovné osy: $\alpha = 29,6^\circ$

$$\text{vodorovná složka normálové síly: } F_{1,Ed} = 17,74 * \cos 29,6^\circ = 15,42 \text{ kN}$$

$$\text{svislá složka normálové síly: } F_{2,Ed} = 17,74 * \sin 29,6^\circ = 8,76 \text{ kN}$$

Návrh šroubů

Šrouby M16 8.8

Únosnosti jednoho šroubu ve stříhu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 157 * 10^{-6} * 800 * 10^3}{1,25} = 60,29 \text{ kN}$$

$$\alpha_v = 0,6 \text{ (pro šrouby 8.8)}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2 \text{ (plocha jádra šroubu M16)}$$

Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,74 * 360 * 10^3 * 16 * 10^{-3} * 10 * 10^{-3}}{1,25} = 85,25 \text{ kN}$$

d ... průměr šroubu, $d = 16 \text{ mm}$

t ... tloušťka tenčího spojovaného prvku, tj. plech přivařený k sloupu, $t = 10 \text{ mm}$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{40}{3 * 18}; \frac{800}{360}; 1 \right\} = \min\{0,74; 2,22; 1\} = 0,74$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \right\} = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{60}{18} - 1,7 \right\} = \min\{2,5; 7,63\} = 2,5$$

Únosnost šroubů jednoho šroubu

$$V_{Rd} = \min\{F_{v,Rd}; F_{b,Rd}\} = \min\{60,29; 85,25\} = 60,29 \text{ kN}$$

Počet šroubů: n

$$n = \frac{N_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{17,74}{60,29} = 0,29 \rightarrow n = 2$$

Navrženo 2x M16 8.8

Návrh svarů

a) Svar zaříznutého plechu v ztužidle

Geometrie svaru

výška svaru: $a = 4 \text{ mm}$

délka svaru: $L_{we} = 4 * 50 = 200 \text{ mm}$

Únosnost svaru:

$$F_{w,Rd} = a * L_{we} * f_{vw,d} = 4 * 10^{-3} * 200 * 10^{-3} * 207,8 * 10^3 = 166,24 \text{ kN}$$

návrhová pevnost svaru ... $f_{vw,d}$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} * 0,8 * 1,25} = 207,8 \text{ MPa}$$

$$F_{w,Rd} \geq N_{Ed} \rightarrow 166,24 \text{ kN} \geq 17,74 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

b) Svar mezi plechem a sloupem

Geometrie svaru

výška svaru: $a = 4 \text{ mm}$

délka vodorovného svaru: $L_{we,1} = 80 \text{ mm}$

výška svaru: $e = 40 \text{ mm}$

délka svislého svaru: $L_{we,2} = 186 \text{ mm}$

Napětí ve svaru:

Svar vodorovný

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{1,Ed}}{2 * a * L_{we}} = \frac{15,42 * 10^{-3}}{2 * 4 * 10^{-3} * 80 * 10^{-3}} = 24,09 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{F_{1,Ed} * e}{W_{we}} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{15,42 * 10^{-3} * 40 * 10^{-3}}{2 * \frac{1}{6} * 4 * 10^{-3} * (80 * 10^{-3})^2} = 51,11 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{51,11^2 + 3 * (51,11^2 + 24,09^2)} = 110,41 \text{ MPa}$$

$$110,41 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Svar svislý

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{2,Ed}}{2 * a * L_{we}} = \frac{8,76 * 10^{-3}}{2 * 4 * 10^{-3} * 186 * 10^{-3}} = 5,89 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 0$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{0^2 + 3 * (0^2 + 5,89^2)} = 10,2 \text{ MPa}$$

$$10,2 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.4.2 Příklad ztužidla na sloup E11

Vnitřní síly ve ztužidle

$$N_{Ed} = 16,42 \text{ kN (obálka)}$$

Úhel sklonu diagonály od vodorovné osy: $\alpha = 25,9^\circ$

vodorovná složka normálové síly: $F_{1,Ed} = 16,42 * \cos 25,9^\circ = 14,77 \text{ kN}$

svislá složka normálové síly: $F_{2,Ed} = 16,42 * \sin 25,9^\circ = 7,17 \text{ kN}$

Návrh šroubů

Šrouby M16 8.8

Únosnosti jednoho šroubu ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 157 * 10^{-6} * 800 * 10^3}{1,25} = 60,29 \text{ kN}$$

$$\alpha_v = 0,6 \text{ (pro šrouby 8.8)}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2 (\text{plocha jádra šroubu M16})$$

Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,74 * 360 * 10^3 * 16 * 10^{-3} * 10 * 10^{-3}}{1,25} = 85,25 \text{ kN}$$

d ... průměr šroubu, $d = 16 \text{ mm}$

t ... tloušťka tenčího spojovaného prvku, tj. plech přivařený k sloupu, $t = 10 \text{ mm}$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{40}{3 * 18}; \frac{800}{360}; 1 \right\} = \min \{0,74; 2,22; 1\} = 0,74$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \right\} = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{60}{18} - 1,7 \right\} = \min \{2,5; 7,63\} = 2,5$$

Únosnost šroubů jednoho šroubu

$$V_{Rd} = \min \{F_{v,Rd}; F_{b,Rd}\} = \min \{60,29; 85,25\} = 60,29 \text{ kN}$$

Počet šroubů: n

$$n = \frac{N_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{16,42}{60,29} = 0,27 \rightarrow n = 2$$

Navrženo 2x M16 8.8

Návrh svarů

a) Svar zaříznutého plechu v ztužidle

Geometrie svaru

výška svaru: $a = 4 \text{ mm}$

délka svaru: $L_{we} = 4 * 50 = 200 \text{ mm}$

Únosnost svaru:

$$F_{w,Rd} = a * L_{we} * f_{vw,d} = 4 * 10^{-3} * 200 * 10^{-3} * 207,8 * 10^3 = 166,24 \text{ kN}$$

návrhová pevnost svaru ... $f_{vw,d}$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} * 0,8 * 1,25} = 207,8 \text{ MPa}$$

$$F_{w,Rd} \geq N_{Ed} \rightarrow 166,24 \text{ kN} \geq 16,42 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

b) Svar mezi plechem a sloupem

Geometrie svaru

výška svaru: $a = 4 \text{ mm}$

délka vodorovného svaru: $L_{we,1} = 80 \text{ mm}$

excentricita svaru: $e = 34 \text{ mm}$

délka svislého svaru: $L_{we,2} = 180 \text{ mm}$

Napětí ve svaru:

Svar vodorovný:

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{1,Ed}}{2 * a * L_{we}} = \frac{14,77 * 10^{-3}}{2 * 4 * 10^{-3} * 80 * 10^{-3}} = 23,08 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{F_{1,Ed} * e}{W_{we}} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{14,77 * 10^{-3} * 34 * 10^{-3}}{2 * \frac{1}{6} * 4 * 10^{-3} * (80 * 10^{-3})^2} = 41,61 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{41,61^2 + 3 * (41,61^2 + 23,08^2)} = 92,32 \text{ MPa}$$

$$92,32 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Svar svislý:

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{2,Ed}}{2 * a * L_{we}} = \frac{7,17 * 10^{-3}}{2 * 4 * 10^{-3} * 180 * 10^{-3}} = 4,98 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 0$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{0^2 + 3 * (0^2 + 4,98^2)} = 8,63 \text{ MPa}$$

$$8,63 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.5 Přípoje střešních ztužidel

6.5.1 Přípoje ztužidel ve vazbě číslo 2

6.5.1.1 V rohu

Zatížení detailu

- a) **Střešní šikmé ztužidlo - Maximální namáhání svaru zaříznutého plechu v trubce, šroubového přípoje střešní trubky na plech spojující dané ztužidlo s vodorovným střešním ztužidlem, svaru spojujícího přípojný plech dané trubky a vodorovného střešního ztužidla**

$$N_{1,Ed} = 29,75 \text{ kN (obálka)}$$

úhel sklonu střešní diagonály od osy kolmé na šrouby: $\alpha = 63,4^\circ$

b) Stěnové ztužidlo - Maximální namáhání svaru spojujícího přípojný plech stěnové trubky a vodorovného střešního ztužidla

$$N_{2,Ed} = 13,01 \text{ kN (obálka)}$$

$$\text{úhel sklonu stěnové diagonály od osy kolmé na šrouby: } \beta = 59,07^\circ$$

c) Celkový účinek všech ztužidel - Maximální namáhání na šrouby

kombinace zatížení: KZ2N shora +

$$\text{síla v šikmém střešním ztužidle: } N_{3,Ed} = 29,75 \text{ kN}$$

$$\text{síla v stěnovém ztužidle: } N_{4,Ed} = -11,06 \text{ kN}$$

$$\text{úhel sklonu střešní diagonály od osy kolmé na šrouby: } \alpha = 63,4^\circ$$

$$\text{úhel sklonu stěnové diagonály od osy kolmé na šrouby: } \beta = 59,07^\circ$$

$$\text{výslednice kolmých sil: } F_{\perp,1,Ed} = \sqrt{(\cos 63,4 * 29,75)^2 + (\cos 59,07 * 11,06)^2} = 14,48 \text{ kN}$$

d) Celkový účinek všech ztužidel - Maximální namáhání na svary

kombinace zatížení: KZ2N shora +

$$\text{síla v rovném střešním ztužidle: } N_{5,Ed} = 16,08 \text{ kN}$$

$$\text{síla v šikmém střešním ztužidle: } N_{6,Ed} = 29,75 \text{ kN}$$

$$\text{síla v stěnovém ztužidle: } N_{7,Ed} = -11,06 \text{ kN}$$

$$\text{úhel sklonu střešní diagonály od osy kolmé na šrouby: } \alpha = 63,4^\circ$$

$$\text{úhel sklonu stěnové diagonály od osy kolmé na šrouby: } \beta = 59,07^\circ$$

$$\begin{aligned} \text{rovnoběžná síla se šrouby od střešních ztužidel: } F_{\parallel, stř, Ed} &= \sin 63,4^\circ * 29,75 + 16,08 \\ &= 42,68 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{rovnoběžná síla se šrouby od stěnového ztužidla: } F_{\parallel, st, Ed} = \sin 59,07 * 11,06 = 9,49 \text{ kN}$$

$$\text{výslednice kolmých sil: } F_{\perp, 2, Ed} = \sqrt{(\cos 63,4 * 29,75)^2 + (\cos 59,07 * 11,06)^2} = 14,48 \text{ kN}$$

$$\text{výslednice rovnoběžných sil: } F_{\parallel, Ed} = 42,68 - 9,49 = 33,19 \text{ kN}$$

e) Páčení šroubů na čelní desce

kombinace zatížení: KZ1N zleva –

$$\text{síla v rovném střešním ztužidle: } N_{8,Ed} = 18,1 \text{ kN}$$

$$\text{síla v šikmém střešním ztužidle: } N_{9,Ed} = 25,3 \text{ kN}$$

$$\text{síla v stěnovém ztužidle: } N_{10,Ed} = -5,39 \text{ kN}$$

úhel sklonu střešní diagonály od osy kolmé na šrouby: $\alpha = 63,4^\circ$

úhel sklonu stěnové diagonály od osy kolmé na šrouby: $\beta = 59,07^\circ$

výslednice rovnoběžných sil: $F_{\parallel,Ed} = \sin 59,07 * (-5,39) + 18,1 + \sin 63,4 * 25,3 = 36,1 \text{ kN}$

Svar zaříznutého plechu v trubce

Geometrie svaru

výška svaru: $a = 4 \text{ mm}$

délka vodorovného svaru: $L_{we} = 4 * 50 = 200 \text{ mm}$

$F_{w,Rd} = a * L_{we} * f_{vw,d} = 4 * 10^{-3} * 200 * 10^{-3} * 207,8 * 10^3 = 166,24 \text{ kN}$

návrhová pevnost svaru ... $f_{vw,d}$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} * 0,8 * 1,25} = 207,8 \text{ MPa}$$

$F_{w,Rd} \geq N_{1,Ed} \rightarrow 166,24 \text{ kN} \geq 29,75 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$

Svar vyhoví i pro další plechy zaříznutých v trubkách, protože přenášejí menší sílu než posuzovaná trubka.

Návrh šroubů spojující zaříznutý plech s připojujícím plechem na vodorovné střešní ztužidlo

Šrouby M16 8.8

Únosnosti jednoho šroubu ve stříhu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 157 * 10^{-6} * 800 * 10^3}{1,25} = 60,29 \text{ kN}$$

$\alpha_v = 0,6$ (pro šrouby 8.8)

$A_s = 157 \text{ mm}^2$ (plocha jádra šroubu M16)

Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,46 * 360 * 10^3 * 16 * 10^{-3} * 10 * 10^{-3}}{1,25} = 52,99 \text{ kN}$$

d ... průměr šroubu, $d = 16 \text{ mm}$

t ... tloušťka tenčího spojovaného prvku, tj. zaříznutý plech, $t = 10 \text{ mm}$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{25}{3 * 18}; \frac{800}{360}; 1 \right\} = \min \{0,46; 2,22; 1\} = 0,46$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \right\} = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{56}{18} - 1,7 \right\} = \min \{ 2,5; 7,01 \} = 2,5$$

Únosnost šroubů jednoho šroubu

$$V_{Rd} = \min \{ F_{v,Rd}; F_{b,Rd} \} = \min \{ 60,29; 52,99 \} = 52,99 \text{ kN}$$

Počet šroubů: n

$$n = \frac{N_{1,Ed}}{V_{Rd}} = \frac{29,75}{52,99} = 0,56 \rightarrow n = 2$$

Navrženo 2x M16 8.8

Svar spojující střešní ztužidlo s vodorovným střešním ztužidlem

Geometrie svaru

výška svaru: $a = 4 \text{ mm}$

délka vodorovného svaru: $L_{we} = 340 \text{ mm}$

excentricita: $e = 81 \text{ mm}$

Napětí ve svaru

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{1,Ed} * \sin \alpha}{2 * a * L_{we}} = \frac{29,75 * 10^{-3} * \sin 63,4}{2 * 4 * 10^{-3} * 340 * 10^{-3}} = 9,78 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \tau_{\perp} = \sigma_{\perp} &= \frac{1}{\sqrt{2}} * \left(\frac{N_{1,Ed} * \cos \alpha}{2 * a * L_{we}} + \frac{N_{1,Ed} * \cos \alpha * e}{W_{we}} \right) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} * \left(\frac{29,75 * 10^{-3} * \cos 63,4}{2 * 4 * 10^{-3} * 340 * 10^{-3}} + \frac{29,75 * 10^{-3} * \cos 63,4 * 81 * 10^{-3}}{2 * \frac{1}{6} * 4 * 10^{-3} * (340 * 10^{-3})^2} \right) \\ &= 8,41 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{8,41^2 + 3 * (8,41^2 + 9,78^2)} = 23,87 \text{ MPa}$$

$$23,87 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Svar spojující stěnové ztužidlo s vodorovným střešním ztužidlem

Geometrie svaru

výška svaru: $a = 4 \text{ mm}$

délka svaru: $L_{we} = 210 \text{ mm}$

excentricita: $e = 105 \text{ mm}$

Napětí ve svaru

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{2,Ed} * \sin \beta}{2 * a * L_{we}} = \frac{13,01 * 10^{-3} * \sin 59,07}{2 * 4 * 10^{-3} * 210 * 10^{-3}} = 6,64 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \tau_{\perp} = \sigma_{\perp} &= \frac{1}{\sqrt{2}} * \left(\frac{N_{2,Ed} * \cos \beta}{2 * a * L_{we}} + \frac{N_{2,Ed} * \cos \beta * e}{W_{we}} \right) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} * \left(\frac{13,01 * 10^{-3} * \cos 59,07}{2 * 4 * 10^{-3} * 210 * 10^{-3}} + \frac{13,01 * 10^{-3} * \cos 59,07 * 105 * 10^{-3}}{2 * \frac{1}{6} * 4 * 10^{-3} * (210 * 10^{-3})^2} \right) \\ &= 11,26 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{11,26^2 + 3 * (11,26^2 + 6,64^2)} = 25,29 \text{ MPa}$$

$$25,29 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Návrh šroubového přípoje ke sloupu

Šrouby M16 8.8

Únosnosti jednoho šroubu ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 157 * 10^{-6} * 800 * 10^3}{1,25} = 60,29 \text{ kN}$$

$$\alpha_v = 0,6 \text{ (pro šrouby 8.8)}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2 \text{ (plocha jádra šroubu M16)}$$

Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,56 * 360 * 10^3 * 16 * 10^{-3} * 10 * 10^{-3}}{1,25} = 64,51 \text{ kN}$$

d ... průměr šroubu, $d = 16 \text{ mm}$

t ... tloušťka tenčího spojovaného prvku, tj. čelní deska, $t = 10 \text{ mm}$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{30}{3 * 18}; \frac{800}{360}; 1 \right\} = \min \{0,56; 2,22; 1\} = 0,56$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \right\} = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{30}{18} - 1,7 \right\} = \min \{2,5; 2,97\} = 2,5$$

Únosnost šroubů jednoho šroubu

$$V_{Rd} = \min \{F_{v,Rd}; F_{b,Rd}\} = \min \{60,29; 64,51\} = 60,29 \text{ kN}$$

Počet šroubů: n

$$n = \frac{F_{\perp,1,Ed}}{V_{Rd}} = \frac{14,48}{60,29} = 0,24 \rightarrow n = 4$$

Svar spojující ztužidla k čelní desce

Geometrie svaru

výška svaru: $a = 4 \text{ mm}$ délka svaru: $L_{we} = \pi * d = \pi * 89 = 279,6 \text{ mm}$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\perp,2,Ed}}{2 * a * d} = \frac{14,48 * 10^{-3}}{2 * 4 * 10^{-3} * 89 * 10^{-3}} = 20,34 \text{ MPa}$$

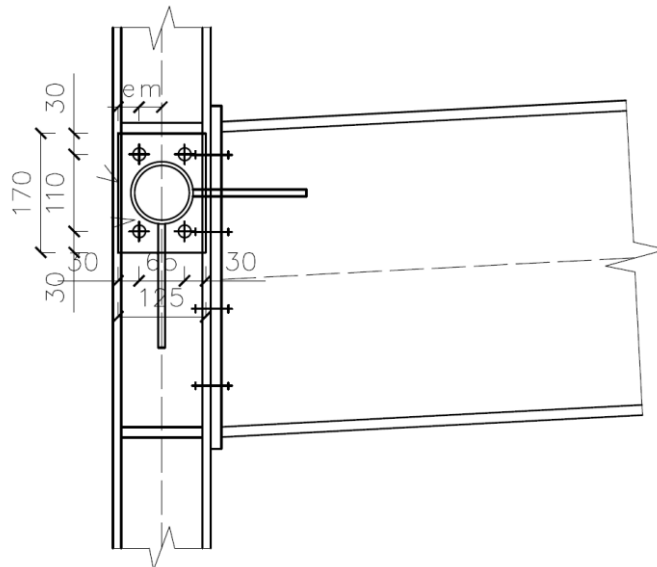
$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{F_{\parallel,Ed}}{a * L_{we}} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{33,19 * 10^{-3}}{4 * 10^{-3} * 279,6 * 10^{-3}} = 20,98 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{20,98^2 + 3 * (20,98^2 + 20,34^2)} = 54,79 \text{ MPa}$$

$$54,79 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Posouzení čelní desky na páčení šroubů

Schéma přípoje:



Obr. 68 – Schéma přípoje střešních ztužidel na rámovou příčli

Rozměry:

$$e_p = 30 \text{ mm}$$

$$t_p = 10 \text{ mm}$$

Materiál: ocel S235

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

Šrouby: M16 8.8

únosnost šroubu v tahu $F_{t,Rd} = 90,4 \text{ kN}$

Rozměry pro efektivní šířku pásnice

$$m_{p1} = 65/2 = 32,5 \text{ mm}$$

Únosnost 1. a 2. řady šroubů

Čelní deska v ohybu

Efektivní šířka: $l_{eff,b}$

$$l_{eff,b} = 170/2 = 85 \text{ mm}$$

$$l_{eff,b} = l_{eff,1,b} = l_{eff,2,b} = 85 \text{ mm}$$

Způsob porušení 1

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m_{p1}} = \frac{4 * 0,499}{32,5 * 10^{-3}} = 61,4 \text{ kN}$$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 * l_{eff,1,b} * t_p^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 85 * 10^{-3} * (10 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0} \\ = 0,499 \text{ kNm}$$

Způsob porušení 2

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m_{p1} + n} = \frac{2 * 0,499 + 30 * 10^{-3} * 2 * 90,4}{(32,5 + 30) * 10^{-3}} = 102,8 \text{ kN}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 * l_{eff,2,b} * t_p^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 85 * 10^{-3} * (10 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0} \\ = 0,499 \text{ kNm}$$

$$n = \min\{e_p; 1,25 m_{p1}\} = \min\{30; 1,25 * 32,5\} = \min\{30; 40,6\} = 30 \text{ mm}$$

Způsob porušení 3

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 * 90,4 = 180,8 \text{ kN}$$

$$F_{T,ep,Rd} = \min\{F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}\} = \min\{61,4; 102,8; 180,8\} = 61,4 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd(\text{row } 1)} = F_{t,ep,Rd} = 61,4 \text{ kN}$$

Únosnost šroubů v páčení

$$\sum F_{T,Rd} = 2 * F_{T,Rd(row 1)} = 2 * 61,4 = 122,8 \text{ kN}$$

$$\sum F_{T,Rd} \geq F_{\parallel,Ed} \rightarrow 122,8 \text{ kN} \geq 36,1 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.5.1.2 Uprostřed příčle

Zatížení detailu

- a) **Střešní šikmé ztužidlo - Maximální namáhání svaru zaříznutého plechu v trubce, šroubového přípoje střešní trubky na plech spojující dané ztužidlo s vodorovným střešním ztužidlem, svaru spojujícího přípojný plech dané trubky a vodorovného střešního ztužidla**

$$N_{1,Ed} = -15,75 \text{ kN (obálka)}$$

úhel sklonu stěnové diagonály od osy kolmé na šrouby: $\alpha = 63,4^\circ$

- b) **Celkový účinek všech ztužidel - Maximální namáhání na šrouby**

kombinace zatížení: KZ4N zleva –

$$\text{síla v levém střešním ztužidle: } N_{2,Ed} = 0,44 \text{ kN}$$

$$\text{síla v pravém střešním ztužidle: } N_{3,Ed} = -15,75 \text{ kN}$$

úhel sklonu levé střešní diagonály od osy kolmé na šrouby: $\alpha = 63,4^\circ$

úhel sklonu pravé střešní diagonály od osy kolmé na šrouby: $\beta = 63,4^\circ$

$$\text{výslednice kolmých sil: } F_{\perp,1,Ed} = \cos 63,4 * 0,44 + \cos 63,4 * 15,75 = 7,25 \text{ kN}$$

- c) **Celkový účinek všech ztužidel - Maximální namáhání na svary**

kombinace zatížení: KZ4N zleva +

$$\text{síla v levém střešním ztužidle: } N_{4,Ed} = 0,61 \text{ kN}$$

$$\text{síla v rovném střešním ztužidle: } N_{5,Ed} = 6,5 \text{ kN}$$

$$\text{síla v pravém střešním ztužidle: } N_{6,Ed} = -15,29 \text{ kN}$$

úhel sklonu levé střešní diagonály od osy kolmé na šrouby: $\alpha = 63,4^\circ$

úhel sklonu pravé střešní diagonály od osy kolmé na šrouby: $\beta = 63,4^\circ$

$$\text{výslednice kolmých sil: } F_{\perp,2,Ed} = \cos 63,4 * 6,5 + \cos 63,4 * 15,29 = 9,76 \text{ kN}$$

$$\text{výslednice rovnoběžných sil: } F_{\parallel,Ed} = \sin 63,4 * 15,29 - 6,5 - \sin 63,4 * 0,61 = 6,63 \text{ kN}$$

- d) **Páčení šroubů na čelní desce**

kombinace zatížení: obálka

$$\text{síla v rovném střešním ztužidle: } N_{7,Ed} = 22,79 \text{ kN}$$

Svar zaříznutého plechu v trubce

Geometrie svaru

výška svaru: $a = 4 \text{ mm}$

délka vodorovného svaru: $L_{we} = 4 * 50 = 200 \text{ mm}$

$$F_{w,Rd} = a * L_{we} * f_{vw,d} = 4 * 10^{-3} * 200 * 10^{-3} * 207,8 * 10^3 = 166,24 \text{ kN}$$

návrhová pevnost svaru ... $f_{vw,d}$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} * 0,8 * 1,25} = 207,8 \text{ MPa}$$

$$F_{w,Rd} \geq N_{1,Ed} \rightarrow 166,24 \text{ kN} \geq 15,75 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Svar vyhoví i pro další plechy zaříznutých v trubkách, protože přenáší menší sílu než posuzovaná trubka.

Návrh šroubů spojující zaříznutý plech s připojícím plechem na vodorovné střešní ztužidlo

Šrouby M16 8.8

Únosnosti jednoho šroubu ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 157 * 10^{-6} * 800 * 10^3}{1,25} = 60,29 \text{ kN}$$

$$\alpha_v = 0,6 \text{ (pro šrouby 8.8)}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2 \text{ (plocha jádra šroubu M16)}$$

Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,46 * 360 * 10^3 * 16 * 10^{-3} * 10 * 10^{-3}}{1,25} = 52,99 \text{ kN}$$

d ... průměr šroubu, $d = 16 \text{ mm}$

t ... tloušťka tenčího spojovaného prvku, tj. zaříznutý plech, $t = 10 \text{ mm}$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{25}{3 * 18}; \frac{800}{360}; 1 \right\} = \min \{0,46; 2,22; 1\} = 0,46$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \right\} = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{56}{18} - 1,7 \right\} = \min \{2,5; 7,01\} = 2,5$$

Únosnost šroubů jednoho šroubu

$$V_{Rd} = \min \{F_{v,Rd}; F_{b,Rd}\} = \min \{60,29; 52,99\} = 52,99 \text{ kN}$$

Počet šroubů: n

$$n = \frac{N_{1,Ed}}{V_{Rd}} = \frac{15,75}{52,99} = 0,3 \rightarrow n = 2$$

Navrženo 2x M16 8.8

Svar spojující stěnové ztužidlo s vodorovným střešním ztužidlem

Geometrie svaru

výška svaru: $a = 4 \text{ mm}$

délka vodorovného svaru: $L_{we} = 360 \text{ mm}$

excentricita: $e = 96 \text{ mm}$

Napětí ve svaru

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{1,Ed} * \sin \alpha}{2 * a * L_{we}} = \frac{15,75 * 10^{-3} * \sin 63,4}{2 * 4 * 10^{-3} * 360 * 10^{-3}} = 4,89 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \tau_{\perp} = \sigma_{\perp} &= \frac{1}{\sqrt{2}} * \left(\frac{N_{1,Ed} * \cos \alpha}{2 * a * L_{we}} + \frac{N_{1,Ed} * \cos \alpha * e}{W_{we}} \right) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} * \left(\frac{15,75 * 10^{-3} * \cos 63,4}{2 * 4 * 10^{-3} * 360 * 10^{-3}} + \frac{15,75 * 10^{-3} * \cos 63,4 * 96 * 10^{-3}}{2 * \frac{1}{6} * 4 * 10^{-3} * (360 * 10^{-3})^2} \right) \\ &= 4,5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{4,5^2 + 3 * (4,5^2 + 4,89^2)} = 12,36 \text{ MPa}$$

$$12,36 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Návrh šroubového přípoje ke sloupu

Šrouby M16 8.8

Únosnosti jednoho šroubu ve stříhu

$$F_{v,Rd} = \frac{n * \alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{2 * 0,6 * 157 * 10^{-6} * 800 * 10^3}{1,25} = 120,58 \text{ kN}$$

$$\alpha_v = 0,6 \text{ (pro šrouby 8.8)}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2 \text{ (plocha jádra šroubu M16)}$$

Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,56 * 360 * 10^3 * 16 * 10^{-3} * 10 * 10^{-3}}{1,25} = 64,51 \text{ kN}$$

d ... průměr šroubu, $d = 16 \text{ mm}$

t ... tloušťka tenčího spojovaného prvku, tj. čelní deska, $t = 10 \text{ mm}$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{30}{3 * 18}; \frac{800}{360}; 1 \right\} = \min \{0,56; 2,22; 1\} = 0,56$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \right\} = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{30}{18} - 1,7 \right\} = \min \{2,5; 2,97\} = 2,5$$

Únosnost šroubů jednoho šroubu

$$V_{Rd} = \min \{F_{v,Rd}; F_{b,Rd}\} = \min \{120,58; 64,51\} = 64,51 \text{ kN}$$

Počet šroubů: n

$$n = \frac{F_{\perp,1Ed}}{V_{Rd}} = \frac{7,25}{64,51} = 0,11 \rightarrow n = 4$$

Navrženo 4x M16 8.8

Svar spojující ztužidla k čelní desce

Geometrie svaru

výška svaru: $a = 4 \text{ mm}$

délka svaru: $L_{we} = \pi * d = \pi * 89 = 279,6 \text{ mm}$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\perp,2Ed}}{2 * a * d} = \frac{9,76 * 10^{-3}}{2 * 4 * 10^{-3} * 89 * 10^{-3}} = 13,71 \text{ MPa}$$

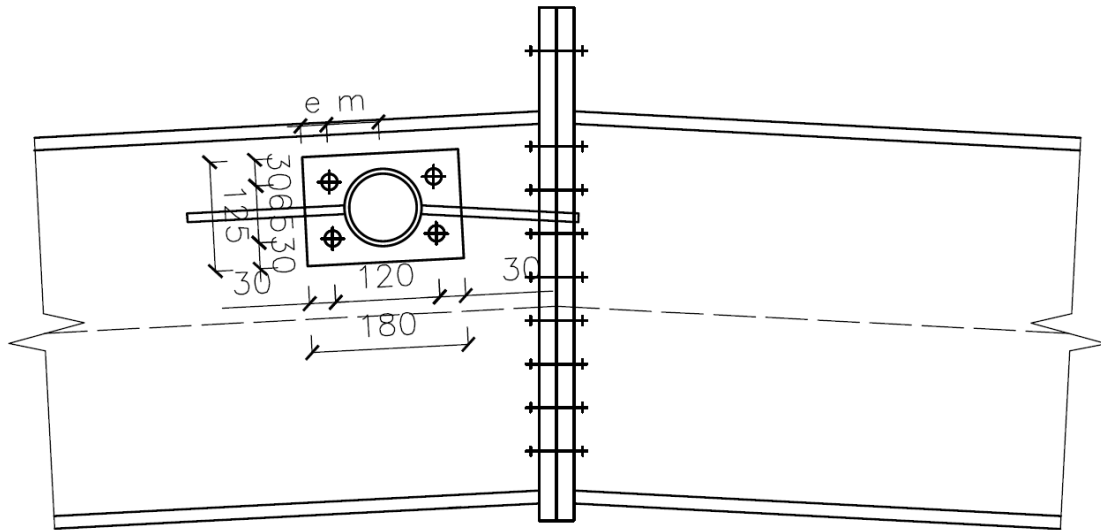
$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{F_{\parallel,Ed}}{a * L_{we}} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{6,63 * 10^{-3}}{4 * 10^{-3} * 279,6 * 10^{-3}} = 4,19 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{4,19^2 + 3 * (4,19^2 + 13,71^2)} = 25,18 \text{ MPa}$$

$$25,18 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Posouzení čelní desky na páčení šroubů

Schéma přípoje:



Obr. 69 – Schéma přípoje střešních ztužidel na rámovou příčli

Rozměry:

$$e_p = 30 \text{ mm}$$

$$t_p = 10 \text{ mm}$$

Materiál: ocel S235

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

Šrouby: M16 8.8

únosnost šroubu v tahu $F_{t,Rd} = 90,4 \text{ kN}$

Rozměry pro efektivní šířku pásnice

$$m_{p1} = 120/2 = 60 \text{ mm}$$

Únosnost 1. a 2. řady šroubů

Čelní deska v ohybu

Efektivní šířka: $l_{eff,b}$

$$l_{eff,b} = 125/2 = 62,5 \text{ mm}$$

$$l_{eff,b} = l_{eff,1,b} = l_{eff,2,b} = 62,5 \text{ mm}$$

Způsob porušení 1

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m_{p1}} = \frac{4 * 0,367}{60 * 10^{-3}} = 24,5 \text{ kN}$$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 * l_{eff,1,b} * t_p^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 62,5 * 10^{-3} * (10 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0} \\ = 0,367 \text{ kNm}$$

Způsob porušení 2

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m_{p1} + n} = \frac{2 * 0,367 + 30 * 10^{-3} * 2 * 90,4}{(60 + 30) * 10^{-3}} = 68,4 \text{ kN}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 * l_{eff,2,b} * t_p^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 62,5 * 10^{-3} * (10 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0} \\ = 0,367 \text{ kNm}$$

$$n = \min\{e_p; 1,25 m_{p1}\} = \min\{30; 1,25 * 60\} = \min\{30; 75\} = 30 \text{ mm}$$

Způsob porušení 3

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 * 90,4 = 180,8 \text{ kN}$$

$$F_{T,ep,Rd} = \min\{F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}\} = \min\{24,5; 68,4; 180,8\} = 24,5 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd(row 1)} = F_{t,ep,Rd} = 24,5 \text{ kN}$$

Únosnost šroubů v páčení

$$\sum F_{T,Rd} = 2 * F_{T,Rd(row 1)} = 2 * 24,5 = 49 \text{ kN}$$

$$\sum F_{T,Rd} \geq N_{7,Ed} \rightarrow 49 \text{ kN} \geq 22,79 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.5.2 Přípoje ztužidel ve vazbě číslo 11

6.5.2.1 V rohu

Zatížení detailu

- a) **Stěnové šikmé ztužidlo - Maximální namáhání svaru zaříznutého plechu v trubce, šroubového přípoje střešní trubky na plech spojující dané ztužidlo s vodorovným střešním ztužidlem, svaru spojujícího přípojný plech dané trubky a vodorovného střešního ztužidla**

$$N_{1,Ed} = -16,36 \text{ kN (obálka)}$$

úhel sklonu stěnové diagonály od osy kolmé na šrouby: $\alpha = 62,82^\circ$

- b) **Střešní ztužidlo - Maximální namáhání svaru spojujícího přípojný plech stěnové trubky a vodorovného střešního ztužidla**

$$N_{2,Ed} = 12,3 \text{ kN (obálka)}$$

úhel sklonu střešní diagonály od osy kolmé na šrouby: $\beta = 66,77^\circ$

c) Celkový účinek všech ztužidel - Maximální namáhání na šrouby

kombinace zatížení: KZ3N zdola +

síla v šikmém střešním ztužidle: $N_{3,Ed} = 4,86 \text{ kN}$

síla v stěnovém ztužidle: $N_{4,Ed} = -16,36 \text{ kN}$

úhel sklonu střešní diagonály od osy kolmé na šrouby: $\beta = 66,77^\circ$

úhel sklonu stěnové diagonály od osy kolmé na šrouby: $\alpha = 62,82^\circ$

výslednice kolmých sil: $F_{\perp,1,Ed} = \sqrt{(\cos 62,82 * 16,36)^2 + (\cos 66,77 * 4,86)^2} = 7,71 \text{ kN}$

d) Celkový účinek všech ztužidel - Maximální namáhání na svary, páčení šroubů na čelní desce

kombinace zatížení: KZ3N zdola +

síla v rovném střešním ztužidle: $N_{5,Ed} = -1,37 \text{ kN}$

síla v šikmém střešním ztužidle: $N_{6,Ed} = 4,86 \text{ kN}$

síla v stěnovém ztužidle: $N_{7,Ed} = -16,36 \text{ kN}$

úhel sklonu střešní diagonály od osy kolmé na šrouby: $\beta = 66,77^\circ$

úhel sklonu stěnové diagonály od osy kolmé na šrouby: $\alpha = 62,82^\circ$

rovnoběžná síla se šrouby od střešních ztužidel: $F_{\parallel,st,Ed} = \sin 66,77^\circ * 4,86 - 1,37 = 3,1 \text{ kN}$

rovnoběžná síla se šrouby od stěnového ztužidla: $F_{\parallel,st,Ed} = \sin 62,82 * 16,36 = 14,55 \text{ kN}$

výslednice kolmých sil: $F_{\perp,2,Ed} = \sqrt{(\cos 62,82 * 16,36)^2 + (\cos 66,77 * 4,86)^2} = 7,71 \text{ kN}$

výslednice rovnoběžných sil: $F_{\parallel,Ed} = 14,55 - 3,1 = 11,45 \text{ kN}$

Svar zaříznutého plechu v trubce

Geometrie svaru

výška svaru: $a = 4 \text{ mm}$

délka vodorovného svaru: $L_{we} = 4 * 50 = 200 \text{ mm}$

$$F_{w,Rd} = a * L_{we} * f_{vw,d} = 4 * 10^{-3} * 200 * 10^{-3} * 207,8 * 10^3 = 166,24 \text{ kN}$$

návrhová pevnost svaru ... $f_{vw,d}$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} * 0,8 * 1,25} = 207,8 \text{ MPa}$$

$$F_{w,Rd} \geq N_{1,Ed} \rightarrow 166,24 \text{ kN} \geq 16,36 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Svar vyhoví i pro další plechy zaříznutých v trubkách, protože přenášejí menší sílu než posuzovaná trubka.

Návrh šroubů spojující zaříznutý plech s připojujícím plechem na vodorovné střešní ztužidlo

Šrouby M16 8.8

Únosnosti jednoho šroubu ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 157 * 10^{-6} * 800 * 10^3}{1,25} = 60,29 \text{ kN}$$

$$\alpha_v = 0,6 \text{ (pro šrouby 8.8)}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2 \text{ (plocha jádra šroubu M16)}$$

Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,46 * 360 * 10^3 * 16 * 10^{-3} * 10 * 10^{-3}}{1,25} = 52,99 \text{ kN}$$

d ... průměr šroubu, $d = 16 \text{ mm}$

t ... tloušťka tenčího spojovaného prvku, tj. zaříznutý plech, $t = 10 \text{ mm}$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{25}{3 * 18}; \frac{800}{360}; 1 \right\} = \min \{0,46; 2,22; 1\} = 0,46$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \right\} = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{60}{18} - 1,7 \right\} = \min \{2,5; 7,63\} = 2,5$$

Únosnost šroubů jednoho šroubu

$$V_{Rd} = \min \{F_{v,Rd}; F_{b,Rd}\} = \min \{60,29; 52,99\} = 52,99 \text{ kN}$$

Počet šroubů: n

$$n = \frac{N_{1,Ed}}{V_{Rd}} = \frac{16,36}{52,99} = 0,31 \rightarrow n = 2$$

Navrženo 2x M16 8.8

Svar spojující stěnové ztužidlo s vodorovným střešním ztužidlem

Geometrie svaru

výška svaru: $a = 4 \text{ mm}$

délka vodorovného svaru: $L_{we} = 260 \text{ mm}$

excentricita: $e = 129 \text{ mm}$

Napětí ve svaru

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{1,Ed} * \sin \alpha}{2 * a * L_{we}} = \frac{16,36 * 10^{-3} * \sin 62,82}{2 * 4 * 10^{-3} * 260 * 10^{-3}} = 7 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \tau_{\perp} = \sigma_{\perp} &= \frac{1}{\sqrt{2}} * \left(\frac{N_{1,Ed} * \cos \alpha}{2 * a * L_{we}} + \frac{N_{1,Ed} * \cos \alpha * e}{W_{we}} \right) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} * \left(\frac{16,36 * 10^{-3} * \cos 62,82}{2 * 4 * 10^{-3} * 260 * 10^{-3}} + \frac{16,36 * 10^{-3} * \cos 62,82 * 129 * 10^{-3}}{2 * \frac{1}{6} * 4 * 10^{-3} * (260 * 10^{-3})^2} \right) \\ &= 10,1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{10,1^2 + 3 * (10,1^2 + 7^2)} = 23,56 \text{ MPa}$$

$$23,56 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Svar spojující střešní ztužidlo s vodorovným střešním ztužidlem

Geometrie svaru

výška svaru: $a = 4 \text{ mm}$

délka vodorovného svaru: $L_{we} = 340 \text{ mm}$

excentricita: $e = 81 \text{ mm}$

Napětí ve svaru

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{2,Ed} * \sin \beta}{2 * a * L_{we}} = \frac{12,3 * 10^{-3} * \sin 66,77}{2 * 4 * 10^{-3} * 340 * 10^{-3}} = 4,16 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \tau_{\perp} = \sigma_{\perp} &= \frac{1}{\sqrt{2}} * \left(\frac{N_{2,Ed} * \cos \beta}{2 * a * L_{we}} + \frac{N_{2,Ed} * \cos \beta * e}{W_{we}} \right) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} * \left(\frac{12,3 * 10^{-3} * \cos 66,77}{2 * 4 * 10^{-3} * 340 * 10^{-3}} + \frac{12,3 * 10^{-3} * \cos 66,77 * 81 * 10^{-3}}{2 * \frac{1}{6} * 4 * 10^{-3} * (340 * 10^{-3})^2} \right) \\ &= 3,06 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{3,06^2 + 3 * (3,06^2 + 4,16^2)} = 9,45 \text{ MPa}$$

$$9,45 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Návrh šroubového přípoje ke sloupu

Šrouby M16 8.8

Únosnosti jednoho šroubu ve stříhu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 157 * 10^{-6} * 800 * 10^3}{1,25} = 60,29 \text{ kN}$$

$$\alpha_v = 0,6 \text{ (pro šrouby 8.8)}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2 \text{ (plocha jádra šroubu M16)}$$

Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,56 * 360 * 10^3 * 16 * 10^{-3} * 10 * 10^{-3}}{1,25} = 64,51 \text{ kN}$$

d ... průměr šroubu, $d = 16 \text{ mm}$

t ... tloušťka tenčího spojovaného prvku, tj. čelní deska, $t = 10 \text{ mm}$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{30}{3 * 18}; \frac{800}{360}; 1 \right\} = \min \{0,56; 2,22; 1\} = 0,56$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \right\} = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{30}{18} - 1,7 \right\} = \min \{2,5; 2,97\} = 2,5$$

Únosnost šroubů jednoho šroubu

$$V_{Rd} = \min \{F_{v,Rd}; F_{b,Rd}\} = \min \{60,29; 64,51\} = 60,29 \text{ kN}$$

Počet šroubů: n

$$n = \frac{F_{\perp,1,Ed}}{V_{Rd}} = \frac{7,71}{60,29} = 0,13 \rightarrow n = 4$$

Navrženo 4x M16 8.8

Svar spojující ztužidla k čelní desce

Geometrie svaru

výška svaru: $a = 4 \text{ mm}$

délka svaru: $L_{we} = \pi * d = \pi * 89 = 279,6 \text{ mm}$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\perp,2,Ed}}{2 * a * d} = \frac{7,71 * 10^{-3}}{2 * 4 * 10^{-3} * 89 * 10^{-3}} = 10,83 \text{ MPa}$$

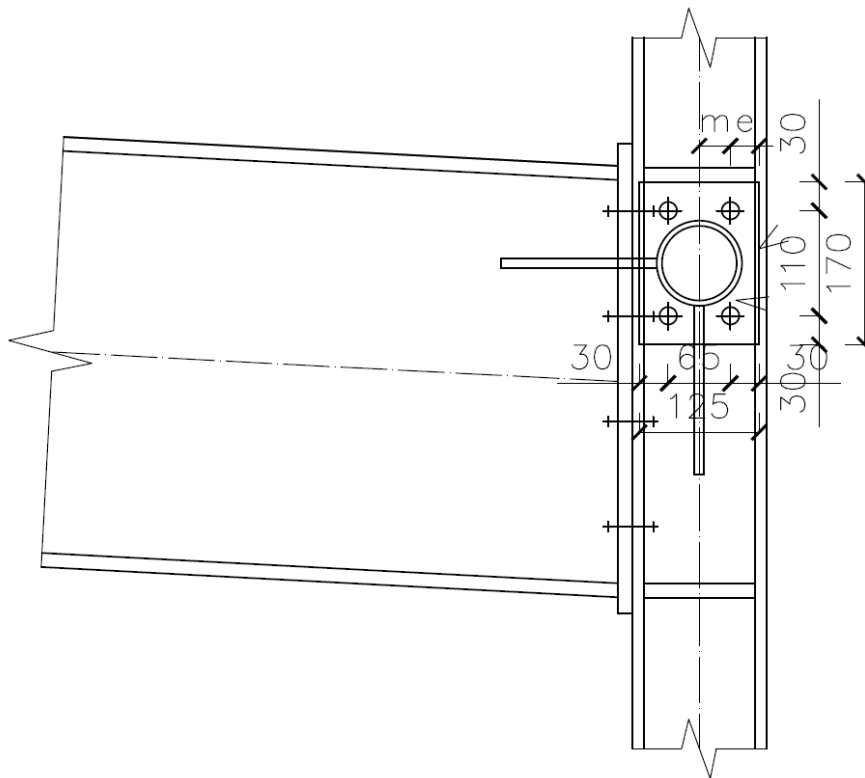
$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{F_{\parallel,Ed}}{a * L_{we}} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{11,45 * 10^{-3}}{4 * 10^{-3} * 279,6 * 10^{-3}} = 7,24 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{7,24^2 + 3 * (7,24^2 + 10,83^2)} = 23,7 \text{ MPa}$$

$$23,7 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Posouzení čelní desky na páčení šroubů

Schéma přípoje:



Obr. 70 – Schéma přípoje střešních ztužidel na rámovou příčli

Rozměry:

$$e_p = 30 \text{ mm}$$

$$t_p = 10 \text{ mm}$$

Materiál: ocel S235

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

Šrouby: M16 8.8

únosnost šroubu v tahu $F_{t,Rd} = 90,4 \text{ kN}$

Rozměry pro efektivní šířku pásnice

$$m_{p1} = 32,5 \text{ mm}$$

Únosnost 1. a 2. řady šroubů

Čelní deska v ohybu

Efektivní šířka: $l_{eff,b}$

$$l_{eff,b} = 170/2 = 85 \text{ mm}$$

$$l_{eff,b} = l_{eff,1,b} = l_{eff,2,b} = 85 \text{ mm}$$

Způsob porušení 1

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m_{p1}} = \frac{4 * 0,499}{32,5 * 10^{-3}} = 61,4 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_{pl,1,Rd} &= 0,25 * l_{eff,1,b} * t_p^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 85 * 10^{-3} * (10 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0} \\ &= 0,499 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Způsob porušení 2

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m_{p1} + n} = \frac{2 * 0,499 + 30 * 10^{-3} * 2 * 90,4}{(32,5 + 30) * 10^{-3}} = 102,8 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_{pl,2,Rd} &= 0,25 * l_{eff,2,b} * t_p^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 85 * 10^{-3} * (10 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0} \\ &= 0,499 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$n = \min\{e_p; 1,25 m_{p1}\} = \min\{30; 1,25 * 32,5\} = \min\{30; 40,6\} = 30 \text{ mm}$$

Způsob porušení 3

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 * 90,4 = 180,8 \text{ kN}$$

$$F_{T,ep,Rd} = \min\{F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}\} = \min\{61,4; 102,8; 180,8\} = 61,4 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd(row 1)} = F_{t,ep,Rd} = 61,4 \text{ kN}$$

Únosnost šroubů v páčení

$$\sum F_{T,Rd} = 2 * F_{T,Rd(row 1)} = 2 * 61,4 = 122,8 \text{ kN}$$

$$\sum F_{T,Rd} \geq F_{\parallel,Ed} \rightarrow 122,8 \text{ kN} \geq 11,45 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.5.2.2 Uprostřed příčle

Zatížení detailu

- Střešní šikmé ztužidlo - Maximální namáhání svaru zaříznutého plechu v trubce, šroubového přípoje střešní trubky na plech spojující dané ztužidlo s vodorovným střešním ztužidlem, svaru spojujícího přípojný plech dané trubky a vodorovného střešního ztužidla**

$$N_{1,Ed} = -10,81 \text{ kN (obálka)}$$

úhel sklonu stěnové diagonály od osy kolmé na šrouby: $\alpha = 66,77^\circ$

b) Celkový účinek všech ztužidel - Maximální namáhání na šrouby

kombinace zatížení: KZ4N zleva –

$$\text{síla v levém střešním ztužidle: } N_{2,Ed} = -10,51 \text{ kN}$$

$$\text{síla v pravém střešním ztužidle: } N_{3,Ed} = 7,7 \text{ kN}$$

úhel sklonu levé střešní diagonály od osy kolmé na šrouby: $\alpha = 66,77^\circ$

úhel sklonu pravé střešní diagonály od osy kolmé na šrouby: $\beta = 66,77^\circ$

$$\text{výslednice kolmých sil: } F_{\perp,1,Ed} = \cos 66,77 * 10,51 + \cos 66,77 * 7,7 = 7,18 \text{ kN}$$

c) Celkový účinek všech ztužidel - Maximální namáhání na svary

kombinace zatížení: KZ6N zleva +

$$\text{síla v levém střešním ztužidle: } N_{4,Ed} = -9,64 \text{ kN}$$

$$\text{síla v rovném střešním ztužidle: } N_{5,Ed} = 8,9 \text{ kN}$$

$$\text{síla v pravém střešním ztužidle: } N_{6,Ed} = 7,86 \text{ kN}$$

úhel sklonu levé střešní diagonály od osy kolmé na šrouby: $\alpha = 66,77^\circ$

úhel sklonu pravé střešní diagonály od osy kolmé na šrouby: $\beta = 66,77^\circ$

$$\text{výslednice kolmých sil: } F_{\perp,2,Ed} = \cos 66,77 * 9,64 + \cos 66,77 * 7,86 = 6,9 \text{ kN}$$

$$\text{výslednice rovnoběžných sil: } F_{\parallel,Ed} = 8,9 + \sin 66,77 * 7,86 - \sin 66,77 * 9,64 = 7,26 \text{ kN}$$

d) Páčení šroubů na čelní desce

kombinace zatížení: obálka

$$\text{síla v rovném střešním ztužidle: } N_{7,Ed} = 7,94 \text{ kN}$$

Svar zaříznutého plechu v trubce

Geometrie svaru

$$\text{výška svaru: } a = 4 \text{ mm}$$

$$\text{délka vodorovného svaru: } L_{we} = 4 * 50 = 200 \text{ mm}$$

$$F_{w,Rd} = a * L_{we} * f_{vw,d} = 4 * 10^{-3} * 200 * 10^{-3} * 207,8 * 10^3 = 166,24 \text{ kN}$$

návrhová pevnost svaru ... $f_{vw,d}$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} * 0,8 * 1,25} = 207,8 \text{ MPa}$$

$$F_{w,Rd} \geq N_{1,Ed} \rightarrow 166,24 \text{ kN} \geq 10,81 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Svar vyhoví i pro další plechy zaříznutých v trubkách, protože přenášejí menší sílu než posuzovaná trubka.

Návrh šroubů spojující zaříznutý plech s připojujícím plechem na vodorovné střešní ztužidlo

Šrouby M16 8.8

Únosnosti jednoho šroubu ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 157 * 10^{-6} * 800 * 10^3}{1,25} = 60,29 \text{ kN}$$

$$\alpha_v = 0,6 \text{ (pro šrouby 8.8)}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2 \text{ (plocha jádra šroubu M16)}$$

Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,46 * 360 * 10^3 * 16 * 10^{-3} * 10 * 10^{-3}}{1,25} = 52,99 \text{ kN}$$

d ... průměr šroubu, $d = 16 \text{ mm}$

t ... tloušťka tenčího spojovaného prvku, tj. zaříznutý plech, $t = 10 \text{ mm}$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{25}{3 * 18}; \frac{800}{360}; 1 \right\} = \min \{0,46; 2,22; 1\} = 0,46$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \right\} = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{56}{18} - 1,7 \right\} = \min \{2,5; 7,01\} = 2,5$$

Únosnost šroubů jednoho šroubu

$$V_{Rd} = \min \{F_{v,Rd}; F_{b,Rd}\} = \min \{60,29; 52,99\} = 52,99 \text{ kN}$$

Počet šroubů: n

$$n = \frac{N_{1,Ed}}{V_{Rd}} = \frac{10,81}{52,99} = 0,2 \rightarrow n = 2$$

Navrženo 2x M16 8.8

Svar spojující šikmé střešní ztužidlo s vodorovným střešním ztužidlem

Geometrie svaru

výška svaru: $a = 4 \text{ mm}$

délka vodorovného svaru: $L_{we} = 370 \text{ mm}$

excentricita: $e = 101 \text{ mm}$

Napětí ve svaru

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{1,Ed} * \sin \alpha}{2 * a * L_{we}} = \frac{10,81 * 10^{-3} * \sin 66,77}{2 * 4 * 10^{-3} * 370 * 10^{-3}} = 3,36 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \tau_{\perp} = \sigma_{\perp} &= \frac{1}{\sqrt{2}} * \left(\frac{N_{1,Ed} * \cos \alpha}{2 * a * L_{we}} + \frac{N_{1,Ed} * \cos \alpha * e}{W_{we}} \right) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} * \left(\frac{10,81 * 10^{-3} * \cos 66,77}{2 * 4 * 10^{-3} * 370 * 10^{-3}} + \frac{10,81 * 10^{-3} * \cos 66,77 * 101 * 10^{-3}}{2 * \frac{1}{6} * 4 * 10^{-3} * (370 * 10^{-3})^2} \right) \\ &= 2,69 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{2,69^2 + 3 * (2,69^2 + 3,36^2)} = 7,93 \text{ MPa}$$

$$7,93 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 * 1,25} = 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Návrh šroubového přípoje ke sloupu

Šrouby M16 8.8

Únosnosti jednoho šroubu ve střihu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 157 * 10^{-6} * 800 * 10^3}{1,25} = 60,29 \text{ kN}$$

$$\alpha_v = 0,6 \text{ (pro šrouby 8.8)}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2 \text{ (plocha jádra šroubu M16)}$$

Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,56 * 360 * 10^3 * 16 * 10^{-3} * 10 * 10^{-3}}{1,25} = 64,51 \text{ kN}$$

d ... průměr šroubu, $d = 16 \text{ mm}$

t ... tloušťka tenčího spojovaného prvku, tj. čelní deska, $t = 10 \text{ mm}$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} = \min \left\{ \frac{30}{3 * 18}; \frac{800}{360}; 1 \right\} = \min \{0,56; 2,22; 1\} = 0,56$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \right\} = \min \left\{ 2,5; 2,8 * \frac{30}{18} - 1,7 \right\} = \min \{2,5; 2,97\} = 2,5$$

Rozměry:

$$e_p = 30 \text{ mm}$$

$$t_p = 10 \text{ mm}$$

Materiál: ocel S235

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

Šrouby: M16 8.8

únosnost šroubu v tahu $F_{t,Rd} = 90,4 \text{ kN}$

Rozměry pro efektivní šířku pásnice

$$m_{p1} = 60 \text{ mm}$$

Únosnost 1. a 2. řady šroubů

Čelní deska v ohybu

Efektivní šířka: $l_{eff,b}$

$$l_{eff,b} = 125/2 = 62,5 \text{ mm}$$

$$l_{eff,b} = l_{eff,1,b} = l_{eff,2,b} = 62,5 \text{ mm}$$

Způsob porušení 1

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m_{p1}} = \frac{4 * 0,367}{60 * 10^{-3}} = 24,5 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_{pl,1,Rd} &= 0,25 * l_{eff,1,b} * t_p^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 62,5 * 10^{-3} * (10 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0} \\ &= 0,367 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Způsob porušení 2

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m_{p1} + n} = \frac{2 * 0,367 + 30 * 10^{-3} * 2 * 90,4}{(60 + 30) * 10^{-3}} = 68,4 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_{pl,2,Rd} &= 0,25 * l_{eff,2,b} * t_p^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 * 62,5 * 10^{-3} * (10 * 10^{-3})^2 * \frac{235 * 10^3}{1,0} \\ &= 0,367 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$n = \min\{e_p; 1,25 m_{p1}\} = \min\{30; 1,25 * 60\} = \min\{30; 75\} = 30 \text{ mm}$$

Způsob porušení 3

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 * 90,4 = 180,8 \text{ kN}$$

$$F_{T,ep,Rd} = \min\{F_{T,1,Rd}; F_{T,2,Rd}; F_{T,3,Rd}\} = \min\{24,5; 68,4; 180,8\} = 24,5 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd(row\ 1)} = F_{t,ep,Rd} = 24,5 \text{ kN}$$

Únosnost šroubů v páčení

$$\sum F_{T,Rd} = 2 * F_{T,Rd(row\ 1)} = 2 * 24,5 = 49 \text{ kN}$$

$$\sum F_{T,Rd} \geq N_{7,Ed} \rightarrow 49 \text{ kN} \geq 7,94 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$